



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

NATHÂNAELL JUSTINO SOARES BORGES

**IMPACTO DE QUEIMADA RECENTE NA PROPRIEDADE QUÍMICA E FÍSICA
DO SOLO E NO CRESCIMENTO INICIAL DO MILHO**

PALMAS

2025

NATHÂNAELL JUSTINO SOARES BORGES

**IMPACTO DE QUEIMADA RECENTE NA PROPRIEDADE QUÍMICA E FÍSICA
DO SOLO E NO CRESCIMENTO INICIAL DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior Bacharelado
em Engenharia Agrônômica do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins - Campus Palmas - TO, como
exigência à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco
Sant'Ana

PALMAS, TO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

B732i Borges, Nathânaell Justino Soares
 IMPACTO DE QUEIMADA RECENTE NA PROPRIEDADE
 QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO INICIAL
 DO MILHO / Nathânaell Justino Soares Borges. – Palmas, TO, 2025.
 37 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana

1. Queimadas.. 2. Cerrado.. 3. Zea mays L.. I. Sant'ana, Edvaldo Vieira
Pacheco. II. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS - TO
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

NATHÂNAELL JUSTINO SOARES BORGES

**IMPACTO DE QUEIMADA RECENTE NA PROPRIEDADE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO E NO
CRESCIMENTO INICIAL DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior Bacharelado
em Engenharia Agrônômica do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins - *Campus* Palmas - TO, como
exigência à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 19 de dezembro de 2025

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana
IFTO - Campus Palmas - TO.

Profa. Dra. Vanessa David Domingos Valença
IFTO - Campus Palmas - TO.

Prof. Dr. Thômas Vieira Nunes
IFTO - Campus Palmas - TO.



Documento assinado eletronicamente por **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 19/12/2025, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa David Domingos Valença, Servidor**, em 19/12/2025, às 10:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thomas Vieira Nunes, Servidor**, em 19/12/2025, às 10:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3011842** e o código CRC **8C5507E2**.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

Campus Palmas 310 Sul, Av. LO 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul — CEP 77021-090 Palmas/TO - portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.025313/2025-79

SEI nº 3011842

RESUMO

A queimada é uma prática ainda frequente na agricultura do Tocantins, podendo alterar significativamente as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Essas alterações influenciam diretamente o desempenho inicial de culturas sensíveis à fertilidade, como o milho (*Zea mays L.*). Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da queimada recente sobre atributos químico-físicos do solo e sobre o crescimento inicial do milho em uma propriedade rural de Monte do Carmo – TO. Solos de três ambientes, área queimada, área agrícola não queimada e área de vegetação nativa, foram coletados na camada de 0–20 cm para análises laboratoriais e utilizados em bioensaio conduzido em ambiente controlado. Foram avaliadas variáveis morfofisiológicas do milho entre 0 a 15 e 15 a 30 dias após a semeadura, incluindo altura de plantas, número de folhas, teor relativo de clorofila e massas secas da parte aérea e radicular. Os resultados evidenciaram que o solo queimado apresentou aumento temporário na disponibilidade de nutrientes, valores de pH e teor mais elevado de matéria orgânica, favorecendo o crescimento inicial do milho e resultando nos maiores valores de altura, teor relativo de clorofila e biomassa. O solo não queimado apresentou desempenho intermediário, sustentado por melhor equilíbrio químico, enquanto o solo nativo mostrou limitações relacionadas à elevada acidez e baixa fertilidade. Dessa forma, foi possível concluir que, embora a queimada proporcione ganhos imediatos à fertilidade e ao crescimento inicial do milho, estes efeitos são transitórios e podem intensificar a degradação do solo quando utilizada de forma recorrente, sendo recomendadas práticas conservacionistas como alternativas sustentáveis de manejo.

Palavras-chave: Queimadas. Cerrado. *Zea mays L.* Solo.

ABSTRACT

Burning is still a frequent agricultural practice in Tocantins, and it can significantly alter the chemical, physical, and biological properties of the soil. These alterations directly influence the initial performance of fertility-sensitive crops, such as maize (*Zea mays* L.). This study aimed to evaluate the effects of recent burning on the chemical-physical attributes of the soil and on the initial growth of maize on a rural property in Monte do Carmo – TO. Soils from three environments—burned area, unburned agricultural area, and native vegetation area—were collected from the 0–20 cm layer for laboratory analyses and used in a bioassay conducted in a controlled environment. Morphophysiological variables of maize were evaluated between 0 and 15 and 15 and 30 days after sowing, including plant height, number of leaves, relative chlorophyll content, and shoot and root dry mass. The results showed that burned soil presented a temporary increase in nutrient availability, pH values, and higher organic matter content, favoring the initial growth of corn and resulting in higher values for height, relative chlorophyll content, and biomass. Unburned soil showed intermediate performance, supported by better chemical balance, while native soil showed limitations related to high acidity and low fertility. Thus, it was possible to conclude that, although burning provides immediate gains in fertility and initial corn growth, these effects are transient and can intensify soil degradation when used repeatedly, and conservation practices are recommended as sustainable management alternatives.

Keywords: Wildfires. Cerrado. *Zea mays* L., Soil.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Altura da planta (AP), número de folhas (NF) da cultivar de milho semeada sob três tipos de solo distintos aos 15 DAS.26

Tabela 2 - Altura final (AF), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), teor relativo de clorofila (TRC), massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da parte radicular (MSR) e massa seca total (MST) da cultivar de milho semeada sob três tipos de solos distintos aos 28 DAS.27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de regiões com indícios de queimadas	18
Figura 2 - Plantio dos testes.....	19
Figura 3 - Realização das etapas do experimento.....	21
Figura 4 - Desbaste nos tratamentos.....	22
Figura 5 - Comparativo de crescimento das plantas.....	24
Figura 6 - Laudo dos 3 solos	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Problematização.....	10
1.2	Objetivos.....	10
1.2.1	Objetivo geral	10
1.2.2	Objetivos específicos.....	10
1.3	Justificativa	10
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1	Histórico e regime de fogo no Cerrado.....	12
2.2	Efeitos químicos e físicos do fogo no solo	13
2.3	Influência do fogo sobre a microbiota e atividade biológica do solo	14
2.4	Respostas do milho às alterações provocadas pela queimada e seu uso como bioindicador da qualidade do solo	15
2.5	Práticas conservacionistas do solo.....	16
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	Tratamento e análise dos dados	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1	Atributos químicos e físicos dos solos.....	24
4.2	Crescimento inicial (0 a 15 DAS).....	26
4.3	Desenvolvimento vegetativo (15 a 30 DAS).....	27
4.4	Implicações agronômicas e ambientais	28
5	CONCLUSÕES	29
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
	APÊNDICE A – Laudo Químico e Analítico do Solo de Área Nativa	34
	APÊNDICE B – Laudo Químico e Analítico do Solo Não Queimado	35
	APÊNDICE C – Laudo Químico e Analítico do Solo Queimado	36
	APÊNDICE D – Análise comparativa entre os solos coletados.....	37

1 INTRODUÇÃO

A prática da queimada em áreas agrícolas é comum nas regiões tropicais e savânicas como ocorre no bioma cerrado, em especial no Tocantins. Embora muitas vezes utilizada como estratégia para limpeza e manejo, essa prática pode provocar alterações significativas nas propriedades químicas e físicas do solo, cujos efeitos variam de curto a médio prazo, e incluem por um lado, aumento temporário da disponibilidade de nutrientes essenciais, como fósforo e potássio e por outro, perda de matéria orgânica e degradação da estrutura do solo (LIMA et al., 2010; MIRANDA; BUSTAMANTE, 2020).

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura de grande relevância econômica, cultivada em larga escala no Brasil e sobretudo no Tocantins (TOCANTINS, 2025). O crescimento inicial do milho depende fortemente da fertilidade e estrutura do solo, sendo sensível a mudanças que ocorrem após distúrbios como queimadas (TAIZ *et al.*, 2017).

Sano *et al.* (2019) enfatizam que a intensificação agrícola no Cerrado, tem sido marcada por manejo inadequado do solo, favorecendo processos de degradação. A correção da acidez e o manejo da fertilidade são fatores decisivos para a produtividade agrícola na região, o que torna indispensável o estudo da dinâmica dos nutrientes nesse bioma (SOUSA; LOBATO, 2004).

A utilização do fogo, além de seus efeitos imediatos sobre a vegetação, provoca alterações químicas e físicas no solo, podendo modificar a disponibilidade de nutrientes e comprometer a matéria orgânica (MIRANDA; BUSTAMANTE, 2020). Santana *et al.* (2020) verificaram que o fogo provoca mudanças imediatas na disponibilidade de nutrientes e redução da matéria orgânica, com intensidade variável conforme o tipo de solo e a severidade da queimada, o que torna necessário a realização de estudos regionais que relacionem essas mudanças ao desempenho de culturas de importância econômica, como o milho.

Em uma propriedade agrícola localizada no município de Monte do Carmo - TO, foram realizadas coletas de solo em três condições distintas: área submetida a queimada, área agrícola não queimada e área de vegetação nativa. Com a avaliação do crescimento inicial do milho nesses solos será possível identificar os impactos imediatos da queimada sobre o solo e a planta, fornecendo informações úteis ao manejo agrícola regional.

1.1 Problematização

Quais são os efeitos da queimada recente nas propriedades químico-físicas do solo e como essas alterações influenciam o desenvolvimento inicial do milho em comparação a solos não queimados e de área nativa?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos da queimada recente nas propriedades químicas e físicas do solo e no desenvolvimento inicial do milho em uma propriedade localizada no município de Monte do Carmo – TO.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar os atributos químicos e físicos dos solos em estudo (queimado, não queimado e de área nativa);
- Avaliar o crescimento inicial do milho cultivado sob diferentes condições de uso e manejo do solo;
- Mensurar as variáveis morfofisiológicas do milho, a altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule, teor relativo de clorofila (TRC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST), nos solos em estudo.

1.3 Justificativa

A pesquisa é relevante por abordar um tema recorrente na agricultura regional: os impactos do uso do fogo no solo. No Tocantins, a queimada é uma prática muito utilizada, mas seus efeitos sobre a qualidade do solo ainda são pouco estudados, sobretudo em solos agrícolas (SOUSA; LOBATO, 2004).

Este trabalho também tem grande relevância para a minha formação acadêmica, pois aliou a vivência prática adquirida ao longo do curso de Agronomia com a experiência que eu já tenho há alguns anos em caracterização ambiental, elaboração de mapas de uso e ocupação do solo com o uso de ferramentas de sistemas de informação geográfica, como ArcGis e Qgis,. Além disso, os resultados esperados não apenas contribuirão para o aprendizado individual, mas também servirão como referência para outros estudantes e profissionais que buscam compreender melhor a influência do fogo na dinâmica do solo.

A prática do uso do fogo, quando usada de forma controlada, pode ser considerada uma ferramenta conservacionista, porém o seu uso inadequado gera impactos ambientais negativos significativos (MIRANDA; BUSTAMANTE, 2020). Nesse sentido, avaliar os efeitos da queimada nos atributos químicos da camada superficial do solo, especialmente de 0 a 20 cm (LIMA *et al.*, 2010), é fundamental para o entendimento científico e prático da dinâmica do fogo no contexto agrícola regional. Além disso, a análise laboratorial dos atributos químicos e físicos do solo, é essencial para diagnosticar essas mudanças e orientar estratégias de manejo mais sustentáveis (EMBRAPA, 2017).

O milho foi escolhido por sua importância econômica e também por ser uma cultura que responde rapidamente às condições de fertilidade, servindo como um bioindicador. Os resultados poderão orientar produtores sobre riscos e benefícios do uso do fogo, além de subsidiar práticas mais sustentáveis de manejo do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O fogo constitui um elemento natural em vários ecossistemas, atuando na conservação da diversidade biológica e favorecendo processos de regeneração ambiental (CHUVIECO *et al.*, 2021). Entretanto, quando o fogo se manifesta de forma intensa ou fora das condições naturais, pode causar danos irreversíveis e comprometer o equilíbrio desses ambientes.

De acordo com dados divulgados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em agosto de 2025 o Brasil registrou 18.451 focos de calor, o menor índice desde o início do monitoramento em 1998, representando uma queda de 61% em relação à média histórica para o mês (47.348 focos) e de 13,8% em comparação ao recorde anterior de 2013 (21.410 focos) (BRASIL, 2025). Esse resultado evidencia uma melhoria no cenário nacional de queimadas e reforça o papel de políticas públicas coordenadas para prevenção, combate e monitoramento dos incêndios florestais, considerando que o bioma do Cerrado concentrou 47,9% dos focos no acumulado do ano e o estado do Tocantins representou 11,7% desse total (BRASIL, 2025).

Diante desse cenário, torna-se claro que, embora o fogo exerça funções ecológicas importantes em ecossistemas savânicos como o Cerrado, seu uso inadequado ou em condições de elevada intensidade aumenta substancialmente os riscos de degradação ambiental. A recente redução dos focos de calor no Brasil (INPE, 2025), sinaliza avanços relevantes em políticas públicas, monitoramento remoto e ações de prevenção, mas também revela que regiões como o Tocantins continuam especialmente

vulneráveis, dada sua expressiva participação no total de ocorrências registradas (BRASIL, 2025).

Nesse contexto, compreender como forma o fogo modifica as propriedades do solo e afeta o desempenho de culturas agrícolas torna-se fundamental para orientar práticas de manejo mais sustentáveis e apoiar estratégias de mitigação que conciliem produtividade, conservação ambiental e maior resiliência dos sistemas agropecuários.

2.1 Histórico e regime de fogo no Cerrado

Com aproximadamente 2 milhões de km², correspondendo a cerca de 25% do território brasileiro, o Cerrado ocupa uma extensa faixa que se estende do norte do Paraná ao litoral do Maranhão, estabelecendo zonas de transição com a Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal (DURIGAN & RATTER, 2016; IBGE, 2019). Essa amplitude territorial abriga um misto de vegetação que varia desde formações campestres, como o campo limpo, até formações savânicas (campo sujo, campo cerrado e cerrado típico) e formações florestais, como o cerradão e as matas de galeria (DURIGAN e RATTER, 2016).

Estudos clássicos e contemporâneos demonstram que o fogo é um componente antigo e estruturante do Cerrado, atuando como agente evolutivo essencial há milhões de anos. Evidências paleobotânicas e isotópicas indicam que queimadas ocorrem nesse tipo de vegetação há pelo menos 25 milhões de anos, associadas à expansão e diversificação das gramíneas C4, cuja elevada produtividade e grande acúmulo de biomassa as tornam altamente inflamáveis durante a estação seca (SILVA *et al.*, 2011). Esse histórico demonstra que o Cerrado não apenas convive com o fogo, mas tem sua biodiversidade, estrutura e dinâmica ecológica diretamente ligadas ao regime de queimadas ao longo da evolução. Sendo reconhecido como um dos biomas mais suscetíveis ao fogo, tanto por fatores naturais quanto por ações antrópicas (SPIC BRASIL, 2024).

Historicamente, incêndios naturais associados a descargas elétricas faziam parte da dinâmica ecológica do bioma, moldando sua fisionomia vegetal e condicionando adaptações morfofisiológicas típicas de espécies savânicas. Entretanto, nas últimas décadas, o uso antrópico do fogo ampliou significativamente a frequência e severidade das queimadas, modificando processos de regeneração e estabilidade ecológica (ARRUDA *et al.*, 2024). Avaliações de séries temporais de queimadas indicam aumento expressivo da área afetada por incêndios entre 1985 e 2022, especialmente em regiões de expansão agrícola como o Tocantins (ARRUDA *et al.*, 2024).

2.2 Efeitos químicos e físicos do fogo no solo

Os efeitos químicos da queimada em solos do Cerrado têm sido amplamente relatados em estudos recentes, como Martins *et al.* (2018), Redin *et al.* (2011), destacando as alterações imediatas na disponibilidade de nutrientes e na acidez. Em geral, o fogo provoca aumento temporário do pH em superfície devido à presença de cinzas, ricas em óxidos e carbonatos (ARUNRAT *et al.*, 2024). Esse aumento tende a ser efêmero, sendo reduzido gradualmente pela lixiviação de bases e pela recomposição da matéria orgânica.

Entre os nutrientes, fósforo (P) e potássio (K) apresentam aumentos mais consistentes no curto prazo, porque são disponibilizados pela mineralização rápida da biomassa queimada. Entretanto, esses incrementos são geralmente superficiais e vulneráveis ao transporte por erosão hídrica, especialmente em solos recém-expostos (SOUZA; ALONSO *et al.*, 2024).

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais impactados pela ação do fogo. Durante a queima, parte dos compostos nitrogenados se volatiliza, reduzindo o estoque total desse elemento no solo. Mesmo assim, a concentração de amônio (NH_4^+) tende a aumentar logo após o evento, antes de ser nitrificada e, posteriormente, perdida por lixiviação (ARUNRAT *et al.*, 2024). Essa dinâmica influencia diretamente as fases iniciais de crescimento do milho, cultura que depende fortemente desse nutriente. Estudos recentes, realizados tanto no Brasil quanto em outros países, indicam que a magnitude desses efeitos varia conforme a intensidade do fogo, as características do solo e o período decorrido após a queima (PULE *et al.*, 2023).

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos componentes mais sensíveis ao fogo. A queima consome frações mais frágeis da MOS, reduzindo a capacidade de retenção de água, a atividade biológica e a disponibilidade gradual de nutrientes. (SOUZA; ALONSO *et al.*, 2024).

A literatura destaca que os efeitos da queima sobre o solo manifestam-se de forma distinta ao longo do tempo, onde no curto prazo, geralmente entre zero e sessenta dias após o fogo, observa-se aumento do pH e de nutrientes como cálcio, magnésio, potássio e fósforo, além de maior disponibilidade superficial desses elementos, embora acompanhada de uma redução expressiva do nitrogênio total e maior suscetibilidade à erosão. Já no médio prazo, entre sessenta dias e um ano, esses efeitos iniciais tendem a diminuir gradualmente, com estabilização das cinzas depositadas na superfície e redução contínua da matéria orgânica do solo. Esses padrões têm sido consistentemente descritos

em estudos realizados em ambientes savânicos e áreas agrícolas, evidenciando a importância de avaliações regionais que considerem tanto a intensidade do fogo quanto as características intrínsecas do solo (SOUZA-ALONSO *et al.*, 2024; ARUNRAT *et al.*, 2024; PULE *et al.*, 2023).

Tratando dos aspectos físicos, é necessário averiguar o quanto o fogo afeta diretamente as propriedades físicas do solo. Mas é notável que há a remoção da cobertura vegetal e que exposição da superfície promove alterações como aumento da densidade aparente, redução da macroporosidade, maior risco de selamento superficial e formação de crostas, maior vulnerabilidade à erosão hídrica e eólica (REDIN, *et al.* 2011).

Além dessas alterações, é importante considerar que a textura do solo também exerce papel determinante na forma como os impactos físicos se manifestam após a queima. Estudos realizados por Martins *et al.* (2018) revelam que solos arenosos predominam na camada superficial (0 a 20 cm) em diferentes sistemas de uso, com teores de argila inferiores a 15%, característica que os torna mais suscetíveis à compactação superficial, selamento, perda de agregados e intensificação da erosão hídrica e eólica. Mesmo nas camadas mais profundas (20 a 40 cm), onde os teores de argila atingem apenas 16 a 17% em áreas de cultivo de milho e pastagem, a baixa fração argilosa limita a estabilidade estrutural e agrava os efeitos da remoção da cobertura vegetal pelo fogo. Em solos dessa natureza, qualquer distúrbio que reduza a matéria orgânica ou exponha a superfície tende a comprometer ainda mais a infiltração, o crescimento radicular e a capacidade de retenção de água, intensificando os prejuízos já registrados para a cultura do milho em ambientes pós-queimada (MARTINS, *et al.* 2018).

Pule *et al.*, (2023), também concordaram que esses efeitos comprometem a infiltração de água e dificultam o crescimento radicular, prejudicando a emergência e o estabelecimento inicial do milho. Modelos experimentais conduzidos nos últimos anos apontam que a degradação física tende a ser mais duradoura que as alterações químicas, influenciando o desenvolvimento de culturas agrícolas mesmo meses após a queima.

2.3 Influência do fogo sobre a microbiota e atividade biológica do solo

Queimadas também impactam significativamente a microbiota edáfica, a redução da atividade microbiana logo após o fogo limita processos de mineralização e ciclagem de nutrientes, prejudicando especialmente a disponibilização de N e S. Em estudo conduzido no Maranhão por Silva *et al.* (2024), áreas queimadas apresentaram valores significativamente menores de atividade microbiana quando comparadas à mata

nativa, evidenciando o desequilíbrio biológico desencadeado pela remoção da cobertura vegetal e pela perda de matéria orgânica, elementos essenciais para a manutenção dos microrganismos do solo .

Esse efeito é amplificado em ambientes que já possuem menor aporte de resíduos vegetais, uma vez que sistemas com maior presença de palhada. tendem a sustentar maior biomassa microbiana e melhor capacidade de mineralização, conforme demonstrado por Favarato *et al.* (2016). A remoção súbita da cobertura vegetal pelo fogo elimina o microambiente necessário para o desenvolvimento de comunidades microbianas ativas, reduzindo a disponibilidade de substratos orgânicos e intensificando o estresse biológico do solo. Considerando que a recuperação dessa comunidade depende da reposição de matéria orgânica e do restabelecimento da vegetação, práticas de manejo que mantêm ou restituem a palhada tornam-se fundamentais para restaurar a fertilidade e a funcionalidade do solo pós-queimada.

Nesse sentido, estudos recentes reforçam que a microbiota exerce papel central na reconstrução dos ambientes edáficos após a queima, influenciando diretamente a estabilidade do sistema e a retomada da ciclagem de nutrientes (ARUNRAT *et al.*, 2024).

2.4 Respostas do milho às alterações provocadas pela queimada e seu uso como bioindicador da qualidade do solo

O milho (*Zea mays L.*) é uma espécie altamente responsiva às condições físico-químicas do solo, Favorato *et al.* (2016) destaca em seu estudo que o desempenho da cultura variou intensamente conforme o tipo de palhada empregada no sistema de plantio direto orgânico, demonstrando que atributos como disponibilidade de nitrogênio, dinâmica de decomposição dos resíduos e relação C/N influenciam diretamente o crescimento e a produtividade da espécie.

Evidências apontam que o aumento temporário de fósforo (P) e potássio (K) em solos recentemente queimados tende a favorecer o crescimento inicial das plântulas, enquanto a volatilização do nitrogênio (N) reduz o vigor, o índice SPAD e o acúmulo de massa seca (KRAN, 2024). Além disso, a compactação superficial comum em áreas pós-queimada prejudica a emergência e restringe o crescimento radicular, ao passo que mudanças no pH interferem na absorção de macro e micronutrientes essenciais (PULE *et al.*, 2023).

Estudos conduzidos com híbridos comerciais indicam que, nos primeiros 30 dias após a emergência, é possível identificar respostas agronômicas claras relacionadas às

alterações químicas, físicas e biológicas do solo provocadas pelo fogo, motivo pelo qual variáveis como altura de plantas, número de folhas, índice SPAD e massas secas aérea e radicular são amplamente utilizadas como indicadores sensíveis nessas avaliações (KHAN, 2024).

Em estudo conduzido em Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de adubos verdes, os maiores valores de carbono da biomassa microbiana foram observados em áreas de vegetação nativa, que exibiram maior equilíbrio ecológico, maior disponibilidade de nutrientes e maior estabilidade térmica e hídrica. Esses atributos favoreceram o crescimento do milho em comparação a sistemas cultivados, reforçando a forte conexão entre atividade microbiana e desempenho inicial da cultura (da Silva Gomes *et al.*, 2015). Em contrapartida, o autor observou que, sistemas degradados ou submetidos a perturbações ambientais apresentaram menores teores de biomassa microbiana e valores elevados de quociente metabólico (qCO_2), indicador associado ao estresse ambiental, padrão semelhante ao observado em solos impactados por queimadas.

Nesse sentido, bioensaios conduzidos em ambientes controlados podem suavizar impactos que, em campo, seriam mais severos, enquanto a alta sensibilidade ao nitrogênio pode induzir interpretações equivocadas caso outros nutrientes estejam em níveis adequados. Apesar dessas limitações, o milho permanece como um indicador eficaz para avaliar a qualidade do solo após queimadas, permitindo integrar respostas fisiológicas, químicas e microbiológicas em um diagnóstico robusto e sensível das condições edáficas.

2.5 Práticas conservacionistas do solo

Silva (2023), diz que uso intensivo do solo, quando não acompanhado de práticas de manejo adequadas, pode provocar perdas nos seus atributos físicos e químicos, favorecendo processos como compactação, redução do volume e da estabilidade dos agregados, o que compromete a infiltração de água, o desenvolvimento radicular e a manutenção da cobertura vegetal. Para minimizar ou reverter esse processo de degradação, podem ser adotadas práticas conservacionistas (PC) do solo, que incluem estratégias edáficas, vegetativas e mecânicas, selecionadas conforme as características da área e o objetivo de prevenir ou controlar os danos.

As práticas conservacionistas de natureza biológica têm como objetivo preservar ou restaurar a rugosidade da superfície do solo, aumentando a densidade de plantas por área e ampliando a cobertura vegetal (SALES *et al.*, 2021). Essa cobertura atua diretamente na redução do impacto das gotas de chuva, favorecendo a infiltração de água

graças à interceptação promovida pela vegetação. Como resultado, há menor escoamento superficial e, conseqüentemente, redução dos processos erosivos (SILVA, 2023). Nessas práticas vegetativas são importantes a cobertura do solo, rotação de culturas, sistema de plantio direto (SPD), reflorestamentos e sistemas agroflorestais.

As práticas mecânicas de conservação do solo envolvem o uso de estruturas artificiais destinadas a diminuir a velocidade da enxurrada e favorecer a infiltração de água. Entre as técnicas mais utilizadas destacam-se o plantio em curvas de nível, o terraceamento e diferentes tipos de obras de drenagem e contenção. Também podem ser empregados barramentos feitos com pedras ou pneus usados, que ajudam a restringir o deslocamento excessivo do solo e da água, contribuindo para a estabilidade da área (Silva, 2023; Sales *et al.*, 2021).

As práticas agrícolas conservacionistas desempenham papel fundamental tanto no aumento da produtividade quanto na manutenção de sistemas agrícolas sustentáveis. Estratégias como rotação de culturas, construção de terraços, plantio em curvas de nível, recuperação de pastagens e períodos de pousio apresentam elevado potencial para preservar os recursos naturais, incluindo solo, biodiversidade e água, ao mesmo tempo em que contribuem para a estabilidade e continuidade dos níveis produtivos (FORTINI: BRAGA; FREITAS, 2020).

Essas práticas favorecem a sustentabilidade ambiental ao reduzir a perda de partículas do solo, nutrientes, matéria orgânica e água em áreas agrícolas, aumentando a resistência do solo às forças erosivas e reduzindo sua dependência de insumos externos para manter a produtividade.

3 METODOLOGIA

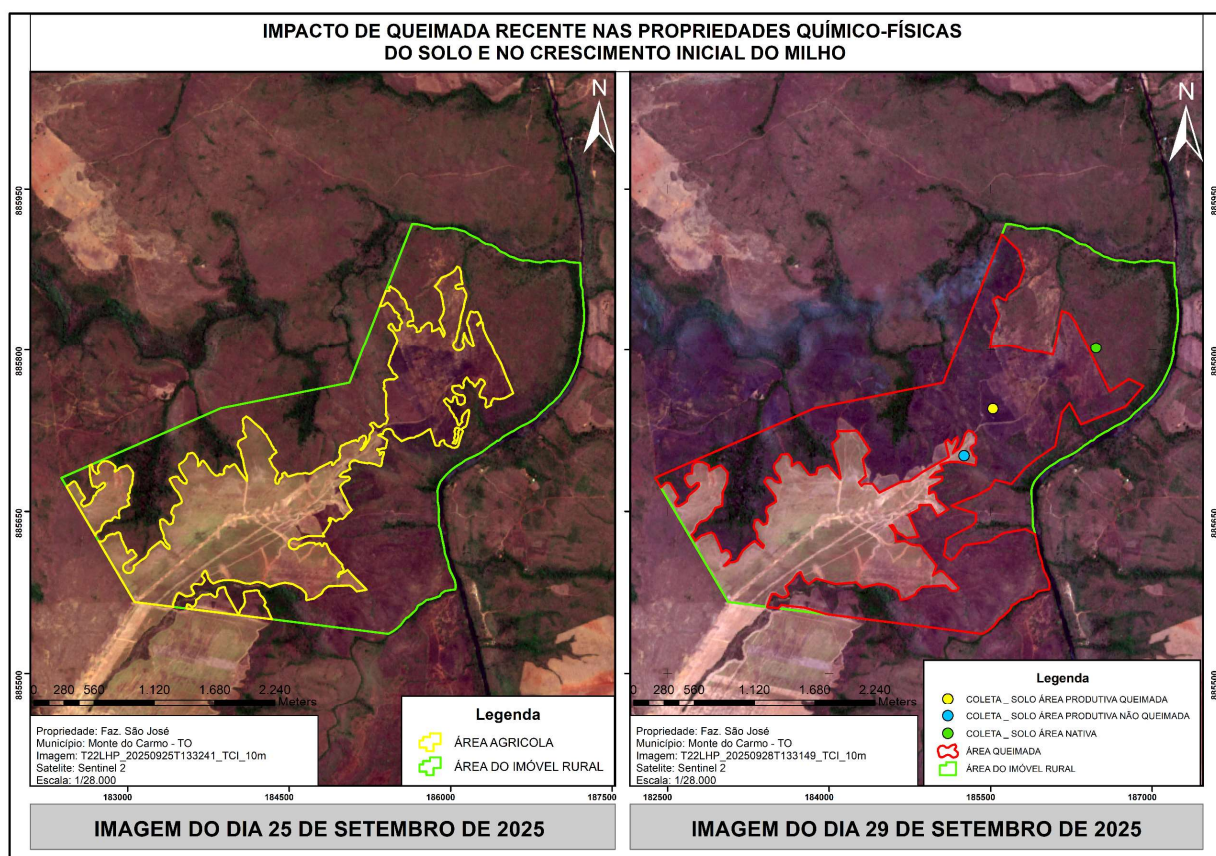
O estudo foi realizado com solos coletados em uma propriedade no município de Monte do Carmo – TO, em três condições distintas: área agrícola submetida à queimada, área agrícola não queimada e área de vegetação nativa. As coletas foram realizadas na camada superficial do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, utilizando amostras simples que formaram uma amostra composta por tratamento.

Para tanto, primeiramente foi realizado uma pesquisa com imagens do satélite *Sentinel 2* com resolução espacial de 10 metros, por meio de consulta realizada no *Copernicus Open Access Hub* (o qual pode ser acessado de forma gratuita pelo endereço eletrônico: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>), a fim de localizar áreas no município de Monte do Carmo - TO com indícios de queimada recente.

Dessa forma, no dia 01 de outubro de 2025, foi possível localizar uma área sob as coordenadas geográficas latitude 10°19'24,691"S e longitude 47°52'16,986"O, ainda com focos de queimada do dia 28 de setembro de 2025, as imagens utilizadas foram as T22LHP_20250925T133241_TCI_10m e T22LHP_20250928T133149_TCI_10m.

Após a escolha da área, foi feito o *download* da imagem, e com o auxílio do *software* arcgis 10.8 (software de sistema de informação geográfica (SIG) da ESRI) foi confeccionado um mapa, que em seguida foi exportado para PDF georreferenciado, conforme apresentado na figura 1, onde foi possível identificar área queimada, área não queimada, e área nativa não queimada. Este mapa foi aberto em um *smartphone android* por meio do aplicativo *Avenza Maps* (aplicativo móvel para iOS e Android que permite baixar, visualizar e usar mapas geospaciais como PDFs, GeoPDFs, GeoTIFFs de modo offline, utilizando o GPS do aparelho celular), e dessa forma foi possível chegar aos locais onde foram realizadas todas as coletas de solo.

Figura 1 - Mapa de regiões com indícios de queimadas



Fonte: Autoria própria, 2025.

Após a coleta, as amostras foram enviadas ao laboratório para análise químico-física, incluindo pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, acidez potencial, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e textura. Essa análise básica de fertilidade e de textura subsidiou a discussão sobre o comportamento de crescimento inicial do milho e as suas variáveis.

As unidades experimentais foram dispostas em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (solo queimado, não queimado e nativo) e dez repetições, totalizando 30 copos de polipropileno com capacidade de 500 ml. Sendo mantidas em ambiente protegido, com cobertura de alvenaria e laterais abertas permitindo boa circulação de ar e luminosidade natural indireta. Na análise dos resultados, foram consideradas oito repetições por tratamento (24 copos), sendo as unidades excedentes mantidas como reserva para eventual substituição no experimento. Cada copo foi preenchido com solo *in natura* e semeado com quatro sementes de milho híbrido comercial BR 206®, e cobertos com substrato Carolina Soil® (Figura 2).

Figura 2 - Plantio dos testes



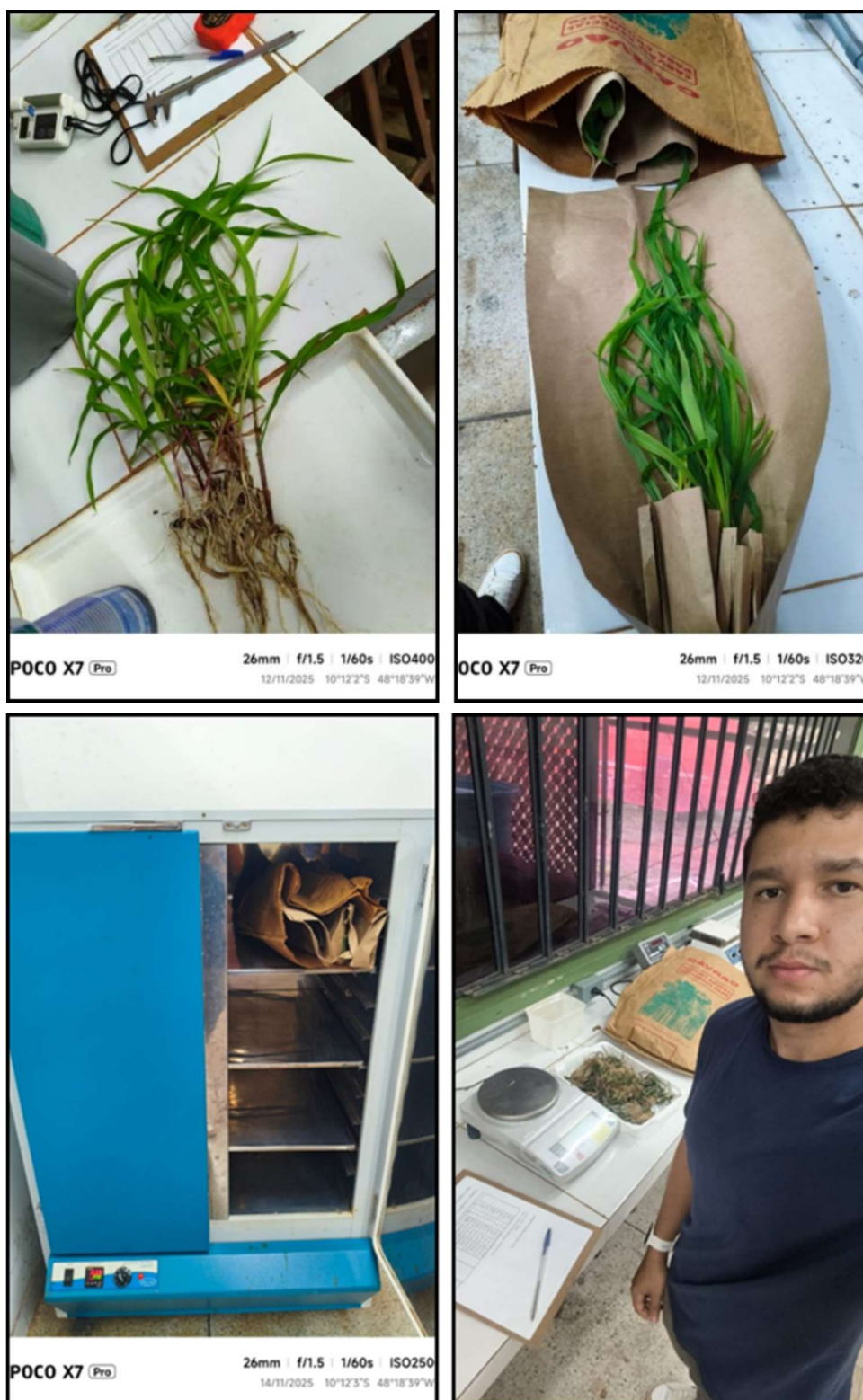
Fonte: Autoria própria, 2025.

A cultivar utilizada foi o milho híbrido comercial BR 206®, de ciclo precoce e porte médio que alia rusticidade e boa resposta à adoção de tecnologias, o que a torna

adequado para a realização de testes (EMBRAPA MILHO, 2025). As sementes foram adquiridas em estabelecimento comercial no município de Palmas – TO.

A definição dos estádios fenológicos avaliados considerou que diferentes fases do desenvolvimento vegetativo do milho apresentam demandas específicas por nutrientes e por condições físicas do solo. Assim, no solo de área nativa, as avaliações foram conduzidas até o estágio V6, momento em que a planta já expressa resposta inicial à qualidade edáfica; no solo não queimado, o monitoramento foi estendido até o estágio V6, fase de intensificação do crescimento vegetativo; e, no solo queimado, o acompanhamento foi prologado até o estágio V7, permitindo observar possíveis efeitos duradouros das alterações provocadas pelo fogo.

As avaliações ocorreram em dois períodos: de 0 a 15 dias após a semeadura, quando foi determinada a altura da planta, número de folhas e foram registradas observações qualitativas utilizando fita métrica para mensuração da altura das plantas, e contagem do número de folhas, e de 15 a 30 dias quando foram avaliadas a altura final das plantas, número de folhas, diâmetro do caule, teor relativo de clorofila e massas secas da parte aérea, raízes e total), para tanto, foi utilizado fita métrica para medição da altura final, paquímetro universal para medição do diâmetro do caule, clorofilômetro (modelo *MINOLTA SPAD 502*) para medição do teor relativo de clorofila (TRC), e estufa de circulação forçada a 65°C por 48 horas, seguida de pesagem em balança de precisão para determinação de massas secas (Figura 3).

Figura 3 - Realização das etapas do experimento

Fonte: Autoria própria, 2025.

3.1 Tratamento e análise dos dados

Os dados obtidos, foram submetidos à análise de variância pelo teste de *Tukey*, adotando um nível de significância de 5% para comparação entre as médias e

identificação das diferenças no crescimento das plantas. As análises estatísticas foram realizadas em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel 2021), seguindo a metodologia proposta descrita por Pimentel Gomes (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com 1 dia após a semeadura foi verificado que a maioria das plantas em todos os tratamentos já haviam emitido a radícula, caracterizando o início do processo de germinação. Aos 4 DAS todas as plântulas haviam emergido do solo e apresentavam as primeiras folhas, em estágio de vegetação V1, o que evidenciou a viabilidade das sementes com 100% de germinação em todos os tratamentos. Aos 8 DAS foi realizado o desbaste, mantendo apenas uma planta por copo (Figura 4). Esse padrão de desenvolvimento das plântulas está associado a boa qualidade fisiológica das sementes às condições adequadas de temperatura e ambiente edáfico do solo de acordo com Neto *et al.*, (2016), são fatores determinantes para a ativação metabólica e emissão da radícula.

Figura 4 - Desbaste nos tratamentos



Fonte: Autoria própria, 2025.

Aos 15 DAS, as plantas cultivadas no solo de área nativa apresentaram crescimento visualmente inferior, permanecendo predominantemente nos estádios

fenológicos V2 e V3, condição associada à elevada acidez e à saturação por alumínio desse solo. A literatura relata que, em solos ácidos, o alumínio é solubilizado na forma Al^{3+} , altamente tóxica para espécies sensíveis, reduzindo o crescimento e o alongamento radicular, comprometendo a absorção de nutrientes e consequentemente, limitando o desenvolvimento da parte aérea (MIGUEL *et al.*, 2010). Os sintomas observados, como atraso fenológico, menor vigor e provável deficiência nutricional, são compatíveis com esse mecanismo fisiológico, o que explica o desempenho reduzido das plantas nesse tratamento.

No solo não queimado, o crescimento das plantas foi intermediário com predominância nos estádios fenológicos V2, V3 e V4, sem anomalias visíveis, o que reflete melhores condições químicas e ausência de tóxicos relevantes. No solo queimado, observou-se maior avanço vegetativo com plantas nos estádios V3 e V4, impulsionado pela maior disponibilidade inicial de nutrientes no período pós-queima; contudo, alguns indivíduos apresentaram sintomas compatíveis com toxicidade por alumínio, evidenciando que, embora a queima aumente temporariamente a fertilidade, não necessariamente corrige a acidez e nem elimina a presença de Al^{3+} no curto prazo.

O experimento foi encerrado aos 28 DAS. Todas as plantas foram encaminhadas ao laboratório de Fitotecnia do IFTO *Campus* Palmas, para a realização das medições finais. Foi observado que as plantas cultivadas em solo queimado obtiveram maior crescimento da parte aérea, seguidas pelas plantas em solo de área não queimada, e por último, pelas plantas em solo de área nativa, no entanto para o desenvolvimento radicular, as maiores raízes foram registradas no solo de área não queimada em comparação aos demais tratamentos (Figura 5).

Figura 5 - Comparativo de crescimento das plantas

Fonte: Autoria própria, 2025.

4.1 Atributos químicos e físicos dos solos

As análises químicas realizadas nas amostras de solo das três áreas, solo queimado, solo não queimado e solo de área nativa, evidenciaram diferenças significantes nos atributos de fertilidade.

O solo queimado apresentou pH em água mediantemente ácido (5,41), teores mais altos de potássio com $0,53 \text{ cmolc dm}^{-3}$, cálcio $1,52 \text{ cmolc dm}^{-3}$, e magnésio $1,21 \text{ cmolc dm}^{-3}$ (valores intermediários) e maior teor de matéria orgânica com $43,37 \text{ g dm}^{-3}$ em relação ao solo nativo e ao solo não queimado (Figura 6 e apêndices A, B, C e D).

Figura 6 - Laudo dos 3 solos

Resultado de Análise Química														
Cod. Lab.	Descrição Amostra	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)	P(meh)	P(rem)	P(res)	S-SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	M.O.	C.O.
		-	-	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					g dm ⁻³		
6407/2025	Solo nao queimado - 0 - 20	6,84	6,23	22,71	ns	ns	25,15	0,23	5,08	3,01	0,00	2,00	38,75	22,48
6408/2025	Solo queimado - 0 - 20	5,41	4,80	13,39	ns	ns	10,59	0,53	1,52	1,21	0,15	3,40	43,37	25,16
6409/2025	Solo nativo - 0 - 20	4,66	4,05	1,23	ns	ns	8,60	0,11	0,47	0,30	0,41	6,70	42,60	24,71

Resultados Complementares											
Cod. Lab.	Descrição Amostra	SB	CTC	V	m	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
		cmol _c dm ⁻³		%		%			Relações		
6407/2025	Solo nao queimado - 0 - 20	8,32	10,32	80,62	0,00	49,22	29,17	2,23	1,69	22,09	13,09
6408/2025	Solo queimado - 0 - 20	3,26	6,66	48,95	4,40	22,82	18,17	7,96	1,26	2,87	2,28
6409/2025	Solo nativo - 0 - 20	0,88	7,58	11,61	31,78	6,20	3,96	1,45	1,57	4,27	2,73

Micronutrientes						Análise Textural				
Cod. Lab.	Descrição Amostra	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Argila	Silte	Água Disponível
		mg dm ⁻³					g Kg ⁻¹			mm/cm Classe AD
6407/2025	Solo nao queimado - 0 - 20	0,31	1,34	202,34	13,53	2,47	382	488	130	1,05 AD4
6408/2025	Solo queimado - 0 - 20	0,12	1,15	249,15	39,08	2,04	470	411	119	1,03 AD4
6409/2025	Solo nativo - 0 - 20	0,10	1,34	232,54	20,54	2,13	328	537	135	1,04 AD4

Fonte: Laboratório Perfil Solos, 2025

Esse comportamento está relacionado à mineralização rápida da matéria orgânica e à liberação de cinzas ricas em bases, que promovem aumento temporário na fertilidade logo após queimadas controladas (PIVELLO *et al.* 2020; SIMON *et al.*, 2016; MAGALHÃES *et al.*, 2020).

O solo não queimado, por sua vez, apresentou pH em água mais elevado com valor de 6,84, maior soma de bases com 8,32 cmolc dm⁻³ e saturação por bases de 80,6%, representando o ambiente mais equilibrado quimicamente. Esses resultados mostram que áreas sem histórico recente de queima mantêm estrutura química mais estável e sustentam melhor o equilíbrio entre acidez e bases trocáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Já o solo da área nativa mostrou pH em água mais baixo com 4,66, alta saturação por alumínio com 31,8% e soma de bases reduzida de 0,88 cmolc dm⁻³, condições típicas dos solos distróficos do Cerrado, caracterizados por elevada acidez e baixa fertilidade (OLIVEIRA *et al.*, 2020; CARVALHO *et al.*, 2018).

A textura argilosa predominante em todos os solos (411 a 537 g kg⁻¹ de argila) garante boa capacidade de retenção de água e nutrientes. No entanto, a fertilidade química em função do uso e manejo dos solos estudados, foi o fator determinante para o crescimento inicial do milho nos parâmetros avaliados.

4.2 Crescimento inicial (0 a 15 DAS)

As avaliações realizadas aos 15 DAS correspondem ao período de estabelecimento inicial das plantas (Tabela 1). Os dados mostraram efeito significativo ($p < 0,01$) entre os tratamentos para altura e número de folhas. As plantas cultivadas em solo queimado apresentaram maior média de altura com 22,75 cm e média de número de folhas de 3,63, seguidas pelo solo não queimado com altura média de 19,69 cm e média de número de folhas de 3,63, e pelo solo nativo com altura média de 18,19 cm e número de folhas de 3,19.

Tabela 1 - Altura da planta (AP), número de folhas (NF) da cultivar de milho semeada sob três tipos de solo distintos aos 15 DAS.

Tratamentos	AP (cm)	NF
Solo Queimado	22,75 a	3,63
Solo Não Queimado	19,69	2,63
Solo Nativo	18,19	2,62
F	7,13 **	6,34 **
Média geral	20,21	3,13
CV (%)	12,19	17,97

Fonte: Autoria própria, 2025.

Nível de significância: 5% e NS: não significativo. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O melhor desempenho no solo queimado pode ser atribuído ao impulso de fertilidade que ocorre pós-queima, causado pela liberação imediata de nutrientes como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), além da redução da acidez na camada superficial do solo (CORRÊA *et al.*, 2016; MORAIS *et al.*, 2020). Esse comportamento é amplamente relatado em estudos sobre solos de Cerrado, nos quais o fogo promove rápida mineralização da matéria orgânica e liberação de nutrientes, favorecendo temporariamente o crescimento das plantas (BUSTAMANTE *et al.*, 2012; MIRANDA *et al.*, 2019). No contexto regional, a queima em áreas de cerrado ainda é uma prática

frequente no Tocantins, especialmente em pequenas propriedades de exploração pecuária, no início do período chuvoso, com o objetivo de estimular a rápida rebrota de espécies forrageiras.

O solo de áreas nativas, por outro lado, apresentou desenvolvimento inferior, devido à elevada acidez por alumínio com $0,41 \text{ cmolc dm}^{-3}$, e baixa disponibilidade de fósforo com $1,23 \text{ mg/dm}^3$ e bases trocáveis com $0,88 \text{ cmolc dm}^{-3}$, que são fatores limitantes para o crescimento inicial do milho (FAGERIA *et al.*, 2010).

4.3 Desenvolvimento vegetativo (15 a 30 DAS)

As avaliações finais foram realizadas aos 28 DAS, contemplando a fase de crescimento vegetativo e de diferenciação foliar (Tabela 2). Foram verificadas diferenças expressivas entre os tratamentos, para altura final das plantas, teor relativo de clorofila, diâmetro do caule e massas secas. O solo queimado apresentou as maiores médias de altura (57,33 cm), teor relativo de clorofila (26,74) e massa seca total ($0,81 \text{ g planta}^{-1}$), evidenciando maior vigor vegetativo superior e maior eficiência fotossintética em relação aos demais tratamentos.

Tabela 2 - Altura final (AF), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), teor relativo de clorofila (TRC), massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da parte radicular (MSR) e massa seca total (MST) da cultivar de milho semeada sob três tipos de solos distintos aos 28 DAS.

Tratamentos	AF (cm)	NF	DC (mm)	TRC (SPAD)	MSA (g)	MSR (g)	MST (g)
Solo Queimado	57,33 a	6,00 a	4,41 a	26,74 a	0,43 a	0,38 a	0,81 a
Solo Não Queimado	49,45 ab	5,63 a	4,64 a	24,08 ab	0,43 a	0,24 b	0,67 b
Solo Nativo	46,95 b	5,88 a	3,7 b	20,03 b	0,21 b	0,17 b	0,37 c
F	5,20 *	1,29 ns	6,52 **	8,52 **	22,67 **	29,80 **	41,47 **
Média geral	51,24	5,83	4,25	23,61	0,36	0,26	0,62
CV (%)	13,11	8,15	12,75	13,87	21,42	21,89	15,81

Fonte: Autoria própria, 2025.

Nível de significância de 5% e NS: não significativo. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Segundo Souza *et al.* (2017), solos com maior disponibilidade de nutrientes e pH medianamente ácidos favorecem a absorção de nitrogênio e magnésio, elementos essenciais à síntese de clorofila, o que justifica os maiores valores de teor relativo de clorofila e o maior acúmulo de biomassa observados no crescimento das plantas de milho cultivadas no solo queimado. Esse ambiente promoveu temporariamente condições químicas e físicas para resultados superiores.

O solo não queimado apresentou desempenho intermediário, mostrando que a correção da acidez e a manutenção de níveis adequados de Ca^{2+} e Mg^{2+} promovem crescimento equilibrado, mesmo na ausência do efeito imediato da queima. Em contraste, o solo de área nativa mostrou menores valores em todas as variáveis avaliadas (altura, teor relativo de clorofila, diâmetro e biomassa), comportamento associado a baixa saturação por bases e acidez elevada. Esse resultado está em concordância com as observações de Silva *et al.* (2015), sobre a limitação natural dos solos de Cerrado para culturas exigentes a práticas de calagem e adubação, que é o caso do solo área nativa.

De forma geral, os resultados evidenciam que o solo queimado proporcionou os maiores incrementos de crescimento e acúmulo de biomassa das plantas, enquanto o solo nativo apresentou limitações compatíveis com sua baixa fertilidade natural. Os coeficientes de variação, situados entre 8 e 22%, indicam boa precisão experimental, em conformidade com os critérios propostos por Pimentel e Gomes (2009).

4.4 Implicações agronômicas e ambientais

Os resultados demonstraram que a queima recente promoveu incremento temporário na fertilidade do solo e favoreceu o crescimento inicial das plantas de milho. Esse efeito do solo é transitório e, segundo Ferreira *et al.* (2018), o uso recorrente do fogo reduz a matéria orgânica, a capacidade de troca de cátions e a atividade biológica, acelerando a degradação estrutural do solo.

Assim, embora o solo queimado tenha apresentado resultados superiores no curto prazo, o solo não queimado, caracterizado por pH estável e saturação de bases equilibrada, configura representa um ambiente de maior sustentabilidade produtiva em médio e longo prazo (CARVALHO *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2017).

Esses resultados reforçam a importância da adoção de práticas conservacionistas e, subsidiam discussões futuras sobre manejo sustentável e produtividade agrícola em áreas de cerrado.

5 CONCLUSÕES

As condições químicas e físicas do solo exercem influência direta sobre o crescimento inicial do milho, os resultados evidenciaram que a queimada promoveu aumento temporário na disponibilidade de nutrientes, redução da acidez na camada superficial solo, em função do maior crescimento inicial e acúmulo de biomassa de milho.

Apesar do melhor desempenho agrônômico no solo queimando, o solo não queimado devido a condições mais estáveis e equilibradas de pH e saturação de bases mostrou mais sustentável em médio e longo prazo ao evitar perdas progressivas de matéria orgânica.

O uso recorrente do fogo é uma prática incompatível com a conservação do solo, reforçando a necessidade de adoção de práticas conservacionistas para a recuperação de áreas queimadas como a condução de regeneração natural e enriquecimento com espécies nativas para conciliar produtividade agrícolas e sustentabilidade. Práticas de manejo como a recuperação da vegetação com reflorestamento com espécies nativas do cerrado, controle de espécies invasoras exóticas e recuperação da fertilidade do solo com calagem e adubação equilibrada, incorporação de adubos verdes, adoção de rotação de culturas e consórcios para ciclagem de nutrientes, devem ser priorizadas como alternativas sustentáveis, visando à manutenção da produtividade e à conservação dos recursos naturais do ambiente. Para estudos futuros, é destacado a necessidade de compreender estes fatores em outras culturas e determinar a que nível isso pode influenciar o bom desenvolvimento da planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARUNRAT, N. *et al.* **Fire impacts on soil properties and implications for rotational slash-and-burn cultivation systems: a review.** Agriculture, v. 14, n. 9, p. 1660, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture14091660>.

ARRUDA, V. L. da S. *et al.* **Assessing four decades of fire behavior dynamics in the Brazilian Cerrado.** Fire Ecology, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00298-4>.

BRASIL. Ministério da Comunicação Social. **Brasil registra menor número de queimadas da série histórica em agosto.** Governo do Brasil, 02 set. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/09/brasil-registra-menor-numero-de-queimadas-da-serie-historica-em-agosto>. Acesso em: nov. 2025.

BUSTAMANTE, M. M. C. *et al.* **Fire and nutrient cycling in tropical ecosystems.** Progress in Physical Geography, v. 36, n. 4, p. 455–481, 2012.

CARVALHO, J. L. N.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R. **Fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes em ecossistemas do Cerrado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, p. e0170120, 2018.

CHUVIECO, E.; PETTINARI, M. L.; KOUTSIAS, N. *et al.* **Human and climate drivers of global biomass burning variability.** Science of the Total Environment, v. 779, p. 1–11, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146361.

CORRÊA, J. C.; SILVA, M. C.; REZENDE, L. F. **Efeitos da queimada sobre os atributos químicos do solo em área de pastagem degradada.** Revista de Ciências Agrárias, v. 59, p. 34–42, 2016.

DA SILVA, L. J. *et al.* **Effects of fire on soil organic matter in northern Amazonian contexts.** 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/z6dzN6HWy3FDfn4Cv7Cfbzy/?format=pdf&lang=en>.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. **The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation.** Journal of Applied Ecology, v. 53, n. 1, p. 11–15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12559>.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo. 3. ed.** Brasília: Embrapa, 2017.

EMBRAPA. **Milho – BR 206.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/253/milho---br-206>. Acesso em: nov. 2025.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops. 3. ed.** Boca Raton: CRC Press, 2010.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica aplicada à Agronomia.** Lavras: UFLA, 2014.

FERREIRA, T. R.; OLIVEIRA, I. P.; SOUSA, G. G. **Impacto do uso do fogo sobre a fertilidade e a biologia do solo em áreas de Cerrado**. Revista de Agricultura Neotropical, v. 5, n. 3, p. 40–47, 2018.

FORTINI, R. M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 2, p. e199479, 2020.

GOVERNO DO TOCANTINS. Secretaria de Comunicação. **Governo do Tocantins celebra safra recorde de milho**. 2025. Disponível em: <https://www.to.gov.br/secom/noticias/governo-do-tocantins-celebra-safra-recorde-de-milho>. Acesso em: nov. 2025.

IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil**. 2019. Disponível em: <http://www.terrabrasil.org.br/>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Relatório de focos de queimadas no Brasil – Agosto de 2025**. São José dos Campos: INPE, 2025. Disponível em: https://terrabrasil.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/situacao_atual/. Acesso em: nov. 2025.

KHAN, H. **Maize productivity and nutrient status in response to crop and soil management: implications for early growth**. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106057>.

LIMA, J. R. S. *et al.* **Efeitos do fogo sobre propriedades químicas e biológicas do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 4, p. 1181–1189, 2010.

MIGUEL, P. S. B. *et al.* **Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos**. CES Revista, v. 24, n. 1, p. 13–29, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/884394/efeitos-toxicos-do-aluminio-no-crescimento-das-plantas-mecanismos-de-tolerancia-sintomas-efeitos-fisiologicos-bioquimicos-e-controles-geneticos>. Acesso em: nov. 2025

MAGALLANES, S. R. S. *et al.* **Immediate effects of prescribed burning on chemical attributes in Cerrado**. 2020. DOI: 10.1590/2179-8087.025318.

MARTINS, G. *et al.* **Caracterização química e física do solo em dois sistemas de manejo**. Revista Eletrônica da UFGD, v. 5, n. 10, p. 48–54, 2018. DOI: <https://doi.org/10.30612/re-ufgd.v5i10.8610>.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C. (Orgs.). **O fogo no Cerrado**. Brasília: Editora UnB, 2020.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A. F. F. **Fogo no Cerrado: impactos e manejo sustentável**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2019.

MORAIS, R. F. de; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. **Alterações químicas do solo após queimadas em áreas de pastagens no Cerrado**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, p. 1252–1266, 2020.

OLIVEIRA, J. A.; SOUSA, D. M. G.; REATTO, A. **Caracterização química e física de solos do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2020.

PIMENTEL; GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: FEALQ, 2022.

PIVELLO, V. R. *et al.* **Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil**. Plant and Soil, v. 337, n. 1–2, p. 111–123, 2010. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002307876>.

PULE, H. T. *et al.* **Post-fire soil nutrient dynamics in Seriphium plumosum L.** 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/10/1971>.

REDIN, M. *et al.* **Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo**. Ciência Florestal, v. 21, n. 2, p. 381–392, 2011.

SALES, E. S. G.; ALCÂNTARA, F. T. A.; ARAÚJO, F. S.; DORNELAS, C. S. M. *et al.* **Influência de práticas conservacionistas na recuperação de áreas degradadas no semiárido**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 9298–9316, 2021. DOI:10.34117/bjdv7n1-629.

SANO, E. E. *et al.* **Cerrado ecoregions: a spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation**. Journal of Environmental Management, v. 232, p. 818–828, 2019.

SANTANA, N. A. *et al.* **Efeitos imediatos do fogo sobre propriedades do solo no Cerrado**. Revista Floresta, v. 50, n. 1, p. 1–10, 2020.

SILVA, A. C. R. *et al.* **Impactos das queimadas sobre a atividade microbiana e a fauna edáfica do solo**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 17, n. 3, p. 1–15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701>.

SILVA, C. A.; FERNANDES, L. A.; ANDRADE, F. R. **Calagem e adubação em solos de baixa fertilidade do Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 45, p. 259–266, 2015.

Silva, L. M. A. L. da. **Práticas conservacionistas do solo e pagamento por serviços ambientais em uma Bacia Hidrográfica em domínio de Mata Atlântica**. 2023. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2023.

SIMON, C. A. *et al.* **Efeitos da queima de resíduos sobre atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado**. Nativa, v. 4, n. 4, p. 213–219, 2016. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/3266>.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUZA, E. R.; CARVALHO, C. M.; FERREIRA, T. F. **Efeito do pH e dos nutrientes no crescimento inicial do milho em solos do Cerrado**. Revista Agro@mbiente Online, v. 11, n. 2, p. 133–142, 2017.

SOUZA-ALONSO, P. *et al.* **Fire enhances changes in phosphorus (P) dynamics across fire severities**. Scientific Reports, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-72361-8>.

SPIC BRASIL. **Queimadas no Cerrado: causas, impactos e desafios**. 2024. Disponível em: <https://www.spicbrasil.com.br/destaque/queimadas-cerrado/>. Acesso em: nov. 2025.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

APÊNDICE A – Laudo Químico e Analítico do Solo de Área Nativa

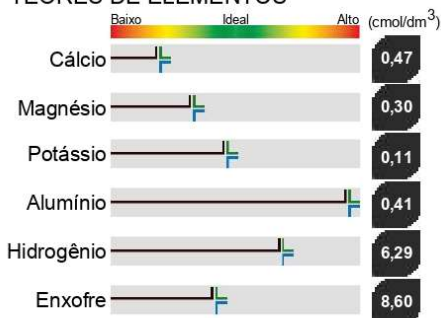
LAUDO QUÍMICO E ANALÍTICO DE SOLO

Solicitante: 1-PARTICULAR
 Proprietário: NATHANAEL JUSTINO SOARES BORGES
 Propriedade: FAZENDA SÃO JOSÉ
 Município: Monte do Carmo - TO
 Entrada: 22/10/2025

Cód. Laboratório: 6409/2025
 Identificação: Solo nativo
 Saída: 04/11/2025



TEORES DE ELEMENTOS

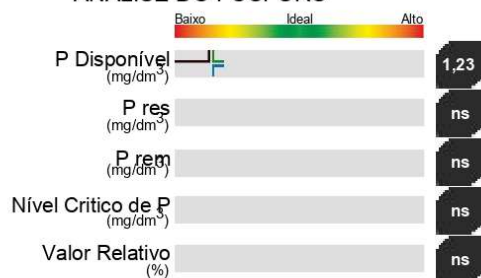


MATÉRIA ORGÂNICA

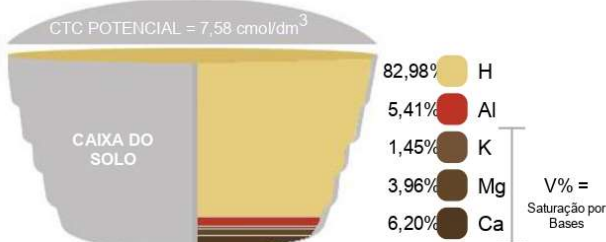
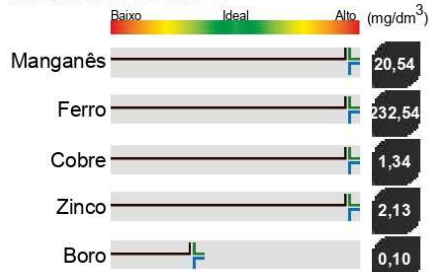


H+Al	(cmol/dm ³)	6,70
t (CTC EFETIVO)	(cmol/dm ³)	1,29
T (CTC POTENCIAL)	(cmol/dm ³)	7,58
SB(SOMA DE BASES)	(cmol/dm ³)	0,88
m (SATURAÇÃO POR AL)	(%)	31,78
V (SATURAÇÃO POR	(%)	11,61

ANÁLISE DO FÓSFORO



MICRONUTRIENTES



RELAÇÕES NUTRICIONAIS

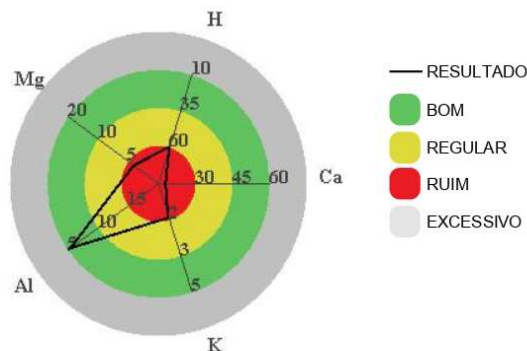
Ca/Mg 1,57 Ca/K 4,27 Mg/K 2,73

pH CaCl 4,05

pH em Água (Reação do Solo)



FERTIGRAMA (%)



RESTITUIÇÃO DO EQUILÍBRIO DE BASES

	MÍNIMO	MÁXIMO
Cálcio	2,6	4,1
Magnésio	0,5	1,2
Potássio	0,1	0,3

ANÁLISE FÍSICA

Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Água Disp.
32,8	13,5	53,7	AD4

- Os resultados deste laudo representam apenas a amostra enviada ao laboratório.
- Indicações do laudo estão segundo recomendações da EMBRAPA Cerrados.
- Cuidado ao coletar e manusear as amostras antes do envio ao laboratório para evitar contaminação.
- Consulte sempre um engenheiro agrônomo para melhor orientação de amostragens.
- Resultado de índice de fixação de fósforo são baseados na metodologia de P remanente.

Responsável Técnico:

Eng. Agr. Maicon Henriques Corrêa

Fone: (63) 9 9933-2554

Qd 501 Sul, Av. T. Segurado Lt 11, Cnj 01, Sala 02, PL Diretor Sul Palmas, Tocantins CEP: 77.016.002 laboratorioperfilsolo@gmail.com

APÊNDICE B – Laudo Químico e Analítico do Solo Não Queimado

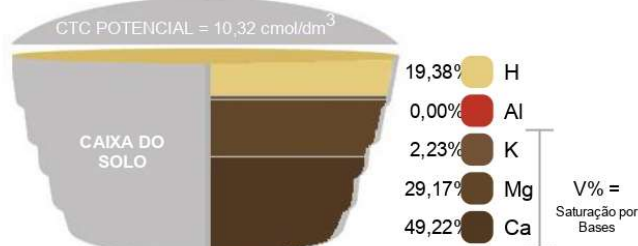
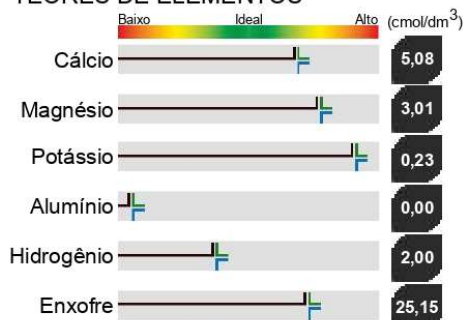
LAUDO QUÍMICO E ANALÍTICO DE SOLO

Solicitante: 1-PARTICULAR
 Proprietário: NATHANAEL JUSTINO SOARES BORGES
 Propriedade: FAZENDA SÃO JOSÉ
 Município: Monte do Carmo - TO
 Entrada: 22/10/2025

Cód. Laboratório: 6407/2025
 Identificação: Solo nao queimado
 Saída: 04/11/2025



TEORES DE ELEMENTOS

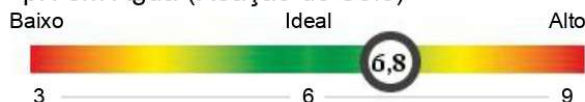


RELAÇÕES NUTRICIONAIS

Ca/Mg 1,69 Ca/K 22,09 Mg/K 13,09

pH CaCl 6,23

pH em Água (Reação do Solo)

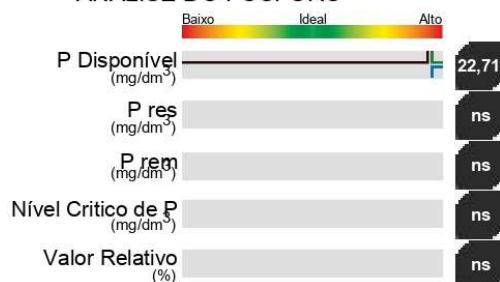


MATÉRIA ORGÂNICA

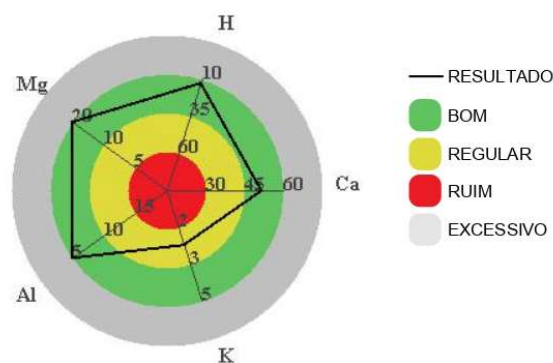


H+Al	(cmol/dm³)	2,00
t (CTC EFETIVO)	(cmol/dm³)	8,32
T (CTC POTENCIAL)	(cmol/dm³)	10,32
SB (SOMA DE BASES)	(cmol/dm³)	8,32
m (SATURAÇÃO POR AL)	(%)	0,00
V (SATURAÇÃO POR B)	(%)	80,62

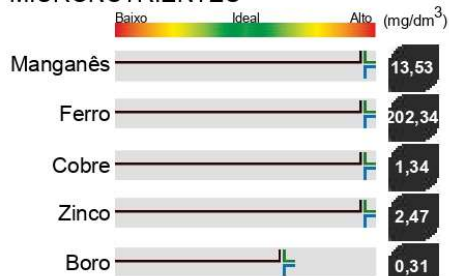
ANÁLISE DO FÓSFORO



FERTIGRAMA (%)



MICRONUTRIENTES



RESTITUIÇÃO DO EQUILÍBRIO DE BASES

(cmol/dm³)	MÍNIMO	MÁXIMO
Cálcio	-1,0	1,1
Magnésio	-2,0	-0,9
Potássio	0,1	0,3

ANÁLISE FÍSICA

Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Água Disp.
38,2	13,0	48,8	AD4

- Os resultados deste laudo representam apenas a amostra enviada ao laboratório.
- Indicações do laudo estão seguindo recomendações da EMBRAPA Cerrados.
- Cuidado ao coletar e manusear as amostras antes do envio ao laboratório para evitar contaminação.
- Consulte sempre um engenheiro agrônomo para melhor orientação de amostragens.
- Resultado de índice de fixação de fósforo são baseados na metodologia de P remanente.

Responsável Técnico:

Maicon Henrique Corrêa
 Eng. Agr. Maicon Henrique Corrêa

Fone: (63) 9 9933-2554

Qd 501 Sul, Av. T. Segurado Lt 11, Cnj 01, Sala 02, PL Diretor Sul Palmas, Tocantins CEP: 77.016.002 laboratorioperfilsolo@gmail.com

APÊNDICE C – Laudo Químico e Analítico do Solo Queimado

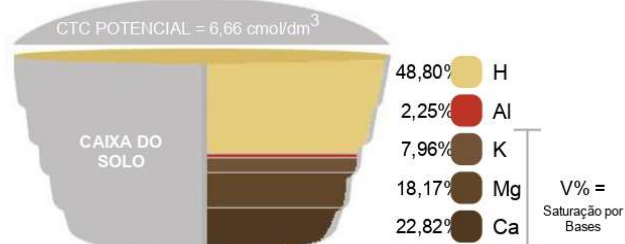
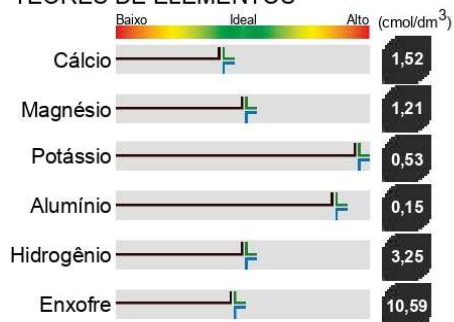
LAUDO QUÍMICO E ANALÍTICO DE SOLO



Solicitante: 1-PARTICULAR
 Proprietário: NATHANAEL JUSTINO SOARES BORGES
 Propriedade: FAZENDA SÃO JOSÉ
 Município: Monte do Carmo - TO
 Entrada: 22/10/2025

Cód. Laboratório: 6408/2025
 Identificação: Solo queimado
 Saída: 04/11/2025

TEORES DE ELEMENTOS



MATÉRIA ORGÂNICA



H+Al	(cmol/dm³)	3,40
t (CTC EFETIVO)	(cmol/dm³)	3,41
T (CTC POTENCIAL)	(cmol/dm³)	6,66
SB (SOMA DE BASES)	(cmol/dm³)	3,26
m (SATURAÇÃO POR AL)	(%)	4,40
V (SATURAÇÃO POR	(%)	48,95

RELAÇÕES NUTRICIONAIS

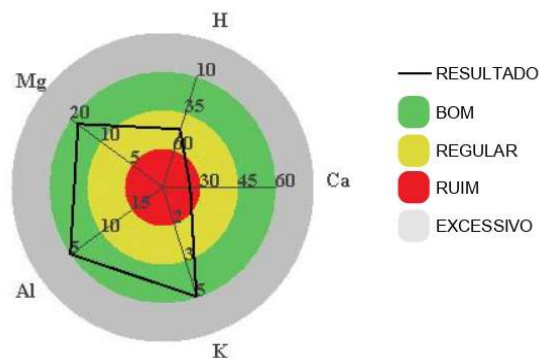
Ca/Mg 1,26 Ca/K 2,87 Mg/K 2,28

pH CaCl 4,80

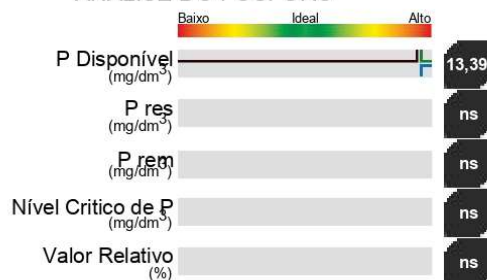
pH em Água (Reação do Solo)



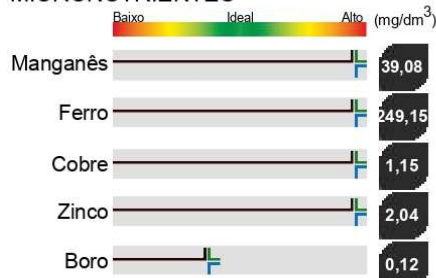
FERTIGRAMA (%)



ANÁLISE DO FÓSFORO



MICRONUTRIENTES



RESTITUIÇÃO DO EQUILÍBRIO DE BASES

(cmol/dm³)	MÍNIMO	MÁXIMO
Cálcio	1,1	2,5
Magnésio	-0,5	0,1
Potássio	-0,3	-0,2

ANÁLISE FÍSICA

Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Água Disp.
47,0	11,9	41,1	AD4

- Os resultados deste laudo representam apenas a amostra enviada ao laboratório.
- Indicações do laudo estão seguindo recomendações da EMBRAPA Cerrados.
- Cuidado ao coletar e manusear as amostras antes do envio ao laboratório para evitar contaminação.
- Consulte sempre um engenheiro agrônomo para melhor orientação de amostragens.
- Resultado de índice de fixação de fósforo são baseados na metodologia de P remanecente.

Responsável Técnico:

Eng. Agr. Maicon Henriques Corrêa

Fone: (63) 9 9933-2554

Qd 501 Sul, Av. T. Segurado Lt 11, Cnj 01, Sala 02, PL Diretor Sul Palmas, Tocantins CEP: 77.016.002 laboratorioperfilsolo@gmail.com

APÊNDICE D – Análise comparativa entre os solos coletados



Laboratório PerfilSolo
 Quadra 501 Sul - Av. Joaquim Teotônio Segurado,
 Lote 11, Conjunto 1, Sala 2 / Plano Diretor Sul
 CEP: 77.016-002 - Palmas-TO
 Telefone: (63) 9 9933-2554



Resultados de Análise de Solo

Solicitante:	1-PARTICULAR	Convênio:	1- PARTICULAR
Proprietário:	NATHANAEL JUSTINO SOARES BORGES	Data Entrada:	22/10/2025
Propriedade:	FAZENDA SÃO JOSÉ	Data Saída:	04/11/2025
Município:	Monte do Carmo - TO	Laudo Nº:	1473/2025
Matrícula:			

Resultado de Análise Química

Cod. Lab.	Descrição Amostra	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)	P(meh)	P(rem)	P(res)	S-SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	M.O.	C.O.
		mg dm ⁻³						cmol _c dm ⁻³					g dm ⁻³	
6407/2025	Solo nao queimado - 0 - 20	6,84	6,23	22,71	ns	ns	25,15	0,23	5,08	3,01	0,00	2,00	38,75	22,48
6408/2025	Solo queimado - 0 - 20	5,41	4,80	13,39	ns	ns	10,59	0,53	1,52	1,21	0,15	3,40	43,37	25,16
6409/2025	Solo nativo - 0 - 20	4,66	4,05	1,23	ns	ns	8,60	0,11	0,47	0,30	0,41	6,70	42,60	24,71

Resultados Complementares

Cod. Lab.	Descrição Amostra	SB	CTC	V	m	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
		cmol _c dm ⁻³		%			%		Relações		
6407/2025	Solo nao queimado - 0 - 20	8,32	10,32	80,62	0,00	49,22	29,17	2,23	1,69	22,09	13,09
6408/2025	Solo queimado - 0 - 20	3,26	6,66	48,95	4,40	22,82	18,17	7,96	1,26	2,87	2,28
6409/2025	Solo nativo - 0 - 20	0,88	7,58	11,61	31,78	6,20	3,96	1,45	1,57	4,27	2,73

Micronutrientes

Análise Textural

Cod. Lab.	Descrição Amostra	Análise Química					Análise Textural				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Argila	Silte	Água Disponível	Classe A
mg dm ⁻³					g Kg ⁻¹					mm/cm	
6407/2025	Solo não queimado - 0 - 20	0,31	1,34	202,34	13,53	2,47	382	488	130	1,05	AD4
6408/2025	Solo queimado - 0 - 20	0,12	1,15	249,15	39,08	2,04	470	411	119	1,03	AD4
6409/2025	Solo nativo - 0 - 20	0,10	1,34	232,54	20,54	2,13	328	537	135	1,04	AD4

Observações:

Resultados de análises realizadas em amostra de solo coletada pelo solicitante. As amostras de solo serão descartadas após 60 (sessenta) dias da emissão dos resultados.

Procure um Eng. Agrônomo para recomendações de correção e fertilização do solo.

Maison Lemieux Corré

Eng. Agr. Maicon Henriques Corrêa

Responsável Técnico
CREA-TO 2419024567