

Avaliação da dinâmica de cobertura em área de cerrado stricto sensu com uso do software ImageJ®

Evaluation of cover dynamics in a 'Cerrado' stricto sensu area using ImageJ® software

Evaluación de la dinámica de la cubierta en un área de 'Cerrado' stricto sensu utilizando el software ImageJ®

Julielen Zanetti Brandani

<https://orcid.org/0000-0001-6310-0576>

julielen_zanetti@hotmail.com

Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, UEMS, Dourados, MS, Brasil

Shaline Séfara Lopes Fernandes

<https://orcid.org/0000-0001-8525-404X>

Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, UEMS, Dourados, MS, Brasil

Thayne Danieli Schmidt Zolin

<https://orcid.org/0000-0003-0005-1417>

thayneschmidt@yahoo.com.br

Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, UEMS, Dourados, MS, Brasil

Normandes Matos da Silva

<https://orcid.org/0000-0002-4631-9725>

normandes32@gmail.com

Universidade Federal de Rondonópolis, UFR, Rondonópolis, MT, Brasil

Etenaldo Felipe Santiago

<https://orcid.org/0000-0001-6838-1098>

felipe@uems.br

Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, UEMS, Dourados, MS, Brasil

Resumo: O fogo das queimadas tem assumido papel central nas discussões sobre conservação de ambientes no Brasil e no mundo. Neste estudo foram investigadas a evolução temporal da cobertura do solo e o restabelecimento da vegetação de uma área queimada (AQ) e outra não queimada (ANQ) em uma área de cerrado *stricto sensu*, utilizando imagens aéreas e o *software* ImageJ®. A cobertura de solo pouco se

alterou com o tempo e não foi verificada diferença entre as áreas para restabelecimento da vegetação. Por outro lado, o *software* ImageJ® mostrou-se útil nas avaliações da evolução de cobertura do solo e, por sua simplicidade e acesso livre, pode ser empregado no processamento de imagens individuais para o cálculo de área de solo exposto.

Palavras-chave: ARPs, Imagens aéreas, vegetação de cerrado.

Abstract: Fires have taken a central role in the discussions on environmental conservation in Brazil and worldwide. In this study, we investigated the temporal evolution of soil cover and the restoration of vegetation in a burned area (BA) and another unburned area (UBA) in a Cerrado *stricto sensu*, using aerial images and the ImageJ® software. Soil cover changed little over time and there was no difference between the areas regarding restoration of vegetation. Otherwise, the ImageJ® software proved useful in evaluating the evolution of soil cover and, due to its simplicity and free access, it can be used in the processing of individual images for the calculation of exposed soil area.

Keywords: Drone, Aerial images, Cerrado vegetation.

Resumen: El fuego de las quemadas tiene asumido un papel central en las discusiones sobre la conservación de ambientes en Brasil y en el mundo. En este estudio, se investigó la evolución temporal de la cobertura del suelo y la restauración de la vegetación de un área quemada (AQ) y otra no quemada (ANQ) en un cerrado *stricto sensu*, utilizando imágenes aéreas y el software ImageJ®. La cobertura del suelo poco se cambió con el tiempo y no fue constatada diferencia entre las áreas para restauración de la vegetación. Por otro lado, el software ImageJ® se mostró útil para evaluar la evolución de la cobertura del suelo y, por su simplicidad y acceso libre, puede ser utilizado en procesamiento de imágenes individuales para el cálculo del área del suelo expuesto.

Palabras clave: Dron, Imágenes aéreas, vegetación de cerrado.

INTRODUÇÃO

O uso e ocupação do solo e sua forte pressão sobre a cobertura vegetal nativa vem despertando a atenção global sobre as áreas florestadas tropicais. Ao considerar o acelerado processo de perda de habitat observado na maior unidade vegetacional do Mato Grosso do Sul, o Cerrado, torna-se imperativo o entendimento da dinâmica deste sistema diante de fatores importantes e atuais, como por exemplo, o fogo das queimadas.

Se por um lado o fogo possui papel modulador na flora do Cerrado, considerada uma das mais ricas e com maior grau de endemismo entre as savanas tropicais do mundo (Ribeiro & Walter, 2008; Bueno, Oliveira-Filho, Pontara, Pott & Damasceno-Junior, 2018), por outro, o aumento da frequência do uso do fogo como forma de manejo do solo, associado à extração da cobertura vegetal nativa, implicam nos principais fatores de risco ao bioma. Neste contexto, são fundamentais os estudos com novas tecnologias de monitoramento ambiental visando o maior entendimento da dinâmica destes sistemas (Kolb, Pilon & Durigan, 2016).

No Brasil é crescente a demanda por produtos eficientes na avaliação ambiental e agricultura de precisão, induzindo pesquisas voltadas ao desenvolvimento de técnicas e

equipamentos capazes de fornecer subsídios para a gestão territorial (Canavesi, Ponzoni & Valeriano, 2010), dentre os quais se destacam o uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) ou drones, aliados a ferramentas de processamento e análise das imagens digitais geradas pelos sensores acoplados a estes equipamentos.

Dentre as vantagens técnicas e econômicas do uso de ARPs se destacam a aplicabilidade e atendimento às necessidades de diferentes projetos, uma vez que parâmetros como resoluções, escalas e tipos de sensores estão estritamente relacionadas com as características das imagens (Morgan, Gergel & Coops, 2010; Cândido, Silva & Paranhos Filho, 2015), a possibilidade de coleta de informações georreferenciadas de várias áreas em relativo curto espaço de tempo, os baixos custos de operação e aquisição.

Além dos avanços no georreferenciamento, a utilização de ARPs no monitoramento ambiental possibilitam acompanhar com precisão espacial a evolução e o desenvolvimento de fenômenos ecológicos em escala local por meio de conjuntos de dados multitemporais imageadores de excelente resolução espacial. Assim, podem ser consideradas ferramentas ideais para monitorar objetos de interesse, para o manejo e conservação de recursos naturais em diferentes biomas (Koh & Wich, 2012; Wing et al., 2013; Lisein, Michez, Claessens & Lejeune, 2015).

A aquisição das imagens por meio dos sensores embarcados pode ser realizada por meio de dois princípios básicos: a) voo manual, no qual o operador do equipamento define durante o voo as especificações de captura como altitude, ângulo de captura, orientação do sensor em relação à fonte de luz, quantidade de imagens entre outros parâmetros definidos diretamente pelo controle da ARP ou das funções automático/manual do sensor, utilizando os comandos de comunicação via rádio e acompanhando de modo simultâneo por meio de telemetria, desta forma, são geradas imagens individuais; b) voo autônomo, no qual o operador determina previamente a missão de voo e as informações de captura de imagens, incluindo o GSD (*Ground Sample Distance*) que representa a distância em superfície do terreno correspondente a um pixel na imagem, para tanto são utilizados *softwares* específicos para o controle independente da missão de voo, gerando imagens em série.

Para o processamento das imagens em série capturadas nas missões existem diversos *softwares*, por meio dos quais são obtidos os principais produtos da aerofotogrametria a partir da composição de nuvens de pontos, com destaque para o Modelo Digital de Superfície (MDS), o Modelo Digital de Terreno (MDT), bem como os ortomosaicos (Silva, Toonstra, Anthony & Pereira, 2014; Photoscan, 2018¹). Ainda que os produtos gerados sejam de elevada qualidade, os *softwares* disponíveis são de alto custo, sendo as versões *free* limitadas no geral a quinze dias de uso e ainda dependem de imagens seriadas e com boa sobreposição (no geral superior a 50%) para a formação da nuvem de pontos. Por outro lado, o processamento de imagens individuais (não seriadas) implica em desafios, sendo necessários estudos que abordem a aplicabilidade de *softwares* livres para análise destas, visando o monitoramento ambiental.

1 Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.4. (2018). Disponível em https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf.

O *Image Processing and Analysis In Java* (ImageJ®), é um *software* livre, usado para tratamento e processamento de imagens, sendo considerado uma ferramenta rápida e eficiente para analisar imagens digitalizadas, obtidas por qualquer tipo de sensor RGB. A versatilidade de suas análises tem demonstrado que o ImageJ® pode ser inserido em diversas áreas científicas, promovendo novas técnicas e produção de conteúdo (Schneider, Rasband & Eliceiri, 2012). Resultados satisfatórios em diversos tipos de análises do solo e vegetação em ambientes degradados (Laurence & Chromy, 2010) já foram demonstrados.

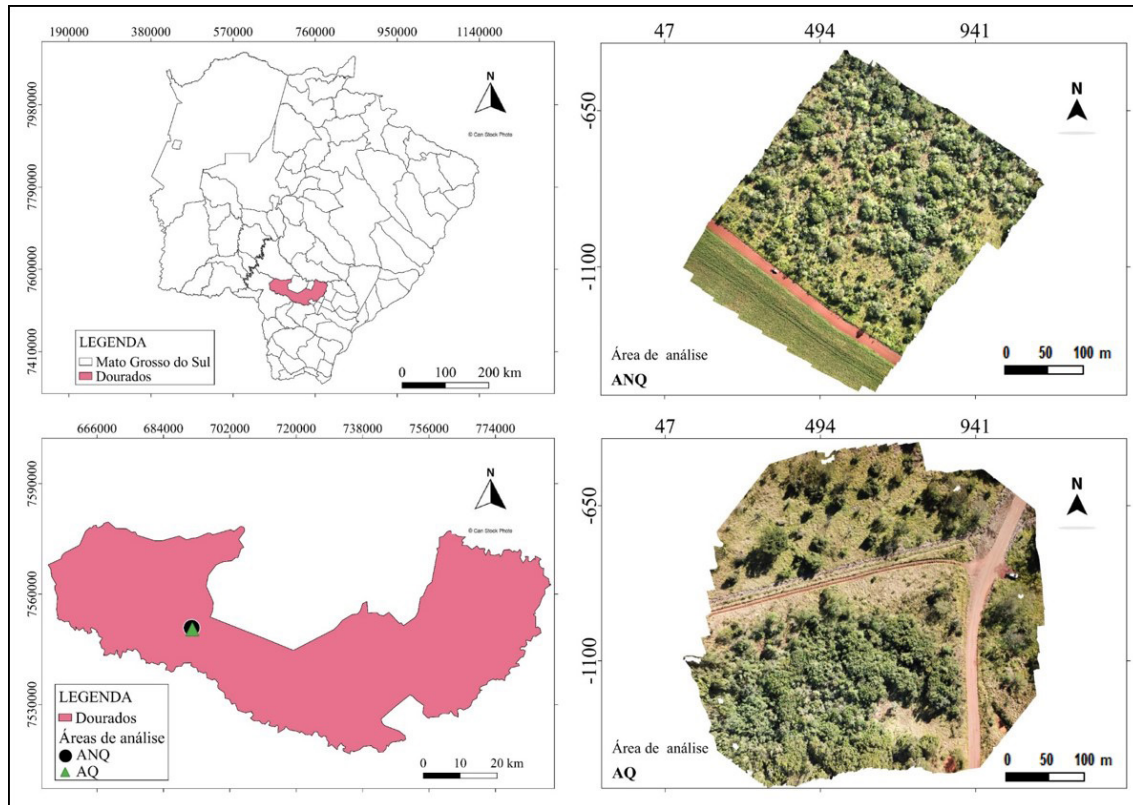
Em vista da importância do entendimento do impacto das queimadas nos ambientes naturais e a necessidade de domínio de ferramentas de baixo custo e aplicáveis no monitoramento, neste estudo foram investigadas a evolução temporal da cobertura do solo, bem como o restabelecimento da vegetação (cobertura de copa) de uma área queimada (AQ) e outra não queimada (ANQ) em um fragmento de cerrado *stricto sensu* no município de Dourados, com base em imagens não seriadas obtidas por uma aeronave remotamente pilotada, utilizando para isso o *software* gratuito ImageJ®.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado em um fragmento de cerrado *stricto sensu* de aproximadamente 22,5 ha, localizado em uma propriedade particular às margens da MS 270, no município de Dourados, região centro-sul do estado de Mato Grosso do Sul, Brasi (22°8'24.36"S e 55°8'24.42"W). Este fragmento apresenta uma área que foi atingida pelo fogo em março de 2017, que por conveniência será chamada de área queimada (AQ), e uma outra área que não ocorrem queimadas há mais de 6 anos, sendo chamada de área não queimada (ANQ) (Fig. 1).

Figura 1: Localização do município de Dourados-MS, com destaque às áreas de estudo.



Fonte: Limites políticos foram obtidos do IBGE (2019) e adaptados ao local de estudo no *software* QGIS 2.14.16.

Obtenção e processamento das imagens

As imagens aéreas do fragmento de cerrado *stricto sensu* foram obtidas de 2017 a 2019 por meio de uma aeronave remotamente pilotada (ARP), modelo Phantom 3 Standart DJI, equipada com câmera (sensor RGB DJI, com resolução de 4000 x 3000, 12 Megapixel, ISO 3200). Dois procedimentos básicos foram executados: a) missão autônoma com auxílio do *software* Drone Deploy, sendo geradas imagens seriadas a 80m de altitude, sobreposição lateral e frontal 75% e 80%, respectivamente, e GSD 2,4 cm/px. O processamento das imagens seriadas para obtenção do ortomosaico foi executado com auxílio do *software* Agisoft Photoscan, também foi utilizado o *software* QGIS 2.14.16² para a descrição da área de estudo; b) missão controlada, sendo as altitudes de voo de 30, 50 e 100m. As imagens individuais foram tomadas a partir de um ponto fixo de referência, com câmera em ângulo de 90° em relação à superfície do solo, com auxílio do *software* DJI Go.

Dois tipos de processamento foram realizados nas imagens individuais obtidas nas missões controladas durante o período de avaliação:

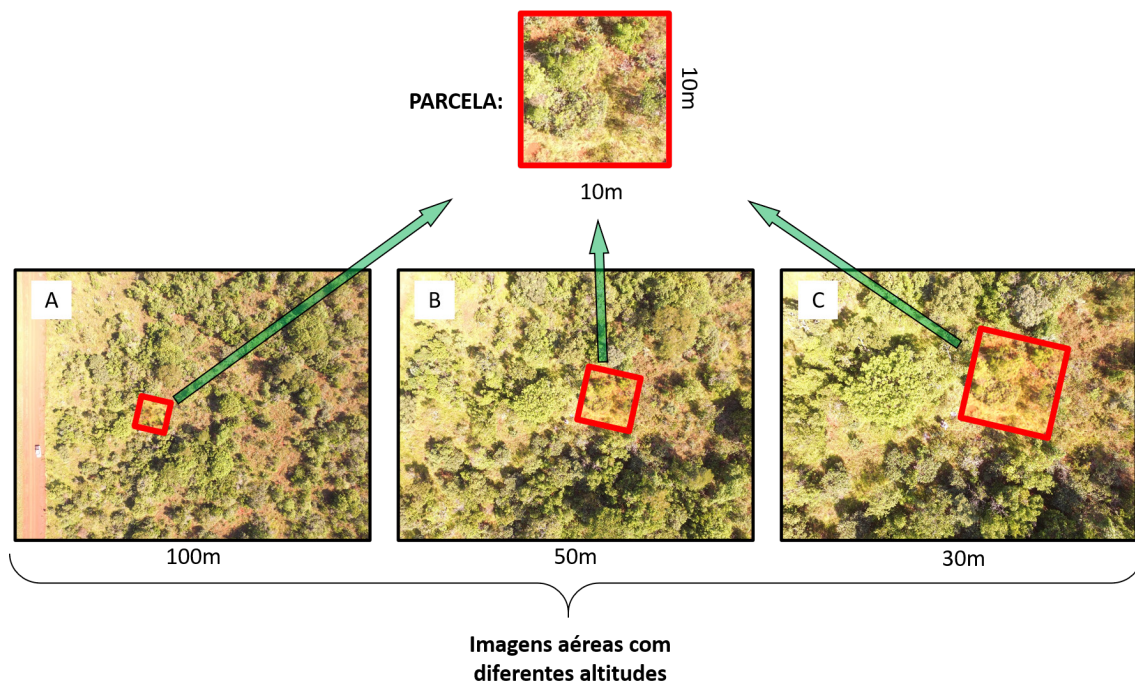
² QGIS Development Team. (2016) *QGIS 2.14.16 Lisboa*. Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.

1) Cobertura do solo

Foram selecionadas imagens de 50 metros de altitude de sete meses dentro do período de avaliação das áreas, para realizar as análises de cobertura do solo: março, agosto e novembro de 2017, fevereiro, agosto e novembro de 2018, além de março/2019. Para cada imagem obtida foi selecionada uma parcela de 10 x 10m, que já havia sido previamente delimitada em campo com utilização de estacas para melhorar a identificação desta nas imagens individuais obtidas por ARP (Fig. 2). Observa-se que quanto maior a altitude, menor é a representação da parcela na imagem, entretanto a área desta não se altera. Esta seleção foi executada para que a comparação da evolução da cobertura do solo na AQ e ANQ fosse realizada com maior eficácia e para aferir a dinâmica de cobertura dentro de cada área.

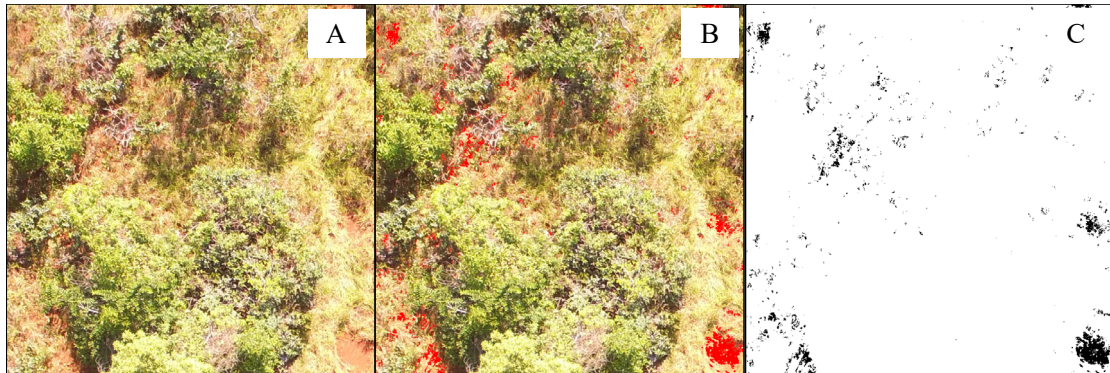
Para cada mês avaliado foi utilizada uma imagem digital analisada pelo *software* ImageJ© versão 1.52, de linguagem Java³. Foram executados procedimentos para que cada imagem mantivesse a escala adequada (Fig. 3A). Houve a adição do filtro manual *Color Threshold* (Fig. 3B), evidenciando as áreas de solo exposto, em seguida as imagens processadas passaram pelo processo de binarização (Fig. 3C), sendo por fim determinadas as mensurações de porcentagem de área total e de solo exposto dentro das parcelas.

Figura 2: Esquema indicando a seleção da parcela de 10x10m demarcada com estacas em fragmento de Cerrado por meio do *software* ImageJ®, evidenciando que a área delimitada apresenta proporção diferente para cada altitude (Escala: representada pela própria parcela 100m²): A: 100 m de altitude; B: 50 m de altitude; C: 30 m de altitude.



³ disponível no site <http://rsbweb.nih.gov/ij>.

Figura 3. Imagem de 30m de altitude processada no *software* ImageJ®. A: Imagem recortada representando a parcela de 10x10m; B: Adição do filtro manual (*Color Threshold*), evidenciando as áreas descobertas por meio dos polígonos vermelhos; C: Imagem binária, indicando com os polígonos pretos as áreas descobertas evidenciadas com o filtro manual.

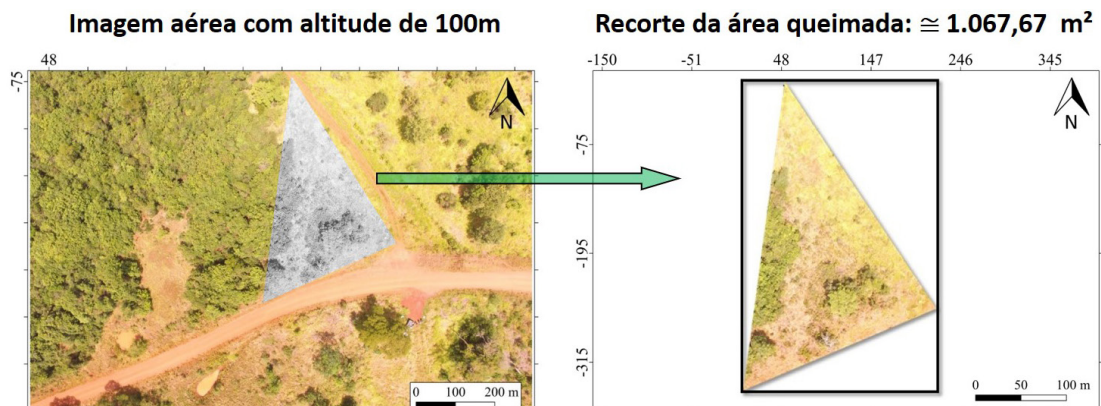


2) Restabelecimento da vegetação

Imagens das diferentes áreas (AQ e ANQ) também foram analisadas para avaliar a evolução da cobertura de copa ou restabelecimento da vegetação.

Para a AQ foi utilizado somente imagens na altitude de 100m, sendo delimitada uma parcela em formato de triângulo escaleno ($\cong 1.067,67\text{m}^2$) contendo somente a área queimada (Fig. 4). Os meses utilizados foram março, maio e novembro de 2017, além de fevereiro, maio e novembro de 2018.

Figura 4. Esquema de delimitação da área queimada por meio da ferramenta de seleção do *software* ImageJ®



Para a ANQ foram utilizadas imagens obtidas a 30, 50 e 100 metros de altitude. Para tanto, recortou-se das imagens um retângulo, representando 18,21% da imagem, tendo este um tamanho fixo em relação a imagem total da figura, não variando nas diferentes

altitudes. Cada retângulo correspondeu a parcelas de, respectivamente, $\cong 3000$, 550 e 150 m^2 (Fig. 5).

Para estes processamentos foram delimitadas escalas para cada imagem, selecionada a parcela e em seguida obteve-se histogramas contendo a intensidade de pixels da imagem, além de valores de densidade de *pixel*, utilizando para isso o *software* ImageJ®.

Pretendendo entender as variações na forma das curvas obtidas nos histogramas para cada banda (RGB total, RED, GREEN e BLUE), os dados foram submetidos a seguinte fórmula:

$$VCC = CC \times VDP$$

Onde:

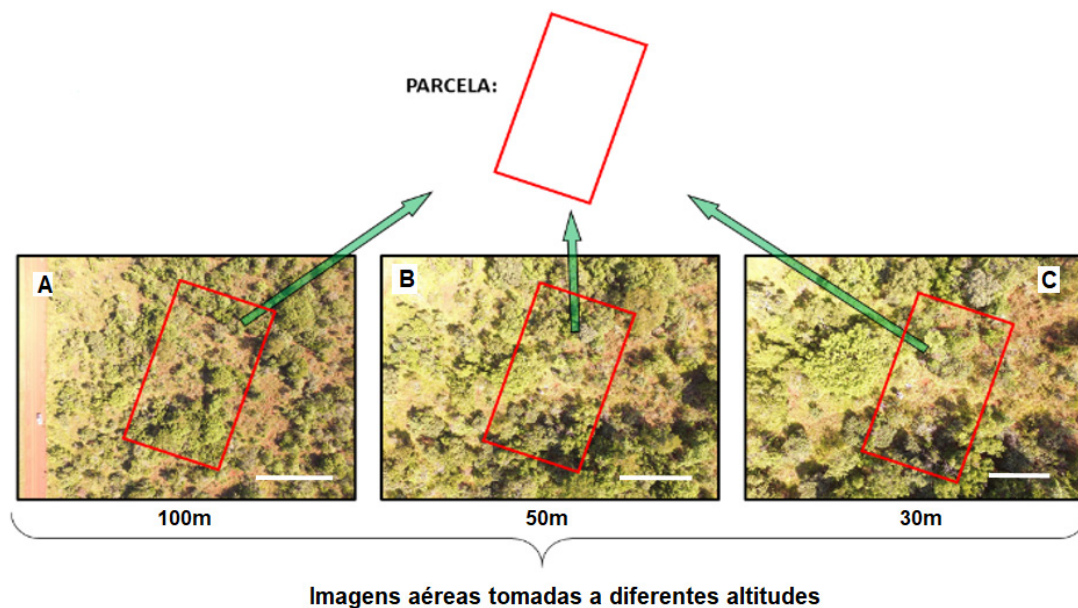
VCC representa a variação na forma da curva de cores,

CC é o valor de cada código de cor (0-255)

VDP é o valor correspondente de densidade de *pixel*.

Os valores obtidos desta fórmula foram chamados de 'dados de forma do histograma'. Estes, foram então transformados em \log^{10} para facilitar a análise dos dados.

Figura 5. Esquema indicando a seleção da parcela no fragmento de Cerrado, com proporção fixa em relação a imagem ($\approx 20\%$), independente da altitude, por meio do *software* ImageJ®. (Escala: A = 25m; B = 10m e C = 5m).



Análise estatística

Para verificar diferença entre as altitudes foi realizado teste de Kruskal-Wallis, já que os dados não apresentaram normalidade (teste de D'Agostino-Person, $p < 0,05$). Além disso, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis seguido de teste de Dunnet para comparação das diferenças entre as medianas geradas pelos dados de cobertura de solo e o teste de

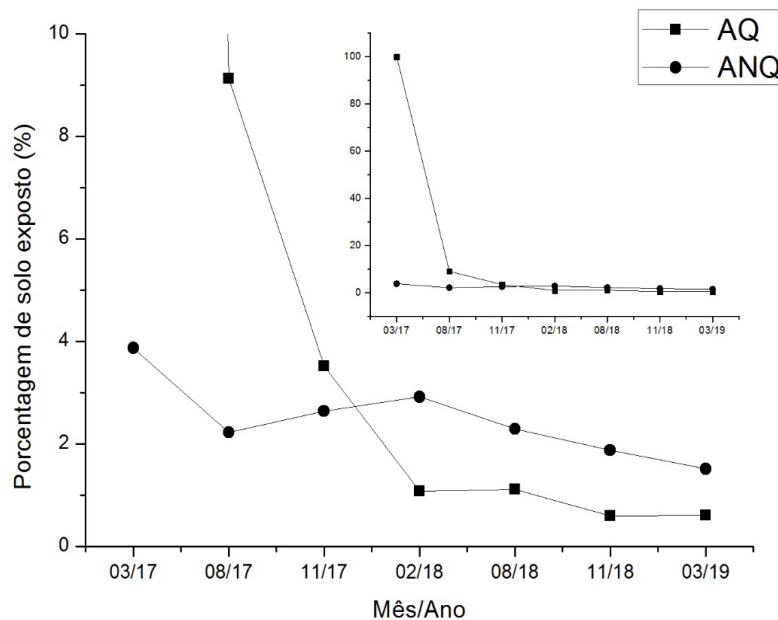
Mann-Whitney para os dados de forma do histograma, para verificar diferença no restabelecimento da vegetação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cobertura do solo

Os dados observados nas análises realizadas a partir do *software* ImageJ®, mostraram-se semelhantes ao que foi observado em campo, pois indicaram uma dinâmica de cobertura de solo, do fragmento de Cerrado estudado, que pouco se alterou ao longo do período de estudo (24 meses). Assim, não foi constatada diferença estatística entre as áreas (AQ e ANQ) e dentro de cada área isoladamente ao longo do tempo (Fig. 6), por meio das mensurações obtidas do ImageJ®.

Figura 6. Porcentagem de solo exposto (%) verificado em duas áreas de um fragmento de Cerrado, área queimada (AQ) e área não queimada (ANQ), durante o período avaliado, obtidos das imagens tratadas no *software* ImageJ®.



O padrão comum esperado às fitofisionomias de floresta tropical, que apresentam flutuação de cobertura de solo, não foi verificado para este fragmento, mostrando que não ocorreu aumento ou/ e regressão da vegetação durante o período de estudo. O cerrado *s.s.* estudado se mostrou estável quanto às variações na dinâmica de cobertura, no entanto, o fato de não serem constatadas diferenças entre AQ e ANQ podem estar relacionadas ao rápido restabelecimento de cobertura vegetal (dados discutidos mais adiante) nas áreas pós-distúrbio pelo fogo.

Em campo, ao avaliar a cobertura vegetal verificou-se que, nas parcelas estudadas, grande parte da cobertura rasteira estava colonizada por uma gramínea exótica invasora - *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster -, que mantém a biomassa vegetal sobre o solo por tempo indeterminado, sendo apenas reduzida pelo fogo, recuperando sua biomassa original pela forte presença de diásporos no banco de sementes do solo.

Ainda são escassas as pesquisas que abordem os efeitos ecológicos dessas invasoras no cerrado. Pivello (2011) chama a atenção para o problema constatando a abundância de *Urochloa decumbens*, amplamente distribuída no Cerrado, configurando um indicador do grau de alteração nas comunidades naturais neste bioma.

Em campos e cerrados, ambientes abertos com temperatura elevada, as gramíneas invasoras são impactantes, pela facilidade de colonização do meio e consequente competição com as espécies nativas, e devido à produção de grandes quantidades de biomassa, em época seca contribuem para o aumento da flamabilidade da vegetação, podendo consequentemente alterar o regime de fogo nessas áreas invadidas propiciando a ocorrência de incêndios (D'Antonio & Vitousek, 1992; Pivello, Shida & Meirelles, 1999).

Estudos recentes têm mencionado que as áreas de cerrado em meio a matrizes agrícolas que contenham espécies invasoras são mais propensas à invasão, por conta dos eventos dispersivos, ou seja, acredita-se que pelo menos o banco de sementes do solo implique em fonte de diásporos em comunidades de plantas nativas (Dairel & Fidelis, 2020).

Em fitofisionomias não adaptadas ao fogo, a ocorrência deste evento implica em lento restabelecimento da vegetação, por outro lado as formações campestres campo limpo, campo sujo, e campo cerrado, bem como as formações florestais cerrado *ss.* e cerradão, são altamente resilientes ao fogo (Camargos, Martins, Ribeiro, Carmo & Silva, 2010, p.1061; Massi, Eugênio & Franco, 2017).

Em nosso estudo, como as avaliações iniciaram no mesmo mês de ocorrência da queimada na AQ, foi possível verificar em março de 2017 que 100% do solo estava descoberto. Porém, decorridos cinco meses, na segunda avaliação (agosto/2017), esta mesma área apresentava apenas 9% da área total descoberta (com solo exposto), indicando a rápida regeneração da vegetação após a ocorrência da queimada. De forma geral, a rebrota de indivíduos vegetais em área de Cerrado tem um papel marcante após a perturbação pelo fogo, pois um mecanismo rápido de regeneração é verificado em espécies arbustivo-arbóreas. Em sistemas adaptados ao fogo, ainda que o banco de sementes possa ser reduzido pelas altas temperaturas na superfície do solo, a rebrota pode passar a ser a principal forma de restabelecimento da vegetação (Camargos et al., 2010).

Assim, verificou-se que, para a AQ houve uma rápida regeneração nos primeiros meses, entretanto a cobertura do solo se manteve constante ao longo do tempo. Isso também foi verificado para ANQ, sendo observado que depois de 24 meses as áreas sem cobertura do solo deste fragmento de cerrado *stricto sensu* apresentam pouca variação. Corroborando este resultado, Almeida, Fagg, Oliveira, Munhoz, Lima e Oliveira (2014) estudando a mudança florística de uma área de cerrado ao longo de 27 anos, verificaram que apesar de ocorrer alteração na composição com o tempo, poucas mudanças ocorrem

no intervalo de três anos, o que também pode ser extrapolado para a cobertura do solo, já que a vegetação é responsável pelo fechamento das áreas abertas.

Diferentemente das demais fitofisionomias florestais das formações mesófitas, cuja abertura de uma clareira desencadeia processos localizados de sucessão que culminam com o total restabelecimento da vegetação (cicatrização da clareira) e retorno à condição de sub-bosque ombrófilo, no cerrado *s.s.*, exceto quando a exposição do solo está relacionada ao fator fogo, a condição de alta irradiância é comum. Assim, em ambientes já estabilizados a cobertura do solo pouco se altera, sendo evidentes a ocorrência de áreas sem vegetação arbóreo-arbustiva ou sem o fechamento do dossel.

Analisando a regeneração na AQ, pode-se observar em campo e nas imagens que algumas mudanças de coloração no solo, e consequentemente da reflectância (analisada por meio de uma medida indireta da variação da reflectância: a densidade de *pixel*), aconteceram no decorrer do tempo. Entretanto, devido à limitação do *software* não foi possível verificar estes fenômenos nos dados obtidos, tanto de cobertura do solo quando de forma dos histogramas. Desta maneira, o desafio das interpretações destes dados implica no entendimento da sucessão de eventos que ocorrem no solo pós-fogo (AQ). Sugere-se a distinção de quatro fases ou eventos principais, destacadas na Tabela 1.

Tabela 1. Fases ocorridas após a passagem do fogo em uma área de cerrado *stricto sensu* no município de Dourados-MS.

	Características	Aparência/Tonalidade	Reflectância
Fase 1	Logo após a passagem do fogo	Solo escuro	Reflectância diminuída e absorção aumentada
Fase 2	Início da rebrota	Aumento do contraste entre o escuro e o verde	Pequeno aumento da reflectância
Fase 3	Aumento do recobrimento da área	Solo exposto e vegetação	Aumenta a reflectância
Fase 4	Vegetação	Predomínio do verde	Diminuição da reflectância

Na primeira fase (no primeiro mês pós-fogo) a reflectância é menor em relação as outras fases e o solo apresenta uma coloração escura. Estas características podem ser comparadas aos solos férteis, que apresentam grande quantidade de matéria orgânica e consequentemente coloração mais escura, bem como absorvem maior quantidade de energia luminosa (Moreira, 2012). No entanto, neste caso a redução da reflectância é devida ao acúmulo de material carbonizado e depositado na superfície do solo.

Na segunda fase (pouco tempo depois da passagem do fogo), a reflectância começa a aumentar, por conta da rebrota, sendo verificado um maior contraste entre a cor escura do solo e o verde da vegetação regenerante. Como o material carbonizado é reduzido na terceira fase (por meio da lixiviação) a reflectância aumenta ainda mais e a coloração do solo se altera entre o vermelho do solo exposto e o verde da cobertura vegetal, que já aparece em maior quantidade.

Já na última fase há o predomínio da coloração verde, pois a vegetação já aparece cobrindo boa parte do solo, e a reflectância apresenta valores menores, ou seja, diminui

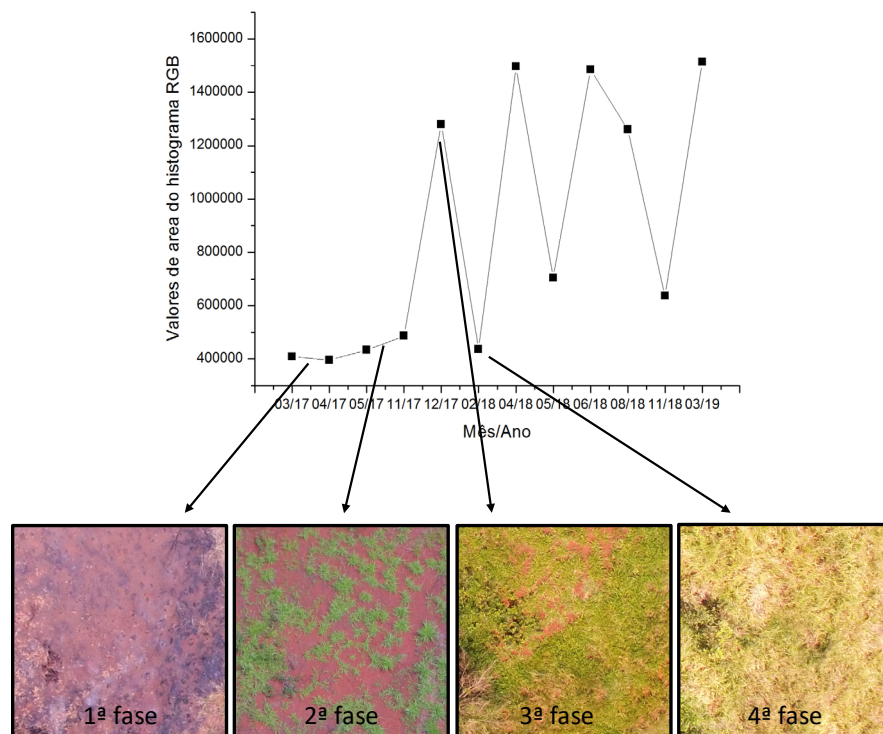
em relação a fase anterior. Isso acontece porque a vegetação parece absorver mais energia do que refletir quando está com alta densidade. Ponzani (2002) confirma essa afirmação, já que na região do visível, uma vez que muito da energia incidente sobre uma folha é absorvida, com o aumento do número de folhas mais energia será absorvida pela vegetação, desta forma, a reflectância na região do visível decresce quase que exponencialmente com o aumento da vegetação.

Depois destas fases algumas alterações na coloração e na reflectância das imagens, devido a flutuação da cobertura do solo ao longo do tempo, são observadas. Estas acontecem, principalmente, com a mudança de estação (seca e chuvosa), apresentando aumento e diminuição da reflectância de acordo com o período avaliado.

Como observado na figura 7, o *software* ImageJ® permitiu representar a real cobertura do solo e o padrão vegetativo dos regenerantes, como observado *in loco*, a colonização de *Urochloa decumbens*. Apesar de ser uma gramínea exótica invasora, nesse caso específico, por mais que possa conter uma biomassa altamente inflamável em época de seca, cabe destacar como ponto positivo a rápida cobertura do solo, que se torna um fato importante em áreas de cerrado que possuam solos cuja características os tornem susceptíveis a erosão.

O recobrimento vegetal com gramíneas tem sido considerado um mecanismo bastante eficiente no controle da erosão e proteção à superfície do solo, por evitar a ação direta da água da chuva e do vento na desagregação e transporte de partículas minerais, pois atua reduzindo o escoamento de água em superfície, favorecendo sua infiltração no perfil além de melhorar a resistência da camada superficial por meio do efeito de travamento do solo exercido pelas raízes (Verdum, Vieira & Caneppele, 2016).

Figura 7. Gráfico de valores indiretos de reflectância relacionado a imagens de cada fase observadas no fragmento de cerrado *stricto sensu* pós-fogo.



Pesquisadores buscando quantificar o substrato exposto em uma área degradada em Diamantina (MG), utilizaram o *software* ImageJ® para análise e verificaram que o programa foi eficiente em diagnosticar os distintos métodos de capina para o controle das gramíneas exóticas, sendo assim, ressaltaram que o uso do ImageJ® representa uma alternativa para a diversos estudos inerentes à análise de cobertura vegetal de ambientes degradados (Silveira, Menezes, Mucida, Pereira, dos Santos & de Oliveira, 2018).

No contexto atual, esse *software* livre pode auxiliar na formulação de políticas públicas voltadas para a conservação de unidades de conservação e áreas degradadas com o objetivo de verificar a cobertura vegetal predominante, e a existência ou não de processos erosivos, e a partir desse diagnóstico, ser possível a elaboração de um plano de ação para intervenção nesses ecossistemas.

Restabelecimento da vegetação

Não foi verificada diferença estatística entre os meses avaliados dentro de cada banda e entre as diferentes bandas para AQ. Além disso, para ANQ não foi observado diferença para as imagens nas diferentes altitudes (RGB: $F=0,16$; $p=0,85$ / RED: $F=0,12$; $p=0,88$ / GREEN: $F=0,12$; $p=0,85$ / BLUE: $F=0,16$; $p=0,84$), tão pouco nos meses dentro de cada padrão de cor (RGB, RED, GREEN e BLUE).

Estes resultados podem indicar que *software* ImageJ® não se mostrou sensível às poucas variações sutis nas tonalidades de cores das imagens obtidas. Entretanto, essa observação de diferença de tonalidade foi feita em campo em agosto de 2017 nas duas áreas avaliadas, onde a vegetação herbácea estava seca, apresentando uma tonalidade pálida ou amarelada e algumas espécies na vegetação arbórea alteraram sua coloração, indicando um padrão de caducifolia, bem como de mudança de tonalidade das folhas das espécies perenifólias. Esse fato pode ter ocorrido devido à baixa precipitação (1,4 mm) verificada em um período de 30 dias antes das imagens serem tomadas (07/08/2017), o que fez com que a vegetação apresentasse mudança na coloração, afetando de maneira mais efetiva a reflectância no espectro do verde. Porém, em agosto de 2018 essa alteração de cor foi menos evidente, pois a precipitação foi de 65 mm no período de 30 dias antes das imagens serem tomadas (21/08/2018), sugerindo que a vegetação do cerrado s.s. responde de maneira rápida à variação do teor de umidade do solo (Furquim, Santos, Andrade, Oliveira & Evangelista, 2018).

Os dados obtidos a partir do *software* ImageJ® sugerem que no cerrado s.s. os padrões nas alterações da cobertura horizontal sejam superiores a 800 dias (período do estudo), sendo necessário, portanto, mais tempo no monitoramento para a sua identificação. Vale ressaltar que trabalhos utilizando o ImageJ® para avaliar imagens aéreas obtidas de ARP, objetivando monitorar o ambiente não foram encontrados na literatura, não sendo possível desta forma fazer comparações ou incrementar a discussão.

Avaliando os dados obtidos pelo *software* ImageJ®, percebe-se que para avaliação da cobertura de solo, ou seja, solo exposto, esta ferramenta se mostrou eficiente, pois as variações encontradas em campo foram também identificadas nos resultados obtidos.

Entretanto, para o restabelecimento da vegetação este *software* não apresentou resultados condizentes com a realidade da área analisada. Este fato pode estar relacionado aos valores obtidos a partir dos histogramas, uma vez que a soma dos valores de todos os códigos de cores (0-255) se mostrou igual nas diferentes bandas. Além disso, verificou-se que a intensidade de pixel dada pelo programa no histograma é uma unidade arbitrária (eixo y), pois este considera a distribuição da intensidade (valor de y) em relação ao código de cores (0-255). Uma das alternativas que pode ser proposta para contornar este problema implicaria na tomada das medidas de área interna ou externa das curvas dos histogramas, por meio de equações integrais.

CONCLUSÃO

Não foi possível verificar diferença na evolução temporal, entre as áreas (AQ e ANQ) tanto para cobertura de solo quanto para restabelecimento da vegetação, de acordo com os dados obtidos pelo *software* ImageJ®. As observações *in loco* confirmaram estas análises somente para a cobertura do solo, não sendo possível fazer a mesma associação com o restabelecimento da vegetação, indicando ausência de sensibilidade do *software* às variações de coloração para esta variável.

Acredita-se que a não detecção da evolução temporal dessas áreas avaliadas pelo *software* ImageJ® possa ser devido a colonização da área por uma gramínea exótica invasora (*Urochloa decumbens*) que dificilmente facilita a regeneração natural de espécies nativas por ser uma espécie oportunista aportando grande quantidade de biomassa ao meio.

Por outro lado, o *software* ImageJ® mostrou-se uma ferramenta útil em avaliações da evolução de cobertura do solo e, por sua simplicidade e acesso livre, pode ser empregado satisfatoriamente no processamento de imagens individuais para o cálculo de área de solo exposto em plantios de restauração, o que pode ser útil na formulação de políticas públicas voltadas para conservação de ecossistemas naturais ameaçados por espécies invasoras e por processos erosivos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado do Mato Grosso do Sul - FUNDECT pela bolsa concedida para o primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Almeida, R.F., Fagg, C.W., Oliveira, M.C., Munhoz, C.B.R., Lima, A.S., & Oliveira, L.S.B. (2014). Mudanças florísticas e estruturais no cerrado *sensu stricto* ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. *Rodriguésia*, 65(1), 1-19. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602014000100001>
- Bueno, M.L., Oliveira-Filho, A.T., Pontara, V., Pott, A., & Damasceno-Junior, G.A. (2018). Flora arbórea do Cerrado de Mato Grosso do Sul. *Iheringia*, 73, 53-64. <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873s53>

- Camargos, V.L., Martins, S.V., Ribeiro, G.A., Carmo, F.M.S., & Silva, A. F. (2010). Avaliação do impacto do fogo no estrato de regeneração em um trecho de floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG. *Revista Árvore*, 34(6), 1055-1063. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000600011>
- Canavesi, V., Ponzoni, F.J., & Valeriano, M.M. (2010). Estimativa de volume de madeira em plantios de *Eucalyptus* spp. utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos. *Revista Árvore*, 34(3), 539-549. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000300018>
- Cândido, A.K.A.A., Silva, N.M., & Paranhos Filho, A.C. (2015). Imagens de alta resolução espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo. *Anuário do Instituto de Geociências*, 38(1), 147-156. http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_147_156
- Dairel, M., & Fidelis, A. (2020). The presence of invasive grasses affects the soil seed bank composition and dynamics of both invaded and non-invaded areas of open savannas. *Journal of Environmental Management*, 276, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111291>
- D'Antonio, C.M., & Vitousek, P.M. (1992). Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23, 63-87. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.000431>
- Furquim, L.C., Santos, M.P., Andrade, C.A.O., Oliveira, L.A., & Evangelista, A.W.P. (2018). Relação entre plantas nativas do cerrado e água. *Multidisciplinary Journal*, 5(2), 146-156. <https://doi.org/10.29247/2358-260X.2018v5i2.p146-156>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). *Geociências*. Recuperado de https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm.
- Koh, L.P. & Wich, S.A. (2012). Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science*, 5(2), 121-132. <https://doi.org/10.1177/194008291200500202>
- Kolb, R.M., Pilon, N.A.L., & Durigan, G. (2016). Factors influencing seed germination in Cerrado grasses. *Acta Botanica Brasilica*, 30(1), 87-92. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-33062015abb0199>
- Laurence, T.A., & Chromy, B.A. (2010). Efficient maximum likelihood estimator fitting of histograms. *Nature Methods*, 7(5), 338-339. <https://doi.org/10.1038/nmeth0510-338>
- Lisein, J., Michez, A., Claessens, H., & Lejeune, P. (2015). Discrimination of Deciduous Tree Species from Time Series of Unmanned Aerial System Imagery. *PLoS ONE*, 10(11), 1-20. Recuperado de <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0141006&type=printable>. <https://doi:10.1371/journal.pone.0141006>.
- Massi, K.G., Eugênio, C.U.O., & Franco, A.C. (2017). Post-fire reproduction of herbs at a savanna-gallery forest boundary in Distrito Federal, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 77(4), 876-886. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.06416>
- Moreira, M.A. (2012). *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. Viçosa: Ed. UFV.
- Morgan, J.L., Gergel, S.E., & Coops, N.C. (2010). Aerial photography: a rapidly evolving tool for ecological management. *BioScience*, 60(1), 47-59. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.1.9>
- Pivello, V. R. (2011). Invasões biológicas no cerrado brasileiro: efeitos da introdução de espécies exóticas sobre a biodiversidade. *Ecologia Info*, 33. Recuperado de <http://ecologia.info/cerrado.htm>.
- Pivello, V.R., Shida C.N., & Meirelles S.T. (1999). Alien grasses in Brazilian savannas: a threat to the biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 8, 1281-1294. <https://doi.org/10.1023/A:1008933305857>
- Ponzoni, F. J. (2002). Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnóstico a Mata Atlântica. Recuperado de http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/CAP8_FJPonzoni.pdf.
- Ribeiro, J.F., & Walter, B.M.T. (2008). Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M. & S.P. Almeida (Eds.), *Cerrado: ambiente e flora* (pp. 89-166). Planaltina: EMBRAPA-CPAC.
- Schneider, C.A., Rasband, W.S., & Eliceiri, K.W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat methods*, 9(7), 671-675. <http://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.

Silva, D.C., Toonstra, G.W.A., Anthony, H.L.S.S., & Pereira, T.A.J. (2014). *Qualidade de ortomosaicos de imagens de VANT processados com os softwares APS, PIX4d e Photoscan. Anais do Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. Recife, PE, Brasil, 4. p.747.

Silveira, L.P., Menezes, E.S., Mucida, D.P., Pereira, I.M., Dos Santos, J.B., & De Oliveira, M.L.R. (2018). O uso do software ImageJ na estimativa de substrato exposto pós controle de gramíneas invasoras. *Ecologia e Nutrição Florestal*, 6(2), 51-58. <http://doi.org/10.5902/2316980X33509>.

Verdum, R., Vieira, C.L., & Caneppele, J.C.G. (2016). *Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo*. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. Retirado de <http://hdl.handle.net/10183/189684>

Wing, M.G., Burnett, J., Sessions, J., Brungardt, J., Cordell, V., Dobler, D., & Wilson, D. (2013). Eyes in the sky: Remote sensing technology development using small, unmanned aircraft systems. *Journal of Forestry*, 111(5), 341-347. <http://doi.org/10.5849/jof.12-117>

Recebido em 03/set./2020

Versão corrigida enviada em: 09/fev./2021

Aceito em 16/out./2021

Publicado em 01/set./2022