



**Uema**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DO MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CCA  
CURSO DE ZOOTECNIA

**SARA DE OLIVEIRA RÊGO**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE SISTEMAS PRODUTIVOS E SUSTENTÁVEIS  
COM GESSO E NITROGÊNIO**

São Luís  
2024

**SARA DE OLIVEIRA RÊGO**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE SISTEMAS PRODUTIVOS E SUSTENTÁVEIS  
COM GESSO E NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Zootecnia da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário.

Coorientador: Prof. Dr. William de Jesus Ericeira Mochel Filho.

São Luís  
2024

# ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE SISTEMAS PRODUTIVOS E SUSTENTÁVEIS COM GESSO E NITROGÊNIO

Monografia ao trabalho de conclusão de curso de Zootecnia da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção de grau de Bacharel em Zootecnia.

Aprovado em:     /     /

## BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 VALERIA XAVIER DE OLIVEIRA APOLINARIO  
Data: 20/02/2025 16:57:02-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário (Orientadora)**

Doutora em Zootecnia

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

Documento assinado digitalmente  
 DIANA VALADARES PESSOA  
Data: 20/02/2025 17:24:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Diana Valadares Pessoa**

Doutora em Zootecnia

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

Documento assinado digitalmente  
 LUCIANO CAVALCANTE MUNIZ  
Data: 20/02/2025 17:34:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz**

Doutor em Ciência Animal

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo  
para todo propósito debaixo do céu.

**Eclesiastes 3:1**

## AGRADECIMENTOS

SENHOR, reconheço que esta conquista é fruto da tua graça e direção, pois sem ti nada sou. Agradeço por me conceder a graça de concluir esta importante etapa da minha vida.

Mãe, MarluCIA de Oliveira, minha eterna gratidão por ter me proporcionado a oportunidade de estudar em tempo integral e por sempre estar ao meu lado, nos momentos de alegria e desafio. A toda minha família, que me incentivou de alguma forma, seja dando apoio financeiro, palavras de incentivo, acordando de madrugada para me levar à parada e, principalmente, por não terem deixado eu perder o vestibular (dedico também à minha amiga/vizinha Luana Letícia, nunca vou esquecer desse dia).

Quero agradecer a mim mesmo por ter vivido essa jornada acadêmica desafiadora. Com isso, dedico o “aguentou foi muito e ainda foi simpática”, obrigada! Aos meus amigos, que se tornaram minha segunda família, em especial ao Cicero Gabriel por simplesmente entrar na minha vida e me apoiar de todas as formas possíveis. Ao Sr. Cledimilton Cardoso e Sra. Natália Cardoso, por proporcionarem uma experiência única ao me permitir participar do primeiro congresso fora do estado. E aos meninos da Engenharia da Computação, Antônio Oliveira, José Ribamar, Iori Fernando, Gustavo Sousa e Victor Wendell, por tornarem os dias mais leves e divertidos. E finalmente, ao João Victor Miranda e Epifânia Espindula, pelos incentivos e companheirismo durante esta fase.

Gostaria de expressar minha gratidão à Sra. Samyra Oliveira e ao Sr. Leonardo Oliveira, que me proporcionaram um ambiente de trabalho acolhedor. A oportunidade de conciliar o trabalho com os estudos, bem como o apoio e a confiança depositados em mim, foram essenciais para a concretização deste trabalho. Sou eternamente grata por Deus ter colocado vocês em minha vida.

E, por último, agradeço aos meus orientadores, Valéria Apolinário e William Mochel. Também agradeço à Thaís Figueiredo e ao Jarilson de Sousa pela ajuda na realização deste trabalho. E à banca examinadora, Diana Pessoa, Luciano Muniz e, principalmente, ao Victor Hugo Santos (serei eternamente grata por toda ajuda e dedicação), por fazerem parte desse momento.

## RESUMO

A degradação de pastagens e o aumento sustentável da produtividade agropecuária impulsionam a busca por práticas que melhorem a qualidade do solo e a eficiência dos recursos naturais. Diante desse contexto, nosso objetivo foi avaliar os atributos físicos do solo em sistema de monocultivo e integrado com e sem aplicação de gesso, no Trópico Úmido Maranhense. O experimento foi conduzido na área experimental do UNIPAZ/UEMA, em São Luís – MA, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico, classificado como franco arenoso e com características de endurecimento, comum na região. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram em diferentes combinações de gramínea (Ipyporã), leguminosa (Estilosantes), ureia e gesso: I-Ipyporã (IPY), II-Ipyporã + Ureia (I+U), III-Ipyporã + Ureia + Gesso (I+U+G), IV-Estilosantes + Ipyporã (E+I), V-Estilosantes + Gesso + Ipyporã (E+G+I). As adubações nitrogenadas foram realizadas com ureia (46% de N) aplicado 100 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A quantidade de gesso aplicado em dose única foi de 4 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. As coletas de solo foram realizadas em três pontos dentro das parcelas, com amostras indeformadas para determinação dos atributos físicos (densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total) e amostras deformadas para análise do Carbono Orgânico Total (COT). Os resultados indicaram que os sistemas com gesso e ureia com combinação gramínea e/ou leguminosa apresentaram uma média de 5,16 % COT, em relação a área com gramínea (2,87 g/Kg<sup>-1</sup>). A densidade do solo foi menor no sistema com leguminosa e gramínea (1,56 g/cm<sup>-3</sup>), enquanto a microporosidade foi menor apenas na área com gramínea (25,50%). Macroporosidade com uma média de 3,56% e porosidade total com 33,71% a média, ou seja, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Conclui-se que a combinação de leguminosas e o uso de gesso e ureia promovem melhorias nos atributos físicos do solo, com impacto positivo no estoque de carbono e na qualidade do solo, representando alternativas viáveis para promover a sustentabilidade dos sistemas de produção no Trópico Úmido Maranhense.

**Palavras-chave:** carbono; densidade; leguminosa; porosidade.

## ABSTRACT

The degradation of pastures and the sustainable increase in agricultural productivity drive the search for practices that improve soil quality and the efficiency of natural resources. Given this context, our objective was to evaluate the physical attributes of the soil in a monoculture and integrated system with and without gypsum application, in the Humid Tropic of Maranhão. The experiment was conducted in the experimental area of UNIPAZ/UEMA, in São Luís – MA, in a Distrophic Red-Yellow Argisol with a sandy loam texture and hardening characteristics, common in the region. The experimental design was in randomized blocks, with five treatments and three replications. The treatments consisted of different combinations of grass (Ipyporã), legume (Estilosantes), urea and gypsum: I–Ipyporã (IPY), II–Ipyporã + Urea (I+U), III–Ipyporã + Urea + Gypsum (I+U+G), IV–Estilosantes + Ipyporã (E+I), V–Estilosantes + Gypsum + Ipyporã (E+G+I). Nitrogen fertilization was carried out with urea (46% N) applied at 100 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The amount of gypsum applied in a single dose was 4 tons ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Soil samples were collected at three points within the plots, with undisturbed samples to determine physical attributes (soil density, microporosity, macroporosity and total porosity) and deformed samples for analysis of Total Organic Carbon (TOC). The results indicated that the systems with gypsum and urea with a combination of grass and/or legume had an average of 5.16% TOC, compared to the area with grass (2.87 g/Kg<sup>-1</sup>). Soil density was lower in systems with legume and grass (1.56 g/cm<sup>-3</sup>), while microporosity was lower only in the area with grass (25.50%). Macroporosity with an average of 3.56% and total porosity with an average of 33.71%, that is, there were no significant differences between treatments. It is concluded that the combination of legumes and the use of gypsum and urea promote improvements in the physical attributes of the soil, with a positive impact on carbon stock and soil quality, representing viable alternatives to promote the sustainability of production systems in the Humid Tropic of Maranhão.

**Keywords:** carbon; density; legume; porosity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1: Temperatura (°C) e Precipitação mensal (mm) em 2023 no município de São Luís - MA. .....	19
Gráfico 2: Temperatura (°C) e Precipitação mensal (mm) em 2024 no município de São Luís - MA .....	19
Imagem 1: Croqui da área experimental na UNIPAZ da UEMA Campus Paulo VI em São Luís - MA, Brasil. ....	21
Gráfico 3: Teores médios de Carbono Orgânico Total (COT) do solo em sistema de monocultivo e integrado. ....	23
Gráfico 4: Teores médios da Densidade do solo (DS) em sistema de monocultivo e integrado ...	24
Gráfico 5: Teores médios da Microporosidade do solo (MS) em sistema de monocultivo e integrado .....	25
Gráfico 6: Teores médios da Macroporosidade do solo (MS) em sistema de monocultivo e integrado .....	26
Gráfico 7: Teores médios da Porosidade total (PT) em sistema de monocultivo e integrado.....	27

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Valores médios dos atributos físicos do solo e COT em função das profundidades de coleta do solo na UNIPAZ, São Luís – MA, Brasil. ....	28
---	----

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Degradação e Recuperação de pastagens .....	11
2.2 Consórcio gramínea e leguminosa .....	13
2.3 Gesso e Ureia .....	15
2.4 Atributos físicos .....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3.1 Localização e Caracterização da área experimental.....	18
3.2 Histórico da área experimental e Preparo da área .....	20
3.3 Descrição, delineamento e condução do experimento .....	20
3.4 Amostragem de solo.....	21
3.5 Análise Estatística .....	22
4. RESULTADO E DISCUSSÃO .....	22
4.1 Atributos do solo .....	22
5. CONCLUSÃO .....	29
REFERÊNCIAS.....	30

## 1. INTRODUÇÃO

As pressões ambientais e as exigências do mercado, juntamente com o avanço tecnológico (técnicas de recuperação e manejo do solo e pastagens, o lançamento de cultivares mais produtivas), têm impulsionado transformações nas atividades e produção agropecuárias (Telles, 2021). A intensificação sustentável da agropecuária permite obter benefícios simultâneos para o bem-estar humano e para os agroecossistemas, ou seja, maiores produtividades dos sistemas agropecuários e eficiência ecológica (Moura, *et al.*, 2018).

No passado, os sistemas eram exclusivamente extensivos e tinham como base o uso de pastagens de gramíneas pouco produtivas e de baixo valor nutritivo, o que resultava em baixas taxas de lotação e de produtividade animal. Nesse contexto, os ganhos de produção eram obtidos pelo aumento do tamanho da área destinada à alimentação dos animais (Paciullo, 2016).

Segundo um estudo citado por Bolfe, *et al.* (2024) realizado em 2022, são cerca de 170 milhões de ha de pastagens no Brasil, contudo, estima-se que 41% das pastagens brasileiras apresentam médio vigor vegetativo e indícios de degradação intermediária, enquanto 21% apresentam baixo vigor vegetativo, entendido como degradação severa. Só o Estado do Maranhão possui aproximadamente 7,1 milhões de ha do seu território destinados ao uso de pastagens (Governo Federal Brasileiro, 2024), com uma taxa de lotação média de 0,1 a 1,2 UA ha (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes, 2023). Alguns fatores podem contribuir com essa estimativa, como a escolha da espécie forrageira, o superpastejo, a falta de reposição de nutrientes no solo (Nascimento, P. *et al.*, 2023), principalmente o Nitrogênio (N), que é um macronutriente responsável pelo crescimento e desenvolvimento da planta forrageira.

Na região do trópico úmido o uso da adubação nitrogenada inorgânica é um desafio devido às características edafoclimáticas dessa região, como alta precipitação, altas temperaturas, solos de baixa fertilidade natural (Aguiar *et al.*, 2010), e coesos com baixos teores de elementos agregados, como Cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e Ferro ( $\text{Fe}^{+2}$ ) (Moura *et al.*, 2018).

Esses solos, também conhecidos como solos endurecidos, limitam o enraizamento das plantas e prejudicam a absorção e eficiência do uso da água e N (*op cit.*, 2018). O acúmulo de matéria orgânica, que poderia mitigar os efeitos negativos da coesão do solo na região da raiz, é prejudicado por condições climáticas que favorecem a rápida decomposição da biomassa acumulada no solo (Hijbeek *et al.*, 2018).

Uma alternativa para aumentar a matéria orgânica no solo e o uso de N nessa região é a integração de leguminosas que fazem Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) com gramíneas forrageiras, as gramíneas podem se beneficiar do N fixado pela leguminosa, seja pela excreção direta de compostos nitrogenados pelas raízes, ou pela decomposição dos nódulos, das raízes e da serapilheira das leguminosas (Machado *et al.*, 2012).

Outra opção é o uso do gesso agrícola, que fornece para as plantas nutrientes como  $\text{Ca}^{+2}$  e Enxofre (S), e é uma estratégia para reduzir a coesão do solo, por melhorar o enraizamento das plantas, contribuindo para uma maior porosidade e menor densidade do solo, melhorando o ambiente do solo para o crescimento e desenvolvimento radicular (Sena *et al.*, 2020). Diante desse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar os atributos físicos do solo, nos sistemas de monocultivo e integrado com e sem aplicação de gesso, no Trópico Úmido Maranhense.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Degradação e Recuperação de pastagens

#### *Degradação da pastagem*

Considera-se áreas degradadas que apresentam “sintomas” como: mineração, processos erosivos, ausência ou diminuição da composição vegetal, deposição de lixo, superfície espelhada, entre outros (Salomão, 2020). O conceito também pode variar de acordo com os efeitos ambientais (Embrapa, 2008 *op cit.*, 2020).

Entre os maiores desafios para a sustentabilidade estão as causas e as consequências da degradação do solo para o meio ambiente, sendo considerado fundamental para o funcionamento do ecossistema terrestre. A degradação é um processo complexo que afeta diretamente a sustentabilidade do sistema de produção, desempenho animal, solo e dos recursos naturais devido aos manejos inadequados. Na qual, as causas podem ser classificadas em práticas inadequadas de pastoreio, como a falta de reposição dos nutrientes, uso do fogo, ataques de insetos, baixa fertilidade, excesso ou ausência de chuvas/irrigação e drenagem deficiente do solo (Terra *et al.*, 2019).

Com o esgotamento da fertilidade natural do solo, o proprietário acaba sendo conduzido a substituir por espécies forrageiras menos exigentes e de menor valor nutritivo. Portanto, a correção e a adubação do solo são práticas consideradas importantes para a formação

de pastagens, para proporcionar maior resistência. No Brasil, a exploração das pastagens naturais era realizada de forma extrativista, em decorrência disso, observa-se uma busca por soluções para corrigir a queda da produtividade da pastagem, devido aos fatores explicados anteriormente (Carvalho, 2017).

As plantas forrageiras são submetidas, constantemente, ao estresse da colheita, seja pelo pastejo ou pelo corte, portanto é importante conhecer as técnicas para que, a partir da sementeira, a espécie forrageira não seja degradada rapidamente. O estabelecimento incorreto e o manejo inadequado são os principais fatores suscetíveis à degradação (Borghini, 2018). O uso da queima de pastagens como solução para controlar as plantas daninhas e aumentar os nutrientes do solo tem sido uma das ferramentas mais “baratas” e mais usadas. No entanto, o uso desta prática tende a ocasionar baixa produtividade, perda da pastagem e dos microrganismos presentes no solo e acarretar no desequilíbrio do sistema na perda da matéria orgânica do solo (Guedes, 2017).

Outro principal fenômeno contribuinte da degradação, é a erosão. Alguns solos estão predispostos à erosão, devido a remoção da camada nativa, arações e gradagens frequentes, queimadas e até mesmo a própria compactação do solo (Wadt, 2003). Chamada de erodibilidade, ou seja, é a vulnerabilidade ou suscetibilidade de determinado solo à erosão. As propriedades do solo influenciadas pela erodibilidade são as que afetam a infiltração da água do solo, permeabilidade e capacidade de absorção de água. Na qual, o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e vento, se manifestando de diferentes formas dependendo da resistência do solo (Alvarenga *et al.*, 2018).

### *Recuperação da pastagem*

A recuperação da pastagem é uma das maneiras de restaurar uma área degradada. É uma medida favorável para a recuperação do solo e, além disso, uma opção viável técnica e economicamente, uma vez que permitirá um acréscimo de produção agropecuária no país. No contexto ambiental, recuperar as áreas degradadas pode evitar novos processos de desmatamentos para abrir novas áreas de pastagem, favorecendo a preservação da fauna e flora (Salomão, 2020).

A recuperação e conversão de até 40 milhões de hectares de pastagens degradadas em áreas agricultáveis é uma das alternativas tecnológicas que compõem os compromissos assumidos pelo Brasil na COP- 29 (Conferência das Partes [COP] da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas [UNFCCC]), reduzindo o impacto das mudanças climáticas, dobrando

a área de produção de alimentos sem desmatamento e prevendo a redução das emissões de gases do efeito estufa (Governo Federal Brasileiro, 2023).

As pastagens recuperadas se caracterizam pelo restabelecimento da produção de forragem mantendo a mesma espécie. Com o levantamento detalhado das condições pastagens, como o histórico da área, análise do solo, condições de conservação do solo e cobertura do dossel pode-se realizar a prática para restaurar o vigor e a produtividade do pasto (Borghini, 2018).

Entre os métodos disponíveis para recuperação de pastagens degradadas, temos os métodos diretos que são utilizados no início da degradação e os métodos indiretos em pastagens com elevada degradação. Deve-se considerar o solo, densidade das plantas, tempo, recursos e condições climáticas. Portanto, na recuperação direta, utiliza-se a calagem e adubação como melhoramento da pastagem. Utilizando o calcário associado à adubação com nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes de acordo com as análises do solo. Já as técnicas indiretas, utilizasse a integração lavoura – pecuária, por meio de pastagens ou lavouras anuais em sistema de rotação ou de consórcio com as forrageiras, gerando renovação, melhoramento das propriedades do solo, produção e renda (Carvalho, 2017).

No entanto, existem outras práticas conservacionistas como medidas de proteger o solo, prevenindo a erosão, aumentar a disponibilidade de água, nutrientes e atividade biológica do solo, e condições adequadas ao desenvolvimento das plantas. A adoção da prática vegetativa que consiste na cobertura do solo com a maior quantidade de biomassa possível, protegendo-o solo contra o impacto da chuva, servindo como obstáculos ao escoamento de água superficial, aumentando a infiltração no perfil do solo e melhorando a estabilidade dos agregados do solo (Alvarenga *et al.*, 2018).

## **2.2 Consórcio gramínea e leguminosa**

No Brasil, o período de escassez na produção das pastagens é comum (Terra *et al.*, 2019). A utilização da adubação verde é uma das formas de diminuir os impactos da agricultura, permitindo sustentabilidade no sistema. Logo, é importante levar em consideração a utilização de distintas espécies de plantas de cobertura para melhorar a conservação do solo, proporcionando uma quantidade considerável de matéria orgânica e melhoria na estrutura do solo. Além disso, contribuem com o aumento da cultura subsequente, reduzindo a quantidade de adubo nitrogenado utilizado. Em que, a prática permite melhoria nas propriedades físicas do solo, aumento da

infiltração de água no solo, redução da resistência à penetração e proporciona incremento na fertilidade do solo (Orivaldo *et al.*, 2018).

A integração gramíneas e leguminosas, como por exemplo, Braquiária (*Urochloa brizantha* cv. BRS Ipyorã) e Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*), respectivamente. Configura-se como alternativa sustentável, para solucionar os problemas como a baixa disponibilidade de Nitrogênio nos solos tropicais (Terra *et al.*, 2019). De fato, as gramíneas se destacam pela elevada produção de fitomassa e alta relação C:N, o que confere ao solo uma palhada com maior tempo de permanência. Já as leguminosas potencializam a fertilidade do solo com incremento de nitrogênio via fixação biológica (Tavares *et al.*, 2020). Promovendo a redução da necessidade de aplicação de nitrogênio mineral.

Consequentemente, o uso de leguminosas proporciona a recuperação de áreas degradadas, maior cobertura e melhor proteção do solo, sendo um processo não poluente e sustentável. Além disso, a utilização de leguminosas para recuperar áreas degradadas apresenta vários benefícios, como capacidade de FBN no solo, por meio de associações simbióticas entre leguminosas e bactérias fixadoras de nitrogênio. Isso resulta no aporte de quantidades expressivas deste nutriente ao sistema solo-planta (Rodrigues, 2021).

A FBN ocorre com base na interação entre as bactérias diazotróficas e plantas. Na simbiose com leguminosas, os rizóbios formam estruturas radiculares – os nódulos –, nos quais ocorre a FBN. No caso de gramíneas, as bactérias fixadoras são de vida livre (associativas ou endofíticas) e não formam estruturas especializadas nas plantas. Nesse caso, a FBN disponibiliza menor quantidade de nitrogênio, mas ainda consegue suprir parte da demanda de nitrogênio das gramíneas. As bactérias associadas às gramíneas, destaca-se o gênero *Azospirillum* (coinoculação), com capacidade de promover aumentos de 5 a 30% na produtividade de importantes culturas (Paiva *et al.*, 2024).

#### *Vantagens do consórcio*

O consórcio apresenta maior rendimento de matéria seca e maior acúmulo de nutrientes; a gramínea no consórcio irá esgotar o N disponível do solo e estimulará a fixação biológica de N<sub>2</sub> pela leguminosa. A água e os nutrientes do solo podem ser mais eficientemente utilizados mediante a exploração de diferentes volumes de solo por sistemas radiculares com distribuição distinta, e a presença de gramíneas na mistura com leguminosas adiciona ao solo uma

fitomassa com relação C:N intermediária àquelas das culturas isoladas, proporcionando, simultaneamente, proteção do solo e fornecimento de N à cultura em sucessão (Tavares *et al.*, 2020).

### 2.3 Gesso e Ureia

#### *Gesso*

A acidez do subsolo é considerada uma das principais causas de limitação à produtividade agrícola, por proporcionar restrição ao crescimento radicular e à absorção de água e nutrientes pelas culturas. Sendo assim, uma estratégia adotada para reduzir os fatores limitantes na produção, é a utilização do gesso agrícola em associação com o calcário (Guimarães, 2016).

Por possuir materiais com propriedades ligantes, fabricado a partir do aquecimento da gipsita (mineral em estado natural), sua principal composição é por sulfato de cálcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Já o fosfogesso é usualmente referenciado na literatura técnica como subproduto do gesso, é o nome dado ao sulfato de cálcio gerado na produção de ácido fosfórico, como resultado da reação entre a apatita presente no concentrado fosfático e o ácido sulfúrico em meio aquoso (Castro, 2022). Assim, o gesso é utilizado como fonte de cálcio (Ca) e enxofre (S), ou como condicionador de subsuperfície do solo diminuindo a concentração do Alumínio ( $\text{Al}^{+3}$ ) (Guimarães, 2016). A toxidez do alumínio é associada à acidez do solo.

O gesso agrícola fornece para as plantas os nutrientes Ca e S, melhora as propriedades físicas e químicas do solo, como: a estrutura do solo, reduz a toxicidade pelo  $\text{Al}^{+3}$ , promove maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas em profundidade, mantém o Ca e o S nas camadas mais profundas do perfil do solo e proporciona o aumento na disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, logo, beneficia o crescimento e o desenvolvimento das culturas (Nascimento, K., 2022). Em solos com pH abaixo de 5,0, o alumínio está na forma de  $\text{Al}^{3+}$  solúvel, que é tóxico às raízes das plantas, inibindo o desenvolvimento radicular. Portanto, ao ser aplicado no solo, o gesso se apresenta em forma de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{CaSO}_4^0$ , os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  são liberados, e o  $\text{CaSO}_4^0$ , desce para a camada mais profunda e com isso aumenta a concentração de cálcio, magnésio e potássio. Assim o Cálcio substitui o Alumínio, enquanto o Sulfato reage com o Alumínio, formando complexos de alumínio sulfato que não são tóxicos para as plantas (Vitti *et al.*, 2015).

Segundo Nogueira *et al.*, 2016 *apud* Castro, 2022 o efeito residual do gesso agrícola melhora os atributos físicos e de matéria orgânica no perfil do solo no sistema de manejo convencional, pois proporciona maior valor de porosidade total, macro e microporosidade, e matéria orgânica na camada de 10 - 20 cm. Além disso, proporciona o desenvolvimento do sistema radicular, otimiza a eficiência de água e nutrientes no perfil do solo e melhora a absorção de nitrogênio, fósforo e potássio, em condições de deficiência hídrica (*Ibid*, 2022).

### *Ureia*

O nitrogênio é um nutriente essencial para a produtividade das gramíneas, pois desempenha um papel fundamental na construção da estrutura da planta. O N é o principal responsável pelos processos como a formação e o desenvolvimento de perfilhos, diâmetro do colmo, altura da planta e a produção de matéria seca. A deficiência de nitrogênio pode comprometer o desenvolvimento da planta, afetando sua estrutura e aspectos morfológicos. Nesse contexto, a adubação nitrogenada emerge como uma prática crucial para agropecuária, evitando degradação (Sousa, 2018).

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura, sendo produzido pela reação do CO<sub>2</sub> com a amônia anidra. O alto consumo é devido a sua maior concentração de N (44-46%) na forma amídica, baixo custo relativo, alta solubilidade em água, baixa corrosividade, compatibilidade com grandes números de fertilizantes e defensivos. Apesar da amida ser um composto orgânico, a ureia é considerada, de acordo com a Lei nº 6.894 de 1980, como fertilizante mineral (obtida de forma sintética e rápida solubilidade) (Vieira, 2017).

Alexandrino *et al.*, (2003) *apud* Piovesan, (2023) descreveram que o nitrogênio acelera o ciclo da planta, tornando-a precoce, trazendo a senescência dos perfilhos. Segundo *op cit.* (2023) os fatores a serem considerados em resposta ao baixo rendimento da pastagem é a volatilização do nitrogênio, nutriente que possui um alto percentual de perda por ser altamente volátil.

A volatilização do nitrogênio, pode receber interferência das condições de solo, como pH, umidade e temperatura, além de fatores como método de aplicação ao solo, em que o processo se dá na forma de amônia (NH<sub>3</sub>). Quando a ureia é aplicada no solo, irá sofrer hidrólise pela enzima urease, esse rápido processo culminará no alto consumo de íons hidrogênio (H<sup>+</sup>), aumentando o pH na zona aplicada atribuindo um maior potencial de volatilização da amônia, por fim, diminuindo a eficiência do fertilizante nitrogenado (Vieira, 2017 *Ibid*, 2023).

## 2.4 Atributos físicos

As propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos são importantes componentes de sua produtividade, visto que as plantas necessitam de solos bem estruturados, sendo por isso a seleção e a utilização adequada de cada tipo de solo são de fundamental importância para a manutenção da qualidade e da produtividade do sistema. De acordo com o uso e manejo, os solos se diferenciam em seu estado de agregação, textura, teor de água, matéria orgânica (Paulino, 2013). Desse modo, o solo que é mantido em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como densidade, porosidade, agregação e permeabilidade consideradas adequadas. Entretanto, quando o solo é submetido ao processo produtivo, as características físicas sofrem alterações (Wendling, 2012).

Segundo estudo citado por Wendling *et al.*, (2012) a formação de camadas compactadas reduz a atividade biológica e a macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, o que proporciona maior resistência física à expansão radicular.

### *Carbono Orgânico Total (COT)*

Os solos são constituídos de uma complexa mistura de compostos derivados de minerais e matéria orgânica (Silvério, 2008). Visto como um dos principais reservatórios de carbono presente nos ecossistemas terrestres. O carbono presente no solo pode influenciar nos atributos físicos, químicos e biológicos e ainda indicar se o manejo que vem sendo realizado está contribuindo para o seu aumento ou por vezes contribuindo para o aumento das perdas desse elemento por oxidação ou associado a processos erosivos (Silva, 2021).

### *Densidade do solo (DS)*

A densidade do solo (Ds) corresponde à massa de solo (Ms) seco por unidade de volume de solo (Vs), expressa em g/cm<sup>3</sup>, também chamada de densidade aparente ou densidade global ou densidade volumétrica, conforme a equação seguinte:

$$Ds = \text{densidade do solo (g/cm}^3\text{)} = Ms / Vs$$

onde  $M_s$  (massa do solo seco) está em g, e  $V_s$  (volume do solo) está em  $\text{cm}^3$ .

Os solos arenosos normalmente apresentam maior densidade do solo, em geral variando de 1,2 a 1,8  $\text{g}/\text{cm}^3$ , enquanto nos solos argilosos usualmente está entre 1,0 a 1,6  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Quanto mais matéria orgânica no solo menor a densidade, pois a densidade da matéria orgânica é muito baixa. Por isto, os horizontes superficiais do solo normalmente apresentam menor densidade que os horizontes subsuperficiais do solo. A compactação do solo aumenta a DS (Junior, 2022).

#### *Porosidade total do solo (PT)*

A porosidade é o volume do solo ocupado pela solução do solo e pelo ar do solo (Junior, 2022). Na qual, os poros totais do solo constituem-se pelos macros e microporos, de forma que o aumento de um reduzirá a porcentagem do outro (Wendling, 2012).

A porosidade total (PT) do solo corresponde ao volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar do solo e solução do solo, conforme a forma mais usual de calcular a porosidade total utilizando os dados de densidade de partículas e densidade do solo:

$$Pt = \text{Porosidade total (cm}^3 \text{ poros/cm}^3 \text{ solo)} = (Dp - Ds) / Dp$$

Onde  $D_s$  (densidade do solo) e  $D_p$  (densidade de partículas) estão em  $\text{g}/\text{cm}^3$  (op.cit., 2022).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

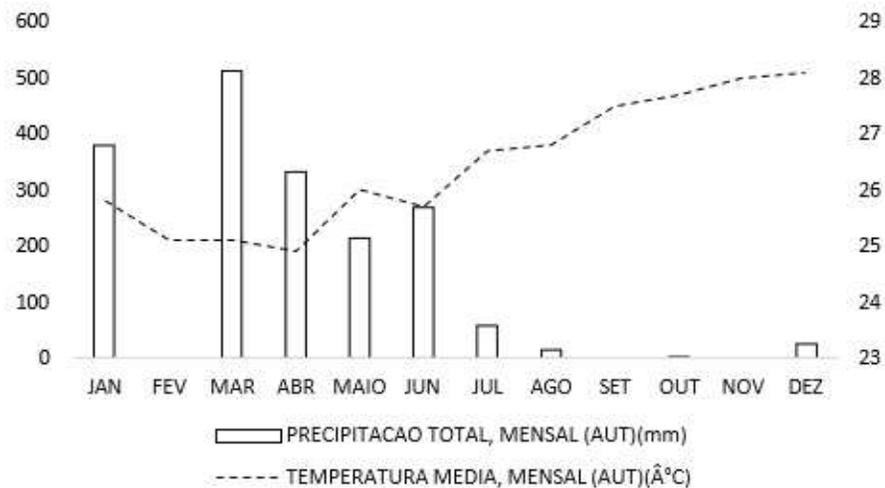
#### **3.1 Localização e Caracterização da área experimental**

A pesquisa ocorreu na Unidade de Produção Animal da Zootecnia-UNIPAZ, na Universidade Estadual do Maranhão, localizada no município de São Luís, região Norte do Estado do Maranhão, Brasil, (2°30' S, 44°18' W) e 24 m de altitude.

Segundo a classificação de Köppen (Peel, *et al.*, 2007), o clima local é do tipo Aw, equatorial, quente e úmido, com precipitação média de 2062  $\text{mm ano}^{-1}$  e duas estações bem definidas, uma chuvosa de janeiro a junho e outra com déficit hídrico acentuado de julho a

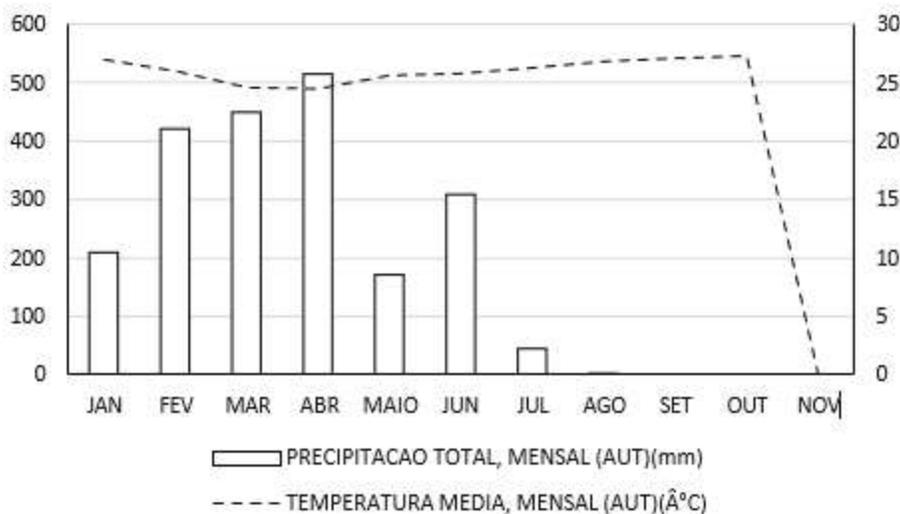
dezembro. A temperatura mínima é de 25 °C e a máxima é de 28 °C (Gráfico 1) (Instituto Nacional De Meteorologia, 2024). A temperatura média durante o ano de 2024 foi de 26 °C (Gráfico 2).

**Gráfico 1:** Temperatura (°C) e Precipitação mensal (mm) em 2023 no município de São Luís - MA.



Fonte: INMET, 2024.

**Gráfico 2:** Temperatura (°C) e Precipitação mensal (mm) em 2024 no município de São Luís - MA.



Fonte: INMET, 2024.

O solo é classificado como Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico arênico e tem textura franco arenosa, com características de endurecimento, devido à relação entre a resistência à penetração e o conteúdo volumétrico de água (Araújo *et al.*, 2019).

### 3.2 Histórico da área experimental e Preparo da área

A área é cultivada desde 2010 com pasto degradado de *Urochloa ssp.* Em 2021, realiza-se a aplicação de 0,5 L ha<sup>-1</sup> de Shadow, 0,2 L ha<sup>-1</sup> de 2,4 D e 10 ml do adesivo Haiten sobre toda a vegetação existente na área. Logo após, procede-se ao preparo do solo de forma convencional, com uma gradagem, e planta-se o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) integrado com BRS Ipyporã utilizando 10 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (VC 70%). No mesmo ano, efetua-se a aplicação de calcário calcítico no solo (CaCO<sub>3</sub>) (1,0 ton ha<sup>-1</sup>) e uma adubação com 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 20 kg ha<sup>-1</sup> de N. Em 2022, após a colheita do sorgo, a área entra em pousio com o BRS Ipyporã e com a presença de plantas espontâneas como *Cyperus rotundus* L., *Vernonia tweediana* (Baker) H. Rob., *Amaranthus lividus* L. e, *Solanum paniculatum* L (Figueiredo, 2024).

A aplicação de herbicida no preparo da área é feita na dose de 2,5 L ha<sup>-1</sup> do herbicida 2,4 D e 2 L ha<sup>-1</sup> Glyphosate, com aplicação localizada. Os atributos químicos do solo da área experimental na profundidade de 0-20 cm são: pH em CaCl – 4,5; P – 40 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> – 3,5; Ca<sup>+2</sup> – 18; Mg<sup>+2</sup> - 6; Na<sup>+</sup> – 5,9; Al<sup>+3</sup> – 0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. A calagem é realizada com base na análise de solo utilizando 0,85 ton ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (CaCO<sub>3</sub>. MgCO<sub>3</sub>) e 0,75 ton ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico (CaCO<sub>3</sub>). Na adubação de fundação aplica-se 40 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (*op cit.*, 2024).

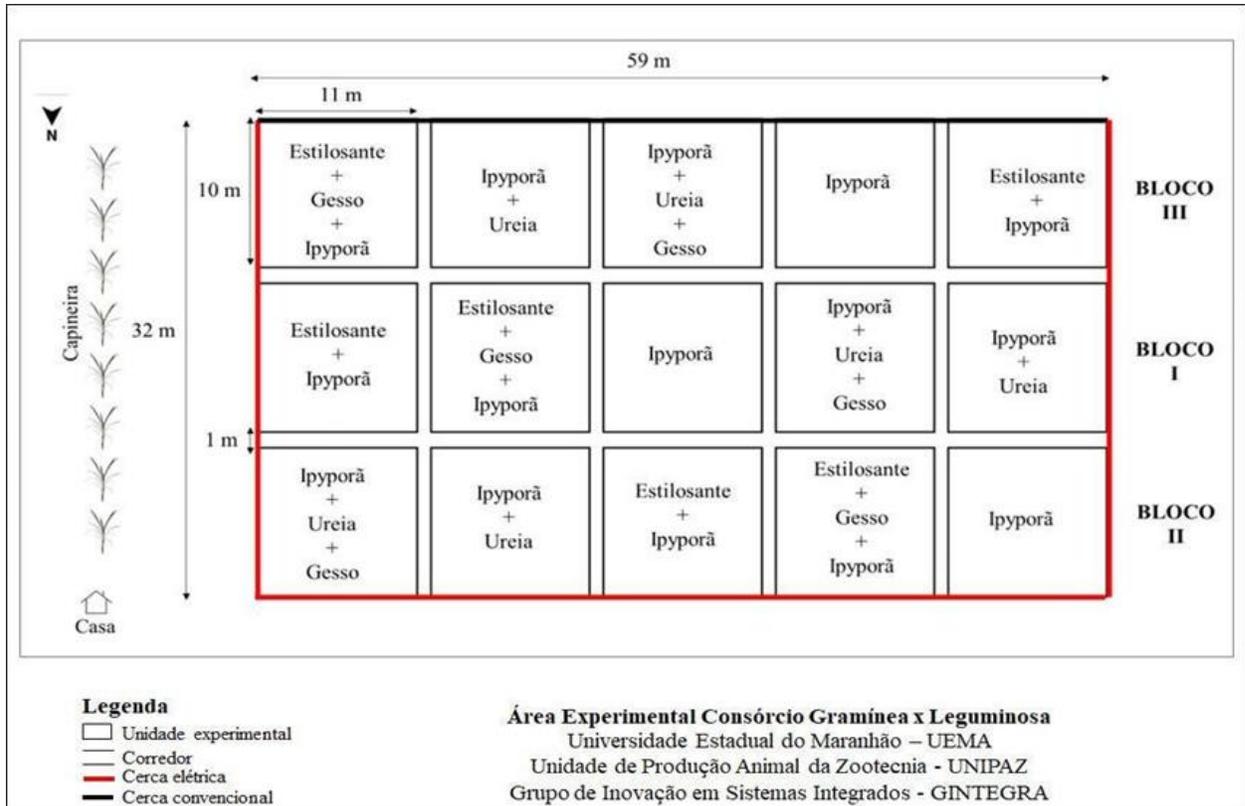
Após o controle das plantas espontâneas, realiza-se uma ressemeadura do BRS Ipyporã de forma manual e a lanço com 2 cm de profundidade para cobertura do solo, utilizando sementes com 60% de valor cultural. A semeadura do Estilosantes é feita de forma manual, em sulcos, com espaçamento de 1 m e profundidade de 1 cm, ocupando 30% da parcela experimental. Utilizam-se 5 kg ha<sup>-1</sup> de sementes puras e viáveis (SPV). Na adubação do Estilosantes, aplicam-se 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (*op cit.*, 2024).

### 3.3 Descrição, delineamento e condução do experimento

O experimento foi em blocos casualizados, com três repetições. Cada bloco com 550 m<sup>2</sup>, subdividido em cinco piquetes de 110 m<sup>2</sup>, recebendo cinco tratamentos (Imagem 1):

- I: Ipyporã (IPY);
- II: Ipyporã + Ureia (I+U);
- III: Ipyporã + Ureia + Gesso (I+U+G);
- IV: Estilosantes + Ipyporã (E+I);
- V: Estilosantes + Gesso + Ipyporã (E+G+I)

**Imagem 1:** Croqui da área experimental na UNIPAZ da UEMA Campus Paulo VI em São Luís - MA, Brasil.



**Fonte:** GINTEGRA, 2024.

As adubações nitrogenadas realizadas desde 2023 com ureia (46% de N) na dose 100 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e parceladas em duas vezes no período chuvoso, nos meses de janeiro e fevereiro. A quantidade de gesso aplicado em dose única foi de 4 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para atingir um nível de Ca<sup>+2</sup> no solo de 40 mmolc dm<sup>3</sup> (Nascimento, K., 2022), que é o limite crítico para conservar o grau de sustentabilidade do solo e ter uma ótima relação Carbono Orgânico: Argila a ser considerado de qualidade estrutural ótima (Johannes *et al.*, 2017). A ureia e o gesso foram distribuídos manualmente.

### 3.4 Amostragem de solo

As coletas de solo foram realizadas em três pontos dentro de cada parcela. Para isso, foram abertas trincheiras de 40 x 40 x 40 cm para coleta das amostras indeformadas de solo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, utilizando anéis volumétricos de aço inox com

100 cm<sup>3</sup>. Essas amostras foram utilizadas para a determinação dos atributos físicos: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total conforme Teixeira *et al.* (2017), no Laboratório de Física do Solo da UEMA, em São Luís - MA.

Para as análises de Carbono Orgânico Total (COT) as amostras de solos foram coletadas com o auxílio de trado holandês, em 6 pontos, sendo três para cada lado da trincheira, respeitando a distância de 1 metro entre a trincheira e os pontos de coleta. Em cada ponto, foram coletadas as amostras nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm para gerar uma amostra composta única para cada profundidade. O COT foi analisado conforme o método de Cambardella e Elliott (1992), no Laboratório de Nutrição Animal e Bromatologia da UEMA.

### **3.5 Análise Estatística**

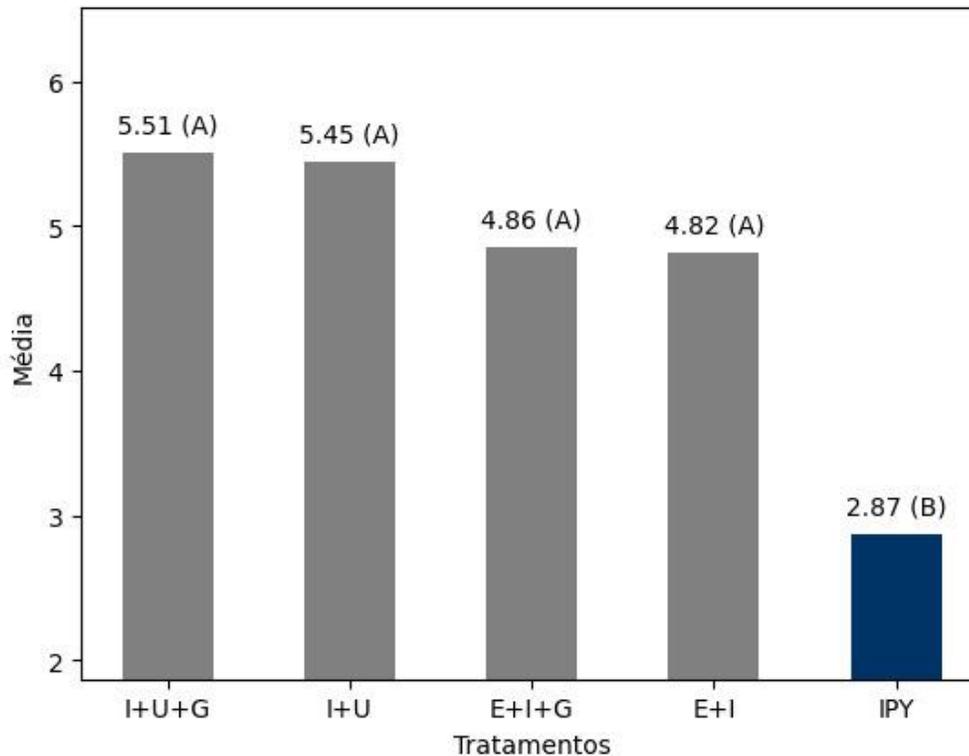
Foram realizados testes de normalidade (Shapiro-Wilk e Kolmogorov– Smirnov) e homocedasticidade (Levene 's test) previamente a análise de variância (ANOVA). As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o procedimento Proc Mixed do SAS (software SAS University Edition), aplicando o teste de Tukey, sempre que o teste F indicar significância ( $P < 0,05$ ). Os tratamentos e os ciclos de avaliações realizadas (com medidas repetidas ao longo do tempo) foram considerados como fatores fixos, enquanto os blocos funcionam como fator aleatório.

## **4. RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **4.1 Atributos do solo**

Os maiores teores de COT foram observados nas áreas (E+I+G, I+U+G, I+U e E+I), enquanto a área com a gramínea Ipyporã apresentou menor teor de COT no solo, ou seja, os sistemas de produção com gesso, ureia e/ou leguminosa resultaram em maiores estoques de C do que o sistema sem adubação ou apenas com a gramínea (Gráfico 3). Os valores de COT nos diferentes tratamentos variaram entre 2,87 g/Kg<sup>-1</sup> a 5,51 g/Kg<sup>-1</sup>.

**Gráfico 3:** Teores médios de Carbono Orgânico Total (COT) do solo em sistema de monocultivo e integrado.



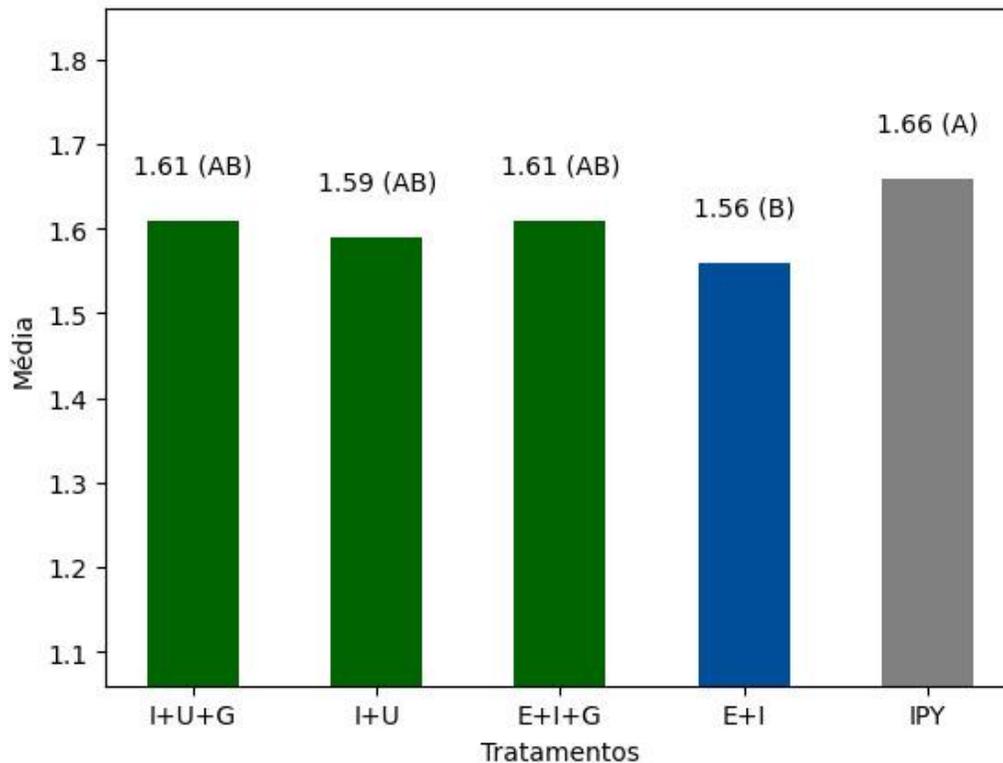
Significância estatística: IPY (b), E+I+G, I+U+G, I+U e E+I (a). Médias com letras iguais não são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). S.E.: 0,18 (erro padrão do teste de Tukey).

O gesso promove agregação do solo, criando poros que facilitam a infiltração de água e aeração. Além de neutralizar o alumínio, tornando-o menos tóxico para os microrganismos presentes no solo (Souza, 2012). A ureia é um fertilizante nitrogenado essencial para o desenvolvimento do sistema radicular, devido ao nitrogênio ser o nutriente mais requerido pelas plantas. Mas, com as condições climáticas adversas, acaba apresentando limitações do uso na adubação nitrogenada devido ao processo de perda por volatilização (Silva, P., 2020). No entanto, o uso da leguminosa como alternativa adicional, tem a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, transformando-o em uma forma utilizável pelas plantas. Fornecendo assim, grande quantidade de biomassa e conseqüentemente, a matéria orgânica do solo.

A combinação de gesso, ureia e leguminosas potencializam os efeitos individuais de cada grupo. Na qual o gesso melhora as condições físicas do solo, a ureia fornece nitrogênio para o solo e as leguminosas contribuem com a biomassa e a fixação biológica.

Na área com a gramínea Ipyporã (IPY), verificou-se maior densidade do solo com 1,66 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, o solo é arenoso (Gráfico 4), apresentando também uma menor densidade (1,56 g/cm<sup>3</sup>) no tratamento E+I. Na qual os valores da densidade do solo apresentaram 1,66 g/cm<sup>3</sup> a 1,56 g/cm<sup>3</sup> e os microporos entre 25,5 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> a 29,67 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Apesar de não haver interação significativa entre os outros grupos.

**Gráfico 4:** Teores médios da Densidade do solo (DS) em sistema de monocultivo e integrado.



Significância estatística: IPY (a), E+I+G, I+U+G, I+U (ab) e E+I (b). Médias com letras iguais não são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). S.E.: 0,02 (erro padrão do teste de Tukey).

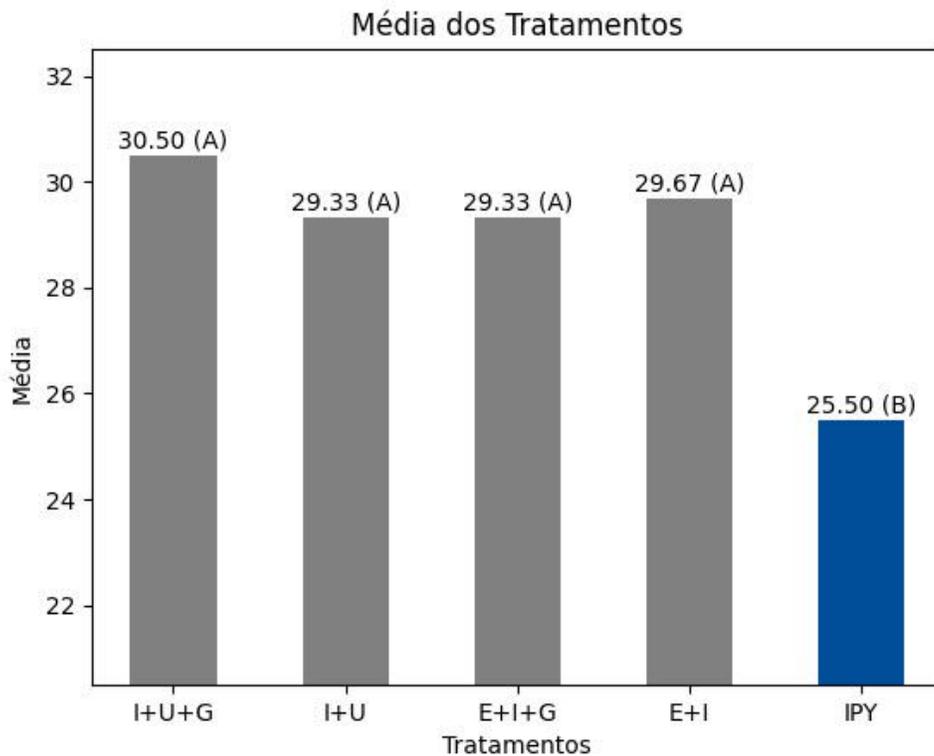
Na compactação do solo há aumento de massa por unidade de volume, resultando em aumento na densidade, na resistência à penetração de raízes e na microporosidade relativa, o que contribui para redução linear da porosidade total e da macroporosidade (Stefanoski, 2013).

Segundo Teixeira (2017), a avaliação dos poros no solo são classificados em duas classes, os macroporos, representado por poros não capilares, e os microporos, representado por capilares. Sendo também classificado quanto ao diâmetro, ou seja, a microporosidade é definida como o volume de poros do solo que possuem diâmetro menor que 50  $\mu\text{m}$  (micrômetros), já a

macroporosidade é classificada como os macroporos de diâmetro maior que 50  $\mu\text{m}$ . Portanto, a microporosidade, é importante para a manutenção da umidade do solo, pois retêm e armazenam água.

Verifica-se que a microporosidade não houve interação significativa nos tratamentos com leguminosa, ureia e gesso, apresentando uma média de 29,70% nos resultados. Observa-se que apenas na área de gramínea houve diferença no valor, com 25,50  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ . Podendo apresentar problemas de drenagem e aeração (Gráfico 5).

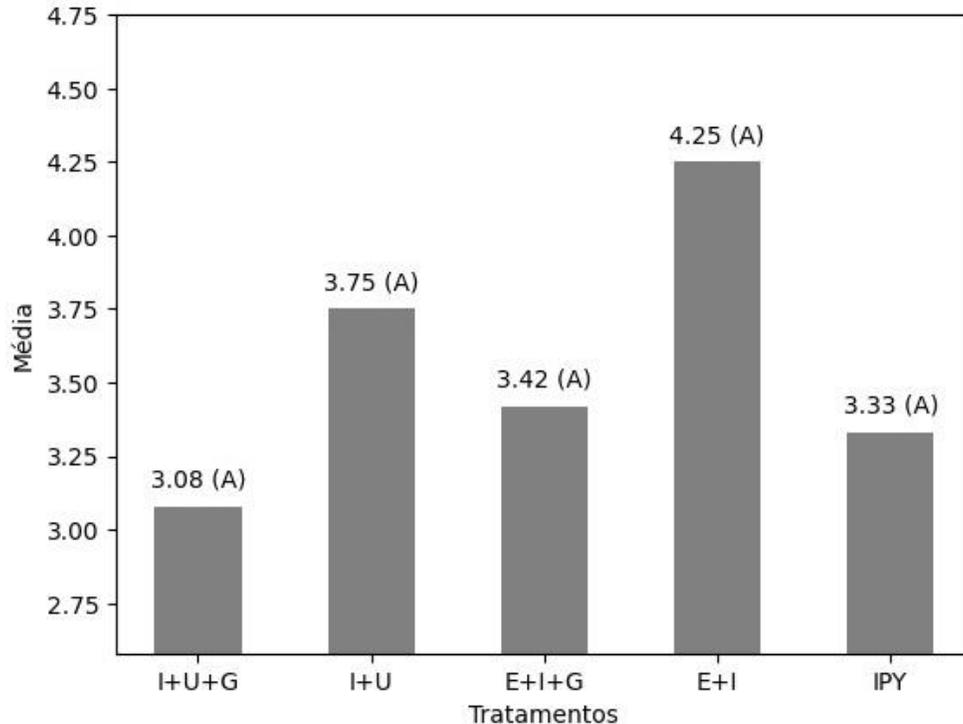
**Gráfico 5:** Teores médios da Microporosidade do solo (MS) em sistema de monocultivo e integrado.



Significância estatística: IPY (b), E+I+G, I+U+G, I+U (ab) e E+I (a). Médias com letras iguais não são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). S.E.: 0,89 (erro padrão do teste de Tukey).

Segundo o Teste de Tukey, verifica-se que a macroporosidade (Gráfico 6) não houve interação significativa. É importante haver um equilíbrio entre os poros no solo, pois cada um desenvolve um papel crucial.

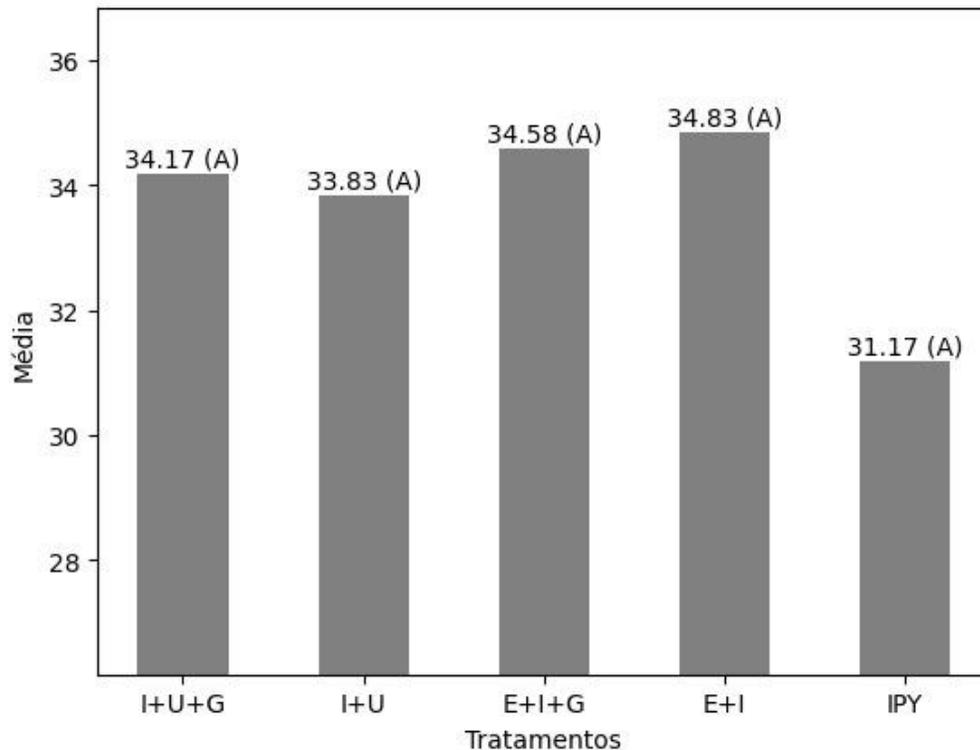
**Gráfico 6:** Teores médios da Macroporosidade do solo (MS) em sistema de monocultivo e integrado.



Significância estatística: IPY, E+I+G, I+U+G, I+U e E+I (a). Médias com letras iguais não são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). S.E.: 0,43 (erro padrão do teste de Tukey).

Em relação a porosidade total não houve valores significativamente diferentes no Gráfico 7, apresentando uma média de 33,71%. observa-se que o tratamento E+I destaca-se com o valor de 34,83 de porosidade total, provavelmente devido à menor densidade do solo (Gráfico 4) em relação a área com a gramínea Ipyporã. Portanto, a porosidade total adequada permite que as raízes das plantas se desenvolvam sem impedimentos, promovendo aeração e atividade biológica.

**Gráfico 7:** Teores médios da Porosidade total (PT) em sistema de monocultivo e integrado.



Significância estatística: IPY, E+I+G, I+U+G, I+U e E+I (a). Médias com letras iguais não são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). S.E.: 1,11 (erro padrão do teste de Tukey).

Segundo Teixeira no manual de métodos de análise de solo da Embrapa (2017), a porosidade total do solo é a fração do volume total em um determinado volume de solo passível de ser ocupado por água e/ou ar. A porosidade total pode ser também estimada pela relação entre a densidade do solo e a densidade das partículas.

Em relação a profundidade do solo (Tabela 1), os maiores teores de COT foram identificados na camada superficial (0-10 cm) com  $5,69 \text{ g/Kg}^{-1}$ , diminuindo de acordo com a profundidade. Sendo comum, pois a matéria orgânica se concentra nas camadas mais superficiais devido à deposição de resíduos vegetais. A densidade do solo apresenta pouca variação entre as camadas, indicando que o manejo não alterou significativamente essa propriedade.

**Tabela 1:** Valores médios dos atributos físicos do solo e COT em função das profundidades de coleta do solo na UNIPAZ, São Luís – MA, Brasil.

PROFUNDIDADE (cm)	COT	DS	MAC	MIC	PT
	g/Kg <sup>-1</sup>	g/cm <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
0 - 10	5,69 a	1,54 b	4,27 a	31,67 a	39,6 a
10-20	4,94 b	1,59 ab	3,73 a	29,53 ab	33,6 b
20 - 30	4,30 c	1,62 a	3,07 a	26,87 b	30,47 b
30 - 40	3,88 c	1,67 a	3,20 a	27,40 b	31,2 b
Erro padrão	0,4027	0,0061	2,2507	9,5607	14,846
Valor - P	<0,0001	0,0004	0,1253	0,0003	<0,0001

COT: carbono orgânico total; Ds: densidade do solo; Mac: macroporosidade; Mic: microporosidade, Pt: porosidade total. Letras iguais na coluna, não diferem significativamente. O valor de (p < 0,05) pelo teste de Tukey indicam diferença significativa entre os tratamentos.

Já a macroporosidade não apresentou nenhuma variação nos valores presentes entre as profundidades do solo, demonstrando uma média de 3,56%. A microporosidade e porosidade total do solo tendem a diminuir com a profundidade, apesar de apresentar pouca variação entre os valores. Os resultados demonstraram que o sistema consorciado e a aplicação de gesso e/ou ureia proporcionaram melhora na qualidade física do solo, sendo observado um aumento significativo no teor de COT na camada superficial (0-10 cm), não havendo variação nos valores das camadas 20-30 cm e 30-40 cm.

A quantidade de macroporos influencia no crescimento das raízes e na absorção de água e nutrientes, e sua redução induz ao crescimento lateral de raízes, que diminuem seu diâmetro a fim de penetrarem nos poros menores. Além disso, a macroporosidade consiste em um forte indicador para avaliar o grau de degradação do solo. Os valores de macroporosidade inferiores a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> são considerados limitantes para o bom desenvolvimento radicular da maioria das culturas agrícolas (Silva, J., 2022). Dessa forma, observou-se que os valores de macroporosidade encontrados neste trabalho foram inferiores ao valor crítico.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que a integração de leguminosas, uso do gesso e adubação com ureia influenciaram positivamente as propriedades físicas do solo, com destaque para o aumento do teor de COT e porosidade total, além da redução da densidade do solo. Com a concentração maior de COT nos sistemas com leguminosas e adubação nitrogenada, sugere que essas práticas favorecem o acúmulo da matéria orgânica no solo, contribuindo para a melhoria da sua qualidade.

## REFERÊNCIAS

ABIEC (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes): Beef Report 2023 – **Perfil da Pecuária no Brasil**. Brazilian Beef Exporters Association. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2023/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ALVARENGA, R. C., *et al.* Manejo do Solo com Foco em Sistemas Integrados de Produção. Capítulo 2 – Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1101760>. Acesso em: 18 nov. 2024.

AGUIAR, A.C.F. das. *et al.* **Nutrient recycling and physical indicators of na Alley cropping system in a sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil**. Article in Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 86, p. 189–198, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/225656520>. Acesso em: 25 out. 2024.

ARAÚJO, E. P. de; DIAS, L. J. B.S. da; CATUNDA P. H. A.de. **Relatório Técnico de Pedologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Amazônico** – 3. p. 88. São Luís: IMESC, 2019. ISBN 978-65-87226-03-3. Disponível em: <http://homologacao.zee.ma.gov.br/wpcontent/uploads/2021/11/pedologiadiagnostico.pdf>. Acesso em: 25 out. 2024.

BOLFE, E. *et al.* **Potencial de expansão agrícola em áreas de pastagem degradadas no Brasil**. Agroanalysis, v. 44, n. 3, p. 25-27, 2024. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1162744/1/AP-Potencial-expansao2024.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BORGHI, E. *et al.* **Recuperação de pastagens degradadas**. Capítulo em livro técnico (CNPMS), Infoteca-e Embrapa, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1101768>. Acesso em: 10 jan. 2025.

CAMBARDELLA, C.A, ELLIOTT, E.T. **Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence**. Divison S-3 – Soil Microbiology & Biochemistry. Soil Science Society of America Journal, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992. DOI:

<https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>. Acesso em: 22 nov. 2024.

CASTRO, M.S.A. **Influência do gesso na produtividade da cultura do milho (*Zea mays*) no cerrado**. Artigo Científico, 2022. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Uruçuí. Disponível em: [http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/bitstream/123456789/1536/1/2022\\_tcc\\_msacastro.pdf](http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/bitstream/123456789/1536/1/2022_tcc_msacastro.pdf). Acesso em: 20 jan. 2025.

CARVALHO, W.T.V. *et al.* **Pastagens degradadas e técnicas de recuperação**: revisão. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. v. 11, n. 10, Artigo em periódico, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.22256/PUBVET.V11N10.1036-1045>. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/67729>. Acesso em: 17 jan. 2025.

FIGUEIREDO, T.L. Interação gesso – nitrogênio em sistemas integrados gramínea-leguminosa no trópico úmido. Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Tese, 2024.

GUEDES, R.M. **Degradação e recuperação de pastagens**. Monografia. Primavera do Leste – MT, 2017. Repositório Cognia. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/15312/1/REYAN%20MELL%20GUEDES.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.

GUIMARÃES, T.M. **Emissão de gases do efeito estufa e estoque de carbono no sistema solo-planta em área com aplicação superficial de calcário e gesso em experimento de longa duração**. Dissertação. Universidade Estadual Paulista - Unesp, Campus Botucatu – SP, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/137954>. Acesso em: 04 jan. 2025.

GOV.BR (Governo Federal Brasileiro). **Governo Federal institui programa nacional de conversão de pastagens degradadas**. Portal Gov.br, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-institui-programa-nacional-de-conversao-de-pastagens-degradadas>. Acesso em: 04 jan. 2025.

GOV.BR (Governo Federal Brasileiro). **D.O. Poder Executivo – Decreto nº 39.175, de 18 de junho de 2024.** Portal Gov.br, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabcbcm/abc/gge-abc/maranhao/plano-de-acao-estadual-pae/plano-de-acao-do-estadodo-maranhao-abc-2021-2030.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2024.

HIJBEEK, R. *et al.* **What drives farmers to increase soil organic matter? Insights from the Netherlands.** *Soil Use and Management*, v. 34, n. 1, p. 85-100, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12401>. Disponível em: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/sum.12401>. Acesso em: 25 out. 2024.

INMET (Instituto Nacional De Meteorologia). **Banco de Dados Meteorológicos (2024).** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo (ITC): **Anuário de pesquisas agricultura – resultados 2020.** v. 3, Rio Verde, GO. In: TAVARES, R.L.M., FARHATE, C.V.V. ASSIS, R.L. de. Plantas de cobertura e seus benefícios ao solo. p. 40- 55, 2020. 10 jan. 2025.

JOHANNES, A. *et al.* **Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter?** *Geoderma*, v. 302, p. 14-21, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.021>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/316788981\\_Optimal\\_organic\\_carbon\\_values\\_for\\_soil\\_structure\\_quality\\_of\\_arable\\_soils\\_Does\\_clay\\_content\\_matter](https://www.researchgate.net/publication/316788981_Optimal_organic_carbon_values_for_soil_structure_quality_of_arable_soils_Does_clay_content_matter). Acesso em: 02 nov. 2024.

JUNIOR, J.C.O. de. **Apostila de pedologia.** Universidade Federal do Paraná – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba – PA, 2022. Disponível em: <https://pedologia.ufpr.br/wp-content/uploads/2022/10/apostila-2022-2.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2025.

MACHADO, F.A. *et al.* **Produção e qualidade da serrapilheira de três leguminosas arbóreas nativas do Nordeste do Brasil.** *Arch. Zootec.* vol. 61, n. 235, p. 323-334, 2012. Universidade de Córdoba – Campus de Rabanales. Andalucía, ES. Disponível em: <https://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v61n235/art1.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2024.

MOURA, E.G.de. *et al.* **Gypsum and legume residue as a strategy to improve soil conditions in sustainability of agrosystems of the humid tropics.** *Sustainability*. v 10, n. 4, 1006, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su10041006>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/4/1006>. Acesso em: 02 nov. 2024.

NASCIMENTO, K.P.M. **Indicadores de fertilidade do solo do trópico úmido que determinam a produtividade das culturas.** 2022. 54f. Dissertação (Agricultura e Ambiente) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2022. Disponível em: <https://ppgciag.uema.br/wp-content/uploads/2024/10/Dissertacao-final-Kalyne.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ORIVALDO, A.R.F. *et al.* **Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto.** Universidade Estadual Paulista – Unesp, campus de Ilha Solteira – SP. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 17, n. 3, p. 431-444, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v17n3p431-444>. Disponível em: <https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/988>. Acesso em: 02 jan. 2025.

PAIVA, C. *et al.* **Inoculantes e seus efeitos sobre as plantas.** Capítulo em livro técnico (CNPMS), cap. 3, p. 31-42, 2024. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1168585>. Acesso em: 02 nov. 2024.

PAULINO, P.S.da. **Atributos físicos como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Estado de Santa Catarina.** Dissertação de Mestrado, Lages – SC, 2013. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/cav/id\\_cpmenu/1464/Disserta\\_\\_o\\_Patricia\\_Paulino\\_Final\\_26\\_09\\_2013\\_trres\\_partes\\_15688955608029\\_1464.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1464/Disserta__o_Patricia_Paulino_Final_26_09_2013_trres_partes_15688955608029_1464.pdf). Acesso em: 02 jan. 2025.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification.** *Hydrol Earth Syst Sci*. v. 11, n. 5, p. 1633- 1644, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/11/1633/2007/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PIOVESAN, A.S. **Rendimento de pastagem do capim *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu sob diferentes níveis de adubação nitrogenada.** *Revista Cultivando o sabor*, ISSN 2175-2214. p. 134-

146. Edição especial, 2023. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1270>. Acesso em: 27 jan. 2025.

RODRIGUES, P.H.M. *et al.* **Uso de leguminosas na dieta de ruminantes:** adaptação às mudanças climáticas e mitigação da emissão de gases de efeito estufa, no livro: novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal (pp. 182), Editora 5D, 2021. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1141660>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SALOMÃO, P.E.A.; BARBOSA, L.C.; CORDEIRO, I.J.M. **Pasture degraded áreas recovery:** a brief review. *Research, Society and Development*, [S.L.], v. 9, n. 2, e57922057, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i2.2057>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2057>. Acesso em: 27 jan. 2025.

SENA, V.G.L. *et al.* **Ecosystem services for intensification of agriculture, with emphasis on increased nitrogen ecological use efficiency.** *Ecosphere*, v. 11, n. 2, 2020. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8597402/>. Acesso em: 02 nov. 2024.

SILVA, L.M. *et al.* **Determinação dos teores de carbono orgânico em solos do Acre com diferentes procedimentos analíticos.** *Boletim de pesquisa e desenvolvimento 85 – Embrapa*, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1136679/1/cpafro-18631.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2025.

SILVA, J.M. *et al.* **Estimativa da macroporosidade e microporosidade em função de sistemas de manejo e plantas de cobertura em Latossolo Vermelho cultivado com Soja.** *Research, Society and Development*, v. 11, n. 3, e54411326833, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26833>. Acesso em: 31 jan. 2025.

SILVA, P. O. S. da., *et al.* **Ureia como fonte de nitrogênio na fisiologia e crescimento inicial de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae).** *Ci. Fl.*, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 1192 – 1200, out./dez. 2020. DOI: <https://orcid.org/0000-0003-2242-320X>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/42643>. Acesso em: 01 fev. 2025.

SILVÉRIO, P.F.; GONÇALVES, C. **Influência dos métodos de determinação da fração de carbono orgânico em solos nos estudos de qualidade da água subterrânea e de avaliação de risco.** XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas – PDF. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23733/15804/8607>. Acesso em: 01 fev. 2025.

SOUSA, D.D.S. da. **Análise de ureia em diferentes momentos de aplicação para o estabelecimento de forrageira. Monografia,** Agronomia. Faculdade Metropolitana de Anápolis, GO, 2018. Disponível em: <https://repositorio.faculadefama.edu.br/xmlui/handle/123456789/103>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SOUZA, F. R. de. *et al.* **Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1717-1732, set./out. 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n5p1717. Disponível em: <https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/download/7814/11551>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SOUZA, M. N. Tópicos em recuperação de áreas degradadas: conceitos, procedimentos e estudos de caso. In: NASCIMENTO, P. O. de. *et al.* **Degradação de pastagens: estudo de caso dos procedimentos de recuperação no Município de Atílio Vivácqua, ES.** Canoas, 2023. cap 10, p. 315. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1>. Acesso em: 15 out. 2024.

STEFANOSKI, D.C. *et al.* **Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física.** Manejo de Solo, Água e Planta – Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient. 17 (2), 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>. Acesso em: 04 fev. 2025.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed., p. 574, rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-depublicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 20 out. 2024.

TELLES, T.S. *et al.* **Desenvolvimento da agricultura de baixo Carbono no Brasil.** n. 2638, Institute of Applied Economic Research (IPEA), Brasília, 2021. Econstor – Make Your Publications Visible. DOI: doi:10.38116/td2638. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/240832>. Acesso em: 22 nov. 2024.

TERRA, A.B.C. *et al.* **Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil.** Departamento de Ciências Agrárias, Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, Brasil, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.16016>. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/16016>. Acesso em: 02 jan. 2025.

VILELA, D. *et al.* **Pecuária de leite no Brasil: Cenários e avanços tecnológicos.** In: PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M. de. As contribuições de Brachiaria e Panicum para a pecuária leiteira.

Parte 2 – cap. 2, p. 167. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164236/1/Pecuarria-de-leite-noBrasil.pdf>.

Acesso em: 21 out. 2024.

VITTI, G.C. *et al.* **Estudos confirmam efeitos favoráveis do gesso agrícola à cultura do milho.**

Revista visão agrícola, n. 13, p. 49, 2015. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/edicoes/milho>. Acesso em: 27 jan. 2025.

VIEIRA, R.F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p.

Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1090589>. Acesso em: 20 out. 2024.

WADT, G.S. Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. Documento 90. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/498802/1/doc90.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2025.

WENDLING, B. *et al.* Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de Pinus, pastagem e plantio direto. Biosci. J., Uberlândia, v. 28, Supplement

1, p. 256-265, Mar. 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13277/8371>. Acesso em: 02 fev. 2025.