



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE AGRONOMIA



KAIO WITALO RESPLANDES FERREIRA

**INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS DA QUALIDADE DO SOLO E  
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO (*Zea mays* L.) EM PLANTIO  
DIRETO COM RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS**

CHAPADILHA – MA  
Dezembro de 2022

**KAIO WITALO RESPLANDES FERREIRA**

**INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS DA QUALIDADE DO SOLO E  
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO (*Zea mays* L.) EM PLANTIO  
DIRETO COM RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
coordenação de Agronomia da Universidade  
Federal do Maranhão, como requisito para  
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alana das Chagas  
Ferreira Aguiar

Coorientadora: Ma. Anágila Janenis Cardoso  
Silva

CHAPADINHA – MA  
Dezembro de 2022

## **KAIO WITALO RESPLANDES FERREIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

TCC defendido e aprovado, em 23 de dezembro de 2022, pela comissão examinadora constituída pelos professores:

---

Prof. Dr. Alana das Chagas Ferreira Aguiar  
Orientadora

---

Prof. Dr. José Roberto Brito Freitas  
Examinador

---

Profa. Dra. Mariléia Barros Furtado  
Examinador

**Chapadinha – MA**  
**Julho de 2022**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Ferreira, Kaio Witalo Resplandes.

INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS DA QUALIDADE DO SOLO  
E DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO (*Zea mays* L.) EM  
PLANTIO DIRETO COM RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS /

Kaio Witalo

Resplandes Ferreira. - 2022.

41 p.

Coorientador(a): Anágila Janenis Cardoso Silva. Orientador(a):

Alana das Chagas Ferreira Aguiar. Monografia (Graduação) -

Curso de Agronomia,

Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha - MA, 2022.

1. Agrossistema. 2. Aleias. 3. Trópico úmido. 4. *Zea mays* L. I.  
Aguiar, Alana das Chagas Ferreira. II. Silva, Anágila Janenis Cardoso. III.  
Título.

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso a meus familiares, especialmente pai e mãe que sempre me incentivaram e deram suporte nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus que me deu força e coragem para alcançar esse tão sonhado objetivo, sem Ele, nada disso seria possível.

À minha mãe, Maria Regiane Resplandes Ferreira, e meu pai, Gildevan Ferreira da Silva, que sempre me apoiaram, incentivaram, ensinaram os valores e princípios que me norteiam e deram todo o suporte durante essa caminhada. Aos meus irmãos, Luís Gustavo e João Victor pelo suporte.

Agradeço à minha namorada, Suelanne Vitória, por todo tempo que esteve ao meu lado, nos momentos felizes e difíceis, sempre me fazendo acreditar no meu sucesso. Sou grato por todo amor, cada abraço e cada sorriso que me proporcionou.

Aos meus amigos da República Doutores do Mato, Cledson Gomes, Danrley Martins e Luís Emanuel, por toda amizade e suporte que deram em minha chegada na cidade, em 2018. Aos meus amigos que a faculdade proporcionou, Igor Alves, Bruno Gonçalves, Mateus Gabriel, Saymon Rodrigues, Vitor Camargo, Ronaldo Barros, José Augusto, Ernaldo da Silva, Wesley Mota e todos aqueles que direta ou indiretamente participaram dessa jornada. Obrigado à todos, sem vocês nada disso seria possível.

À minha orientadora professora Alana das Chagas e coorientadora Anágila Janenis, pelos aprendizados, paciência e orientações ao longo de todo esse tempo de trabalhos desenvolvidos.

Obrigado a todos os professores do Centro de Ciências de Chapadina pelos conhecimentos repassados, contribuíram bastante para minha formação profissional. Agradeço às seguintes instituições pelo apoio e oportunidade ao decorrer da minha vida acadêmica: Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

**Obrigado à todos!**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
1 INTRODUÇÃO .....	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral .....	11
2.2 Objetivos específicos .....	11
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	12
3.1 A cultura do milho para a agricultura brasileira .....	12
3.2 Cultivo em aleias .....	13
3.3 Plantio direto na palha de leguminosas cultivado em aleias.....	14
3.4 Agricultura no trópico úmido .....	15
3.5 Indicadores químicos da qualidade do solo .....	16
3.5.1 Saturação por bases .....	17
3.5.2 O pH do solo .....	17
3.5.3 Matéria Orgânica do Solo .....	18
3.5.4 Capacidade de Troca Catiônica.....	18
3.6 Indicadores físicos da qualidade do solo .....	19
3.6.1 Resistência a penetração .....	19
3.6.2 Densidade das raízes .....	20
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	21
4.1 Localização, clima e histórico da área .....	21
4.2 Delineamento e condução do experimento .....	22
4.3 Indicadores químicos da qualidade do solo .....	24
4.4 Determinação da resistência à penetração do solo.....	24
4.5 Determinação da densidade de raiz do milho .....	24
4.6 Parâmetros de produtividade do milho .....	25

4.7	Análises estatísticas .....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
5.1	Análises de teores de nutrientes no solo .....	26
5.2	Resistência à penetração do solo .....	28
5.3	Densidade de raiz do milho .....	30
5.4	Produtividade da cultura do milho .....	31
6	CONCLUSÃO .....	33
	REFERÊNCIAS .....	34

## RESUMO

A região do trópico úmido, apresenta solos coesos e de baixa fertilidade natural, com isso, o bom manejo do solo é fundamental para boa manutenção das áreas cultivadas e utilização sustentável dos recursos naturais. Este estudo teve como objetivo avaliar o plantio direto com resíduos de leguminosas arbóreas em relação a qualidade do solo e desempenho agrônômico do milho. A área de estudo é localizada em Chapadinha – MA, onde apresenta um agrossistema com quatro leguminosas arbóreas. São elas, Leucena (*Leucaena leucocephala*), Gliricídia (*Gliricidia sepium*), Sombreiro (*Clitoria fairchil*) e Acácia (*Acacia mangium*). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos, Leucena + Sombreiro (L+S); Gliricídia + Sombreiro (G+L); Leucena + Acácia (L+A); Gliricídia + Acácia (G+A); Controle (C), e oito repetições. Foram determinadas a resistência a penetração e a densidade das raízes do milho, indicadores químicos como pH, matéria orgânica, e capacidade de troca catiônica (CTC), P, K, Ca e Mg, além de componentes de produtividade da cultura do milho. Houve diminuição da resistência a penetração e aumento da densidade das raízes do milho em todos os tratamentos que incluíam matéria seca das leguminosas; acréscimo no teor de matéria orgânica e magnésio na camada de 0 a 10 cm, além de aumento de produtividade do milho principalmente nos tratamentos L+A, G+S e L+S, podendo ser explicado pela melhoria das características químicas e físicas do solo que proporcionaram melhor enraizabilidade e aproveitamento de água e nutrientes pela cultura.

**Palavras-Chave:** Agrossistema, Aleias, Trópico úmido, *Zea mays* L.

## 1 INTRODUÇÃO

Na região do trópico úmido, que também envolve o Leste Maranhense, as condições edafoclimáticas que envolvem solos de estrutura frágil submetidos a altas temperaturas, chuvas e insolação, são desfavoráveis ao acúmulo de matéria orgânica. A adoção de práticas agrícolas inadequadas para as condições locais reduz a disponibilidade de nutrientes e resulta no esgotamento da fertilidade do solo (MOURA et al., 2020).

Os pequeno agricultores da região cultivam principalmente culturas alimentares como arroz, milho, mandioca e feijão, utilizando baixa tecnologia, associados ao corte e queima da vegetação natural solo (MOURA et al., 2020). A utilização desse tipo de sistema gera efeitos negativos sobre o meio ambiente, prejudicando a fauna e flora, além de perda de nutrientes e material orgânico do solo.

Com isso, o bom manejo do solo é fundamental para boa manutenção das áreas cultivadas, pois sua utilização de forma inapropriada e intensiva pode provocar gradativamente a degradação, processo que em alguns casos pode ser irreversível (SIVA et al., 2021). O conhecimento dos valores dos indicadores físicos e químicos podem contribuir na escolha dos sistemas de manejo e conseqüente melhoria na qualidade do solo, no rendimento e crescimento das culturas (SENA, 2015).

Visto isso, devem utilizadas práticas de caráter sustentável para se obter aumento de produtividade, como por exemplo, o uso de sistemas agroflorestais, sistema de plantio direto, aplicação de compostagem e biomassa, e cobertura superficial do solo com leguminosas. Esses sistemas promovem um maior fornecimento de nutrientes, melhoram os processos biológicos, contribuem para a conservação do solo e podem garantir melhores produtividades para os agricultores.

A utilização da biomassa de leguminosas como cobertura do solo pode aumentar a matéria orgânica, o carbono sequestrado e os nutrientes reciclados, aumentando também a fertilidade do solo e a produtividade agrícola (FERNANDEZ et al., 2017). Além disso, os resquícios de água da matéria orgânica colaboram com aumento da capacidade de enraizamento, melhorando as qualidade físicas do solo e aumentando a eficiência do uso de água e nutrientes (MOURA et al., 2018).

Como espécie indicadora da qualidade desse sistema, utilizou-se o milho (*Zea mays* L.), cultura que apresenta ampla importância econômica, por integrar as necessidades nutricionais para vida humana e animal (RODRIGUES, 2022). A produção consiste principalmente de

rações para avicultura e suinocultura, silagem para bovinocultura, alimentação humana como substituto da farinha de trigo, além de fazer parte de bebidas, álcool, óleos e cola (SILVA et al. 2017).

Portanto, a utilização de práticas sustentáveis como o plantio direto com resíduos de leguminosas arbóreas no trópico úmido pode favorecer melhorias nas qualidades do solo, aumento de produtividade, e redução de insumos externos, principalmente para os pequenos agricultores da região que dispõem de baixa tecnologia.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

- Avaliar o efeito da combinação de cobertura com biomassa de leguminosas arbóreas sobre os indicadores químicos e físicos da qualidade do solo no trópico úmido em sistema em aleias.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Testar a eficiência da cobertura do solo com biomassa de leguminosas arbóreas sobre a melhoria das características químicas e físicas do solo;
- Promover aumento de produtividade da cultura do milho, utilizada como espécie indicadora em sistemas de plantio direto em aleias.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 A cultura do milho para a agricultura brasileira

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta monoica, membro da Família Poaceae e pertence ao gênero *Zea*, um grupo de gramíneas anuais e perenes, nativas do México e da América Central. É um dos principais cereais cultivados no mundo e os grãos podem ser consumidos diretamente, sem a necessidade de processamento para remover a “casca”, como é feito com outros cereais, como arroz e trigo (CAMPOS, 2020).

O milho é um cereal de grande importância no Brasil e no mundo, pois é uma cultura que se destaca pelo alto potencial produtivo e grande valor socioeconômico. Isso se deve à sua larga utilização tanto na indústria de rações para produção animal, quanto para a alimentação humana, sendo esta última em menor escala (MELO et al., 2021). Além de atuar na alimentação humana e animal de maneira direta, é possível produzir uma infinidade de produtos, tais como bebidas, polímeros, combustíveis etc. (MIRANDA, 2018). Em termos nutricionais, o milho possui uma composição rica em carboidratos, principalmente na forma de amido, além de proteínas, lipídios, vitaminas e minerais (OLIVEIRA et al., 2014; LANGNER et al., 2019).

A produção de milho no Brasil aumentou nas últimas duas décadas por causa do aumento da segunda safra, também conhecido como safrinha. Nos últimos 20 anos, a produção de milho segunda safra aumentou treze vezes, surgindo também, ultimamente, uma safra de milho de terceira safra, no norte e nordeste do Brasil (SILVA et al., 2020b).

Na safra de 2022/23 no Brasil, foram produzidos em média 5.665 kg/ha de milho, 8,4% a mais do que foi produzido na safra de 2021/22 (5.225 kg/ha). O Brasil teve uma área plantada de milho de 22.407,2 mil ha e produção de 126.941,5 mil t, dessa produção, 81.750 mil t foram destinados ao consumo interno e 45.000 mil t para exportação, no ano de 2021 (CONAB, 2022).

Nos últimos 20 anos, houve um crescimento de produção de milho, em função do aumento da demanda doméstica, relacionado com a evolução da avicultura e da suinocultura, além do crescimento elevado nas exportações (CONTINI et al., 2019). Tal cultura é de evidente importância para a economia no Brasil por sua grande contribuição no mercado, sendo resultado das mais diversas maneiras de utilização de seus produtos, quer sejam de consumo humano ou animal (SILVA et al., 2020b).

### 3.2 Cultivo em aleias

A realização de estudos sobre a qualidade do solo têm sido cada vez mais frequentes. Isso é evidente pelo fato de que se tem observado que existe diversos fatores que podem ocasionar a degradação do solo, bem como elevar a perda da produtividade de uma determinada cultura, não podendo ser deixado de lado, uma vez que os cuidados com o ambiente e a busca por uma máxima produção são de interesse de todos (SILVA et al., 2020a).

Portanto, aumentar a produção agrícola e conservar os recursos naturais é o ponto principal para o desenvolvimento sustentável dos agrossistemas, sendo a adubação verde uma das práticas viáveis para contribuição no restabelecimento do equilíbrio do sistema e pelo aumento da produtividade (ROSA et al., 2011).

No sistema de cultivo em aleias, as leguminosas ou arbustos são plantados em dois ou mais conjuntos de fileiras simples ou múltiplas. Antes e durante o período de cultivo, os ramos de leguminosas são periodicamente podados a altura de 0,5m e adicionados na superfície do solo entre os conjuntos de leguminosas, onde são plantadas outras culturas de interesse econômico (MOURA et al., 2020).

O sistema em aleias produz considerável quantidade de biomassa que pode ser incorporada ao solo, promovendo a transferência de nutrientes a partir das árvores para as culturas (BERTALOT et al., 2010; MUNROE & ISAAC, 2014), contribuindo também para melhoria da qualidade do solo, pela produção de entradas de matéria orgânica (MO) para o sistema, podendo aumentar o estoque de carbono orgânico do solo (COS) (CARDINAEI et al., 2015). Pode contribuir também para a melhoria da qualidade da água (BERGERON et al., 2011; TULLY et al., 2012), e para o aumento da biodiversidade do solo (AJAYI et al., 2011; VARAH et al., 2013).

A melhoria na fertilidade do solo a partir da biomassa de árvores de leguminosas pode ser física, através da redução da resistência à penetração do solo ou química, a partir do aumento de cátions de base devido a nutrientes reciclados (MOURA et al., 2018). Outro importante benefício resultante da aplicação da mistura de resíduos de leguminosas é o aumento da saturação por bases, principalmente por conta da reciclagem de cálcio (MACÊDO, 2015). Aguiar et al. (2010) testaram a produtividade do milho em sistema de cultivo em aleias, e observaram que entre as vantagens desse sistema estão a diminuição na quantidade de nitrogênio adicional e a manutenção dos teores de cálcio na zona da raiz.

Além de todos esses fatores, Queiroz et al. (2010) relatam que nesse sistema de cultivo a cobertura morta proveniente do corte e aplicação dos ramos das árvores dificultam a germinação e emergência das plântulas e aparecimento de algumas daninhas, contribuindo para o bom desenvolvimento da cultura principal com menor competição no início do ciclo.

### **3.3 Plantio direto na palha de leguminosas cultivado em aleias**

Dentre os vários sistemas de cultivo, destaca-se o plantio direto, que tem como princípio o mínimo revolvimento do solo, propiciando a formação de cobertura morta ou palhada no solo e a rotação de culturas (ORIVALDO et al., 2018). Segundo Kumar et al. (2014), uma das formas em que se pode diminuir os prejuízos causados pela agricultura é a utilização da adubação verde para formação de palhada, que permite sustentabilidade aos sistemas agrícolas. Cunha et al. (2011) destacam a importância da utilização de diferentes espécies vegetais na cobertura do solo para que se possa favorecer a melhor conservação, por melhorarem a estruturação e fornecerem quantidade considerável de matéria orgânica do solo.

Dentro deste contexto, um sistema de plantio direto com qualidade exige adequada rotação de culturas, em que as plantas utilizadas mantenham um ciclo que garanta melhoria ao sistema, sem prejudicar a cultura principal e utilizando a rotação de culturas de forma correta (ROSA et al., 2011). Entre as melhorias constatadas na fertilidade do solo com uso de sistemas plantio direto, destacam-se as alterações químicas, podendo reduzir a quantidade de adubo nitrogenado utilizado na cultura (LÁZARO et al., 2013).

As plantas usadas para cobertura e formação de palhada no sistema de plantio direto, também são importantes na ciclagem de nutrientes, sendo realizada pela mineralização da matéria orgânica presente no solo, ou pela aplicação de fertilizantes (ORIVALDO et al., 2018). Essa prática permite melhora nas propriedades físicas do solo, redução da resistência à penetração e aumento da infiltração de água no solo (ALVAREZ et al., 2017), além de proporcionar incremento na fertilidade (CARVALHO et al., 2015).

O agrossistema é um modelo de produção mais ecológico que pode ser usado na recuperação de área e boa manutenção da qualidade do solo. O componente arbóreo mais utilizado no sistema no Brasil é o eucalipto, mas o mesmo produz resíduos com baixos teores de nutrientes, principalmente os mais móveis (N, P e K), elevando a relação C/N do resíduo. Com a alta relação C/N os microrganismos não têm à sua disposição quantidades suficientes de nitrogênio para o seu desenvolvimento, pois as bactérias têm a necessidade de compostos

nitrogenados para o seu metabolismo. Em consequência a menor decomposição dos resíduos das árvores (SOUZA, 2016).

A dinâmica e velocidade do processo de decomposição tornam-se mais eficientes quando há presença de leguminosas arbóreas no sistema conduzindo à uma relação C/N mais baixa. Com isso, tem-se o impedimento da imobilização de nitrogênio, que ocorre quando a relação C/N é alta. A introdução de leguminosas no sistema contribui para o aumento do nitrogênio no solo pelo processo de fixação simbiótica, além de uma reciclagem natural decorrente da queda das folhas e galhos (SOUZA, 2016).

### **3.4 Agricultura no trópico úmido**

A zona tropical apresenta fatores abióticos que aceleram a suscetibilidade dos solos a degradação (MOURA et al., 2018). Além disso, 91% dos 219.765 estabelecimentos agrícolas do Maranhão, não realizaram adubação (IBGE, 2017). O que caracteriza o domínio de agricultura familiar de baixo input no Estado, com alta suscetibilidade a degradação (PORTELA, 2021).

O trópico úmido maranhense, principalmente a região centro norte do estado, possui caracterizada peculiares em relação ao clima e solo, que a diferem de outras regiões do Brasil. A região possui altas temperaturas e altos índices pluviométricos, com duas estações sazonais bem definidas, de janeiro a junho o período chuvoso, e de julho a dezembro o período seco. Essas características são adequadas para a rápida decomposição da matéria orgânica particulada, que em consequência expõe o solo a ação direta das chuvas e erosão (SENA, 2019).

Segundo Gomiero (2013) as práticas agrícolas que colaboram para acelerar a erosão levam ao esgotamento de recursos e deterioração da qualidade do solo e queda de produtividade, uma vez que a resistência dos solos à erosão está fortemente ligada à influência estabilizadora da matéria orgânica e da cobertura vegetal.

A região, possui solos com horizontes pedogênicos subsuperficiais compactados, estruturalmente frágeis e altamente resistentes à penetração, o que impede ou dificulta o enraizamento da planta (SENA, 2019). São extremamente duros quando secos, mas, quando úmido se fragmentam facilmente (DANIELLS, 2012; EMBRAPA, 2013).

Desse modo, a agricultura itinerante ou de corte e queima é uma das principais práticas agrícolas utilizadas na região (LEITE et al., 2016), esta prática consiste na supressão contínua de florestas nativas em áreas agrícolas pelo uso do fogo, onde a vegetação é cortada e queimada para realização do plantio de culturas agrônômicas sobre as cinzas que servem como adubo. A

partir do momento em que a área se torna improdutivo, o agricultor muda de área e recomeça o ciclo (SENA, 2019). Neste cenário é comum a conversão das áreas de vegetação nativa em agricultura de corte e queima. Somente em 2020, foram detectados 16.817 focos de calor no Maranhão (INPE, 2021).

Após três anos de cultivo nesse sistema, e total esgotamento dos nutrientes do solo (RAHARIMALALA et al., 2010), uma área é revolvida e registrada em pecuária extensiva. O revolvimento dessas áreas provoca a degradação física do solo e acelera a mineralização do carbono orgânico, pois a quebra dos macroagregados expõem o carbono protegido no seu interior aos processos. A cada revolvimento estima-se a perda de 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de solo (ANACHE et al., 2018).

Segundo Leakey (2014) o desmatamento e o aumento da população indiretamente levaram os agricultores tradicionais a reduzir os períodos de pousio, gerando solos degradados que por conseguinte diminuem rendimento das lavouras, uma tendência perceptível nos trópicos e sub trópicos. Com isso, o grande desafio para sustentabilidade da agricultura nessa região é identificar e reduzir o uso dos nutrientes de forma irracional e simultaneamente intensificar a produção, manter a biodiversidade e a fertilidade do solo, além de reduzir os impactos ambientais da agricultura (AGUIAR et al., 2014).

Esse modelo de agricultura praticada no trópico úmido maranhense precisa ser reformulado para garantir segurança alimentar, proteger os recursos naturais e os serviços ambientais com intuito de mitigar as mudanças climáticas, melhorar a qualidade do solo e a produtividade das culturas agrícolas e garantir a renda dos agricultores, principalmente aqueles com menor poder aquisitivo (PORTELA, 2021).

O novo modelo deve se fundamentar na redução da dependência de recursos não renováveis com o intuito de manter a fertilidade do solo e a biodiversidade e, assim, minimizar as consequências externas ao local da agricultura, tais como a erosão do solo, a poluição das águas subterrâneas, a eutrofização dos rios e lagos e a redução das emissões de gases do efeito estufa (PORTELA, 2021).

### **3.5 Indicadores químicos da qualidade do solo**

Os principais indicadores químicos da qualidade do solo são o pH do solo, a capacidade de troca catiônica (CTC), a matéria orgânica do solo (MO) e a disponibilidade de nutrientes e, estão relacionados com a capacidade do solo em proporcionar o crescimento e desenvolvimento das plantas a partir do fornecimento de nutrientes, auxiliando para identificação da capacidade

do solo na sustentabilidade dos biomas, por meio da ciclagem dos nutrientes, e, estando também relacionados ao rendimento das culturas (CARDOSO et al., 2013).

Para aferir a capacidade de disponibilizar nutrientes para as plantas são levados em conta os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), pois, são facilmente mensuráveis que estão ligados a nutrição das culturas (SILVA, 2020a).

### 3.5.1 Saturação por bases

De acordo com Lozada (2015), a saturação por bases (V%) sofre influência direta de acordo com o tipo de solo. Solos de alta saturação são chamados eutróficos, apresentando V% >50% e são considerados os mais férteis, enquanto os solos que apresentam V% <50%, são chamados de distróficos, considerados como menos férteis (LEPSCH, 2011). A saturação por base (V%) mostra em porcentagem como os elementos essenciais estão ocupando a troca de cátions, como o Ca, K e Mg (SILVA, 2020a). Quando a saturação por base se apresenta baixa ocorre maior absorção de elementos tóxicos como o  $Al^{3+}$  e  $H^+$  (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Silva (2020a), o V% é um dos indicadores mais utilizados como parâmetro para a correção de acidez do solo, por meio da determinação da necessidade de calagem. Na agricultura, a calagem pode contribuir no aumento da produtividade, na qualidade e no estabelecimento dos plantios (CARLOS et al., 2014).

### 3.5.2 O pH do solo

Outro parâmetro de grande importância é o pH do solo, onde, grande parte dos solos brasileiros apresentam problemas de acidez, devido à grande presença de alumínio e manganês, sendo tóxicas para as culturas, com isso, o sistema radicular das plantas não apresenta bom desenvolvimento, limitando a absorção de água e nutrientes (SILVA et al., 2020a).

Os solos ácidos apresentam predomínio de formas trocáveis e fitotóxicas de alumínio ( $Al^{3+}$ ) na solução do solo em  $pH \leq 5,5$ , comprometendo assim o desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes e o rendimento da maior parte das culturas agrícolas (RUTKOWSKA et al., 2015).

A principal alternativa para correção da acidez é a aplicação de calcário, proporcionando um ambiente favorável ao crescimento radicular, diminuindo a atividade de elementos tóxicos (VARGAS et al., 2019), com isso contribuindo no aumento da saturação de bases (JORIS et al., 2013). A calagem também tem como vantagem o elevado efeito residual e de tamponamento

da atividade do  $Al^{3+}$ , onde a frente alcalinizante é deslocada ao longo do perfil do solo (KAMINSKI et al., 2005; VARGAS et al., 2019).

### 3.5.3 Matéria Orgânica do Solo

Outro indicador importante para avaliação dos parâmetros químicos, é a matéria orgânica do solo (MO). A MO não é adquirida pelas plantas como um nutriente do solo, mas o seu ciclismo é importante por causa da associação com nutrientes (N, P e S) e as interações benéficas com as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (HOYLE et al., 2011).

É definida como todo material orgânico de origem biológica, vivo ou morto que se encontra no solo, sendo constituído por raízes de plantas e organismos do solo, que representam a parte viva com aproximadamente 4% do total, e a parte morta, representada pela matéria macrorrgânica, constituída de resíduos de plantas em decomposição, substâncias humificadas e não humificadas (PRIMO et al., 2011).

As alterações das características do solo por diferentes formas de manejo, em relação a matéria orgânica, só podem ser identificadas após anos de utilização dessas práticas (LISBOA et al., 2012). Segundo Oliveira et al. (2017), o tipo de cobertura vegetal, espécie, suas características fisiológicas, relação C/N e as condições de temperatura e umidade do meio, serão determinantes para a qualidade da matéria orgânica no solo existente, assim como a qualidade e quantidade da população da microbiota.

Embora Hazelton e Murphy (2007) recomendem um mínimo de 2% de MO para manter a estrutura adequada do solo, a MO executa uma gama de funções nos solos e o grau de importância para funções específicas difere a cada tipo de solo.

Apesar dos problemas relacionados a variabilidade espacial e temporal das medidas e ausência de limites críticos para MO, consideramos ser um componente essencial da avaliação da qualidade do solo por sua importância para uma ampla gama de funções do solo e medições recomendadas ao longo do tempo para monitorar o impacto das práticas de manejo na matéria orgânica do solo (MACEDO, 2018).

### 3.5.4 Capacidade de Troca Catiônica

A capacidade de troca catiônica (CTC) é a quantidade de cátions ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ) que o solo pode reter. A maioria dos nutrientes utilizados pelas plantas e micróbios são absorvidos na sua forma iônica, portanto descrevem a fertilidade do solo, resultado de cargas de superfície que atraem (LEE et al., 2010; GAI et al., 2014). Portanto, de acordo com Gul et

al. (2015) a CTC depende da estrutura (grupos funcionais fornecendo cargas de superfície) e da área da superfície (torna as cargas superficiais mais acessíveis).

A potência de troca iônica dos solos representa a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos ao solo através da aplicação de fertilizantes, corretivos e resíduos (RONQUIM, 2010). Ainda de acordo com o mesmo autor, uma baixa CTC mostra que o solo tem pequena capacidade para reter cátions sem forma trocável; assim, é recomendado fazer as adubações e as calagens de forma parcelada para que se evitem maiores perdas por lixiviação.

### **3.6 Indicadores físicos da qualidade do solo**

Os principais indicadores físicos utilizados para avaliar a qualidade do solo são a textura, estrutura, densidade, condutividade hidráulica, resistência a penetração (RP), taxa de infiltração de água, densidade das raízes (DR) e porosidade.

Os indicadores físicos de qualidade do solo variam de diferentes maneiras de acordo com o solo e o sistema de manejo (SENA, 2015). Reichert et al. (2009) citam que um solo com qualidade física insuficiente pode ser representado por indicadores que apresentam uma ou mais das seguintes características: baixa infiltração de água, escoamento de água na superfície, coesão, má aeração, baixa enraizabilidade, e baixa trabalhabilidade.

#### **3.6.1 Resistência a penetração**

A utilização dos diferentes sistemas de manejo ocasiona, principalmente, alterações na estrutura do solo, as quais, a longo prazo, podem estar associadas à formação de camadas compactadas (LIMA et al., 2013). A resistência à penetração refere-se à compactação do solo e é capaz de justificar o motivo pelo qual as plantas encontram dificuldades de se desenvolver (SILVA et al, 2020c).

Dessa forma, é importante o estudo da RP, pois essa característica potencializa problemas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das culturas, diminuindo assim a produtividade das mesmas (SILVA et al, 2012). Esse indicador, permite a identificação de camadas compactadas, bem como mudanças nas propriedades físicas do solo ao longo dos diferentes horizontes, mudanças essas que podem auxiliar na determinação da vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos (REICHERT et al., 2010).

Segundo Kazmierczak (2018), é comum encontrar resultados na literatura mostrando condições em campo onde uma maior umidade do solo representa um ponto com maior resistência a penetração. Isto ocorre porque o solo mantém maior quantidade de água retida em condições de maior densidade do solo, devido a maior proporção de microporos, dessa forma, quando se comparam sistemas de manejo, é comum verificar menor RP mesmo em condições de menor umidade (KAZMIERCZAK, 2018).

Geralmente, preparos de solo afetam os valores de RP do solo, pois as camadas com influência do preparo tendem a apresentar menores valores de RP, já o não revolvimento provoca uma maior RP pelo acúmulo de pressões geradas pelo tráfego de máquinas (CAVALIERI et al., 2006; CUNHA et al., 2009).

Ainda se encontram dificuldades para padronizar diferentes umidades de avaliações de RP, assim como os tipos de equipamentos utilizados (REICHERT et al.; 2007). Visto isso, há uma grande diversidade de valores críticos de resistência a penetração para as plantas (KAZMIERCZAK, 2018).

Segundo Reichert (2007), valores inferiores a 2 Mpa são os mais adequados, pois quanto menor a resistência do solo ao crescimento das raízes, melhor a condição para o crescimento das plantas. Portanto, o conhecimento da resistência a penetração do solo é um indicador importante para ser pesquisado, já que interfere diretamente no desenvolvimento das plantas, afetando o crescimento das raízes, o fluxo, transporte e armazenamento de água e nutrientes, sendo importante para o manejo de áreas, na determinação da qualidade e na classificação dos solos (SILVA et al., 2020a).

### 3.6.2 Densidade das raízes

O bom crescimento e funcionamento da raiz requerem uma adequada aeração e capacidade de armazenamento de água pelo solo, além de baixa densidade ou resistência (REYNOLDS et al., 2008). O comprimento de raiz é uma zona específica ou a massa no campo todo, definida como um importante parâmetro na estimativa da absorção de água e nutrientes pelas culturas (ZHUANG et al., 2001).

O crescimento e o rendimento final das culturas são claramente relacionados à distribuição das raízes, que determinam a absorção e utilização de água e nutrientes (YANG et al., 2010). Sua profundidade é particularmente benéfica por permitir a absorção de água em camadas mais profundas do solo durante períodos de seca (MCKENZIE et al., 2009; GAISER et al., 2012). A extensão e distribuição das raízes podem ser expressas como densidade do

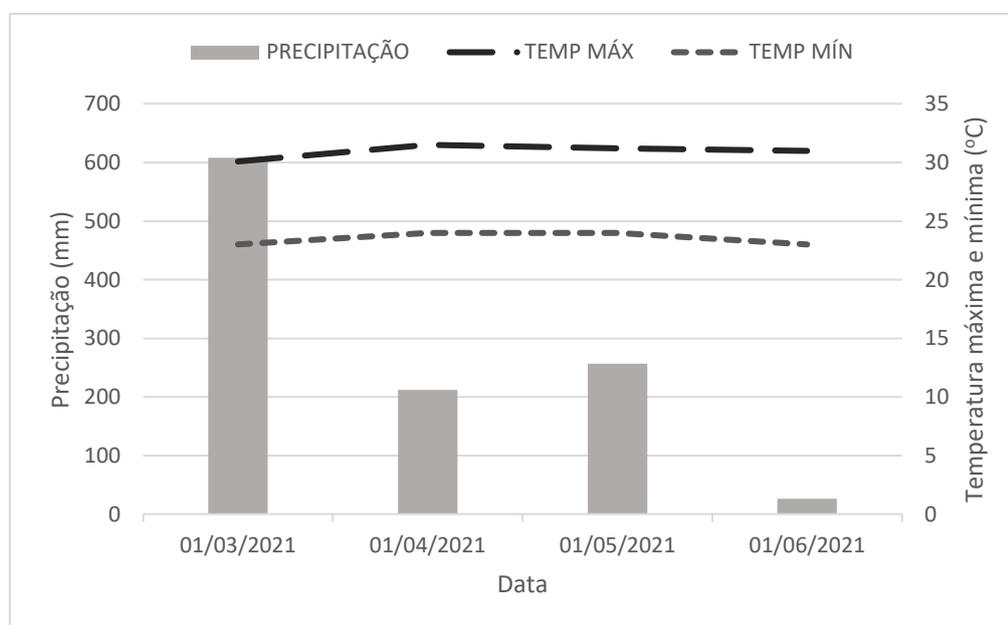
comprimento radicular ou o peso de raiz, que poderá ser influenciado pela densidade do solo (ADIKU et al., 2001).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização, clima e histórico da área

O experimento foi conduzido no ano de 2021 em um sistema de cultivo em aleias, numa área de 1.600m<sup>2</sup>, localizado no assentamento Vila União, Chapadinha-MA, Brasil (3°44'30'' Latitude Sul e 43°21'37'' Longitude Oeste).

O clima, segundo Köppen, é classificado como Aw, caracterizado como tropical úmido. No período chuvoso, de cinco meses (janeiro a maio), pelo menos dois meses podem ser considerados muito chuvosos (março e abril), com mais de 40 % da precipitação pluvial total. Tem-se, um período seco de sete meses, (junho a dezembro) dos quais três a quatro muito secos (agosto a novembro), com menos de 8 % da precipitação pluvial total. A temperatura média anual é de 27 °C e precipitação anual média de 1835 mm (PASSOS et al, 2016). Os dados climáticos médios mensais no período de condução do experimento podem ser observados na figura 1.



**Figura 1.** Variação média mensal de precipitação, temperatura máxima e mínima de Março a Junho de 2021. Fonte: INMET (2022).

O solo da área foi classificado com ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (SANTOS et al., 2016.). A área de estudo consiste num agrossistema de 13 (treze) anos, com quatro leguminosas arbóreas estabelecidas. Essa área consistia em uma vegetação nativa secundária e, posteriormente, foram semeadas as leguminosas arbóreas para estabelecimento do sistema agroflorestal.

No ano de 2009 as leguminosas foram plantadas no espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5m entre plantas. No mesmo ano, para a correção da acidez do solo foram aplicadas, em superfície, 4t/ha de um corretivo derivado de margas, cujo PRNT varia de 45 a 50%. Os teores de cálcio foram ajustados com a aplicação de 5 t/ha de gesso para não haver elevação excessiva do pH. Para correção dos baixos teores de fósforo do solo, 300 kg de superfosfato triplo foram aplicados por hectare. Foi realizado coletas de solo nas profundidades de 0 a 40 cm para caracterização química da área (tabela 1). Durante os treze anos de experimentos realizados na área, foram sempre utilizadas leguminosas arbóreas em consorcio com milho, para avaliação dos indicadores da qualidade do solo.

**Tabela 1** - Análise química do solo da área experimental, antes da calagem e do plantio das leguminosas, Chapadinha, 2009.

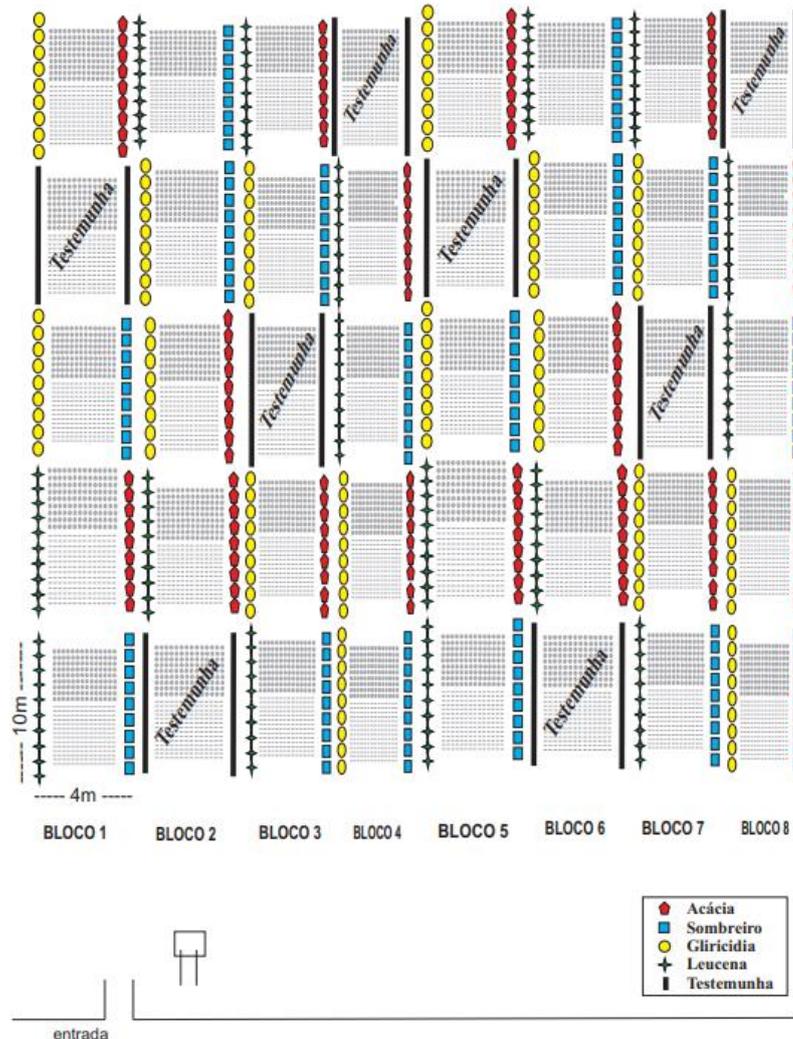
Profundidade Cm	MO g dm <sup>-3</sup>	Ph CaCl <sub>2</sub>	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Na	Al	SB	CTC	V %
0 – 5	44	5	9	1	25	5	51	2	1	33	84	40
5 – 10	37	5	11	1	19	4	65	2	2	25	90	28
10 – 15	30	4	6	0	11	2	84	1	11	14	97	14
15 – 20	26	4	4	0	6	2	89	1	15	8	97	9
20 – 40	21	4,1	4	0,2	4	1	85	0,7	15	5,6	90	6

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases.

## 4.2 Delineamento e condução do experimento

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), com oito repetições e cinco tratamentos: Leucena+Sombreiro (L+S); Leucena+Acácia (L+A); Gliricídia+Acácia (G+A); Gliricídia+Sombreiro (G+S) e tratamento Controle (C), sem leguminosas. Foram utilizadas duas espécies de baixa qualidade de resíduo – acácia (*Acacia mangium* Willd) e sombreiro (*Clitoria fairchildiana* R. Howard), e duas de alta qualidade de resíduo – leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) e gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp). Uma representação esquemática das parcelas experimentais pode ser visualizada na figura 2.

As leguminosas foram podadas a uma altura de 0,50 m e a biomassa aplicada na superfície do solo, entre as suas fileiras. A distribuição dos resíduos de leguminosas foi realizada de modo que cada parcela recebesse a mesma quantidade de biomassa. A cultura do milho (*Zea mays L.*) foi semeada no início do período chuvoso, com espaçamento de 80 cm entre linhas e 20 cm entre plantas. Foi utilizado o milho híbrido simples AG8088.



**Figura 2** - Representação esquemática das parcelas experimentais em um sistema em aleias no município de Chapadinha – MA.

Alguns dias após o plantio, foi realizado o desbaste de forma que ficasse apenas uma planta por cova. As adubações de cobertura foram realizadas 15 e 35 dias após emergência da cultura do milho; esse parcelamento foi adotado para evitar lixiviação por conta do solo arenoso. As dosagens foram 155 kg/ha de uréia para fornecimento de N e 155 kg/ha de cloreto de potássio para fornecimento de K, divididos igualmente nas duas adubações. Foi realizado

controle fitossanitário apenas antes do corte das leguminosas, aplicando herbicida para reduzir a quantidade de plantas daninhas; durante a condução do experimento houve pouca incidência de pragas e doenças, portanto, não foram realizadas aplicações de fungicidas e inseticidas.

### **4.3 Indicadores químicos da qualidade do solo**

Após a colheita do milho, no final do período chuvoso foram coletadas amostras do solo, com auxílio de um trado holandês, a uma profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm. As amostras de cada parcela foram compostas de 24 subamostras extraídas longitudinalmente da parcela, afim de evitar o efeito de bordadura, para formar uma amostra composta por parcela.

Posteriormente as amostras de cada parcela foram homogeneizadas e armazenadas em sacos plásticos até a realização das análises. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha e novamente colocadas em sacos plásticos na quantidade de 1kg de solo seco.

Para a determinação dos atributos químicos do solo da área foram quantificados os valores de pH em CaCl<sub>2</sub>, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, H+Al, segundo metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas (2001), e determinados a capacidade de troca catiônica (CTC) pela fórmula  $[SB + (H + Al)]$ , onde  $SB = Ca + Mg + K$  e a saturação por bases, calculada por  $V = (SB/CTC) \times 100$ .

### **4.4 Determinação da resistência à penetração do solo**

A resistência à penetração no solo foi medida em profundidades de 0 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10 - 15 cm, 15 - 20 cm com três repetições por parcela, depois de 4 dias sem chuva. Para as medições, utilizou-se um penetrômetro digital Falker®, com gradações de 1 cm. A tabela crítica para determinar o nível definido por Hazelton & Murphy (2007) foi usada para construir o gráfico da resistência à penetração no solo, onde os valores inferiores a 0,5 MPa foram considerados “leve”; 0,5 a 1,0 MPa foram considerados “moderado”; 1,0 a 2,0 MPa foram considerados “denso”; e, valores superiores à 2,0 MPa foram considerados como “muito denso”.

### **4.5 Determinação da densidade de raiz do milho**

As raízes do milho foram amostradas no estágio de pendramento usando um trado com um volume de 475 cm<sup>3</sup>. Para compor uma amostra, duas subamostras foram coletadas entre plantas e a 20 cm de cada linha de milho. Todas as parcelas foram amostradas nas profundidades de, 10-20 e 20- 30 cm, com três amostras coletadas de cada parcela. As amostras foram lavadas

com água corrente em uma peneira de 2 mm sobreposta a uma peneira de 1 mm para separar as raízes do solo, assumindo que apenas raízes mais espessas fossem consideradas. As raízes do milho foram manualmente separadas das de outras espécies de plantas, e a densidade de comprimento da raiz foi avaliada usando o método de interseções de Newman modificado por Tennant (1975).

#### **4.6 Parâmetros de produtividade do milho**

Foram determinados os componentes de produtividade da cultura do milho: peso das espigas, o número de grãos por espiga, o peso de 100 grãos e produtividade, onde todos os valores foram ajustados de acordo com o nível de umidade. O peso de 100 grãos foi determinado pesando os grãos em uma balança analítica com uma precisão de 0,0001 g. O rendimento de milho foi determinado na colheita final ou na maturidade fisiológica, sendo avaliado em uma área de 12 m<sup>2</sup>, onde foram selecionados aleatoriamente três espigas dentro de cada parcela útil.

#### **4.7 Análises estatísticas**

Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa Infostat e submetidos à análise de variância, com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises de teores de nutrientes no solo

Conforme observado na tabela 2, todas as amostras de solo dos tratamentos apresentaram valor de pH muito baixo, ou seja, maior acidez (entre 4,88 e 4,97). Os valores de pH e acidez potencial (Al + H) não apresentaram diferenças significativas em relação ao tratamento controle em nenhuma das camadas estudadas (0–10 cm e 10–20 cm).

**Tabela 1-** Características Químicas do ARGISSOLO sobre diferentes combinações de leguminosas e controle, nas profundidades do solo de 0-10 cm e 10-20 cm analisadas no ano de 2021.

Característica química do solo (Profundidade 0-10cm)	Tratamentos							
	L+S	L+A	G+S	G+A	C	CV	DMS	P
pH, em CaCl <sub>2</sub>	4.89	4.97	4.89	4.97	4.88	4.00	0.29	0.8214
P (mg/dm <sup>3</sup> )	42.45	44.51	38.9	45.68	47.23	38.00	24.02	0.8810
MO (g/dm <sup>3</sup> )	41.25a	39.15ab	39.58ab	39.43ab	35.73b	9.00	5.0	0.0410
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1.57	1.39	1.39	1.39	1.35	22.00	0.51	0.7607
Ca <sup>+2</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	51.77	50.27	50.02	50.25	50.15	14.01	10.03	0.9981
Mg <sup>+2</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	13.39ab	13.68ab	9.08ab	16.08a	6.52b	48.78	8.78	0.0149
Al + H (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	50.55	45.81	47.45	45.67	47.25	17.05	11.89	0.8201
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	117.21	109.95	107.84	111.31	105.22	8.90	14.15	0.1208
V (%)	58.0	59.07	57.21	59.72	56.15	11.42	8.9	0.7709
<b>Característica química do solo (Profundidade 10-20cm)</b>								
pH, em CaCl <sub>2</sub>	4.47	4.58	4.49	4.53	4.5	4.1	0.42	0.7100
P (mg/dm <sup>3</sup> )	17.99	15.45	17.25	16.19	17.43	49.87	12.08	0.9805
MO (g/dm <sup>3</sup> )	26.45	27.28	28.92	27.69	27.39	9.0	3.78	0.3867
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0.75	0.82	0.79	0.79	0.65	21.04	0.31	0.2701
Ca <sup>+2</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	32.89	33.02	34.15	31.03	33.77	21.58	9.98	0.9050
Mg <sup>+2</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6.28	10.03	8.27	8.13	7.15	68.19	8.86	0.7001
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	70.09	64.25	70.62	67.69	68.90	19.06	18.00	0.8509
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	109.98	108.19	113.78	107.59	110.43	10.02	16.09	0.8381
V (%)	37.68	41.73	38.78	38.39	38.45	19.51	10.82	0.8345

L+S = Leucena + Sombreiro; L+A = Leucena + Acácia; G+S = Gliricídia + Sombreiro; G+A = Gliricídia + Acácia; C = Controle. CV = Coeficiente de Variação; DMS = Diferença mínima significativa; P = Probabilidade. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Esses resultados podem ser explicados pelos teores de alumínio trocável (Al<sub>3</sub><sup>+</sup>), uma vez que, o Al<sub>3</sub><sup>+</sup> ao sofrer hidrólise libera H<sup>+</sup> na solução do solo e contribui para o aumento da acidez. Além disso, de acordo com Machado et al. (2014), essa maior acidez pode ser explicada por conta do aumento no aporte de resíduos orgânicos da biomassa das leguminosas do sistema em aleias, favorecendo também um aumento nos teores de C ao solo na forma de raízes, folhas e ácidos orgânicos. Sabemos que, quando maior o teor de carbono orgânico, maior tenderá a

ser a acidez do solo. Aguiar et al., (2013), também observaram baixos valores de pH em seu experimento possivelmente devido à contribuição da biomassa seca das combinações de leguminosas.

Não foi observada diferença estatística no teor de fósforo (P) do solo, de acordo com a análise (tabela 2) quando aplicado apenas resíduos de leguminosas, como também observado por Feitosa et al. (2021). Por conta da baixa disponibilidade no solo desse nutriente, e pelo pequeno aporte de P orgânico decorrente dos resíduos das leguminosa, recomenda-se a utilização de fosfatagem, sendo uma prática necessária não só na implantação, mas também na manutenção desse tipo de sistema.

Os teores de potássio ( $K^+$ ) e cálcio ( $Ca^{+2}$ ) nos tratamentos que incluíram resíduos de leguminosas não diferiu do controle. Já os teores de  $Mg^{+2}$  foram superiores no tratamento G+A, que indica melhor distribuição desse cátion até a camada de 10 cm no sistema em aleias, em consequência da disponibilização deste nutriente dos resíduos em decomposição, como também observou Pavinato et al. (2009).

A saturação por bases não variou no experimento, não apresentando diferenças entre as profundidades estudadas. Visto esses fatores relacionados a saturação por bases, Ca e Mg, em geral, pode-se observar que a calagem continua sendo uma prática indispensável para o estabelecimento e manutenção do sistema em aleias, para aumentar de forma adequada os teores desse nutrientes no solo, e para corrigir a acidez tóxica para as culturas.

Em relação a matéria orgânica (MO), observou-se diferença significativa entre as parcelas que continham resíduos de leguminosas, principalmente no tratamento L+S ( $41,25 \text{ g.dm}^{-3}$ ) em relação ao tratamento controle ( $35,73 \text{ g.dm}^{-3}$ ) na profundidade de 0-0,10 cm, mostrando que as combinações das leguminosas em cobertura no solo, associada às altas temperaturas no período seco podem ter acelerado a mineralização da matéria orgânica e com isso contribuído para aumentar a perda de C dessas frações mais lábeis no sistema. Na camada de 10-20 cm, os tratamentos não alteraram os níveis de MO no perfil do solo, portanto, a eficiência na deposição de resíduos orgânicos pelas leguminosas arbóreas tende a diminuir conforme o aumento da profundidade, conforme relatado por Feitosa et al. (2021) e Li et al. (2019).

Schiavoni et al. (2011) também observaram diferença significativa nos teores de carbono orgânico total entre os sistemas de plantio direto, mostrando que a presença de resíduos vegetais, atrelado à rotação de culturas e o não revolvimento do solo, pode causar acúmulo de

C no perfil do solo. Além disso, o aporte de biomassa na cobertura do solo pode favorecer o aumento da atividade microbiana, podendo acelerar a decomposição desses resíduos ao longo dos anos com utilização desse sistema.

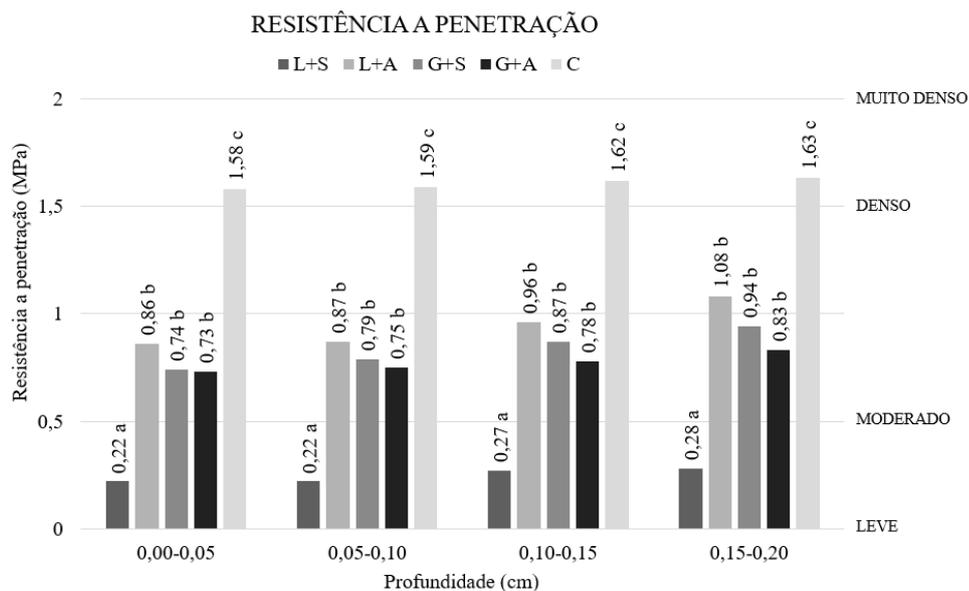
A CTC não apresentou diferença significativa em nenhuma das camadas analisadas ( $P < 0,05$ ). Porém, de acordo com Carvalho et al. (2014), matéria orgânica acumulada na camada superficial do solo pode levar ao aumento da CTC, devido ao aumento das cargas negativas do solo. Com isso, podemos supor que com o decorrer dos anos poderíamos ter um aumento significativo da CTC do solo. Delarmelinda et al. (2010) explicam que a maior porcentagem da CTC total em solos tropicais é proveniente de matéria orgânica (70-90%).

Portanto, de acordo com os resultados apresentados, principalmente em relação a matéria orgânica do solo, que apresentou diferença significativa atestando que a cobertura do solo através de biomassa de leguminosas arbóreas pode favorecer aos solos de baixa fertilidade do trópico úmido, uma tendência de melhoria contínua e aumento de produtividade das culturas, dando a possibilidade também, de reduzir o uso de insumos externos como a fertilização mineral.

## **5.2 Resistência à penetração do solo**

Os valores encontrados de resistência à penetração após 4 dias sem chuva variam de 0,22 a 1,63 MPa, com tendências a acréscimo com o aumento da profundidade (Figura 2). Em maioria, os valores foram maiores no tratamento Controle (1,56 a 1,63 Mpa), sendo significativos em todas as camadas, tendo esses resultados classificados como “Denso”, segundo a classificação descrita por Hazelton & Murphy (2007). Isso se explica pela presença contínua de cobertura vegetal, que contribui para manutenção dos teores mais elevados de umidade na camada superficial do solo, proporcionando uma redução dos valores de resistência mecânica à penetração

Diferenças significativas na resistência à penetração foram observadas em todas as camadas, em que o tratamento C apresentou maiores valores. A combinação Leucena+Sombreiro se mostrou mais eficiente que as demais, tendo valores considerados “Leve” para resistência a penetração (figura 2), segundo Hazelton & Murphy (2007). Sena (2015) encontrou melhorias nas propriedades físicas do solo e diminuição de resistência a penetração com a utilização de resíduos de leguminosas, em que o tratamento com solo descoberto apresentou maior RP.



**Figura 3** – Gráfico de resistência à penetração após 4 dias sem chuva em diferentes profundidades. L+S = Leucena + Sombreiro; L+A = Leucena + Acácia; G+S = Gliricídia + Sombreiro; G+A = Gliricídia + Acácia; C = Controle. Médias nas colunas seguidas das mesma letras, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os tratamentos L+A, G+S e G+A, mesmo sendo menos eficiente que o tratamento L+S, diferiram estatisticamente do tratamento C, atestando a capacidade da cobertura com leguminosas em reduzir a compactação do solo. Com exceção do tratamento L+S, todos os outros tratamentos com biomassa de leguminosas apresentaram valores de resistência a penetração considerados “moderados” até a camada de 0,15 m. O valor de 2,0 MPa (“Muito denso”) não foi atingido.

Esses resultados corroboram com trabalhos de Moura et al. (2012) que encontrou efeito positivo de resíduos de leguminosas na RP até a camada de 0,10 m, e com Portela (2021) que observou diferenças significativas em tratamentos com biomassa de leguminosas em relação ao solo sem esses resíduos até a camada de 0,15 m. Isso mostra que a RP é uma propriedade física sensível às diferentes formas de manejo do solo

Reduções nos valores de resistência à penetração em função do uso da cobertura vegetal foram verificadas por Din et al. (2014) em seu estudo na região Nordeste brasileira. O adubo verde pode melhorar as propriedades físicas do solo como um reflexo do aumento do carbono orgânico do solo e da ciclagem de nutrientes (XIE et al. 2016). Bana et al. (2013) constataram que o uso da cobertura do solo é eficiente na manutenção da umidade do solo na camada de 20-60 cm e capaz de reduzir a resistência à penetração na fase vegetativa para 10-30%.

### 5.3 Densidade de raiz do milho

Diferenças significativas na densidade da raiz do milho foram observadas na duas profundidades analisadas (tabela 3). Os valores de densidade de raiz do milho variaram de 1,43 a 0,8  $\text{cm.cm}^{-1}$  na profundidade de 10-20 cm, e de 0,63 a 0,41  $\text{cm.cm}^{-1}$  de 20-30 cm, sendo que os menores valores foram obtidos no tratamento C, mostrando influência positiva na utilização com consorcio de leguminosa + milho em relação a densidade das raízes do milho.

**Tabela 2** - Densidade de raiz (DR) de milho de 10-20 e 20-30  $\text{cm.cm}^{-3}$  nos tratamentos, com Milho AG8088 no ano de 2021.

Profundidade (cm)	L+S	G+A	G+S	L+A	C	Valor p
Densidade de Raízes ( $\text{cm.cm}^{-3}$ )						
10-20	1,41a	1,43a	1,35b	1,21b	0,8c	<0,001
20-30	0,53b	0,63a	0,50b	0,49b	0,41c	<0,001

L+S = Leucena + Sombreiro; L+A = Leucena + Acácia; G+S = Gliricídia + Sombreiro; G+A = Gliricídia + Acácia; C = Controle; Médias seguidas de letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Observou-se que o tratamento G+A obteve os melhores resultados de densidade de raízes nas duas profundidades analisadas, 1,43  $\text{cm.cm}^{-1}$  de 10 a 20 cm e 0,63  $\text{cm.cm}^{-1}$  de 20 a 30 cm. O tratamento L+S também mostrou-se eficiente na profundidade de 10-20 cm, com 1,43  $\text{cm.cm}^{-1}$  (Tabela 3).

Já os tratamentos G+S e L+A apresentaram menor eficiência em relação aos dois anteriores, porém, diferiu estatisticamente do tratamento controle. Isso indica que a utilização de cobertura com leguminosas influenciam significativamente na densidade das raízes. Sena (2015) também observou efeito significativo em relação ao maior crescimento radicular até a profundidade de 20 cm com utilização de biomassa de leguminosas, mostrando a melhoria do enraizamento no solo causada por resíduos vegetais.

Sena (2015) constatou aumento da matéria seca do milho devido ao uso de resíduos de leguminosas, na faixa de 75% em relação ao controle, estando altamente atrelado ao desenvolvimento do sistema radicular. Moura et al. (2009b) relatou sobre o efeito da cobertura do solo com resíduos de leguminosas no crescimento do milho, podendo ser atribuído principalmente à maior taxa de transpiração da planta em solo coberto e, portanto, à maior assimilação de  $\text{CO}_2$  e maior absorção de nutrientes. Todos esses processos dependem do aumento da densidade das raízes e da cobertura morta.

#### 5.4 Produtividade da cultura do milho

Com exceção do peso de 100 grãos, todos os outros componentes de produtividade da cultura do milho apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos com diferentes combinações de cobertura do solo e o tratamento Controle (tabela 4).

**Tabela 4** - Componentes de produtividade do milho em função das plantas de cobertura

Tratamentos	Peso de espigas (g/espiga)	Nº de grãos por espiga	Peso de 100 grãos (g)	Produtividade (Mg/hectare)
L+S	148,20 a	449,89 a	40,16 a	14,13 a
G+A	149,13 a	489,44 a	39,50 bc	14,90 a
G+S	141,05 b	436,41 ab	41,59 a	13,59 a
L+A	129,08 c	430,38b	40,19ab	12,34 b
T	78,19 d	315,05 c	39,48 c	7,09 c

L+S = Leucena + Sombreiro; G+S = Gliricídia + Sombreiro; L+A = Leucena + Acácia; G+A = Gliricídia + Acácia; C = Controle. Médias nas colunas seguidas das mesma letras, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Em geral, todos os tratamentos que receberam biomassa de leguminosas obtiveram melhores resultados, com destaque para a combinação Leucena+Sombreiro (L+S) que se sobressaiu aos demais em relação a todas as variáveis de forma conjunta.

Aguiar et al. (2006) encontraram aumento de produtividade do milho cultivado em sistema em aleias, onde relataram que esse resultado pode ser explicado por conta da Leucena se apresentar como leguminosa com resíduos de alta qualidade, com elevados teores de nutrientes (N, K e Ca), realizar a rápida liberação por conta de elevada taxa de decomposição, por conta da sua baixa relação C/N; e o Sombreiro, que apesar de apresentar quantidade de nutrientes inferiores em sua biomassa, possui decomposição lenta, que pode refletir na reciclagem e disponibilidade sincronizada dos nutrientes, no período de maior exigência da cultura (AGUIAR, 2006).

Em relação ao peso das espigas, os tratamentos G+A e L+S diferiram estatisticamente dos demais, com 149,13 g e 148,20 g, respectivamente. Esses dois tratamentos se mostraram superiores também na variável “número de grãos por espiga”, com 489,44 grãos em média para o tratamento G+A e 449,89 g em média para o tratamento L+S. Quanto ao peso dos grãos, todos os tratamentos diferiram estatisticamente do tratamento C (39,48 g), com destaque para os tratamentos G+S (41,59 g) e L+S (40,16 g).

Os tratamento Gliricídia+Acácia (G+A) e Leucena+Sombreiro (L+S) e Gliricídia+Sombreiro (G+S) apresentaram elevados resultados em relação produtividade, com

14,90 Mg/ha, e 14,13 Mg/ha e 13,59 Mg/ha, respectivamente. Segundo Aguiar et al. (2010) o aumento de produtividade observado nos sistemas de plantio direto na palhada de leguminosas é um reflexo da melhoria das qualidades do solo, pois a biomassa de leguminosas proporcionam um aumento na capacidade de aeração, melhoram a capacidade de absorção de nutrientes e garantem uma melhor distribuição e manutenção das bases na rizosfera.

Já o tratamento Leucena+Acácia (L+A) se mostrou menos eficiente em relação aos outros tratamentos que continham palhada de leguminosas. Esse resultado pode ser atribuído por conta da menor taxa de decomposição dessa combinação, o que dificulta a liberação de nutrientes e carbono orgânico, segundo relatado por Portela et al. (2018). Porém, o tratamento L+A apresentou diferença significativa quando comparado ao tratamento Controle, que obteve menores resultados em todas as variáveis, mostrando a eficiência da biomassa de leguminosas arbóreas como cobertura do solo em sistema de aleias em aumentar a produtividade da cultura do milho.

De acordo com Afolayan e Oyetunji (2018), além de melhorar a estrutura do solo, os materiais orgânicos gerados pelos resíduos verdes aumentam o teor de carbono orgânico do solo, aumentando assim o rendimento das culturas. Nesse sentido, Zhong et al. (2018) destacam a importância da adubação verde com leguminosas, que alteram a estrutura da comunidade bacteriana do solo, aumentando a fertilidade do solo.

Essas diferenças no rendimento de grãos podem ser atribuídos a dois processos: (i) aumento da capacidade de enraizamento do solo, o que pode levar maior crescimento radicular e (ii) maior disponibilidade de N e MO, ambos influenciados positivamente pela aplicação de biomassa (SENA et al. 2020).

## **6 CONCLUSÃO**

Os resíduos de leguminosas arbóreas adicionadas ao solo promoveram melhorias nos indicadores químicos e físicos da qualidade do solo, possibilitaram aumento nos teores de matéria orgânica e magnésio na camada de 0-10 cm, redução da compactação e aumento da densidade de raízes do milho em todas as camadas analisadas. Os tratamentos G+A, L+S e G+S foram os mais eficientes em elevar a produtividade do milho.

## REFERÊNCIAS

- ADIKU, S. G. K., OZIER-LAFONTAINE, H., BAJAZET, T. Patterns of root growth and water uptake of a maize – cowpea mixture grown under greenhouse conditions. **Plant and Soil**.v. 235, p. 85–94, 2001.
- AFOLAYAN, E. T. & OYETUNJI, J. O. Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Green Manure of *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia sepium* on the Yield of White Yam (*Dioscorea rotundata*) and Soil Bioremediation in the Abandoned Quarry. **Agricultural Extension Journal**, v. 2(1), p. 51–54, 2018.
- AGUIAR, A. C. F et al. Nutrient recycling and physical indicators of alley cropping system in sandy loam in the pre- Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.86, p.189-198. 2010.
- AGUIAR, A. C. F., CÂNDIDO, C. S., CARVALHO, C. S., MONROE, P. H. M. MOURA, E. G. Organic matter fraction and pools of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 158–164. 2013.
- AGUIAR, A. das C. F. Sustentabilidade do sistema plantio direto em Argissolo no trópico úmido. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 2006.
- AGUIAR, A.C.F.; SOUZA, E.A.; SILVA, A.J.C.; MOURA, E.G.M. 2014. Enhancement of nitrogen use efficiency to increase yield and maize grain quality in no-till systems. Tropentag, Prague, Czech Republic September 17-19. 2014
- AJAYI, O. C. et al. Sucesso agrícola na África: o caso dos sistemas de fertilização de árvores na África Austral (Malawi, Tanzânia, Moçambique, Zâmbia e Zimbábue). **Revista internacional de sustentabilidade agrícola**, v. 9, n. 1, pág. 129-136, 2011.
- ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S.; PAEPE, J. L. de. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: a meta-analysis. **Soil & Tillage Research**, v. 170, p. 53-65, 2017. DOI: 10.1016/j.still.2017.03.005.
- ANACHE, J. A. A.; FLANAGAN, D.C.; SRIVASTAVA, A.; WENDLAND, E. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 622, p. 140-151, 2018.
- ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. Q. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. (2001): 285.
- BANA, S.; PRIJONO, S.; ARIFFIN; & SOEMARNO. (2013). The effects of soil management on the availability of soil moisture and maize production in dry land, **Internaternational journal of agricultural and forestry**, n.3, v.3, p. 77-85.
- BERGERON, M. et al. Reduced soil nutrient leaching following the establishment of tree-based intercropping systems in eastern Canada. **Agroforestry Systems**, v. 83, n. 3, p. 321-330, 2011.
- BERTALOT, M. J. A. et al. Desempenho da cultura do milho (*Zea mays* L.) em sucessão com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) sob manejos agroflorestais e tradicional. **Rev. Árvore**. 2020, v. 34, n. 4, p. 597-608.
- CAMPOS, L. S. **Respostas ecofisiológicas em milho cultivado com gesso e biomassa de leguminosa em um agrossistema tropical**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2020.

CARDINAE, Rémi et al. Impacto da agrosilvicultura em aleias nos estoques, formas e distribuição espacial do carbono orgânico do solo – Um estudo de caso em um contexto mediterrâneo. **Geoderma**, v. 259, pág. 288-299, 2015.

CARDOSO, E. J. B. et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.

CARLOS, L.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; HIGASHIKAWA, E. M.; GARCIA, M. B.; FARIAS, E. S.; Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. **Ciência Florestal**, v. 24, n.1, p. 13-21, 2014.

CARVALHO, A. M., MARCHÃO, R. L., SOUZA, K. W. & BUSTAMANTE, M. M. C. Soil fertility status, carbon and nitrogen stocks under cover crops and tillage regimes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45(5), p. 914–921, 2014.

CARVALHO, N. S.; OLIVEIRA, A. B. B.; PESSOA, M. M. C.; COSTA NETO, V. P. C.; SOUSA, R. S. de; CUNHA, J. R. da; COUTINHO, A. G.; SANTOS, V. M. dos; ARAÚJO, A. S. F. de. Short-term effect of different green manure on soil chemical and biological properties. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v. 10, n. 43, p. 4076-4081, 2015. DOI: 10.5897/AJAR2015.9885.

CAVALIERI, K. M. V et al. Eleitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2006. v. 30, p. 137–147.

CHERUBIN, M. R; KARLEN, L. D; FRANCO, A. L.C; CERRI, C. E. P; TORMENTA, C. A. TORMENA; CERRI C. C. A Soil Management Assessment Framework (SMAF) evaluation of Brazilian sugarcane expansion on soil quality. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, p. 215–226, 2016.

CONAB. Boletim da safra de grãos: segundo levantamento 2022/23. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 15 de nov. 2022.

CONAB. Primeiro levantamento da safra 2019/20 de grãos indica produção de 245 milhões de t. 2019 Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3080-primeiro-levantamento-da-safra-2019-20-de-graos-indica-producao-de-245-8-milhoes-de-t>>. 2019. Acesso em: 05 de nov. de 2022.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; MENDES, S. M. Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos. Embrapa, 2019.

CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 589-602, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200028.

CUNHA, J. P. A. R.; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, 2009. v. 31, n. 3, p. 371–376.

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

- DANIELLS, I. G. Hardsetting soils: a review. **Soil research**. v. 50, p. 349-359, 2012.
- DELARMELINDA, E. A., SAMPAIO, F. A. R., DIAS, J. R. M., TAVELLA, L. B. & SILVA, J. S. Green manure and changes on chemical characteristics of a soil in the Ji-Paraná-RO region. **Acta Amazonica**, v. 40(3), p. 625–628, 2010.
- DIN, S. U.; HANIF, M.; & RAMZAN, M. (2014). Influence of tillage and mulching practices on soil physical under semi-arida environment, **Journal of environment and earth science**, v.4, 572 n.9.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
- FEITOSA, A. L. P. M. et al. Relações entre Regimes de Fertilização do Solo, Propriedades Químicas e Rendimento de Grãos de Milho no Trópico Úmido. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 16, 2021.
- FERNÁNDEZ, R.; FRASIER, I.; NOELLEMAYER, E.; QUIROGA, A. Soil quality and productivity under zero tillage and grazing on Mollisols in Argentina – A long-term study. **Geoderma Reg.** 2017, 11, 44–52.
- GAI, X.; WANG, H.; LIU, J.; ZHAI, L.; LIU, S.; REN, T.; LIU, H. Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate. **PLOS ONE**, v. 9, n. 12, p. 1–19, 2014.
- GAISER, T.; PERKONS, U.; KUPPER, P. M.; PUSCHMANN, D. U.; PETH, S. Evidence of improved water uptake from subsoil by spring wheat following lucerne in a temperate humid climate. **Field Crops Research**. v.126, p. 56–62. 2012.
- GOMIERO, T. Alternative Land Management Strategies and Their Impact on Soil Conservation: Review, **Agriculture**, v. 3, p. 464-483, 2013.
- GUL, S.; WHALEN, J. K.; THOMAS, B. W.; SACHDEVA, V.; DENG, H. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 206, p. 46–59, 2015.
- HAZELTON, P.; MURPHY, B. Interpretando os resultados dos testes de solo: o que significam todos esses números. 2007.
- HOYLE, F.C.; BALDOCK, J. A. e MURPHY, D.V. Soil organic carbon – role in rainfed farming systems: with particular reference to Australian conditions. In: Rainfed farming systems. Eds. P. Tow, I. Cooper, I. Partridge and C. Birch (Springer: New York, NY) pp. 339–361, 2011.
- INPE National Institute for Space Research. Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites – sistemas Prodes, Deter, Degrad e Queimadas. São José do Campos: INPE. 2021. Disponível em: <<http://www.inpe.gov.br>>. Acesso em: 28 de dez. 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Dados definitivos do Censo Agropecuário de 2017. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_ma.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_ma.pdf). Acesso em: 28 de dez. 2022.

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A.; HALISKI, A. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. **Plant soil**, v. 365, p. 409-424, 2013.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. dos.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. da. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 573–580, 2005.

KAZMIERCZAK, R. et al. **Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de preparo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de concentração – Agricultura uso e manejo do solo), Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2018.

KUMAR, R.; MAHAJAN, G.; SRIVASTAVA, S.; SINHA, A. Green manuring: a boon for sustainable agriculture and pest management: a review. **Agricultural Review, Haryana**, v. 35, n. 3, p. 196-206, 2014.

LANGNER, Josana A. et al. Maize: Key agricultural crop in food security and sovereignty in a future with water scarcity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p. 648-654, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n9p648-654>.

LÁZARO, R. de L.; COSTA, A. C. T. da; SILVA, K. de F. da; SARTO, M. V. M.; DUARTE JÚNIOR, J. B. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 10-17, 2013. DOI: 10.1590/S1983-40632013000100008.

LEAKEY, R. R. B. Agroecology and Sustainable Agriculture in the Tropics. **Annual Review of Phytopathology**, v. 52, p. 113–33, 2014.

LEE, J. W.; KIDDER, M.; EVANS, B. R.; PAIK, S.; BUCHANAN III, A. C.; GARTEN, C. T.; BROWN, R. C. Characterization of biochars produced from cornstovers for soil amendment. **Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 20, p. 7970–7974, 2010.

LEITE, M.F.A.; LUZ, R.L.; MUCHAVISOY, K.W.M.; ZELARAYAN, M.L.C.; CARDOSO, E.G; MORAES, F.H.M.; ROUSSEAU, G.X.; GEHRING, C. The effect of land use on aboveground biomass and soil quality indicators in spontaneous forests and agroforests of eastern Amazonia. **Agroforestry System**, v. 90, p.1009–1023, 2016.

LEPSCH, I. F. 19 lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LI, Y., LI, Z., CUI, S., CHANG, S. X., JIA, C. & ZHANG, Q. A global synthesis of the effect of water and nitrogen input on maize (*Zea mays*) yield, water productivity and nitrogen use efficiency. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 268(11), p. 136–145, 2019.

LIMA, R. P; LEÓN, M. J. D; SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 16-20, 2013.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores Microbianos de Qualidade do Solo em Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:45-55, 2012.

LOSS, A. et al. Atributos químicos e físicos de solos de tabuleiro sob diferentes sistemas de manejo agrícola e cobertura vegetal em solos de tabuleiro, no estado do Rio de Janeiro. *Agronomia*, **Seropédica**, v. 38, n. 2, p. 47-50, 2004.

- LOZADA, C. M. **Índice de qualidade do solo para a avaliação do impacto de diferentes usos e manejos e sua aplicação em uma área rural de Planaltina (DF)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília. 91 f. 2015.
- MACÊDO, J. R. de A. **Atributos do solo e flora infestante em sistema de semeadura direta do milho na palha de leguminosas arbóreas**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.
- MACEDO, Vinícius Ribamar Alencar. **Atributos do solo que determinam a produtividade das culturas para prevenir a degradação de solos estruturalmente frágeis**. 2018. Tese de Doutorado. UEMA.
- MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. de S.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Doffee Science, Lavras**, v. 9, n. 3, p. 289-299, jul./set. 2014.
- MCKENZIE, B. M.; BENGOUGH, A. G.; HALLETT, P. D.; THOMAS, W. T. B.; FORSTER, B.; MCNICOL, J.W. Deep rooting and drought screening of cereal crops: a novel fieldbased method and its application. **Field Crops Research**.v.112, p.165–171. 2009.
- MELO, F. de B. et al. Fertilizações nitrogenada e potássica e produtividades técnica e econômica de milho cultivado no Cerrado da Região Leste Maranhense. **Embrapa Meio-Norte-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2021.
- MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização: A Granja, v. 74, n. 829, p. 24-27, jan. 2018.
- MOURA, E. G. et al. Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. **Soil and use Management**, v. 25, p. 368-375. 2009b.
- MOURA, E. G. et al. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Plant and Soil**, v. 335, p. 363-371, 2010.
- MOURA, E. G. et al. Resíduos de gesso e leguminosas como estratégia para melhorar as condições do solo na sustentabilidade de agrossistemas dos trópicos úmidos. **Sustentabilidade** **10** (4), 1006. 2018.
- MOURA, E. G., MOURA, N. G., MARQUES, E. S., PINHEIRO, K. M., COSTA SOBRINHO, J. R. S., AGUIAR, A. C.F. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. **Soil and Use Management**, v.25, p. 368-375. 2009 a.
- MOURA, E.G.; PORTELA, S.B.; MACEDO, V.R.A.; SENA, V.G.L.; SOUSA, C.C.M.; AGUIAR, A.D.C.F. Gypsum and legume residue as a strategy to improve soil conditions in sustainability of agrosystems of the humid tropics. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 1006, 2018.
- MOURA, E.G.; PORTELA, S.B.; MACEDO, V.R.A.; SENA, V.G.L.; SOUZA, C.C.M.; AGUIAR, A.C.F. Gypsum and legume residue as a strategy to improve soil conditions in sustainability of agrosystems of the humid tropics. **Sustainability**, v. 10, p. 1006, 2018.
- MUNROE, J. W.; ISAAC, M. E. Árvores de fixação de N<sub>2</sub> e a transferência de N fixo para sistemas agroflorestais sustentáveis: uma revisão. **Agronomia para o Desenvolvimento Sustentável**. v. 34, n. 2, pág. 417-427, 2014.
- NOVAES, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds.) Fertilidade do solo. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.375-470, 2007.

OLIVEIRA, C. de M. B. de. Produção de milho, submetido a adubação verde e nitrogenada, no trópico úmido. 2017.

OLIVEIRA, Daniel Emanuel Cabral; DOS SANTOS, Maria Nalbaline Sampaio; RUFFATO, Solenir. Forma e tamanho dos grãos de milho da cultivar p3646 submetidos a diferentes condições de ar de secagem. **Nativa**, v. 2, n. 3, p. 162-165, 2014. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v02n03a06>.

OLIVEIRA, K; J. B. de, LIMA, J. S. S. de; AMBRÓSIO, M. M. de Q.; BEZERRA NETO, F., e CHAVES, A. P. Propriedades nutricionais e microbiológicas do solo influenciadas pela adubação verde. **Revista de Ciências Agrárias**. v.40, n.1, Lisboa, mar. 2017.

ORIVALDO, A. R. F. et al. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 431-444, 2018.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 758-766, 2016.

SENA, V. G. L. **Melhoria dos indicadores físicos de um argissolo coeso por meio da aplicação de gesso e biomassa de leguminosas arbóreas**. 2015. Tese de Doutorado. UEMA.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33, n.4, pp. 1031-1040, 2009.

PORTELA, L. B. et al. Decomposition and nutrient release of tree legumes in an agroforest system. **Journal of Agricultural Science (Toronto)**, v. 10, n. 8, p. 417-425, 2018.

PORTELA, S. B. **Práticas de manejo para a sustentabilidade da produção agrícola em solo tropical coeso**. Tese (Doutorado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2021.

PRIMO, D.C; MENEZES, R. C; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, 1-13, 2011.

QUEIROZ, L. R.; GALVÃO, J. C. C.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, M. F.; TARDIN, F. D. Supressão de plantas daninhas e produção de milho-verde orgânico em sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 263-270, 2010.

RAHARIMALALA, O.; BUTTLER, A.; RAMOHAVELO, C.D.; RAZANAKA, S.; SORG, J.P.; GOBAT, J.M. Soil–vegetation patterns in secondary slash and burn successions in Central Menabe, Madagascar. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, n. 1-2, p. 150-158, 2010.

REICHERT, J. M., SUZUKI, L. E. A. S., REINERT, D. J., HORN, R., HÅKANSSON, I. 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, p. 242–254.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007, p. 49–134.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L.E.A.S; HORN, R. Mecânica do Solo. In: LIER, Q.de J.van. Física do Solo. Viçosa: SBCS, 2010.

REYNOLDS, W. D., DRURY, C.F., YANG, X.M., TAN, C.S. 2008. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v.146 p. 466–474.

RODRIGUES, R. P. **Manejo de plantas daninhas na cultura do milho: uma revisão bibliográfica**. TCC (Graduação). Instituto Federal do Espírito Santos, Campus Itapina. 2022.

RONQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: EMBRAPA, 26 p., 2010.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; MAULI, M. M. Desempenho da cultura do milho implantada sobre resíduos culturais de leguminosas de verão em sistema de plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1287-1296, 2011.

RUTKOWSKA, B.; SZULC, W.; HOCH, M.; SPYCHAJ-FABISIAK, E. Forms of Al in soil and soil solution in a long-term fertilizer application experiment. **Soil Use and Management**, v. 31, n. 1, p. 114–120, 2015.

SANTO, H. G. dos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. ver. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHIAVONI, E. A.; Alves, M. C.; Souza, Z. M.; Costa, F. G. Influence of organic-mineral fertilization of an oxisol on soil chemical properties and *Bracharia brizantha* production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2219-2226, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600037>.

SENA, V. G. L. **Melhoria dos indicadores físicos de um argissolo coeso por meio da aplicação de gesso e biomassa de leguminosas arbóreas**. Tese (Doutorado). Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

SENA, V. G. L. **Sequestro de carbono e eficiência do uso de nutrientes pelo milho em plantio direto sobre palha de leguminosas arbóreas**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônomicas. Botucatu, 2019.

SENA, V. G.; MOURA E. G.; MACEDO, V.R; AGUIAR, A.C.; PRICE, A.H.; MOONEY S.J.; CALONEGO J.C. Ecosystem services for intensification of agriculture, with emphasis on increased nitrogen ecological use efficiency. **Ecosphere**, v. 11, 2020.

SILVA, A., R., da; SILVA, L., L., da; FRAZÃO, J., J.; SALGADO, F., H., M.; SILVA, M., C., da; CORRECHEL, V.; Resistência Mecânica À Penetração Do Solo Com Diferentes Coberturas Vegetais Sob Sistema. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 22, n. 2, dezembro, 2012.

SILVA, B. E. C.; SILVA, M. R. J. Viabilidade econômico-financeira da implantação da cultura do milho no município de Santa Teresa-ES. **Revista Univap**, v. 23, n. 43, p. 17-25, 2017.

SILVA, L. E. B. et al. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 2020b.

SILVA, M. de O. et al. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020 a.

SILVA, M. de O. et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

SILVA, T. A. C.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; RAMOS, P. P.; PEREIRA, J. M. Avaliação da qualidade de solo de área de lixão desativado: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n.02, p. 630-640, 2020c.

SOUZA, E. M. B. **Recuperação de pastagens degradadas por meio de sistema silvipastoril com leguminosas arbóreas**. Monografia (Graduação). Curso de Zootecnia. Universidade Federal do Espírito Santo. 2016

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 5. ed. Porto Alegre-RS: Artmed, 2013.

TENNANT, D. Um teste de um método modificado de interseção de linha para estimar o comprimento da raiz. **O jornal da ecologia**, p. 995-1001, 1975.

TULLY, Katherine L.; LAWRENCE, Débora; SCANLON, Todd M. Mais árvores, menos perda: As perdas por lixiviação de nitrogênio diminuem com o aumento da biomassa em agroflorestas de café. **Agricultura, ecossistemas e meio ambiente**, v. 161, p. 137-144, 2012.

VARAH, A. et al. Maior biodiversidade e polinização em sistemas agroflorestais do Reino Unido. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 93, n. 9, p. 2073-2075, 2013.

VARGAS, J. P. R. de.; SANTOS, D. R. dos.; BASTOS, M. C.; SCHAEFER, G.; PARISI, P. B. Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment. **Soil and Tillage Research**, v. 185, p. 47–60, 2019.

XIE, Z.; TU, S.; SHAH, F.; XU, C.; CHEN, J.; HAN, D.; LIU, G.; LI, H.; MUHAMMAD, I.; & CAO, W. 655 (2016). Substitution of fertilizer –N by green manure improves the sustainability of yield in 656 double rice cropping system in south china, **Field crops research**, v. 188, p. 142-149.

YANG, G., DUANA, A., QIUA, D. X., LIUA, Z., SUNA, ZHANGA, J., WANG, H. 2010. Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system. **Agricultural Water Management**. v. 98, p. 199–212.

ZHONG, Z., HUANG, X., FENG, D., XING, S. & WENG, B. Long-term effects of legume mulching on soil chemical properties and bacterial community composition and structure. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 268, p. 24-33, 2018.

ZHUANG, J., NAKAYAMA, K., YU, G. R., URUSHISAKI, T. 2001 Estimation of root water uptake of maize: an ecophysiological perspective. **Field Crops Research**.v.69, p. 201–213.