



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Caracterização ambiental de Campos Úmidos submetidos a queima prescrita no Parque Nacional das Sempre-Vivas (PNSV), MG

Simone Nunes Fonseca¹, Cristiane Coelho Moura², Mucio Magno Farnesi², Vânia Regina Pivello³, Evandro Luiz Mendonça Machado²

1- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2- Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, 3- Universidade de São Paulo – USP * Part of the master's thesis of the first author.

Artigo recebido em 17/07/2021 e aceito em 19/10/2022

ABSTRACT

Wetlands are important worldwide for providing relevant ecosystem services to biota and society, such as: maintaining water flows, carbon cycle and water supply. In this study, we evaluated the effects of prescribed fire on organic soils in wet grasslands located at the Meridional Espinhaço Range, São Francisco River Basin. Four areas of wet grasslands were sampled, three of them submitted to prescribed burning, with respectively 1, 2 and 3 years since last fire (CL1;CB2; T3), and a control area, excluded from fire for 8 years (R8). Physical and chemical attributes and soil moisture were analyzed. Soils are acidic and have a low cation exchange capacity. Fire increased the concentrations of K and P in the soil, but did not increase the pH. For physical variables. Our results indicate that fire increased soil density, reducing microporosity and water retention capacity. The Principal Components analysis (PCA) indicated the separation of the areas into two groups, those that burned less time (CL1 and CB2) and those that were excluded from the fire for a longer period (T3 and R8). The variation of soil moisture is high, considering the dry and rainy season, however the variation in the data is also high, indicating heterogeneity of the areas. The set of results indicates that fire affects the physical structure of organosols, impairing moisture retention, and therefore, the provision of related ecosystem services.

Key words: Wetlands, wet grasslands, prescribe fire, peat, ecosystems services

Caracterização Ambiental de Campos úmidos submetidos a Queima Prescrita no Parque Nacional das Sempre-Vivas (PNSV), MG

RESUMO

Áreas úmidas (AUs) são importantes em todo o mundo por proverem serviços ecossistêmicos relevantes para a biota e sociedade, por exemplo manutenção dos fluxos hídricos, ciclo de carbono e fornecimento de água. Neste estudo, avaliamos os efeitos do fogo prescrito em solos orgânicos de áreas úmidas (campos úmidos) localizados na Serra do Espinhaço Meridional, Bacia do Rio São Francisco. Foram amostradas quatro áreas de campos úmidos, três delas submetidas a queimas prescritas, com respectivamente 1, 2 e 3 anos sem fogo (CL1;CB2; T3), e uma área controle, excluída de fogo por 8 anos (R8). Foram analisados atributos físicos e químicos e umidade do solo. Os solos apresentam-se ácidos e com baixa capacidade de troca catiônica. O fogo aumentou as concentrações de K e P no solo, porém não causou aumento do pH. Para as variáveis físicas. Nossos resultados indicam que o fogo aumentou a densidade do solo, reduzindo a microporosidade e a capacidade de retenção hídrica. A análise de Principais Componentes (PCA) indicou a separação das áreas em dois grupos, os que queimaram há menos tempo (CL1 e CB2) e as que foram excluídas do fogo por período maior (T3 e R8). A variação de umidade do solo é elevada, considerando estação seca e chuvosa, no entanto a variação nos dados também é elevada, indicando heterogeneidade das áreas. O conjunto dos resultados indica que o fogo afeta a estrutura física dos organossolos prejudicando a retenção de umidade, e portanto, a provisão dos serviços ecossistêmicos relacionados.

Palavras-chave: Áreas úmidas, turfeiras, organos, solo, fogo prescrito, serviços ecossistêmicos.

Introdução

As Áreas úmidas (AUs), internacionalmente conhecidas como *Wetlands*, são sistemas permanentes ou temporariamente inundados, em substratos que permitem um maior acúmulo de águas subsuperficiais, por tempo suficiente para promover processos físicos, químicos e biológicos de ambientes com deficiência ou ausência de oxigênio, indicados, comumente, por espécies vegetais adaptadas a essas condições e, ou por solos com características hidromórficas (GOMES & MAGALHAES JÚNIOR, 2018).

As AUs são consideradas um dos ecossistemas mais relevantes do mundo em termos ambientais, pois, além de apresentarem uma diversidade específica de fauna e flora, atuam na recarga de aquíferos, na melhoria da qualidade da água (MITSCH e GROSSELINK, 2007; JUNK *et al.*, 2015), representando 20% do território brasileiro (JUNK *et al.*, 2015).

Na Serra do Espinhaço, cadeia montanhosa erguida entre os estados de Minas Gerais e Bahia, encontram-se áreas úmidas distribuídas na paisagem em um mosaico determinado pela rede de drenagens. São ambientes hidromórficos que se desenvolvem em altitudes superiores a 1.100 m, nas cabeceiras dos rios, ao longo das quais, de acordo com a variação das características edafoclimáticas (COELHO *et al.*, 2016; GONZAGA & MACHADO 2021) vão sendo intercaladas feições vegetacionais de campos úmidos e matas de galeria inundáveis (RIBEIRO & WALTER, 2010; GONZAGA *et al.*, 2021), também conhecidas como “Capões de mata”, ou ilhas florestais (COELHO *et al.*, 2017; MOURA *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2021a; COSTA *et al.*, 2021b; COSTA *et al.*, 2022).

As Áreas Úmidas da Serra do Espinhaço representam apenas 1,21% da região (SILVA *et al.*, 2013), entretanto são de fundamental importância para provisão de serviços ambientais como por exemplo: fornecimento e manutenção de água para as bacias dos rios Doce, Jequitinhonha e São Francisco, estocagem de água no solo e lenta devolução aos leitos na época seca, recarga dos aquíferos e lençóis freáticos, regulação do microclima e ciclos de vazão; e serviços ecossistêmicos em múltiplas formas como por exemplo: conservação e estoque de carbono orgânico, participação em ciclos biogeoquímicos, além de constituírem importantes centros de biodiversidade multitaxonômicos (FONSECA *et al.*, 2018; COLLI-SILVA *et al.*, 2019).

No entanto, estes campos úmidos são os ambientes onde há maior recorrência do fogo, em geral de origem antrópica, visto que as populações locais queimam estas áreas para estimular a rebrota do capim, fornecendo pastagem para o gado e também com objetivo de estimular o florescimento das espécies de sempre-vivas comercializadas na região (POUGY *et al.*, 2015; MMA, 2016).

Áreas úmidas queimam com frequência, em todo o mundo (HOLDEN *et al.*, 2015; SCHMIDT *et al.*, 2016). Apesar de o fogo não ter sido elencado como uma ameaça a este ambiente (CUNHA *et al.*, 2015; PIVELLO *et al.*, 2021), incêndios são responsáveis por modificações na estrutura física e química dos solos (REDIN *et al.*, 2011), impondo efeitos diretos aos processos hidrológicos, tais como escoamento superficial, infiltração e erosão (HOLDEN *et al.*, 2015), levando a déficits no armazenamento das águas subterrâneas e reduzindo o fluxo nas cabeceiras (RODRIGUES *et al.*, 2018).

A evolução dos estudos com manejo de fogo no Cerrado foi amplamente direcionada a avaliar a resposta de comunidades biológicas ao distúrbio (MIRANDA, 2010), e poucos estudos integram os efeitos abióticos, persistindo aí uma lacuna de informação. Assim, é válido questionar: queimadas prescritas controladas, de baixa intensidade, realizadas em regimes de manejo integrado do fogo afetariam os serviços ambientais que as áreas úmidas provêm?

O objetivo deste trabalho é investigar a variação dos parâmetros ambientais referentes ao componente edáfico incluindo características químicas e físicas dos solos orgânicos de áreas úmidas (campos úmidos) submetidas a queimadas prescritas. Nossa hipótese foi de que o fogo afeta negativamente na capacidade de retenção hídrica dos solos orgânicos afetando desta forma no provimento de água para o lençol freático e cursos d'água.

Métodos

Área de Estudo

As unidades amostrais estão localizadas no Parque Nacional das Sempre-Vivas (PNSV), Zona Núcleo da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. A região tem grande relevância por ser divisor de águas entre duas importantes bacias hidrográficas brasileiras, do Rio São Francisco e Rio Jequitinhonha. O clima local é temperado úmido com inverno seco e chuvas de verão-Cwb (Köppen (1931). As temperaturas médias anuais

são de 20°C e a precipitação média anual varia de 1.250 a 1.500 mm (VIEIRA *et al.*, 2010).

Selecionamos quatro áreas com características similares: fitofisionomia de campo úmido sobre organossolo (EMBRAPA, 2018), associadas a capões de mata (COELHO *et al.*, 2016) localizadas na bacia do Rio São Francisco, sub-bacia do Rio Jequitáí, próximas ao divisor de águas, sendo três delas submetidas a queimas prescritas configurando 1, 2 e 3 anos desde a realização da queima (CB1; CL2; T3), respectivamente, e uma área controle não queimada por 8 anos (R8). A amostragem ocorreu em 2019, tendo sido aleatorizadas 10 unidades amostrais (subparcelas) 1 × 1 metro (1m²) em cada área.

Coleta de dados

Análises Físicas e Químicas

Para avaliar as características químicas dos solos foram coletadas amostras de solo orgânico em cada sub-parcela de estudo na camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade. As amostras foram secas em estufa a 40°C por 48 horas, trituradas com pilão, homogeneizadas e peneiradas (peneira 2 mm). Foram realizadas as seguintes análises no Laboratório de Caracterização de Substratos da UFVJM, segundo EMBRAPA (1997): proporção de matéria orgânica (MO), magnésio (Ca + Mg), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Sódio (Na), Alumínio (Al). Soma de Bases (SB), Capacidade de troca Catiônica potencial e efetiva (T e t), Saturação por alumínio (m), Saturação por bases (V) e Sódio trocável (PST).

Também foram coletadas amostras indeformadas do solo orgânico para avaliar as características físicas dos solos. As amostras foram preparadas em laboratório e saturadas por ascensão capilar gradual por 72 horas. Posteriormente foram pesadas e levadas à mesa de tensão sendo submetidas às tensões de 6 e 10 KPa em coluna de areia. Após estabilização, as amostras foram pesadas e levadas à estufa a 105°C por 24 horas, e em seguida pesadas novamente. Foram obtidas densidade, capacidade de retenção hídrica do solo a 6 e 10 KPa, macroporosidade, microporosidade e porosidade total de cada amostra (EMBRAPA, 2017).

Repelência à água:

O grau de repelência à água de cada amostra foi avaliado a partir do teste Water Drop Penetration Time (WDPT) (BISDOM *et al.*, 1993;

DEKER *et al.*, 2001; WU *et al.*, 2019). Este teste avalia a hidrofobicidade do solo e é realizado pela aplicação de água destilada sobre a superfície da amostra, e o tempo de penetração das gotas é cronometrado. O teste WDPT foi realizado nas amostras indeformadas na tensão de 10 KPa e depois nas amostras secas.

Umidade superficial do solo

O teor de umidade superficial do solo foi medido mensalmente nas parcelas de estudo por 13 meses, utilizando o sensor de capacitância Soil Moisture Kit – Delta-T Devices Cambridge/England, modelo ML3 Theta Probe. Utilizamos nas análises os dados do mês mais seco e mais úmido no período e a variação entre estes extremos.

Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado é inteiramente casualizado (DIC), onde os locais são os tratamentos (tempo em anos decorrido desde a última queima; R 8; T3; CL2 e CB1), e as parcelas as repetições. Os dados de análises químicas e físicas dos solos foram submetidos aos testes de pressuposições estatísticos. Foi utilizado Teste F para análise de variância ao nível de significância de 5%, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Para todas as análises, utilizou-se o software estatístico gratuito R Development Core Team R (2020), e o pacote adicional “ExpDes” (Experimental Designs) (FERREIRA *et al.*, 2013).

Foi realizada a técnica de ordenação pela Análise de Componentes Principais (PCA) (CAUSTON, 1988) para reduzir os dados a um número menor de variáveis e identificar tendências ambientais. Utilizou-se o software PC-ord for Windows versão 6.0 (MCCUNE & MEFFORD, 2011). Uma análise preliminar foi realizada utilizando as variáveis edáficas físicas e químicas cujos resultados nos testes de médias apresentaram-se significativos. Desta análise foram excluídas as variáveis correlação positiva ou negativa < 0,7). Então a PCA foi novamente processada com as seguintes variáveis: sódio (Na), saturação por alumínio (m), soma de bases (SB), saturação de bases (V), sódio trocável (PST), densidade (Ds), umidade volumétrica a 10KPa (Θ10KPa), microporosidade (Mic), macroporosidade (Ma).

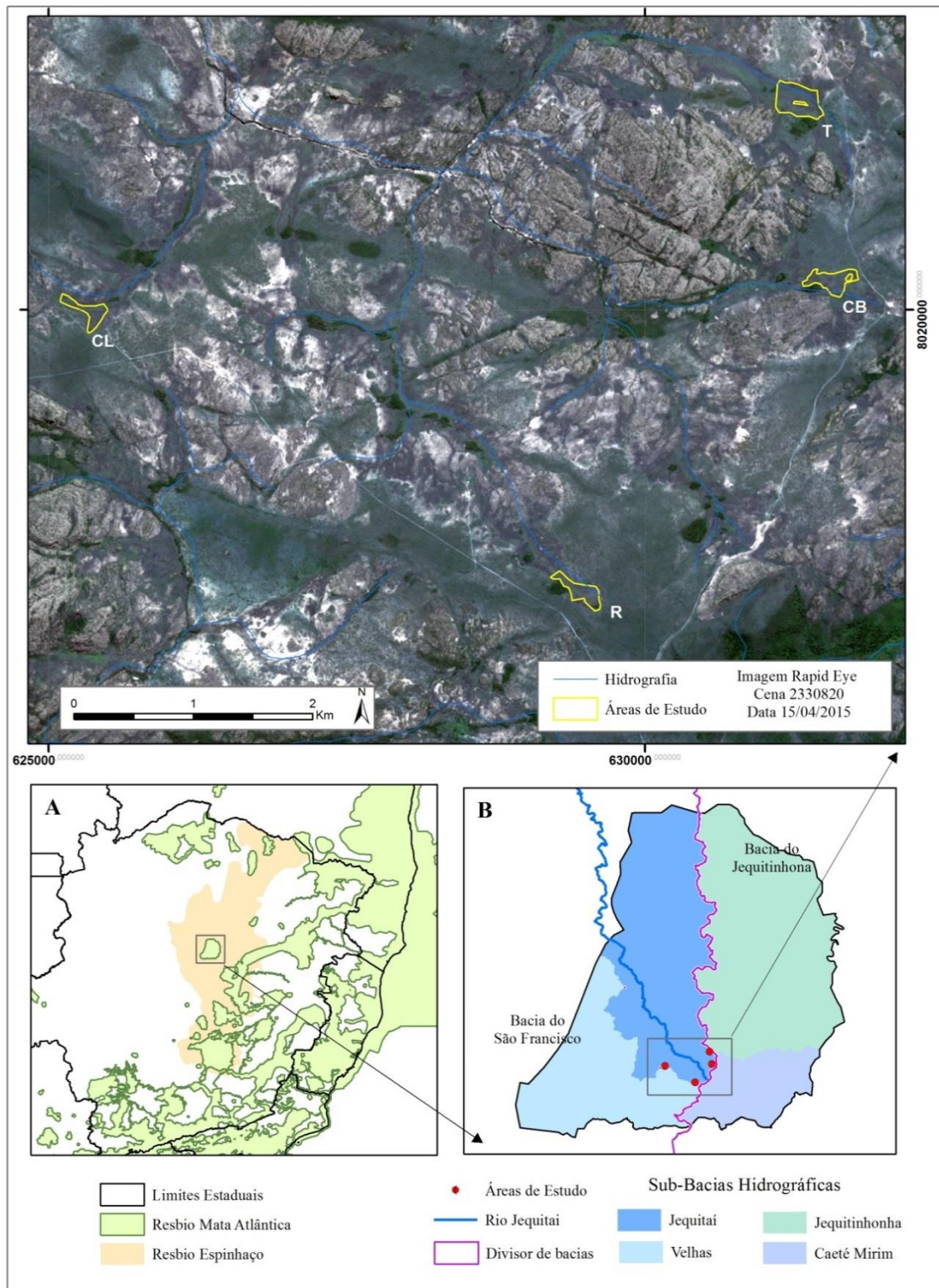


Figura 1 Localização da área de estudo na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço e da Mata Atlântica (A) e em relação às Bacias Hidrográficas do PNSV (B).

Resultados

As análises químicas e físicas das amostras de solo, assim como das características do ambiente estão apresentados na tabela 1, onde se observa diferenças significativas nos testes de médias para as variáveis pH, K, Na, Ca e Mg, Soma

de Bases, Saturação por bases, Saturação por alumínio e PST (Tabela 1).

As amostras analisadas apresentam teores de matéria orgânica (MO) acima $15,9 \text{ dag kg}^{-1}$. Como esperado para solos com altos teores de MO, encontramos acidez elevada, com pH variando

entre 3,44 a 3,98. A saturação por bases (V) é baixa, e os solos caracterizam-se como distróficos, indicando baixa fertilidade e restrição de alguns nutrientes, como Ca e Mg. A saturação por alumínio (m%) é elevada, superior a 78%, tornando os solos muito pobres. Já a CTC potencial (ph 7) (T) também se apresentou elevada. Os valores de fósforo (P) (8,29 a 25,70 mg.dm⁻³) aumentam à medida que se aproxima do evento de fogo. As amostras apresentaram ainda, elevado teor de sódio (PST), variando entre 9 a 56%, o que indica solos com caráter salino-sódico (EMBRAPA, 2018).

Em relação à umidade superficial do solo, houve diferença significativa entre os tratamentos para a umidade na estação seca (p-valor <0,05). A área T apresentou-se diferente das demais, com média de $76,64 \pm 36,67\%$ na estação seca.

Acerca das características físicas do solo, houve diferença significativa para a capacidade de retenção hídrica, tanto a 6 quanto a 10 KPa, densidade e microporosidade, separando as áreas em dois grupos. As áreas que queimaram há mais

tempo (R e T) das que queimaram há menos tempo (CL e CB) (Tabela 1).

Em relação à hidrofobicidade do solo, foi identificada diferença significativa para a variável Repelência do Solo à 105°C. Todos os tratamentos apresentaram grande aumento na repelência do solo à água após a secagem a 105°C, tornando-se Severamente Hidrofóbicos (BISDOM *et al.*, 1993).

A análise por principais componentes – PCA foi significativa ($p=0,001$ para os dois eixos) e resultou na segregação das parcelas das áreas queimadas há mais (R e T) e menos (CL e CB) (Figura 2). Densidade, Macroporosidade e Saturação por Alumínio (m%) foram muito importantes para separar as áreas queimadas há 1 e 2 anos (CL e CB). As variáveis que influenciaram o outro grupo, das áreas que queimaram há 3 e 8 anos (T e R), foram a Soma de Bases (SB), saturação de Bases (V), capacidade de retenção hídrica a 10 KPa e a microporosidade. O eixo 1 explicou 60,07% da variação dos dados, e o eixo 2, 18,7%.

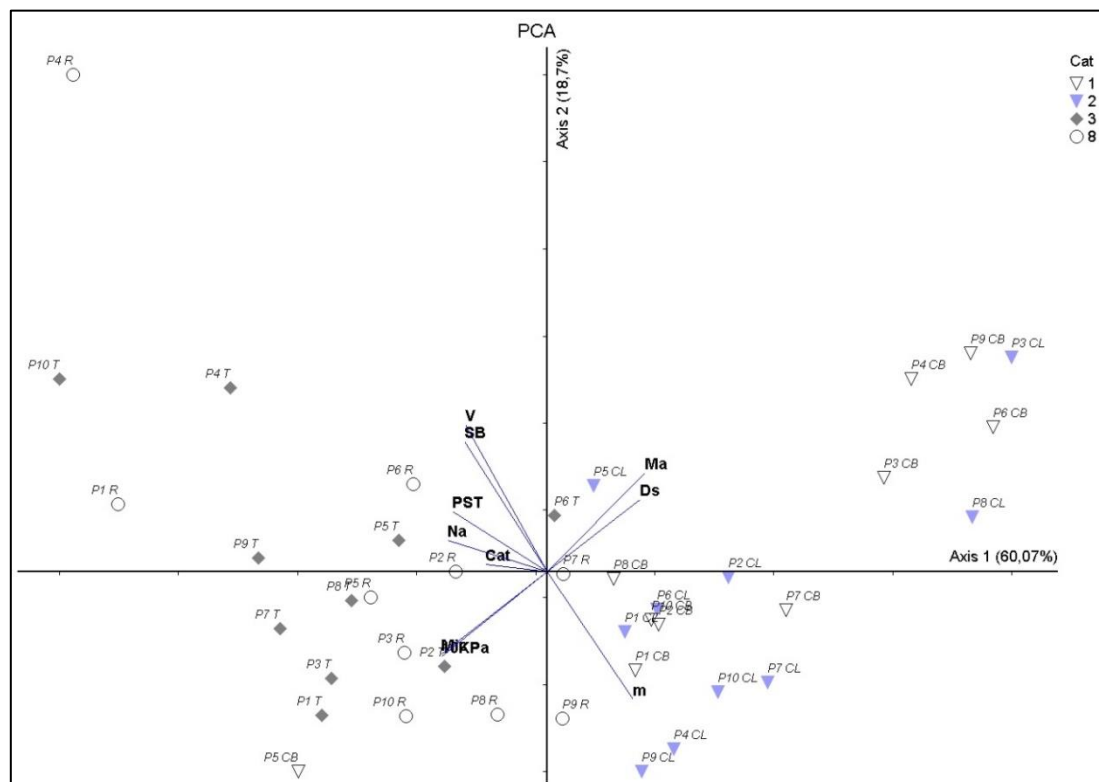


Figura 2. Diagrama de ordenação (PCA) das variáveis analisadas e atributos dos solos relacionados às parcelas referentes aos campos úmidos amostrados sob diferentes regimes de fogo, localizadas no Parque Nacional das Sempre Vivas (PNSV). Em que: (1) CB1 (1 ano sem fogo), (2) CL2 (2 anos sem fogo), (3) T3 (3 anos sem fogo) e (8) R8 (8 anos sem fogo).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos das amostras de solos coletadas nas áreas de estudo: umidade do solo nas estações seca e chuvosa, e sua variação das áreas de estudo, localizadas no Parque Nacional das Sempre-Vivas (PNSV) com diferentes tempos (anos) desde a última queima. Em que: Rancharia (R8 = 8 anos sem fogo), Torre (T3 = 3 anos sem fogo), Córrego de Lages (CL2 = 2 anos sem fogo), Córrego no Bicho (CB1 = 1 ano sem fogo).

	R			T			CL			CB			F	p				
Anos sem fogo	8			3			2			1								
Químicas:																		
pH em H2O	3,98	±	0,40	a	3,89	±	0,19	a	3,44	±	0,31	b	3,92	±	0,41	a	4,680	**
P - Mehlich (mg/dm³)	8,29	±	2,87		9,61	±	4,41		12,41	±	7,52		25,70	±	21,60		1,808	ns
K ⁺ (mg/dm³)	42,54	±	14,07	b	99,00	±	39,41	a	45,68	±	41,08	b	51,95	±	13,87	ab	6,263	**
Na ⁺ (mg/dm³)	21,46	±	8,99	ab	30,17	±	7,37	a	5,10	±	4,72	c	11,41	±	10,91	bc	15,895	***
Ca ⁺⁺ (cmol/dm³)	0,43	±	0,41	ab	0,36	±	0,25	a	0,14	±	0,07	c	0,16	±	0,05	bc	7,373	***
Mg ⁺⁺ (cmol/dm³)	0,20	±	0,23	a	0,12	±	0,09	a	0,06	±	0,03	ab	0,05	±	0,03	b	5,761	**
Al ⁺⁺⁺ (cmol/dm³)	3,66	±	1,44		3,86	±	1,61		5,10	±	1,40		4,26	±	1,04		1,902	ns
H + Al (cmol/dm³)	67,57	±	31,30		59,69	±	19,71		59,10	±	21,45		56,38	±	15,41		0,174	ns
SB - soma de bases (cmol/dm³)	0,83	±	0,67	ab	0,87	±	0,37	a	0,33	±	0,21	c	0,39	±	0,10	bc	8,865	***
t (cmol/dm³)	4,49	±	1,36		4,72	±	1,51		5,43	±	1,46		4,65	±	1,10		0,842	ns
T (cmol/dm³)	68,40	±	31,31		60,56	±	19,68		59,44	±	21,53		56,77	±	15,47		0,201	ns
m - saturação por alumínio (%)	80,34	±	13,98	bc	78,99	±	10,68	c	93,72	±	4,04	a	91,36	±	2,25	ab	9,269	***
V - saturação por bases (%)	1,41	±	1,29	ab	1,61	±	0,86	a	0,59	±	0,38	c	0,70	±	0,15	bc	7,212	***
PST - sódio trocável (%)	40,02	±	28,19	ab	56,14	±	22,86	a	9,19	±	9,86	c	17,56	±	12,53	bc	10,456	***
Matéria Orgânica (dag/Kg)	20,78	±	6,47		15,96	±	5,06		23,75	±	7,07		21,98	±	5,36		2,744	ns
Físicas:																		
Densidade do solo (g/cm³)	0,19	±	0,07	b	0,25	±	0,12	b	0,33	±	0,13	ab	0,45	±	0,20	a	6,144	**
Θ 6KPa (cm³/cm³)	0,69	±	0,05	a	0,75	±	0,04	a	0,59	±	0,08	b	0,59	±	0,10	b	10,735	***
Θ 10KPa (cm³/cm³)	0,68	±	0,05	a	0,74	±	0,04	a	0,59	±	0,08	b	0,58	±	0,10	b	10,419	***
Porosidade total determinada	1,13	±	0,04		1,21	±	0,07		1,18	±	0,07		1,24	±	0,14		2,165	ns
Microporosidade (cm³/cm³)	0,69	±	0,05	a	0,75	±	0,04	a	0,59	±	0,08	b	0,59	±	0,10	b	10,735	***
Macroporosidade (cm³/cm³)	0,44	±	0,05	bc	0,45	±	0,08	b	0,59	±	0,14	ab	0,64	±	0,21	a	4,793	**
Repelência (seg.) a 10 KPa	19,71	±	18,51		123,35	±	274,53		13,29	±	17,75		11,10	±	14,30		1,400	ns
Repelência (seg.) à 105° C	2995,60	±	1229,54	a	2727,77	±	1410,62	ab	863,58	±	1185,06	c	1194,68	±	1600,58	bc	5,542	**
Umidade do solo:																		
Estação seca – Setembro	38,22	±	36,98	b	76,64	±	36,67	a	22,36	±	10,89	b	22,40	±	18,47	b	8,268	***

Estação chuvosa – Março	88,98 ±	34,83 ab	121,21 ±	7,04 a	65,07 ±	36,88 b	78,95 ±	32,21 b	6,230 **
Variação de umidade	50,76 ±	31,75	46,59 ±	38,59	42,71 ±	31,73	56,55 ±	35,61	0,294 ns

Em que: letras iguais na linha, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ns Não significativo a 5% de probabilidade de erro. * (p-valor < 0,05), ** (p-valor < 0,005) e *** (p-valor < 0,0005).

Discussão

O fogo pode causar efeitos que modificam a composição química e física do solo (REDIM *et al.*, 2011), a depender da frequência e intensidade em que ocorrem (MUNIZ & BATALHA, 2008). O conjunto de nossas análises indicou diferenças significativas entre os efeitos do fogo ocorrido há um e dois anos e o fogo há mais tempo (três e oito anos). No entanto, os resultados também mostram que as áreas analisadas possuem especificidades e cada ambiente possui um conjunto de características próprias.

Em relação aos atributos químicos analisados, os valores de pH, V e T encontrados para os solos estão alinhados àqueles encontrados em solos orgânicos de outras localidades no Brasil (EBELING *et al.*, 2011) e no Parque Nacional das Sempre-Vivas (MELLO, 2012; COSTA, 2017).

A saturação por alumínio apresentou-se alta, e, apesar de pouca diferenciação estatística entre as áreas, mostrou-se aumentada em condições pós-fogo (locais queimados há menos tempo). Em organossolos estes íons (Al) permanecem associados aos compostos da matéria orgânica e reduzem a disponibilidade dos cátions (SILVA *et al.*, 2009), reduzindo a fertilidade do solo.

A literatura indica aumento do pH e de disponibilidade de Ca, Mg e K após o evento de fogo, atribuídos a um efeito alcalinizador das cinzas, que poderia perdurar por até dois anos (PIVELLO *et al.*, 2010). No entanto, estes resultados foram obtidos em solos de campo sujo. Em campos úmidos os resultados diferem, não ocorrendo aumento de pH e as demais modificações de aumento da disponibilidade de nutrientes perduram por um ano (OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 2018), ou até menos, 9 meses (SHIMIDT, 2011).

Portanto a passagem do fogo parece não afetar a capacidade de troca catiônica – CTC (T e t). A CTC em solos de turfa é variável e altamente dependente da matéria orgânica, em vista dos baixos teores de argila presentes na composição desses solos na região da Serra do Espinhaço (SILVA *et al.*, 2009).

Nossos resultados para os nutrientes acompanham parcialmente aqueles obtidos em campos úmidos, indicando teores de Ca e Mg menores nas áreas queimadas há menos tempo, em relação àquelas queimadas há mais tempo. Uma possível explicação para essa diferenciação é a possibilidade ter havido mais rápida lixiviação dos nutrientes (Ca e Mg) devido às chuvas (queimas prescritas realizadas em períodos mais úmidos) ocorridas possivelmente no período de máxima

disponibilidade destes nutrientes, 2 meses após o fogo (OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 2018) e também a oscilação do nível do lençol freático, característica intrínseca aos campos úmidos estudados. Além disso, o fato de as gramíneas do cerrado acumularem pouco Ca e Mg em suas folhas (HARIDASAN, 2000) poderia indicar a menor disponibilização dos cátions após queima ou mesmo durante a deposição de MO. Os baixos valores de cálcio e magnésio medidos acompanham os padrões encontrados em estudos anteriores no PNSV (MELLO, 2012; COSTA, 2017).

As concentrações de potássio (K) apresentaram-se elevadas, isto é importante ao passo que K, além de ser um macronutriente essencial para o crescimento vegetal, está também associado à mediação de respostas adaptativas das plantas ao ambiente, como regulador osmótico e melhorador nas relações hídricas (LLOYD *et al.*, 2015). Potássio apresenta maiores teores nos solos hidromórficos quatro meses após a ocorrência do fogo (OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 2018). Os teores de P (fósforo) encontrados atendem aos preceitos de da disponibilização de nutrientes no solo após o fogo (PIVELLO *et al.*, 2010) e o fósforo é um elemento que apresenta baixa mobilidade na solução do solo, e, portanto, é raramente perdido por lixiviação (KLEIN & AGNE, 2012). No entanto, por se tratar de ambiente alagado, há que se observar se os efeitos do aumento e redução dos teores de fósforo no solo em relação ao fogo acarretariam também o aumento do elemento na água, conforme demonstrado por (BARRAL, 2018).

Apesar do aumento de concentração de alguns nutrientes no solo após o fogo, a erosão hídrica e eólica pode ocasionar perdas minerais (REDIM *et al.*, 2011). Nossos resultados indicaram ainda elevados teores de sódio, sendo os mais altos nas áreas queimadas há mais tempo, no entanto não há evidências na literatura de que o fogo possa influenciar a concentração do íon. A salinidade em solos é comum em regiões áridas e semi-áridas, onde a pluviosidade é baixa e a evaporação alta, em áreas litorâneas, sob influência das marés (PEDROTTI *et al.*, 2015). No entanto, as concentrações elevadas de sódio podem estar associadas à pedogênese, pois solos halomórficos, ou salinos e sódicos podem ser desenvolvidos em condições de drenagem ineficiente assim como podem ter relação com a formação geológica da paisagem (PEDROTTI *et al.*, 2015). Considerando que as áreas de estudo são hidromórficas, e que há faixas geológicas da Formação geológica Sopa-

Brumadinho na região, é possível que as condições de salinidade encontradas sejam naturais. Assim, sugerimos que este parâmetro seja alvo de investigação mais detalhada em pesquisas futuras, a considerar possível toxidez para as plantas (LLOYD *et al*, 2015).

Observamos maior teor de matéria orgânica nos solos queimados há menos tempo, assim como em outros estudos no mesmo tipo de ambiente (SILVA & BATALHA, 2008; OLIVEIRA-FILHO *et al*, 2018). A matéria orgânica é elemento fundamental em organossolos, ao passo que é a responsável pela adsorção de cátions (SILVA *et al* 2009) e está diretamente relacionada à densidade do solo e capacidade de retenção hídrica (CAMPOS *et al*, 2011).

O fogo pode desencadear uma propriedade de repelência dos solos à água (DEBANO, 2000). Em nossas análises, não encontramos significativa repelência à água nas amostras em condições de conteúdo de água gravitacional de 10 KPa, o que indica que após a realização das queimadas prescritas, a hidrofobicidade do solo caso tenha ocorrido, não persistiu um ano após a queima. Considerando que a queima foi realizada no período das chuvas, este fato pode ter impedido a formação de repelência, visto que esta propriedade pode estar mais associada à baixa umidade do solo (WU *et al*, 2019) do que à volatilização dos compostos orgânicos conforme relatado anteriormente (DEBANO, 2000). Por este mesmo motivo (umidade), todas as amostras adquiriram severa Hidrofobicidade após a secagem a 105°C. A Hidrofobicidade do solo é afetada pelo aumento da temperatura acima de 70°C, e pela redução da umidade do solo a partir de uma zona crítica que varia em função do teor de matéria orgânica mesmo a partir de 25°C (WU *et al*, 2019), ou abaixo de sua capacidade de campo medida a 10KPa (VOEGELMANN, 2014). Considerando a variação dos teores de umidade superficial do solo obtidos em campo e ainda nossos resultados do teste de hidrofobicidade a 105°C (quando todas as amostras tornaram-se severamente hidrofóbicas); e extrapolando possibilidades com os dados de temperaturas de queimadas experimentais obtidos em campos úmidos do Jalapão (entre 57 e 331°C a 1 cm acima do solo) (SHIMIDT *et al.*, 2017); pode-se inferir que os organossolos dos campos úmidos do PNSV possuem grande potencial de tornarem-se hidrofóbicos sob condições de queimadas controladas ou incêndios, tanto no final da estação úmida como na seca, a depender do teor de umidade no solo no momento da queima.

Cabe considerar que as amostras de solo foram coletadas após período chuvoso, e, além disso, nossos resultados são aplicados a locais que foram submetidos a queimadas prescritas, realizada no final ou durante a estação chuvosa, sob temperatura e umidade do ar adequadas a proporcionar baixa intensidade e menor propagação das chamas, assim como menores temperaturas no solo e na vegetação. Os elevados desvios dos dados em relação às médias (Tabela 1) são um reflexo do regime de manejo de fogo, onde o comportamento das chamas varia formando um mosaico de partes queimadas mais, ou menos intensamente (BERLINK & BATISTA, 2020). Este é um dos objetivos ao se utilizar queimadas de baixo impacto, buscando heterogeneizar os ambientes, possibilitando influenciar de diferentes formas as relações na comunidade ecológica local. Essa condição de Hidrofobicidade, mesmo que perdure por pouco tempo, afeta diretamente os processos hidrológicos no solo, aumentando o escoamento superficial, ocasionando erosão, e impedindo a absorção da água pelo solo (DEBANO, 2000). Acrescenta-se que a remoção da vegetação promovida pela queima também contribui sobremaneira para estes processos erosivos e baixa infiltração da água (RODRIGUES *et al*, 2019).

Acerca das análises físicas do solo, nossos resultados indicam que com a proximidade do evento fogo a densidade e a macroporosidade do solo aumentam e a microporosidade diminui, respaldando parcialmente os dados da literatura (HOLDEN *et al*, 2013), visto que há relatos de redução da macroporosidade (REDIN *et al*, 2011) após fogo. A densidade também é afetada pelas características da matéria orgânica e seu grau de decomposição, sendo que quanto maior o grau de decomposição, menor é a densidade (CAMPOS *et al*, 2011).

A capacidade de retenção hídrica mostrou-se reduzida nas áreas queimadas há menos tempo, apesar de não ter sido encontrada hidrofobicidade nestas amostras a 10 KPa. Tal fato está relacionado ao aumento da densidade do solo, ocasionando a redução dos microporos, onde a água estaria retida. Os macroporos nestas amostras funcionam como receptores da água infiltrada que, no entanto, só permanece no solo enquanto dura o período chuvoso. Considerando a porosidade total (Tabela 1) como a máxima retenção hídrica de um organossolo (ANDRIESSE, 1998), e a capacidade média de retenção para a região do Espinhaço de 83% de água (CAMPOS, 2012) a capacidade de retenção hídrica de todas as áreas estudadas ainda

está aquém do possível, e a exclusão de regimes de queima por períodos ainda maiores que 8 anos (HOLDEN *et al*, 2015) poderia auxiliar na recuperação desta condição natural, a depender também dos regimes de precipitação futuros (PIVELLO *et al*, 2021; BARBOSA *et al*, 2021).

Há que se considerar que houve queima subterrânea, em diferentes extensões e intensidades nas três áreas submetidas ao fogo prescrito. Fogos subterrâneos, ou sem chamas possuem combustão lenta e persistente, e a umidade do solo é a propriedade mais importante que rege sua ignição, propagação e extinção. (HUANG & REIN, 2015). A ignição pode acontecer com teores de umidade no solo variando em torno de 40 a 150%, porém a umidade crítica para a extinção da queima latente (subterrânea e sem chamas) pode ser muito maior (HUANG & REIN, 2015). Esta afirmação explica a queima subterrânea que ocorreu na época de chuvas, no mês de dezembro na área CB, mesmo quando havia água aflorando no solo, indicando mais uma vez a susceptibilidade dos solos orgânicos aos efeitos negativos do fogo. De fato, fogo subterrâneo vem ocorrendo no Parque Nacional das Sempre-Vivas independente de época de queima (*observação pessoal*). Realizar a queima durante a estação chuvosa proporciona maior facilidade para extinção natural das chamas, sem que seja necessário cavar trincheiras para evitar a propagação da combustão, técnica de combate nem sempre adequada, pois pode levar à drenagem do solo, agravando a situação.

R8 apresentou médias de umidade superficial baixas na estação seca e com grande variação ($38,22 \pm 36,98\%$), indicando heterogeneidade ambiental, e redução da umidade do solo provavelmente em cotas mais elevadas. As variáveis de profundidade do solo e altitude são características inerentes ao ambiente, e não podem variar em relação ao fogo, no entanto auxiliam na interpretação dos resultados.

Algumas divergências encontradas entre os resultados obtidos e outros citados na literatura indicam que podem haver diferentes respostas químicas, físicas e hidrológicas ao fogo, dependendo do tipo de solo, tipo de vegetação e severidade do fogo (HOLDEN *et al*, 2013). Fato que ressalta a importância de serem realizados mais estudos considerando as diversas possibilidades experimentais, frisando a necessidade de abordagens em diferentes escalas temporais e espaciais (GOMES *et al*, 2018).

É fato que os graves e extensos incêndios da estação seca poderiam causar danos maiores ao solo e aos serviços ecossistêmicos relacionados à

água (NEARY & LEONARD, 2020), visto que a perda de vegetação em grades extensões acarretaria redução da infiltração ocasionando déficits no armazenamento das águas subterrâneas (RODRIGUES *et al*, 2019) e maior tempo de recuperação do solo. No entanto, comparações entre incêndios e queimas prescritas em ecossistemas campestres mostraram pequenas diferenças nos impactos causados às características físicas dos solos (ZEH *et al*, 2020; NEARY & LEONARD, 2020; FONSECA *et al*, 2022; SILVA *et al*, 2022).

Porém o manejo integrado do fogo permite múltiplas possibilidades de ação, como queima prescrita de outras fitofisionomias propensas ao fogo (campo sujo e cerrado) formando aceiros naturais ao redor das áreas úmidas. Não obstante, a utilização de diferentes técnicas e janelas de queima, o chamado manejo adaptativo, consiste também em possibilidades para o manejo de fogo em áreas naturais.

Conclusion

Nossos resultados indicam que o fogo em campos úmidos acarreta um aumento dos níveis de alguns nutrientes nos organossolos, como potássio e fósforo, porém não tem efeito alcalinizador (aumento do pH).

A propriedade de repelência do solo à água que pode ser desencadeada pelo aquecimento do solo durante a queima não foi observada nas áreas de estudo nas amostras com (10Kpa de umidade gravimétrica).

A frequência de três anos, mesmo em regime de queima prescrita, ocasiona aumento da densidade e redução da microporosidade nos organossolos, e, conseqüentemente, reduz a capacidade de retenção hídrica.

Considerando que a capacidade de retenção hídrica elevada é uma das garantias da manutenção dos serviços ecossistêmicos das áreas úmidas, e diante das informações apresentadas, cabe refletir sobre a viabilidade de regimes de manejo de fogo em campos úmidos.

Em um cenário de mudanças climáticas globais seria prudente abrir mão da máxima retenção hídrica possível em bacias hidrográficas? Acreditamos que nossos resultados apontam que não.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao ICMBio, a

licença concedida e a todos os funcionários do Parque Nacional das Sempre-Vivas (PNSV).

Referencias

- Andriesse, J., 1988. Nature and Management of Tropical Peat Soils. Food and Agriculture Organization (FAO) of United Nations, Rome.165p.
- Barral, U. M. , 2018. Hidrologia e fluxo de carbono em turfeiras tropicais de montanha. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal.70p. Diamantina, MG <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/1996>
- Berlink. C.N & Batista, E.K.L, 2020. Good fire, bad fire: It depends on who burns. *Flora* (268)151610. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151610>
- Biggs, J.; von Fumetti, S.; Kelly-Quinn, M., 2016. The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers *Hydrobiologia* DOI 10.1007/s10750-016-3007-0
- Bisdorn, E.B.A; Dekker, L.W.; Schoute, J.F.TH., 1993. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*, 56 p 105 – 118.
- Blackwell, M. S.A. & Pilgrim, E. S., 2011. Ecosystem services delivered by small-scale wetlands. *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, 56(8) 1467 Special issue: Ecosystem Services of Wetlands
- Bowman, D.M.J.S.; Perry, G.L.W., Higgins, S.I. ; Johnson, C.N.; Fuhlendorf, S.D. & Murphy, B.P., 2016. Pyrodiversity is the coupling of biodiversity and fire regimes in forests. *Phil. Trans. R. Soc. B* 371: 20150169. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0169>
- Bozelli, R.L; Farias, D.S.; Lima, S.K.F.; Lira, R.T.S.; Nova, C.C.; Setubal, R.B. & Sodré, E.O., 2018. Pequenas áreas úmidas: importância para a conservação e gestão da biodiversidade brasileira. *Diversidade e Gestão* 2(2): 122-138. 2018. Volume Especial: Conservação in situ e ex situ da Biodiversidade Brasileira.
- Campos, J.R.R., Silva, A.C., Fernandes, J.S.C., Ferreira, M.M., Silva, D.V., 2011. Water Retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1217-1227.
- Campos, J.R.R., Silva, A.C., Vidal-Torrado, P., 2012. Mapping organic matter mass and water volume of mires in Serra do Espinhaço Meridional. *R. Bras. Ci. Solo*. 36, 723–732.
- Causton, D.R., 1988. An introduction to vegetation analysis, principles, practice and interpretation. London, UK: Unwin Hyman, 342p.
- Cienciaruso, M.V.; Batalha, M.A., 2008. A year in a wet grassland: a non-seasonal island in a seasonal savanna environment. *Braz. J. Biol.*, 68(3): 495-501. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000300005>
- Cochrane, M. A.; Ryan, K.C., 2009. Fire and fire ecology: Concepts and principles. In: Cochrane, Mark A., ed. *Tropical fire ecology: Climate change, land use, and ecosystem dynamics*. Springer-Praxis Books in Environmental Sciences. Chichester, UK: Praxis Publishing, Ltd. p. 25-62.
- Coelho, M.S., Fernandes, G.W., Pacheco, P., Diniz, V., Meireles, A., Santos, R.M., Carvalho, F.C., Negreiros, D., 2016. Archipelago of montane forests surrounded by rupestrine grasslands: new insights and perspectives. In: Fernandes, G.W. (Eds.), *Ecology and Conservation of mountaintop grasslands in Brazil*, Springer, New York, pp. 129–153.
- Colli-Silva, M.; Vasconcelos, T. N. C.; Pirani, J. R. Outstanding plant endemism levels strongly support the recognition of campo rupestre provinces in mountaintops of eastern South America. *Journal of Biogeography*, v. 01, p.1–11. 2019. <https://doi.org/10.1111/jbi.13585>
- Costa, T. R.; Moura, C. C. ; Silva, L. S. ; Gonzaga, A. P. D. ; Machado, E. L. M. A Teoria Neutra pode explicar a estrutura da comunidade de ilhas florestais em uma montanha tropical?. *REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA*, v. 15, p. 031, 2022. DOI 10.26848/rbgf.v15.1.p031-049.
- Costa, T. R.; Moura, C. C.; Machado, E. L. M; Gonzaga, A. P. D. Flora arbórea de capões na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. *Revista Espinhaço*, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2021b. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5104405>
- Costa, T. R.; Moura, C. C.; Silva, L. S.; Gonzaga, A. P. D.; Machado, E. L. M. Funcionalidade de ilhas florestais na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. In: Almeida, P.; Martins, F. eds. *Pesquisa e desenvolvimento de abordagens para o ensino de ciências biológicas*. Teresina, Editora Ampila, 1ed. p. 93-108. 2021a. DOI:10.22533/at.ed.023202209.
- Costa, T.R., 2017. Análise florístico-estrutural, relação vegetação-ambiente e transição floresta-campo das matas de galeria do Parque Nacional das Sempre-Vivas, MG. 2017, 135p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da

- Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, MG.
- Cunha, C N. da; Piedade, M.T.F.; Junk, W.. 2015. Classificação e delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats. Parte I: Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas úmidas - INAU. 165p.
- DeBano, L.F., 2000. The role of fire and soil heating on water repellency inwildland environments: a review. L.F. Journal of Hydrology 231–232 . 195–206.
- Dekker, L.W; Doerr, H.D.; Oostindie, K.; Ziogas, A.K.; Ritsema, C.J., 2001. Water Repellency and Critical Soil Water Content in a Dune Sand. *Soil Sci. Soc. Am. J. V. 65*, p.1667–1674.
- Ebeling, A. G.; dos Anjos, L. H. C.; Perez, D.V.; Pereira , M. G. & Gomes, F.W. de F., 2011. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em organossolos háplicos de várias regiões do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:325-336.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 1997 Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Teixeira, P.C. ... [et al.], 2017 Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: EMBRAPA. 574 p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA., 2018 Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF : Embrapa. 356p.
- Ferreira, E.B.; Cavalcanti, P.P.; Nogueira, D.A., 2013. ExpDes: experimental designs package. R package version 1.1.2.. Available at: <https://cran.r-project.org/>. Accessed on: Jul 07 2020.
- Figueira, J. E. C., Ribeiro, K. T., Ribeiro, M. C., Jacobi, C. M., França, H., de Oliveira Neves, A. C., Conceição, A.A.; Mourão, F.A; Souza, J.M. & de Knecht Miranda, C. A., 2016. Fire in rupestrian grasslands: plant response and management. *In Ecology and Conservation of mountaintop grasslands in Brazil*. Springer, New York, pp. 415-448.
- Finlayson, C.M., 2017. Climate change and wetlands. *In* C.M. Finlayson, M. Everard, K. Irvine, R.J. McInnes, B.A. Middleton, et al. (eds) *The Wetland Book*. Springer.
- Fonseca, B.M.; Galvão, L.M.; Sousa, F.D.R.; Elmoor-Loureiro, L.M.A.; Souza, M.B.G.; Pinto, R.L.; Petracco, P.; Regina Célia de Oliveira, R.C.; Lima, E.J., 2018. Biodiversity in Pristine Wetlands of Central Brazil: a Multi-Taxonomic Approach *Wetlands* 38:145–156 <https://doi.org/10.1007/s13157-017-0964-7>
- Freitas, M. A.; Schietti, J., 2015. Protocolo de instalação de piezômetros em locais com nível freático pouco profundo (áreas sazonalmente encharcadas). https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Protocolo_instalacao_piezometro.pdf. (Acesso 12 de junho de 2020).
- Gomes, C.S.; Magalhães-Junior, A.P.M., 2018. Sistemas de classificação de áreas úmidas no Brasil e no mundo: panorama atual e importância de critérios hidrogeomorfológicos. *JAppl Ecol.* 2018; 55:2094–2101.
- Gomes, L.; Miranda, H.S.; Bustamante, M.M.C., 2018. Como podemos avançar no conhecimento sobre o comportamento e os efeitos do fogo no bioma Cerrado? “Forest Ecology and Management” <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.032>
- Gonzaga, A. P. D. ; Machado, E. L. M. . Paisagens e vegetação da região do Espinhaço Meridional. *Regnella Scientia*, v. 7, p. 162-186, 2021.
- Gonzaga, A. P. D.; Mendonça-Filho, C. V.; Machado, E. L. M.; Costa, F. N. As plantas e as flores. *In: Santos-Júnior, L. A. Ed. Minas Gerais e Orléans: olhares cruzados no Caminho Saint Hilaire*. Belo Horizonte : Ramallete, p. 73-90, 2021.
- Haridassan, M. 2000. Nutrição Mineral de Plantas Nativas do Cerrado. *R. Bras. Fisiol.Veg.*, 12(1):54-64, 2000
- Holden J.; Wearing, C.; Palmer, S.; Jackson, B.; Johnston,K. & Brown, L. E., 2013. Fire decreases near-surface hydraulic conductivity and macropore flow in blanket peat. *Hydrol. Process.* 28, 2868–2876 (2014) Published online 17 May 2013 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: [10.1002/hyp.9875](https://doi.org/10.1002/hyp.9875)
- Holden, J. Palmer; S. M.; Johnston K.; Wearing C.; Irvine,B. & Brown, L. E., 2015. Impact of prescribed burning on blanket peat *Hydrology, Water Resour. Res.*, 51, 6472–6484. doi:10.1002/2014WR016782.
- Huang, X & Rein, G., 2015. Computational study of critical moisture and depth of burn in peat fires. *International Journal of Wildland Fire* 2015, 24, 798–808. <http://dx.doi.org/10.1071/WF14178>

- Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Lourival, R.; Wittmann, F.; Kandus, P.; Lacerda, L. D.; Bozelli, R. L.; Esteves, F. A.; Cunha, C. N.; Maltchik, L.; Schoengart, J.; Schaeffer-Novelli, Y.; Agostinho, A. A., 2013. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 24:5–22 DOI: 10.1002/aqc.2386
- Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Lourival, R.; Wittmann, F.; Kandus, P.; Lacerda, L. D.; Bozelli, R. L.; Esteves, F. A.; Cunha, N. C.; Maltchik, L.; Schongart, J.; Schaeffer-Novelli, Y.; Agostinho, A. A.; Nóbrega, R. L. B.; Camargo, E., 2015. Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats. Parte I: Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável. In: CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats. Cuiabá: EdUFMT, 165 p.
- Junk, W.J., An, S., Finlayson, C.M. *et al.*, 2013a. Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquat Sci* 75, 151–167 . <https://doi.org/10.1007/s00027-012-0278-z>
- Klein, C. & Agne, S.A.A., 2012. Fósforo: de nutriente a poluente! *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* v(8), nº 8, p. 1713-1721, SET-DEZ, 2012. <http://dx.doi.org/10.5902/223611706430>
- Lloyd, J.; Domingues, T. F.; Schrodt, F.; Ishida, F. Y.; Feldpausch, T. R.; Saiz, G.; Quesada, C. A.; Schwarz, M.; Torello-Raventos, M.; Gilpin, M.; Marimon, B. S.; Marimon-Junior, B. H.; Ratter, J. A.; Grace, J.; Nardoto, G. B; Veenendaal, E.; Arroyo, L.; Villarreal, D.; Killeen, T. J.; Steininger, M. & Phillips, O. L., 2015. Edaphic, structural and physiological contrasts across Amazon Basin forest–savanna ecotones suggest a role for potassium as a key modulator of tropical woody vegetation structure and function. *Biogeosciences*, 12, 6529–6571 www.biogeosciences.net/12/6529/2015/ doi:10.5194/bg-12-6529-2015
- Marrs, R.H., Marsland, E., Lingard, R. *et al.*, 2019. Experimental evidence for sustained carbon sequestration in fire-managed, peat moorlands. *Nature Geoscience* 12, 108–112 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0266-6>
- McCune, B. and Mefford, M. J., 2011. PC-ORD. Multivariate analysis of Ecological Data, Version 6.0 for Windows. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- MEA(Millennium Ecosystem Assessment)., 2005. Ecosystems and human well-being: wetlands and water. Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC. 68p
- Mello, T. R. B., 2012. Comunidade Herbáceo-Arbustivas e suas relações com solo e altitude, em áreas secas e úmidas, no Parque Nacional das Sempre-Vivas, MG. 2012, 58 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Botânica do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília. DF.
- Ministério do Meio Ambiente - MMA/ICMBIO, 2016. Plano de Manejo do Parque Nacional das Sempre-Vivas. 222 p. Brasília. DF.
- Ministério do Meio Ambiente - MMA/ICMBIO, 2017. Plano de Manejo Integrado do Fogo – PMIF. X p Diamantina, MG
- Miranda, H. S., 2010. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do projeto Fogo. Brasília-DF, Ibama. 144p.
- Mitsch, W. J.; GOSSELINK, J. G.,2007. Wetlands. 4. ed. John Wiley e Sons, Inc. US. 582 p.
- Moor, e. a. P.A.; Lukenbacha, M.C.; Kettridge,N.;Petrone, R.M.; Devito, K.J.; Waddington, J.M., 2017. Peatland water repellency: Importance of soil water content, mossspecies, and burn severity. *Journal of Hydrology* 554 (2017) 656–665
- Moura, C. C.; Costa, T. R.; Oliveira, P. A.; Fonseca, D. C.; Machado, E. L. M. Como é a estrutura e a diversidade alpha e beta de matas de galeria inundáveis? *Diversitas Journal*, v. 6, p. 1920-1945, 2021.
- Munhoz, C.B.R & Felfili, J.M., 2008 Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo em campo limpo úmido no Brasil Central *Acta bot. bras.* 22(4): 905-913.
- Muniz, D.S.& Batalha, M.A., 2008. Soil-vegetation relationships in cerrados under different fire frequencies. *Plant Soil* (2008) 311:87–96 DOI 10.1007/s11104-008-9660-y
- Neary, G.D., & Leonard, J.M., 2020. Effects of Fire on Grassland Soils and Water: A Review. *Grasses and Grassland Aspects.Intechopen* doi:10.5772/intechopen.90747
- Oliveira-Filho, E.C; Brito, D.Q.; Dias, Z.M.B.; Guarieiro, M.S.; Carvalho, E.L.; Fascineli, M.L.; Niva, C.C..Gisolia, C.K., 2018. Effects of

- ashes from a Brazilian savanna wildfire on water, soil and biota: An ecotoxicological approach. *Science of the Total Environment* 618 . 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.051>
- Pedrotti, A.; Chagas, R.M., Ramos, V.C., Prata, A.P.N, Lucas, A.A.T. & dos Santos, P.B., 2015 Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria*, v. 19, n. 2, mai-ago. p. 1308-1324 DOI: 105902/2236117016544
- Pivello V.R., Oliveras, I, Miranda, H.S., Haridasan M., Sato M.N., Meirelles S. T., 2010. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil Plant Soil. Springer Science+Business Media B.V. 2010 DOI 10.1007/s11104-010-0508-x
- Pivello, V. R. , Vieira, I. , Christianini, A. V. , Ribeiro, D. B., Menezes, L.S. , Berlinck, C. N. , Melo, F. P. L. , Marengo, J. A. , Tornquist, C. G. , Tomas, W. M. , Overbeck, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 19, n 3, p. 233-255, 2021. DOI 10.1016/j.pecon.2021.06.005.
- Pougy, N., Verdi, M., Martins, E., Loyola, R., Martinelli, G. (Orgs.), 2015. Plano de Ação Nacional para a conservação da flora ameaçada de extinção da Serra do Espinhaço Meridional. CNCFlora : Jardim Botânico do Rio de Janeiro : Laboratório de Biogeografia da Conservação : Andrea Jakobsson Estúdio, Rio de Janeiro. 100 p.
- RAMSAR., 2016. An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands, 7th ed. (previously The Ramsar Convention Manual). Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland. <https://www.ramsar.org/about/the-convention-on-wetlands-and-its-mission>. Acesso em 16/07/2020.
- Redin, M.; dos Santos, G. F.; Miguel P. ; Denega, G. L.; Lupatini, M. ; Doneda, A.; de Souza, E. L., 2011. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 2, p. 381-392, abr.-jun., 2011 Santa Maria, RS.
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T., 1998. Fitofisionomias do Bioma Cerrado,. In Sano, SM. & Almeida, SP. (eds.). *Cerrado: Ambiente e Flora*, EMBRAPA-CPAC, Brasília p. 98-166.
- Rodrigues, E.L.; Jacobi, C.M.; Figueira, J.E.C., 2019. Wildfires and their impact on the water supply of a large neotropical metropolis: A simulation approach. *Science of the Total Environment* 651 .p. 1261–1271. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.289>
- Schmidt, I.B., 2011. Effects of local ecological knowledge, harvest and fire on golden-grass (*Syngonanthus nitens*, Eriocaulaceae), a non-timber forest product (NTFP) species from the Brazilian savanna. Dissertação (Doutorado), Botany Department/Ecology, Evolution and Conservation Biology Program, University of Hawai'i at Manoa, Honolulu, 212 p.
- Schmidt, I.B., Fidelis, A., Miranda, H.S. et al , 2017. How do the wets burn? Fire behavior and intensity in wet grasslands in the Brazilian savanna. *Braz. J. Bot* 40, 167–175 (2017). <https://doi.org/10.1007/s40415-016-0330-7>
- Serran, J.N.; Creed, I.F.; Ameli, A.A.; Aldred, D.A., 2018. Estimating rates of wetland loss using power-law functions. *Wetlands* (2018) 38:109–120 <https://doi.org/10.1007/s13157-017-0960-y>
- Silva, A. C.; Horák, I.; Cortizas, A. M. ; Vidal-Torrado, P.; Racedo, J. R.; Graziotti, P.H.; Silva, E. B. & Ferreira, C. A., 2009. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional – MG. I – Caracterização e Classificação. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1385-1398.
- Silva, M. L., Silva, A. C., Silva, B. P. C., Barral, U. M., Soares, P. G. S.; Vidal-Torrado, P., 2013 Surface mapping, organic matter and water stocks in peatlands of the Serra do Espinhaço meridional - Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(5), 1149-1157.
- Silva, M.L., Silva, A.C., 2017. Gênese e evolução de turfeiras nas superfícies geomórficas da Serra do Espinhaço Meridional – MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia* v. 18, nº1. Doi:<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1058>
- Silveira, F.A.O., Negreiros, D.; Barbosa, N.P.U., Buisson. E.; Carmo, F.F., Carstensen D.W., Conceição, A.A., Cornelissen, T.G.; Echternacht, L., Fernandes, G.W., Garcia, Q.S., Guerra, T.J., Jacobi, C.M., Lemos-Filho, J.P., Le Stradic, S., Morellato, L.P.C., Neves, F.S., Oliveira, R.S., Schaefer, C.E., Viana, P.L., Lambers, H., 2016. Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. *Plant Soil* 403:129–152 DOI 10.1007/s11104-015-2637-8
- Soares, T. B. O., 2016. Avaliação de áreas queimadas no Parque Nacional das Sempre-Vivas – MG: Contribuições para a implantação do Manejo Integrado do Fogo. 2016, 124 p.

- Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Geografia, UFMG, Belo Horizonte- MG. 2016.
- Vieira, J. P.G.; Souza, M. J. H.; Teixeira, J. M.; Carvalho, F. P., 2010. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. *Revista Agriambi, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande - PB. v. 14, n. 7, p.762-767. <http://www.agriambi.com.br>
- Vogelman, E.S., 2014. Relações da Matéria Orgânica com a Hidrofobicidade do Solo. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2014
- Walter, B.M.T. & Ribeiro, J.F., 2010. Diversidade Fitosionômica e o papel do fogo no bioma cerrado. *In* Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do projeto Fogo. Brasília-DF, Ibama. 144p.
- Wu, Y., Zhang, N., Slater, G., Waddington, J.M., Lanoy, C.F., 2019. Hydrophobicity of peat soils: Characterization of organic compound changes associated with heat-induced water repellency. *Science of Total Environment* 136444. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.136444
- Barbosa, E. G. , Daibes, L. F , Novaes, R. B. , Pivello, V. R. , Fidelis, A. . Fire cues and germination of invasive and native grasses in the Cerrado. *Acta Botanica Brasilica*, v. 34, p. 185-191, 2020. DOI 10.1590/0102-33062019abb0337.
- Silva, C., Viana, I., Souza, D., Silva, D., Portella, A., Giongo, M. Efeito do fogo na abundância e diversidade fúngica no solo do Cerrado. *Ciência Florestal*, v. 31, n. 4, p. 1910-1929. 2022. DOI 0.5902/1980509854717.
- Fonseca, K. ; Horák-Terra, I. ; Silva, A. C. ; Vidal-Torrado, P. ; Luz, C. F. P. . Catálogo polínico de um testemunho pleistocênico da turfeira Sempre-Vivas inserida no Bioma Savana Tropical, Brasil. *HOEHNEA*, v. 48, p. e1262020, 2021. DOI 10.1590/2236-8906-126/2020
- Zeh, L.; Igel, M. T.; Schellekens, J.; Limpens, J.; Bragazza, L.; Kalbitz, K. Vascular plants affect properties and decomposition of moss-dominated peat, particularly at elevated temperatures. *BIOGEOSCIENCES*, v. 17, n. 19, p. 4797-4813, 2020.