



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS E AMBIENTAIS**

RAFAEL COSTA SCHAIDHAUER DE ALMEIDA

**IMPACTO DA MUDANÇA DE USO DA TERRA NOS ESTOQUES DE
NITROGÊNIO DO SOLO E FRAÇÕES HÚMICAS NO SUL DO TOCANTINS,
BRASIL**

Gurupi/TO
2023

RAFAEL COSTA SCHAIDHAUER DE ALMEIDA

**IMPACTO DA MUDANÇA DE USO DA TERRA NOS ESTOQUES DE
NITROGÊNIO DO SOLO E FRAÇÕES HÚMICAS NO SUL DO TOCANTINS,
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho

Gurupi/TO
2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

A447i Almeida, Rafael Costa Schaidhauer de.
Impacto da mudança de uso da terra nos estoques de nitrogênio do solo e frações húmicas no sul do Tocantins, Brasil. / Rafael Costa Schaidhauer de Almeida. – Gurupi, TO, 2023.
87 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2023.
Orientador: Renisson Neponuceno de Araújo Filho

1. Matéria orgânica do solo. 2. Manejo do solo. 3. Plintossolo. 4. Humificação. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

RAFAEL COSTA SCHAIDHAUER DE ALMEIDA

Impacto da mudança de uso da terra nos estoques de nitrogênio do solo e frações húmicas no sul do Tocantins, Brasil.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais em 22/03/2023 foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação: 22/03/2023

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

RENISSON NEPONUCENO DE ARAUJO FILHO

Data: 22/03/2023 13:50:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho – Orientador – UFT



Documento assinado digitalmente

ALESSANDRO DE PAULA

Data: 22/03/2023 12:17:08-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alessandro de Paula – Examinador - UESB



Documento assinado digitalmente

OLAVO DA COSTA LEITE

Data: 22/03/2023 13:32:40-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Olavo da Costa Leite – Examinador - IFTO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por tudo, porque dEle, por Ele, para Ele são todas as coisas!

À minha amada esposa, Amanda, por muitas vezes suportar minha ausência neste período e por me apoiar no desenvolvimento dos meus trabalhos.

À minha querida filha, Betina, por esperar para brincar com papai somente aos domingos.

Ao professor Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho, meu orientador, pelo apoio, por estar sempre disponível, e por me auxiliar nesta trajetória.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais e professores integrantes pelo aprendizado recebido neste tempo.

Aos colegas da pós-graduação, e em especial ao colega João Lucas, pela sua presteza.

Aos amigos e colegas de área Licia e Tiago, por compartilhar o conhecimento, e me auxiliar sempre que preciso.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a Universidade Federal de Sergipe (UFS) pelo apoio nas análises laboratoriais.

Ao INCRA, por conceder a licença para estudos, investindo na capacitação profissional do servidor.

A todos que não foram mencionados, mas que contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho.

“Todos os rios correm para o mar, porém o mar não fica cheio. A água volta para onde nascem os rios, e tudo começa outra vez.”
Eclesiastes 1.7

RESUMO

A conversão de uso da terra e suas formas de manejo promovem alterações na matéria orgânica do solo (MOS), que implicam na produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrários. A MOS é provedora de elementos essenciais às plantas como o Nitrogênio (N), um dos seus principais constituintes e importante indicador da qualidade dos solos. Este estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica do N em Plintossolo no sul do Tocantins sob diferentes usos (Silvicultura, Agricultura, Pastagem) tendo o ecossistema natural de Cerrado *sensu stricto* como referência. Para tanto, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm, determinando os teores e estoques (0-50 cm) de N total no solo e nas substâncias húmicas (AF - Ácido Fúlvico, AH - Ácido Húmico e Hum - Humina) por combustão a seco, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Foram identificadas diferenças significativas entre as áreas em relação aos teores médios de N no solo (0-10 cm) e N nas frações húmicas (0-20 cm). No entanto, em geral, com as mudanças de uso da terra, a área de Silvicultura apresentou os maiores teores e estoques médios significativos de N no solo e nas frações húmicas, demonstrando os benefícios deste sistema. As áreas de Agricultura e Pastagem aumentaram os teores e estoques de N no solo. Nas frações húmicas, a área de Agricultura promoveu aumento dos teores e estoques de N-AF e N-Hum, porém reduziu o N-AH, enquanto que a Pastagem reduziu os teores e estoques de N-AF e N-Hum, mantendo o N-AH estável. As perdas verificadas nestes sistemas indicaram que a MOS foi negativamente alterada, o que sugere a necessidade de adaptações na forma de manejo pela aplicação de métodos conservacionistas.

Palavras chave: matéria orgânica do solo. manejo do solo. Plintossolo. humificação.

ABSTRACT

Transformation in land use and forms of management promote changes in soil organic matter (SOM), which imply the productivity and sustainability of agrarian systems. SOM provides essential elements to plants such as Nitrogen (N), one of its main contents and an important indicator of soil quality. This study aimed to evaluate the dynamics of N in Plinthosol in southern Tocantins under different uses (Forestry, Agriculture, Pasture) using the natural ecosystem of Cerrado *sensu stricto* as a reference. Soil samples were collected at depths of 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 and 40-50 cm, determining the levels and stocks (0-50 cm) of total N in the soil and in humic substances (FA - Fulvic Acid, AH - Humic Acid and Hum - Humin) by dry combustion, with averages compared by Tukey test at 5% probability. Significant differences were identified in the average N contents of the covers only in the superficial layers (0-20 cm). However, in general, with changes in land use, the Forestry area presented the highest levels and significant average stocks of N in the soil and humic fractions, demonstrating the benefits of this system. The Agriculture and Pasture areas increased N levels and stocks in the soil. In the humic fractions, the Agriculture area increased the levels and stocks of N-AF and N-Hum, but reduced the N-AH, while the Pasture area reduced the levels and stocks of N-AF and N-Hum, maintaining the N -AH stable. The losses verified in these systems indicated that the SOM was negatively altered, suggesting the need for adaptations in the form of management by applying conservationist methods.

Keywords: soil organic matter. soil management. Plinthosol. humification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Localização das áreas experimentais, em Gurupi, Sul do Tocantins.31
- Figura 2 - Balanço de perdas e ganhos (%) nos teores de N no solo (N-S) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), após conversão de Cerrado *sensu stricto* para cultivo de Eucalipto, Agricultura e Pastagem. 44
- Figura 3 - Estoques (Mg ha^{-1}) de N no solo (EstN-S) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins entre 0-50 cm de profundidade, nas coberturas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.50
- Figura 4 - Balanço de perdas e ganhos (%) nos teores de N nos ácidos fúlvicos (N-AF), ácidos húmicos (N-AH) e huminas (N-Hum) (%) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), após conversão de Cerrado *sensu stricto* para cultivos de Eucalipto (A), Agricultura (B) e Pastagem (C).57
- Figura 5 - Estoques (Mg ha^{-1}) de N nos ácidos fúlvicos (EstN- AF) (A), ácidos húmicos (EstN-AH) (B) e huminas (EstN-Hum) (C) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins entre 0-50 cm de profundidade, nas áreas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.61
- Figura 6 - Distribuição (%) do estoque de N no solo entre as substâncias húmicas e não húmicas (A) e entre as frações húmicas (B) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins entre 0-50 cm de profundidade, nas áreas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*. EstN-S = estoque de N no solo; EstN-SH = estoque de N nas substâncias húmicas; EstN-AF = estoque de N nos ácidos fúlvicos; EstN-AH = estoque de N nos ácidos húmicos; EstN-Hum = estoque de N nas huminas.64

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Principais espécies florestais existentes na área de Cerrado *sensu stricto*, localizado na fazenda experimental da UFT, Campus de Gurupi (TO) e respectivos valores de dominância absoluta (DoA).....32
- Tabela 2 - Características físicas do solo no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), nas coberturas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*38
- Tabela 3 - Teores (g kg^{-1}) de N no solo (N-S) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), nas coberturas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*. 40
- Tabela 4 - Teores (g kg^{-1}) de N nos ácidos fúlvicos (N-AF), ácidos húmicos (N-AH) e huminas (N-Hum) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), nas coberturas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*. 54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Ácido Fúlvico
AH	Ácido Húmico
C	Carbono
CH ₄	Metano
cm	Centímetro
cm ⁻³	Centímetro cúbico
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COT	Carbono Orgânico Total
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
D _s	Densidade do solo
e	Espessura da camada
EstN	Estoque de Nitrogênio
EstN-AF	Estoque de Nitrogênio - Ácido Fúlvico
EstN-AH	Estoque de Nitrogênio - Ácido Húmico
EstN-Hum	Estoque de Nitrogênio - Humina
EstN-S	Estoque de Nitrogênio no solo
EstN-SH	Estoque de Nitrogênio nas Substâncias Húmicas
g	Gramas
GEE	Gases do Efeito Estufa
H	Hidrogênio
ha	hectare
HCl	Ácido Clorídrico
Hum	Humina
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
K	Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
kg	Quilograma
K ₂ O	Óxido de Potássio

L	Litro
m_a	Massa da amostra
mg	Miligrama
mL	Mililitro
MOS	Matéria Orgânica do Solo
N	Nitrogênio
N-AF	Nitrogênio - Ácido Fúlvico
N-AH	Nitrogênio - Ácido Húmico
N-Hum	Nitrogênio - Humina
NH_3	Amônia
NH_4^+	Amônio
N_2O	Óxido Nitroso
NO_2^-	Nitrito
NO_3^-	Nitrato
N-S	Nitrogênio do solo
NT	Nitrogênio Total
O	Oxigênio
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PNRA	Programa Nacional de Reforma Agrária
PNCF	Programa Nacional de Crédito Fundiário
P_2O_5	Pentóxido de difósforo
rpm	Rotação por Minuto
SAF's	Sistemas Agroflorestais
SEAGRO	Secretaria Estadual de Desenvolvimento da Agricultura e Pecuária do Tocantins
TN	Teor de Nitrogênio
V	Volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problema de pesquisa	16
1.1.1	Hipótese	17
1.1.2	Delimitação de escopo	17
1.1.3	Justificativa	17
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Principais usos do solo no Tocantins	19
2.2	Cerrado	22
2.3	Plintossolos Pétricos	23
2.4	Nitrogênio no solo	24
2.4.1	Frações do Nitrogênio na matéria orgânica do solo	26
2.4.2	Mudanças no uso da terra e Nitrogênio do solo	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Área de estudo	31
3.1.1	Características da área de vegetação nativa (Cerrado)	32
3.1.2	Características da área de Silvicultura - Eucalipto	33
3.1.3	Características da área de Pastagem	33
3.1.4	Características da área de Agricultura	33
3.2	Amostragem do solo	34
3.2.1	Análises físicas	34

3.2.2	Análises químicas	35
3.2.3	Determinação dos estoques de N	36
3.3	Análises estatísticas	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Características físicas do solo	38
4.2	Nitrogênio total no solo	39
4.2.1	Teor de N total no solo	39
4.2.2	Alterações dos teores de N total no solo após as mudanças de uso da terra...	44
4.2.3	Estoques de N total no solo	49
4.3	Nitrogênio total nas substâncias húmicas	53
4.3.1	Teor de Nitrogênio total nas substâncias húmicas	53
4.3.2	Alterações dos teores de N total nas substâncias húmicas após as mudanças de uso da terra	55
4.3.3	Estoques de N total nas substâncias húmicas	59
4.4	Possíveis adaptações em sistemas de uso e manejo em Plintossolos.....	65
5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas naturais apresentam relação harmônica entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, promovendo processos essenciais de ciclagem de nutrientes, acúmulo e decomposição da matéria orgânica e agregação do solo (FREITAS et al.; CERRI et al., 2017).

Estes ambientes vem sendo fortemente ameaçados em virtude da demanda por alimentos e pela exploração descontrolada dos recursos naturais, que causam grande pressão no uso da terra.

Como agravante, estimativas indicam que até 2050 haverá um crescimento da população mundial na ordem de dois bilhões de pessoas, o que provavelmente demandará o dobro da produção de alimentos e uma ampliação de até 21% da área de produção necessária para alimentar a crescente população FAO (2018). Isso pode levar à conversão de ecossistemas naturais em áreas de produção para dar espaço à expansão de áreas agrícolas, florestais e pastagens .

Tais mudanças do uso da terra levam à substituição da cobertura vegetal nativa, que somada ao manejo com uso intensivo da mecanização, corretivos, fertilizantes, pesticidas e outras práticas de cultivo promovem ou aceleram as alterações nos atributos morfológicos, físicos, químicos e biológicos do solo, podendo resultar na redução de sua qualidade, disponibilidade de nutrientes, processos erosivos e contaminação por metais pesados e pesticidas (SILVA et al., 2018a).

Os solos têm uma importante participação nos principais ciclos biogeoquímicos, nos quais a matéria orgânica do solo (MOS) desempenha papel essencial na sustentabilidade dos sistemas de produção, atuando na ciclagem de Carbono (C) e nutrientes. Por esse motivo, tem sido discutido na agenda política internacional a mitigação das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e mudanças climáticas globais, bem como em estudos relacionados a outros impactos ambientais decorrentes do uso do solo e melhoria de sua qualidade.

A MOS atua como fonte de nutrientes às plantas, provendo elementos essenciais como Nitrogênio (N), um dos seus principais constituintes (CUNHA et al., 2015; GOUVEIA, 2020). De forma geral, nota-se que a perda de

quantidade e qualidade de MOS resulta na degradação do solo, enquanto que o seu acúmulo está relacionado com a recuperação do solo. (STEVENSON, 1994; CASSMAN; GRASSINE, 2020).

Neste sentido, a MOS é considerada uma indicadora da qualidade do solo tendo em vista a sua sensibilidade em relação às práticas de manejo e pelo fato de estar relacionada com a maioria das propriedades do solo (MIELNICKZUK, 1999; BÜNEMANN et al., 2018).

Silva et al. (2011), destacaram que a maioria dos estudos relativos a MOS são voltados para avaliação do C orgânico total (COT) e N total (NT), entretanto, pequenas alterações nos totais de C e N são dificilmente detectáveis em curto prazo devido a sua variabilidade natural nos solos. Sendo assim, estes autores apontaram que o conhecimento do conteúdo destes elementos nas frações húmicas da MOS podem permitir melhor avaliação do grau de preservação dos ecossistemas naturais e impactos causados pelos diferentes sistemas agrários e manejos do solo, considerando a maior estabilidade destas frações.

Diante da expansão agropecuária no Brasil e sua grande representatividade na economia brasileira e, considerando que estas atividades tem levado a conversão do solo de áreas naturais, sobretudo em regiões do bioma Cerrado (RUHOFF et al., 2014; ALENCAR et al.; GRANDE et al., 2020), destaca-se a necessidade de investigar o impacto das formas de manejo dos solos neste bioma, em especial na região norte do país, onde há maior carência de estudos.

Dentro deste contexto, este trabalho busca contribuir para melhor compreensão dos efeitos do uso e manejo do solo sobre os estoques de Nitrogênio (N) no solo e nas frações húmicas, tendo o ecossistema natural (solo ocupado com Cerrado) como referência na avaliação de diferentes sistemas agrários.

1.1 Problema de pesquisa

A presente pesquisa busca responder o seguinte questionamento: Qual a influência dos diferentes sistemas de manejo e uso da terra (área nativa de

cerrado, agricultura, pastagem e plantio florestal) nos teores e estoques de N em Plintossolo localizado no sul do Tocantins?

1.1.1 Hipótese

Trabalhou-se com a hipótese que os diferentes sistemas agrários (Agricultura, Pastagem e Silvicultura) e manejos comumente adotados em solos do Cerrado, interferem nos teores e estoques de N, reduzindo-os no solo e nas frações húmicas em comparação com o ecossistema natural.

1.1.2 Delimitação de escopo

Esta pesquisa se limita à determinação e avaliação dos teores e estoques de N no solo e nas frações húmicas de acordo com a mudança da cobertura vegetal em Plintossolos no sul do Tocantins.

1.1.3 Justificativa

Considerando o cenário das mudanças climáticas, sobretudo do aquecimento global, a relevância deste estudo se aplica à necessidade de compreender a dinâmica do N em sistemas agrários, em diferentes usos e manejos do solo, a fim de permitir a avaliação da viabilidade ambiental destes sistemas e desenvolvimento de práticas sustentáveis na agricultura, mitigando os impactos ambientais gerados por esta atividade (ZHANG et al., 2016; ZEFERINO et al., 2021).

No mesmo raciocínio, os resultados do presente estudo podem servir como parâmetro para otimização de usos e manejos do solo voltados para a manutenção ou melhoria de suas propriedades (WENDLING et al., 2011; CERRI et al., 2017), a fim de atender à crescente demanda de alimentos.

Há de se considerar ainda, a carência de informações sobre a capacidade de retenção de N nos solos e a necessidade de conhecer as variações dos seus estoques (YANG et al., 2016).

No contexto regional, aponta-se para a relevância deste estudo ser realizado em solos do Cerrado, especialmente por estarem localizados na região Norte do país, onde os estudos são mais escassos.

No tocante à classe de solo estudada, convém destacar que os Plintossolos são uma classe expressiva nesta região (SANTOS et al., 2018a), que está sujeita à considerável expansão do setor agropecuário, incluindo a implantação de pastagens, agricultura e plantios florestais (RUHOFF et al., 2014). Desta forma, este estudo torna-se importante por avaliar o comportamento desta classe de solo sob diferentes usos e coberturas, permitindo identificar os sistemas mais adequados para armazenamento de N no solo e MOS, podendo servir de base para nortear o uso sustentável do solo em escala regional.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar os estoques de N em Plintossolo, sob diferentes usos e manejos.

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar os atributos físicos do solo (densidade, granulometria e textura) em diferentes profundidades;

Determinar os teores de N total no solo e frações húmicas em diferentes profundidades e diferentes coberturas;

Determinar os estoques de N total no solo e frações húmicas sob diferentes coberturas vegetais na camada entre 0-50 cm;

Analisar as mudanças nos respectivos teores e estoques de N pelos diferentes usos da terra em comparação com a área de referência.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Principais usos do solo no Tocantins

O Estado do Tocantins foi criado em 1988, e é integrante da região da nova fronteira agrícola do Brasil conhecida como MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí, e Bahia). Possui uma área de 27,8 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 28% é atualmente destinado a áreas de pastagem, 7% à produção agrícola de grãos, e cerca de 15% refere-se a áreas ainda não utilizadas, mas com potencial para agricultura, enquanto que o restante (50%), corresponde a áreas com restrição ambiental, impossibilitadas para uso alternativo do solo (FRAGOSO; CARDOSO, 2022).

Dentre as principais atividades econômicas do Estado, está a agropecuária (agricultura, pecuária, silvicultura e piscicultura), que se encontra em expansão em relação ao mercado interno e externo (NASCIMENTO et al., 2021). Destas, as atividades relacionadas, a pastagem e agricultura se sobressaem sobre outros usos do solo.

Segundo IBGE (2017a), existem 63,8 mil estabelecimentos agropecuários no Estado do Tocantins, tendo cerca de 204 mil pessoas trabalhando neste setor.

Grande parte de produtores rurais no Estado está ligado à agricultura familiar, sendo que existem aproximadamente 42 mil unidades familiares, posicionadas em 540 assentamentos, vinculados ao Programa Nacional de Crédito Fundiário (PNCF), administrados pela Secretaria Estadual de Desenvolvimento da Agricultura e Pecuária do Tocantins (SEAGRO), e, sobretudo, ao Programa Nacional de Reforma Agrária (PNRA), administrados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (SEAGRO, 2023).

Existem no Tocantins 380 projetos de assentamento de reforma agrária administrados pelo INCRA, que comportam 23.301 famílias, distribuídas em aproximadamente 1,25 milhão de hectares, representando quase 5% da área total do Estado (INCRA, 2022).

Segundo SEAGRO (2023), a agricultura familiar ocupa cerca de 50% das áreas destinadas à agropecuária, contribuindo com 40% do valor bruto da

produção do setor, o que representa 76% dos estabelecimentos rurais, cujo tamanho médio é 18 ha, o que caracteriza uma significativa presença da agricultura familiar no Tocantins, ainda que, conforme Sousa et al. (2018), a imagem do Estado esteja bastante relacionada às grandes produções de *commodities*, em especial, a soja.

No que tange ao agronegócio, movimentado sobretudo pela produção de grãos, o perfil dos produtores, que foi incrementado pela significativa presença de famílias vindas sobretudo da região sul do país e por grupos empresariais, é marcado por agricultores que cultivam entre 500 a 1.000 ha de área plantada (TOCANTINS, 2016).

No que se refere ao plantio de grãos, segundo dados do 5º Levantamento da Safra 2022/23 de Grãos, publicado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Estado é o maior produtor de soja, milho e arroz da região norte do país, contando com uma produção de 4.006.005 toneladas, 2.113.700 toneladas e 483.200 toneladas, respectivamente (CONAB, 2023). Quanto à produção de arroz, vale ressaltar que o Estado encontra-se como o terceiro maior produtor do Brasil, contribuindo com cerca de 4,8% da produção total do país (CONAB, 2023).

Em relação à atividade pecuária, o Tocantins possui o 11º maior rebanho do país, estando distribuído por todo Estado e mais predominantemente no oeste, nas microrregiões de Miracema do Tocantins, Araguaína, Rio Formoso e Gurupi (FIETO, 2018a).

A criação bovina é majoritariamente extensiva, predominando a pecuária de corte (FEITOSA, 2019), caracterizada pelo baixo investimento em manejo das pastagens (ZEFERINO et al., 2021).

O Estado ainda conta com muitas pastagens degradadas, sendo este um problema a ser tratado, tendo em vista o aumento da produtividade do setor (FIETO, 2018a). Conforme o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Plano ABC+), uma das estratégias para recuperação de pastagens degradadas, melhoria da produtividade e conservação do solo, consiste na utilização dos sistemas integrados de produção, a exemplo do Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (MAPA, 2021). O Estado já conta com algumas iniciativas no âmbito da integração lavoura-pecuária-floresta, embora estas

ainda sejam incipientes diante do montante de áreas manejadas de forma extensiva (FIETO, 2018a).

O setor de silvicultura constitui uma atividade que complementa e se consolida como um dos destaques do agronegócio no Tocantins (NASCIMENTO et al., 2021). O Estado apresenta condições favoráveis de solo e clima para silvicultura, extensas áreas disponíveis, incentivos governamentais e custos de produção competitivos (CASTRO et al., 2019). No entanto, este setor ainda está em fase de estruturação no Tocantins, considerando o reduzido emprego de técnicas e práticas silviculturais exigidas para plantios de rápido crescimento (CARVALHO et al., 2019).

De acordo com o Serviço Florestal Brasileiro, a área total destinada para silvicultura no Tocantins em 2020 foi de aproximadamente 131 mil hectares, sendo a maior parte (92%) referente aos plantios de eucalipto e o restante correspondente aos plantios de outras espécies florestais (SFB, 2022). Após o eucalipto, a seringueira é a segunda espécie mais plantada no Estado, com tendência de crescimento, considerando o aumento da demanda por látex, seguida depois por plantios de teca (CARVALHO et al., 2019).

Os plantios de eucalipto no Tocantins cresceram rapidamente na década passada, devido à expectativa de instalação de uma indústria de celulose no próprio Estado (não concretizada), bem como pela crescente demanda de matéria-prima pela indústria da celulose no Maranhão e pela indústria siderúrgica fora do Estado (CASTRO et al., 2019). A área utilizada para cultivo de eucalipto em 2020 representou 1,6% da área total brasileira utilizada pela cultura (SBF, 2022).

O polo florestal da região sul está em expansão e se destina à produção de madeira em toras para empresas agrícolas para secagem de grãos, enquanto que na região norte do Estado, os plantios se destinam principalmente à produção de carvão vegetal para atender os parques siderúrgicos do Pará e Maranhão, bem como uma indústria de celulose presente em Imperatriz-MA (FIETO, 2018b; DUARTE; COLLICCHIO, 2020).

No tocante aos sistemas de preparo do solo para plantio, adotados pelos agricultores no Tocantins, dados do último Censo Agropecuário, Florestal e Aquícola de 2017, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicaram que o sistema de “plantio direto” é praticado por apenas 7%

dos produtores, sendo mais utilizado o cultivo mínimo (68%), e depois o cultivo convencional (25%) (IBGE, 2017b).

Os critérios desta pesquisa consideraram o método de “plantio direto” como prática que não envolve o revolvimento do solo, no qual o plantio é realizado em pequenos sulcos abertos no solo que está coberto de palha, sem a necessidade de aração ou gradagem da superfície do terreno, sendo mantidos no solo os restos das culturais. Já o “cultivo mínimo” representou a forma de preparo do solo apenas com gradagem e, o “plantio convencional” incluiu a aração e gradagem, ou gradagem profunda (IBGE, 2017b).

2.2 Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando uma área de 2 milhões de km², correspondente a 25% do território nacional, estando distribuído nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia e São Paulo, Minas Gerais e no Distrito Federal. É também conhecido como a savana brasileira, e considerado a maior savana tropical do mundo (STRASSBURG et al., 2017), ocupando áreas disjuntas na região Nordeste encravadas no território da Caatinga, e na região Amazônica, nos estados do Pará e Roraima.

As fitofisionomias do bioma Cerrado, definidas conforme Ribeiro e Walter (2008), podem ser divididas em três formações principais (florestais, savânicas e campestres) e agrupam 11 tipos, quais sejam: matas ciliares, matas de galeria, matas secas, cerradão, cerrado sentido restrito (*sensu stricto*), palmeiral, parque de cerrado, veredas, campo sujo, campo rupestre e campo limpo. O Cerrado *sensu stricto* (relacionado a presente pesquisa) é caracterizado pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e sinais de queimadas.

Os solos desta fitofisionomia pertencem em grande parte às classes de Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, podendo também ocorrer as classes de Cambissolos, Neossolos Quartzênicos, Neossolos Litólicos, Plintossolos e Gleissolos. São solos com acidez forte a moderada, com carência generalizada dos nutrientes essenciais, sobretudo P e N e teor de matéria orgânica variando de médio a baixo (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Considerado um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade (STRASSBURG et al., 2017; SANO et al., 2019), o Cerrado apresenta extrema abundância de espécies endêmicas, no entanto, sofre uma expressiva perda de *habitat* pela expansão do agronegócio. Segundo Alencar et al. (2020), da área de vegetação nativa (cerca de 2 milhões de km²), apenas 55% restam em áreas remanescentes, sendo o restante convertido em outros usos, principalmente em cultivo agrícola e pastagem. Conforme Grande et al. (2020), entre 2000 e 2017, a área convertida foi cerca de mais 14.000 km² ano⁻¹, o que representa grande mudança no uso do solo do Cerrado.

Conforme Bustamante (2015), distribuição das áreas convertidas no Cerrado não é homogênea, existindo áreas de ocupação mais antiga e com menores proporções de remanescentes na porção sul do bioma, enquanto a região norte do Cerrado concentra os últimos grandes remanescentes de vegetação nativa e também as novas frentes de desmatamento que avançam pela subregião do MATOPIBA.

A remoção da vegetação nativa reflete em mudanças rápidas na MOS, a qual é reduzida em um período relativamente curto em solos do Cerrado, causando alterações significativas em suas propriedades (HUNKE et al., 2015).

2.3 Plintossolos Pétricos

Plintossolos são solos minerais bastante ácidos constituídos de grande quantidade de ferro, ou ferro e alumínio, pouco carbono orgânico, argila e outros minerais (SANTOS et al., 2018a), sendo formados a partir das plintitas, que ocorrem quando há segregação do ferro em meio úmido (ALMEIDA et al., 2020), podendo ou não apresentar petroplintitas (concreções ferruginosas consolidadas).

Quando se trata de Plintossolo, Santos et al. (2018a), descrevem que:

Alguns solos desta classe, embora tenham sua gênese associada a condições de excesso de umidade ou restrição temporária à percolação d'água, ocorrem, nos tempos atuais, em condições de boa drenagem, podendo apresentar cores avermelhadas na maior parte do perfil.

Apesar dos demais solos desta classe apresentarem bom escoamento, os Plintossolos Pétricos, caracterizados pela presença de petroplintitas (cascalhos), podem ter uma redução na capacidade de retenção de água no solo, dificultando, muitas vezes, as práticas agrícolas, contudo, quando há práticas de manejo adequadas ao solo, pode-se potencializar o desempenho das culturas (ALMEIDA et. al, 2020).

Esta classe de solo tem sido alvo da expansão da agricultura devido à alta disponibilidade e baixo custo das terras, sendo recomendado nos mesmos o uso de práticas agrícolas que aumentem a sua capacidade em reter e reciclar nutrientes (LEITE et al., 2022).

Os Plintossolos ocorrem em 7% do território nacional, e em 35% da área do Tocantins, no entanto, estes ainda são muito pouco estudados (ALMEIDA et al., 2020), o que demonstra a necessidade de pesquisas voltadas para o melhor manejo destes solos, considerando que estes ocorrem em área considerável do Estado. De acordo com Nascimento et al. (2021), os Plintossolos Pétricos representam 24,3% dos solos do Tocantins.

2.4 Nitrogênio no solo

O N é o elemento mineral que as plantas tem maior necessidade, pois é constituinte de muitos componentes celulares vegetais como a clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos (TAIZ et al., 2017). Nos solos, o N ocorre em quantidades relativamente baixas que variam entre 200 e 4.000 mg.kg⁻¹, estando relacionadas à constituição da matéria orgânica e dinâmica fortemente ligada à atuação de microrganismos (MARTINEZ et al., 2021).

Trata-se de um nutriente de grande mobilidade no solo e sofre forte influência das condições climáticas, sobretudo da temperatura e umidade, sendo que, aproximadamente 3% do N do solo está presente na forma inorgânica, enquanto que 97% deste elemento encontra-se na forma orgânica, sobretudo na MOS, que atua como um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de N para as plantas (GOUVEIA, 2020).

Considerando isso, as formas orgânicas do N no solo são resultantes dos próprios componentes da matéria orgânica presentes no mesmo, as quais são encontradas em grandes quantidades, sobretudo em sua fração proteica

(passível de rápida mineralização), enquanto que na forma inorgânica, o N assume diferentes formas, sendo encontrado na forma de amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), óxido nitroso (N_2O) dentre outras (DIAS, 2016). Apesar da fração orgânica do N ser predominante no solo, as plantas absorvem o N sob as formas inorgânicas, principalmente sob a forma de amônio e nitrato, que podem ser prontamente absorvidos e metabolizados pelas mesmas (ZHANG et al., 2016; TAIZ et al., 2017).

As transformações sofridas pelo N são quase que totalmente dependentes das reações de oxirredução e das taxas de transformação, que variam de um ecossistema para outro, já que são controladas por fatores abióticos como água, temperatura, oxigênio e solo, bem como por fatores bióticos como comunidade de plantas e microrganismos, qualidade da matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes (RODRIGUES et al., 2017).

O N pode ser incorporado no sistema solo-planta por meio de descargas atmosféricas, fixação biológica e adubações minerais ou orgânicas. A fixação biológica e industrial por meio dos fertilizantes, somada à deposição de óxidos de N (produzidos em tempestades, vulcões ou atividades humanas) são as entradas mais importantes de N do sistema solo-planta, sendo que somente a fixação industrial corresponde a mais de 50% do total de N fixado no mundo (MARTINEZ et al., 2021).

Já as saídas de N do sistema solo-planta incluem a remoção de culturas e mecanismos de lixiviação, volatilização e desnitrificação.

No processo de lixiviação, o nitrato (NO_3^-) que é predominante em solos sem restrição de oxigênio, desce no perfil do solo até profundidades inferiores às que são exploradas pelas raízes, podendo inclusive contaminar águas subterrâneas (VIEIRA, 2017).

A volatilização consiste na perda física do gás amônia (NH_3) para a atmosfera. A depender do pH do solo, sobretudo em meio alcalino, os fertilizantes que são compostos por N amoniacal, estão sujeitos a perdas de N (MATTOS JUNIOR et al., 2002; RODRIGUES et al., 2017). Estima-se que a produção de alimentos, incluindo o setor agropecuário, seja responsável pela emissão de 90% da amônia volatilizada do solo para atmosfera (BEUSEN et al., 2008). A ureia é o adubo nitrogenado mais aplicado no Brasil e no mundo, em virtude do menor custo e da alta concentração de N (45%), no entanto, este é o

fertilizante que apresenta maiores perdas de N pela volatilização da amônia (SILVA et al., 2017).

A desnitrificação consiste no retorno do N para a atmosfera, através de processo de respiração anaeróbico dos microrganismos, no qual o NO_3^- , NO_2^- , NO e N_2O , sucessivamente, atuam como aceptores finais de elétrons resultando na produção de gás nitrogênio (N_2), sendo esta uma causas da perda de N na agricultura, que também contribui para produção de N_2O , um dos gases responsáveis pelo aquecimento global (WANG et al., 2021).

Conforme Martinez et al. (2021), o N sofre outras transformações no solo através de processos como: mineralização - degradação da matéria orgânica gerando NH_4^+ (amonificação), realizada por microrganismos heterotróficos em condições redutoras; nitrificação - oxidação do NH_4^+ através das bactérias aeróbias do gênero *Nitrossomonas* e *Nitrobacter* formando o NO_3^- ; imobilização - utilização do N inorgânico (NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) pelos microrganismos para construção dos seus próprios componentes; fixação biológica do N - redução do N_2 a NH_3 (amônia), realizada por microrganismos diazotróficos, incluindo bactérias, cianobactérias e actinomicetos.

2.4.1 Frações do Nitrogênio na matéria orgânica do solo

Segundo Silva et al. (2004), os principais elementos químicos constituintes da matéria orgânica e seus respectivos percentuais são o C (52-58%), O (34-39%), H (3,3-4,8%) e N (3,7-4,15%).

Considerando que o N ocorre em formas predominantemente orgânicas no solo, o mesmo se distribui em grande variedade de compostos ou radicais, demonstrando a diversidade de compostos orgânicos existentes em plantas e em microrganismos do solo. Assim, o N presente na matéria orgânica do solo se apresenta na forma de proteínas, aminoácidos livres, amino-açúcares e outros compostos não identificados (VILLAR, 2007).

Os aminoácidos são uma das formas de N orgânico mais encontradas, representando de 40 a 50% do N orgânico total do solo, que atuam como base para formação de parte da estrutura de peptídeos, incluindo proteínas, e polímeros de amino-açúcares, porém, ressalta-se que aproximadamente 50% do N total do solo ainda não foi devidamente caracterizado e, provavelmente,

estão relacionados ao N heterocíclico presente nas frações húmicas que são resistentes à mineralização (MENGEL, 1996; SCHULTEN; SCHNITZER, 1998).

A predominância do processo de mineralização ou imobilização do N, resultam na maior ou menor disponibilidade de N inorgânico para as plantas (BATISTA et al., 2018).

De acordo com Adame (2018), quando há a adição de um resíduo orgânico no solo, os constituintes deste resíduo se decompõem em taxas variáveis, considerando as diferentes formas de N orgânico encontradas no mesmo, que podem ser de ciclagem mais rápida ou mais lenta, a depender da complexidade da molécula e das condições ambientais.

Quando há aporte de material orgânico com alta relação C/N, normalmente em relações acima de 30:1, ocorre a imobilização de N, sendo que em relações C/N abaixo de 30:1, ocorre a mineralização de N. A partir de valores de relação C/N menores que 18:1, ocorre o balanço líquido positivo de N no solo e quando a relação C/N do material atingir relação C:N igual a 12:1, o material orgânico se encontra estabilizado no solo e os níveis de N se estabilizam novamente (BATISTA et al., 2018).

A labilidade ou recalcitrância do material orgânico aportado ao solo podem influenciar na velocidade de mineralização do N (SILVA et al., 2017). Desta forma, nem todo N presente nos resíduos vegetais é prontamente mineralizado já que uma parte está contida na forma mais lábil da matéria orgânica a qual é passível de rápida mineralização, e outra parte está contida na fração recalcitrante da matéria orgânica, no qual a mineralização ocorre em longo prazo (TERÇARIOL, 2020).

De acordo com Moreira e Siqueira (2006), nas frações mais lábeis de N, a sua permanência no solo pode ser de apenas algumas semanas, por outro lado, aproximadamente 50% do N do solo encontra-se em formas quimicamente estáveis e com reservas pouco reativas que podem permanecer no solo por 175 anos, sendo que outras frações podem apresentar tempo de residência maior que 1.000 anos, as quais estão protegidas contra a decomposição pela formação de complexos com argilominerais no solo.

Segundo Stevenson (1994), a concentração de N total pode variar entre 0,02 e 0,4% em solos sob clima tropical, podendo raramente chegar a 2% no caso de solos orgânicos. Diversas pesquisas tem utilizado o N total para avaliar

os diferentes sistemas de uso da terra e sua relação com o comportamento da MOS (PEGORARO et al.; SILVA et al., 2011; WANG et al., 2017; ZHANG et al., 2020).

Em relação à composição elementar média do N nas substâncias húmicas, este elemento constitui 2,5% dos ácidos fúlvicos, 3,5% dos ácidos húmicos e 3,7% das huminas (RICE; MACCARTHY, 1991). Dentre as diferentes substâncias húmicas, a humina é a que mais se destaca em solos tropicais, considerando que as frações húmicas menos evoluídas (ácidos fúlvicos e húmicos) tendem a ser oxidadas, e as frações mais estáveis (ácidos húmicos e humina) tendem a se acumular (CANELLAS; SANTOS, 2005), o que possibilita maior estocagem de C e N nos ecossistemas (PEGORARO et al., 2011).

2.4.2 Mudanças no uso da terra e Nitrogênio do solo

A mudança do uso da terra e supressão da vegetação nativa afetam as transformações dos elementos químicos no solo, além de contribuir para as mudanças climáticas pelas emissões de gases do efeito estufa (CO_2 , N_2O e CH_4), dentre os quais, o N_2O é o gás de maior potencial para o aquecimento global, apesar da menor quantidade em comparação com o CO_2 (VERAS, 2020).

Contabilizando as emissões de N pelas mudanças do uso da terra, uso de fertilizantes nitrogenados e queima de combustíveis fósseis ao longo do último século, verifica-se que estas emissões já ultrapassaram as emissões de todos os sistemas naturais terrestres, gerando impactos substanciais nos ecossistemas e nos serviços gerados por eles (PENG et al., 2017).

No tocante às interações entre a cobertura vegetal e os atributos do solo em ecossistemas naturais, Freitas et al. (2017) destacaram que estas interações são harmônicas e ocorrem por meio dos processos essenciais da ciclagem de nutrientes, acúmulo e decomposição da MOS e agregação do solo.

O estoque da MOS é regulado, sobretudo pelo aporte dos resíduos orgânicos e pela taxa de decomposição das frações orgânicas (MAIA et al., 2008). O estoque de N no solo possui relação direta com o estoque de C presente no mesmo, portanto, práticas de manejo que afetam o C orgânico do

solo também implicam no conteúdo de N total do solo (WEBER, 2008; CABEZAS, 2017), haja vista que entre 95 e 98% desse elemento está ligado ao C da fração orgânica do solo (STEVENSON, 1994).

Neste sentido, os estoques C e N encontram-se estáveis em solos sob vegetação natural, haja vista que as suas perdas devido à mineralização da matéria orgânica são compensadas pela deposição de material vegetal que ocorre de forma natural em sua superfície e, a atuação dos microrganismos na decomposição desse material produzem substâncias orgânicas que são incorporadas no solo pela água da chuva, fazendo com que o estoque MOS seja naturalmente restabelecido de forma equilibrada e dinâmica (CERRI et al., 2017). Porém, quando os ecossistemas naturais são modificados pelo homem, este equilíbrio dinâmico é quebrado e, geralmente, as entradas de biomassa vegetal passam a ser menores do que as saídas, levando à redução da quantidade e alteração da qualidade da MOS (CERRI et al., 2017).

Quando a vegetação nativa é removida para a conversão da área em sistemas agrícolas, a depender do sistema de manejo empregado para o solo, o estoque de N contido no solo pode permanecer estável, aumentar ou diminuir quando comparado ao sistema natural (SOUZA et al., 2019a), promovendo novas condições desses estoques não só em curto prazo, mas também influenciando no armazenamento desses elementos em longo prazo, tendo em vista o tamanho e distribuição dos reservatórios lábeis e recalcitrantes do solo (ZHANG et al., 2016).

Há de se considerar geralmente, que nos sistemas agrícolas convencionais ocorre maior revolvimento do solo, o que pode reduzir a sua estabilidade estrutural, expondo a MOS à ação da microbiota e, conseqüentemente, reduzindo sua quantidade no solo, enquanto que os sistemas conservacionistas (sistema de plantio direto, sistemas agroflorestais e silvipastoris), que priorizam a manutenção e menor mobilização dos resíduos orgânicos no solo, têm sido mais eficientes em manter e muitas vezes elevar o teor de N do solo (MAIA et al., 2008).

A diversificação de culturas numa mesma área tem sido uma das práticas que tem contribuído para a manutenção ou aumento do N no solo, na medida em que produzem grande quantidade de resíduos de parte aérea e raízes, reduzem processos erosivos e contribuem para ciclagem de nutrientes,

inclusive com o uso de espécies leguminosas, importantes por fixar N atmosférico através da fixação biológica, contribuindo para o aumento do N orgânico mineralizável no solo (MAHAL et al., 2018; MAPA, 2021).

Destaca-se o papel dos microrganismos envolvidos em relações mutualísticas com plantas e seus impactos para MOS em agroecossistemas. Desta forma, diversos fatores relacionados às práticas de manejo influenciam as comunidades de microrganismos do solo, a exemplo da aração que fragmenta a rede de hifas e a fertilização excessiva, que desfavorece a simbiose mutualista (CARMO et al., 2021). Em contraste, os sistemas de manejo menos intensivos, que utilizam práticas agroecológicas como adubação verde e sistemas agroflorestais, apresentam por exemplo, maior diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (PRATES JÚNIOR et al., 2019).

Santos et. al (2022) apontou que as mudanças do N do solo após a conversão de florestas em agricultura e pastagens apresentam dinâmica complexa, variando de um local para o outro, podendo ser afetadas por fatores tais como: tipo e idade da cobertura vegetal, atributos físicos dos solos, clima, topografia e práticas de manejo, quantidade de biomassa e taxas de decomposição dos resíduos de culturas em razão da relação C/N, teor de lignina, agregação e redução da proteção física da MOS.

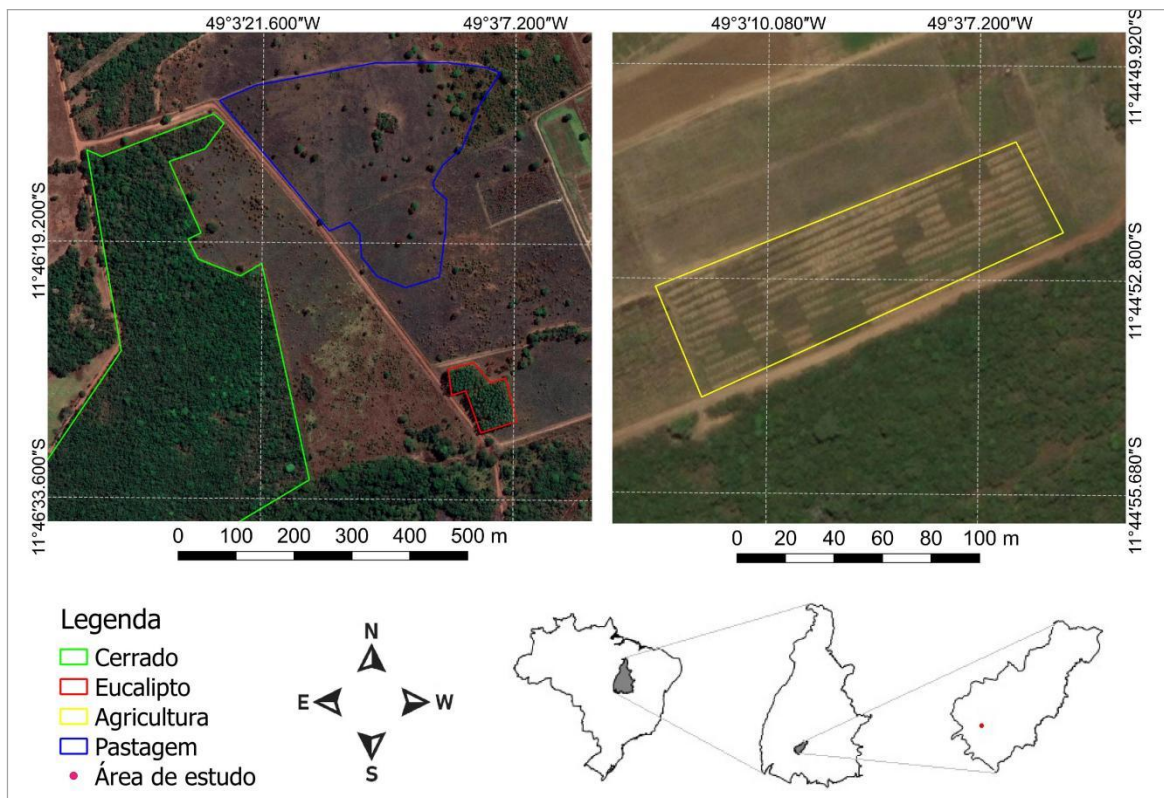
De uma forma ou de outra, nota-se, em geral, que a perda de quantidade e qualidade de MOS resulta na degradação do solo e a sua recuperação está relacionada com a promoção do aporte do conteúdo de Matéria orgânica (STEVENSON, 1994; CASSMAN; GRASSINI, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na fazenda experimental da Universidade Federal do Tocantins, município de Gurupi/TO, nas coordenadas geográficas centrais 11° 46' 25" S e 49° 02' 54" W (Figura 1).

Figura 1 - Localização das áreas experimentais em Gurupi, Sul do Tocantins.



O clima da região segundo Thornthwaite and Mather *method* é do tipo úmido subúmido, com moderada deficiência hídrica no inverno (C2wA 'a'). A temperatura média anual varia entre 25 a 29 °C (SEPLAN, 2017) e a precipitação média anual é de aproximadamente 1580 mm (ALVES et al., 2016).

O solo da área foi classificado como Plintossolo Pétrico, com horizonte diagnóstico B plíntico (SANTOS et al., 2018a).

Maiores detalhes são apresentados a seguir em relação a cada área estudada, quais sejam: área de Cerrado, a qual foi utilizada como testemunha quanto às características analisadas; área com povoamento de Eucalipto; área de Pastagem e área de Agricultura.

3.1.1 Características da área de vegetação nativa (Cerrado)

Área de 22,82 ha ocupada com cobertura de Cerrado *sensu stricto* e idade superior a 60 anos (MARINHO JÚNIOR et al., 2021), localizada nas seguintes coordenadas centrais 11°46'13" S e 49°03'25" W. A Tabela 1 apresenta as espécies florestais existentes na área e seus respectivos parâmetros de dominância absoluta (BENDITO et al., 2018).

Tabela 1 - Principais espécies florestais existentes na área de Cerrado *sensu stricto*, localizado na fazenda experimental da UFT, Campus de Gurupi (TO) e respectivos valores de dominância absoluta (DoA).

Espécie	DoA (m².ha⁻¹)
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	22,66
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	18,08
<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	11,97
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	10,62
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	10,52
<i>Antonia ovata</i> Pohl	10,42
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	8,80
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	8,47
<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.	8,45
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	8,20
<i>Coccoloba mollis</i> Casar.	4,46
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	4,42
<i>Curatella americana</i> L.	4,18
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	3,86
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A.Juss.	3,82
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	3,44
<i>Byrsonima stipulacea</i> A.Juss.	3,07
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	3,06
<i>Roupala montana</i> Aubl.	2,84
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	2,19
<i>Calypttranthes clusiifolia</i> O.Berg	1,03
Outras espécies	33,34
Árvores mortas	9,49
Total	197,39

Fonte: Adaptado de Bendito et al. (2018).

3.1.2 Características da área de Silvicultura - Eucalipto

Área de 0,65 ha com plantio da espécie *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, localizado nas coordenadas centrais 11°46'28" S e 49°03'08" W. A implantação do talhão ocorreu após a remoção da vegetação nativa com utilização de trator esteira com lâmina frontal acoplada, com posterior aração e gradagem do solo.

As mudas de eucalipto utilizadas no plantio foram produzidas pelo viveiro AM Florestal, localizado em Brasilândia – SP, com altura de 25 cm na época do plantio, sendo plantadas em covas com dimensões de 40 x 40 x 40 cm, abertas com utilização de cavadeiras manuais em espaçamento de 3,0 x 2,0 m.

A adubação utilizada em cada cova foi de 100 g de superfosfato simples lançado por volta dos 35 a 40 cm de profundidade, além da adição de 150 g de NPK na formulação 5-25-15, lançado aos 25 cm de profundidade (BARROS, 2017).

3.1.3 Características da área de Pastagem

Área de 11,25 ha, localizada nas coordenadas centrais 11°46'19" S e 49°03'12" W, ocupada com pastagem com idade superior a 40 anos, com predominância do capim *Andropogon* sp., além de outras espécies como *Paspalum notatum* Flüggé, *Eragrostis bahiensis* Schrad, *Axonopus affinis* Chase, *Bothriochloa laguroides* (DC.) Herter, *Schizachyrium microstachyum* (Desv. ex Ham) Roseng, *Paspalum dilatatum* Poir., *Sporobolus indicus* P.Beauv., *Rhynchospora* sp., *Andropogon ternatus*. (Spreng.), *Panpalumis* sp. (MARINHO JÚNIOR et al., 2021).

3.1.4 Características da área de Agricultura

Área de 0,95 ha, utilizada para agricultura, localizada nas coordenadas centrais 11°44'53" S e 49°03'11" W. A área teve o solo preparado com grade niveladora e arado de discos, sendo que as plantas daninhas foram controladas por capina manual associadas ao uso de herbicidas de ação total

como Glyphosate em operações realizadas quando necessário. A área foi utilizada por seis anos com cultivo de milho (*Zea mays* L.), visando a produção de espigas e forragem (MELO et al., 2017).

Os plantios ocorreram anualmente entre os meses de fevereiro e março, adotando-se espaçamento médio de 0,20 x 0,80 m (SIMON et al., 2016). Para a semeadura, foi utilizado uma plantadeira-adubadeira manual que possibilitava a adubação de base. Os nutrientes aplicados na época da semeadura do milho consistiram de N na forma de sulfato de amônio (45% de N), fósforo na forma de superfosfato triplo (42% de P_2O_5) e o potássio na forma de cloreto de potássio (58% de K_2O), correspondendo a 120, 170 e 140 kg ha⁻¹, respectivamente de N, P e K, sendo o N aplicado 50% aos 25 dias e 50% aos 45 dias após a semeadura (MELO et al., 2017). O milho foi colhido manualmente e os restos culturais foram mantidos sobre o solo.

3.2 Amostragem do solo

Para amostragem do solo, foram abertas seis trincheiras em cada área de estudo, sendo a primeira trincheira selecionada ao acaso e as demais distanciadas em aproximadamente 30 m entre si. As trincheiras tiveram largura de 70 x 70 cm e profundidade de 50 cm. A coleta das amostras de solo ocorreu no período seco, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm, sendo esta última considerada a camada de impedimento.

As amostras deformadas do solo foram secas ao ar em temperatura ambiente e passadas em peneira de 2 mm para realização das análises físicas e químicas. As amostras não deformadas, foram coletadas e submetidas à análise para determinação da densidade do solo.

3.2.1 Análises físicas

A determinação da densidade do solo foi realizada por meio do método do cilindro volumétrico, conforme descrito por Almeida et al. (2017). Desta forma, cilindros de aço inoxidável com 3 cm de diâmetro e 8 cm de altura foram inseridos e retirados do solo sem ocorrer deformação.

As amostras não deformadas foram submetidas à secagem por 72 horas, utilizando-se uma estufa de ventilação forçada com temperatura regulada para 105°C, sendo determinada a massa de solo seco.

Posteriormente a densidade do solo foi calculada pela Equação 1, conforme a seguir:

$$D_s = m_a / V \quad (1)$$

Em que:

D_s = Densidade do solo, em kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3});

m_a = Massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g;

V = Volume do cilindro, em cm^3 .

Para determinação da granulometria das partículas do solo foram utilizadas amostras de solo deformadas, utilizando-se o método da pipeta, conforme descrito por Donagemma et al. (2017).

3.2.2 Análises químicas

As amostras de solo foram maceradas em almofariz de porcelana e pistilo até formar um pó fino depois passadas em peneira de malha de 150 μm . Os teores de N total no solo (N-S) foram determinados através deste material, pelo método de combustão a seco, utilizando analisador elementar (Modelo PE-2400 Série II Perkin Elmer).

Para determinação dos teores de N nas substâncias húmicas, primeiramente foi realizada a extração das frações húmicas de acordo com o método da *International Humic Substances Society* - IHSS (SWIFT, 1996), obtendo-se os ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (Hum), com base na solubilidade diferencial em soluções alcalinas e ácidas. Para tanto, a extração foi realizada com uma mistura de 200 g de solo com solução de HCl 0,1 mol L^{-1} na proporção de 1 g de solo para cada 10 mL de solução, sendo agitada manualmente por 1 hora, ficando depois em repouso por 4 horas.

O extrato sobrenadante foi sifonado e reservado, correspondendo ao extrato I de AF. Assim, a solução de NaOH 0,1 mol L^{-1} foi adicionada e precipitada na mesma proporção citada anteriormente (1:10) e também realizada agitação manual. Após este período, a solução foi deixada em repouso por 16 horas, seguindo na sequência para a nova retirada da mistura,

na qual o material precipitado foi separado, correspondendo à fração Hum e fração mineral.

O material sobrenadante, referente às frações AF e AH, foi centrifugado por 10 minutos a 10.000 rpm, sendo depois acidificado pela adição de 50 mL de HCl 6 mol L⁻¹ até atingir o valor de pH entre 1 e 2 e agitado manualmente por dois minutos. Após este procedimento, a solução foi deixada em repouso por 12 horas. Por fim, após separação por desvio do sobrenadante, referente ao extrato II de AF, obteve-se o material precipitado que está relacionada à fração de AH.

Posteriormente ao fracionamento das substâncias húmicas, as amostras foram congeladas e liofilizadas para determinação dos teores de N em cada fração húmica (AF, AH e Hum), a partir do método de combustão a seco, utilizando um analisador elementar do mesmo modelo mencionado anteriormente.

3.2.3 Determinação dos estoques de N

Com base nos teores de N obtidos anteriormente, foi realizada a determinação do estoque N no solo e nas frações húmicas em Mg ha⁻¹, em cada profundidade amostrada, conforme Equação 2 a seguir:

$$\text{EstN} = \text{TN} \times \text{D}_s \times e \quad (2)$$

Em que:

EstN = Estoque de N na camada do solo, em Mg ha⁻¹;

TN = Teor de N na fração amostrada de solo, em g kg⁻¹;

D_s = Densidade do solo, em g cm⁻³;

e = espessura da camada, em cm.

Após o cálculo do estoque de N em cada camada, foi realizada a correção do estoque de N, levando em consideração as diferenças na massa do solo (SISTI et al., 2004). Por fim, o estoque total de N no solo e nas substâncias húmicas na profundidade de 0 a 50 cm foi resultante da soma dos valores obtidos em cada camada amostrada.

3.3 Análises estatísticas

Os parâmetros avaliados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro Wilk e submetidos à análise de variância para avaliar as diferenças dos teores de N entre os diferentes usos da terra nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm, bem como os estoques de N acumulados na entre 0-50 cm. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância, utilizando o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características físicas do solo

A textura dos solos foi classificada como franco-argilo-arenosa em todas as camadas e áreas avaliadas (Tabela 2), com predominância da fração areia (grossa e fina), que variou aproximadamente entre 63 a 69%, o que confere aos mesmos características de solos arenosos.

Tabela 2 - Características físicas do solo no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), nas coberturas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*.

Cobertura	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Densidade do Solo
	-----%-----				g cm ⁻³
Profundidade 0-10 cm					
Eucalipto	54,85 ±3,12	9,98 ±2,99	9,19 ±1,23	25,98 ±2,38	1,40 ±0,05
Agricultura	56,71 ±1,59	9,41 ±3,71	7,86 ±0,80	26,02 ±3,32	1,37 ±0,06
Pastagem	55,59 ±1,79	13,44 ±1,63	6,64 ± 0,57	24,33 ±1,21	1,55 ±0,08
Cerrado	57,50 ±2,85	6,33 ±1,89	8,44 ±1,32	27,73 ±3,01	1,45 ±0,06
Profundidade 10-20 cm					
Eucalipto	56,04 ±2,24	9,09 ±1,90	6,85 ±2,17	28,02 ±1,91	1,53 ±0,07
Agricultura	57,84 ±1,86	8,92 ±2,09	7,54 ±1,19	25,70 ±2,90	1,49 ±0,08
Pastagem	57,84 ±1,32	10,55 ±1,84	7,26 ±1,75	24,35 ±1,76	1,59 ±0,05
Cerrado	59,96 ±2,03	4,71 ±2,12	8,51 ±2,33	26,82 ±2,24	1,51 ±0,05
Profundidade 20-30 cm					
Eucalipto	55,62 ±1,56	7,53 ±1,81	8,38 ±1,48	28,47 ±1,08	1,57 ±0,05
Agricultura	57,67 ±2,23	8,28 ±3,47	6,56 ±0,73	27,49 ±2,70	1,51 ±0,07
Pastagem	58,31 ±1,02	8,98 ±1,39	7,10 ±0,80	25,61 ±1,36	1,62 ±0,07
Cerrado	59,30 ±2,36	4,67 ±3,09	8,47 ±1,44	27,56 ±2,66	1,55 ±0,03
Profundidade 30-40 cm					
Eucalipto	55,89 ±1,68	8,75 ±2,08	8,82 ±1,68	26,54 ±2,36	1,65 ±0,04
Agricultura	57,39 ±2,22	7,44 ±3,78	6,74 ±1,00	28,43 ±4,05	1,57 ±0,03
Pastagem	58,16 ±1,44	9,44 ±2,17	6,23 ±1,46	26,17 ±1,81	1,64 ±0,06
Cerrado	58,43 ±3,23	4,43 ±2,89	8,68 ±1,55	28,46 ±2,33	1,62 ±0,03
Profundidade 40-50 cm					
Eucalipto	55,95 ±1,62	7,93 ±1,62	8,85 ±1,47	27,27 ±2,98	1,68 ±0,02
Agricultura	57,04 ±2,45	6,89 ±2,55	7,23 ±0,45	28,84 ±3,64	1,61 ±0,07
Pastagem	57,57 ±1,54	8,78 ±2,75	6,85 ±1,13	26,80 ±2,65	1,69 ±0,04
Cerrado	58,46 ±3,16	5,52 ±4,19	8,38 ±1,78	27,64 ±2,00	1,65 ±0,03

Fonte: Autor (2023).

A textura do solo é considerada um atributo físico permanente, estando pouco sujeita à alteração em função dos usos e sistemas de manejo (REINERT e REICHERT, 2006; STEFANOSK et al., 2013).

Solos arenosos possuem geralmente menores teores de matéria orgânica que solos argilosos, considerando que o maior teor de argila nestes solos confere maior proteção à MOS, levando a menores perdas (CENTENO et al., 2017; ZINN et al., 2018).

Paralelamente, a concentração de N total no solo também está correlacionada com a sua textura, geralmente apresentando maiores teores em solos argilosos que em solos arenosos (SANTOS, 2017; OLIVEIRA FILHO et al., 2022). De acordo com Wuaden et al. (2020), o N do solo associado às frações silte e argila está fortemente protegido da decomposição microbiana devido a adsorção organo-mineral, sobretudo em solos tropicais.

A densidade do solo é um parâmetro que permite avaliar o nível de compactação do solo (REINERT; REICHERT, 2006). Em geral, a área de Pastagem apresentou valores de densidade do solo ligeiramente superiores aos das demais coberturas. Apesar disso, o impacto desta diferença no cálculo do estoque de N foi contornado pelas correções utilizadas por Sisti et al. (2004).

Densidades mais elevadas na área de Pastagem estão relacionadas provavelmente à compactação causada pelo pisoteio do gado, conforme também sugerido por Bastos et al. (2021) e Locatelli et al. (2022).

Estes autores destacaram que uma densidade aumentada afeta outras propriedades do solo, reduzindo a aeração e infiltração, com provável queda na produtividade em função da redução do crescimento de radicular. Isso provavelmente tenha implicado em menores teores N no solo e nas substâncias húmicas na área de Pastagem, conforme resultados apresentados adiante.

4.2 Nitrogênio total no solo

4.2.1 Teor de N total no solo

Foram verificadas diferenças significativas entre os teores médios de N total no solo (N-S) entre as camadas na mesma cobertura vegetal, com exceção dos

teores médios de N-S na área de Pastagem, que foram estatisticamente iguais ao longo do perfil estudado (Tabela 3).

Tabela 3 - Teores (g kg^{-1}) de N total no solo (N-S) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), nas coberturas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*.

Cobertura	N-S
	(g kg^{-1})
	Profundidade 0-10 cm
Eucalipto	1,952 Aa
Agricultura	1,528 ABa
Pastagem	1,175 Ba
Cerrado	1,170 Ba
	Profundidade 10-20 cm
Eucalipto	1,527 Aab
Agricultura	1,357 Aab
Pastagem	0,997 Aa
Cerrado	1,003 Aab
	Profundidade 20-30 cm
Eucalipto	1,047 Abc
Agricultura	0,995 Aab
Pastagem	0,837 Aa
Cerrado	0,763 Aab
	Profundidade 30-40 cm
Eucalipto	0,835 Ac
Agricultura	0,911 Ab
Pastagem	0,757 Aa
Cerrado	0,660 Aab
	Profundidade 40-50 cm
Eucalipto	0,535 Ac
Agricultura	0,808 Ab
Pastagem	0,655 Aa
Cerrado	0,570 Ab

Fonte: Autor (2023). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas referem-se à comparação das diferentes coberturas em uma mesma camada e letras minúsculas referem-se à comparação das médias da mesma cobertura em diferentes camadas.

Em geral, as coberturas avaliadas apresentaram redução gradual das concentrações médias de N-S ao longo do perfil de 0-50 cm, sendo verificado que entre a camada superficial (0-10 cm) e última camada (40-50 cm) houve decréscimo dos teores de N-S e N nas substâncias húmicas superior a 70%, 46%, 44% e 51%, respectivamente, nas áreas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado (Tabela 3).

Diversos estudos apresentaram resultados nos quais os teores de N-S decresceram com o aumento da profundidade, sendo isso atribuído principalmente à maior concentração de matéria orgânica na camada superficial do solo pela deposição de biomassa aérea das plantas (GROPPO et al., 2015; SANTANA et al., 2019; FIGUERÊDO et al., 2020; ALMEIDA et al., 2021), bem como à maior densidade de raízes finas nas primeiras camadas (MEDEIROS et al., 2018).

Entretanto, este padrão de distribuição não é uma regra, haja vista que outros estudos também demonstraram variações nos teores de N, com camadas mais profundas apresentando valores mais elevados que camadas superficiais, inclusive em áreas nativas sem qualquer intervenção antrópica (ASSIS et al., 2006; SCHAEFER et al.; SOUZA et al., 2016).

A maior parte do N total do solo está presente em formas orgânicas (GOUVEIA, 2020), sendo que as variações verificadas nos teores de N ocorrem em grande parte pelas alterações da MOS. Lal (2018) separou os fatores que atuam sobre a matéria orgânica em dois grupos: fatores endopedônicos, relacionados às propriedades do solo e da biomassa das plantas e fatores exopedônicos, relacionados ao microclima, características atmosféricas e formas de uso e manejo da terra (uso de espécies perenes ou anuais, formas de colheita, manejo de animais, aporte de água e nutrientes, revolvimento ou não do solo).

Considerando disso, foram identificadas diferenças significativas entre teores N-S das diferentes coberturas do solo na camada 0-10 cm, sendo que a partir desta profundidade os teores foram estatisticamente iguais entre as áreas (Tabela 3).

Na camada 0-10 cm, a área de Eucalipto apresentou o maior valor médio significativo de N-S, com diferenças em relação às médias das áreas de Pastagem e Cerrado, que apresentaram os menores valores médios significativos (Tabela 3). Já os valores médios de N-S da área de Agricultura e das demais coberturas foram semelhantes entre si na referida camada.

Embora os teores de N-S nas demais camadas não tenham indicado diferenças estatísticas entre as coberturas, de forma geral, entre 0-30 cm de profundidade os valores médios de N-S foram numericamente mais elevados na área de Eucalipto, decrescendo na seguinte ordem em relação as outras

áreas: Eucalipto > Agricultura > Pastagem > Cerrado (Tabela 3). Já entre 30-50 cm de profundidade os valores médios de N-S foram mais elevados na área de Agricultura, decrescendo na seguinte ordem na camada 30-40 cm: Agricultura > Eucalipto > Pastagem > Cerrado, e da seguinte forma na camada 40-50 cm: Agricultura > Pastagem > Cerrado > Eucalipto (Tabela 3).

Em ecossistemas nativos como florestas e cerrados, a MOS atua como componente no equilíbrio do ciclo de N, sendo que as mudanças de uso da terra e manejo adotado interferem no equilíbrio dinâmico do solo e da MOS (CERRI et al., 2017), podendo manter, reduzir e aumentar os teores de N total a depender do uso e manejo aplicado (SOUZA et al., 2019a; SANTANA et al., 2022). Embora grande parte das pesquisas apontem para redução das reservas de N com tais mudanças (LOCATELLI et al., 2022; FIGUERÊDO et al., 2020; SOUZA et al., 2016), o comportamento dos teores de N-S desse estudo corroboram com outros trabalhos, sendo percebido na maioria das camadas e nos diferentes usos que os teores de N total no solo mantiveram-se estáveis ou apresentaram aumentos em relação aos teores de ecossistemas de referência (ALMEIDA 2017; SANTOS et al., 2018b; REGO, 2021).

Almeida (2017) mensurou os teores de N em Latossolos (0-100 cm de profundidade) no Estado de São Paulo, ocupados com *Eucalyptus grandis* manejados com manutenção dos resíduos florestais da colheita e em área de Cerrado *sensu stricto* (área de referência), e constatou teores de N entre a primeira e última camada variando entre 0,80 e 0,26 g kg⁻¹ e 0,79 e 0,29 g kg⁻¹, respectivamente, nas áreas de eucalipto e área de referência, com resultados estatísticos semelhantes ou iguais na maioria das camadas. Os teores médios do presente estudo foram superiores aos encontrados por este autor nas camadas correspondentes.

Santos et al. (2018b) compararam os teores de N total (0-100 cm de profundidade), em diferentes sistemas de uso sobre Plintossolo Háplico em Projetos de Assentamento do INCRA no Maranhão e verificaram que os referidos sistemas não interferiram nos teores de N quando comparados aos valores da área de referência (Floresta secundária), sendo que na camada 0-10 cm, os valores observados foram de 0,82 g kg⁻¹ em área de agricultura tradicional, 0,85 g kg⁻¹ em área de pastagem (*Hyparrhenia rufa* e *Brachiaria brizantha*) e 1,12 g kg⁻¹ na área de referência. O teor de N na área de Floresta

Secundária se aproximou do teor médio da área de Cerrado (camada 0-10 cm), enquanto que as demais áreas apresentaram valores inferiores aos usos correspondentes do presente estudo.

Rego (2021) mediu os teores de N em Plintossolos (0-40 cm de profundidade) na Amazônia maranhense ocupados com pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu de 49 anos de idade e Floresta secundária (área de referência) e constatou teores entre a primeira e última camada com variação entre 1,11 e 0,79 g kg⁻¹ e 1,01 e 0,76 g kg⁻¹, respectivamente, nas áreas de pastagem e área de referência, concluindo que a pastagem não causou modificações significativas nos teores de N no solo. Os resultados obtidos por esse autor foram semelhantes aos obtidos neste trabalho nas áreas de Cerrado e Pastagem nas camadas correspondentes.

Alves (2019), estudando sistemas agropecuários em Plintossolos (0-30 cm de profundidade) no Estado do Rio Grande do Sul, encontrou estoques de N total na camada 0-10 cm em área de pastagem de azevém (*Lolium multiflorum*) rotacionada com cultivo de soja de aproximadamente 1,2 g kg⁻¹, enquanto que a área rotacionada com soja/milho apresentou estoque de 0,7 g kg⁻¹, ambas após 14 anos de conversão de pastagem natural em sistema ILP. Os valores do primeiro sistema ficaram próximos aos obtidos na área de Pastagem da presente pesquisa.

Castelo Branco et al. (2002) avaliaram o teor de N em Plintossolos (0-20 cm de profundidade), ocupadas com pastagens (incluindo o gênero *Andropogon*), em diversas áreas na região norte do Estado do Piauí, caracterizadas pela deficiência de N no solo e encontraram teores variando de 0,086 g kg⁻¹ a 0,564 g kg⁻¹. Observa-se que estes valores ficaram bem aquém do teor médio de N na área de Pastagem do presente estudo.

Souza et al. (2016), estudando Plintossolo Háplico de textura argilosa (0-20 cm de profundidade) em região de “campos de murundus” no Cerrado goiano, convertidas em área agrícola de soja e milho em sistema de plantio direto com 7, 11 e 16 anos de cultivo, apresentaram teores de N entre a primeira e última camada variando, respectivamente entre 2,9 a 5,1 g kg⁻¹, 2,1 a 5,6 g kg⁻¹ e 2,4 a 5,9 g kg⁻¹, sendo que, em geral os teores de N foram maiores em área de vegetação nativa entre murundus (área de referência), variando entre 3,6 a 6,6 g kg⁻¹, com maiores valores se apresentando na

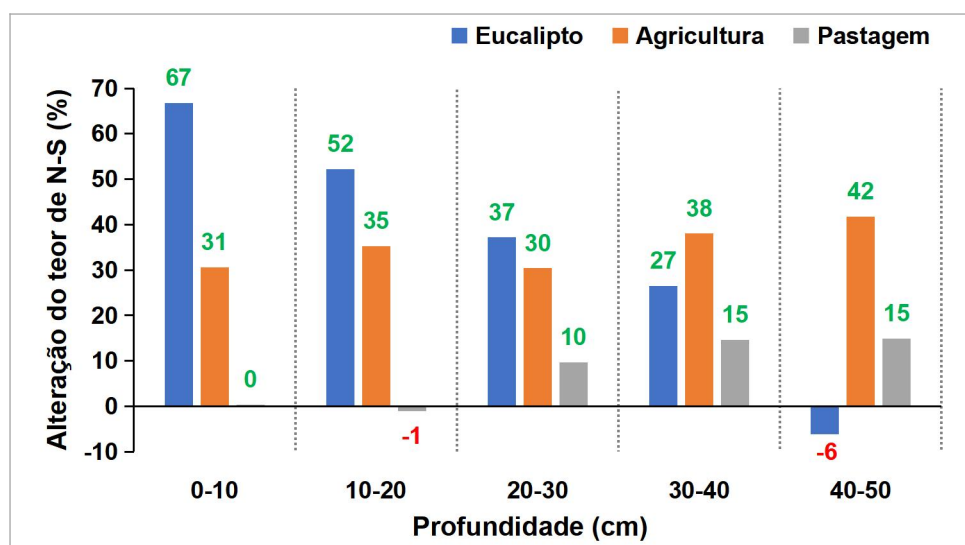
camada entre 2,5-5,0 cm de profundidade. Estes valores superaram os teores de N do presente estudo, uma vez que se referem à profundidade de 0-20 cm, sendo possivelmente beneficiados pelos maiores teores de argila naqueles solos (45%).

Valores superiores também foram observados por Vasconcelos et al. (2016) em Plintossolos Pétricos de áreas nativas de canga ferrífera na região de Serra Sul de Carajás, Estado do Pará, onde foram encontrados teores de N na camada de 5-20 cm de profundidade de 3,602 g kg⁻¹, 3,710 g kg⁻¹ e 7,714 g kg⁻¹, respectivamente nas fisionomias de campo rupestre aberto, campo rupestre arbustivo e capão florestal.

4.2.2 Alterações dos teores de N total no solo após as mudanças de uso da terra

Quando comparada à área de referência, a área de Eucalipto apresentou aumento nas concentrações médias de N-S, variando de 27% a 67% ao longo das camadas entre 0-40 cm, ao passo que na camada 40-50 cm houve redução de 6% do teor médio (Figura 2).

Figura 2 - Balanço de perdas e ganhos (%) nos teores de N no solo (N-S) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), após conversão de Cerrado *sensu stricto* para cultivo de Eucalipto, Agricultura e Pastagem.



Fonte: Autor (2023).

Os incrementos nos teores de N-S na área de Eucalipto na camada entre 0-40 cm e, em especial na camada 0-10 cm, podem estar relacionados ao contínuo fornecimento de resíduos vegetais (folhas, galhos e casca das árvores) e manutenção dos mesmos sobre a superfície, ao menor revolvimento do solo em relação à agricultura convencional, reduzindo a exposição da MOS armazenada nas camadas mais profundas ao ataque de microrganismos, bem como à agregação do solo promovida ao longo do tempo, levando a maior proteção e resistência da MOS aos processos de erosão e lixiviação (MEDEIROS et al., 2018).

Deve-se atentar ainda para a grande quantidade de resíduos vegetais retornados ao solo e a alta relação C/N e teor de lignina e celulose do material depositado, o que leva à lenta decomposição dos resíduos do eucalipto (PULROLNIK et al., 2009; BARBOSA et al., 2017; BIELUCZYK et al., 2020). Sobre isso, Santos Neto et al. (2015) constataram uma produção média mensal de matéria seca de serapilheira de 522,6 kg ha⁻¹ em plantio de *Eucalyptus urophylla* com cinco anos de idade, enquanto que Barbosa et al. (2017) constataram um estoque de serapilheira acumulada sobre o solo de 13,1 Mg ha⁻¹ em plantios da mesma espécie e idade, que equivalem a um estoque de N total de 83,6 kg ha⁻¹, com relação C/N ≈ 67:1.

Além disso, o microclima e a proteção do solo promovidas pelas árvores e serapilheira do eucalipto reduzem a incidência direta de raios solares e da chuva sobre o solo, mantém a umidade e temperatura em níveis mais uniformes e contribuem para a infiltração da água no perfil, o que beneficia o desenvolvimento radicular e regulação da atividade microbiana do solo, reduzindo as taxas de mineralização da MOS (SILVA, 2017; VALADÃO et al., 2019) e, conseqüentemente do N orgânico.

Em relação a redução do teor de N-S verificado na camada mais profunda (40-50 cm), Medeiros et al. (2018) encontraram resultados semelhantes, atribuindo isso ao profundo revolvimento do solo na etapa do plantio do eucalipto e à lenta substituição das plantas com a mudança de uso, no entanto, sugeriram a possibilidade de recuperação destes teores ao longo do tempo.

Os menores valores de N-S verificados na última camada (40-50 cm) também podem ter relação com a provável redução de biomassa de raízes

nesta profundidade, por coincidir com a camada de impedimento do solo, possivelmente reduzindo a quantidade de material orgânico das raízes nessa profundidade. Spera et al. (2021) ressaltaram que as concreções presentes em Plintossolos Pétricos afetam o crescimento radicular, sobretudo de cultivos perenes.

Em relação à área de Agricultura, foi verificado um aumento do teor médio de N-S variando entre 30% e 42% ao longo de todo o perfil avaliado quando comparada a área de referência (Figura 2), apesar de muitos estudos sugerirem uma tendência do N total ser menor em áreas agrícolas que áreas nativas, sobretudo quando manejadas de forma convencional, devido à exposição e revolvimento do solo, ciclo curto das culturas, exportação da produção, entre outros fatores (SANTANA et al., 2019; ZHANG et al., 2020; LOCATELLI et al., 2022).

Isso pode estar relacionado à constante aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho (WEBER; MIELNICZUK, 2009; SANTANA et al., 2019; SANTOS et al., 2022). Outros estudos sugerem também possível aumento de N-S às evidências de fixação biológica de N atmosférico por bactérias endofíticas em simbiose com algumas poaceas como o milho (FERREIRA NETO et al.; VIEIRA, 2017; BRANCO; PRATES JÚNIOR, 2022; SANTANA et al., 2019).

Além disso, houve a manutenção da palhada após a colheita do milho, sendo esta uma prática conservacionista que possui vários benefícios como a proteção do solo e da biodiversidade e ciclagem da matéria orgânica, promovendo o retorno de N ao solo, considerando o significativo aporte de resíduos vegetais gerados por esta espécie (CHEN et al., 2018; SPERA et al., 2019). Sobre isso, Redin et al. (2018) mensuraram a produção de biomassa seca da parte aérea do milho encontrando produção de $6,55 \text{ Mg ha}^{-1}$ na época da colheita, sendo que o teor de N total no material coletado foi de $4,4 \text{ g kg}^{-1}$, apresentando relação C/N igual a 105:1. A alta relação C/N dos resíduos desta cultura eleva o tempo necessário para decomposição do material orgânico, liberando os nutrientes lentamente e reduzindo as perdas por lixiviação (LIMA, 2021).

Sobre a área de Pastagem, esta apresentou estabilidade do teor médio de N-S na camada 0-10 cm, leve queda (1%) na camada 10-20 cm e aumento

de 10% e 15% nas camadas entre 30-50 cm (Figura 2). Alguns estudos tem demonstrado que a implantação de pastagem na região de Cerrado mantém os estoques de MOS, podendo também superar os teores originais de áreas nativas, porém quando bem manejadas (ROSCOE et al., 2006). Desta forma, valores médios próximos de N-S entre a área Pastagem e Cerrado podem estar relacionados ao potencial de produção de biomassa das gramíneas (SANTANA et al., 2019). Sobre isso, Flores et al. (2014) constataram uma produção de biomassa seca da parte aérea de 9,37 Mg ha⁻¹ em experimento com *Andropogon gayanus*, na mesma região do presente estudo, sendo submetidos à fertilização com N. Apesar da alta produção de biomassa, Guimarães et al. (2010) indicaram relação C/N na serapilheira de pastagens variando entre 32:1 a 49:1, o que indica uma maior labilidade desse resíduo em relação aos dos outros cultivos e à área de referência.

Santos et al. (2019) sugeriram também que grande parte da MOS em áreas de pastagens é originária das raízes. O sistema radicular das gramíneas é bem distribuído e pode alcançar as camadas mais profundas e densas do solo (VIEIRA et al., 2015; CONCEIÇÃO et al., 2017), sendo continuamente renovadas e decompostas pelos microrganismos (WENDLING et al., 2011; CERRI et al., 2017; ALMEIDA et al., 2021), o que pode explicar a elevação dos teores de N-S verificados nas camadas mais profundas (20-50 cm), conforme também sugeriram Giacomo et al., 2015. Outra possível relação está relacionada ao fornecimento de N através de excretas animais em pastejo (OLIVEIRA et al., 2016; RACHWAL et al., 2022) e ao fato destes solos não terem sido revolvidos (ZEFERINO et al., 2021; RACHWAL et al., 2022).

A influência das plantas sobre as reservas N no solo também está no fato de que as coberturas vegetais possuem características diferenciadas em relação à quantidade de biomassa produzida e aos padrões de sua distribuição nos ecossistemas, sendo estas características importantes na avaliação das mudanças de uso da terra (ROQUETTE, 2018).

Neste sentido, a serapilheira constitui a principal forma de retorno dos constituintes minerais da vegetação para o solo, sendo que a sua produção e o respectivo teor de N incorporado ao solo dependem, entre vários fatores, das características edafoclimáticas e características das espécies vegetais

utilizadas, idades e espaçamento entre plantas (RIBEIRO et al., 2022; VALADÃO et al., 2019).

Devido a alta diversidade florística, inclusive de espécies fixadoras de N atmosférico, a serapilheira das florestas tropicais é altamente heterogênea, o que implica na diversificação da comunidade de microrganismos do solo, tornando o tempo de permanência do N na serapilheira de áreas nativas menor em virtude da maior taxa de mineralização (BARBOSA et al., 2017; SILVA et al., 2018b).

Áreas de Cerrado *sensu stricto* aportam ao solo resíduos de fácil decomposição e maior liberação de N quando comparadas com outras fisionomias do bioma Cerrado, verificada pela menor relação C/N destes materiais (GIÁCOMO et al., 2015). Estudos constataram que a relação C/N da serapilheira desta fisionomia está em torno de 50:1 (ALMEIDA; MARTINS, 2017).

Relacionado a isso, Teixeira et al. (2016) investigaram a produção anual de serapilheira na mesma área de Cerrado do presente estudo e encontraram uma produção de 1349,01 kg ha⁻¹, representando um estoque de N total nos resíduos de 13,5 kg ha⁻¹, valor este considerado baixo em comparação com outras áreas florestais. Este resultado pode ser uma forte razão para os menores teores de N-S na área de referência e teores mais expressivos de N-S nas áreas de Eucalipto, Agricultura e Pastagem.

Isso está relacionado ao fato da área de Cerrado ser uma vegetação semi-aberta, considerando o espaçamento entre as árvores, somado ainda ao pequeno porte da estrutura florestal que está sujeita à ocorrência do fogo por meio de processos naturais (ROQUETTE, 2018; SANTANA et al., 2019, RIBEIRO et al., 2022).

Paiva e Faria (2007) sugerem que a menor quantidade de resíduos da parte aérea em Cerrado *sensu stricto* provavelmente esteja relacionada à estratégia de aplicação de parte dos fotossimilados produzidos na formação de um sistema radicular mais espesso e profundo, garantindo a absorção de água e nutrientes para atender à demanda da vegetação, especialmente no período de seca. Assim, de forma semelhante à serapilheira, os resíduos oriundos das raízes promovem grande influência nos estoques de N no solo (SANTOS et al., 2019).

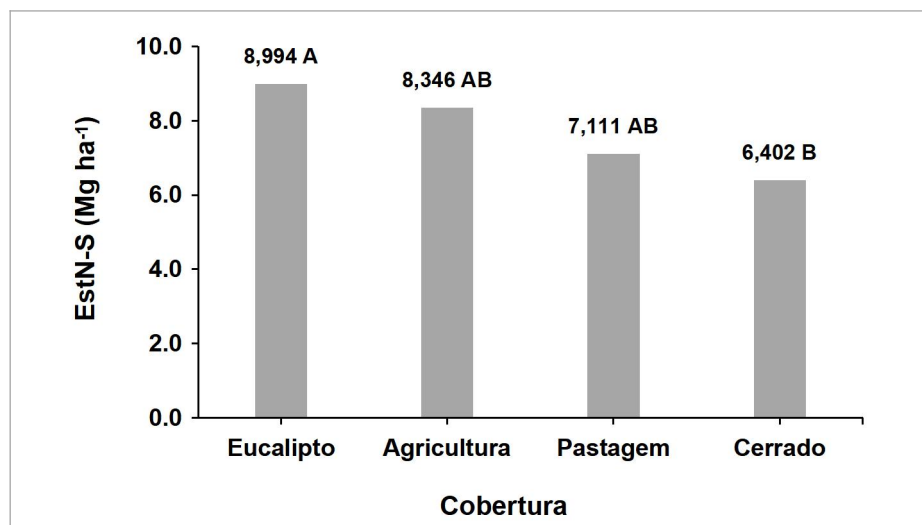
Corroborando com isso, pesquisas realizadas nas mesmas áreas e profundidades do presente estudo avaliaram o estoque de biomassa radicular (LIMA et al., 2022) e estoque de N presente nestas raízes (LIMA et al., 2023), sendo verificado maior estoque de biomassa de raízes na área de Cerrado ($\approx 12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$), seguido das áreas de Eucalipto ($\approx 4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$), Pastagem ($\approx 2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Agricultura ($1,18 \text{ Mg ha}^{-1}$), ao passo que o estoque de N presente nas raízes foi maior na área de Cerrado, devido à fixação biológica de N pelas espécies leguminosas, depois na área de Agricultura, em virtude da frequência da fertilização com N, seguido das áreas de Eucalipto e Pastagem.

Pulrolnik et al. (2009) indicaram uma decomposição mais rápida em raízes de pastagens que raízes de eucalipto em virtude da menor relação C/N das pastagens. Comparativamente, Bieluczyk et al. (2020) verificaram menor relação C/N em raízes de milho (C/N $\approx 34:1$) e pastagem (C/N $\approx 73:1$) e maior relação C/N nas raízes de eucalipto (C/N $\approx 103:1$), o que torna a mineralização de N mais lenta nestes resíduos. Esta relação provavelmente contribuiu para os resultados obtidos no presente estudo.

4.2.3 Estoques de N total no solo

Após determinação dos teores de N-S foram calculados os estoques médios de N-S (EstN-S) acumulados para toda a camada compreendida entre 0-50 cm de profundidade em cada área de estudo (Figura 3).

Figura 3 - Estoques (Mg ha⁻¹) de N no solo (EstN-S) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins entre 0-50 cm de profundidade, nas coberturas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Autor (2023).

Foram verificadas diferenças significativas nos estoques médios de N total no solo entre as áreas de Eucalipto (8,944 Mg ha⁻¹) e Cerrado (6,402 Mg ha⁻¹), as quais apresentaram, respectivamente, o maior e menor valor médio significativo para EstN-S entre as áreas avaliadas (Figura 3).

As médias das áreas de Agricultura (8,346 Mg ha⁻¹) e Pastagem (7,111 Mg ha⁻¹) apresentaram valores de EstN-S intermediários aos das demais coberturas. Os resultados estatísticos indicaram que as médias destas áreas e das outras coberturas foram semelhantes entre si (Figura 3).

Embora não tenham sido identificadas diferenças significativas entre estas e demais coberturas, numericamente os valores médios de EstN-S decresceram na seguinte ordem: Eucalipto > Agricultura > Pastagem > Cerrado.

Logo, quando comparadas à área de referência, as variações nos EstN-S nas áreas de Eucalipto, Agricultura e Pastagem foram positivas, o que indica que os sistemas de uso avaliados promoveram aumento dos valores médios dos estoques de, respectivamente, 40% (2,592 Mg ha⁻¹), 30% (1,944 Mg ha⁻¹) e 11% (0,709 Mg ha⁻¹), considerando todo o perfil de solo (0-50 cm).

Esse resultado demonstra a correlação dos estoques de N encontrados no presente estudo e os resultados encontrados para os estoques de C nas

mesmas coberturas e profundidades, estudadas por Marinho Júnior et al. (2021).

Isso se deve ao fato de que o C e N na MOS estão acoplados um ao outro, de forma que a manutenção do estoque de C e da própria MOS depende da quantidade de N no solo, o que significa também que o conteúdo de N orgânico do solo não pode ser acrescido sem que haja acréscimo correspondente no total de C, e vice-versa (JESUS, 2017; ZINN et al., 2018). De todo modo, observa-se que o impacto da mudança do uso da terra sobre os teores de N ocorrem em menor intensidade que os teores de C (ZINN et al., 2018; SANTANA et al., 2019; LOCATELLI et al., 2022).

Além dos fatores tratados anteriormente, que possivelmente influenciaram os teores de N-S, deve-se ressaltar também as diferenças entre os períodos de uso e manejo das áreas de cultivo, uma vez que, o valor médio obtido na área de Eucalipto refere-se ao EstN-S após 11 anos de uso da área para atividade de silvicultura. Já o EstN-S obtido na área de Agricultura refere-se ao cultivo de milho por período de seis anos, enquanto que na área de Pastagem o EstN-S diz respeito ao uso da área para pecuária por período superior a 40 anos.

Deve-se considerar ainda que a área de Eucalipto constitui um sistema de cultivo perene, ainda não submetido aos ciclos de corte para exploração de madeira, o que implicou em maior proteção do solo, aporte de serapilheira pela cultura, provavelmente contribuindo para o maior estoque de N no solo. Apesar disso, McMahon et al. (2019) destacaram em seus estudos que a produtividade aérea de plantios de Eucalipto foi superior a do Cerrado, mesmo em rotações sucessivas da cultura, sendo um ponto positivo para a sustentabilidade do cultivo de eucalipto na região de Cerrado, resultando em aumentos dos estoques de N no solo. Deve-se ressaltar, entretanto, a importância da permanência da serapilheira e dos resíduos de plantas (cascas, folhas e galhos) na área de colheita, visando manter o estoque de N no solo e suprimento da demanda nutricional das plantações subsequentes (ALMEIDA, 2017; MCMAHON et al., 2019).

Sobre os valores de estoques de N, Batjes e Dijkshoorn (1999), estimaram um potencial de estocagem de N total de 6,8 Mg ha⁻¹ de N total na profundidade de 0-100 cm e de 3,1 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0-30 cm, em

Plintossolos na Amazônia Legal, portanto, os resultados encontrados no presente estudo foram proporcionalmente superiores aos encontrados por estes autores em todas as coberturas avaliadas.

Pulrolnik et al. (2009) encontraram resultados próximos aos do presente estudo, entretanto em maior profundidade de solo, sendo observado que o estoque de N no solo (0-100 cm) com *Eucalyptus urophylla* (7,07 Mg ha⁻¹) foi estatisticamente igual ao do Cerrado *sensu stricto* (7,27 Mg ha⁻¹) sobre Latossolo no Estado de Minas Gerais.

Resultados de Souza et al. (2016) em Plintossolo Háplico de textura argilosa (0-20 cm de profundidade) na região de “campus de murundus” no Cerrado goiano convertidas em área agrícola de soja e milho, indicaram uma redução inicial dos estoques de N do solo, seguido de aumento com o tempo com a adoção do sistema plantio direto, sendo detectado um estoque de 6,9 Mg ha⁻¹ após de 16 anos de uso, que se aproximou do estoque obtido na área de vegetação nativa (8,2 Mg ha⁻¹). Os autores atribuíram este aumento, entre outros fatores, ao cultivo de leguminosa (soja) e aplicação de fertilizantes minerais no cultivo do milho. Estes valores foram consideravelmente maiores que os estoques obtidos no presente estudo, uma vez que tratam de uma menor camada de solo (0-20 cm), e se devem, provavelmente ao maior teor de argila naqueles solos, considerando que as concentrações de N total são influenciadas pelo teor de argila (SANTOS, 2017; OLIVEIRA FILHO et al., 2022), bem como ao menor revolvimento do solo pela técnica de plantio direto (LOCATELLI et al., 2022).

Oliveira (2018) verificou que os estoques de N-S de uma área de pastagem degradada e pastagem recuperada com capim *Andropogon* sp., não apresentaram diferenças significativas em relação valores de N de uma área de Cerrado, sobre Plintossolo Pétrico (camada 0-30 cm) no município de Peixe, Tocantins. Os estoques de N nas referidas áreas apresentaram valores próximos de 1,0 Mg ha⁻¹, que foram proporcionalmente inferiores aos respectivos estoques de N-S das áreas de Cerrado e Pastagem do presente estudo.

Valores relativamente baixos também foram encontrados por Zeferino et al. (2021), os quais constataram estoques de N-S em pastagem de 20 anos de 0,84 Mg ha⁻¹ e 1,33 Mg ha⁻¹ e estoques de 1,36 Mg ha⁻¹ e 1,62 Mg ha⁻¹ em

Pastagem de 30 anos, em Plintossolo Pétrico (camada 0-20 cm) no município de Carmolândia, Tocantins, cultivadas com capim *Urochloa brizantha* e *Megathyrsus maximus* e sujeitas à reforma a cada 10 anos por meio do revolvimento do solo.

Valores pouco melhores foram verificados por Alves (2019) em sistemas agropecuários em Plintossolos (profundidade de 0-30 cm), no Rio Grande do Sul, o qual encontrou estoques de N-S de 4,9 Mg ha⁻¹ em área de pastagem de Azevém (*Lolium multiflorum*), rotacionado com cultivo de soja, enquanto que a área rotacionada com soja/milho apresentou estoque de 3,9 Mg ha⁻¹, ambas após 14 anos de conversão de pastagem natural em sistema integrado de lavoura e pecuária (ILP).

4.3 Nitrogênio total nas substâncias húmicas

4.3.1 Teor de Nitrogênio total nas substâncias húmicas

Semelhantemente aos teores de N-S, a distribuição das substâncias húmicas foi maior na camada superficial, decrescendo com o aprofundamento do perfil do solo (Tabela 4). Rosa et al. (2017) destacaram que esta distribuição é típica de solos localizados em região de clima tropical, que apresentam conteúdo de substâncias húmicas mais condensadas na camada superficial.

A exceção se deu apenas para a área de pastagem, onde não houve diferenças significativas para os teores de N-AF e N-Hum entre as diferentes camadas (Tabela 4), embora, numericamente houve uma redução dos valores com aprofundamento do solo.

Em relação aos teores de N nas substâncias húmicas, foram identificadas diferenças significativas entre as diferentes coberturas na camada 0-10 cm e em relação ao teor de N-Hum na camada 10-20 cm, sendo que as demais comparações não apresentaram diferenças significativas entre as áreas (Tabela 4).

Tabela 4 - Teores (g kg^{-1}) de N nos ácidos fúlvicos (N-AF), ácidos húmicos (N-AH) e huminas (N-Hum) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), nas coberturas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*.

Cobertura	N-AF	N-AH	N-Hum
	(g kg ⁻¹)		
Profundidade 0-10 cm			
Eucalipto	0,197 Aa	0,276 Aa	0,709 Aa
Agricultura	0,151 ABa	0,196 Ba	0,558 ABa
Pastagem	0,116 Ba	0,209 ABa	0,407 Ba
Cerrado	0,140 Ba	0,233 ABa	0,513 ABa
Profundidade 10-20 cm			
Eucalipto	0,152 Aab	0,212 Aab	0,546 Aab
Agricultura	0,134 Aab	0,174 Aab	0,494 ABab
Pastagem	0,098 Aa	0,177 Aab	0,344 Ba
Cerrado	0,119 Aab	0,199 Aab	0,438 ABab
Profundidade 20-30 cm			
Eucalipto	0,108 Abc	0,151 Abc	0,389 Abc
Agricultura	0,098 Aab	0,128 Aab	0,364 Aab
Pastagem	0,082 Aa	0,148 Aab	0,287 Aa
Cerrado	0,088 Aab	0,146 Abc	0,321 Aab
Profundidade 30-40 cm			
Eucalipto	0,083 Ac	0,115 Ac	0,297 Ac
Agricultura	0,091 Ab	0,118 Aab	0,334 Ab
Pastagem	0,071 Aa	0,129 Aab	0,250 Aa
Cerrado	0,075 Ab	0,125 Abc	0,276 Ab
Profundidade 40-50 cm			
Eucalipto	0,058 Ac	0,081 Ac	0,208 Ac
Agricultura	0,079 Ab	0,104 Ab	0,296 Ab
Pastagem	0,062 Aa	0,111 Ab	0,217 Aa
Cerrado	0,064 Ab	0,107 Ac	0,234 Ab

Fonte: Autor (2023). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas referem-se à comparação das diferentes coberturas em uma mesma camada e letras minúsculas referem-se à comparação das médias da mesma cobertura em diferentes camadas.

Na camada 0-10 cm, a área de Eucalipto apresentou os maiores valores médios significativos para os teores de N-AF, N-AH e N-Hum quando comparados às médias das demais coberturas, diferindo das respectivas médias de N-AF das áreas de Pastagem e Cerrado, N-AH da área de Agricultura e N-Hum da área de Pastagem, as quais apresentaram os menores valores significativos de N nas substâncias húmicas nesta camada (Tabela 4). O mesmo comportamento foi observado para os teores de N-Hum na camada 10-20 cm (Tabela 4).

Os teores de N-AF da área de Agricultura, N-AH das áreas de Pastagem e Cerrado na camada 0-10 cm e teores de N-Hum das áreas de Agricultura e Cerrado entre 0-20 cm apresentaram valores intermediários às demais coberturas. Os resultados estatísticos indicaram que as médias destas áreas e das demais coberturas foram semelhantes entre si (Tabela 4).

Embora as demais comparações não tenham indicado diferenças significativas entre as coberturas, nota-se que de forma geral, entre 0-30 cm de profundidade os valores médios de N-AF, N-AH e N-Hum foram numericamente mais elevados na área de Eucalipto (Tabela 4). Nas camadas entre 30-50 cm os valores médios de N-AF e N-Hum foram mais expressivos na área de Agricultura, enquanto que os teores médios de N-AH se destacaram na área de Pastagem (Tabela 4).

Em relação aos teores de N-AH, verifica-se que os valores médios entre 0-30 cm de profundidade decresceram na seguinte ordem: Eucalipto > Cerrado > Pastagem > Agricultura, exceto na camada 20-30 cm, onde a média da área de Pastagem foi superior à média da área de Cerrado (Tabela 4). Já nas camadas entre 30-50 cm os valores médios de N-AH decresceram na seguinte ordem: Pastagem > Cerrado > Agricultura > Eucalipto (Tabela 4).

No tocante aos teores de N-AF e N-Hum, verifica-se que os valores médios entre 0-30 cm de profundidade decresceram na seguinte ordem: Eucalipto > Agricultura > Cerrado > Pastagem, enquanto que nas camadas entre 30-50 cm verificou-se a seguinte ordem: Agricultura > Cerrado > Pastagem > Eucalipto (Tabela 4).

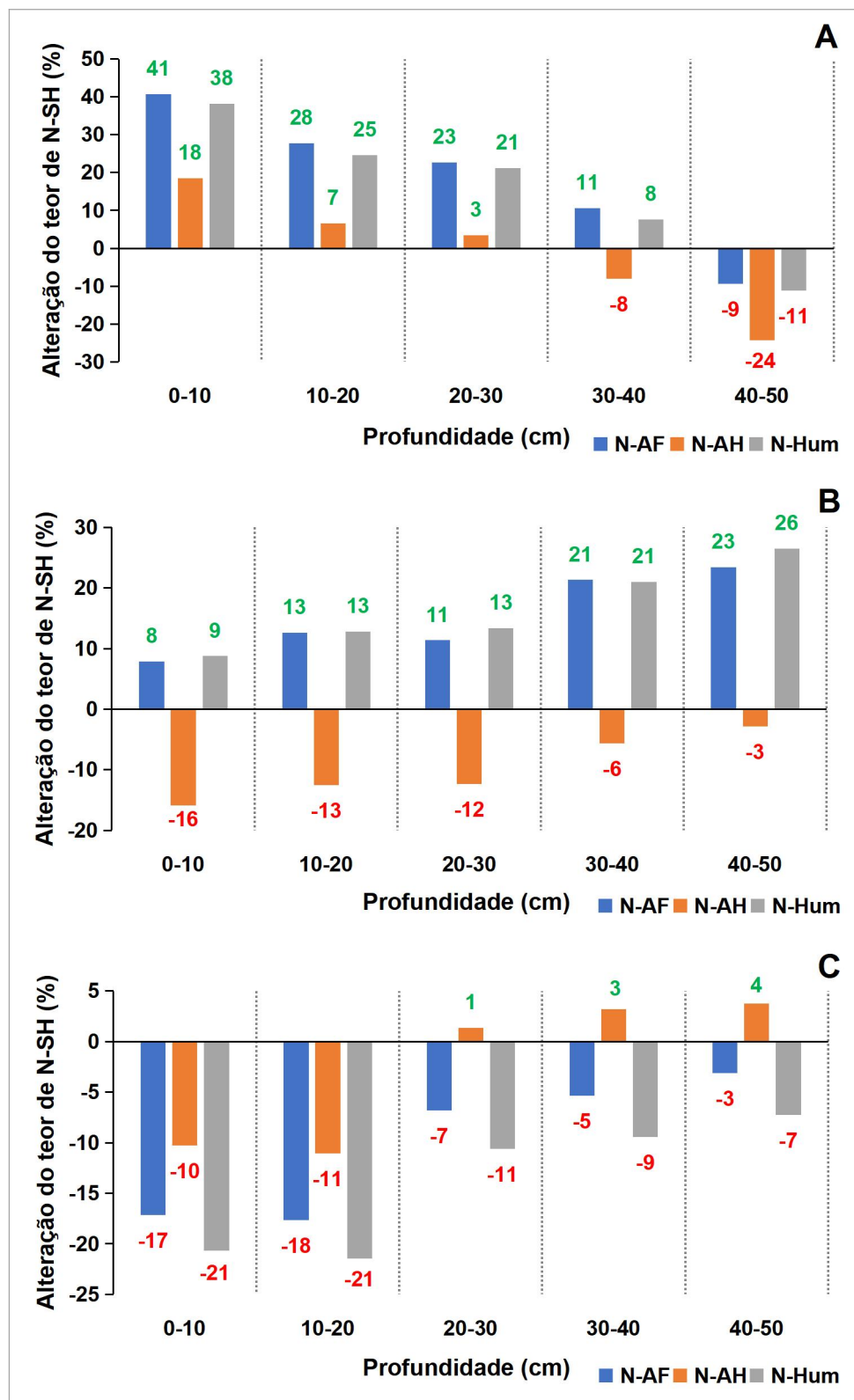
Os possíveis fatores que influenciaram os teores de N-S no solo (tratados anteriormente) provavelmente repercutiram também sobre os teores de N total nas frações húmicas. No entanto, estudos destacaram, sobretudo a forte relação destes teores com a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais fornecidos ao solo, além da forma de manejo adotada (PEGORARO et al., 2011; PEGORARO et al.; ZINN et al., 2018; ZEFERINO et al., 2021), sendo tratados a seguir.

4.3.2 Alterações dos teores de N total nas substâncias húmicas após as mudanças de uso da terra

Quando comparada à área de referência, a área de Eucalipto apresentou aumento nos valores médios de N-AF (11% a 41%), N-AH (3% a 18%) e N-Hum (8 a 38%) entre 0-40 cm de profundidade, com exceção do teor de N-AH na camada 30-40 cm, onde houve uma redução de 8% do valor médio

(Figura 4-A). Na camada 40-50 cm houve redução dos valores médios de N-AF, N-AH e N-Hum de, respectivamente, 9%, 24% e 11% (Figura 4-A).

Figura 4 - Balanço de perdas e ganhos (%) nos teores de N nos ácidos fúlvicos (N-AF), ácidos húmicos (N-AH) e huminas (N-Hum) (%) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), após conversão de Cerrado *sensu stricto* para cultivos de Eucalipto (A), Agricultura (B) e Pastagem (C).



Fonte: Autor (2023).

A elevação dos teores médios de N nas substâncias húmicas entre 0-40 cm está relacionada possivelmente ao maior aporte de serapilheira na área de Eucalipto, que somado à reduzida perturbação do solo pelo menor revolvimento, podem ter favorecido o processo de humificação e elevação dos teores de N nas frações húmicas (SANTOS, 2016; MEDEIROS et al., 2018). Pegoraro et al. (2011) ressaltaram as diferenças físicas e químicas na serapilheira do eucalipto, em que materiais mais grosseiros e mais lignificados são depositados em maior quantidade que as pastagens, elevando a relação C/N dos resíduos vegetais, também contribuindo para o processo de humificação.

Sobre a redução dos teores de N-AF, N-AH e N-Hum observada na última camada da área de Eucalipto (Figura 4-A), remete-se novamente ao fato da lenta substituição da cobertura vegetal com a mudança de uso da terra, todavia apresentando possibilidade de recuperação destes teores com o passar do tempo (WENDLING et al., 2011; MEDEIROS et al., 2018).

Em relação à área de Agricultura foi verificada uma elevação dos valores médios de N-AF (8% a 23%) e N-Hum (9 a 26%) e redução dos valores médios de N-AH (3% a 16%) ao longo de todo o perfil avaliado, quando comparada à área de referência (Figura 4-B). Isso provavelmente está atribuído à alta deposição dos resíduos vegetais no cultivo do milho, que possuem lenta decomposição em virtude da alta relação C/N, teor de lignina e outros compostos recalcitrantes, favorecendo o processo de humificação em detrimento do processo de mineralização, conforme também sugeriram Santos (2016) e Pegoraro et al. (2018).

Já as reduções dos teores médios de N-AH nesta área (Figura 4-B) podem estar relacionados à alteração das condições químicas do solo pela realização da calagem, reduzindo a acidez do solo, semelhantemente ao verificado nos estudos de Santana et al. (2011). Relacionado a isso, Ebeling et al. (2011) destacaram a existência de correlação positiva da acidez do solo com a formação de ácidos húmicos. Wendling et al. (2011) associaram a calagem como motivo da maior mineralização da MOS, ao favorecer condições de acidez mais adequadas à atividade microbiana.

Adicionalmente, a redução dos teores de N nos AH pela conversão Cerrado-Agricultura pode estar ligada ao processo de revolvimento do solo,

aumentando o processo de decomposição pelos microrganismos (WENDLING et al., 2011), bem como reduzindo a formação dos AH e a incorporação de N nessa fração (ASSIS et al., 2006). Estes autores esclareceram que solos menos perturbados permitem maior polimerização de compostos húmicos, aumentando a proporção de AH em relação aos AF.

A comparação entre a área de Pastagem e área de referência indicou uma redução dos valores médios de N-AF (3% a 18%) e de N-Hum (7% a 21%) ao longo das camadas avaliadas (Figura 4-C). Quanto aos valores médios de N-AH houve uma redução de 10% na camada 0-10 cm e de 11% na camada 10-20 cm, enquanto que nas camadas de 20-50 cm houve um pequeno aumento (1% a 4%) do valor médio (Figura 4-C).

Apesar da estabilidade verificada para os teores de N no solo pela conversão Cerrado-Pastagem (tratado no tópico 4.2.1), inclusive com elevação dos teores médios de N-S nas camadas mais profundas, as perdas de N nas substâncias húmicas apresentaram comportamento oposto, possivelmente pela rápida mineralização dos resíduos vegetais da pastagem (PULROLNIK et al., 2009).

Pegoraro et al. (2011) verificaram maior degradação da MOS pelos microrganismos em ambientes de pastagem que em áreas de eucalipto, sendo causada pela rápida decomposição dos resíduos, considerando a menor relação C/N dos resíduos destas gramíneas e, ainda a baixa produtividade em pastagens degradadas. Estudos ligam a perda de vigor das pastagens à forma manejo aplicado na área (OLIVEIRA et al.; REGO; BASTOS et al., 2021).

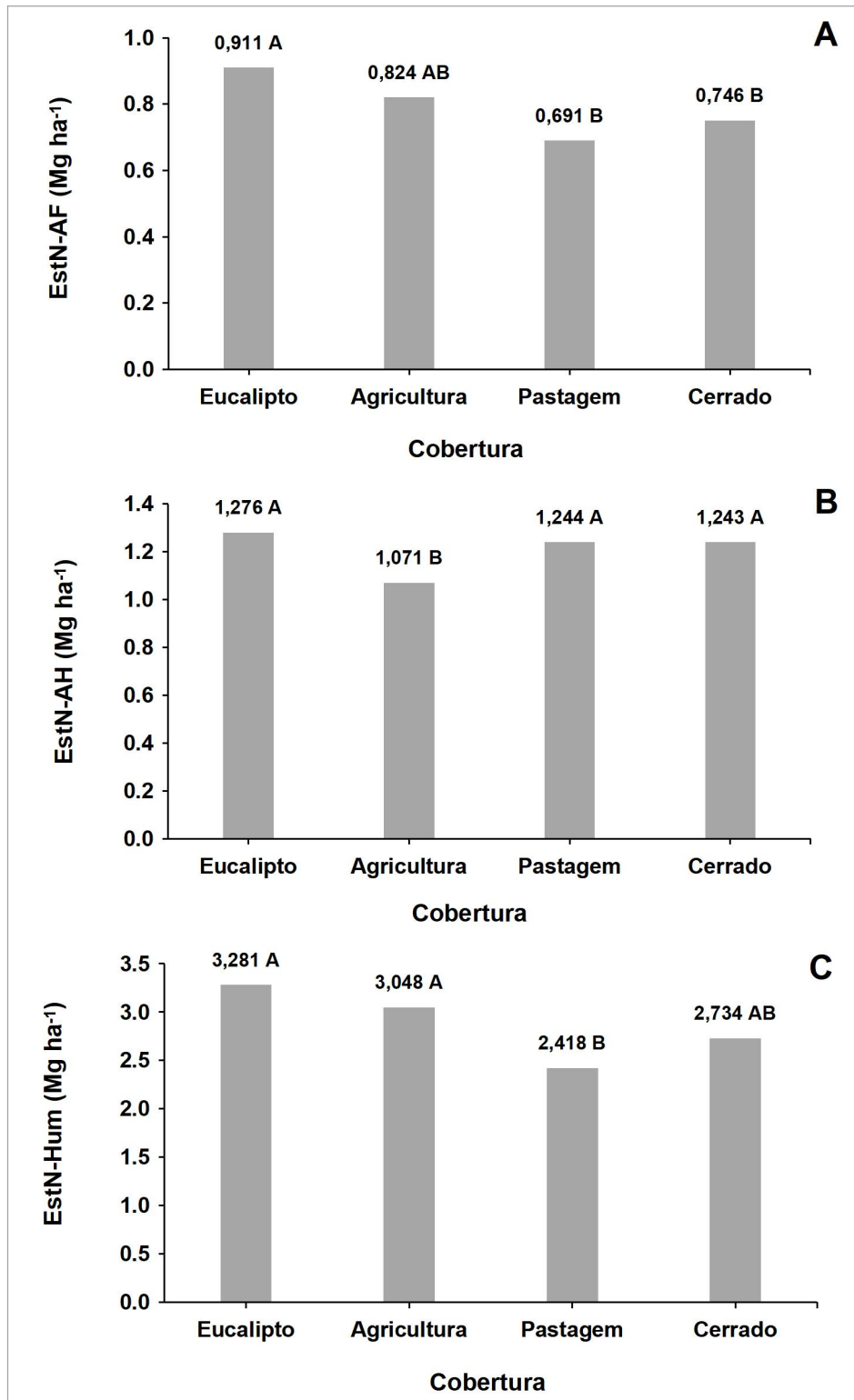
Esses mesmos fatores podem ter relação com os menores estoques de N nas substâncias húmicas da pastagem do presente estudo, considerando ainda a elevada idade da área (superior a 40 anos) e pela ausência técnicas adequadas para manejo do local (ZEFERINO et al., 2021; LOCATELLI et al., 2022), impactando inclusive os teores de N na fração mais estável (N-Hum) da MOS.

4.3.3 Estoques de N total nas substâncias húmicas

A Figura 5 apresenta os estoques de N nas substâncias húmicas em toda a camada entre 0-50 cm de profundidade. A área de Eucalipto apresentou

o maior valor médio significativo de EstN-AF ($0,911 \text{ Mg ha}^{-1}$), diferindo das médias das áreas de Pastagem ($0,691 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Cerrado ($0,746 \text{ Mg ha}^{-1}$), que apresentaram os menores valores médios significativos (Figura 5-A). A área de Agricultura apresentou EstN-AF intermediário aos estoques das demais coberturas ($0,824 \text{ Mg ha}^{-1}$). Os resultados estatísticos indicaram que a média desta área e das outras coberturas foram semelhantes entre si (Figura 5-A).

Figura 5 - Estoques (Mg ha^{-1}) de N nos ácidos fúlvicos (EstN-AF) (A), ácidos húmicos (EstN-AH) (B) e huminas (EstN-Hum) (C) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins entre 0-50 cm de profundidade, nas áreas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Autor (2023).

Os maiores valores médios significativos de EstN-AH ocorreram nas áreas de Eucalipto ($1,276 \text{ Mg ha}^{-1}$), Pastagem ($1,244 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Cerrado ($1,243 \text{ Mg ha}^{-1}$), sendo estas médias estatisticamente iguais, enquanto que a área de Agricultura apresentou menor valor médio significativo ($1,071 \text{ Mg ha}^{-1}$), diferindo estatisticamente das demais coberturas (Figura 5-B).

Os maiores valores médios significativos de EstN-Hum ocorreram nas áreas de Eucalipto ($3,281 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Agricultura ($3,048 \text{ Mg ha}^{-1}$), que foram estatisticamente iguais, enquanto que a área de Pastagem apresentou o menor valor médio significativo ($2,418 \text{ Mg ha}^{-1}$), diferindo estatisticamente destas coberturas (Figura 5-C). A área de Cerrado apresentou EstN-Hum intermediário aos estoques das demais coberturas ($2,734 \text{ Mg ha}^{-1}$). Os resultados estatísticos indicaram que a média desta área e das demais coberturas foram semelhantes entre si (Figura 5-C).

Observa-se que os valores médios de EstN-AF e EstN-Hum decresceram numericamente na seguinte ordem: Eucalipto > Agricultura > Cerrado > Pastagem, enquanto que os valores médios de EstN-AH decresceram na seguinte ordem: Eucalipto > Pastagem \approx Cerrado > Agricultura.

Quando comparada à área de referência, a área de Eucalipto promoveu aumento dos estoques médios de N em todas as substâncias húmicas, sendo verificados incrementos de 22% ($0,165 \text{ Mg ha}^{-1}$), 3% ($0,033 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 20% ($0,547 \text{ Mg ha}^{-1}$), respectivamente nos EstN-AF, EstN-AH e EstN-AF.

Estes resultados demonstraram a superioridade da cobertura vegetal do Eucalipto e do manejo adotado nesta área em incorporar N nas frações húmicas da MOS, quando comparado à área de Cerrado e demais usos do solo, estando isso possivelmente relacionado, sobretudo, ao grande aporte de resíduos vegetais mais recalcitrantes, menor perturbação do solo (MEDEIROS et al., 2018; PEGORARO et al., 2011), maior proteção da superfície promovida pelas árvores e serapilheira (SILVA, 2017; VALADÃO et al., 2019), fatores estes que juntos contribuem para o processo de humificação da matéria orgânica.

Na conversão Cerrado-Agricultura houve incremento médio de 10% ($0,078 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 11% ($0,314 \text{ Mg ha}^{-1}$), respectivamente nos EstN-AF e EstN-Hum, no entanto, houve uma redução de 14% ($-0,172 \text{ Mg ha}^{-1}$) no EstN-AH.

Como tratado anteriormente, a redução de N nesta fração tem possível relação com forma de manejo do solo, devido ao contínuo revolvimento, como apontado por Assis et al. (2006) e Wendling et al. (2011), bem como à possível influência da redução da acidez pela calagem (EBELING et al.; SANTANA et al.; WENDLING et al., 2011).

No tocante à conversão Cerrado-Pastagem houve uma redução média de 7% (-0,055 Mg ha⁻¹) e 12% (-0,316 Mg ha⁻¹), respectivamente nos EstN-AF e EstN-Hum, ao passo que o EstN-AH praticamente se igualou ao da área de referência.

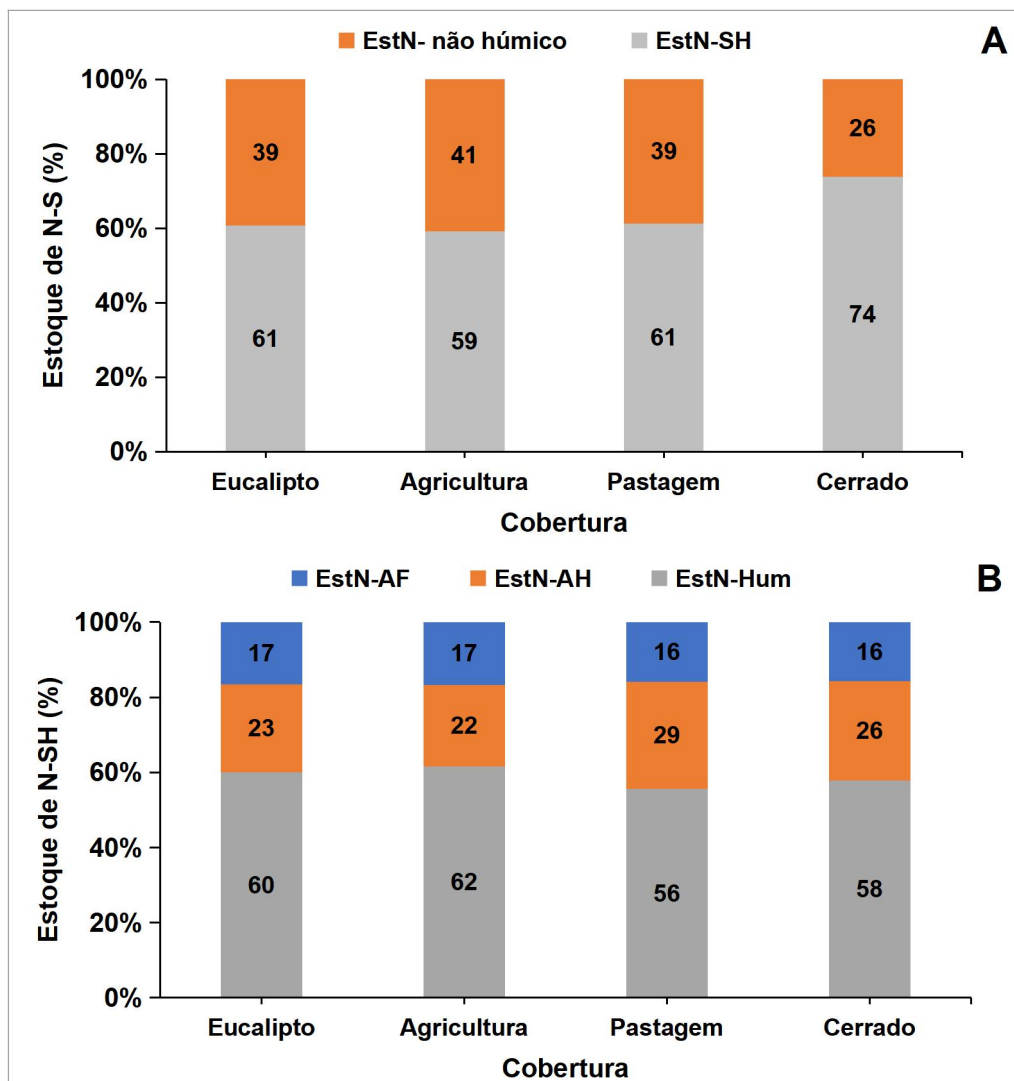
Apesar de não haver diferenças significativas entre as médias da área de Pastagem e Cerrado, as reduções observadas são indícios de que a MOS está sendo alterada, estando isso associado possivelmente à forma de manejo aplicado nas pastagens (OLIVEIRA et al.; REGO; BASTOS et al., 2021).

O manejo extensivo das pastagens pode ser o motivo da redução dos estoques médios de N nestas frações. Este se caracteriza por ser pouco tecnificado, sem controle adequado da rotação e capacidade de lotação animal, bem como pela ausência de investimentos no preparo químico e físico do solo para melhoria ou manutenção das pastagens, o que leva estas áreas a estágios de degradação pela menor produção de biomassa (FIETO, 2018a; LANGE et al., 2019; TAVANTI, 2020).

Neill et al. (1999) observaram que a conversão de floresta para pastagem mantém a ciclagem de N por décadas, podendo diminuir em pastagens mais antigas a depender da forma de manejo aplicada no local. Sobre isso, Rego (2021) verificou melhor resultado no acúmulo MOS em pastagens reformadas que em pastagens perenes de 20 anos de idade sobre Plintossolos, considerando a menor deposição de resíduos em virtude da perda de vigor das plantas nas pastagens perenes.

Tratando sobre a representatividade do N presente nas substâncias húmicas em relação ao estoque de N-S, observou-se que estas substâncias corresponderam aproximadamente 61%, 59%, 61% e 74% do N-S, respectivamente nas áreas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado (Figura 6-A). Isso indica que parte considerável do N total do solo está protegida na fração humificada da MOS, devido a maior resistência destas substâncias à degradação (PEREIRA et al., 2018).

Figura 6 - Distribuição (%) do estoque de N no solo entre as substâncias húmicas e não húmicas (A) e entre as frações húmicas (B) em Plintossolo Pétrico no sul do Tocantins entre 0-50 cm de profundidade, nas áreas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado *sensu stricto*. EstN-S = estoque de N no solo; EstN-SH = estoque de N nas substâncias húmicas; EstN-AF = estoque de N nos ácidos fúlvicos; EstN-AH = estoque de N nos ácidos húmicos; EstN-Hum = estoque de N nas huminas.



Fonte: Autor (2023).

O conteúdo restante de N-S em cada área corresponde às formas inorgânicas de N (GOUVEIA, 2020; MARTINEZ et al., 2021), bem como às formas orgânicas não humificadas, presentes em compostos orgânicos como gorduras, ácidos orgânicos, aminoácidos e carboidratos (TONIELLO, 2019; VIEIRA, 2017), localizadas na fração lábil da MOS, cuja mineralização é rápida, ocorrendo em semanas ou meses (BRAGA et al., 2022).

Em todos os ambientes estudados os estoques médios de N nas substâncias húmicas foram maiores na fração humina, seguido das frações AH e AF (Figura 6-B). Esses resultados se assemelharam em parte aos obtidos por Santos et al. (2018b) e Pegoraro et al. (2018) que encontraram maiores estoques de N na fração Hum.

As reservas de N nesta fração demonstraram a alta estabilidade do N presente na MOS, considerando que esta é a fração mais humificada dos compartimentos da MOS (STEVENSON, 1994).

Os maiores teores de N na fração humina em todos os ambientes também estão relacionados à própria constituição química da fração Hum, que possui estrutura complexa de moléculas e ligação estável com a fração mineral do solo, levando à sua baixa mobilidade no perfil e maior recalcitrância à ação de microrganismos (ROSA et al., 2017; ALMEIDA et al., 2021). Sistemas que evitam o revolvimento do solo promovem condições adequadas à formação das substâncias húmicas (ALMEIDA et al., 2021), o que permite reações de condensação e polimerização do material orgânico, levando a formação de frações mais estáveis (EBELING et al., 2011). Estas características estão mais próximas da área de Eucalipto.

A fração AF é a fração menos recalcitrante, a mais solúvel e móvel das frações húmicas, o que a torna mais suscetível ao transporte e arraste, podendo justificar os menores teores de N nos solos (SOUSA et al., 2015). Além disso, em geral, solos mais arenosos como os do caso em estudo, apresentam valores superiores para a relação AH/AF, o que resulta na perda seletiva da fração AF (SOUZA et al., 2019b) e, provavelmente do teor de N nesta fração.

4.4 Possíveis adaptações em sistemas de uso e manejo em Plintossolos

Os resultados do presente estudo servem de base para melhor compreensão dos impactos dos usos e sistemas de manejo desenvolvidos no contexto dos Plintossolos na região do Cerrado.

Os Plintossolos Pétricos Concrecionários são geralmente pobres quanto à fertilidade natural, apresentam dificuldades de mecanização e à penetração

de raízes, em virtude da presença de concreções, e por isso são normalmente utilizados para pastagens (MOREIRA; OLIVEIRA, 2008).

Destaca-se que a forma de manejo da pastagem avaliada no presente estudo representa o modelo de produção da maioria das pastagens existentes no Tocantins (ZEFERINO et al., 2021), caracterizada pela perda de matéria orgânica e conseqüente redução da qualidade dos solos e geração de gases do efeito estufa, sendo motivos para uma opinião pública negativa sobre a pecuária brasileira (RIBASKI; RIBASKI, 2015; SOARES et al., 2020).

Com o avanço da fronteira agrícola e necessidade de incorporação de novas terras aos processos produtivos, mesmo com suas fragilidades de uso, áreas de Plintossolo também tem sido utilizadas para cultivo de grãos (MOREIRA; OLIVEIRA, 2008; FRANCESCHETTE et al., 2013), inclusive com lavouras de soja, instaladas também em áreas de pastagens muitas vezes degradadas (SPERA et al., 2021). No entanto, alerta-se que estes usos tem sido realizados de forma intensiva no Tocantins, sem adoção de manejo adequado, levando à degradação destes solos (RAMOS et al., 2018; ALMEIDA et al., 2020).

Devido ao risco de perder a competitividade no mercado interno e externo, é importante que a pecuária substitua o modelo tradicional extrativista por sistemas de produção mais sustentáveis (RIBASKI; RIBASKI, 2015).

De forma semelhante, diversos estudos também sugeriram a adoção de sistemas agrícolas menos intensivos em Plintossolos do Tocantins, somados à aplicação de formas conservacionistas de manejo (RAMOS et al., 2018; ALMEIDA et al., 2020; BENÍCIO et al.; BASTOS et al., 2021), que proporcionem a manutenção de condições produtivas após a substituição da vegetação nativa (BASTOS et al., 2021), a exemplo da manutenção da matéria orgânica pela técnica de plantio direto (BENÍCIO et al., 2021) e dos sistemas integrados de produção, a exemplo dos SAF's e ILPF's (RAMOS et al., 2018).

Diante dos indícios de perdas de N nas frações húmicas, observados nos sistemas de Pastagem e Agricultura do presente estudo, novas opções de manejo devem ser encontradas a fim de compatibilizar o uso da terra à qualidade do solo e manutenção e/ou aumento dos estoques de N na MOS.

Os resultados positivos encontrados na área de Eucalipto atestam de certa forma a viabilidade deste sistema quanto à conservação dos solos, aliado

ao aumento dos estoques de N. Gatto et al. (2010) apontaram que a produção do eucalipto é mais baixa em Plintossolos Pétricos, quando comparada a outros solos, considerando as características morfológicas desta classe, no entanto, ressaltaram que o cultivo desta espécie constitui uma opção efetiva de captura de C, verificando estoques de 112,1 Mg ha⁻¹ em profundidade de 0-100 cm. Provavelmente isso estenda para o N, considerando a correlação destes elementos.

Isso sugere que, quando possível, a introdução do componente arbóreo em meio às lavouras e/ou pastagens pode ser uma alternativa à produção intensiva de monoculturas (BALBINO et al., 2012; RIBEIRO et al., 2022; ZEFERINO et al., 2021).

Diferentes modalidades dos sistemas agropecuários integrados podem contribuir para isso, uma vez que estas tem o potencial de corrigir desequilíbrios impostos pelos sistemas simplificados de produção, cujo manejo do solo e culturas não priorizam adequadamente sua conservação (BALBINO et al., 2012).

Estes sistemas podem auxiliar na melhoria das propriedades físico-químicas do solo, destacando a ciclagem e o aporte N, e contribuindo para o aumento da produção agrícola e qualidade nutricional dos solos (RIBEIRO et al., 2022).

Devido ao elevado custo de fertilizantes, áreas de manejo integrado de produção rotacionadas ou consorciadas com espécies fixadoras de N também surgem como uma opção para melhoria da fertilidade do solo e redução da necessidade de fertilizantes, inclusive dos adubos minerais nitrogenados, aumentando a disponibilidade ou a permanência de N no sistema solo-planta (BALBINO et al., 2012; VIEIRA, 2017; VALENCIANO, 2021).

Balbino et al. (2011) citaram ainda diversos benefícios econômicos e sociais destes sistemas, entre eles: melhoria da imagem da produção agropecuária e dos produtores brasileiros, devido à produção atrelada à preservação ambiental; aumento da competitividade dos produtos nos mercados nacional e internacional; criação de novos arranjos de uso da terra, com exploração das especialidades e habilidades de diferentes atores, melhoria da qualidade de vida do produtor e da sua família; possibilidade do sistema ser empregado por qualquer produtor rural, independentemente do

porte da propriedade (pequena, média ou grande); fixação e ampliação da inserção social pela melhor distribuição de renda e maior geração de empregos no campo; aumento real da renda do produtor rural, entre outros.

No entanto, apesar da existência de diversos modelos de sistemas integrados, a diversidade de condições locais e regionais específicas indicam a necessidade de estudos regionalizados sobre a viabilidade da combinação de diferentes espécies, o que demonstra a necessidade de inclusão desta temática em futuras pesquisas.

5 CONCLUSÃO

Os teores de N no solo e nas substâncias húmicas nas diferentes coberturas foram maiores nas camadas superficiais, decrescendo nas camadas subsequentes.

As mudanças de uso da terra promoveram alterações significativas nas primeiras camadas do solo, sendo que, em geral, houve aumento dos teores e estoques de N-S, com valores mais expressivos, respectivamente, nas áreas de Eucalipto, Agricultura, Pastagem e Cerrado. Entretanto, estatisticamente, as diferenças nos teores de N-S ocorreram apenas na camada 0-10 cm entre a área de Eucalipto e Cerrado, ocorrendo o mesmo para os estoques de N-S na camada entre 0-50 cm.

Quanto aos teores de N nas substâncias húmicas, as diferenças significativas ocorreram na camada 0-10 cm nas diferentes frações húmicas e na camada 10-20 cm para os teores de N na fração Hum, com maiores médias na área de Eucalipto, ocorrendo o mesmo para os estoques de N na camada entre 0-50 cm.

A área de Eucalipto se destacou, em geral, pelos maiores aumentos nos teores e estoques de N nas frações húmicas, demonstrando os benefícios deste sistema sobre o solo.

A área de Agricultura promoveu aumento dos teores e estoques de N nos ácidos fúlvicos e humina, porém demonstrou reduções significativas nos teores e estoques de N nos ácidos húmicos.

Apesar de não apresentar diferenças significativas em relação a área de Cerrado, a área de Pastagem foi caracterizada por perdas nos teores de N em todas as frações húmicas na maioria das camadas, repercutindo na redução dos estoques de N nos ácidos fúlvicos e huminas, mantendo o estoque de N nos ácidos fúlvicos sem aumento.

As perdas de N nestes sistemas indicaram que a MOS foi negativamente alterada, confirmando parcialmente a hipótese inicialmente levantada para esta pesquisa. Isso sugere a necessidade de realização de pesquisas para adaptações na forma de manejo destas áreas em Plintossolos, e aplicação de métodos conservacionistas de manejo, a exemplo da técnica de plantio direto, rotação de culturas e introdução dos sistemas integrados de produção (ILPF's

e SAF'S), a fim de promover maior aporte de matéria orgânica e reduzir o revolvimento do solo.

REFERÊNCIAS

- ADAME, C. R. **Formas de nitrogênio orgânico em solos tratados com esterco bovino**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.
- ALENCAR, A.; SHUIMBO, J. Z.; LENTI, F.; MARQUES, C. B.; ZIMBRES, B.; ROSA, M.; ARUUDA, V.; CASTRO, I.; RIBEIRO, J. P. F. M.; VARELA, V.; ALENCAR, I.; PIONTEKOWSKI, V.; RIBEIRO, V.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SANO, E. E.; BARROSO, M. Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing**, Basel. v. 12, p. 924-947, 2020.
- ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. *In*: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (editores técnicos). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017. p. 65-75.
- ALMEIDA, L. L. S.; FRAZÃO, L. A.; LESSA, T. A. M.; FERNANDES, L. A.; VELOSO, A. L. C.; LANA, A. M. Q.; SOUZA, I. A.; PEGORARO, E. A. F. Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 205, n. 104785, 2021.
- ALMEIDA, R. E. M.; UHLMANN, A.; CAMPOS, L. J. M.; COSTA, R. V. Expansão agrícola em áreas de difícil manejo: cultivo em solos com cascalho. **Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**, p. 71-75, 2020. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215774/1/CNPASA-2020-abtnv.pdf>> Acesso em: 01 fev. 2023.
- ALMEIDA, R. F. **Estoque de carbono, nitrogênio e enxofre em plantio de Eucalyptus grandis sob diferentes manejos de resíduos florestais**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.
- ALVES, K. C. C. L. F.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; GIONGO, M.; SANTOS, A. F. Distribuição da precipitação mensal, anual e máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. **Ambiência**, Guarapuava, v.12, n.1, p. 49-70, 2016.
- ALVES, L. A.; **Atributos químicos do solo em sistemas integrados de produção de grãos e ovinos de corte**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

- ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p.1541-1550, 2006.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Eds.) **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130p.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura Pecuária-Floresta (ILPF). **International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, v. 9, n. 138, p. 1-18, 2012.
- BARBOSA, V.; BARRETO-GARCIA, P.; GAMA-RODRIGUES, E.; PAULA, A. Biomassa, Carbono e Nitrogênio na Serapilheira Acumulada de Florestas Plantadas e Nativa. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, n. 20150243, 2017.
- BARROS, A. C. C. **Avaliação do desempenho de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (clone I144) com ênfase no déficit hídrico, para a região sul do estado do Tocantins**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Tocantins. Gurupi, 2017.
- BASTOS, A. S.; SANQUETTA, C. R.; MANIESI, V.; SANQUETTA, M. N. I.; CORTE, A. P. D. Amazon plinthosols: carbon stocks and physical properties under different land uses. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 749-765, 2021.
- BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. *In*: BRANDÃO FILHO, J. U. T., FREITAS, P. S. L., BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. (Org.). **Hortalças-fruto**. Maringá: Eduem, 2018. p. 113-162.
- BATJES, N. H.; DIJKSHOORN, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma**, Wageningen, v. 89, p. 273–286, 1999.
- BENDITO, B. P. C.; SOUZA, P. A.; FERREIRA, R. Q. S.; CÂNDIDO, J. B.; SOUZA, P. B. Espécies do cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas, Gurupi (TO). **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 2, jun. 2018.
- BENÍCIO, L. P. F.; NASCIMENTO, D. S.; MELO, J. P. P. Densidade e porosidade de um plintossolo háplico submetido a diferentes tipos de uso. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 7, n. 021002, 2021.
- BEUSEN, H. W.; BOUWMAN, A. F.; HEUBERGER, P. S. C.; VAN DRECHT, G.; VAN DER HOEK, K. W. Bottom-up uncertainty estimates of global ammonia emissions from global agricultural production systems. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 42, p. 6067–6077, 2008.

BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M. C.; PEREIRA, M. G.; MORAES, M. T.; SOLTANGUEISE, A.; BERNARDI, A. C. C.; PESSOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; MOREIRA, M. Z.; CAMARGO, P. B.; DIAS, C. T. S.; BATISTA, I. CHERUBIN, M. R. Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 371, n. 114368, 2020.

BRAGA, R. M.; BRAGA, F. A.; VENTURIN, N. Carbono orgânico no solo sob mata nativa e florestas plantadas em longo prazo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 42, 2022.

BRANCO, J. S.; PRATES JÚNIOR, P. Fixação biológica de nitrogênio na produção sustentável de forragem. **Revista Edutec**, Ariquemes, v. 03, n. 01, p. 101-114, 2022.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKE, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L.; Soil quality – A critical review, **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 120, p. 105-125, 2018.

BUSTAMANTE, M. Política de clima negligencia o Cerrado – mais uma vez Plano entregue à ONU não menciona o segundo maior bioma do país.

Observatório do Clima on-line. 2015. Disponível em:

<https://www.oc.eco.br/politica-de-clima-negligencia-o-cerrado-mais-uma-vez/>

Acesso em: 09 out. 2021.

CABEZAS, W. A. L. R. Manejo de nitrogênio no cerrado em sistema plantio direto: Resultados de trabalhos utilizando o isótopo estável ^{15}N . **ALFA, Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias**. La Paz, v. 1, n.3, p. 74-87, set.- dez. 2017.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera : tratado preliminar sobre a química das substâncias Húmicas. Campos dos Goytacazes**. CCTA / UENF, 2005. 309 p. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Pages/CCTA/Lsol/>. Acesso em: 10 out. 2021.

CARMO, D. L.; LOPES, S. O.; MIGUEL, E. S.; PRATES JÚNIOR, P.; SANTANA, F. C.; PEREIRA, A.; WAGNER, V.; CASALI, D.; FERNANDES, R. B. A.; SANTOS, R. H. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; CARDOSO, I. M.; PRIORE, S. E. **Diálogos transdisciplinares em Agroecologia: projeto café com agroecologia**. Viçosa: FACEV, 2021. 451 p.

CARVALHO, E. V.; COELHO, M. C. B.; SOUZA JÚNIOR, M. R.; GIONGO, M.; SANTOS, M. M. ; GANASSOLI NETO, E. Evolução do setor florestal no Tocantins. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 28, n. 1, 2019.

CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P. A global perspective on sustainable intensification research. **Nature Sustainability**, Londres, v.3, p.262–268, 2020.

CASTELO BRANCO, J. F.; NASCIMENTO, H. T. S.; LOPES, J. B.; NASCIMENTO, M. P. S. B.; OLIVEIRA, M. E. Macronutrientes em solos e

pastagens nativas da região Norte do estado do Piauí. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. [Anais]. Recife: SBZ, 2002.

CASTRO, A. M. G.; TONANI, F. L.; LIMA, S. M. V. Desafios para o desenvolvimento do complexo agroindustrial do eucalipto para agroenergia na região norte do Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 14292-14320, 2019.

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. D.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas, v.4, n.1, p. 31-37, 2017.

CERRI, C. C.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; RIBEIRO, F. H.; TOLEDO, B.; CASTIGIONI, B. A.; RODRIGUES, G. A. A.; CERRI, D. G. P.; CERRI, C. E. P.; TEIXEIRA, A. A.; CANDIANO, C. A. C.; REIS, M. R.; D'ALESSANDRO, S. C.; TURELLO, L. Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido a mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 30 - 41, jan.- mar. 2017.

CHEN, J.; HEILING, M.; RESCH, C.; MBAYE, M.; GRUBER, M.; DERCON, G. Does maize and legume crop residue mulch matter in soil organic carbon sequestration? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 265, p. 123-131, 2018.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 5 quinto levantamento, fevereiro 2023.

CONCEIÇÃO, M. C. G.; MATOS, E. S.; BIDONE, E. D.; RODRIGUES, R. A. R.; CORDEIRO, R. C. Changes in Soil Carbon Stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest System in the Brazilian Amazon Region. **Agricultural Sciences**, [S. l.], v. 8, p. 904-913, 2017.

CUNHA, T. J.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria Orgânica do Solo. *In*: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, 2015.

DIAS, A. C. F. Transformações do nitrogênio no solo. *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 99-110.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise Granulométrica. *In*: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (editores técnicos). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017. p. 95-116.

DUARTE, F. A.; COLLICHIO, E. Desafios e perspectivas do cultivo do *Eucalyptus*, para fins energéticos no estado do Tocantins. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 21, n. 35, p. 1-100, 2020.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.157-165, 2011.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The Future of Food and Agriculture: Alternative Pathways to 2050**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 228 p.

FEITOSA, C. O. Panorama das atividades agropecuárias de exportação do tocantins: Soja e carne. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 71, p. 154-174, 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA NETO, R. A.; FREITAS, A. D. S.; GIONGO, V. CAMARGO, P. B.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nitrogen fixation of Poaceae and Leguminosae in a green manure experiment in the Brazilian semiarid region. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 11, p. 1474-1480, 2017.

FIETO. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO TOCANTINS. **Carne Bovina: plano estratégico para as cadeias produtivas do agronegócio no estado do Tocantins 2018-2027**. 2018a. Disponível em: <<http://www.fieto.com.br/EstudosPesquisas.aspx?c=7c56dad3-5079-48a1-ba88-4fd56e968f6a>>. Acesso em: 11 fev. 2023.

FIETO. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO TOCANTINS. **Silvicultura: plano estratégico para as cadeias produtivas do agronegócio no estado do Tocantins 2018-2027**. 2018b. Disponível em: <<http://www.fieto.com.br/EstudosPesquisas.aspx?c=7c56dad3-5079-48a1-ba88-4fd56e968f6a>>. Acesso em: 11 fev. 2023.

FIGUERÉDO, K. S.; PEREIRA, M. T. J.; NICK, C.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, T. S. Long-term changes in organic matter stocks and quality in an Oxisol under intensive vegetable cultivation. **Catena**, Amsterdam, v. 188, n. 104442, 2020.

FLORES, R. A.; COLLIER, L. S.; SANTOS, C. L. R.; MODA, L. R. SILVA, A. R. Yield of *Andropogon gayanus* pasture intercropped with two kinds of legumes, amended with P fertilizer. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 5, n.1, p. 50-62, 2014.

FRAGOSO, D. B.; CARDOSO, E. A. Expansão da agricultura no estado Tocantins. In: COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. (org.). **Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento**. Palmas, TO: EdUFT, 2022. p. 51-65.

FRANCESCHETTE, E.; KLEIN, V. A.; NAVARIN, L. L.; KLEIN, C. Propriedades físicas de solo concrecionário do Tocantins submetido a distintos manejos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais[...]**. Florianópolis: Ciência do Solo: para quê e para quem? 2013.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, Marília, v. 26, n.1-2, p. 8-25, 2017.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1069-1079, 2010.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; MACHADO, D. L. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 617-631, 2015.

GOUVEIA, R. G. L. **Manejo eficiente do nitrogênio**. Uberlândia: Clube de Autores, 2020. 70 p.

GRANDE, T., AGUIAR, L., MACHADO, R. Heating a biodiversity hotspot: connectivity is more important than remaining habitat. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v. 35, p. 639-657, 2020.

GROPPO, J. D.; LINS, S. R. M.; CAMARGO, P. B.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; MARTENELLI, L. A. Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorus due to land-use changes in Brazil. **Biogeosciences**, [S.], v.12, p. 4765–4780, 2015.

GUIMARÃES, A. K. V.; PINTO, J.C.; FORTES, C. A. Acúmulo e decomposição de serrapilheira em ecossistema de pastagem. **PUBVET**, Londrina, v.4, n. 3, Ed. 108, Art. 725, 2010.

HUNKE, P.; ROLLER, R.; ZEILHOFER, P.; SCHRODER, B.; MUELLER, E. N. Soil changes under diferente land-uses in the Cerrado of Mato Grosso, Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, n. 4, p. 31-43, 2015.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário, Florestal e Aquícola 2017**. 2017a. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/esta-belecimentos.html?localidade=17>. Acesso em: 11 fev. 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estabelecimentos, Tocantins: Técnicas de Cultivo**. Brasília, 2017b. Disponível em:<https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/estabelecimentos.html?localidade=17>. Acesso em: 11 fev. 2023.

INCRA. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Sistema de Informações de Projetos de Reforma Agrária – SIPRA, 2022. **Projetos de Reforma Agrária Conforme Fases de Implementação**. Disponível em: <<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentosgeral.pdf>> Acesso em 10 fev. 2023.

JESUS, K. N. **Estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências) - Comissão Nacional de Energia Nuclear Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

LAL, R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, Illinois, v. 24, p. 3285–3301, 2018.

LANGE, A.; DANTAS, J.; FREDDI, O. S.; BURATTO, W.; SPAZIANI, C.; CAIONE, G. Degradação do solo e pecuária extensiva no norte de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 6, p. 642-648, 2019.

LEITE, O. C.; LIMA, S. O.; LUZ, J. H. S.; SILVA, R. R.; FIDELIS, R. R.; TAVARES, R. C.; BARILLI, J.; MACHADO, A. F. Liming in soils with plinthic materials of the Brazilian Savanna: potentials and limitations. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 16, n. 4, p. 488-494, 2022.

LIMA, D. S.; ARAÚJO, L. S.; CUNHA FILHO, M.; HOLANDA, F. S. R.; PEDROTTI, A.; PISCOYA, V. C.; FEITOSA, T. B.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M. F.; GOMES FILHO, R. R.; CAMPOS, F. S.; FERNANDES, M. M.; ARAÚJO FILHO, R. N. Root biomass under different soil uses and native Cerrado in Tocantins, Brazil. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 1, 2022.

LIMA, D. S. **Atributos físico-químicos e biomassa radiculares sob diferentes usos do solo em Cerrado no Tocantins, Brasil**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2021.

LIMA, D. S.; PISCOYA, V. C.; CUNHA FILHO, M.; FERNANDES, M. M.; GOMES FILHO, R. R.; ARAÚJO FILHO, R. N. Stocks of elements in radicular biomasses in different coverages in the cerrado of tocantins, Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 36, n. 1, p. 124 – 134, 2023.

LOCATELLI, J. L.; SANTOS, R. S.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. R. P. Changes in soil organic matter fractions induced by cropland and pasture expansion in Brazil's new agricultural frontier. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 28, 2022.

MAHAL, N. K.; CASTELLANO, M. J.; MIGUEZ, F. E. Conservation agriculture practices increase potentially mineralizable nitrogen: a meta-analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 82, p.1270-1278, 2018.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 381-392, 2008.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de**

carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030): visão estratégica para um novo ciclo / Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília: MAPA, 2021.

MARINHO JUNIOR, J. L.; PISCOYA, V. C.; FERNANDES, M. C.; GONÇALVES, S. B.; HOLANDA, F. S. R.; CUNHA FILHO, M.; GOMES FILHO, R. R.; PEDROTTI, A.; ARAÚJO FILHO, R. N. Carbon dynamics in humic fractions of soil organic matter under different vegetation cover in southern Tocantins. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, 2021.

MARTINEZ, H. E. P.; MAROTTA, J. J. L.; MANGAS, I. B. **Relações solo-planta: bases para a nutrição e produção vegetal**. Viçosa: Editora UFV, 2021, 307 p.

MARTINS, A. L. **Possíveis destinos do carbono da serrapilheira no ecótono cerrado-pantanal**. 2017. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

MATTOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Perdas por volatilização do nitrogênio fertilizante aplicado em pomares de citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v.23, n.1, p.263-270, 2002.

MCCMAHON, D. E.; VERGUTZ, L.; VALADARES, S. V.; SILVA, I. R.; JACKSON, R. B. Soil nutrient stocks are maintained over multiple rotations in Brazilian Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 448, p. 364–375, 2019.

MEDEIROS, A. S.; SILVA, T. S.; SILVA, A. V. L.; BARROS, R. S.; MAIA, S. M. F. Organic carbon, nitrogen and the stability of soil Aggregates in areas converted from sugar cane to Eucalyptus in the state of Alagoas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 42, n. 4, 2018.

MELO, A. V.; TAUBINGER, M.; SANTOS, V. M.; CARDOSO, D. P.; VALE, J. C. Capacidade combinatória de milho para produção de grãos sob níveis de fósforo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 4, p. 15-25, out.-dez. 2017.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crop. **Plant and Soil**, Londres, v. 181, p. 83-93, 1996.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. *In*: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-8.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2 ed. atual e ampliada, Lavras: **Editora UFLA**, 2006. 729 p.

MOREIRA, H. L.; OLIVEIRA, V. A. Evolução e gênese de um plintossolo pétrico concrecionário êutrico argissólico no município de ouro verde de goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1683-1690, 2008.

- NASCIMENTO, R. L. X.; SOUSA, C. C.; OLIVEIRA, M. A. N. (Org.) **Caderno de caracterização do estado do Tocantins**. Brasília, DF: Codevasf, 2021. 75p.
- NEILL, C.; PICOLLO, M. C.; MELILO, J. M.; STEUDLER, P. A. CERRI, C. C. Nitrogen dynamics in Amazon forest and pasture soils measured by 15 N pool dilution. **Soil Biology and Biochemistry**, Madison v. 31, p. 567-572, 1999.
- OLIVEIRA, D. C.; OLIVEIRA, D. M. S.; FREITAS, R. C.; BARRETO, M. S.; ALMEIDA, R. E. M.; BATISTA, R. B.; CERRI, C. E. P. Profundidade avaliada e aumento de escala de estudos de caso único pode superestimar o papel do sequestro de C por pastagens nos compromissos do plano de agricultura de baixo carbono do Brasil, **Carbon Management**, Londres, v. 12, n. 5, p. 499-508, 2021.
- OLIVEIRA, D. C. **Pontecial de sequestro de carbono no solo e dinâmica de matéria orgânica em pastagens degradadas no Brasil**. 2018. Tese (doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.
- OLIVEIRA FILHO, J. S.; LOPES, R. O.; ARAÚJO, M. O.; MAGALHÃES, M. S.; VASCONCELOS, M. D. S.; LIMA, A. R. L.; BASTOS, F. H.; PEREIRA, M. G. How does increasing humidity in the environment affect soil carbon and nitrogen stocks and the C/N ratio in tropical drylands? Evidence from northeastern Brazil. **Catena**, Amsterdam, v. 213, n. 106208, 2022.
- OLIVEIRA, S. P.; CÂNDIDO, M. J. D.; WEBER, O. B.; XAVIER, F. A. S.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, Amsterdam, v. 137, p. 508–516, 2016.
- PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v.1, n. 1, p. 59-65, 2007.
- PERGORARO, R. F.; MOREIRA, C. G.; DIAS, D. G.; SILVEIRA, T. C. Carbon and nitrogen stocks in the soil and humic substances of agricultural crops in the semi-arid region. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 49, n. 4, p. 574-583, 2018.
- PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONSECA, S.; DAMBROZ, . S; Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 261-273, abr.-jun., 2011.
- PENG, Y.; CHEN, G.; CHEN, G.; LI, S.; PENG, T.; QIU, X.; LUO, J.; YANG, S.; HU, T.; HU, H.; XU, Z.; LIU, L.; TANG, Y.; TU, L. Soil biochemical responses to nitrogen addition in a secondary evergreen broad-leaved forest ecosystem. **Scientific Reports**, Londres, v. 7, n. 2783, 2017.
- PEREIRA, W. D.; NETO, F. L. M.; SANTOS, R. H. S.; OLIVEIRA, T. S.; CABALLERO, S. S. U. Changes in the stocks of C and N in organic matter

fractions in soil cropped with coffee and fertilized with sunn hemp and ammonium sulfate. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 3, p. 999-1014, 2018.

PRATES JÚNIOR, P.; MOREIRA, B. C.; SILVA, M. C. S.; VELOSO, T. G. R.; STÜRMER, S. L.; FERNANDES, R. B. A.; MENDONÇA, E. S.; KASUYA, M. C. M. Agroecological coffee management increases arbuscular mycorrhizal fungi diversity. **Plos One**, São Francisco, v. 14, n.1, p. e0209093, 2019.

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

RACHWAL, M. F. G.; ZANATTA, J. A.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; FRANCISCON, L. Impacto de sistemas produtivos nos estoques de carbono e nitrogênio do solo na Região Noroeste do Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 42, 2022.

RAMOS, M. R.; LIMA, L. F. A.; GUIZZO, J. V. M.; SANTOS, D. M. A.; UHLMANN, A. Fragilidades e potencialidades dos solos de uma fazenda localizada no município de Palmas/To. *In*: ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. (Org.). **Solo nos biomas brasileiros**, v.2. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2018. Cap. 10, p. 86-100.

REDIN, M.; RECOUS, S.; AITA, C.; CHAVES, B.; PFEIFER, I. C.; BASTOS, L. M.; PILECCO, G. E.; GIACOMINI, S. J. Root and shoot contribution to carbon and nitrogen inputs in the topsoil layer in no-tillage crop systems under subtropical conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, n. 0170355, 2018.

REGO, C. A. R. M. **Alterações nos atributos edáficos, nos estoques de carbono e nitrogênio e nas frações da matéria orgânica após substituição da vegetação natural por pastagens na Amazônia maranhense**. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, 2006.18 p.

RIBASKI, J.; RIBASKI, S. A. G. Sistemas Agroflorestais na Região Sul do Brasil. *In*: ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. (Ed.). **Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 45-68.

RIBEIRO, F. P.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; GATTO, A. Deposição, decomposição e conteúdo de nutrientes de serapilheira em área de integração lavoura-pecuária-floresta na região do Cerrado. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 42, n. 201902072, p. 1-9, 2022.

- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica: Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151-212.
- RICE, J. A.; MACCARTHY, P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 17, n. 5, p. 635-648, 1991.
- RODRIGUES, R. A. R.; MELLO, W. Z.; CONCEIÇÃO, M. C. G.; SOUZA, P. A.; SILVA, J. J. N. Dinâmica do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas e Florestais Tropicais e seu Impacto na Mudança do Clima. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 9, n. 5, p. 1868-1886, 2017.
- ROQUETTE, J. G. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 1350-1363, 2018.
- ROSA, D. M.; NÓBRAGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.
- ROSCOE, R.; BODDNEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. *In*: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. Cap. 1, p. 17-42.
- RUHOFF, A. L.; RISSO, A.; MEIRELLES, F. S. C.; BELTRAME, L. F. S. Cenários de uso do solo. *In*: LIMA, J. W. M.; COLLISCHONN, W.; MARENGO, J. A. (Org.). **Efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica**. São Paulo: AES Tietê, 2014, p. 145-182.
- SANO E. E; RODRIGUES A. A.; MARTINS E. S.; BETTIOL G. M.; BUSTAMANTE M. M. C.; BEZERRA A. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; VASCONCELOS, V.; SCHULER J.; BOLFE E. L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 232, p. 818-828, 2019.
- SANTANA, G. S.; DICK, D. P.; JACQUES, A. V. A.; CHITARRA, G. S. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p.461-472, 2011.
- SANTANA, M. S.; SAMPAIO, E. V. S.; GIONGO, V.; MENEZES, R. S. C.; JESUS, K. N.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; NASCIMENTO, D. M.; PAREYN, F. G. C.; CUNHA, T. J. F.; SAMPAIO, R. M. B.; COSTA PRIMO, D. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 15, n. 00205, 2019.

SANTANA, M. S.; ANDRADE, E. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FERREIRA, T. O.; SALVIANO, A. M.; SILVA, D. J.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V. Do agrosystems change soil carbon and nutrient stocks in a semiarid environment? **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v. 201, n. 104747, 2022.

SANTOS, A. M. Silvicultura no Tocantins, situação atual e perspectivas. *In*: 8º CONGRESSO INTERNACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SUSTENTÁVEL DA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL E DE GERAÇÃO DE ENERGIA, "MADEIRA 2016", 8., 2016, Palmas. **Anais [...]**. Palmas: Instituto Besc, 2016.

SANTOS, C. C. **Percepção de serviços ambientais e estoque de carbono no solo em áreas de assentamento rural na Amazônia oriental, Brasil**. 2017. Tese (Doutorado em Agroecologia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2017.

SANTOS, C. A.; REZENDE, C.; PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 337, p. 394-401, 2019.

SANTOS, C. C.; FERRAZ JUNIOR, A. S. L.; SÁ, S. O.; GUTIÉRREZ, J. A. M.; BRAUN, H.; SARRAZIN, M.; BROSSARD, M.; DESJARDINS, T. Soil carbon stock and Plinthosol fertility in smallholder land-use systems in the eastern Amazon, Brazil. **Carbon Management**, Londres, v. 8, 2018b.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl., Brasília: Embrapa, 2018a. 356 p.

SANTOS, R. F.; WIESMEIER, M.; OLIVEIRA, D. M. S.; LOCATELLI, J. L.; BARRETO, M. S. C.; DEMATTÊ, J. A. M.; CERRI, C. E. P. Conversion of Brazilian savannah to agricultural land affects quantity and quality of labile soil organic matter. **Geoderma**, Amsterdam, v. 406, n. 115509, 2022.

SANTOS NETO, A. P.; BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; NOVAES, A. B.; DE PAULA, A. Produção de serapilheira em floresta estacional semidecidual e em plantios de *pterogyne nitens* tul. E *eucalyptus urophylla* S. T. Blake no sudoeste da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 633-643, 2015.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA NETO, E.; CORRÊA, G. R.; SIMAS, F. N. B.; CAMPOS, J. F.; MENDENÇA, B. A. F.; NUNES, J. A. Geoambientes, solos e estoques de carbono na Serra Sul de Carajás, Pará, Brasil. **Ciências Naturais**, Belém, v. 11, n. 1, p. 85-101, 2016.

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. The Chemistry of soil organic nitrogen: A review. **Biology and Fertility of Soils**, Londres, v. 26, p. 1-15, 1998.

SEAGRO. SECRETARIA DE AGRICULTURA DO ESTADO DO TOCANTINS. **Agricultura familiar**. 2023. Disponível em: <<https://www.to.gov.br/seagro/agricultura-familiar/6da2iujvhgjl>> Acesso em 10 fev. 2023.

SEPLAN. SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. Gerência de indicadores econômicos e sociais (GIES). Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. Diagnóstico Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. Palmas: **Seplan/GIES**, p. 522, 2017.

SEPLAN. SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. **Perfil do agronegócio tocantinense**. Palmas: Seplan, 2016. 145 p.

SFB. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Área de floresta plantada - Brasil**. Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-plantadas/452-painel-interativo-1a>>. Acesso em: 11 fev. 2023.

SILVA, A. V. L. **Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo na conversão de cana-de-açúcar para eucalipto em Alagoas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2017.

SILVA, D. F.; PEGORARO, R. F.; MAIA, V. M.; KONDO, M. K.; SOUZA, G. L. O. D.; MOTA, M. F. C. Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e de nitrificação na cultura do abacaxi. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n.3, p. 327-335, 2017.

SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. C. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1321-1331, out. 2011.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357–363, 2004.

SILVA, J. J. N.; MELLO, W. Z.; RODRIGUES, R. A. R.; ALVES, B. J. R.; SOUZA, P. A.; CONCEIÇÃO, M. C. G. Ciclagem de Nitrogênio em Florestas Tropicais e Plantações de Eucalipto no Brasil no Antropoceno. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 10, n. 6, p. 1792-1808, 2018b.

SILVA, R. F.; PORTILHO, I. I. R.; AQUINO, A. M.; OTSUBO, A. A.; GALLO, A. S.; GUIMARÃES, M. F. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema plantio direto no Cerrado. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.7, n.1, p. 60-74, 2018a.

SIMON, J.; COSTA, R. V.; ALMEIDA, R. E. M.; CAMPOS, L. J. M.; LAGO, B. C.; FERREIRA, L. L.; LOPES, E. R.; DINIZ FILHO, R. **Época de plantio e**

cultivares de milho safrinha no Tocantins. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2016. 18p.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOARES, M. B.; FREDDI, O. S.; MATOS, E. S.; TAVANTI, R. F. R.; WRUCK, F. J.; LIMA, J. P.; MARCHIORO, V.; FRANCHINI, J. C. Integrated production systems: an alternative to soil chemical quality restoration in the Cerrado-Amazon ecotone. **Catena**, Amsterdam, v. 185, n. 104279, 2020.

SOUSA, D. N.; NIEDERLE, P. A.; CHARÃO-MARQUES, F.; FREITAS, A. A. Inovação e inclusão produtiva na agricultura familiar do tocantins. **Revista grifos**, Chapecó, n. 45, 2018.

SOUSA, J. I.; REBEQUI, A. M.; BREHM, M. A. S.; MELO, L. N.; DIAS, B. O.; FRAGA, V. S. Determinação de substâncias húmicas em função do manejo e da adubação do solo em pastagem. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais [...]**. Natal: SBCS, 2015.

SOUZA, E. D.; CANEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; RIBEIRO, D. O.; BAYER, C.; ROTTA, L. A. Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de “campos de murundus” em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1194-1202, 2016.

SOUZA, A. S.; KATO, O. R.; FREITAS, L. S.; GALVÃO, J. R. Propriedades e estoque de carbono e nitrogênio do solo na amazônia oriental: um estudo de caso sobre os sistemas de manejo. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Málaga, v. 4, 2019a.

SOUZA, T. D.; MOREIRA FILHO, J. B.; FRANCELINO, J. W. C.; PINTO, L. A.; MENEZES, J. M. C.; AZEVEDO, F. R.; PAULA FILHO, F. J. Determinação da matéria orgânica e fracionamento químico de substâncias húmicas em solos do perímetro irrigado de Íco e mauriti. *In*: 59º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2019, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: ABQ, 59., n. , 2019b.

SPERA, S. T.; ABREU, D. C.; ANDREASSE, K. F.; REIS, J. A. V. Caracterização, distribuição geográfica, aptidão de uso, e manejo de plintossolos em Mato Grosso. *In*: SOBRINHO, O. R.; ABREU, D. C.; DIAS, M. P. L.; SILVA, W. M.; SANTOS, D. M. S.; MOLOSSI, L. SOMAVILLA, A.; BALDAN, A. (Ed.). **2ª VITRINE TECNOLÓGICA AGRÍCOLA: “Atualidades na pecuária de corte para Baixada Cuiabana”**. Cuiabá, MT: UNISELVA, 2021. p. 28-42.

SPERA, S. T.; MAGALHÃES, C. A. S.; DENARDIN, J. E.; TARDIN, F. D.; MATOS, E. S.; SOUZA, L. H. C. Produção de grãos e de palhada em diferentes rotações de culturas manejadas com sistema plantio direto. *In*: FARIAS NETO, A. L.; NASCIMENTO, A. F.; ROSSONI, A. L.; MAGALHÃES, C. A. S.; ITUASSÚ, D. R.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; IKEDA, F. S.; FERNANDES JUNIOR, F.; FARIA, G. R.; ISERNHAGEN, I.; VENDRUSCULO, L. G.; MORALES, M. M.;

CARNEVALLI, R. A. (Ed.). **Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável.** Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 47-51.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, F. A. P.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** New York: J. Wiley, 1994. 496p.

STRASSBURG, B.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. M., SCARANO, F. R., SOARES-FILHO, B., BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, Londres, v.1, n. 0099, 2017.

SWIFT R. S. Organic matter characterization. *In*: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (eds). **Methods of soil analysis**. Part. 3. Chemical Methods. Madison: Soil Science Society of America Soil, 1996. p.1011-1069.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed., Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAVANTI, R. F. R.; **Indicadores de qualidade física e química de solo em sistemas de pecuária extensiva no Cerrado brasileiro**. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2020.

TEIXEIRA, P. R.; FERREIRA, R. Q. S.; CAMARGO, M. O.; TAVARES, R. C.; SOUZA, P. B. Variação temporal de nutrientes N P K na serapilheira de duas fisionomias do domínio cerrado, Gurupi - TO. **Revista Verde**, Pombal, v. 11, n.3, p.39-46, 2016.

TERÇARIOL, M. C. **Formas lábeis de carbono e nitrogênio no solo em função de plantas de cobertura e adubação nitrogenada**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2020.

TONIELLO, A. D. **Efeito de doses de nitrogênio sobre a produção e decomposição de liteira e das frações de C do solo em pastos de Capim-Marandu**. 2019. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.

VALADÃO, M. B. X.; CARNEIRO, K. M. S.; INKOTTE, J.; RIBEIRO, F. P.; MIGUEL, E. P.; GATTO, A. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 47, n. 122, p. 256-264, 2019.

- VALENCIANO, M. N. **Intensificação de cultivos na região Sul do Brasil, Estoques de C e Ne efeitos na fertilidade do solo a longo prazo**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.
- VASCONCELOS, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. L.; RUIVO, M. L. P.; SCHAEFER, C. E. G. R.; RODRIGUES, P. G.; SOUZA, G. T.; NASCIMENTO, D. N. O.; BEZERRA, K. C. A.; DIAS, Y. N. Solos metalíferos: atributos químicos nas diferentes fitofisionomias da Serra Sul, Serra dos Carajás, Pará, Brasil. **Ciências Naturais**, Belém, v. 11, n. 1, p. 49-55, 2016.
- VERAS, M. S. Dinâmica do nitrogênio e fluxos de N₂O sob cultivo do milho alternado com as plantas de cobertura. *In*: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 15., 2020, São Cristóvão. **Anais [...]**. São Cristóvão: UFS, n. 2, 2020.
- VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; JARDINI, D. C. Distribuição do carbono orgânico e do nitrogênio total nas frações granulométricas de um latossolo sob diferentes tipos de vegetações. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v.17, n. 1, p. 43-53, 2015.
- VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017. 163 p.
- VILLAR, M. L. P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. Cuiabá: EMPAER-MT, 2007. 182 p.
- WANG, C.; AMON, B.; SCHULZ, K.; MEHDI, B. Factors That Influence Nitrous Oxide Emissions from Agricultural Soils as Well as Their Representation in Simulation Models: A Review. **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 4, p. 1-30, 2021.
- WANG, S.; ZHUANG, Q.; WANG, Q.; JIN, X.; HAN, C. Mapping stocks of soil organic carbon and soil total nitrogen in Liaoning Province of China. **Geoderma**. Amsterdam, v. 305, p. 250–263, 2017.
- WEBER, M. A. **Leguminosas e os estoques de carbono e nitrogênio do solo em experimentos de longa duração**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 429-437, 2009.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; VINHA-FREITAS, I. C. Mudanças no carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica sob sistema agrossilvipastoril. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 641-653, 2011.
- WUANDEN, C. R.; NICOLOSO, R. S.; BARROS, E. C.; GRAVE, R. A. Early adoption of no-till mitigates soil organic carbon and nitrogen losses due to land use change. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 204, n. 104728, 2020.

YANG, L.; QI, F.; ZHU, A. X.; SHI, J. J.; AN, Y. Evaluation of integrative hierarchical stepwise sampling for digital soil mapping. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 80, n. 3, p. 637–651, 2016.

ZEFERINO, L. B.; LUSTOSA FILHO, J. F.; SANTOS, A. C.; CERRI, C. E. P.; OLIVEIRA, T. S. Simulation of changes in C and N stocks with land use and cover in Amazon Forest-Cerrado transition environment. **Geoderma**, Amsterdam, v. 404, n. 115388, p. 1-16, 2021.

ZHANG, H.; ZHANG, Y.; YAN, C.; LIU, E.; CHEN, B. Soil nitrogen and its fractions between long-term conventional and no-tillage systems with straw retention in dryland farming in northern China. **Geoderma**, Amsterdam, v. 269, p.138-144, 2016.

ZHANG, Y.; LIAO, X.; WANG, Z.; WEI, X.; JIA, X.; SHAO, M. Synchronous sequestration of organic carbon and nitrogen in mineral soils after conversion agricultural land to forest. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 295, n. 106866, p. 1-11, 2020.

ZINN, Y. L.; MARRENJO, G. J.; SILVA, C. A. Soil C:N ratios are unresponsive to land use change in Brazil: a comparative analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 255, p. 62-72, 2018.