



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**CAYLANNA LIMA BRANDÃO**

**A RELAÇÃO ENTRE SOLO E FOGO NOS ECOSISTEMAS DO CERRADO  
MARANHENSE**

Imperatriz - MA

2025

**CAYLANNA LIMA BRANDÃO**

**A RELAÇÃO ENTRE SOLO E FOGO NOS ECOSISTEMAS DO CERRADO  
MARANHENSE<sup>1</sup>**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientadora:** Profa. Dra. Cristiane Matos da Silva

Imperatriz-MA

2025

---

<sup>1</sup> Artigo submetido a Revista Caderno Pedagógico – ISSN: 1983-0882

B817r

Brandão, Caylanna Lima

A relação entre solo e fogo nos ecossistemas do cerrado maranhense. / Caylanna Lima Brandão. – Imperatriz, MA, 2025.

21 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2025.

1. Indicadores de acidez do solo.; 2. Matéria orgânica do solo. 3. Queimadas.4. Fitofisionomias do Cerrado. 5. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 631.4:574.5

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Kacio Micael Oliveira Vidal CRB13/988**

**CAYLANNA LIMA BRANDÃO**

**A RELAÇÃO ENTRE SOLO E FOGO NOS ECOSISTEMAS DO CERRADO  
MARANHENSE<sup>1</sup>**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientadora:** Profa. Dra. Cristiane Matos da Silva

Data de aprovação: 16/01/2025

**BANCA EXAMINADORA**

*Cristiane matos da silva.*

---

Cristiane Matos da Silva (Orientadora)  
Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

ALINNE DA SILVA

Data: 23/01/2025 12:13:04-0300

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

---

Alinne da Silva (Membro)  
Doutora em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

JAQUELINE MACEDO GOMES

Data: 24/01/2025 07:37:39-0300

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

---

Jaqueline Macedo Gomes (Membro)  
Doutora em Ciências Florestais

---

<sup>1</sup> Artigo submetido a Revista Caderno Pedagógico – ISSN: 1983-0882

*Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre deram o melhor de si para que eu pudesse realizar meu sonho. Foram meu apoio incondicional, me ajudando e me segurando nos momentos mais difíceis. Amo vocês profundamente. Sem o amor e o apoio de vocês, eu não teria chegado até aqui.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar forças, resistência e fé durante toda essa jornada. Ele iluminou meus caminhos, guiou minhas escolhas e me deu a força necessária para não desistir, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Marizan e Gerson, minha maior inspiração e motivação. O apoio de vocês foi o que me impulsionou a seguir em frente e alcançar meus objetivos. Sou imensamente grata por tudo o que fizeram e continuam fazendo por mim.

Aos meus irmãos, Camila, Priscila e Jhoabe, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio nos momentos mais difíceis.

À minha sobrinha Luna Elise, que, mesmo sem entender muito bem, me alegra com seu sorriso e energia, tornando cada momento mais leve.

Aos meus amigos, tanto da graduação quanto de outras fases da vida. Cada um de vocês teve um papel muito importante nesta jornada, e sou imensamente grata a todos. Nos momentos difíceis, seja durante provas, trabalhos ou desafios do dia a dia, nós sempre nos apoiamos, nos ajudamos e compartilhamos forças.

À professora Cristiane Matos da Silva, minha orientadora, que me acolheu no Laboratório de Irrigação, Hidráulica e Hidrologia, me orientando com paciência e dedicação ao longo de toda a pesquisa.

À professora Alinne da Silva, que me inseriu em um projeto de pesquisa e me acompanhou ao longo da graduação. Sou muito grata pela paciência, pelos ensinamentos e por toda a orientação que me ajudaram a crescer tanto acadêmica quanto pessoalmente.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Descrição da área de estudo .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Coleta de amostras do solo .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Determinação dos atributos químicos do solo .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Análise estatística .....</b>	<b>7</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>11</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>12</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>13</b>

## A relação entre solo e fogo nos ecossistemas do cerrado maranhense

## The relationship between soil and fire in the ecosystems of the maranhense cerrado

## La relación entre el suelo y el fuego en los ecosistemas del cerrado maranhense

DOI: 10.54033/cadpedv21n-236

Originals received: 09/17/2024  
Acceptance for publication: 10/11/2024

### **Caylanna Lima Brandão**

Graduanda em Engenharia Florestal

Instituição de formação: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

Endereço: Imperatriz, Maranhão, Brasil

E-mail: caylannabrandao.20190003888@uemasul.edu.br

### **Alinne da Silva**

Doutora em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente

Instituição de formação: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

Endereço: Imperatriz, Maranhão, Brasil

E-mail: alinnesilva@uemasul.edu.br

### **Cristiane Matos da Silva**

Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental

Instituição de formação: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

Endereço: Imperatriz, Maranhão, Brasil

E-mail: cristiane.silva@uemasul.edu.br

### **Wilson Araújo da Silva**

Doutor em Agronomia, Ciência do Solo

Instituição de formação: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

Endereço: Imperatriz, Maranhão, Brasil

E-mail: wilson@uemasul.edu.br

### **Izadora Santos De Carvalho**

Doutoranda em Agroecologia

Instituição de formação: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: izadorasccs@gmail.com

### **Patrick Costa Silva**

Doutorando em Agroecologia

Instituição de formação: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: cpatrickflorestal@gmail.com

### **Léo Vieira Leonel**

Mestre em Agroecologia

Instituição de formação: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: agroflorestal.lvl@gmail.com

### **Swanni Tatiana Alvarado Romero**

Doutora em Science de la Vie

Instituição de formação: Universidad Nacional de Colombia (UNAL)

Endereço: Bogotá, Colômbia

E-mail: stavarador@unal.edu.co

### **Tiago Massi Ferraz**

Doutor em Produção Vegetal

Instituição de formação: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: ferraztm@gmail.com

### **Geslanny Oliveira Sousa**

Mestra em Agricultura e Ambiente

Instituição de formação: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

Endereço: Imperatriz, Maranhão, Brasil

E-mail: geslannyoliveira1@gmail.com

---

## **RESUMO**

O Cerrado brasileiro apresenta adaptações que permitem uma maior resiliência após a ocorrência de queimadas na vegetação, porém, a frequência e recorrência com que tem ocorrido promovem a perda de biodiversidade e degradação do solo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar como diferentes classes de frequência de fogo influenciaram nos indicadores de acidez e no teor de matéria orgânica do solo no Cerrado Maranhense e avaliar a resiliência do bioma Cerrado após a ocorrência temporal de queimadas, por meio de atributos químicos do solo. O experimento foi conduzido em duas fitofisionomias, cerrado aberto e cerrado denso, e quatro classes com diferentes históricos de fogo: 1-2 anos, 3-4 anos, 6-7 anos e mais de 10 anos desde a última ocorrência de fogo. Foram coletadas amostras deformadas de terra, com auxílio de um trado holandês na profundidade entre 0-20 cm. Foram determinados os valores do potencial

hidrogeniônico, matéria orgânica, alumínio trocável e acidez potencial. Os resultados apontaram que ao longo de um período de até 10 anos sem ocorrência de fogo, os atributos químicos do solo no cerrado aberto e no cerrado denso permaneceram estáveis. Não foram observadas alterações significativas nos valores de pH, teores de matéria orgânica do solo e acidez potencial.

**Palavras-chave:** Indicadores de acidez do solo. Matéria orgânica do solo. Queimadas. Fitofisionomias do Cerrado.

### ABSTRACT

The Brazilian Cerrado exhibits adaptations that allow greater resilience following vegetation wildfires; however, the frequency and recurrence of these fires have contributed to biodiversity loss and soil degradation. This study aimed to evaluate how different classes of fire frequency influence soil acidity indicators and organic matter content in the Maranhense Cerrado, assessing the resilience of the Cerrado biome after temporal occurrences of fires through the analysis of chemical attributes of the soil. The experiment was conducted in two vegetation type, open savanna and woodland savanna, across four fire frequency classes: 1-2, 3-4, 6-7, and more than 10 years without fire occurrence. Disturbed soil samples were collected using a Dutch auger at a depth of 0-20 cm. The values of pH, organic matter, exchangeable aluminum, and potential acidity were determined. The results indicated that over a period of up to 10 years without fire occurrence, the chemical attributes of the soil in both open savanna and woodland savanna remained stable. No significant changes were observed in pH values, soil organic matter content, and potential acidity.

**Keywords:** Soil acidity indicators. Soil organic matter. Wildfires. Cerrado physiognomies.

### RESUMEN

El Cerrado brasileño presenta adaptaciones que permiten una mayor resiliencia tras la ocurrencia de quemas en la vegetación; sin embargo, la frecuencia y recurrencia con que han ocurrido promueven la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo. El objetivo de esta investigación fue evaluar cómo diferentes clases de frecuencia de fuego influyeron en los indicadores de acidez y en el contenido de materia orgánica del suelo en el Cerrado Maranhense, así como evaluar la resiliencia del bioma Cerrado tras la ocurrencia temporal de quemas, mediante atributos químicos del suelo. El experimento se llevó a cabo en dos fitofisionomías, cerrado abierto y cerrado denso, y cuatro clases con diferentes históricos de fuego: 1-2 años, 3-4 años, 6-7 años y más de 10 años desde la última ocurrencia de fuego. Se recogieron muestras de suelo deformadas, utilizando un trado holandés a una profundidad entre 0-20 cm. Se determinaron los valores del potencial hidrogeniônico, materia orgánica, aluminio intercambiable y acidez potencial. Los resultados indicaron que, a lo largo de un período de hasta 10 años sin ocurrencia de fuego, los atributos químicos del suelo en el

cerrado abierto y en el cerrado denso permanecieron estables. No se observaron alteraciones significativas en los valores de pH, contenidos de materia orgánica del suelo y acidez potencial.

**Palabras clave:** Indicadores de acidez del suelo. Materia orgánica del suelo. Incendios forestales. Fitofisionomías del Cerrado.

## 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado, com uma extensão de aproximadamente 2.036.448 milhões de km<sup>2</sup>, é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de 22% do território nacional (Silva *et al.*, 2017). É considerado a savana tropical mais diversa do mundo, abrigando cerca de 12 mil espécies de plantas, 199 espécies de mamíferos, 267 espécies de répteis, 209 de anfíbios, 850 de aves e 1.300 espécies de peixes. Além disso, o bioma é refúgio para 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins dos trópicos. Essa diversidade está distribuída entre diferentes habitats e fitofisionomias, o que resulta em uma notável alternância de espécies (Furlani *et al.*, 2019).

O Cerrado brasileiro é marcado por duas estações climáticas bem definidas, uma seca e outra chuvosa (Malheiros, 2016) e pela presença de queimadas periódicas (Fidelis; Pivello, 2011). Embora o fogo seja utilizado como uma ferramenta de manejo florestal (Mittal *et al.*, 2019) e apesar do Cerrado brasileiro apresentar adaptações que permitem uma maior resiliência após a ocorrência de fogo, a frequência e recorrência com que acontecem atualmente conduzem à intensificação de problemas como perda de biodiversidade e degradação do solo (Copertino *et al.*, 2019).

Eliminar o fogo dos sistemas savânicos não pode ser visto como uma solução (Pivello, 2016). As plantas reagem de maneira distinta em relação à queima, podendo ser classificadas como dependentes, resistentes ou, ainda, aquelas que evitam o fogo (Heringer; Jacques, 2001). Diversas dessas características adaptativas são encontradas em espécies vegetais e associadas à presença de fogo em ecossistemas savânicos. As plantas podem ser cascas espessas e rebrota de raízes de plantas do Cerrado, que não ocorre ou

apresenta-se menos abundantes em ambientes onde o fogo não é presente (Simon *et al.*, 2009). O fogo também é importante para a quebra de dormência de sementes após queima (Salomão *et al.*, 2019).

Contudo, o regime de fogo no Cerrado vem se alterando ao longo do tempo, por meio de ações antrópicas que alteram a frequência de queima, diminuindo o intervalo que o fogo ocorre na mesma área (Pivello, 2016). Essas modificações também podem ocorrer por causas naturais, devido às mudanças climáticas, como, por exemplo, a ocorrência de eventos extremos de seca em intervalos de tempo cada vez menores (Silva, 2018).

Os atributos químicos do solo são afetados pela quantidade e intensidade da ocorrência do fogo (Redin *et al.*, 2011). A queima reduz a população microbiana, aumenta temporariamente a disponibilidade de nutrientes, pois as cinzas possuem elevada concentração desses nutrientes, altera o valor de pH e oxidação da matéria orgânica (Redin *et al.*, 2011; Santos; Bahia; Teixeira, 1992). A presença de incêndios em ecossistemas estáveis altera o ciclo de carbono e resulta em maiores perdas do que ganhos de carbono, contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, o que prejudica a qualidade do solo ao longo do tempo (Redin *et al.*, 2011).

Diante desses fatores, uma forma de preservar o bioma é a criação de Unidades de Conservação (UC). As UC maranhenses correspondem a 27% do território estadual (aproximadamente 92 mil km<sup>2</sup>). Entre estas, as UC de uso sustentável, compostas por Áreas de Proteção Ambiental (APA) e Reservas Extrativistas (RESEX), ocupam cerca de 85,8% deste percentual, enquanto as UC com características de proteção integral, representadas por Parques e Reserva Biológica (REBIO), representam 14,2% (Masullo; Gurgel; Laques, 2018).

Embora existam pesquisas publicadas na literatura científica sobre o efeito do fogo nas propriedades químicas do solo (Flor, 2022; Martins; Silva, 2022), os resultados do efeito do fogo no solo do bioma Cerrado Maranhense são escassos. Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar como diferentes classes de histórico de fogo influenciam nos atributos químicos do solo, sob diferentes fitofisionomias no Cerrado Maranhense e avaliar a resiliência

do bioma Cerrado após a ocorrência temporal de queimadas, por meio de atributos químicos do solo. Este objetivo foi baseado na hipótese que os eventos de queimadas refletem nas alterações dos atributos químicos do solo do bioma Cerrado Maranhense, e que mesmo após dez anos sem ocorrência do fogo os teores de matéria orgânica não aumentaram.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido em áreas selecionadas no bioma Cerrado, no estado do Maranhão. Segundo a classificação de Köppen-Gleiger, a região é caracterizada por um clima tropical úmido (Aw), com duas estações bem definidas: a seca, entre maio e outubro, e a chuvosa, entre novembro e abril. A temperatura média anual é de 26,1°C, com mínimas de 25,2°C em janeiro a 27,8°C em setembro e com máximas de 36°C em julho e agosto. Os índices totais pluviométricos anuais ficam entre 1.250 e 1.500 mm. O relevo predominante é o plano-ondulado, com morros de altitude de 120 m a 604 m (Lima *et al.*, 2007). A ordem do solo nas áreas de coletas foi classificada como Latossolo (Santos *et al.*, 2018).

Foram avaliadas oito áreas, com quatro repetições cada, conforme a classe de vegetação e o tempo transcorrido desde a última queimada, totalizando 32 parcelas. As classes de vegetação foram: Cerrado Aberto e Cerrado Denso. O período transcorrido desde a última queimada foi de 1-2 anos, 3-4 anos, 6-7 anos e mais de 10 anos. O histórico do regime de fogo e a localização das áreas foram baseados no estudo da área no período de 39 anos (1984-2022), por meio de imagens de satélite e técnicas de georreferenciamento. A base de dados para o período de 1990-2017 foi obtida em <https://zenodo.org/records/10289082> (Carvalho; Alvarado; Ferraz, 2023), a partir do estudo realizado por Carvalho *et al.* (2023).

## 2.2 COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO

Para a avaliação dos atributos químicos do solo relacionados à acidez e ao teor de matéria orgânica, foram coletadas amostras deformadas de terra, com auxílio de um trado holandês, na profundidade entre 0-20 cm. Em cada área, foram coletadas quatro amostras compostas de terra, distantes 1 km entre si. Para a obtenção das amostras compostas, foram coletadas 10 amostras simples, distantes 50 m entre si. A terra coletada foi seca ao ar e submetida à peneira de 2 mm, para compor a terra fina seca ao ar.

## 2.3 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Foram avaliados os seguintes atributos químicos na terra fina seca ao ar: potencial hidrogeniônico (pH), teor de matéria orgânica no solo (MOS), acidez potencial (H + Al) e alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>), conforme metodologia descrita em Teixeira *et al.* (2017). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Solos/Nutrição Animal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.

## 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

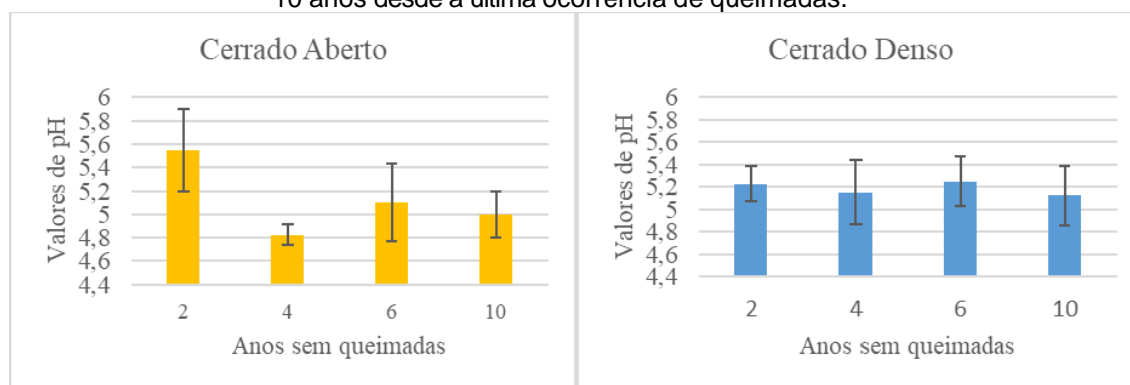
Para garantir a análise de premissas de variância (ANOVA), os resultados foram primeiramente verificados quanto à normalidade e homocedasticidade pelos testes de Shapiro Wilk e Bartlett a 5% de probabilidade, respectivamente, com o *software* R versão 3.5.2. Após a análise de variância, os parâmetros que apresentaram diferenças estatisticamente significativas a 5% de probabilidade foram submetidos ao teste de Scott-Knott, para comparação de médias.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve alteração nos valores de pH do solo, pois os resultados observados foram semelhantes após 2, 4, 6 e 10 anos sem ocorrência de fogo

em ambas as classes de vegetação, Cerrado Aberto e Cerrado Denso (Figura 1).

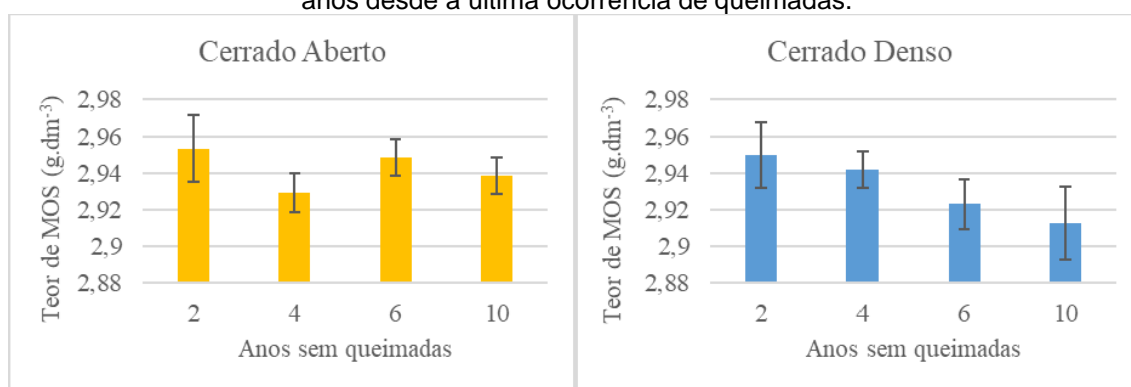
Figura 1. Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH) em amostras de solo coletadas em área de Cerrado Aberto e Cerrado Denso com os seguintes históricos de fogo: 2, 4, 6 e 10 anos desde a última ocorrência de queimadas.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Os teores de MOS do solo não apresentaram diferenças significativas entre os anos sem a ocorrência de queimadas, tanto na área de Cerrado Aberto como na de Cerrado Denso. Os valores observados variaram entre 2,85 a 2,95 g.dm<sup>-3</sup> (Figura 2).

Figura 2. Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS) em amostras de solo coletadas em área de Cerrado Aberto e Cerrado Denso com os seguintes históricos de fogo: 2, 4, 6 e 10 anos desde a última ocorrência de queimadas.

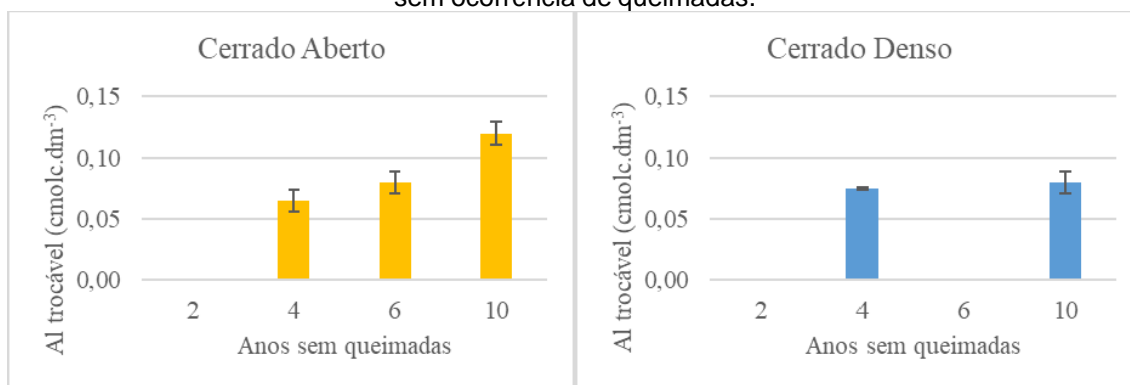


Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Os teores de Al<sup>3+</sup> trocável no solo apresentaram diferenças significativas entre os períodos sem queimadas. Os valores médios de Al<sup>3+</sup> no solo coletado na área de Cerrado Aberto em que houve registro de queimada nos últimos 2 anos foi 0, e aumentou ao longo do tempo, não ultrapassando a média de 0,1

$\text{cmolc.dm}^{-3}$ . Na área de Cerrado Denso, foi verificado valores inferiores a  $0,1 \text{ cmolc.dm}^{-3}$  aos 4 e 10 anos sem ocorrência de queimadas (Figura 3).

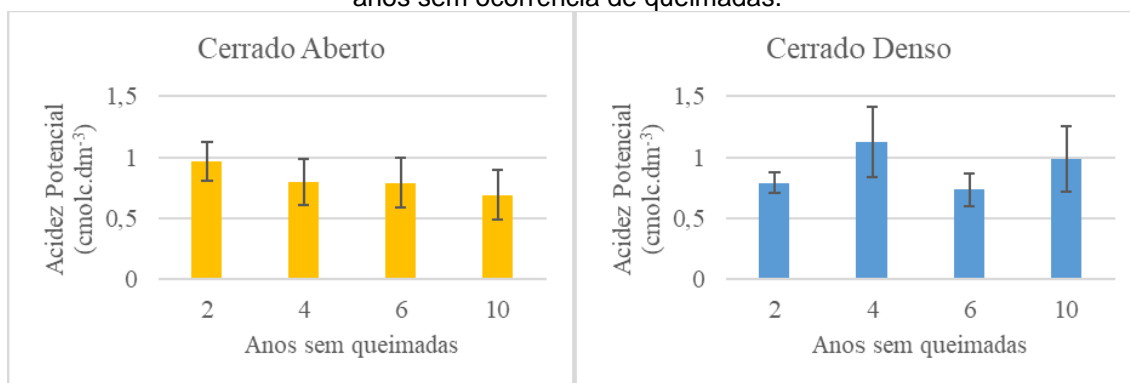
Figura 3. Valores médios de alumínio trocável (Al) em amostras de solo coletadas em área de Cerrado Aberto e Cerrado Denso com os seguintes históricos de queimadas: 2, 4, 6 e 10 anos sem ocorrência de queimadas.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Os valores médios de acidez potencial não apresentaram diferenças significativas entre os anos sem a ocorrência de queimadas tanto na área de Cerrado Aberto como na de Cerrado Denso (Figura 4).

Figura 4. Valores médios de acidez potencial (H + Al) em amostras de solo coletadas em área de Cerrado Aberto e Cerrado Denso com os seguintes históricos de queimadas: 2, 4, 6 e 10 anos sem ocorrência de queimadas.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Conforme os resultados observados, os eventos de queimadas não alteraram o teor de MOS, H + Al e pH no solo. Os solos do Cerrado são, em geral, muito intemperizados, com baixos teores de elementos essenciais, com alta concentração de  $\text{Al}^{3+}$  (Haridasan, 2008; (Oliveira *et al.*, 2005). Geralmente, os solos do Cerrado apresentam valores de pH entre 4 e 5 (Chaveiro; Castilho,

2007). Essa acidez está diretamente relacionada aos processos naturais de acidificação do solo.

Os solos do Cerrado são intensamente intemperizados devido às condições climáticas tropicais, caracterizadas por períodos de secas e altas temperaturas, seguidos de precipitações pluviométrica. Esse processo resulta na lixiviação de nutrientes como cálcio, magnésio e potássio (Lopes *et al.*, 2017). Um dos principais desafios para a agricultura do Cerrado é a alta concentração de alumínio trocável nos solos. Em condições de acidez elevada, como é comum nos solos intemperizados do Cerrado, o alumínio pode se tornar solúvel e tóxico para as plantas, prejudicando seu desenvolvimento e reduzindo a produtividade das culturas (Cunha *et al.*, 2019). Estudos indicam que a presença de alumínio tóxico está diretamente relacionada ao pH ácido dos solos do Cerrado e pode ser um limitante significativo para o crescimento radicular das plantas (Santos *et al.*, 2020).

O  $Al^{3+}$  é amplamente encontrado nos solos brasileiros, pois é um dos materiais encontrados nas rochas intemperizados e é um elemento tóxico para a maioria das plantas cultivadas (Oliveira; França, 2018). Entretanto, essa situação não se aplica às plantas nativas do bioma Cerrado, pois as espécies são tolerantes aos solos ácidos e à presença de  $Al^{3+}$  (Harisadan, 2008). As plantas do Cerrado desenvolveram diversas adaptações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas para se desenvolver em solos com elevados teores de alumínio trocável (Silva *et al.*, 2018; Souza *et al.* (2020)). Os autores relataram que algumas espécies apresentam raízes com maior produção de exsudatos orgânicos ácidos, como o ácido cítrico e o ácido málico, que auxiliam na solubilização de alumínio e sua posterior complexação, tornando-o menos disponível e menos tóxico para as células vegetais.

Os eventos de queimadas no Cerrado promovem uma variedade de impactos no solo, podendo ser positivos ou negativos, dependendo da frequência, intensidade, época, ecossistema e das características de cada planta (Costa; Rodrigues, 2015). Os resultados encontrados na pesquisa não apresentaram alterações nos indicadores de acidez e no teor de matéria do solo em relação a ocorrência da frequência do fogo.

Alguns resultados de pesquisa têm demonstrado que apesar da intensidade do fogo, muitos atributos químicos do solo, como pH, teores de nutrientes como fósforo e potássio, e a capacidade de troca catiônica (CTC), não sofrem alterações significativas em longo prazo (Pivello *et al.*, 2006; Rossatto *et al.*, 2018). Este estudo sugere que o fogo no cerrado, ao contrário do que muitas vezes se pensa, pode não comprometer a fertilidade do solo de forma duradoura. A rápida recuperação dos ciclos biogeoquímicos no cerrado após a passagem do fogo foi verificada pela atividade microbiana e a decomposição da serapilheira são estimuladas após a ocorrência de fogo, o que contribui para a liberação e a disponibilização de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Miranda *et al.*, 2010; Cunha *et al.*, 2020).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo de um período de até 10 anos sem ocorrência de fogo, os atributos químicos do solo no Cerrado Aberto e no Cerrado Denso permaneceram estáveis. Não foram observadas alterações significativas nos valores de pH, teores de matéria orgânica do solo (MOS) e acidez potencial.

Esses resultados corroboram com estudos anteriores que sugerem uma resiliência dos solos do Cerrado aos efeitos do fogo no longo prazo. A estabilidade dos atributos químicos do solo pode ser atribuída à adaptação das plantas nativas do Cerrado às condições edáficas características, incluindo a alta acidez e a presença de alumínio trocável. Essas plantas desenvolveram mecanismos bioquímicos e morfológicos que permitem a sobrevivência e o crescimento mesmo em solos com elevada concentração desse elemento tóxico.

Portanto, apesar das potenciais alterações imediatas na estrutura da vegetação e na ciclagem de nutrientes associadas aos eventos de fogo, os solos do Cerrado mostraram-se resilientes ao longo do tempo. Este estudo contribui para o entendimento dos processos dos solos do Cerrado frente aos distúrbios naturais.

Apesar dos resultados relevantes sobre a resiliência dos solos do Cerrado, a pesquisa apresentou algumas limitações, já que se concentrou em

apenas duas fitofisionomias e quatro classes com diferentes históricos de fogo, o que pode não refletir toda a biodiversidade do bioma. Nesse sentido, recomenda-se que estudos futuros considerem um conjunto maior de observações e incluam um conjunto mais diverso de indicadores de qualidade do solo, além de explorar diferentes intensidades de frequências de fogo.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL. À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (PDPG-FAP N°. 18/2020), a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA (N°. CACD 02989/20; N°. BD-01136/20), ao Programa de pós-graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), e ao Projeto MAP-Fire Maranhão (FAPESP N° 2020/16457-3).

## REFERÊNCIAS

- CARVALHO, I. S. de. *et al.* How does the fire regime change after creating a protected area in the Brazilian Cerrado?. **Journal for Nature Conservation**, vol. 71, p. 126318, 2023.
- CARVALHO, I. S. de.; ALVARADO, S. T.; FERRAZ, T. M. **Burned Area Chapada das Mesas National Park**. (v.01) [Data set]. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.10289082. 2023.
- CHAVEIRO, E. F.; CASTILHO, D. Cerrado: patrimônio genético, cultural e simbólico. In: **Revista Mirante**, vol. 2, n.1. Pires do Rio - GO: UEG, 2007.
- COPERTINO, M. *et al.* Desmatamento, fogo e clima estão intimamente conectados na Amazônia. **Cienc. Cult.** v. 71 n. 4, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/231766602019000400002>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de Cerrado. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, vol. 30, p. 149-165, 2015.
- CUNHA, T. J. F. *et al.* Toxicidade de alumínio em solos ácidos do Cerrado: mecanismos e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e01434, 2019.
- CUNHA, T. J. F., *et al.* Short-term effects of experimental fires on soil nutrients and vegetation structure in a Brazilian savanna (cerrado). **Fire Ecology**, v. 16, n. 4, 2020.
- FIDELIS, A.; PIVELLO, V. R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no cerrado e campos sulinos? **Biodiversidade Brasileira**. Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação. São Paulo. p. 12-25, 2011.
- FLOR, M. P. S. Consequências das derrubadas e queimadas de vegetação: práticas utilizadas pelos agricultores da Transassuruni, Altamira Pará. **Revista Alterjor**. vol. 25, n. 1, 2022.
- FURLANI, B. *et al.* O Cerrado Está Morrendo. **Revista Darcy**. Unb, 2019.
- HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Braz. J. Plant Physiol.**, v. 20, n. 3, p. 183-195, 2008.
- HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A. Adaptação das plantas ao fogo: enfoque na transição Floresta – campo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1085-1090, 2001.

LIMA, L. P. *et al.* Plano Operativo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Parque Nacional da Chapada das Mesas. **Ministério do Meio Ambiente-MMA**. p. 18, 2007.

LOPES, A. S. *et al.* Características e dinâmica de nutrientes nos solos do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0160247, 2017.

MALHEIROS, R. A influência da sazonalidade na dinâmica da vida no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Climatologia**. Goiás. v. 19. p. 113-128, 2016.

MARTINS, M. V. E.; SILVA, M. L. N. Physical-structural properties of soil in an area under degradation process near the margins of the Balsas-MA river. **Research, Society and Development**, [S. l.] v. 11, n. 1, p. e39711125106, 2022.

MASULLO, Y. A. G.; GURGEL, H. C.; LAQUES, A. E. O Passado e o Presente das Unidades de Conservação do Maranhão, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 19, p. 250–268, 2018.

MIRANDA, H. S. *et al.* The effects of fire on soil fertility and the availability of nutrients in Brazilian cerrado. In: *Fire Ecology in Brazilian Cerrado*. **Springer, Dordrecht**, 2010.

MITTAL, D. *et al.* Fire in pine-grown regions of Himalayas depletes cultivable plant growthpromoting beneficial microbes in the soil. **Applied Soil Ecology**. [s. l.], v. 139, p. 117124, 2019.

OLIVEIRA, H.; FRANÇA, F. Relação entre espécies de vochysiaceae e a presença de alumínio no solo. **Anais dos Seminários de Iniciação Científica**. 10.13102/semic.v0i20.3059, 2018.

OLIVEIRA, I. P. de. *et al.* Queimadas e suas consequências na Região Centro Oeste. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás, ISSN 1808-8597, v.1, n. 2, p. 88-103, 2005.

PIVELLO, V.R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: **Past and Present**. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24-39, 2016.

PIVELLO, V. R. *et al.* Alterações na estrutura da vegetação e na fertilidade do solo após fogo em cerrados sensu stricto no Parque Nacional da Serra do Cipó, MG. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 4, p. 1033-1043, 2006.

REDIN, M. *et al.* Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos dosolo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

ROSSATTO, D. R. *et al.* Fire effects on soil organic matter dynamics and microbiological properties in Brazilian savannas: A meta-analysis. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 262, p. 1-10, 2018.

SALOMÃO, A. *et al.* Estudo da influência das queimadas nas propriedades química e banco de sementes dos solos do Vale do Mucuri. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 12, 2019. Universidade Federal de Itajubá, Brasil. Disponível em: < <https://www.redalyc.org/articul>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. Queimadas e erosão do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 62-68, 1992. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/313209909\\_Queimadas\\_e\\_Erosao\\_do\\_Solo](https://www.researchgate.net/publication/313209909_Queimadas_e_Erosao_do_Solo). Acesso em: 15 jul. 2023.

SANTOS, H. G. *et al.* Sistema brasileiro de classificação de solos 5.ed., rev. e ampl. - Brasília, DF: **Embrapa**, p. 356, 2018.

SANTOS, G. A. *et al.* Relação alumínio/acidez em solos do Cerrado e seus efeitos sobre as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190231, 2020.

SILVA, E. M. *et al.* Mechanisms of aluminum tolerance in Cerrado plants: a review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 145, p. 99-113, 2018.

SILVA, E. P. D. *et al.* Characterization of chemical and mineral composition of marolo (*Annona crassiflora* Mart) during physiological development. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 13-18, 2017.

SILVA, L. G. da. **Comportamento e efeito do fogo sobre os ecossistemas do bioma cerrado**: modelos baseados em processos. 2018. 112 f. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SIMON, M. F. *et al.* Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by insitu evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.106, n. 48, p. 20359-20364, 2009.

SOUZA, J. C. *et al.* Biochemical responses of Cerrado plants to aluminum toxicity. **Journal of Plant Physiology**, v. 231, 153276, 2020.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: **Embrapa**, p. 574, 2017.