
ECOLOGIA

Vinicius Silva de Campos

**EFEITO DO HISTÓRICO DE FOGO E A SAZONALIDADE NA
PRODUÇÃO DE RAÍZES EM CAMPO SUJO**



Rio Claro - SP
2023

VINÍCIUS SILVA DE CAMPOS

**EFEITO DO HISTÓRICO DE FOGO E A SAZONALIDADE NA
PRODUÇÃO DE RAÍZES EM CAMPO SUJO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências - Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de
Rio Claro, para obtenção do grau de Ecólogo.

Orientadora Prof. Assoc. Alessandra Fidelis

Coorientadora: Dra. Soizig Le Stradic

Rio Claro - SP
2023

C198e Campos, Vinicius Silva de
Efeito do histórico de fogo e a sazonalidade na produção de raízes
em campo sujo / Vinicius Silva de Campos. -- Rio Claro, 2023
38 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ecologia) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio
Claro

Orientadora: Alessandra Fidelis
Coorientadora: Soizig Le Stradic

1. Fogo. 2. Histórico de fogo. 3. Frequência do fogo. 4.
Sazonalidade. 5. Biomassa subterrânea. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

VINÍCIUS SILVA DE CAMPOS

**EFEITO DO HISTÓRICO DE FOGO E A SAZONALIDADE NA
PRODUÇÃO DE RAÍZES EM CAMPO SUJO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências - Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de
Rio Claro, para obtenção do grau de Ecólogo.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Assoc. Dr^a. Alessandra Fidelis (orientadora)

Prof^a. Dr^a. Soizig Le Stradic (coorientadora)

Dr^a. Aline Bombo

Msc^a. Cassy Anne dos Santos Rodrigues

Aprovado em: 07 de novembro de 2023

Assinatura do discente

Vinicius Silva de Campos

Assinatura do(a) orientador(a)

Assinatura do(a) coorientador(a)

Soizig Le Stradic



AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço aos meus pais Maria Isabel e Devair que sempre deram apoio às minhas decisões e sonhos. A minha irmã Melina e meu irmão Eduardo. Minha companheira de vida Mariana, que me levantou em todos os momentos nos quais eu só queria destruir este trabalho, me fez acreditar que algo incrível estava sendo feito aqui marco minha eterna gratidão.

A minha orientadora Alessandra Fidelis e a coorientadora Soizig Le Stradic, que tiveram extrema paciência para o término deste trabalho. Ao Laboratório de Ecologia Vegetativa - LEVeg e todos os companheiros de trabalho que tive oportunidade de aprender e ajudar um pouco, em especial a Letícia (Sid) Giacom e Juliana Teixeira, parte do time tatu.

Não poderia esquecer dos meus vários amigos que passaram pela minha vida nestes anos de UNESP e anteriormente acreditando em mim. Ao meu mais velho e amado grupo Suicídio Coletivo, que mesmo tendo seus integrantes morando em partes diferentes deste Brasil sempre emanou energias positivas para que todos conseguissem terminar seus projetos pessoais, Camila, Enzo, Filipe, Renata, Sophia e Weytel. Aos meus companheiros de F1020 para a vida Matheus, Rodrigo, Marco Vinícius e Carol. As melhores amizades que a UNESP poderia ter me proporcionado foram Laura (Você, Lais (Lala), Leticia (Prima), Jade (Mística) e Nielly (Gold). Por fim e não menos importante sendo impossível listar todos o meu último lar, minha república do coração a qual tenho marcada em mim para sempre, República Mansão, em especial aos meus companheiros de bixarada Antonio (Queixo), Felipe (Marco Polo), Guilherme (Totoro) e Plínio (Nala), 017 ou nada. Aos meus outros companheiros de morada que passam de 100 indivíduos que somaram a mim diferentes experiências e vivências que fizeram estes anos serem leves e agradáveis mesmo durante o caos da pandemia, entre eles um forte abraço ao meu pupilo Felipe (Cassio).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº (2015/06743-0) e NGS (51903-C18). Sendo assim DEDICO A ECOLOGIA !

RESUMO

O fogo é um dos principais fatores que afetam a estrutura e o funcionamento do ecossistema do Cerrado. O regime de fogo molda a vegetação, estimulando o crescimento de gramíneas resistentes ao fogo e permitindo a regeneração rápida da vegetação após a passagem do fogo. A ausência prolongada de fogo pode levar a mudanças na composição das espécies e na alocação de biomassa, podendo favorecer o estabelecimento de espécies lenhosas. A regeneração da vegetação após o fogo é possível graças à capacidade das plantas de rebrotar a partir de gemas protegidas principalmente abaixo do solo. As plantas possuem, portanto, sistemas radiculares adequados para adquirir rapidamente os recursos necessários para garantir a regeneração rápida. A maior alocação de biomassa nas raízes é uma característica das plantas em ecossistemas que queimam frequentemente, facilitando a exploração do solo pelas plantas, garantindo assim, um crescimento mais rápido e uma recuperação mais eficiente. Ainda há lacunas no conhecimento sobre a resposta das raízes nas savanas do Cerrado, especialmente em relação ao tempo desde o último fogo, frequência de fogo e sazonalidade. Assim, o presente estudo investiga a produção de raízes em (1) áreas com diferentes tempos desde o último fogo, (2) frequências de fogo e (3) diferentes estações do ano em áreas de savanas no Cerrado. As hipóteses são que áreas com ocorrência mais recente de fogo terão maior produção de raízes próximas à superfície do solo, e que áreas com maior frequência de fogo terão maior biomassa de raízes. Este estudo foi conduzido em duas Unidades de Conservação (UCs) no sudeste do Brasil, a Estação Ecológica de Santa Bárbara (EESB) e a Estação Ecológica de Itirapina (EEI), ambas caracterizadas por vegetação de Cerrado em diferentes tipos de campos. Utilizando o método de Ingrowth Core (IC), amostras de solo com raízes foram coletadas em diferentes profundidades ao longo de 2017 e 2018. Os resultados revelaram que na EEI, o tempo desde o último fogo não teve impacto significativo na produção de raízes, enquanto na EESB, locais com fogos mais recentes apresentaram maior produção de biomassa subterrânea. Surpreendentemente, a frequência de fogo não afetou significativamente a produção de raízes em ambas as UCs, contrariando a literatura existente. Quanto à sazonalidade, a estação chuvosa favoreceu maior

produção de raízes em comparação com a estação seca, em ambas as UCs. Concluindo, o tempo desde o último fogo e a sazonalidade foram os principais fatores que influenciaram a produção de raízes, enquanto a frequência de fogo teve um papel menor. Recomenda-se estudos futuros para uma análise mais detalhada dos efeitos sazonais nas raízes e uma caracterização mais aprofundada dos solos para compreender melhor a interação entre os períodos de chuva e seca e esse processo.

Palavras-chave: fogo; histórico de fogo; frequência do fogo; sazonalidade; biomassa subterrânea; raízes.

ABSTRACT

Fire is one of the primary factors that affect the structure and functioning of the Cerrado ecosystem. The fire regime shapes the vegetation by stimulating the growth of fire-resistant grasses and enabling rapid post-fire vegetation regeneration. Prolonged absence of fire can lead to changes in species composition and biomass allocation, potentially favoring woody species establishment. Vegetation regeneration following a fire is made possible by plants' ability to sprout from buds, primarily protected below the ground. Consequently, these plants possess root systems adapted for quickly acquiring the necessary resources to ensure fast regeneration. Greater biomass allocation to roots is a characteristic of plants in frequently burned ecosystems, facilitating soil exploration and thus promoting faster growth and more efficient recovery. There are still knowledge gaps regarding root responses in Cerrado savannas, especially concerning the time since the last fire, fire frequency, and seasonality. Thus, this study investigates root production in (1) areas with different times since the last fire, (2) fire frequencies, and (3) different seasons in Cerrado savanna areas. The hypotheses are that areas with more recent fire occurrences will have higher production of fine surface roots, and areas with higher fire frequency will exhibit greater fine root biomass. This study was conducted in two Conservation Units (UCs) in southeastern Brazil: the Santa Bárbara Ecological Station (EESB) and the Itirapina Ecological Station (EEI). Both are characterized by Cerrado vegetation in various types of fields. Using the Ingrowth Core (IC) method, soil samples with roots were collected at different depths throughout 2017 and 2018. The results revealed that in EEI, the time since the last fire did not significantly impact root production, whereas in EESB, sites with more recent fires displayed higher subterranean biomass production. Surprisingly, fire frequency did not significantly affect root production in both UCs, contradicting existing literature. Regarding seasonality, the rainy season favored higher root production compared to the dry season in both UCs. In conclusion, time since the last fire and seasonality were the primary factors influencing root production, with fire frequency playing a minor role. Future studies are recommended to conduct a more detailed analysis of

seasonal effects on roots and to provide a more in-depth characterization of soils to better understand the interaction between rainy and dry periods and this process.

Keywords: fire; fire history; frequency; seasonality; underground biomass; roots

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVO.....	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1	Área de estudos.....	15
3.2	Metodologia.....	17
3.3	Análise de dados.....	19
4	RESULTADOS.....	21
4.1	Efeito do histórico do fogo.....	21
4.2	Efeito da frequência do fogo.....	24
4.3	Efeito da sazonalidade.....	27
5	DISCUSSÃO.....	29
6	CONCLUSÃO.....	31
7	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado cobria originalmente 2 milhões de km², o equivalente a 23% do território (RATTER et al., 1997). Ele é formado por um mosaico de fisionomias, que variam desde campos até florestas, incluindo vegetações savânicas (COUTINHO, 1978, 2006; OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002). Apesar de ser considerada a savana tropical mais rica em espécies vegetais do mundo (MYERS et al., 2000; DE ALMEIDA et al., 2008), apenas 2,2% da área do Cerrado é legalmente protegida (KLINK & MACHADO, 2005). Entre suas fisionomias campestres, encontramos os campos limpos, campos sujos e campos rupestres (RIBEIRO & WALTER, 2008). Os campos e savanas do Cerrado possuem fisionomias abertas, que podem estar relacionadas com o regime de fogo local, o regime hidrológico e tipologia de solo (EITEN, 1972; COUTINHO, 1978, 1982). O fogo, está presente há milhões de anos, antecedendo a presença humana (SIMON et al., 2009).

O fogo é um dos fatores mais importantes no Cerrado, afetando diretamente o funcionamento do ecossistema, a ciclagem de nutrientes e a regeneração das plantas (HIGGINS et al., 2007; PELLEGRINI et al., 2020). A ocorrência de fogo em ecossistemas abertos tropicais não se restringe apenas a ações antrópicas, mas também inclui causas naturais que remontam a um período anterior à influência humana (SCOTT, 2000). Em muitos desses ecossistemas, os fogos naturais têm um papel determinante na montagem das comunidades vegetais (BOND et al., 2005). Entretanto, é importante destacar que os fogos originados por atividades humanas podem exibir níveis de intensidade mais acentuados, afetando negativamente as comunidades. Quando o emprego inadequado do fogo ocorre, perdas significativas de biodiversidade podem ocorrer, levando à degradação tanto da vegetação quanto do solo (PIVELLO, 2011). Contudo, a ausência prolongada do fogo pode levar ao aumento da cobertura de arbustos acarretando uma diminuição na diversidade local devido à redução da abundância de espécies herbáceos-subarbusivos sob condições de maior sombreamento (BOND et al., 2005; FIDELIS et al., 2010; FIDELIS et al., 2012). Outra implicação significativa da exclusão do fogo em ecossistemas savânicos e campestres é a acumulação substancial de biomassa

morta altamente inflamável, que servirá como material combustível na próxima ocorrência de fogo (FIDELIS et al., 2013, 2018). Em contraste, a frequência alta do fogo pode resultar na alteração da composição de espécies, diminuir reservas de nutrientes e reduzir o acúmulo de biomassa morta (CARDOSO et al., 2000; PELLEGRINI et al., 2020; RODRIGUES et al., 2022).

Em ecossistemas campestres e savânicos onde temos uma quantidade substancial de material combustível inflamável, composto principalmente por graminóides e biomassa morta (CASTRO & KAUFFMAN, 1998; KAUFFMAN et al., 1994), o fogo consome a maior parte do material combustível, tendo assim elevadas taxas de eficiência de queima (RISSI et al. 2017, RODRIGUES et al. 2022; KAUFFMAN et al., 1994). O fogo natural no Cerrado ocorre geralmente no final da estação seca, transição para a chuvosa, causados muitas vezes por raios (RAMOS-NETO & PIVELLO, 2000; FIEDLER, 2006), ocorrendo em média a cada 3-5 anos no Cerrado (MIRANDA et al., 2009), queimando áreas restritas e sendo rapidamente apagadas pelas chuvas (RAMOS-NETO & PIVELLO, 2000).

Sendo assim, para sobreviver ao fogo e às adversidades deste ambiente fazem com que a capacidade de rápida regeneração da vegetação pós-fogo seja de extrema importância. Esta capacidade está atribuída à habilidade das plantas de rebrotar a partir de gemas protegidas abaixo da superfície do solo (PAUSAS et al. 2018; PILON et al., 2021; ZUPO et al., 2021), permitindo assim uma recuperação média entre 2 e 5 anos (OLIVEIRA et al., 2021). Assim sendo, as plantas possuem sistemas radiculares bem desenvolvidos para aquisição eficiente dos recursos (como os nutrientes disponibilizados pelas cinzas, FORRESTEL et al., 2014; KRAMER-WALTER et al., 2016; SIMPSON et al., 2019, 2020). Em ecossistemas sujeitos a fogos frequentes, as plantas alocam preferencialmente sua biomassa abaixo do solo, na forma de raízes e outros órgãos de reserva (PAUSAS et al., 2018; TOMLINSON et al., 2012; WIGLEY et al., 2019). Isso resulta em um aumento da biomassa de raízes, principalmente as finas, próximo à superfície do solo, promovendo uma regeneração mais ágil e eficiente (HARTNETT et al., 2004; OLIVERAS et al., 2013; SIMPSON et al., 2019; HERTEL et al., 2013; WEEMSTRA et al., 2020). Assim, existem ainda lacunas de conhecimento em relação à resposta das raízes nesses ecossistemas. Sendo assim a avaliação da produção de

biomassa de raízes em campos sujos de Cerrado desempenha um papel crucial na compreensão da dinâmica ecológica desse ecossistema complexo. A investigação do histórico do fogo e seu impacto na produção de raízes é particularmente relevante, uma vez que logo após o fogo, há um estímulo na produção de raízes como parte da estratégia de rápida regeneração e captação de nutrientes após o distúrbio. Além disso, a análise da frequência do fogo é de suma importância, pois ela pode afetar a produção de raízes, afetando assim, a capacidade de regeneração e das plantas nos campos sujos. A consideração da sazonalidade na produção de biomassa de raízes é crucial, uma vez que o período chuvoso estimula maiores investimentos nas partes subterrâneas das plantas, aproveitando a estação para otimizar a captação de água e nutrientes do solo. Esses três parâmetros interagem de maneira complexa, onde o histórico e a frequência de podem moldar a resposta das plantas à sazonalidade, impactando a produção de raízes. Para investigar esses efeitos, empregar-se-ão metodologias que permitam analisar a quantidade, distribuição e diversidade de raízes em áreas com diferentes históricos de fogo, diferentes frequência e levando também em conta as variações sazonais.

2 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo investigar (1) a produção das raízes de acordo com o tempo desde o último fogo (Histórico de fogo), (2) a produção das raízes de acordo com a frequência de fogos e (3) a produção de raízes ao longo do ano durante a estação seca e chuvosa em áreas de campo sujo. Portanto temos como hipóteses:

- 1) A área com ocorrência de fogo mais recente deverá apresentar maior produção de raízes, próximas à superfície do solo, como uma estratégia para aumentar a aquisição de nutrientes e garantir o crescimento rápido, de acordo com as evidências encontradas por diversos estudos (HARTNETT et al., 2004; OLIVERAS et al., 2013; SIMPSON et al., 2019; LE STRADIC et al., 2021).
- 2) Áreas com maior frequência de fogo deverão apresentar maior biomassa de raízes, com base nas evidências encontradas por Oliveras et al. (2013) e Le Stradic et al. (2021).
- 3) É esperado que haja variação na produção de raízes durante as estações secas e chuvosas, sendo a estação chuvosa sendo a mais produtiva, para a obtenção dos recursos disponíveis (DELITTI et al., 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O presente estudo foi conduzido em duas Unidades de Conservação (UC): Estação Ecológica de Santa Bárbara (EESB) e Estação Ecológica de Itirapina (EEI), ambas localizadas no sudeste do Brasil (Tabela 1). A paisagem predominante nas UCs é composta por vegetação do Cerrado, com fisionomias abertas, incluindo campo sujo, campo úmido, campo cerrado e campo limpo (ZANCHETTA et al., 2006; DE MELO & DURINGAN, 2011).

O campo sujo é um tipo de vegetação formado por uma camada contínua de gramíneas, com presença de outras plantas herbáceas, com arbustos e subarbustos esparsos e árvores pequenas (RIBEIRO & WALTER, 1998). Os solos são na sua maioria solos rasos como os Litólicos, Cambissolos ou Plintossolos Pétricos, eventualmente com pequenos afloramentos rochosos de pouca extensão, ou ainda em solos profundos e de baixa fertilidade como os Latossolos e as Areias Quartzosas (RIBEIRO & WALTER, 1998).

Tabela 1. Coordenadas geográficas, área, altitude, clima, temperatura média anual, temperatura média máxima, temperatura média mínima, precipitação média anual, tipo de solo das unidades das Unidades de Conservação (UC) estudadas: EEI – Estação Ecológica de Itirapina; EESB - Estação Ecológica de Santa Bárbara.

UC	Coordenadas	Área (ha)	Altitude (m)	Clima	Temperatura média anual (C°)	Temperatura média máxima (C°)	Temperatura média mínima (C°)	Precipitação média anual (mm)	Tipo de Solo
EEI	22° 11' - 22° 15' S 47° 51' - 48° 00' O	2300	710 - 830	Cwa - subtropical de inverno seco e verão quente	21.9	24.9	17.8	1459	Gleissolo
EESB	22° 51' 59" S 49° 14' 12" O	3154	600 - 680	Cwa - subtropical de inverno seco e verão quente	20.9	22	18	1424	Latossolo vermelho amarelo

Fonte: ZANCHETTA et al, 2006; DE MELO et al, 2011.

3.2 Metodologia

Para a amostragem, oito locais foram selecionados nas duas Unidades de Conservação (quatro locais x 2 UCs = 8) em áreas de campo sujo. Estes locais foram escolhidos considerando a frequência (entre 1985 e 2018) e tempos desde o último fogo (1 a 10 anos na EESB e de 1 a 35 anos na EEI em Tabela 2).

Tabela 2. Unidade de Conservação (UC), pontos de coleta, coordenadas geográficas, histórico de fogo e número de fogos nas Unidades de Conservação (UC) estudadas: Estação Ecológica de Santa Bárbara - EESB; Estação Ecológica de Itirapina - EEI.

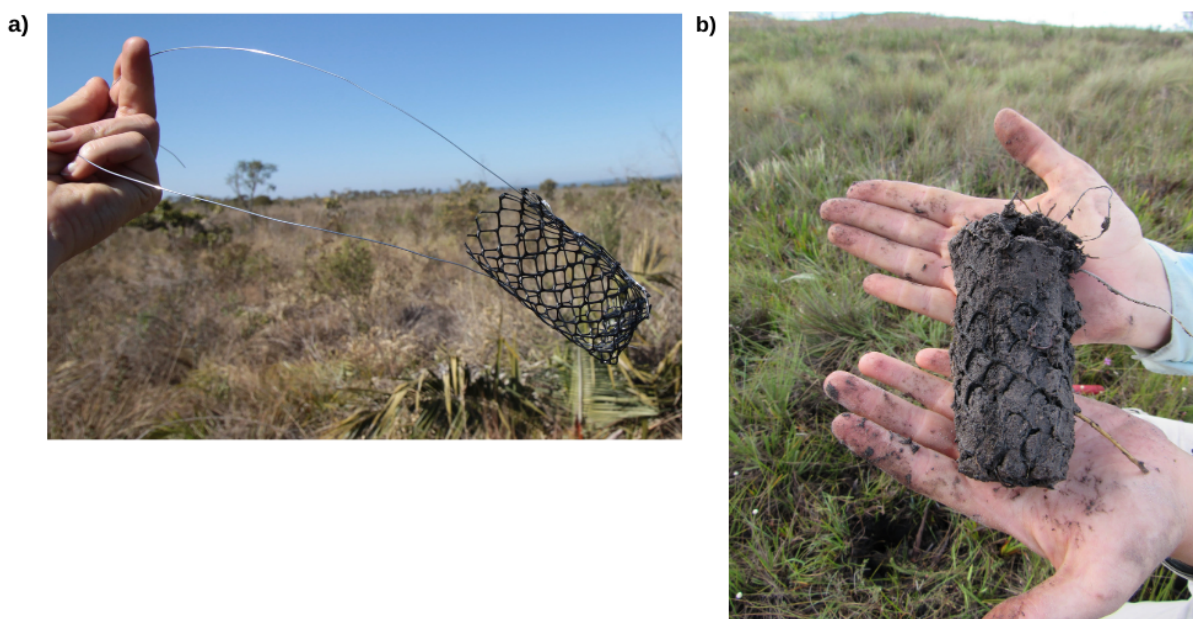
UC	Pontos de Coleta	Tempo desde o último fogo (ano)	Histórico de fogo	Frequência de fogo de 1985 - 2018
EESB	EESB1	10	2008, 2006, 2003, 2001, 1999, 1998, 1996, 1988, 1986	9
	EESB2	1	2017, 2016, 2011, 2001	4
	EESB3	7	2011a, 2000, 1993, 1989	4
	EESB4	7	2011b, 1985	2
EEI	EEI1	9	2009, 2002, 1998	3
	EEI2	17	2001, 1986	2
	EEI3	13	2005	1
	EEI4	34	0	0

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A avaliação da produção de raízes foi realizada por meio do método de *Ingrowth Core* (IC), que consiste em uma cesta cilíndrica de 10 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro, construída a partir de tela plástica de malha larga (Figura 1a). Em cada local de amostragem, foram estabelecidas aleatoriamente três parcelas circulares de 0,5m² (3 parcelas x 4 áreas/UCs x 2 UC = 24 parcelas). No centro de cada parcela, foram coletadas amostras de solo de 5 cm de diâmetro, a cada 10 cm

de profundidade a partir da superfície, até uma profundidade máxima de 40 cm (4 profundidades x 12 parcelas/UC x 5 coletas na EESB e 4 coletas na EEI = 432 amostras sendo 240 da EESB e 192 da EEI). Posteriormente colocados, os ICs foram preenchidos com solo peneirado e limpo de raízes, preparados para a próxima coleta (Figura 1b). A primeira coleta dos ICs na EEI ocorreu em agosto de 2017 e a da EESB em novembro de 2017. Em seguida, foram coletados novamente na EEI em novembro de 2017 e em ambas as UCs em fevereiro, maio e outubro de 2018. Sendo ao todo coletadas 432 amostras de 12 ICs em cada um dos 8 pontos, em cinco períodos distintos na EEI (agosto de 2017, novembro 2017, fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018) e quatro períodos na EESB (novembro 2017, fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018). Após a coleta o conteúdo de cada IC foi acomodado em sacos plásticos devidamente identificados com o ponto, profundidade e mês de coleta, para serem transportados ao laboratório, onde foram conservados no freezer a -18°C até a triagem. Após a coleta do solo com as raízes, os ICs foram retornados aos furos, preenchidos novamente com solo peneirado limpo de raízes.

Figura 1. a) Ingrowth Core (IC) vazio, antes de ser colocado no buraco para coleta de raízes.; b) Ingrowth Core (IC) coletado com todas as raízes produzidas no período de 3 meses.



Fonte: Dra. Soizig Le Stradic (2017).

Em laboratório, os sacos plásticos foram abertos previamente para que a maior parte da umidade evaporasse em temperatura ambiente. O solo então foi submetido a uma separação granulométrica (utilizando peneiras de 1,00 mm a 200 μm), para que as raízes fossem separadas do solo. As raízes foram então transferidas para bandejas plásticas, lavadas em água com o auxílio de pinças para retirar folhas e resquícios de solo que passaram pelas peneiras. Após a limpeza, as raízes foram então armazenadas em envelopes individuais e identificadas, sendo secas com auxílio da estufa durante 48 horas a 80°C. Em seguida, as mesmas foram pesadas na balança de precisão na escala de miligramas, posteriormente sendo convertidas para g/m^2 .

3.3 Análise de dados

Avaliamos os dados de fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018. Esses meses foram escolhidos devido à sua presença em ambas as áreas de coleta. Excluímos os dados de Agosto de 2017 na EEI e novembro de 2017 em ambas as UCs, uma vez que representavam o estado inicial, no qual não tínhamos controle sobre a produção das raízes. O ponto de EEI4 foi excluído devido a problemas com insetos.

Para todas as análises, utilizamos as mesmas análises, variando apenas as variáveis independentes (Tempo desde o último fogo, número de fogo, Estação do ano) para examinar seus efeitos sobre a produção de biomassa (biomassa / número de meses avaliado = Produção de raízes por mês em g/m^2). Todas as análises foram realizadas no RStudio, versão 4.2.3 (2023-03-15 ucrt). Nestas análises, investigamos a produção de biomassa separadamente para dois locais, Itirapina e Santa Bárbara, ao longo de três períodos de tempo distintos: fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018. Primeiro, preparamos os dados, criando conjuntos de dados separados para cada período de tempo. Em seguida, realizamos testes estatísticos para avaliar as diferenças na produção de biomassa entre os locais e ao longo do tempo.

Para entender a distribuição dos dados, conduzimos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e testes de homogeneidade de variância (Bartlett). Quando os dados atendem à suposição de normalidade. Caso os dados não sigam uma distribuição normal, recorreremos ao teste de Kruskal-Wallis para comparar a produção de biomassa entre os locais para cada período de tempo. Este é um teste não paramétrico adequado para dados não normais.

4 RESULTADOS

4.1 Efeito do histórico de fogo

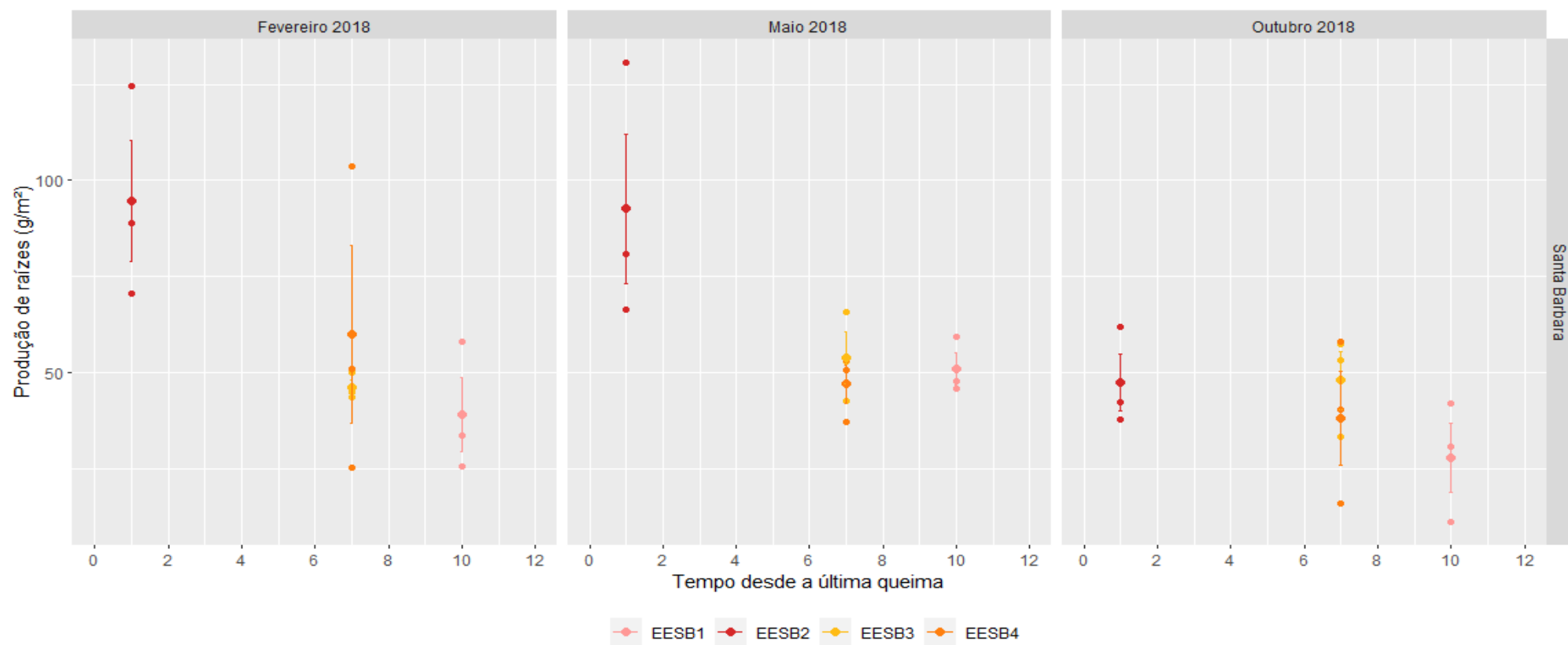
Para os diferentes históricos de fogo obtivemos diferenças não significativas para a EEI (figura 3, tabela 3), onde as variações entre os históricos não tiveram relação entre o tempo desde o último fogo e a produção de raízes (g/m^2). Para a EESB, por sua vez, foi possível ver uma diferença (figura 2, tabela 3) entre os diferentes tempos desde o último fogo, seguindo o padrão onde houve uma maior produção de biomassa subterrânea nos pontos de fogo mais recentes. Mesmo havendo pontos com mesmo período sem fogo é possível observar que a produção de raízes é semelhante entre as duas áreas em todos os meses de coleta (fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018). Também é possível observar que nos meses de fevereiro 2018 e maio 2018 houve uma produção significativa mais alta de raízes para o ponto EESB2 que apresenta o menor tempo desde o último fogo, mas este padrão visto nas duas primeiras coletas não ocorre na novamente coleta de outubro havendo uma queda de produção.

Tabela 3. Parâmetros e valores de p estimados usando o teste de spearman, explicando a produção de raízes em diferentes históricos de fogo para EEI e EESB.

	Estimativa	p-valor
EEI Intercept	-0.820	0.001
EEI Fevereiro 2018	-0.347	0.279
EEI Maio de 2018	0.215	0.946
EEI Outubro 2018	-0.302	0.339
EESB Intercep	-0.341	0.277
EESB Fevereiro 2018	-0.614	0.033
EESB Maio 2018	-0.614	0.033
EESB Outubro 2018	-0.477	0.116

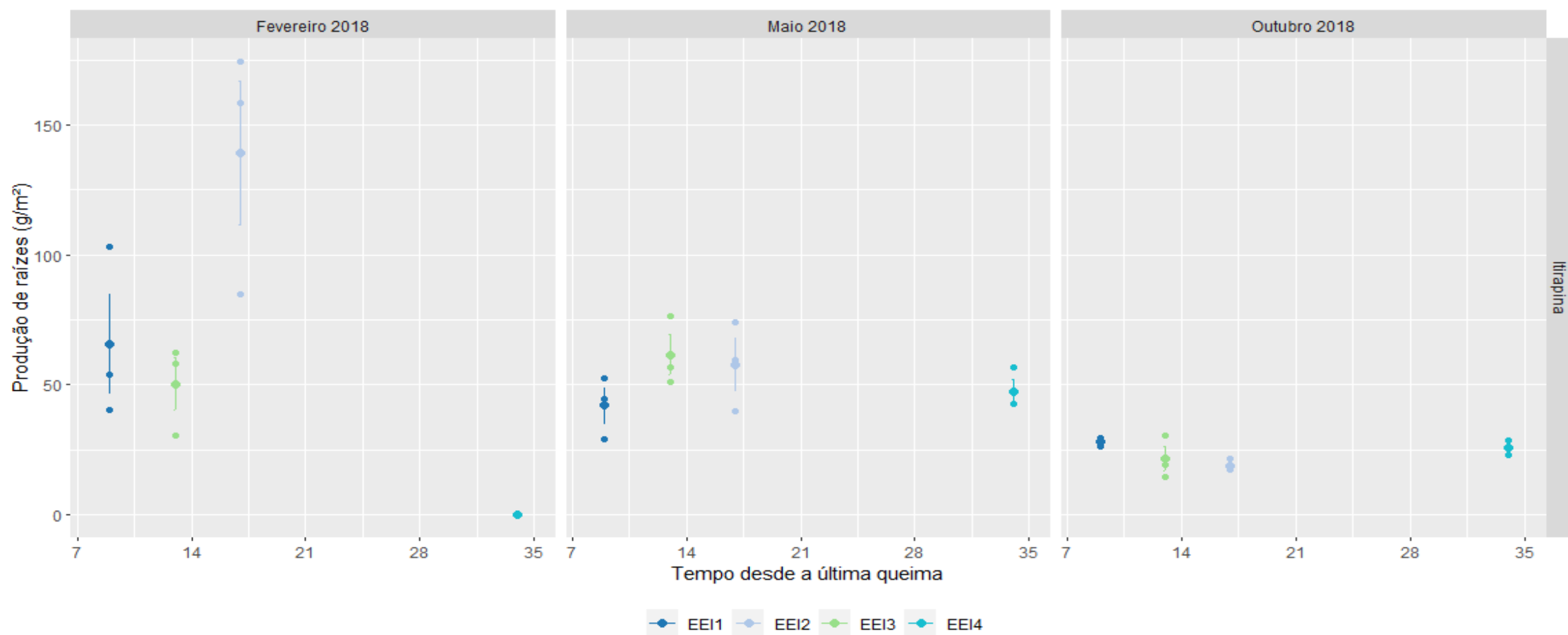
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 2. Produção de raízes (g/m^2) nos meses de fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018 calculadas de acordo com o tempo desde o último fogo variando de 1 a 10 anos na unidade de conservação de Santa Bárbara.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 3. Produção de raízes (g/m^2) nos meses de fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018 calculadas de acordo com o tempo desde o último fogo variando de 8 a 34 anos na unidade de conservação de Itirapina (EEI).



Fonte: elaborado pelo autor(2023).

4.2 Efeito da frequência de fogo

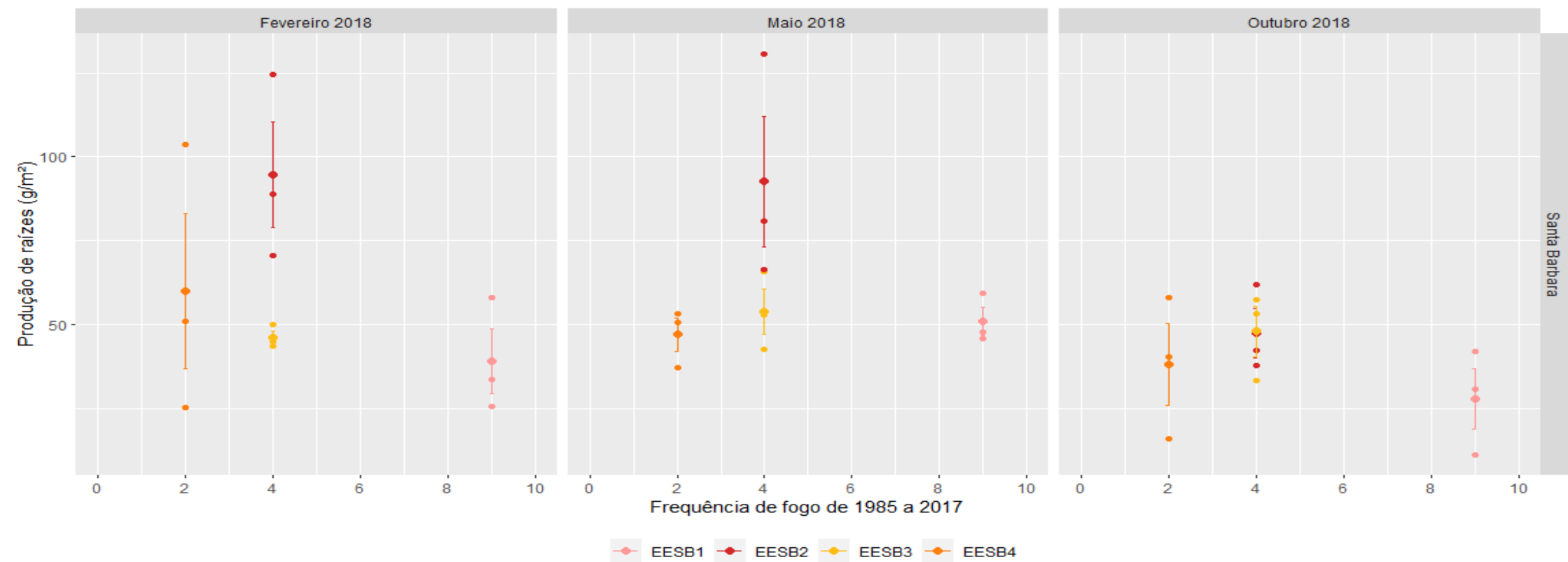
Os resultados obtidos para a frequência de fogo não foram significativos, (figura 3). É possível observar um padrão de produção similar em todos os meses na EESB, com o ponto de coleta EESB2 apresentando a maior produção em cada um dos meses avaliados (fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018) seguido pela produção média dos pontos EESB1, EESB3 e EESB4. O ponto EESB4 teve um aumento em sua produção no mês de fevereiro, mas voltou a decair no mês de outubro. Na EEI não tem padrão de produção de biomassa em relação à frequência de fogo, mas observamos uma grande variação na produção de raízes entre as áreas em Fevereiro 2018.

Tabela 4. Parâmetros e valores de p estimados usando o teste de spearman, explicando a produção de raízes em diferentes frequências de fogo para EEI e EESB.

	Estimativa	p-valor
EEI Intercept	0.669	0.017
EEI Fevereiro 2018	0.630	0.027
EEI Maio de 2018	-0.107	0.738
EEI Outubro 2018	0.151	0.639
EESB Intercep	-0.477	0.116
EESB Fevereiro 2018	0.523	-0.204
EESB Maio 2018	0.833	0.682
EESB Outubro 2018	-0.273	0.390

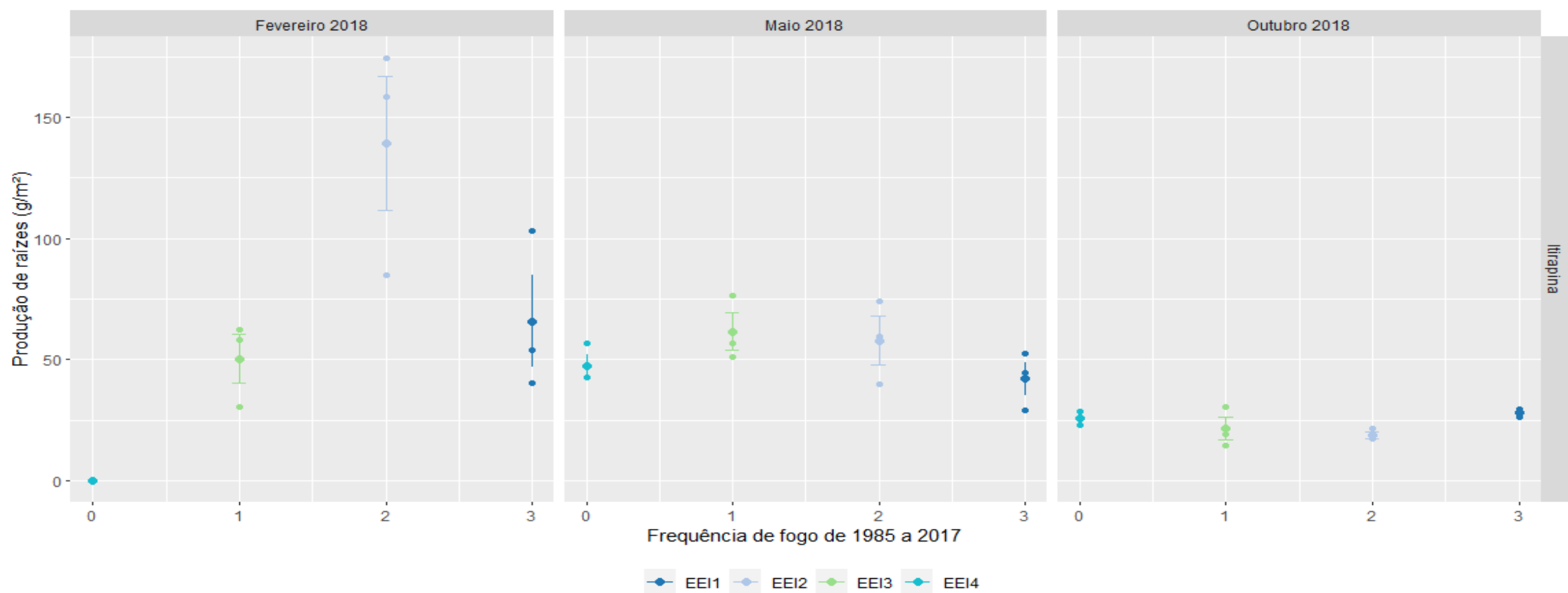
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 4. Produção de raízes (g/m^2) de acordo com diferentes frequências de fogo nas unidades de conservação de Santa Bárbara nos meses de fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018.



Fonte: elaborado pelo autor(2023).

Figura 5. Produção de raízes (g/m^2) de acordo com diferentes frequências de fogo nas unidades de conservação de Itirapina nos meses de fevereiro de 2018, maio de 2018 e outubro de 2018.

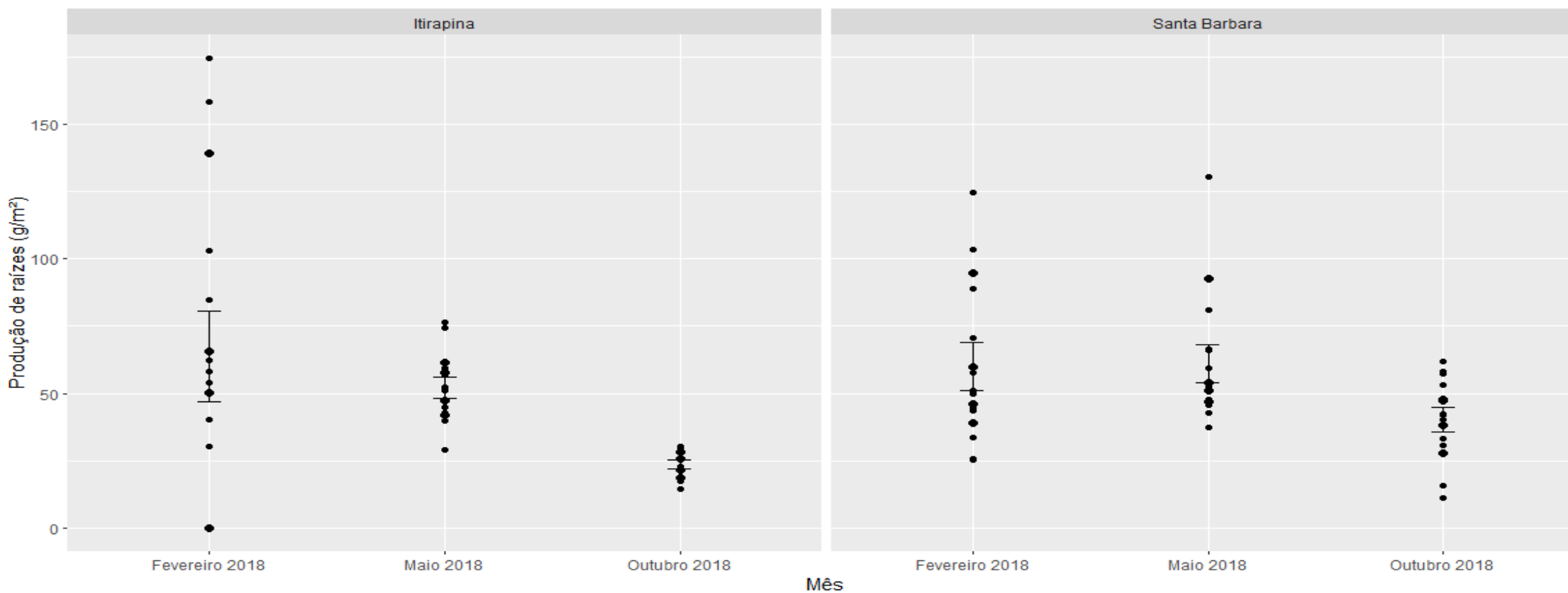


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

4.3 Efeito da sazonalidade na produção de biomassa de raízes

O mês de Fevereiro 2018 corresponde ao meio da estação chuvosa, maio de 2018 início da estação seca e outubro de 2018 a transição entre a estação seca e a chuvosa, sendo o final da estação seca. Para a EEI (figura 6) conseguimos observar uma diminuição da produção de raízes da estação chuvosa para o final da estação seca, tendo uma maior produção no mês de fevereiro de 2018 e uma queda nos meses subsequentes. Para a EESB (figura 4) não observamos os mesmos padrões que em Itirapina, não havendo efeito da sazonalidade na produção de biomassa. Aqui vemos que cada ponto de coleta teve uma produção diferente do outro.

Figura 6. Produção de raízes (g/m^2), nas unidades de conservação de Itirapina e Santa Bárbara, estando divididas pelos meses em que foram coletadas, sendo fevereiro de 2018 início da estação chuvosa, maio de 2018 o início da estação seca e outubro de 2018 transição entre o período chuvoso e seco (sendo o final da estação seca).



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

5 DISCUSSÃO

Nossos resultados, ao considerar o tempo desde o último fogo, revelam notáveis divergências entre as duas UCs estudadas. A EESB demonstrou respostas de acordo com nossas hipóteses, destacando-se um padrão nos meses de Fevereiro e maio de 2018, onde o ponto EESB2, com o menor intervalo de tempo desde o último fogo, exibiu consistentemente a maior produção de raízes. No entanto, na terceira coleta, observamos uma queda desse valor, aproximando-o dos valores encontrados nos pontos EESB3 e EESB4. Por outro lado, na EEI, não conseguimos identificar o padrão previamente observado por Hartnett et al. (2004), Simpson et al. (2021) e Le Stradic et al. (2021) em nenhum momento. Isso nos leva a considerar que, após um longo período sem ocorrência de fogos, a produção de raízes perdeu sua correlação com o tempo desde o último fogo. Para a EEI, o fogo mais recente ocorreu em 2009, resultando em um intervalo de nove anos sem fogos, o que difere da situação na EESB, onde o fogo mais recente ocorreu em 2017, resultando em apenas um ano de intervalo. Um fogo recente vai gerar maior produção de raízes, mas o efeito do fogo desaparece com intervalos maiores. Ao analisarmos a relação entre a produção de raízes e a frequência de fogo em ambas as UCs (EEI e EESB), não observamos o padrão esperado: as áreas com um maior frequência de fogo apresentariam uma maior produção de raízes. Assim sendo, a frequência de fogo, diferentemente do que é mostrado na literatura (ver Hartnett et al. 2004, Oliveras et al. 2013, Simpson et al. 2019) não afetou a produção de raízes. Não houve influência da frequência do fogo, sendo assim acreditamos que os outros fatores são mais relevantes.

Ao examinarmos a produção de raízes ao longo do ano durante diferentes estações (fevereiro de 2018 - estação chuvosa, maio de 2018 - estação seca e outubro de 2018 - transição entre a estação seca e chuvosa), nossos resultados corroboram as expectativas vistas por Delitti (2001). Observamos, portanto, uma tendência de maior produção durante a estação chuvosa em comparação com a estação seca e o período de transição em ambas as UC 's. Na EEI, foi notado o aumento de produção em fevereiro de 2018 (estação chuvosa) em comparação com maio de 2018 (início da estação seca), seguido de uma diminuição das médias em

outubro de 2018 (período de transição). Em contrapartida, na EESB foram mantidas as produções de raízes ligeiramente superiores durante a estação chuvosa (fevereiro de 2018) em comparação com a estação seca (maio de 2018) e o período de transição entre estas estações (outubro de 2018).

6 CONCLUSÃO

Concluimos então que para a produção de raízes os fatores de maior importância foram o tempo desde o último fogo, seguido pela sazonalidade e por fim sem muita influência a frequência. Para estudos futuros, ressaltamos a importância de mais atenção em como os períodos sazonais afetam a produção de raízes, além da caracterização dos solos que podem nos explicar melhor como os períodos chuvosos e secos interagem com a produção.

REFERÊNCIAS

- BOND, W. J.; WOODWARD, F. I.; MIDGLEY, G. F. The Global Distribution of Ecosystems in a World without Fire. **New Phytologist**, v. 165, n. 2, p. 525–538, fev. 2005.
- CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; RODRIGUES, C. A. G.; BARIONI JÚNIOR, W. Composição e dinâmica da biomassa aérea após a queima em savana gramíneo-lenhosa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2309–2316, nov. 2000.
- COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, p. 17–23, 1978.
- COUTINHO, L. M. Ecological Effects of Fire in Brazilian Cerrado. *Em*: HUNTLEY, B. J.; WALKER, B. H. **Ecology of Tropical Savannas**. Ecological Studies. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1982. p. 273–291.
- COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 1, p. 13–23, mar. 2006.
- DE ALMEIDA, S. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. v.2
- DE CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem Structure in the Brazilian Cerrado: A Vegetation Gradient of Aboveground Biomass, Root Mass and Consumption by Fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, n. 3, p. 263–283, maio 1998.
- DE MELO, A. C. G.; DURINGAN, G. **Plano de Manejo - Estação Ecológica de Santa Bárbara**. São Paulo: Instituto Florestal, 2011.

DELITTI, W. B. C.; PAUSAS, J. G.; BURGER, D. M. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. **Annals of Forest Science**, v. 58, n. 7, p. 713–721, out. 2001.

EITEN, G. The Cerrado Vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201–341, abr. 1972.

FIDELIS, A.; BLANCO, C. C.; MÜLLER, S. C.; PILLAR, V. D.; PFADENHAUER, J. Short-Term Changes Caused by Fire and Mowing in Brazilian *Campos* Grasslands with Different Long-Term Fire Histories. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, n. 3, p. 552–562, jun. 2012.

FIDELIS, A.; LYRA, M. F. di S.; PIVELLO, V. R. Above- and below-Ground Biomass and Carbon Dynamics in Brazilian Cerrado Wet Grasslands. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n. 2, p. 356–364, mar. 2013.

FIDELIS, A.; MÜLLER, S. C.; PILLAR, V. D.; PFADENHAUER, J. Population Biology and Regeneration of Forbs and Shrubs after Fire in Brazilian Campos Grasslands. **Plant Ecology**, v. 211, n. 1, p. 107–117, nov. 2010.

FIDELIS, A.; ALVARADO, S.; BARRADAS, A.; PIVELLO, V. The Year 2017: Megafires and Management in the Cerrado. **Fire**, v. 1, n. 3, p. 49, 5 dez. 2018.

FIEDLER, N. C.; MERLO, D. A.; MEDEIROS, M. B. D. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 153–161, 30 jun. 2006.

FORRESTEL, E. J.; DONOGHUE, M. J.; SMITH, M. D. Convergent Phylogenetic and Functional Responses to Altered Fire Regimes in Mesic Savanna Grasslands of North America and South Africa. **New Phytologist**, v. 203, n. 3, p. 1000–1011, ago. 2014.

HARTNETT, D. C.; POTGIETER, A. F.; WILSON, G. W. T. Fire Effects on Mycorrhizal Symbiosis and Root System Architecture in Southern African Savanna Grasses. **African Journal of Ecology**, v. 42, n. 4, p. 328–337, dez. 2004.

HERTEL, D.; STRECKER, T.; MÜLLER-HAUBOLD, H.; LEUSCHNER, C. Fine Root Biomass and Dynamics in Beech Forests across a Precipitation Gradient - Is Optimal Resource Partitioning Theory Applicable to Water-Limited Mature Trees? **Journal of Ecology**, v. 101, n. 5, p. 1183–1200, set. 2013.

HIGGINS, S. I.; BOND, W. J.; FEBRUARY, E. C.; BRONN, A.; EUSTON-BROWN, D. I. W.; ENSLIN, B.; GOVENDER, N.; RADEMAN, L.; O'REGAN, S.; POTGIETER, A. L. F.; SCHEITER, S.; SOWRY, R.; TROLLOPE, L.; TROLLOPE, W. S. W. EFFECTS OF FOUR DECADES OF FIRE MANIPULATION ON WOODY VEGETATION STRUCTURE IN SAVANNA. **Ecology**, v. 88, n. 5, p. 1119–1125, maio 2007.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of Fire, Biomass and Nutrient Dynamics along a Vegetation Gradient in the Brazilian Cerrado. **The Journal of Ecology**, v. 82, n. 3, p. 519, set. 1994.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A Conservação do Cerrado Brasileiro. **Megadiversidade**, p. 147–155, 2005.

KRAMER-WALTER, K. R.; BELLINGHAM, P. J.; MILLAR, T. R.; SMISSEN, R. D.; RICHARDSON, S. J.; LAUGHLIN, D. C. Root Traits Are Multidimensional: Specific Root Length Is Independent from Root Tissue Density and the Plant Economic Spectrum. **Journal of Ecology**, v. 104, n. 5, p. 1299–1310, set. 2016.

LE STRADIC, S.; ROUMET, C.; DURIGAN, G.; CANCIAN, L.; FIDELIS, A. Variation in Biomass Allocation and Root Functional Parameters in Response to Fire History in Brazilian Savannas. **Journal of Ecology**, v. 109, n. 12, p. 4143–4157, dez. 2021.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; NETO, W. N.; AIRES, F. S. Fires in the cerrado, the

Brazilian savanna. *Em*: COCHRANE, M. A. **Tropical Fire Ecology**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. p. 427–450, 2009.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000.

OLIVEIRA, U.; SOARES-FILHO, B.; DE SOUZA COSTA, W. L.; GOMES, L.; BUSTAMANTE, M.; MIRANDA, H. Modeling Fuel Loads Dynamics and Fire Spread Probability in the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118889, fev. 2021.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado Biome. *Em*: **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. In Oliveira, P.S. & Marquis, R.J.: Columbia University Press, New York, 2002. p. 91–120.

OLIVERAS, I.; MEIRELLES, S. T.; HIRAKURI, V. L.; FREITAS, C. R.; MIRANDA, H. S.; PIVELLO, V. R. Effects of Fire Regimes on Herbaceous Biomass and Nutrient Dynamics in the Brazilian Savanna. **International Journal of Wildland Fire**, v. 22, n. 3, p. 368, 2013.

PAUSAS, J. G.; LAMONT, B. B.; PAULA, S.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; FIDELIS, A. Unearthing Belowground Bud Banks in Fire-prone Ecosystems. **New Phytologist**, v. 217, n. 4, p. 1435–1448, mar. 2018.

PELLEGRINI, A. F. A.; HOBIE, S. E.; REICH, P. B.; JUMPPONEN, A.; BROOKSHIRE, E. N. J.; CAPRIO, A. C.; COETSEE, C.; JACKSON, R. B. Repeated Fire Shifts Carbon and Nitrogen Cycling by Changing Plant Inputs and Soil Decomposition across Ecosystems. **Ecological Monographs**, v. 90, n. 4, nov. 2020.

PILON, N. A. L.; CAVA, M. G. B.; HOFFMANN, W. A.; ABREU, R. C. R.; FIDELIS, A.; DURIGAN, G. The Diversity of Post-fire Regeneration Strategies in the Cerrado Ground Layer. **Journal of Ecology**, v. 109, n. 1, p. 154–166, jan. 2021.

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, abr. 2011.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning Fires in a Brazilian Savanna National Park: Rethinking Management Strategies. **Environmental Management**, v. 26, n. 6, p. 675–684, dez. 2000.

RATTER, J. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, n. 3, p. 223–230, set. 1997.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *Em: Cerrado: ecologia e flora*. [s.l.: s.n.]p. 153–212, 2008.

RISSI, M. N.; BAEZA, M. J.; GORGONE-BARBOSA, E.; ZUPO, T.; FIDELIS, A. Does Season Affect Fire Behaviour in the Cerrado? **International Journal of Wildland Fire**, v. 26, n. 5, p. 427, 2017.

RODRIGUES, C. A.; FIDELIS, A. Should We Burn the Cerrado? Effects of Fire Frequency on Open Savanna Plant Communities. **Journal of Vegetation Science**, v. 33, n. 6, p. e13159, nov. 2022.

SCOTT, A. C. The Pre-Quaternary History of Fire. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 164, n. 1–4, p. 281–329, dez. 2000.

SIMON, M. F.; GREYER, R.; DE QUEIROZ, L. P.; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. Recent Assembly of the Cerrado, a Neotropical Plant Diversity Hotspot, by in Situ Evolution of Adaptations to Fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 48, p. 20359–20364, dez. 2009.

SIMPSON, K. J.; BENNETT, C.; ATKINSON, R. R. L.; MOCKFORD, E. J.; MCKENZIE, S.; FRECKLETON, R. P.; THOMPSON, K.; REES, M.; OSBORNE, C. P. C_4 Photosynthesis and the Economic Spectra of Leaf and Root Traits Independently Influence Growth Rates in Grasses. **Journal of Ecology**, v. 108, n. 5, p. 1899–1909, set. 2020.

SIMPSON, K. J.; JARDINE, E. C.; ARCHIBALD, S.; FORRESTEL, E. J.; LEHMANN, C. E. R.; THOMAS, G. H.; OSBORNE, C. P. Resprouting Grasses Are Associated with Less Frequent Fire than Seeders. **New Phytologist**, v. 230, n. 2, p. 832–844, abr. 2021.

SIMPSON, K. J.; OLOFSSON, J. K.; RIPLEY, B. S.; OSBORNE, C. P. Frequent Fires Prime Plant Developmental Responses to Burning. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 286, n. 1909, p. 20191315, 28 ago. 2019.

TOMLINSON, K. W.; STERCK, F. J.; BONGERS, F.; DA SILVA, D. A.; BARBOSA, E. R. M.; WARD, D.; BAKKER, F. T.; VAN KAAUWEN, M.; PRINS, H. H. T.; DE BIE, S.; VAN LANGEVELDE, F. Biomass Partitioning and Root Morphology of Savanna Trees across a Water Gradient: *Root Traits of Savanna Tree Seedlings*. **Journal of Ecology**, v. 100, n. 5, p. 1113–1121, set. 2012.

WEEMSTRA, M.; KIORAPOSTOLOU, N.; RUIJVEN, J.; MOMMER, L.; VRIES, J.; STERCK, F. The Role of Fine-root Mass, Specific Root Length and Life Span in Tree Performance: A Whole-tree Exploration. **Functional Ecology**, v. 34, n. 3, p. 575–585, mar. 2020.

WIGLEY, B. J.; STAVER, A. C.; ZYTKOWIAK, R.; JAGODZINSKI, A. M.; WIGLEY-COETSEE, C. Root Trait Variation in African Savannas. **Plant and Soil**, v. 441, n. 1–2, p. 555–565, ago. 2019.

ZANCHETTA, D.; SILVA, C. E. F.; REIS, C. M.; SILVA, D. A.; LUCA, E. D.; SAWAYA,

R. **Plano de manejo integrado-Estações Ecológica e Experimental de Itirapina**Instituto Florestal, São Paulo, 2006.

ZUPO, T.; DAIBES, L. F.; PAUSAS, J. G.; FIDELIS, A. Post-fire Regeneration Strategies in a Frequently Burned Cerrado Community. **Journal of Vegetation Science**, v. 32, n. 1, jan. 2021.