



FACULDADE UNB PLANALTINA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FREDERICO PIONTKOWSKI DE SOUZA ALMEIDA

**EFEITO DO FOGO PRESCRITO NA PERMEABILIDADE DO SOLO DE UMA
SAVANA NEOTROPICAL**

BRASÍLIA-DF

2023

Frederico Piontkowski de Souza Almeida

Dissertação de Mestrado

**EFEITO DO FOGO PRESCRITO NA PERMEABILIDADE DO SOLO DE UMA
SAVANA NEOTROPICAL**

Dissertação apresentada como requisito de obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais pelo programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília (UnB).

Área de concentração: Estrutura, Dinâmica e Conservação Ambiental

Linha de Pesquisa: Manejo e Conservação dos Recursos Naturais

Orientador: Dr. Luiz Felipe Salemi

BRASÍLIA-DF

2023

Frederico Piontkowski de Souza Almeida

Dissertação de Mestrado

**EFEITO DO FOGO PRESCRITO NA PERMEABILIDADE DO SOLO DE UMA
SAVANA NEOTROPICAL**

Aprovada em: ___/___/_____

Comitê examinador:

Luiz Felipe Salemi – Universidade de Brasília
(orientador)

Luiz Fabrício Zara – Universidade de Brasília
(examinador interno)

Gleicon Queiroz de Brito – Universidade Estadual de Goiás
(examinador externo)

BRASÍLIA-DF

2023

AA447e Almeida, Frederico Piontkowski de Souza
Efeito do fogo prescrito na permeabilidade do solo de
uma savana neotropical / Frederico Piontkowski de Souza
Almeida; orientador Luiz Felipe Salemi. -- Brasília, 2023.
40 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) --
Universidade de Brasília, 2023.

1. Queimadas prescritas. 2. Capacidade de Infiltração. 3.
Hidrorrepelência. 4. Resistência à Penetração. 5. Cerrado. I.
Salemi, Luiz Felipe, orient. II. Título.

Dedico esse trabalho, primeiramente, a Deus. Dedico esse trabalho à minha família. Dedico esse trabalho a todos os gestores ambientais que estão buscando um mundo cada vez mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado sabedoria, força e inteligência para trilhar esse caminho árduo e empolgante. E também agradeço por ter me mostrado o caminho por qual eu deveria seguir.

Agradeço também à minha família, em especial à minha mãe Joana Rosa Piontkowski de Souza, por me darem todas as condições e apoio para trilhar essa jornada e por propiciarem que eu chegasse a um dos meus sonhos.

Agradeço ao meu professor orientador Dr. Luiz Felipe Salemi por toda sua sabedoria e instrução no meu processo de aprendizagem, que com certeza foi alavancado por seus sábios conselhos de como me tornar cada vez melhor como acadêmico e profissional. Que dispôs de seu tempo e conhecimento em prol do meu crescimento até mesmo como ser humano.

Agradeço à Diana Lisbôa Dias por ter estado comigo nos meus momentos mais difíceis e angustiantes que toda essa jornada me trouxe, diante das incertezas que o futuro me trazia. E também por ter me incentivado dia após dia a continuar e seguir em frente.

Agradeço à Universidade de Brasília por toda a estrutura acadêmica e profissional disponíveis para a realização do meu trabalho.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que possibilitou a financiamento realização do meu trabalho (código de financiamento – 001).

Agradeço ao NEPAL/UnB pela estrutura e por estar sempre aberto para que eu pudesse tirar minhas dúvidas.

*“Meu caminho é cada manhã
Não procure saber onde vou
Meu destino não é de ninguém
E eu não deixo os meus passos no chão*

*Se você não entende, não vê
Se não me vê, não entende
Não procure saber onde estou
Se o meu jeito te surpreende*

*Se o meu corpo virasse Sol
Minha mente virasse Sol
Mas só chove, chove
Chove, chove*

*Se um dia eu pudesse ver
Meu passado inteiro
E fizesse parar de chover
Nos primeiros erros, oh*

*Meu corpo viraria Sol
Minha mente viraria
Mas só chove, chove
Chove, chove”*

Kiko Zambianchi

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo	21
Figura 2 – Área perturbada pela queimada prescrita ao lado de uma área natural	22
Figura 3 – Infiltrômetro de MiniDisk	23
Figura 4 – Conta-gotas	23
Figura 5 – Penetrômetro de impacto Stolf	24
Figura 6 – Desenho amostral	25
Figura 7 – Parcela amostral	25
Figura 8 – Diagrama de caixa da capacidade de infiltração nas áreas avaliadas	27
Figura 9 – Gráfico de barras invertido com \pm desvio padrão dos impactos de resistência à penetração nas áreas avaliadas	28
Figura 10 – Diagrama de caixa da hidrorrepelência nas áreas avaliadas	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de tipos de fogo	14
Tabela 2 - Média da capacidade de infiltração encontrada em diferentes estudos sob os tratamentos queimado e não queimado	30
Tabela 3 - Média e desvio padrão da hidrorrepelência dos solos encontrada em diferentes estudos sob os tratamentos não queimado e queimado	32

SUMÁRIO

RESUMO	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. DESENVOLVIMENTO.....	12
2.1. Revisão Bibliográfica	12
2.1.1. Fogo	12
2.1.2. Conceito de Queimada Controlada/Prescrita.....	15
2.1.3. Incêndios Florestais	15
2.1.4. Solos	16
2.1.4.1. Capacidade de Infiltração.....	17
2.1.4.2. Hidrorrepelência.....	18
2.1.4.3. Métodos de aferição de hidrorrepelência	18
2.1.4.4. Resistência à penetração.....	19
2.1.5. Relação do solo com incêndios florestais e queimadas prescritas.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. Área de Estudo.....	21
3.2. Equipamentos de Campo	22
3.3. Delineamento Amostral	24
3.4. Análises Estatísticas.....	26
4. RESULTADOS	26
4.1. Infiltração.....	26
4.2. Resistência à penetração do solo	27
4.3. Repelência da água no solo.....	28
5. DISCUSSÃO	29
6. CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	33

1 - Efeito do fogo prescrito na permeabilidade do solo de uma savana neotropical

RESUMO

Queimadas prescritas são maneiras de manejar a quantidade de material combustível em ecossistemas. No entanto, o efeito de tal prática sobre as propriedades físicas do solo ainda precisa ser melhor compreendido, especialmente na savana neotropical brasileira. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da queimada prescrita sobre algumas variáveis físicas do solo de uma savana neotropical. Para tanto, amostrou-se hidrorrepelência, capacidade de infiltração e resistência do solo à penetração em parcelas situadas em regiões contíguas sujeitas e não sujeitas ao manejo do fogo prescrito. Observou-se que não houve diferenças significativas da área que sofreu o manejo do fogo prescrito em relação à área que não sofreu o manejo do fogo prescrito sobre nenhuma das variáveis. Portanto, além dos efeitos claros no tocante a inflamabilidade do ecossistema, demonstra-se que a queimada prescrita não altera significativamente propriedades físicas do solo. Isso demonstra um aspecto de manutenção do solo mesmo quando submetido a queimada prescrita.

Palavras-chave: Capacidade de Infiltração; Queimadas Prescritas; Cerrado; Hidrorrepelência; Resistência à penetração

1 – Effect of prescribed fire on soil permeability in a neotropical savanna

ABSTRACT

Prescribed fire is a manner to decrease the amount of fuel which, otherwise, would be subjected to wild fires. However, the effect of such practice on soil physical properties still needs attention. The objective of the present study was to assess the effect of prescribed fire on some physical variables of a soil under the Brazilian Tropical Savanna, a fire-prone ecosystem. To do so, we sampled water repellency, infiltration capacity, and soil resistance to penetration in burned (prescribed fire) and unburned adjacent plots. There were no significant differences between burned and unburned plots for any of the variables. Therefore, in addition to the clear effects with respect to ecosystem flammability, here we demonstrated that prescribed fire does not significantly alter soil physical properties in the Brazilian Tropical Savanna. This demonstrates the soil physical properties maintenance under low intensity fire regimes.

Keywords: Fire; Prescribed Fires; Cerrado; Hydrorepellency; Penetration Resistance

1. INTRODUÇÃO

O fogo é um filtro ambiental evolutivo que possui função importante dentro dos ecossistemas de savana neotropical (TEIXEIRA et al., 2021). As queimadas alteram a diversidade funcional e os fluxos entre a atmosfera e a biosfera (TEIXEIRA et al., 2021), diminuem a carga de combustível (biomassa vegetal) (ARCHIBALD et al., 2013), favorecem o aumento da biomassa arbustiva através do surgimento de brotos basais em plantas lenhosas que ocorrem em ecossistemas propensos ao fogo (LOPES et al., 2009; LE STRADIC, 2021; SIMPSON et al., 2021), estimulam a maior produção de raízes absorptivas do que raízes de transporte (PAUSAS et al., 2018), mas também provocam perdas de nutrientes, destruição total do habitat, dificuldade de fuga de animais para locais não queimados e perda de biodiversidade (ALVES; SILVA, 2011; DURIGAN; RATTER, 2016).

Dada a sua relevância, as queimadas podem ocorrer naturalmente ou por meio de ações antrópicas (incêndios florestais e queimadas prescritas). A forma natural se dá através da ação de raios como fontes de ignição (PIVELLO, 2008) combinados com o aumento de biomassa, altas temperaturas e baixa umidade na região (TEIXEIRA et al., 2021), que podem provocar fogos de baixa intensidade ou até mesmo incêndios florestais (PIVELLO, 2008). Os incêndios florestais também podem ocorrer através de ações criminosas que possuem finalidade de conversão de áreas naturais em áreas agrícolas (KLINK; MACHADO, 2005; DUTRA; SOUZA, 2017) ou através da perda de controle acidental quando pecuaristas utilizam o fogo para promover a rebrota da forragem para aumentar a palatabilidade para o gado (PIVELLO; NORTON, 1996). Por último, as queimadas prescritas são queimadas feitas de forma controlada e são executadas por órgãos ambientais competentes, a fim de se evitar ou diminuir possíveis incêndios florestais ao mesmo tempo que favorece a manutenção do ecossistema (ALVES; SILVA, 2011; PIVELLO et al., 2019; BERLINCK; LIMA, 2021). As queimadas prescritas possuem intensidade e severidade menores, além de devastarem menor área do ecossistema em relação aos incêndios florestais (PIVELLO, 2008).

Além dos impactos sobre a biodiversidade, os incêndios florestais também afetam negativamente o funcionamento do sistema hidrológico, desregulando propriedades do solo como capacidade de infiltração, porosidade, condutividade hidráulica, capacidade de armazenamento e retenção de água (NEARY et al., 1999), favorecem a instalação de processos erosivos (SPERA et al., 2020), favorecem o aumento de elementos químicos como carbono e nitrogênio no solo (LE STRADIC, 2021), alteram a umidade e favorecem

a hidrorrepelência (ATANASSOVA; DOERR, 2011). Diante disso, os incêndios florestais tornam os solos mais vulneráveis ao esgotamento de seus nutrientes, visto que o fogo derivado desses incêndios é mais intenso, duradouro e descontrolado (AGBESHIE et al., 2022).

A fim de reduzir os impactos negativos que os incêndios florestais causam sobre as propriedades físico-hídricas do solo, as queimadas prescritas se tornam uma opção, pois possuem potencial de redução da degradação que o ecossistema sofre com os incêndios florestais. As queimadas prescritas provocam danos menores e até mesmo positivos às propriedades do solo em comparação aos incêndios florestais, pois ocorrem de forma menos intensa, tendem a ser mais rápidas e são geralmente extintas no mesmo dia (NETO; SOARES, 1995; FERREIRA et al., 2010; BLUM et al., 2011). Apesar de demonstrarem efeitos das queimadas prescritas sobre as propriedades físico-químicas do solo, como o aumento do pH e aumento na disponibilidade de nutrientes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , PO_4^{3-} , NH_4^+), estudos acerca dos efeitos das queimadas prescritas sobre os atributos físico-hídricos do solo ainda são incipientes (FIGUEIREDO; FONSECA; QUEIRÓS, 2013; NÓBREGA et al., 2017; AGBESHIE et al., 2022; EBEL et al., 2022a).

Analisar os impactos que as queimadas prescritas podem causar nas propriedades hídricas do solo, permitirá entender a relação complexa do fogo, em especial do fogo prescrito, com os atributos físico-hídricos do solo (hidrofobicidade, infiltração e resistência à penetração) que ainda merecem atenção (BRITO et al., 2021, LIMA 2020). Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos das queimadas prescritas sobre algumas propriedades físico-hídricas do solo - capacidade de infiltração, resistência à penetração do solo e hidrorrepelência. A hipótese é que as queimadas prescritas, em áreas naturais de Cerrado *sensu strictu*, não provocam danos significativos nos processos hidrológicos do solo supracitados acima, uma vez que mantêm as temperaturas em níveis que não permitem a total remoção do dossel de árvores, da matéria orgânica e de microrganismos (FERREIRA et al., 2010).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Revisão Bibliográfica

2.1.1. Fogo

O fogo é um filtro ambiental evolutivo que possui função importante dentro dos ecossistemas de savana neotropical (DURIGAN, 2020; TEIXEIRA et al., 2021). Isso porque o fogo permitiu a modulação de tais ecossistemas (PIVELLO, 2008). Essa

adaptação desses ecossistemas ao fogo é comprovada através de observações em que, por exemplo, a biomassa de gramíneas tende a diminuir ao longo do tempo após os incêndios, enquanto a biomassa arbustiva tende a aumentar (LE STRADIC, 2021). O fogo provoca o aumento da biomassa de raízes absortivas, principalmente na camada superior do solo (0-10 cm), diferentemente da biomassa de gramíneas semeadoras que necessitam de período de tempo e intervalos mais longos entre os incêndios para aumentar sua biomassa (LE STRADIC et al., 2021; SIMPSON et al., 2021).

A saber, o fogo também afeta ligeiramente as raízes de transporte de acordo com o histórico de incêndios, visto que são mais grossas e protegidas por tecidos densos, podendo ser menos vulneráveis a um aumento de temperatura do solo do que raízes finas de absorção (LE STRADIC et al., 2021). Também muitas plantas lenhosas necessitam e ocorrem essencialmente em ecossistemas propensos ao fogo para adquirirem brotos basais e se renovarem (estruturas lenhosas inchadas: lignotúberes e xilopódios) (PAUSAS et al., 2018).

Apesar do fogo ser um filtro ambiental evolutivo, ecossistemas, como as savanas, melhor se adequam com sua utilização. Ecossistemas de savanas são historicamente modulados pela ação do fogo. Nesses ecossistemas, as gramíneas se tornam um exemplo de vegetação persistente e adaptável, visto que possuem a estratégia predominante de rebrota em toda a faixa que houve frequência de fogo. Somente as gramíneas possuem capacidade fisiológica de elevar sua biomassa novamente com rapidez suficiente para sustentar regimes de fogo em regiões suscetíveis a alta frequência e intensidade do regime de fogo (ARCHIBALD et al., 2013; SIMPSON et al., 2021).

No entanto, o fogo também pode acarretar sérias consequências, por mais que traga benefícios e o ecossistema seja dependente (KLINK; MACHADO, 2005). Intensidade, frequência e duração da atuação do fogo são componentes que devem ser levados em consideração ao se buscar o melhor manejo possível para esses ecossistemas. Um bom exemplo consiste na diferença entre incêndios florestais e queimadas controladas/prescritas. Ambos trazem benefícios/malefícios ao ecossistema, porém as consequências podem ser maiores ou menores a depender do tipo de queima.

A severidade do fogo pode ser dividida em cinco classes: baixa, moderada, alta, muito alta e extrema (SHAKESBY; DOERR, 2006). Porém, para que o tipo de fogo seja classificado de acordo com sua severidade, alguns fatores como intensidade, alturas das chamas e características da vegetação pós-fogo devem ser levados em consideração (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação de tipos de fogo

Severidade	Intensidade (kW.m-1)	Altura máxima das chamas (m)	Características da vegetação pós-fogo
Baixa	≤ 500	1,5	Apenas o combustível junto à superfície sofre com a combustão, assim como os arbustos com altura inferior a 2 m
Moderada	501 - 3000	5,0	É consumido todo o combustível à superfície e também vegetação arbustiva com altura inferior a 4 m
Alta	3001 - 7000	10,0	É consumido todo o combustível presente à superfície e a vegetação arbustiva, assim como as copas das árvores mais baixas (< 10 m)
Muito alta	7001 - 70000	10,0 - 30,0	Toda a vegetação verde, incluindo as copas das árvores (até 30 m) e a vegetação lenhosa com diâmetro < 5 mm é consumida
Extrema	70000 - 100000	20,0 - 40,0	Toda a vegetação verde e lenhosa de diâmetro inferior a 10 mm é consumida

Fonte: Shakesby e Doerr (2006)

Atividades humanas podem se tornar alternativa para que a intensidade, frequência e duração do fogo sejam menores em regiões áridas onde há fortes sazonalidades das chuvas que proporcionam oportunidades frequentes (anuais) de incêndios (ARCHIBALD et al., 2013). Isso porque foi observado que em regiões com presença humana há diminuição da carga de combustível no ecossistema por causa do intenso manejo que muitas vezes é feito com o auxílio de queimadas controladas (ARCHIBALD et al., 2013).

A queimada controlada passa a ser alternativa para se evitar o acúmulo da biomassa e, conseqüentemente, mitigar os incêndios florestais (SILVA et al., 2021) e também para manter os tipos de vegetação aberta do ecossistema (DURIGAN et al., 2020). Além do mais, as queimadas prescritas não causam perdas de riquezas de espécies de plantas e animais, e ainda trazem ganhos em riqueza e abundância de espécies vegetais no Cerrado (DURIGAN et al., 2020).

2.1.2. Conceito de Queimada Controlada/Prescrita

Queimada controlada pode ser definida, de maneira geral, como processo em que se aplica fogo de maneira controlada na vegetação nativa ou plantações comerciais, sob determinadas condições ambientais, que permitirá o fogo manter-se restrito àquela área (SCHUMACHER; DICK, 2018). Para ter sucesso, a queimada controlada deve observar as condições de umidade, tempo aproximado de queima e quantidade de material combustível no local (SCHUMACHER; DICK, 2018; AGBESHIE et al., 2022). Além disso, para ser considerada queimada controlada, a queima deve possuir severidade baixa ou moderada com duração máxima de um dia (SHAKESBY; DOERR, 2006; FERREIRA et al., 2010).

A queimada controlada também possui a vantagem de ser mais barata e eficiente que outros tipos de queimadas na redução do material, podendo ser feita tanto fora quanto dentro do ecossistema (SCHUMACHER; DICK, 2018). Apesar de sua eficiência e baixo custo, a queimada controlada geralmente é feita em terrenos montanhosos em que as máquinas agrícolas possuem dificuldade de acesso (SCHUMACHER; DICK, 2018).

Para se realizar as queimadas controladas, há algumas técnicas que podem ser utilizadas, tais como: queima contra o vento, queima em faixas a favor do vento, queima de flancos, queima em manchas ou pontos, queima em forma de anel e queima em forma de estrela ou “V” (SCHUMACHER; DICK, 2018).

2.1.3. Incêndios Florestais

Incêndios florestais podem ser definidos, de forma geral, como um fogo descontrolado que se propaga livremente e consome os diversos tipos de materiais combustíveis existentes em uma floresta ou simplesmente como fogos fora da área urbana, podendo ser classificados em subterrâneos, superficiais e de copa ou simplesmente como fogo fora de áreas urbanas (SCHUMACHER; DICK, 2018; AGBESHIE et al., 2022).

Por ser tratar de fogo descontrolado, os incêndios florestais tendem a destruir mais os aspectos biofísicos do ecossistema atingido. Ademais, ele tende a afugentar a fauna local, destruir habitats, comprometer a oferta de recursos, consumir o estrato herbáceo e a serapilheira do solo (DURIGAN; RATTER, 2016). Os incêndios florestais podem possuir de severidade alta, muito alta ou extrema, visto que muitas vezes tomam grandes proporções e costumam durar dias até serem controladas (SHAKESBY; DOERR, 2006; FERREIRA et al., 2010).

Os incêndios florestais trazem consequências negativas sobre as propriedades do solo. Essas consequências ocorrem porque os incêndios florestais consomem completamente a matéria orgânica que recobre o solo e o dossel de árvores que atuam como proteção (NEARY et al., 1999). O consumo do dossel de árvores e da matéria orgânica pelo fogo remove a proteção superficial que os solos possuem contra altas temperaturas de radiação solar (NEARY et al., 1999) e permite a desagregação de suas partículas no período chuvoso pelo impacto das gotas das chuvas (PANACHUKI et al., 2011).

Mesmo com impactos negativos sobre os aspectos biofísicos do ecossistema, os incêndios florestais precisam de certas condições ambientais para se desenvolver. Condições climáticas extremas como secas intensas e altas temperaturas favorecem os incêndios florestais. Porém, evidências sugerem que as consequências de secas extremas tendem a ser menores se houver frequentes regimes de fogo (SIMPSON et al., 2021). Quando o fogo é frequente, não há tempo suficiente para acumular o combustível necessário para incêndios de altíssima intensidade que são climaticamente inflamáveis demais para produzir incêndios rastejantes e de baixa intensidade, ao contrário de incêndios florestais menos frequentes que mostram uma ampla gama de intensidade (SILVA et al., 2011; ARCHIBALD et al., 2013). É possível observar que está ocorrendo grandes decréscimos de incêndios florestais em savanas tropicais da América do Sul e da África e em pastagens em toda estepe asiática (onde há intenso manejo agropecuário) em contraste com florestas de dossel fechado ao redor do mundo (ANDELA et al., 2017).

2.1.4. Solos

Solo pode ser definido como a coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais (SANTOS et al., 2018). Os solos, apesar de serem a coleção de corpos naturais, são importantes na proteção de sementes durante a passagem do fogo e possuem características biológicas, físicas e químicas.

O solo também é um eficiente isolante na proteção dos meristemas das plantas contra o calor do fogo. Isso proporciona benefícios de aptidão das plantas em ecossistemas propensos ao fogo através da estratégia de persistência de enterro de botões adotadas pelas plantas, que poderão sobreviver e brotar vigorosamente após o evento de fogo (PAUSAS et al., 2018).

As propriedades físicas do solo possuem relevância hídrica. Isso porque são tais propriedades que permitem a absorção, retenção e escoamento da água. Quanto mais bem estruturado o solo, maior será sua capacidade de armazenamento hídrico. Entre as propriedades físicas do solo, podemos destacar a capacidade de infiltração, hidrorrepelência e resistência à penetração.

Incêndios florestais estão entre os principais fatores que degradam o solo (GHAZOUL et al., 2015). A degradação de componentes biológicos, químicos e físicos do solo reduz sua capacidade de funcionar plenamente, podendo tais efeitos serem temporários ou até mesmo permanentes (AGBESHIE et al., 2022).

2.1.4.1. Capacidade de Infiltração

Capacidade de infiltração é um termo derivado da infiltração. É bastante confundido com taxa de infiltração que também deriva do mesmo termo. Portanto, é importante ressaltar as diferenças, mesmo que sutis, para que não haja dúvidas.

Infiltração de água nada mais é do que o processo pelo qual a água penetra no solo, sendo seu valor inicial elevado e tendendo a diminuir com o tempo até se tornar constante quando o solo se torna saturado (SOBRINHO et al., 2003; SALEMI, 2010; FREITAS et al., 2021). Esse processo é de importância prática porque muitas vezes determina o balanço de água na zona das raízes e o deflúvio superficial, que é responsável pela erosão hídrica (SOBRINHO et al., 2003).

Enquanto a taxa de infiltração é a taxa que um determinado solo absorve de água naquele instante de realização da medida, a capacidade de infiltração é a taxa máxima na qual a água consegue se infiltrar no solo sob condições ideais (SALEMI, 2010). Essa propriedade varia de acordo com cada tipo de solo e sua composição (DE ALMEIDA et al., 2018). Além disso, ações humanas de manejo agropecuário também podem influenciar na capacidade de infiltração, como o pastoreio do gado, preparo da terra para plantação e até mesmo a completa ausência de manejo sobre áreas ambientais (ARÉVALO-HERNÁNDEZ et al., 2016; FURQUIM et al., 2020; LIMA, 2020).

Pode ser observada através dos métodos de infiltrômetro de duplo anel, duplo anel modificado, simuladores de chuva, permeâmetro de minidisco, infiltrômetro de minidisco (LILI et al., 2008; DECAGON, 2012), entre outros.

2.1.4.2. Hidrorrepelência

A hidrorrepelência nada mais é que a redução da taxa de retenção de água nos solos (força exercida pelo solo que favorece a infiltração e diminui o escoamento) que acontece por causa da presença de partículas com revestimentos hidrofóbicos (OLORUNFEMI; OGUNRIDE; FASINMIRIN, 2014). Este fenômeno causa a redução ou o retardo da infiltração da água no solo, sendo documentado em diferentes climas e ecossistemas, inclusive em ecossistemas florestais e que ocorre periodicamente com muitos fatores afetando sua permanência e intensidade (HEWELKE, 2022).

A hidrorrepelência pode ocorrer por causa de queimadas, chuvas, estiagens, composição dos solos e matéria orgânica (DE BANO, 1981; BRITO et al., 2022). Nas queimadas, a hidrofobicidade do solo aumenta, principalmente nos dois meses subsequentes, tendendo a voltar às condições normais logo após esse ápice de hidrofobicidade (VOGELMANN et al., 2009). Essa hidrofobicidade ocorre porque compostos orgânicos na serapilheira e na superfície do solo são volatilizados e liberados na atmosfera e para baixo no perfil do solo durante a combustão (OLORUNFEMI; OGUNRIDE; FASINMIRIN, 2014). Essas moléculas penetram nas camadas subjacentes mais frias do solo e se condensam em torno de partículas do solo, formando uma camada repelente de água distinta abaixo da superfície do solo (BRADY; WEIL, 2013). Porém, a hidrofobicidade não está relacionada apenas às queimadas como também à textura do solo, conteúdo de matéria orgânica, uso da terra e localização, além de geralmente ser encontrada em solos extremamente secos (DOERR et al., 2006; DOERR et al., 2009; ROBICHAUD et al., 2016; HEWELKE, 2022).

2.1.4.3. Métodos de aferição de hidrorrepelência

Para a obtenção das medidas de hidrorrepelência, alguns métodos são utilizados, entre eles: teste de molaridade de gota de etanol, gota séssil e Water Drop Penetration Time (WDPT). O teste mais simples e comum de ser utilizados é o WDPT, que consiste na medição de tempo que uma gota d'água leva para se infiltrar totalmente no solo em que o tempo de penetração da água ao solo e a hidrofobicidade são proporcionais (ZAVALA et al., 2010; GRANGED et al., 2011a). O grau de hidrorrepelência é classificado em três categorias: leve (5-60s), moderado (60-180s) e severo (≥ 180 s) (ROBICHAUD et al., 2016).

2.1.4.4. Resistência à penetração

De forma geral, a resistência à penetração é o esforço de reação que o solo oferece à pressão de penetração e que influencia o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas, sendo altamente dependente da umidade do solo (DRESCHER et al., 2012; MONTANARI, 2014; NASCIMENTO et al., 2020). A análise dessa propriedade física do solo também serve como base de avaliação de sistemas de manejo sobre ambientes radiculares, apesar de ser um indicador secundário de compactação (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007; TAVARES-FILHO; RIBON, 2008; TORMENA et al., 2002; FURQUIM et al., 2020).

Mesmo sendo um indicador secundário de compactação, a resistência à penetração (RP), tem sido utilizada costumeiramente para qualidade física do solo, visto que pode auxiliar na detecção de camadas compactadas e, conseqüentemente, na escolha de alternativas mais sustentáveis em que se minimize os efeitos maléficos da compactação (NASCIMENTO et al., 2020).

Um método bastante difundido e utilizado para a obtenção de dados de resistência à penetração é o penetrômetro de impacto de Stolf (2014) que se soma ao método de penetrógrafo digital (NASCIMENTO et al., 2020).

A compactação do solo leva a alterações em suas propriedades físicas, promovendo aumento da resistência à penetração, diminuição do teor de umidade e aumento da densidade do solo devido à redução do volume, pois o ar presente nos macros e micros poros é expelido e culmina em aumentos substanciais na resistência mecânica, o que dificulta o desenvolvimento radicular das plantas (AMPOORTER et al., 2010; SOUSA et al., 2017). O aumento da densidade do solo favorece o desencadeamento de processos erosivos, visto que a capacidade de drenagem do solo reduz substancialmente (SHAKESBY; DOERR, 2006; SOUSA et al., 2017).

Solos do Cerrado brasileiro têm sofrido com este efeito da compactação cada vez mais. Isso acontece porque a região tem sido bastante explorada por atividades agropecuárias que se utilizam de máquinas e implementos agrícolas cada vez maiores e mais pesados (NASCIMENTO et al., 2020). Essa exploração tem trazido preocupações no tocante à qualidade física dos solos sobretudo mais argilosos dessa região neotropical.

A compactação pode atingir diferentes camadas do solo, sendo que em áreas agrícolas e pastagens ocorre geralmente nos primeiros 20 cm e em áreas florestais ocorrem em maiores profundidades (REICHERT et al., 2007). Alterações na qualidade

física do solo por meio da RP são significativas em relação ao sistema de uso e manejo do solo, sendo que áreas nativas possuem os menores índices, pastagens contínuas e bem manejadas possuem índices intermediários e sistemas integrados índices mais elevados (NASCIMENTO et al., 2020).

Porém, ainda pouco se sabe acerca dos efeitos de queimadas prescritas sobre a compactação dos solos, sobretudo florestais. Uma vez que grande parte da literatura faz a análise desses efeitos, em sua maioria, em áreas agropecuárias onde há pisoteio animal, uso intensivo de máquinas agrícolas e revolvimento de solo por se tratar de um problema corriqueiro enfrentado pelos gestores.

2.1.5. Relação do solo com incêndios florestais e queimadas prescritas

A serapilheira presente nos solos possui função de regular a temperatura, diminuir o impacto das gotas das chuvas e proteger a microbiota local (NEARY et al., 1999; PANACHUKI et al., 2011). Porém, se mal manejado ou descontrolado, o fogo pode consumir toda essa proteção e prejudicar o solo e suas propriedades físicas. É notório também que o índice de hidrofobicidade e o ângulo de contato possuem correlação positiva com o teor de matéria orgânica do solo (VOGELMANN et al., 2009).

A queima pode causar mudanças significativas na superfície do solo que constituem uma mudança geomorfológica direta ou fazer com que processos hidrológicos e geomorfológicos operem em taxas alteradas durante o período pós-fogo até que as condições ambientais sejam restabelecidas (SHAKESBY; DOERR, 2006). Entre as mudanças que podem afetar os processos hidrológicos e geomorfológicos, destacam-se: consumo de matéria orgânica, características de hidrorrepelência, alterações na estabilidade dos agregados e porosidade (SHAKESBY; DOERR, 2006).

Outra mudança que ocorre é a deposição de cinzas e materiais orgânicos que alteram significativamente a química do solo, porém, o impacto do fogo sobre as propriedades hidrológicas do solo dependerá da severidade da queima (intensidade, altura das chamas, duração e características da vegetação pós-fogo), além do impacto sobre as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo (SHAKESBY; DOERR, 2006; AGBESHIE et al., 2022;).

Fogos de baixa intensidade costumam resultar em pouca mudança ou até mesmo em aumento na disponibilidade de nutrientes como (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , PO_4^{3-} , NH_4^+) e pH devido a deposição de cinzas (AGBESHIE et al., 2022). Temperaturas do solo entre 30 °C e 60 °C têm efeitos positivos na estabilidade do agregado do solo pela transformação

térmica de sesquióxidos que ajudam a ligar as partículas de argila para formar partículas de lodo fortes, com a matéria orgânica do solo com funções semelhantes que atuam com as partículas do solo. Diferentemente, quando a temperatura atinge entre 270 °C e 400 °C, ocorre a redução da estabilidade dos agregados (AGBESHIE et al., 2022).

Já as queimadas de alta intensidade (incêndios florestais), tendem a diminuir a matéria orgânica do solo e N devido à combustão e perdas de volatilização, redução à infiltrabilidade da água e propriedades físicas e biológicas afetadas negativamente (AGBESHIE et al., 2022).

Reduções gerais na cobertura vegetal e principalmente na serapilheira deixam o solo propenso ao impacto das gotas de chuva e reduzem as oportunidades de armazenamento de chuva para que o escoamento superficial erosivo ocorra mais prontamente (SHAKESBY; DOERR, 2006). Isso se deve à diminuição da capacidade de infiltração do solo subjacente que por muitas vezes é reduzida após o fogo, que tende a aumentar o fluxo de terra e, portanto, a probabilidade de erosão e até mesmo o desenvolvimento de ravinas (SHAKESBY; DOERR, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área de estudo observada (Figura 1) é o Parque Nacional de Brasília, localizado na região administrativa (RA) do Plano Piloto. A RA Plano Piloto está localizada na região norte do Distrito Federal.

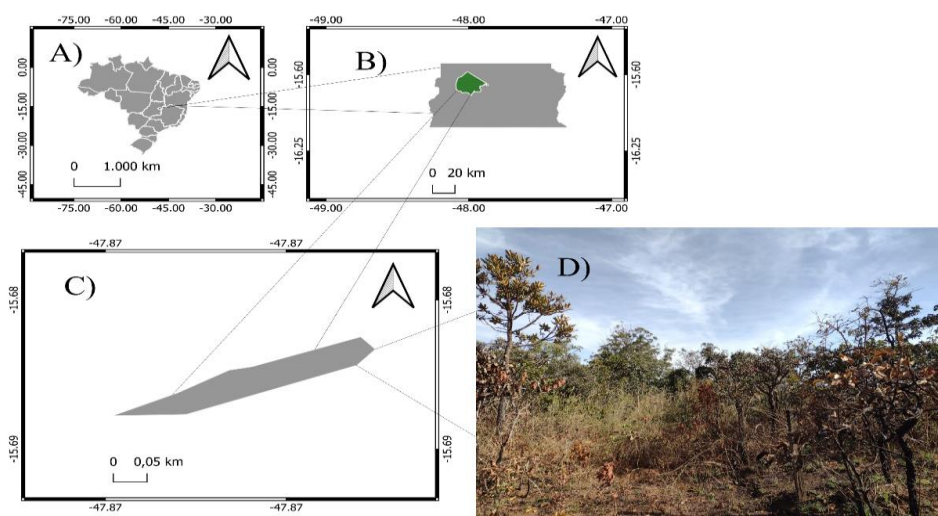


Figura 1 – Localização da área de estudo. (A) área de estudo dentro Brasil; (B) área de estudo dentro do Distrito Federal; (C) área de estudo; (D) foto da área de estudo que contrasta uma área queimada e outra não queimada vizinhas em que à esquerda é possível observar área sem queima e à direita área com queima.

A altitude é de aproximadamente 1250 m com clima tropical Aw (Koppen-Geiger) com duas estações distintas: úmida e seca. O solo é classificado como latossolo vermelho, com textura argilosa, localizado nos topos da chapada com metarritimitos (segundo o sistema brasileiro de classificação de solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA).

Foram escolhidas duas áreas de Cerrado *sensu strictu* para a amostragem da capacidade de infiltração, resistência do solo à penetração e hidrorrepelência (Figura 2). A primeira área sofreu perturbação antrópica através de queimada prescrita pelo órgão ambiental competente (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBIO), enquanto a segunda não sofreu tal ação de manejo.

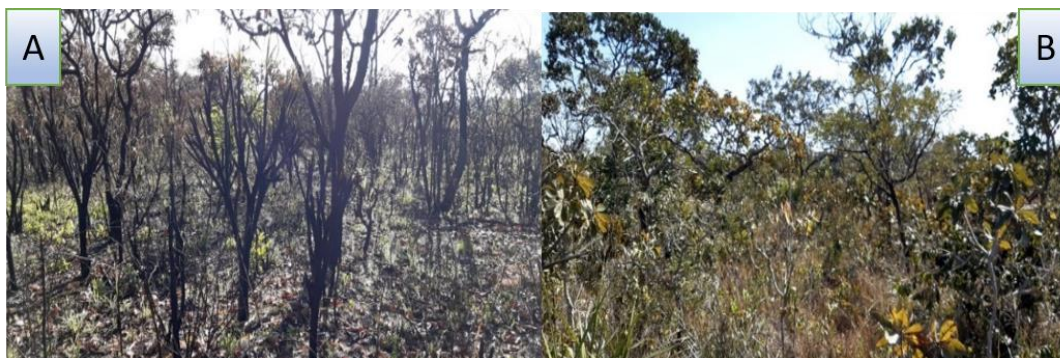


Figura 2 –Área que sofreu perturbação pelo fogo (A); Área que não sofreu com perturbação do fogo (B).

Foram realizadas duas campanhas de campo para a coleta dos dados de capacidade de infiltração, hidrorrepelência e resistência do solo à penetração. As campanhas ocorreram nos dias 20 de maio de 2022 e 03 de junho de 2022, respectivamente. Na primeira campanha de campo foram amostradas uma área queimada e uma área não queimada, enquanto que na segunda campanha de campo foram amostradas três áreas queimadas e três áreas não queimadas. As campanhas de campo ocorreram durante a estação seca que ocorre no Cerrado, dentro do Parque Nacional de Brasília, após queimada prescrita que foi realizada em 18 de abril de 2022 pelo ICMBIO.

3.2. Equipamentos de Campo

Foram utilizados os equipamentos infiltrômetro de MiniDisk, conta-gotas e penetrômetro de impacto para a verificação da capacidade de infiltração, hidrorrepelência e resistência do solo à penetração, respectivamente.

O infiltrômetro de MiniDisk (Figura 3) trata-se de um infiltrômetro de tensão que opera de 0 a -7 cm de taxa de sucção e utiliza a proposta matemática de Zhang (1997) para o cálculo da condutividade hidráulica (LIMA et al., 2020). A sucção do infiltrômetro foi ajustada a 0, pois tal ajuste permite que haja uma simulação do solo saturado, minimizando possíveis interferências de umidade do solo. As medições foram feitas em um intervalo de tempo constante até que se encontrou uma infiltração estável por pelo menos três vezes consecutivas.



Figura 3 – Infiltrômetro de MiniDisk

O conta-gotas (Figura 4) foi utilizado com a finalidade de adicionar gotas de água precisas sobre o solo. A partir da adição da gota de água, o tempo que a mesma leva para infiltrar no solo é calculado. A análise da hidrorrepelência é feita pelo teste de tempo de penetração da gota de água (Water Drop Penetration Time - WDPT) (DE BANO, 1981).



Figura 4 – Conta-gotas

Para a medição da resistência do solo à penetração, utilizou-se um penetrômetro de impacto Stolf (Figura 5) que consiste em uma haste com peso suspenso de 2kg até o limite estabelecido pelo equipamento. Então, o peso é posto em queda livre, causando um impacto que promoverá a penetração da haste que está em contato com o solo. A análise da resistência do solo ocorrerá pela tabela de Stolf (2014), sendo que cada ponto escolhido sofrerá com quatro impactos.



Figura 5 – Penetrômetro de impacto Stolf

3.3. Delineamento Amostral

Dentro do Parque Nacional de Brasília foram escolhidas quatro parcelas que foram sujeitas às queimadas e quatro parcelas que não sofreram com queimadas, totalizando oito parcelas amostrais.

A escolha da UA dentro de cada parcela foi definida por um método de randomização. Ao chegar na área queimada ou não queimada, sorteava-se um número entre 1 e 100. O número sorteado correspondia a quantidade de metros que deveriam ser adentrados dentro da parcela (Exemplo: 25 = 25 m). Esse método foi utilizado para evitar possíveis distorções por parte da subjetividade humana. O randomizador utilizado foi o *randomizer.org*(<https://www.randomizer.org>).

Em cada unidade amostral (UA) foram medidos: capacidade de infiltração, hidrorrepelência e resistência do solo à penetração (Figura 6).

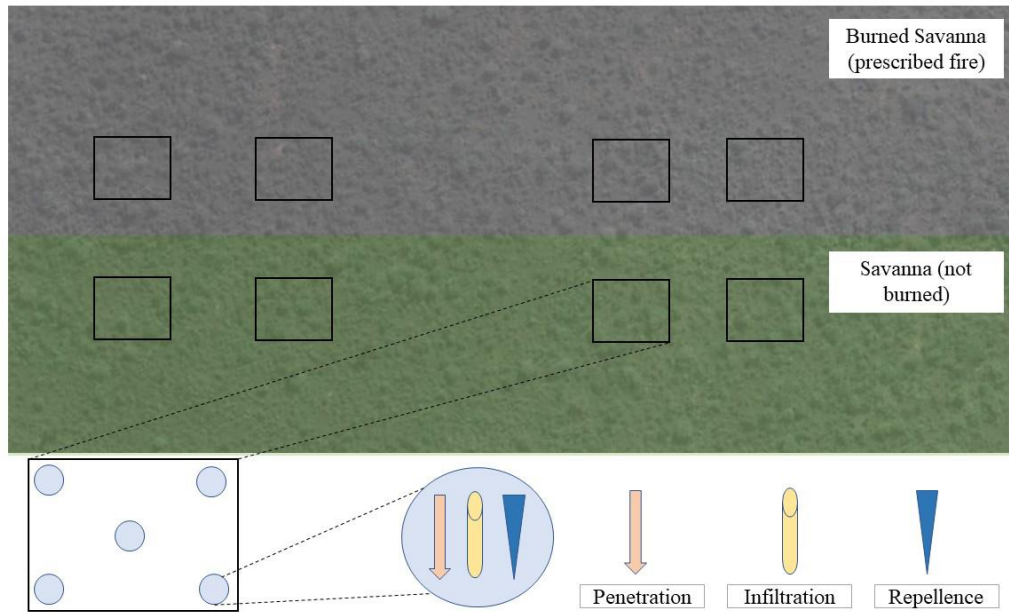


Figura 6 – Desenho amostral: em cada ponto, infiltração, repelência e resistência foram analisadas.

As unidades amostrais consistiam em uma área de 1m² por canos de PVC (Figura 7). Dentro de cada UA foram coletados 5 pontos de capacidade de infiltração, hidrorrepelência e resistência do solo à penetração.

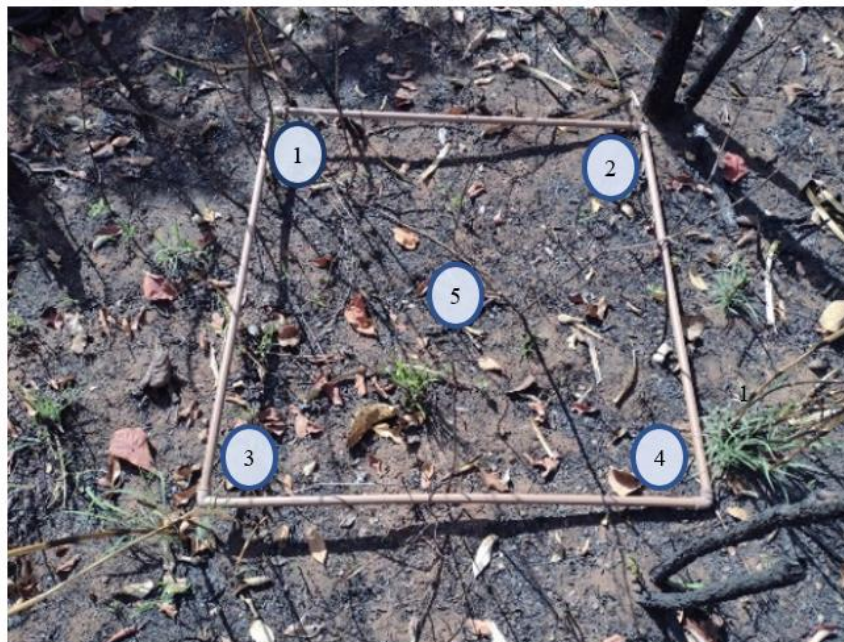


Figura 7 – Exemplo de parcela utilizada no presente estudo. Cada ponto azul retrata um ponto amostrado dentro da parcela. Em cada ponto amostrado foram medidos capacidade de infiltração, resistência à penetração e hidrorrepelência no solo.

3.4. Análises Estatísticas

A independência espacial das variáveis foi testada por meio do teste de Moran. Não houve detecção de autocorrelação espacial para nenhuma das variáveis. A distribuição dos resíduos das variáveis, bem como a homogeneidade de variâncias foram avaliados por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Os resíduos dos dados de infiltração e resistência à penetração (impactos 0, 1 e 2) apresentaram distribuição normal. Ademais, tanto capacidade de infiltração quanto resistência do solo à penetração apresentaram homogeneidade de variância. Para esses casos, utilizou-se teste t não-pareado para testar as diferenças entre áreas sujeitas e não sujeitas a queimadas prescritas. A hidrorrepelência apresentou distribuição diferente da normal e homogeneidade de variâncias. Portanto, utilizou-se não-paramétrico de Mann-Whitney para a hidrorrepelência. Utilizou-se o teste de Spearman para verificar o grau de associação entre capacidade de infiltração e hidrorrepelência.

Todas as análises foram realizadas no Pacote Estatístico PAST 4.09 a um nível de significância $\alpha < 0,05$.

4. RESULTADOS

4.1. Infiltração

A capacidade de infiltração obtida variou de 195,6 mm/h – 888 mm/h nas áreas queimadas e 131,4 mm/h – 845,1 mm/h nas áreas que não sofreram queimada (Figura 8). A média geral da capacidade de infiltração obtida foi de $481,05 \pm 279,41$ mm/h e $626,05 \pm 292,53$ mm/h nas áreas queimadas e não queimadas, respectivamente. Não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$).

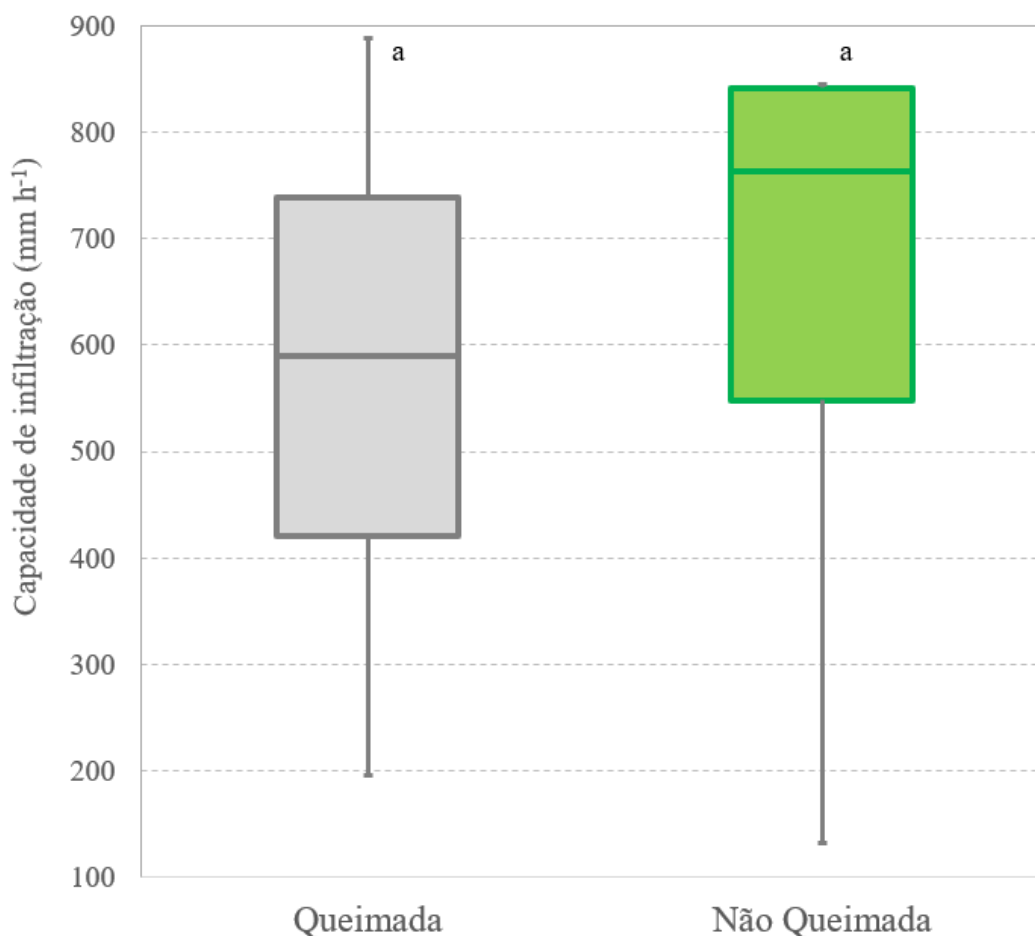


Figura 8 – Boxplot da capacidade infiltração das áreas queimada e não queimada. As linhas horizontais dentro das caixas indicam as medianas (Q2), as linhas inferiores fora das caixas indicam o primeiro quartil (Q1) e as linhas horizontais superiores fora das caixas indicam o terceiro quartil. As linhas horizontais inferiores correspondem aos valores mínimos, enquanto as linhas horizontais superiores correspondem aos valores máximos. As letras iguais dentro do gráfico indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

4.2. Resistência à penetração do solo

As médias observadas na área queimada para a resistência à penetração nos impactos 0, 1 e 2 foram de 0,56 MPa; 1,36 MPa e 1,75 MPa, respectivamente, enquanto que na área não queimada a resistência à penetração do solo observada nos impactos 0, 1 e 2 foram 0,56 MPa, 1,67 MPa e 2,55 MPa, respectivamente.

A média da profundidade encontrada no impacto 0 das áreas queimadas e não queimadas foi de $19,12 \pm 0,38$ cm e $19,53 \pm 0,14$, respectivamente. Já a profundidade média encontrada no impacto 1 dos tratamentos foi $8,63 \pm 4,46$ cm (áreas queimadas) e $6,23 \pm 1,11$ cm (áreas não queimadas), enquanto a profundidade média encontrada no impacto 2 dos tratamentos foi $11,62 \pm 2,99$ (áreas queimadas) e $6,93 \pm 1,47$ (áreas não queimadas).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para nenhum dos impactos ($p > 0,05$) (Figura 9).

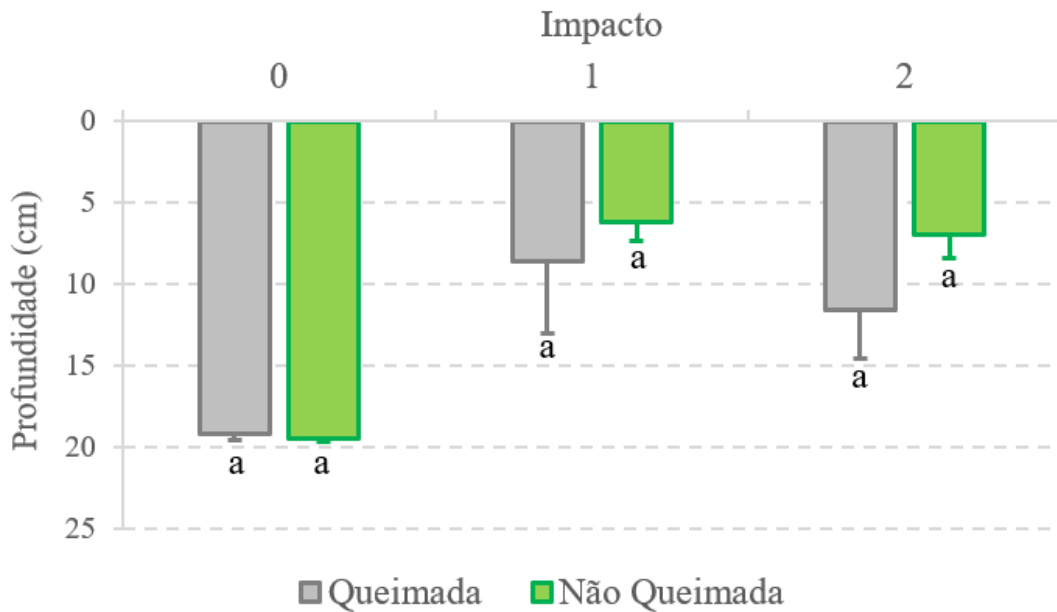


Figura 9 – Resistência à penetração do solo (cm) em um latossolo-vermelho sob área queimada e não queimada. Barras representam a média. Barras de erro representam o desvio padrão.

4.3. Repelência da água no solo

A média do tempo de infiltração da gota d'água nas áreas queimada e não queimada foi de $106,95 \pm 122,15$ s e $91,9 \pm 122,58$ s (Figura 10), respectivamente. Não houve diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$).

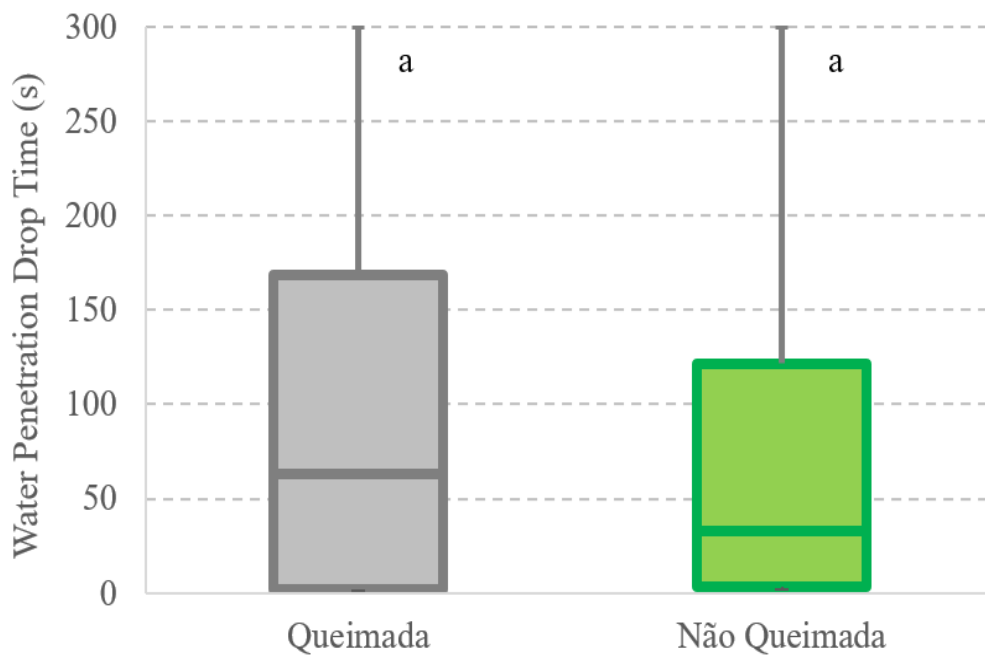


Figura 10 – Boxplot do tempo de penetração da gota d'água nas áreas queimada e não queimada. As linhas horizontais dentro das caixas indicam as medianas (Q2), as linhas inferiores fora das caixas indicam o primeiro quartil (Q1) e as linhas horizontais superiores fora das caixas indicam o terceiro quartil. As linhas horizontais inferiores correspondem aos valores mínimos, enquanto as linhas horizontais superiores correspondem aos valores máximos. As letras iguais dentro do gráfico indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

5. DISCUSSÃO

Foi possível observar que não houve diferença significativa do efeito do fogo prescrito sobre nenhuma das variáveis analisadas. Portanto, a queimada prescrita não alterou significativamente as propriedades físico-hídricas do solo, conforme previsto pela hipótese formulada.

Estudos prévios, majoritariamente, indicaram a ausência de diferenças significativas entre áreas sujeitas e não sujeitas ao manejo do fogo prescrito (Tabela 2). Entre as principais razões inter-relacionadas, atribuem-se: (a) a ausência de chuvas que contribuiu para a manutenção da estabilidade dos agregados (EBEL et al., 2022; SPERA et al., 2000); (b) manutenção do teor de matéria orgânica do solo que atua como agente agregador do solo e, conseqüentemente, favorece a manutenção da infiltração (GRANGED et al., 2011b; STRYDOM et al., 2019); (c) a baixa intensidade do fogo que evita a recombinação de partículas de solo que, como consequência, auxilia na manutenção da porosidade (CHIEF; YOUNG; SHAFER, 2012), e (d) ação da mesofauna edáfica (e.g. minhocas e oligoquetos) que provocam a aeração do solo e favorecem o fluxo de água (FISCHER et al., 2015; MATAIX-SOLERA et al., 2011). No presente estudo, pela ausência de diferenças no tocante à capacidade de infiltração e resistência do solo à penetração, sugere-se que as explicações previamente levantadas podem estar atuando isolada ou conjuntamente. No entanto, a presença de diferenças significativas também já foi observada em outros estudos, sendo atribuídas: (a) pela redução significativa da serapilheira do solo (biomassa) que expõe a superfície do solo aos efeitos erosivos da chuva e acaba favorecendo o processo de erosão (CAWSON et al., 2016); (b) ao aumento da hidrorrepelência que diminui a infiltração de água e favorece o escoamento superficial (EBEL, 2020; CAWSON et al., 2016).

Tabela 2 – Média da capacidade de infiltração encontrada em diferentes estudos sob os tratamentos queimado e não queimado.

Capacidade de Infiltração (mm/h)					
Não queimada	Queimada		Método de Infiltração	Vegetação	Autores
20,5	4,1	*	Infiltrômetro de carga positiva constante	Florestas secas de eucaliptos	Cawson et al. (2016)
79,8	0,7	*	Infiltrômetro Mini Disk	Coníferas	Ebel (2020)
77	60	NS	Simulador de chuvas bico oscilante USDA	Coníferas	Robichaud (2000)
78	49,2	NS	Infiltrômetro de anel duplo	Florestas de Savana	Savadoغو et al. (2007)
33,9	26,6	NS	Simulador portátil de chuva de braço oscilante	Artemísia	Pierson et al. (2008)
119,4	158,7	NS	Infiltrômetro Mini Disk	Formação Arbustiva	González-Pelayo et al. (2010)
61	31	NS	Infiltrômetro de disco de tensão	Savana Africana	Strydom et al. (2019)
8,6	8,84	NS	Infiltrômetro Mini Disk	Pinheiros	Wittenberg et al. (2020)
14,2	14,8	NS	Infiltrômetro Mini Disk	Floresta de Pinos	Lucas-Borja et al. (2023)
626,05	481,05	NS	Infiltrômetro Mini Disk	Savana Neotropical	Presente estudo

Asteriscos (*) denotam diferenças significativas entre área não queimada e queimada, enquanto NS denota ausência de diferenças significativas entre área não queimada e queimada

No presente estudo, também foi observado a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos no tocante à variável de hidrorrepelência. Tal resultado difere de estudos prévios que demonstraram aumento da hidrorrepelência após fogos prescritos, devido ao: (a) surgimento de uma camada *subsuperficial* (3 a 5 cm de profundidade) hidrorrepelente (derivada da condensação de substâncias orgânicas volatilizadas durante

o fogo) (ROBICHAUD; HUNGEFORD, 2000; HUBBERT et al., 2006; JORDÁN et al., 2010; ZAVALA et al., 2010; MATAIX-SOLERA et al., 2011; GRANGED et al., 2011b) e; (b) curto intervalo de tempo entre o evento do fogo prescrito e a amostragem, uma vez que quanto mais distante do evento de fogo prescrito for em relação à coleta, maior será a possibilidade de recuperação para os níveis pré-fogo de hidrorrepelência da superfície do solo (ROBICHAUD, 2000; HUBBERT et al., 2006; SAVADOGO; SAWADOGO; TIVEAU, 2007; KEELEY, 2009; GONZÁLEZ-PELAYO et al., 2010; VOGELMANN et al., 2009; MALKINSON; WITTENBERG, 2011; PLAZA-ÁLVAREZ et al., 2019; EBEL, 2020; CARRÁ et al., 2021; CARRÁ et al., 2022; EBEL et al., 2022b; FAJARDO-CANTOS et al., 2023). Em contrapartida, outros estudos já demonstraram a redução da hidrorrepelência, devido à: (a) queimadas prescritas que atingiram temperaturas acima de 250 °C que consomem completamente os compostos hidrofóbicos presentes nas primeiras camadas do solo (ROBICHAUD; HUNGERFORD, 2000; ZAVALA et al., 2010); (b) duração do fogo prescrito de pelo menos 5 minutos que também consome os compostos hidrofóbicos das primeiras camadas do solo (DE BANO, 1981; ZAVALA et al., 2010), e; (c) privação de oxigênio durante a queimada, que faz com que os limiares de temperatura sejam maiores para a dissipação da hidrorrepelência (BRYANT et al., 2005). Nesse sentido, entre as possíveis explicações para o resultado do presente estudo, destacam-se: (a) o presente estudo ter focado na camada superficial do solo (0 cm) e não em maiores profundidades que, geralmente, costumam apresentar essas diferenças significativas logo após o fogo prescrito, e; (b) a coleta dos dados ter sido feita 45 dias após a queimada prescrita. Portanto, queimadas prescritas podem tanto favorecer a manutenção quanto provocar mudanças significativas sobre a hidrorrepelência, conforme estudos anteriores já observaram (Tabela 3).

Tabela 3 – Média e desvio padrão da hidrorrepelência dos solos encontrada em diferentes estudos sob os tratamentos não queimado e queimado.

Water Penetration Drop Time (s)				
Não queimada	Queimada		Vegetação	Autores
0 ± 0	173 ± 226	*	Artemísia	Pierson et al. (2008)
45 ± 29	1591 ± 1567	*	Floresta de Eucaliptos	Granged et al. (2011a)
95,6 ± 55,1	83 ± 63,6	NS	Floresta de Eucaliptos	Zavala et al. (2010)
82,9 ± 109,38	139 ± 120,7	NS	Pinheiros	Malkinson; Wittenberg (2011)
4,8 ± 8,2	3,9 ± 5,5	NS	Floresta de pino	Lucas-Borja et al. (2023)
106,95 ± 122,15	91,9 ± 122,58	NS	Savana Neotropical	Presente estudo

Asteriscos (*) denotam diferenças significativas entre área não queimada e queimada, enquanto NS denota ausência de diferenças significativas entre área não queimada e queimada.

Por fim, diferentemente do que foi documentado no presente estudo, outros estudos registraram que o fogo prescrito pode também promover alterações significativas de caráter positivo (e.g. elevando a capacidade de infiltração, reduzindo tanto a resistência do solo à penetração e quanto a hidrorrepelência) ou negativo (elevando a densidade do solo e a hidrorrepelência, conseqüentemente, reduzindo a infiltração de água) (ROBICHAUD; HUNGERFORD, 2000; ZAVALA et al., 2010; REDIN et al., 2011; ALCANIZ et al., 2018; LI et al., 2022). Quando associadas positivamente com as propriedades físicas do solo, essas diferenças significativas ocorrem, principalmente devido: (a) ao crescimento da biomassa radicular, que provoca a redução da densidade do solo por meio da formação e estabilização de grandes agregados granulares e que também pode favorecer processos de hidrorrepelência, caso o fogo atinja temperaturas ideais para isso (BRYE, 2006; GRANGED et al., 2011a); (b) à meso e macrofauna do solo que contribuem com a criação de caminhos preferenciais de fluxo de água que favorecem a infiltração, além do declínio da densidade do solo (BRYE, 2006; LI et al., 2022); (c) a fogos prescritos com intensidades moderada e alta (> 350 °C), que eliminam completamente a hidrorrepelência e favorecem a forte agregação dos solos em subsuperfície (GRANGED et al., 2011a; GRANGED et al., 2011b; MATAIX-SOLERA et al., 2011), e; (d) à diminuição da evapotranspiração através do consumo da biomassa acima do solo, o que mantém a umidade do solo e evita o aumento da hidrorrepelência (ATCHLEY et al., 2018). No entanto, quando associadas negativamente, as diferenças significativas são explicadas por causa: (a) do aumento da hidrorrepelência que tende a

diminuir a infiltração de água (CAWSON et al., 2016; PLAZA-ÁLVAREZ et al., 2018; CHEN et al., 2020; LUCAS-BORJA et al., 2023); (b) do aumento da densidade do solo ocasionada por notável redução de raízes, biota do solo e matéria orgânica (PHILLIPS et al., 2000).

6. CONCLUSÃO

O presente estudo observou que a queimada prescrita não promoveu mudanças em certas propriedades físicas do solo de uma savana neotropical. Nesse sentido, com a crescente preocupação a respeito dos efeitos de incêndios florestais sobre os ecossistemas naturais, a queimada prescrita passa a ser uma alternativa para a redução da inflamabilidade, sobretudo em ecossistemas dependentes do fogo.

REFERÊNCIAS

- AGBESHIE, A. A.; ABUGRE, S.; ATTA-DARKWA, T.; AWUAH, R. A review of the effects of forest fire on soil properties. **Journal of Forestry Research**, v. 33, p. 1419 – 1441. 2022
- ALVES, R. J. V.; SILVA, N. G. O fogo é sempre um vilão nos campos rupestres? **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 120–127, 2011.
- ALCAÑIZ, M et al. Effects of prescribed fires on soil properties: A review. **Science of the Total Environment**, v. 613-614, p. 944-957. 2018.
- AMPOORTER, E. et al. Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 10, p. 1664-1676, 2010.
- ANDELA, N. et al. A human-driven decline in global burned area. **Science of The Total Environment**, v. 365, n. 6345, p. 1356–1362, 2017.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.
- ARCHIBALD, S. et al. Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 16, p. 6442–6447, 2013.
- ARÉVALO-HERNÁNDEZ et al. Aspectos físicos da qualidade do solo sob sistemas agroflorestais e pastagem no sul da Bahia. **Agrotópica**, v. 28, n. 1, p. 55-64, 2016.

ATANASSOVA, I.; DOERR, S. H. Changes in soil organic compound composition associated with heat-induced increases in soil water repellency. **European Journal of Soil Science**, v. 62, n. 4, p. 516–532, 2011.

ATCHLEY, A. L. et al. Simulating surface and subsurface water balance changes due to burn severity. **Vadose Zone Journal**, v. 17, p. 1-13. 2018.

BERLINCK, C. N.; LIMA, L. H. A. Implementação do Manejo Integrado do Fogo em Unidades de Conservação Federais no Brasil: **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, v. 11, n. 2, p. 128–138, 2021.

BLUM, C. T. et al. Efeitos da intensidade da queima controlada sobre o solo e a diversidade da vegetação do campo em Irati-PR. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n. 3, 489-494, 2011.

BRADY, N.C., WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**, 3. ed. Bookman, Porto Alegre. 2013.

BRITO, G. Q. et al. Water infiltration in the domains of the Brazilian tropical savanna: What do we really know? **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 16–24, 2021.

BRITO, G. Q. et al. Can rainfall seasonality trigger soil water repellency in a tropical riparian forest? **Journal of Forestry Research**. p. 1-8, 2022.

BRYANT, R.; DOERR, S.H.; HELBIG, M. The effect of oxygen deprivation on soil hydrophobicity during heating. **International Journal of Wildland Fire**, n. 14, p. 449 – 455. 2005.

BRYE, K. R. Soil physiochemical changes following 12 years of annual burning in a humid-subtropical tallgrass prairie: a hypothesis. **Acta Oecologica**, v. 30, p. 407-413. 2006.

CARRÁ, B. G. et al. Water infiltration after prescribed fire and soil mulching with fern in Mediterranean forests. **Hydrology**, v. 8, p. 1–18. 2021.

CARRÁ, B. G. et al. Prescribed fire and soil mulching with fern in Mediterranean forests: effects on surface runoff and erosion. **Ecological Engineering**, v. 176, p. 1-12. 2022.

CAWSON, J. G. How soil temperatures during prescribed burning affect soil water repellency, infiltration and erosion. **Geoderma**, v. 278, p. 12-22. 2016.

CHEN, J. et al. Effect of soil water-repellency layer depth on post-wildfire hydrological processes. **Hydrological processes**, v. 34, n. 2, p. 270-283. 2020.

CHIEF, K.; YOUNG, M. H.; SHAFER, D. S. Changes in soil structure and hydraulic properties in a wooded-shrubland ecosystem following a prescribed fire. **Soil Science**

Society of America Journal, v. 76. 1965-1977. 2012.

DE ALMEIDA, W. S. et al. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 130–138, 2018.

DE BANO, L. F. Water repellent soils: a state-of-the-art. **Gen. Tech. Rep. PSW-46. Berkeley, Calif.: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Exp. Stn.** 21 p, v. 46, 1981.

DECAGON, D. Minidisk infiltrometer user's manual version 10. Decagon Devices, Pullman. 2012.

DOERR, S. H. et al. Repelência de água do solo: um fator chave de erosão pós-fogo. In: Efeitos do Fogo nos Solos e Estratégias de Restauração. **Imprensa CRC**, p. 213–240. 2009.

DOERR, S. H. et al. Ocorrência, previsão e efeitos hidrológicos da repelência à água entre os principais solos e tipos em um clima temperado úmido. **Eur. J. Soil Sci.** v. 57, p. 741–754. 2006.

DRESCHER, M. S. et al. Resistência à penetração e rendimento de soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1836-1844, 2012.

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.

DURIGAN, G. Zero-fire: not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. **Flora**, v. 268, 2020.

DURIGAN, G. et al. No let loss os species diversity after prescribed fires in the Brazilian Savanna. **Frontiers in forests and global change**, v. 3, p. 11, 2020.

DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. DE. Cerrado, Revolução Verde E a Evolução No Consumo De Agrotóxicos. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 3, p. 469–484, 2017.

EBEL, B. A. Temporal evolution of measured and simulated infiltration following wildfire in the Colorado Front Range, USA: Shifting thresholds of runoff generation and hydrologic hazards. **Journal of Hydrology**, v. 585, p. 1 - 16. 2020.

EBEL, B. A. The statistical power of post-fire- soi-hydraulic property studies: Are we collecting sufficient infiltration measurements after widland fires?, v. 612, p. 1 - 13. 2022a.

EBEL, B. A et al. Hydrologic recovery after wildfire: A framework of approaches, metrics, criteria, trajectories, and timescales. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 70, n.4, p. 388 - 400. 2022b.

FAJARDO-CANTOS, Á. Short-term recovery of soil and pine tree canopy after late prescribed burning in a semi-arid landscape. **Science of the Total Environment**, v. 855, p. 1-12. 2023.

FIGUEIREDO, De T.; FONSECA, F.; QUEIRÓS, A. Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: resultado de um ano de ensaio no parque natural de montesinho. *In*: FERREIRA, A. D. Efeitos do fogo no solo e no regime hidrológico. *In*: MOREIRA, F. **Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas**. Lisboa: ISA Press, 2010. p. 21 - p.48.

FILHO, J. T.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 487-494, 2008.

FISCHER, C.; TISCHER, J.; ROSCHER, C.; EISENHAUER, N.; RAVENEKE, J.; GLEIXNER, G. ATTINGER, S.; JENSEN, B.; DE KROON, H.; MOMMER, L.; SCHEU, S.; HILDEBRANDT, A. Plant species diversity affects infiltration capacity in na experimental grassland through changes in soil properties. **Plant Soil**, v. 397, p. 1 – 16. 2015.

FREITAS, W. B. et al. Influência do uso e manejo do solo na infiltração de água: uma revisão. *In*: GUIMARÃES, L. B; FREITAS, P. G. (org.). **Meio ambiente: gestão preservação e desenvolvimento sustentável**. V. 3. Rio De Janeiro: e-publicar. p. 417-434. 2021.

FURQUIM, L. C. et al. Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em áreas de pastagens drenadas. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 5, p. 82-95, 2020.

GHAZOUL, J.; BURIVALOVA, Z.; GARCÍA-ULLOA, J.; KING, L.A. Conceptualizing forest degradation. **Trends Ecology Evolution**, v. 30, n. 10, p. 622 – 632. 2015.

GONZÁLEZ-PELAYO, O. et al. Effects of fire and vegetation cover on hydrological characteristics of a Mediterranean shrubland soil. **Hydrological processes**, v. 24, n. 11, p. 1504-1513. 2010.

GRANGED, A. J. P. et al. Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). **Geoderma**, v. 167-168, p. 125-134. 2011a.

GRANGED, A. J. P. et al. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: a 3-year study. **Geoderma**, v. 164, p. 84-90. 2011b.

HEWELKE, E. et al. Influence of soil moisture on hydrophobicity and water sorptivity of sandy soil no longer under agriculture use. **Catena**, v. 208, p. 1-9. 2022.

HUBBERT, K. R. Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, Southern California, USA. **Geoderma**, v. 130, p. 284-298. 2006.

JORDÁN, A. Re-establishment of soil water repellency after destruction by intense burning in a Mediterranean heathland. **Hydrological processes**, v. 24, p. 736-748. 2010.

KEELEY, J. E. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**, v. 18, p. 116-126. 2009.

KLINK, C. A; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LE STRADIC, S. et al. Variation in biomass allocation and root functional parameters in response to fire history in Brazilian savannas. **Journal of Applied Ecology**, v. 109, n. 12, p. 4143–4157, 2021.

LI, T. et al. Effects of prescribed fire on topsoil properties: a small-scale straw burning experimente. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 70, n. 4, p. 450-461. 2022.

LILLI, M. et al. Methods for measuring soil infiltration: State of the art. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 1, n. 1, p. 22–30, 2008.

LIMA, F. P. DE et al. Water infiltration in the Brazilian tropical savanna: the case of Cerrado típico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 3, p. 165–171, 2020.

LOPES, S. F. et al. Efeito das queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal lenhosa do Cerrado sentido restrito em Caldas Novas - GO. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 695-704, 2009.

LUCAS-BORJA, M. E. Exploring the factors influencing the hydrological response of soil after low and high-severity fires with post-fire mulching in Mediterranean forests. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 11, n. 1, p. 169-182. 2023.

MALKINSON, D; WITTENBERG, L. Post-fire induced soil water repellency – Modelling short and long-term processes. **Geomorphology**, v. 125, n. 1, p. 186-192. 2011.

MATAIX-SOLERA, J. et al. Fire effects on soil aggregation: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 109, p. 44-60. 2011.

MONTANARI, R. Resistência à penetração. Disponível em: <www2.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/rafaelmontanari/aula-de-resist.penet.pdf>. Acesso em: 24 de agosto de 2022.

NASCIMENTO, L. S. et al. Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de

uso e manejo na região do Cerrado. **Documentos 285**. In: Embrapa Gado de Corte. p. 7 – 29, Campo Grande. Mato Grosso do Sul. 2020.

NEARY, D. G. et al. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, v. 122, p. 51 - 71, 1999.

NETO, J. G; SOARES, R. V. Influência da queima controlada no pH do solo em povoamento de *Pinus spp.*, na região de Sacramento-MG. **Ciência Florestal**, v. 5, n.1, p. 87-101, 1995.

NÓBREGA, R. L. B. Effects of conversion of native Cerrado vegetation to pasture on soil hydro-physical properties, evapotranspiration and streamflow on the Amazonian agricultural frontier. **Plos One**, v. 12, n.6, p. 1-22. 2017.

OLORUNFEMI, I. E.; OGUNRINDE, T. A.; FASINMIRIN, J. T. Soil hydrophobicity: An overview. **Journal os Scientific Research and Reports**. Rep, v. 3, p. 1003–1037, 2014.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777 - 1785, 2011.

PAUSAS, J. G. et al. Unearthing belowground bud banks in fire-prone ecosystems. **New Phytologist**, v. 217, n. 4, p. 1435–1448, 2018.

PHILLIPS, D. H. et al. Response of surface horizons in an Oak forest to prescribed burning. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 754-760. 2000.

PIERSON, F. B. et al. Soil water repellency and infiltration in coarse-textured soil of burned and unburned sagebrush ecosystems. **Catena**, v. 74, p. 94-108. 2008.

PIVELLO, V. R.; NORTON, G. A. Firetool: an expert system for the use of prescribed fires in Brazilian Savannas. **Journal of Applied Ecology**, v. 33, n. 2, p. 348-356. 1996.

PIVELLO, V. R. Os Cerrados e o Fogo. **ComCiência**, Campinas, v. 104, p. 1, 2008.

PIVELLO, V. et al. Understanding Brazil’s catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspective in ecology and conservation**, v. 19, p. 233-255. 2019.

PLAZA-ÁLVAREZ, P. A. et al. Changes in soil water repellency after prescribed burnings in three different Mediterranean forest ecosystems. **Science of the Total Environment**, v. 644, p. 247 – 255. 2018.

PLAZA-ÁLVAREZ, P. A. et al. Changes in soil hydraulic conductivity after prescribed fires in Mediterranean pine forests. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 1021 – 1027. 2019.

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

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A. et al. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5, p. 49 – 134.

ROBICHAUD, P. R. et al. Infiltration and interrill erosion rates after a wildfire in western Montana, USA. **Catena**, v. 142, p. 77–88, 2016.

ROBICHAUD, P. R.; HUNGERFORD, R. D. Water repellency by laboratory burning of four northern rocky mountain forest soils. **Journal of Hydrology**, 231-232, p. 207-219. 2000.

SALEMI, L. F. Taxa ou capacidade de infiltração?. **Web Artigos**. Disponível em: <Taxa ou capacidade de infiltração? (webartigos.com)>. Acesso em: 22 de dezembro de 2022.

SANTOS, P. R.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; RAMOS, R. C.; FERREIRA, A. B. R.; RESENDE, F. C. Análise das queimadas no Cerrado e sua relação com o NDVI para os anos de 2000 a 2014. **Revista de Geografia**, v. 35, n. 2, p. 134 – 157. 2018.

SAVADOGO, P.; SAWADOGO, L.; TIVEAU, D. Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the Savanna Woodlands of Burkina Faso. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 118, p. 80-92. 2007.

SCHUMACHER, M. V.; DICK, G. Queima Controlada. In: SCHUMACHER, M. V.; DICK, G. **Incêndios Florestais**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2018. p. 74 – 84.

SHAKESBY; R. A.; DOERR, S. H. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. **Earth Science Reviews**, v. 74, p. 269-307. 2006.

SIMPSON, K. J. et al. Resprouting grasses are associated with less frequent fire than seeders. **New Phytologist**, v. 230, p. 832–844, 2021.

SILVA, D. M. et al. Os efeitos do regime de fogo sobre a vegetação de Cerrado no Parque Nacional das Emas - GO: Considerações para a conservação da biodiversidade. **Biodiversidade Brasileira**, ano 1, n. 2, p. 26-39, 2011.

SILVA, C. et al. Efeito do fogo na abundância e diversidade fúngica no solo do Cerrado. **Ciência Florestal Santa Maria**, v. 31, n. 4, p. 1910-1929, 2021.

SOUSA, R. P. B.; FREITAS, M. A. M.; COSTA, M. P.; PEREIRA, L. F.; GOMES, J. V. A. Impact of anthropic action on physical attributes of the soil in different physiology of

Cerrado. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 9, p. 28 – 32. 2017.

SOBRINHO, T. A. et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p. 191-196, Campina Grande. Paraíba. 2003.

SPERA, S. T. et al. Características Físicas De Um Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v. 35, p. 1817–1824, 2000.

STOLF R et al. Penetrômetro de impacto Stolf – programa computacional de dados em Excel-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 774-782. 2014.

STRYDOM, T. et al. The effect of experimental fires on soil hydrology and nutrients in na African savana. **Geoderma**, v. 345, p. 114-122. 2019.

TEIXEIRA, J. et al. Fire promotes functional plant diversity and modifies soil carbon dynamics in tropical savanna. **Science of The Total Environment**, v. 812, p. 152317, 2021.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, Porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

VOGELMANN, E. S. et al. Ocorrência de hidrofobicidade em um planossolo submetido a queimadas. *In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza. Resumo Expandido*, p. 1-4. 2009.

WITTENBERG, L. Post-fire management treatment effects on soil properties and burned area reforestation in a widland-urban interface, Haifa Fire case study. **Science of the Total Environment**, v. 716, p. 1-10. 2020.

ZAVALA, L. M.; GRANGED, A.J. P.; JORDÁN, A.; BÁRCENAS-MORENO, G. Effect of burning temperature on water repellency and aggregate stability in forest soils under laboratory conditions. **Geoderma**, v. 15, p. 366 – 374. 2010.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of American Journal**, v. 61, n. 4, p. 1024-1030. 1997.