



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE DIVERSIDADE E RIQUEZA FLORÍSTICA,
VARIÁVEIS AMBIENTAIS E IMAGENS DE SATÉLITE EM VEREDA:
IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO**



MARIANA SERPA BOMFIM DA SILVA

BRASÍLIA-DF

2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE DIVERSIDADE E RIQUEZA FLORÍSTICA,
VARIÁVEIS AMBIENTAIS E IMAGENS DE SATÉLITE EM VEREDA:
IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO**

MARIANA SERPA BOMFIM DA SILVA

ORIENTADORA: Prof. Dra. Cássia Beatriz Rodrigues Munhoz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Botânica da Universidade de Brasília (UnB).

BRASÍLIA – DF

Agosto de 2017

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S Serpa, Mariana
INTEGRAÇÃO DE DADOS DE DIVERSIDADE E RIQUEZA
FLORÍSTICA, VARIÁVEIS AMBIENTAIS E IMAGENS DE SATÉLITE EM
VEREDA: IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO / Mariana Serpa ;
orientador Cássia Beatriz Rodrigues Munhoz. -- Brasília,
2017.
53 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Botânica) --
Universidade de Brasília, 2017.

1. Zonas úmidas. 2. Cerrado. 3. Sensoriamento Remoto. 4.
Índice de Vegetação. . I. Beatriz Rodrigues Munhoz,
Cássia, orient. II. Título.

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE DIVERSIDADE E RIQUEZA FLORÍSTICA,
VARIÁVEIS AMBIENTAIS E IMAGENS DE SATÉLITE EM VEREDA:
IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO**

Trabalho realizado junto ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Botânica.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Cássia Beatriz Rodrigues Munhoz

Orientadora – UnB

José Roberto Rodrigues Pinto

Membro Titular - UnB

Aryanne Gonçalves Amaral

Membro Titular - IEB

Frederico Scherr Caldeira Takahashi

Membro Suplente - IBGE

“O período de maior ganho de conhecimento e experiência é o período de maior dificuldade na vida de cada um” Dalai Lama.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha orientadora Prof. Dra. Cássia Beatriz Rodrigues Munhoz por toda amizade, orientação, ajuda, apoio, preocupação, parceria, incentivo, disposição e grande auxílio, nesses dois anos. Ao Prof. Dr. Ricardo Machado, da Universidade de Brasília, Departamento de Ecologia, pela disposição, ajuda e contribuição ao Projeto. Ao Dr. Frederico Takahashi por toda a disposição e o auxílio prestado, ao Prof. Dr. Gustavo Baptista pela ajuda inicial e contribuição ao Projeto e ao Prof. Dr. Eduardo R. M. Barbosa pela ajuda e disposição.

À Mestra Natália Bijos por me auxiliar nos dados de campo e em todo o caminhar do processo, ao Mestre Diogo Pereira por me auxiliar nos dados de campo, ao aluno de Mestrado Eliel Amaral, por me auxiliar nas análises estatísticas e por ser amigo e parceiro, a aluna de graduação Gabriella de Souza pelo apoio ao Projeto.

Ao Dr. Daniel Villarroel, ao Dr. Eduardo Tolero de Amorim e a Dra. Bárbara Zimbres por me auxiliarem nos dados de imagem. Aos estudantes de doutorado Maria Rosa Zanatta e André Moreira por me auxiliarem em todo o Mestrado, na obtenção de matérias do programa, na elaboração de estruturas de projetos, no conhecimento botânico, e principalmente, pela grande amizade.

A todos os Pós-graduandos e aos professores do Departamento de Botânica pelo apoio e incentivo, principalmente os alunos que entraram na seleção de Mestrado junto comigo onde compartilhamos grande amizade juntos e, principalmente, aos professores que sempre estiveram abertos e dispostos a me auxiliar ao longo desses dois anos.

À Julia Shimbo, Camila Balzani e Vera Laísa da Silva do IPAM (Instituto de Pesquisas da Amazônia) por toda a ajuda, apoio e disposição na utilização da metodologia do MapBiomas. Às amigas Renata Almeida e Raquel Camargo pelo carinho, amizade e disposição ao ajudar com o geoprocessamento de imagens de satélite.

Por todos os convidados que participaram das minhas bancas de Projeto, Qualificação e Defesa pela ajuda intelectual e contribuição.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa e incentivo a minha pesquisa.

Agradeço aos amigos próximos e familiares pelo incentivo, compreensão e disposição diária na ajuda da realização de um grande sonho.

RESUMO GERAL

Foram analisadas as áreas de Veredas de forma ampla, dinâmica e multidisciplinar, com a utilização da ferramenta de sensoriamento remoto para integração entre dados de diversidade e riqueza florística, em campo, e dados de imagem. As Veredas vêm passando por processo de negligenciamento nas leis federais e nas gestões ambientais de órgãos especializados e é de suma importância uma visão de conservação desses ambientes a fim de destacar sua importância ecológica e a conservação dos recursos naturais no bioma Cerrado. A criação de metodologias para a utilização de ferramentas atuais, como o sensoriamento remoto, ajuda na elaboração de projetos de gestão ambiental dos ecossistemas úmidos e é útil para monitorar via satélite esses ambientes e seu entorno, para uma conservação mais efetiva. Foram usadas plataformas disponíveis como *Google Earth*, *Quantum GIS* e *Earthexplorer*; e índices de vegetação, como no caso o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), para análise das atividades fotossintéticas da vegetação das áreas. Para classificação do uso do solo e a contagem de número de pixels dos 13 sítios de Veredas foram utilizados os satélites, *Landsat 5* e *7*. E o entorno foi classificado em ambientes naturais de Campos (Limpó e Sujo), Savanas, Matas e áreas antropizadas. Foi utilizada regressão múltipla para comparar o cálculo de NDVI com a riqueza e diversidade, junto a variável área como correção, pois as Veredas se diferem umas das outras em tamanho. De acordo com essa análise percebeu-se que não houve relação entre os dados. Foi utilizada a regressão simples para comparar a diversidade, riqueza e o NDVI com o entorno, áreas de campo. Apenas houve relação significativa ($p < 0,05$) entre a média do NDVI e o entorno. Concluiu-se então que o NDVI não possui relação com diversidade e riqueza florística nas áreas de Veredas. A relação entre NDVI e o entorno ocorre de acordo com a influência da paisagem ao cálculo de NDVI, como a presença de arbustos dentro das Veredas, e a porcentagem de mata e campo ao redor das áreas.

Palavras-chave: Zonas úmidas, Cerrado, Sensoriamento Remoto, Índice de Vegetação.

ABSTRACT

Veredas were analyzed in a broad, dynamic and multidisciplinary way, with the use of the remote sensing tool to integrate field data of diversity and floristic richness with image data. Veredas are undergoing a process of neglect in federal laws. In the environmental management of specialized agencies and in the vision of conservation of environments Veredas are of principal importance, highlighting their ecological importance and the conservation of natural resources in the Cerrado biome. The creation of methodologies for the use of current tools, such as remote sensing, helps in the elaboration of environmental management projects of humid ecosystems. These tools are useful to monitor these environments via satellite, for more effective conservation. Available platforms such as Google Earth, Quantum GIS and Earthexplorer were used; vegetation indices, as in the case of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) were used, to analyze the photosynthetic activities of Vereda vegetation. The use of satellites, Landsat 5 and 7, were classified in the natural environments of fields (Clean and Dirty), Savannahs, Woods and anthropic areas. Multiple regression was used to compare the NDVI calculation of wealth and diversity, along with the area variable for correction because the Veredas differ from each other in size. According to this analysis there was no relationship between the data. Simple regression was used to compare diversity, richness and NDVI with the surrounding fields. There was only a significant relationship ($p < 0.05$) between the NDVI mean and the fields. In conclusion, NDVI probably has no relationship with diversity nor floristic richness in Vereda areas. The relationship between NDVI and the environment occurs from the influence of the landscape on the calculation of NDVI, such as the presence of shrubs within the Veredas, and the percentage of forest and field surrounding the Vereda.

Keywords: Wetland, Cerrado, Remote Sensing, Vegetation Index.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| Lista de Figuras..... | 10 |
| Lista de Tabelas..... | 12 |
| Introdução Geral..... | 13 |
| Referências Bibliográficas..... | 16 |
| Capítulo 1 – INTEGRAÇÃO DE DIVERSIDADE DE ESPÉCIES HERBÁCEOS- ARBUSTIVAS E IMAGENS DE SATÉLITE EM VEREDAS: IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO..... | 19 |
| 1.1 Resumo..... | 19 |
| 1.2 Introdução..... | 20 |
| 1.3 Material e Métodos..... | 22 |
| 1.3.1 Área de estudo..... | 22 |
| 1.3.2 Pesquisa de campo..... | 25 |
| 1.3.3 Análises por sensoriamento remoto..... | 26 |
| 1.3.4 Relação entre variáveis de campo, imagem e entorno..... | 27 |
| 1.4 Resultados..... | 29 |
| 1.5 Discussão..... | 32 |
| 1.6 Conclusão..... | 34 |
| 1.7 Referências..... | 35 |
| 1.8 Material Suplementar..... | 42 |
| Anexo 1..... | 43 |
| Anexo 2..... | 46 |
| Anexo 3..... | 48 |

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das Veredas amostradas no Distrito Federal e suas respectivas Reservas (BBG-DF1, BNP-DF2, IBGE-DF3, NF-DF4), em Goiás (PRB1-GO1 e PRB2-GO2, CVNP-GO3, PRST-GO4), em Minas Gerais (SVNP-MG1) e em Tocantins (TO1, TO2, TO3 e TO4). Os códigos dos sítios encontram-se na tabela 1 (Bijos 2017).

Figura 2. NDVI de todos os pixels das treze Veredas estudadas, utilizando as bandas do vermelho e do infravermelho próximo das imagens *Landsat* (30 x 30m) dos locais estudados, nos meses e anos de coleta. A caixa representa a faixa de valores que delimitam 50% das observações de valores mais centrais e representam os limites do 1º e 3º quartis, a linha dentro da caixa equivale à mediana, barras de variação que indicam a faixa de valores típicos (intervalo de confiança de 95% para a mediana) e círculos fora dessa faixa de valores são observações com valores atípicos.

Figura 3. Regressão simples entre a média do NDVI e o entorno (Campo e savana) das treze Veredas estudadas.

Figura S1. Classes de vegetação nativa mapeadas no bioma Cerrado na Coleção 2, do MapBiomias, utilizada a partir do primeiro semestre de 2017, em comparação com a Coleção 1, utilizada até o ano de 2016 (Ribeiro e Walter 2008 adaptado).

Figura S2. Imagens de NDVI resultantes da divisão entre as bandas do infravermelho próximo e vermelho das imagens *landsat* 5 e 7. As treze Veredas estão representadas de a-n, respectivamente, circulares de vermelho na paisagem. Os locais mais claros na imagem possuem maior vegetação e os locais mais escuros possuem um menor resquício de vegetação. a) DF1, b) DF2, c) DF3, d) DF4, e) GO1, f) GO2, g) GO3, h) GO4, i) MG1, j) TO1, l) TO2, m) TO3, n) TO4.

Figura S3. Análise exploratória entre as médias (a) e os desvios padrões (b) de NDVI das treze Veredas com as Áreas em (ha).

Figura S4. Análise exploratória entre as coberturas (Total (a), Graminóides (d) e Espécies-chave (g)) com a média do NDVI das treze Veredas. Relação entre as coberturas e a média dos NDVIs, com a área das treze Veredas estudadas, primeiramente, a regressão do NDVI com a área, desconsiderando as coberturas (b), (e) e (h) e a regressão do NDVI com as coberturas, desconsiderando as áreas (c), (f) e (i).

Figura S5. Análise exploratória entre riqueza e diversidade ($q=0$ (a), $q=1$ (d) e $q=2$ (g)) com a média do NDVI das treze Veredas. Relação entre as coberturas e a média dos NDVIs, com a área das treze Veredas estudadas, primeiramente, a regressão do NDVI com a área, desconsiderando a riqueza e a diversidade (b), (e) e (h) e a regressão do NDVI com a riqueza e diversidade, desconsiderando as áreas (c), (f) e (i).

Figura S6. Regressão simples entre Cobertura total (a), Porcentagem de Graminóides (b) e a Cobertura de Espécies-chave (c) e o entorno (Campo e savana) das treze Veredas estudadas.

Figura S7. Regressão simples entre $q=0$ (a), $q=1$ (b) e $q=2$ (c) e o entorno (Campo e savana) das treze Veredas estudadas.

Figura S8. Regressão simples entre NDVI (desvio padrão) e o entorno (Campo e Savana) das treze Veredas estudadas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações de diversidade e riqueza florística e geográficas dos treze sítios de Vereda amostrados no Brasil Central e seus anos de coleta. (q=0), (q=1) e (q=2) são os três primeiros números de Hill. RPPN = Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Tabela 2. Regressões múltiplas dos dados de NDVI (média e desvio padrão) das veredas com as variáveis bióticas de campo (Cobertura Total, Porcentagem de Graminóides, Espécies-chave, q=0, q=1 e q=2), tendo a variável área como correção.

Tabela 3. Regressões simples das variáveis bióticas de campo (Cobertura Total, Porcentagem de Graminóides, Espécies-chave, q=0, q=1 e q=2) e os dados de NDVI (média e desvio padrão) das Veredas e a porcentagem de pixels do entorno (campo e savana).

Tabela S1. Informações dos treze sítios de Vereda amostrados no Brasil Central, NDVI (média aritmética e desvio padrão de todas as Veredas), Área (tamanho em hectares), Pixels (número de pixels), Campo/Savana (porcentagem de pixels), Cobertura total (metros), Porcentagem de Espécies Graminóide e Cobertura de Espécies-chave (metros).

INTRODUÇÃO GERAL

As zonas úmidas ocorrem em todo mundo e têm sido reconhecidas mundialmente por possuírem elevada produtividade ecossistêmica e biodiversidade (Rivera-Monroy et al. 2011; Grant et al. 2012). Estão entre os habitats mais ameaçados pelas mudanças climáticas atuais, devido à sua alta sensibilidade ao regime hidrológico (Gibbs 2000; Arieira et al. 2010). Essas zonas apresentam flora bastante típica, devido às condições particulares, como alta umidade e elevado teor de matéria orgânica (Junk 2002). Ocorrem em áreas geográficas específicas, onde a maioria das populações de espécies são isoladas, portanto, vulneráveis à extinção (Møller & Rørdam 1985).

Entre as terras úmidas brasileiras estão as Veredas, as quais são largamente negligenciadas pela política de planejamento, legislação ambiental e pesquisa científica, razões para sua degradação (Rosolen et al. 2014). Representam um ecossistema no bioma Cerrado de grande relevância por apresentarem elevada diversidade florística (Guimarães et al. 2002; Resende et al. 2013). É uma formação savana úmida, com a presença da palmeira arbórea Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f., Arecaceae) emergente, em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies subarbustivo-herbáceas (Ribeiro & Walter 2008). São formadas por dois estratos de vegetação: herbáceo-graminóide, principalmente por espécies das famílias Cyperaceae, Euriocaulaceae, Lentibulariaceae, Xyridaceae e Poaceae (Schiavini & Araújo 1989; Araújo et al. 2002; Guimarães et al. 2002); arbóreo-arbustiva com espécies da família Lamiaceae, Melastomataceae e Rubiaceae (Magalhães 1966; Carvalho 1991); e do Buriti.

O Programa Nacional para o Uso de Planícies Inundáveis Irrigáveis, Decreto Federal nº 86146/81, promovido pelo governo militar durante a década de 1980, incentivou inicialmente os agricultores a drenar áreas úmidas para expansão agrícola (Rosolen 2014). Em contrapartida, a Declaração de Cuiabá sobre Zonas Úmidas, elaborada durante a 8ª Conferência Internacional de Zonas Úmidas do INTECOL, no Brasil, em 2008 incentivou o país a preservar as áreas úmidas, afirmando que a falta de conhecimento sobre a complexa dinâmica natural dessas zonas pode levar a decisões arbitrárias de gestão ambiental dessas áreas (Embrapa 2008). Para melhorar a proteção dos ambientes úmidos é importante ter uma compreensão completa dos elementos estruturantes, como o ambiente que o cerca e sua biodiversidade (Arieira et al. 2010).

Segundo o Código Florestal Brasileiro, Lei Federal nº 12.651 de maio de 2012, Veredas são classificadas como Áreas de Preservação Permanente (APP) encontradas em regiões de solos hidromórficos, das quais são protegidas por lei, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade. Essas áreas facilitam também o fluxo gênico de fauna e flora, protegem o solo e asseguram o bem-estar das populações humanas (Brasil 2012). Em 1996, o governo brasileiro aderiu à Convenção de Ramsar, que reconheceu as funções ecológicas dessas zonas, essa decisão possibilita ao país ter acesso a benefícios como cooperação técnica e apoio financeiro para promover a utilização dos recursos naturais das zonas úmidas de forma sustentável (Brasil 2015). No entanto, no bioma Cerrado não há nenhum sítio Ramsar.

Essas mudanças no uso da terra por meio de ações antrópicas, desde o passado até os dias atuais, ocasionam o rebaixamento do lençol freático e representam grande risco à biodiversidade desses ecossistemas. Esses acontecimentos aceleram a invasão por espécies exóticas como *Melinis minutiflora* P. Beauv e *Trembleya parviflora* D. Don (Carvalho 1991; Santos & Munhoz 2012). É de suma importância analisar a interferência dos aspectos antrópicos nas comunidades vegetais em Veredas, no Brasil Central. A integração entre dados de campo e os dados de imagem de satélites são úteis para auxiliar na percepção de dados em conservação, como no caso do uso e ocupação do solo para agricultura e o desmatamento. Fatores esses responsáveis pela exploração das comunidades de plantas, que levam ao desaparecimento da maioria das formações vegetais nativas (Achard et al. 2002; Ali et al. 2015).

O Sensoriamento remoto, como ciência da obtenção de informações através da análise de imagens de satélite, tem auxiliado nos campos da ecologia, biodiversidade e conservação. Esta técnica fornece dados consistentes em longo prazo de observação da Terra em escalas do local para o domínio global (Wang et al. 2010). No Brasil, a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto relacionadas à vegetação, teve início na década de 1940, com o Projeto Radambrasil, tendo como objetivo apresentar classes fisionômicas de cobertura vegetal, características geológicas, geomorfológicas e de solo em todo o território brasileiro (Ponzoni et al. 2012). Na década de 1980, teve início o mapeamento de classes específicas de cobertura vegetal, como culturas agrícolas (cana-de-açúcar e feijão), inventários florestais (cobertura florestal plantada), remanescentes florestais de Mata Atlântica, estimativa de desflorestamento na Amazônia, entre outros (Ponzoni et al. 2012). Em meados da década de 1990, as pesquisas com sensoriamento

remoto da vegetação passaram a explorar abordagens mais quantitativas, como parâmetros geofísicos do meio ambiente e/ou biofísicos da vegetação, como o cálculo de Índice de Área Foliar (IAF) e a biomassa utilizando Índices de Vegetação (Ponzoni et al. 2012).

O produto mais frequentemente derivado de imagens de satélite para análise da vegetação é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e têm sido amplamente utilizado para correlacionar medidas de diversidade de espécies com produtos de sensoriamento remoto (Waser et al. 2004; Dogan & Dogan 2006; Levin et al. 2007). Os índices de vegetação são usados na interpretação visual dos limites das vegetações das áreas úmidas ou como algoritmo de classificação para o mapeamento de cobertura vegetal (Budd & Milton 1982; Gross et al. 1987). No caso, o NDVI é útil para separar ambientes úmidos de ambientes secos, utilizando diferentes contrastes de bandas do vermelho próximo e do infravermelho, e também é usado para calcular áreas densamente vegetadas (Ozesmi & Bauer 2002), utilizando a diferença entre as reflectâncias registradas no infravermelho próximo e no vermelho com as estimativas de biomassa e o cálculo do Índice de Área Foliar (IAF) (Ponzoni et al. 2012).

O objetivo deste estudo é integrar dados de campo, de diversidade e riqueza florística, e de variáveis ambientais, a partir de dados de imagens de satélite em áreas de Vereda no Brasil Central. A partir dessas análises integradas espera-se identificar os padrões espaciais de Vereda e combiná-los com dados extraídos no campo, como estrutura das comunidades de plantas e o uso do solo no entorno. Em posse dos padrões de distribuição espacial das veredas será possível mapear o arranjo espacial da comunidade de plantas na escala da paisagem utilizando imagens de satélite.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., Malingreau, J.P. 2002. Determination of Deforestation Rates of the World's Humid Tropical Forests Science, 297(5583), 999-1002.
- Ali, K., Khan, N., Rahman, I. U., Ahmad, H., Jury, S. 2015. Multivariate analysis and vegetation mapping of a biodiversity hotspot in the Hindu Kush Mountains. International Journal, 3(6), 990-1006.
- Araújo, G.M., Barbosa, A.A.A., Arantes, A.A., Amaral, A.F. 2002. Composição florística de veredas no Município de Uberlândia, MG. Revista brasileira de Botânica, 25(4), 475-493.
- Arieira, J., Karssenbergh, D.J., De Jong, S.M., Addink, E.A., Couto, E., Cunha, C., Skøien, J. 2010. Integrating field sampling, spatial statistics and remote sensing to map wetland vegetation in the Pantanal, Brazil. Biogeosciences Discussions, 7, 6889-6934.
- Brasil, 2012. Lei n. 12.651, de 25 de Maio de 2012. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. (Acessado em 10.07.2016).
- Budd, J.T.C., Milton, E.J. 1982. Remote sensing of salt marsh vegetation in the first four proposed Thematic Mapper bands. International Journal of Remote Sensing, 3(2), 147-161.
- Carvalho, P.D.S. 1991. As veredas e sua importância no domínio dos cerrados. Informe Agropecuário, 168, 47-54.
- Dogan, H. M., Dogan, M. 2006. A new approach to diversity indices—modeling and mapping plant biodiversity of Nallihan (A3-Ankara/Turkey) forest ecosystem in frame of geographic information systems. Biodiversity and Conservation, 15(3), 855-878.
- Embrapa, 2008. Declaração de Cuiabá sobre áreas úmidas de Julho de 2008. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/pesca> (Acessado em 25.01.2017).
- Gibbs, J.P. 2000. Wetland loss and biodiversity conservation. Conservation Biology, 14(1), 314-317.
- Grant, R.F., Desai, A., Sulman, B. 2012. Modelling contrasting responses of wetland productivity to changes in water table depth. Biogeosciences Discuss, 9, 5579–5623. 2012

- Gross, M.F., Hardisky, M.A., Klemas, V., Wolf, P.L. 1987. Quantification of biomass of the marsh grass *Spartina alterniflora* Loisel using Landsat Thematic Mapper imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(11), 1577-1583.
- Guimarães, A.J.M., Araújo, G.M., Corrêa, G.F. 2002. Estrutura fitossociológica em área natural e antropizada de uma vereda em Uberlândia, MG. *Acta Botanica Brasilica*, 16, 317-329.
- Junk, W.J. 2002. Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands. *Environmental Conservation*, 29(04), 414-435.
- Levin, N., Shmida, A., Levanoni, O., Tamari, H., Kark, S. 2007. Predicting mountain plant richness and rarity from space using satellite-derived vegetation indices. *Diversity and Distributions*, 13(6), 692-703.
- Magalhães, G.M. 1966. Sobre os cerrados de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 38, 59-70.
- Mendonça, R.C., Felfili, J.M., Walter, B.M.T., Silva-Júnior, M.C., Rezende, A.V., Filgueiras, T.S., Nogueira, P.E., Fagg, C.W. 2008. Flora vascular do cerrado: Checklist com 12356 espécies. Pp 421-1279. In: Sano, S.M., Almeida, S.P., Ribeiro, J.F. (eds.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. Brasília: Embrapa-CPAC.
- Ministério do Meio Ambiente, 2015. Convenção de Ramsar. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zonas-umidas/convencao-de-ramsar>. (Acessado em 25.04.2016).
- Møller, T.R., Rørdam, C.P. 1985. Species numbers of vascular plants in relation to area, isolation and age of ponds in Denmark. *Oikos*, 8-16.
- Oliveira, G.C., Araújo, G.M., Barbosa, A.A.A. 2009. Florística e zonation de espécies vegetais em veredas no Triângulo Mineiro, Brasil. *Rodriguésia*, 1077-1085.
- Ozesmi, S.L., Bauer, M.E. 2002. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands ecology and management*, 10(5), 381-402.
- Ponzoni, F.J., Shimabukuro, Y.E., Kuplich, T.M. 2012. *Sensoriamento Remoto da Vegetação*. 2ª edição atualizada e ampliada.
- Ribeiro, J.F., Walter, B.M.T. 2001. As matas de galeria no contexto do bioma Cerrado. *Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 29-47.
- Resende, I. L. D. M., Chaves, L. J., Rizzo, J. Â. 2013. Floristic and phytosociological analysis of palm swamps in the central part of the Brazilian savanna. *Acta Botanica Brasilica*, 27(1), 205-225.

- Rivera-Monroy, V.H., Twilley, R.R., Davis III, S.E., Childers, D.L., Simard, M., Chambers, R., ... Castañeda-Moya, E. 2011. The role of the Everglades Mangrove Ecotone Region (EMER) in regulating nutrient cycling and wetland productivity in south Florida. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(S1), 633-669.
- Rosolen, V., de Oliveira, D. A., Bueno, G. T. 2015. Vereda and Murundu wetlands and changes in Brazilian environmental laws: challenges to conservation. *Wetlands Ecology and Management*, 23(2), 285-292.
- Santos, F.F., Munhoz, C.B.R. 2012. Diversidade de espécies herbáceo-arbustivas e zonação florística em uma vereda no Distrito Federal. *Heringeriana*, 6(2), 21-27.
- Schiavini, I., Araújo, G. M. 1989. Considerações sobre a vegetação da Reserva Ecológica do Panga (Uberlândia). *Sociedade & Natureza*, 1(1), 61-66.
- Wang, K., Franklin, S.E., Guo, X., Cattet, M. 2010. Remote sensing of ecology, biodiversity and conservation: a review from the perspective of remote sensing specialists. *Sensors*, 10(11), 9647-9667.
- Waser, L.T., Stofer, S., Schwartz, M., Küchler, M., Ivits, E., Scheidegger, C. 2004. Prediction of biodiversity-regression of lichen species richness on remote sensing. *Community Ecology*, 5(1), 121-133.

CAPÍTULO 1

INTEGRAÇÃO DE DADOS DE DIVERSIDADE E RIQUEZA FLORÍSTICA, VARIÁVEIS AMBIENTAIS E IMAGENS DE SATÉLITE EM VEREDA: IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO

RESUMO

As Veredas são zonas úmidas comuns no Brasil Central, negligenciadas pela legislação ambiental, política de planejamento e estudo científico. Neste estudo nós comparamos a diversidade e riqueza florística das comunidades vegetais de treze Veredas, no Brasil Central, com as características espaciais dessas áreas utilizando o sensoriamento remoto. Calculamos as áreas em hectares, os números de pixels de cada Vereda, os valores de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e a porcentagem de pixels (dentro de um buffer de 5 km) do entorno de cada sítio, utilizando o programa *Quantum GIS* e imagens de satélite *Landsat TM 5 e 7*. Observamos que as treze Veredas estudadas apresentaram índice de vegetação, NDVI, diferentes entre si, provavelmente isso se explica pela influência do entorno dessas áreas como campo, solo exposto (áreas antropizadas) e mata (vegetação mais densa). Em seguida, analisamos a relação da média e do desvio padrão do NDVI com os dados de campo de cobertura total de espécies, porcentagem de espécies graminóide, cobertura de espécies-chave, riqueza e diversidade de espécies (número de Hill); para isso usamos regressões múltiplas com a variável área (tamanho dos sítios em hectares) como correção. Utilizamos regressões simples para relacionar os dados bióticos de campo e o NDVI com o entorno (campo/savana), pois os outros dados de uso do solo (Mata e Áreas Antropizadas) se complementam na paisagem com os dados de campo/savana. Em sua maioria, não houve relações significativas nas regressões múltiplas e simples, apenas na relação da média do NDVI com o entorno (campo/savana), pois sua regressão foi significativa ($p > 0,05$). Conclui-se que as treze Veredas apresentaram índices de vegetação (NDVI) diferentes, e mesmo que, as medidas de NDVI e classificações de solo do entorno tenham alcançado uma precisão consistente, o índice de vegetação utilizado apenas capta a biomassa verde das áreas e não possui relação com a diversidade e riqueza florística.

Palavras-chave: Zonas úmidas, Sensoriamento Remoto, Índice de Vegetação, NDVI.

Introdução

As zonas úmidas estão entre os ecossistemas mais ameaçados mundialmente (Junk et al. 2011) e para evitar mais perdas e conservar esses locais é importante inventariar e monitorar suas áreas e terras adjacentes (Ozesmi e Bauer 2002). Atualmente, três abordagens complementares têm tomado conta do debate sobre as zonas úmidas. A primeira está relacionada com as questões sociais, como a purificação dos recursos hídricos, proteção contra enchentes e oportunidades recreativas (Woodward e Wui 2001). A segunda abordagem são os serviços ambientais, como a dinâmica global do carbono, deposição de sedimentos no solo, presença de grande biomassa vegetal, controle de inundações e a retenção de grandes quantidades de nutrientes (Bridgham et al. 2006; Clare et al. 2011). A terceira enfatiza a biodiversidade, uma vez que estas áreas são de extrema importância, abrigando um grande número de organismos de fauna e muitas espécies de plantas, funcionando como repositórios da biodiversidade mundial (Keddy 2010).

No Brasil Central, no domínio do Cerrado, as Veredas, consideradas zonas úmidas (Junk et al 2016) ocorrem na base de encostas, vales e nascentes e são reconhecidas pela presença da palmeira buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) (Augustin et al. 2009; Ribeiro e Walter 2008) emergindo em meio a um estrato herbáceo contínuo. São caracterizadas pelo aumento sazonal do lençol freático para a superfície de solo (Eiten 1982). As Veredas possuem um papel importante no equilíbrio geocológico do Cerrado, protegendo nascentes e fornecendo água, alimento e abrigo para a fauna silvestre (Brightsmith e Bravo 2006; Fagundes e Ferreira 2016), além de sua importância socioambiental (Sampaio et al 2008). A maior parte da composição florística presente nas áreas de Veredas é ocupada por uma densa vegetação herbácea, principalmente por espécies das famílias Cyperaceae, Eriocaulaceae e Poaceae e por um estrato arbustivo e subarbustivo de Melastomataceae e Rubiaceae (Magalhães 1966, Achá-Panoso 1978, Carvalho 1991). Apresenta alta riqueza e diversidade florística, que estão associados a um ambiente heterogêneo, diferenças na textura do solo, matéria orgânica e drenagem, variando de inundação permanente a bem drenada na estação seca (Guimarães et al., 2002; Ramos et al. 2006; Resende et al. 2013). A vegetação pode estar dividida em zonas, que são distintas do ponto de vista florístico, características edáficas e profundidade do lençol freático (Meirelles *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2009).

Estas características têm grande variação da borda para o fundo do vale da vereda. O fundo da vereda é mais úmido, com solo mais rico em matéria orgânica, na maioria das vezes com um brejo permanente, onde o solo se encontra encharcado durante a totalidade do ano (Eiten, 2001; Ramos *et al.*, 2006; Moreira *et al.*, 2011).

Veredas ocorrem em toda a extensão do Cerrado e são comuns em regiões como as do Jalapão (Villela e Nogueira 2011; Silva *et al.* 2017). São locais de grande beleza cênica com potencial econômico e sustentável para o extrativismo em pequenas áreas rurais e comunidades locais (Schmidt *et al.*, 2008). Nesses ambientes, a riqueza florística é favorecida por um gradiente de umidade relacionado às mudanças na drenagem do solo. O gradiente de umidade permite o estabelecimento de espécies com diferentes requisitos ecológicos, que vão desde peritos inundados, espécies generalizadas e espécies comuns nos solos secos (Kurtz *et al.*, 2013). A zona de fronteira é a área mais seca, a porção central ou fundo da Vereda é uma área saturada perto da corrente, onde *M. flexuosa* pode ser encontrado (Ribeiro e Walter, 2008). Assim, as veredas têm várias espécies associadas a regimes distintos de saturação de água e grande número de espécies endêmicas, mais vulneráveis à extinção (Rosolen *et al.*, 2015). Nos planaltos do Brasil Central, as zonas úmidas são afetadas pela agricultura intensiva que está avançando com o passar dos anos. Além disso, a ausência de política e planejamento ambiental brasileira, como resultado de diversas mudanças nas Leis Ambientais (ou Código Florestal) desde 1934, tem contribuído para as perdas dessas áreas e mudanças nas características do solo e da vegetação (Rosolen *et al.* 2014). Essas áreas vêm passando por degradação devido às atividades agropecuárias, avanço da urbanização, construção de estradas e canais de drenagem (Araújo *et al.* 2002) resultando em assoreamento, diminuição do volume hídrico, invasão de espécies exóticas, erosão e perda irreparável de sua biodiversidade (Lorival *et al.* 2011; Junk *et al.* 2014).

A importância de integrar os dados de diversidade e riqueza florística com o uso do sensoriamento remoto proporciona uma ampla visão sobre as áreas e a percepção da influência humana do entorno, na interpretação e identificação dos locais estudados (Zak e Cabido 2002). A classificação de imagens por satélite em ambientes úmidos fornece dados consistentes para auxiliar na gestão de recursos naturais, conservação e planejamento do uso da terra destes locais (Aragon e Oesterheld 2008). O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) tornou-se um produto padrão de

sensoriamento remoto para aplicações ecológicas (Pettorelli et al. 2005) e tem sido utilizado para discriminar e interpretar unidades de vegetação mapeadas, em áreas úmidas (Ozesmi e Bauer 2002; Hong et al. 2004; Rahman e Gamon 2004).

O NDVI é aceito para capturar parâmetros vegetais essenciais, como biomassa da folha verde, índice da área foliar, porcentagem de cobertura verde, produção de biomassa verde e produção primária líquida anual e abundância de clorofila (Geist e Lambin 2001; Sannier et al. 2002). É útil para separar ambientes úmidos de ambientes secos, utilizando diferentes contrastes de bandas do vermelho próximo e do infravermelho (Ozesmi & Bauer 2002), os índices de vegetação são usados na interpretação visual dos limites das áreas úmidas ou como algoritmo de classificação para o mapeamento de cobertura vegetal (Budd e Milton 1982; Gross et al. 1987). Estudos anteriores que utilizaram NDVI para monitorar áreas úmidas verificaram a importância da análise em diferentes períodos, diferentes locais, contextos temporais e sazonais específicos (Fesham et al. 2010; White e Lewis 2011; Petus et al. 2013).

O NDVI pode ser útil para planejamento e monitoramento da vegetação e do uso do solo, como indicador-chave para áreas com processo de degradação. A utilização de satélite serve para complementar pesquisas de campo e levantamentos fitossociológicos, na determinação de espécies de plantas presentes nas áreas de estudo, para monitoramento, especialmente em áreas de savana (Welch et al. 2005; Ponzoni e Shimabukuru 2009). O SIG (Sistema de Informações Geográficas) é uma ferramenta eficaz para pesquisa em recursos naturais e monitoramento de recursos antropogênicos, permitindo a estimativa de indicadores biofísicos e a dinâmica ambiental junto aos fatores biológicos que interferem diretamente no processo de conservação das áreas (de Alcântara Silva 2016). As áreas úmidas de Cerrado vêm sofrendo com as variações climáticas ocasionadas por atividades antrópicas, como exemplo, o desmatamento, atividades de sobrepastoreio e incêndios, os quais ocasionam processos de degradação ambiental com dimensões globais e esses impactos estão relacionados à inadequada gestão dos recursos naturais e hídricos nas áreas de savana no Brasil (Bisaro et al. 2013; de Alcântara Silva 2016).

O objetivo deste estudo é integrar dados de diversidade e riqueza florística e imagem de satélite em áreas de Vereda no Brasil Central. De modo a combinar dados extraídos no campo, índice de vegetação (NDVI) e a influência do uso da terra do entorno (atividades antrópicas e ambientes nativos) produzidos através da utilização de

imagens de satélite. Para isso demonstramos visualmente a distinção do cálculo de NDVI entre as Veredas estudadas, analisamos a relação do NDVI com os dados bióticos de campo (cobertura total, porcentagem de espécies graminóides, cobertura de espécies-chave, diversidade e riqueza) e, por fim, comparamos a porcentagem de uso do solo do entorno com os dados bióticos de campo e o NDVI produzido por imagem de satélite. Partimos das seguintes perguntas: (1) As Veredas apresentam índice de vegetação, expressas por NDVI, semelhantes? (2) O índice de vegetação (NDVI) apresenta relação com os dados bióticos (cobertura total, porcentagem de espécies graminóide, cobertura de espécies-chave, riqueza e diversidade) das Veredas e do entorno? (3) Os dados bióticos e de NDVI das Veredas respondem/variam com o uso do solo do entorno (áreas nativas de Campo e savana)?

Material e Métodos

Área de Estudo

Utilizei os dados de riqueza e diversidade florística de 13 comunidades de Vereda na região central do Brasil (Fig. 1, Bijos 2017). As localidades amostradas abrangem amplitude de sete graus de latitude e cinco de longitude (Tabela 1). O clima das localidades é do tipo tropical continental úmido e sempre quente (Aw de Köppen), com períodos de seca (maio a setembro) e de chuva (outubro a março) bem definidos. Nas Veredas predominam Gleissolos de textura argilosa, que são caracterizados por serem hidromórficos, com bastante matéria orgânica e lençol freático superficial, principalmente na estação chuvosa (Embrapa 2006).

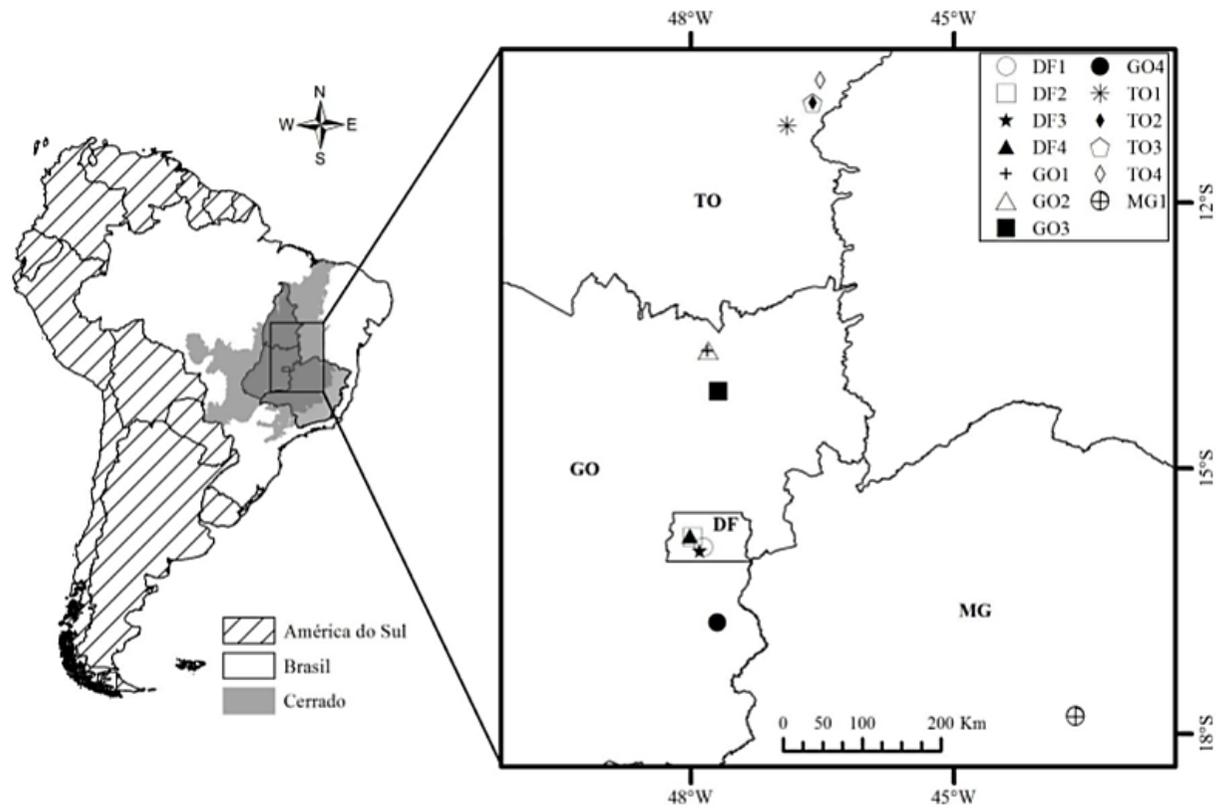


Fig. 1 Localização das Veredas amostradas no Distrito Federal e suas respectivas Reservas (DF1, DF2, DF3, DF4), em Goiás (GO1, GO2, GO3, GO4), em Minas Gerais (MG1) e em Tocantins (TO1, TO2, TO3 e TO4). Os códigos dos sítios encontram-se na tabela 1 (Bijos 2017).

Tabela 1. Informações de diversidade e riqueza florística e geográficas dos treze sítios de Vereda amostrados no Brasil Central e seus anos de coleta. (q=0), (q=1) e (q=2) são os três primeiros números de Hill. Prec. Anual = Precipitação anual, TMed = temperatura média anual, Classes de solo = Classes de solo predominantes nas regiões, LVA= Latossolo Vermelho-Amarelo, LA = Latossolo Amarelo, NQ = Neossolo Quartzarênico e NL = Neossolo Litólico. RPPN = Reserva Particular do Patrimônio Natural.

| Sítio/Estado | Código dos sítios | Latitude (S); Longitude (W) | Ano de coleta | Prec. Annual (mm) | TMed Min/Máx (°C) | Classes de solo | q=0 | q=1 | q=2 |
|--|-------------------|-----------------------------|---------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----|-----|-----|
| Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília/DF ¹ | DF1 | 15°53'30"; 47°51'25" | 2009 | 1.650 | 15/26 | LVA | 49 | 37 | 30 |
| Parque Nacional de Brasília/DF ¹ | DF2 | 15°46'48,9"; 47°58'37,9" | 2009 | 1.567 | 15/26 | LVA | 81 | 62 | 50 |
| Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/DF ¹ | DF3 | 15°55'53,5"; 47°53'57,2" | 2008 | 1.691 | 15/26 | LVA | 104 | 78 | 60 |
| Floresta Nacional de Brasília/DF ¹ | DF4 | 15°45'44"; 48°4'10" | 2008 | 1.540 | 15/26 | LVA | 81 | 60 | 48 |
| RPPN Serra do Tombador (1)/GO ¹ | GO1 | 13°40'39,6"; 47°48'45,5" | 2010 | 1.743 | 18/29 | LA | 42 | 27 | 18 |
| RPPN Serra do Tombador (2)/GO ¹ | GO2 | 13°40'1,7"; 47°48'4,2" | 2010 | 1.743 | 18/29 | LA | 58 | 41 | 30 |
| Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO ¹ | GO3 | 16°44'15" e 47°41'54" | 2008 | 1.830 | 16/26 | NL | 71 | 53 | 43 |
| RPPN Linda Serra de Topázios/GO ¹ | GO4 | 14°7'43,9"; 47°41'15,7" | 2009 | 1.373 | 14/27 | NL | 128 | 104 | 87 |
| Parque Nacional das Sempre Vivas/MG ¹ | MG1 | 17°47'51,74"; 43°37'20" | 2010 | 1.157 | 15/28 | NL | 55 | 39 | 31 |
| Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (1)/TO ² | TO1 | 11°07'40,00"; 46°54'20,00" | 2014 | 1.700 | 23/30 | NQ | 50 | 36 | 27 |
| Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (2)/TO ² | TO2 | 10°51'49,30"; 46°36'54,30" | 2014 | 1.700 | 23/30 | NQ | 60 | 40 | 29 |
| Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (3)/TO ² | TO3 | 10°52'03,00"; 46°36'55,40" | 2014 | 1.700 | 23/30 | NQ | 60 | 42 | 29 |
| Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (4)/TO ² | TO4 | 10°36'48,70"; 46°31'41,50" | 2014 | 1.700 | 23/30 | NQ | 47 | 30 | 23 |

Fonte: 1. Bijos et al. *In press*; 2. Silva et al. *In press*

Pesquisa de campo

Os levantamentos da vegetação herbáceo-arbustiva das 13 Veredas estudadas foram realizados no período do auge para o final das chuvas, quando há chances de amostrar um maior número de espécies e grandes porcentagens de cobertura (Munhoz e Felfili 2006). A composição e a cobertura linear das espécies foram determinadas por meio do método de inventário de interseção de linha (Canfield 1941; Munhoz e Araújo 2011), que consiste em traçar linhas pela vegetação e anotar o comprimento da linha interceptada por uma espécie, que dividido pelo comprimento total das espécies inventariadas sob a linha estima a proporção da área coberta por aquela espécie.

Nas Veredas após o reconhecimento das zonas de umidade do solo de acordo com a presença de matéria orgânica em decomposição na superfície, foram distribuídas linhas de 10m (UA) em cada zona, a 30m uma da outra, até atingir 15 linhas, demarcadas com estacas de ferro de 80 cm, por Vereda. Com o auxílio de uma trena fez-se a visualização da projeção horizontal das espécies na linha, o que correspondeu ao valor de cobertura absoluta. O registro de ocorrência de cada espécie nas UA foi utilizado para calcular cobertura absoluta (em metros) e frequência absoluta (Kent e Coker 1992; Munhoz e Felfili 2006). As Veredas foram delimitadas onde ocorrem os buritis, passando pelo contínuo de vegetação herbáceo-arbustiva até fazer borda com outras fitofisionomias do Cerrado (zona de transição). A amostragem das espécies está descrita em Bijos et al. (2017) e Silva et al. (2017).

Do total da cobertura de espécies herbáceo-arbustivas de cada área de Vereda, separei a proporção de espécies graminóides (Poaceae, Cyperaceae, Eriocaulaceae e Xyridaceae), a partir da divisão da cobertura dessas espécies sobre a cobertura total de todas as espécies. As espécies graminóides representam a principal forma de vida nas Veredas (Munhoz et al. 2011). Também foi calculada a cobertura (em metros) das invasoras exóticas *Melinis minutiflora* P.Beauv, *Melinis repens* (Willd.) Zizka, *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster e da espécie nativa *Trembleya parviflora* (D.Don) Cogn. cujas populações vêm dominando as Veredas do Distrito Federal (Santos e Munhoz 2012), as quais classificamos como grupo de espécies-chave (Tabela S1 do Material Suplementar).

Para caracterizar a diversidade e a riqueza das espécies nos sítios estudados, foram utilizados os três primeiros números de Hill, que são famílias matematicamente unificadas de índices de diversidade (se diferenciando entre si apenas pelo expoente

“q”) que incorpora abundância relativa e riqueza de espécies, onde $q = 0$ (riqueza de espécies), $q = 1$ (Exponencial da Entropia de Shannon) e $q = 2$ (Concentração Inversa de Simpson), sendo que Shannon dá mais peso para as espécies raras e Simpson para as espécies mais frequentes e abundantes (Chao et al. 2014). O cálculo foi realizado por meio do pacote iNEXT, versão 2.0.9 (Hsieh et al. 2015), no programa R versão 3.3.1 (R Development Core Team 2016).

Análises por sensoriamento remoto

No Programa *Google Earth*, defini os pontos das Veredas estudadas a partir das UA (Unidades Amostrais) utilizando as 15 linhas (15 pontos espaciais) ao total de cada Vereda (ex: DF1L1,..., DF1L15) com as coordenadas em graus, minutos e segundos. A partir dos quinze pontos das treze Veredas e da análise espacial do local através do conhecimento de campo, fizemos os polígonos (DF1; DF2; DF3; DF4; GO1; GO2; GO3; GO4; MG1; TO1; TO2; TO3; TO4) que correspondem ao espaço total de cada Vereda, em formato de arquivo KML (*Keyhole Markup Language*), utilizado para exibir dados geográficos (<http://earth.google.com>). O cálculo da área (em hectares) dos polígonos foi feito no Programa *Earth Point*, uma plataforma do *Google Earth*, utilizando a função *calculate polygon area* (<http://www.earthpoint.us/>).

Para comparar o entorno com os dados de riqueza, diversidade florística e NDVI, foi utilizado o *shape* do Cerrado na plataforma do MapBiomas (<http://mapbiomas.org/>), com a classificação do uso do solo, por mês (janeiro a junho) e ano de coleta (2008 a 2014), no período de chuva (imagem georreferenciada e com correção atmosférica). No programa QGIS, *Quantum GIS* (<http://www.qgis.org/>), com o *shape* (do Mapbiomas) do uso do solo, foi calculado o número de pixels dentro de um buffer de 5km em volta das Veredas, e suas porcentagens, de acordo com as classes de mata, campo (limpo e sujo) e áreas antropizadas (pastagens, agricultura e cidade). Nessa metodologia a classe de cobertura de solo denominada como mata se refere às formações florestais e savânicas, que inclui o Cerrado Sentido Restrito, a qual será referida daqui para frente como mata/cerrado, para essa variável de entorno. As áreas antropizadas incluem pastagens, agricultura, culturas anuais, culturas semi-perenes e infraestrutura urbana. A metodologia do Mapbiomas encontra-se explicada com

detalhes no anexo 1, que consiste em um mapeamento anual da cobertura e uso do solo do Brasil, no caso, utilizado no estudo, o bioma Cerrado, com a utilização do sensoriamento remoto, SIG (Sistema de Informação Geográfica), que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine* (<http://mapbiomas.org/>).

Para o cálculo de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) - médio (max/min), foram utilizadas as imagens no site do *Earth Explorer*, *Landsat TM 5* e *7* das cartas dos locais estudados utilizando as coordenadas geográficas de cada Vereda, no ano (2008 a 2014) e meses de coleta de janeiro a junho (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), na época de chuva, quando a vegetação apresenta maior quantidade de folhas verdes. No QGIS, calculamos o NDVI a partir das bandas 3, 4, 5; no *Landsat 5*, utiliza-se as bandas 3 e 4 e *Landsat 7*, as bandas 4 e 5. A fórmula do NDVI utilizada foi (Ponzoni et al. 2012):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

NIR: Banda do Infravermelho próximo

RED: Banda do Vermelho

O cálculo do NDVI é uma matemática entre bandas do infravermelho próximo e vermelho e são valores normalizados que variam entre -1 e 1, valor próximo a 1, locais com maior vegetação, e valor próximo -1, áreas com menor resquício de vegetação. Quando temos números em uma imagem, estes não são exatos, são decimais, ou seja, é preciso garantir todas as casas decimais usando a função *float* na fórmula (Ponzoni et al. 2012). As imagens NDVI das treze Veredas estão representadas no anexo 2, circuladas em vermelho e as diferenças dos aspectos visuais das imagens possui relação com o tipo de satélite, ou seja, a imagem *Landsat 5* é diferente da *Landsat 7*, de acordo com os anos e locais de coleta de campo.

Relação entre variáveis de campo, imagem e entorno

Foram realizadas regressões múltiplas entre as médias aritméticas de NDVI de todos os *pixels* de cada uma das treze Veredas (variável resposta - y), com as variáveis explicativas bióticas (x): cobertura total de todas as espécies amostradas; proporção de cobertura de espécies graminóides; e com a cobertura de espécies-chaves. Em seguida, foram realizadas regressões múltiplas entre o desvio padrão do NDVI (variável resposta - y) com os dados diversidade e riqueza, a partir dos números de Hill ($q=0$, $q=1$ e $q=2$), como variáveis explicativas bióticas (x). Para as análises de regressões múltiplas, foi utilizada a variável área como fator de correção, expressa pelo tamanho das Veredas em *pixels* transformadas em hectares, para desconsiderar o efeito do tamanho de cada Vereda sobre o cálculo de NDVI, por conta da influência do efeito das bordas das áreas amostradas sobre o NDVI (Gotelli e Ellison 2004). Para checar as premissas de linearidade e normalidade dos dados, foram utilizados os histogramas de resíduos das regressões múltiplas (Anexo 4).

Para demonstrar graficamente a relação entre as variáveis foram realizadas análises exploratórias. Inicialmente, foi produzido um gráfico entre NDVI (média e desvio padrão) com apenas a variável área. Em seguida, foi feito um gráfico bruto de cada relação NDVI (média e desvio padrão) e variáveis bióticas (cobertura total, porcentagem de graminóides, cobertura de espécies-chave, riqueza ou diversidade). Posteriormente, foram realizados gráficos entre o NDVI (média e desvio padrão) com as variáveis (cobertura total, porcentagem de graminóides, cobertura de espécies-chave, riqueza ou diversidade) desconsiderando o resíduo da variável área, e da relação entre NDVI e área desconsiderando o resíduo das variáveis bióticas. Isso foi feito para retirar o efeito de uma das variáveis preditoras (x) e ver o efeito da outra variável em separado (Legendre e Legendre 1978).

Para avaliar o efeito do entorno sobre a conservação das Veredas foram realizadas as regressões simples entre os dados bióticos (cobertura total de espécies, proporção de espécies graminóides, espécies-chave, riqueza e diversidade) e os dados de média e desvio padrão dos valores de NDVI, como variáveis respostas (y), com os dados do entorno das Veredas (porcentagem de campo) como variável explicativa (x). Foi utilizada apenas essa variável de entorno, pois as outras variáveis, mata e cerrado e área antropizada, se complementam na paisagem e a escolha pela variável campo se dá, pois essa possui uma proximidade e similaridade com as áreas de Veredas (Silva et al. 2017).

Para checar as premissas de linearidade e normalidade dos dados, foram utilizados os histogramas de resíduos das regressões (Anexo 4). Todas as medidas e regressões foram calculadas usando o software estatístico livre R com o pacote *stats*, versão 3.3.1 (R Development Core Team 2016).

Resultados

Os números de *pixels* variaram de 45 a 692, sendo que a Vereda GO1 (RPPN Serra do Tombador) apresentou o menor valor e a Vereda DF3 (Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) o maior valor. O tamanho das Veredas, calculado a partir da área, em hectares, variou de 4 ha, GO1 a 59 ha, DF3 (Tabela S1 do Material Suplementar). A porcentagem de *pixels* do entorno das Veredas para mata/cerrado variou de 1,81 para GO1 e GO2 (RPPN Serra do Tombador (1 e 2)/GO) a 93,8 para a Vereda TO1. As Veredas da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (1)/TO (TO1, TO2, TO3 e TO4) se destacaram das demais em porcentagem de entorno (campo), pois sua soma chega a quase 50% da porcentagem total das 13 Veredas estudadas (Tabela S1 do Material Suplementar).

Os valores médios de NDVI, de todos os pixels, das 13 Veredas variaram de 0,21 (TO3) a 0,51 (GO1) e seu desvio padrão de 0,02 (DF3) a 0,07 (GO3) (Fig. 2). A Vereda GO1 (Serra do Tombador, Cavalcante – GO) se destacou por possuir o maior valor da média de NDVI em relação às demais Veredas (Fig.2).

Nenhuma variável biótica tomada em campo apresentou relação significativa com os valores médios e desvio padrão de NDVI nas 13 Veredas nas regressões múltiplas ($p > 0,05$, Tabela 2).

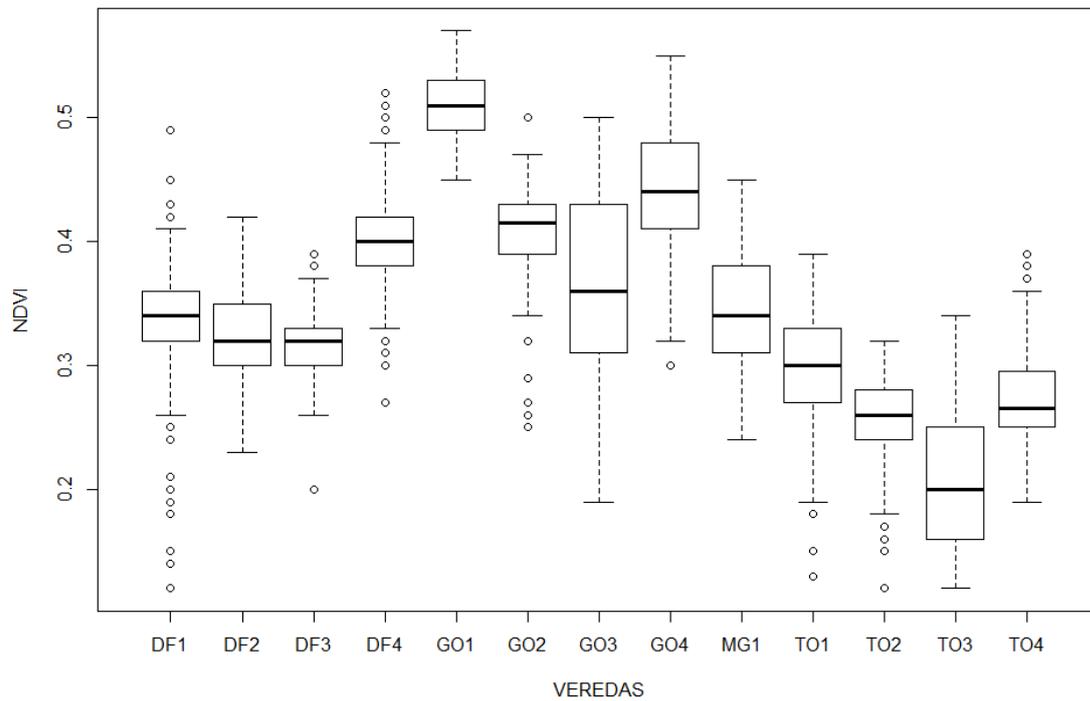


Fig. 2 NDVI de todos os pixels das treze Veredas estudadas, utilizando as bandas do vermelho e do infravermelho próximo das imagens *Landsat* (30 x 30m) dos locais estudados, nos meses e anos de coleta. A caixa representa a faixa de valores que delimitam 50% das observações de valores mais centrais e representam os limites do 1º e 3º quartis, a linha dentro da caixa equivale à mediana, barras de variação que indicam a faixa de valores típicos (intervalo de confiança de 95% para a mediana) e círculos fora dessa faixa de valores são observações com valores atípicos.

Tabela 2. Regressões múltiplas dos dados de NDVI (média e desvio padrão) das veredas com as variáveis bióticas de campo (Cobertura Total, Porcentagem de Graminóides, Espécies-chave, q=0, q=1 e q=2), tendo a variável área como correção.

| NDVI versus Bióticos | R ² ajustado | p |
|--|-------------------------|-------|
| NDVI (média) X Cobertura total | 0.143 | 0.185 |
| NDVI (média) X Porcentagem de Graminóides | -0.027 | 0.460 |
| NDVI (média) X Cobertura de Espécies-chave | 0.108 | 0.225 |
| NDVI (desvio padrão) X q=0 | -0.147 | 0.800 |
| NDVI (desvio padrão) X q=1 | -0.145 | 0.791 |
| NDVI (desvio padrão) X q=2 | -0.139 | 0.770 |

As regressões simples entre a porcentagem de pixels do entorno, campo, com os dados bióticos e NDVI, em sua maioria, não foram significativas (Tabela 3). A relação da média de NDVI com o entorno foi significativa ($p < 0,001$) (Fig. 3). Assim a análise do entorno não é capaz de mostrar a presença de espécies graminóides, grupo de espécies-chave, e também, pela diversidade e riqueza das espécies presentes nas Veredas.

Tabela 3. Regressões simples das variáveis bióticas de campo (Cobertura Total, Porcentagem de Graminóides, Espécies-chave, q=0, q=1 e q=2) e os dados de NDVI (média e desvio padrão) das Veredas e a porcentagem de pixels do entorno (campo).

| Bióticos e NDVI versus Entorno | R ² | p |
|-------------------------------------|----------------|-------|
| Cobertura total X Campo | 0.252 | 0.080 |
| Porcentagem de Graminóides X Campo | 0.005 | 0.817 |
| Cobertura de Espécies-chave X Campo | 0.000 | 0.971 |
| q=0 X Campo | 0.011 | 0.721 |
| q=1 X Campo | 0.015 | 0.682 |
| q=2 X Campo | 0.020 | 0.640 |
| NDVI (média) x Campo | 0.625 | 0.001 |
| NDVI (desvio padrão) X Campo | 0.059 | 0.421 |

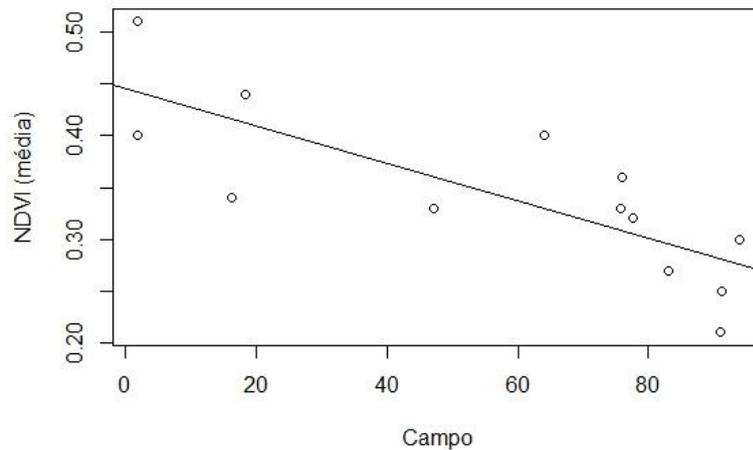


Fig. 3 Regressão simples entre a média do NDVI e o entorno (Campo) das treze Veredas estudadas.

As análises exploratórias entre as médias (a) e os desvios padrões de NDVI de todos os pixels das treze Veredas com as áreas em (ha) das regressões múltiplas e simples não foram significativas entre NDVI e os dados bióticos e o entorno (Fig.S3). Os dados bióticos de campo, cobertura total, porcentagem de espécies graminóides e cobertura de espécies-chave, com a média do NDVI das treze Veredas também não foram significativos (Fig. S4), assim como entre os dados de diversidade e riqueza florística ($q=0$, $q=1$ e $q=2$) e o desvio padrão do NDVI (Fig. S5). As regressões simples entre os dados de NDVI e tamanho do entorno (campo) não foram significativas (Fig. S6 e Fig. S7).

Discussão

As treze veredas apresentaram valores de NDVI (0,21 a 0,51) próximos aos encontrados em outros estudos para áreas de campo e savana (Fensholt et al. 2004; Tucker et al. 2005; Wagenseil e Samimi 2006), sendo que em áreas de mata, com maior cobertura vegetal ou maior reflectância do verde, assumiriam valores acima de 0,5 (Ponzoni et al. 2012). Normalmente as áreas mais escurecidas na imagem NDVI, os valores são mais baixos, próximos a zero, e relacionam-se as classes de uso do solo com

pouca biomassa vegetal, geralmente solo exposto, pastagens ou culturas agrícolas (Achard e Estreguil 1995; Galvão et al. 1999). Diferentes fitofisionomias no Cerrado, normalmente apresentam valores distintos de NDVI. Em áreas de matas, de uma maneira geral, os valores de NDVI médio variam de 0,7 a 0,9, para o Cerradão oscilam de 0,6 a 0,8, já para o Cerrado, áreas de campos e savanas, o NDVI varia de 0,4 a 0,9 (Gamarra et al. 2016). Os valores de NDVI diferem também da sazonalidade, possuem maiores valores na estação chuvosa (novembro a abril) e menores valores na estação seca (maio a outubro) (Liesenbergh et al. 2007; Valente et al. 2013).

De acordo com os resultados das regressões simples, apenas o NDVI médio possui uma relação com o entorno, campo/savana, ou seja, os valores de NDVI das Veredas são influenciados por suas bordas (Carvalho et al. 2008), e esse sendo pouco relacionado com o tamanho das Veredas (pixels/área). Como foi o caso da Vereda (GO1), RPPN Serra do Tombador, que apesar de apresentar o menor valor de pixel/área mostrou maiores valores de NDVI, por possuir maior borda com matas. Já os sítios de Veredas da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (1)/TO (TO1, TO2, TO3 e TO4), apesar de apresentarem grandes áreas, tiveram menores valores de NDVI, pois se destacaram pelas altas coberturas de campo e savana, em seus entornos, pois essa região possui neossolo quartzarênico, composto de grandes quantidades de solo exposto (Mamede 2002). É importante enfatizar que há uma maior permeabilidade das áreas próximas de campo e savana com as Veredas, e isso ocorre pela similaridade florística entre Veredas e campos (sujos e limpos), e savanas (Silva et al. 2016). Encontramos distinção do valor de NDVI entre as treze Veredas provavelmente em reposta a características de suas paisagens e entornos, que se influenciam pela presença de arbustos dentro das áreas analisadas, e a presença de áreas como campo, mata e solo exposto, no entorno (Wagenseil e Samimi 2006).

As regressões utilizadas para comparar NDVI com dados de campo, diversidade e riqueza florística, não foram significativas. Normalmente, o NDVI tem sido usado para o monitoramento de diferentes tipos vegetacionais, como pastagens, campos, matas, terras secas e terras úmidas, ou diferentes fitofisionomias (Zak e Cabido 2002; Piao et al. 2006; Zhao et al. 2012). Ao se analisar, de forma integrada, indicadores de sensoriamento remoto e fitossociológicos, encontra-se uma estreita relação entre NDVI, diversidade arbórea e taxa de cobertura (Vicens et al. 1998). Agarez et al. 2001 encontraram relação entre NDVI e alguns indicadores fitossociológicos, como diversidade arbórea, número de espécies e total de indivíduos, permitindo a criação de

grupos de espécies nas áreas analisadas segundo o grau de similaridade de seus valores médios de NDVI e do índice de diversidade. Essa integração possibilita a recuperação de áreas degradadas, estabelecimento de corredores florestais, formação de banco de sementes e aumento de oferta hídrica (Agarez et al. 2001). O NDVI é usado para melhorar previsões e avaliações de impacto de distúrbios como exemplo, seca (Singh et al. 2003), fogo (Maselli et al. 2003), inundação (Wang et al. 2003) e geada (Tait e Zheng 2003). Pode-se utilizar também, para futuros estudos, o valor de NDVI para monitorar vegetação em respostas a mudanças ambientais, pois se correlaciona diretamente a produtividade vegetal (Reed 1994). A utilização também de outros índices de vegetação que medem parâmetros diferentes do NDVI e podem ser utilizados para futuros estudos ambientais das áreas de Veredas e sua vegetação, como o SAVI (Índice de Vegetação Ajustado para o Solo), ARVI (Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera), PVI (Índice de Vegetação Perpendicular) e GEMI (Índice Global de Monitoramento Ambiental) (Ponzoni et al. 2012).

Outros estudos não encontraram distinção em ambientes nativos mais ricos, com algumas espécies mais abundantes ou com diferença entre espécies nativas e exóticas (Nagendra 2001; Wagenseil e Samimi 2006). O aumento na cobertura de algumas espécies em Veredas, como *Trembleya parviflora* (D.Don) Cogn., leva a perda de diversidade de espécies (Santos e Munhoz 2012), e não mostrou uma relação significativa com o valor de NDVI. É importante destacar também a falta de ocorrência de espécies exóticas nas Veredas de GO2 (RPPN Serra do Tombador (2)/GO), GO3 (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO), MG1 (Parque Nacional das Sempre Vivas/MG) e todas as Veredas da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (1)/TO (TO1, TO2, TO3 e TO4) e sua qualidade de preservação. Todas as Veredas estudadas ocorrem em unidades de conservação, assim estudos futuros devem avaliar, usando o sensoriamento remoto como ferramenta, as condições de preservação dessas áreas. Principalmente levando em conta que o Código Florestal Brasileiro, ratificado em 2012, especialmente no que diz respeito ao estabelecimento das APPs (Área de Preservação Permanente), prevê a preservação de apenas uma faixa de 50 metros da Vereda, partindo da linha de buritis (Brasil 2012), e todas as áreas analisadas no presente estudo são maiores que essa largura.

Conclusão

Não encontramos uma relação entre os dados de diversidade e riqueza florística de Veredas e NDVI (Índice de Vegetação por diferença Normalizada). Encontramos relação do entorno com o NDVI, calculado através do sensoriamento remoto, analisado pelo uso do solo, como ambientes nativos (campo/savana e mata) e atividades humanas (pastagens, agricultura e cidades), e que determinou variações nos valores de NDVI entre elas, com maiores valores naquelas com maior vizinhança de matas, presença de arbustos dentro das áreas analisadas e com valores mais baixos, em áreas do entorno com campo e solo exposto, ou seja, menos cobertura vegetal densa. E o NDVI não apresentou relação com o tamanho (pixels/áreas) dos sítios. Os valores calculados do NDVI no presente estudo são semelhantes aos encontrados para áreas de campo e savana e podem ser utilizados para diferenciar as Veredas de outras fitofisionomias do Cerrado. O interesse a índices de vegetação na paisagem, para um futuro estudo, pode ser focado em tendências fenológicas da vegetação, pois se diferem nos períodos de chuva e nos períodos secos. Em relação ao número de pixels dos sítios, existe uma necessidade de propostas para revisões no status da APP, no que diz respeito ao tamanho de 50 metros e isso reduz efetivamente a proteção da biodiversidade florística das áreas úmidas no Brasil.

Referências

- Achard F, Estreguil C (1995) Forest classification of Southeast Asia using NOAA AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 54(3), 198-208.
- Agarez FV, Vicens RS, Cruz CM, Nogueira CR, Garay IRENE (2001) Utilização de Índice de vegetação na classificação integrada de fragmentos florestais em Mata Atlântica de Tabuleiros no Município de Sooretama, ES. *Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1499-1507.
- Aragón R, Oesterheld M (2008) Linking vegetation heterogeneity and functional attributes of temperate grasslands through remote sensing. *Applied Vegetation Science*, 11(1), 117-130.

- Araújo GM, Barbosa AAA, Arantes AA, Amaral AF (2002) Composição florística de Veredas no município de Uberlândia, MG. *Revista Brasileira de Botânica* 25, 475-493.
- Augustin CH, de Melo DR, Aranha PRA (2009) Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do bioma do Cerrado, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 10(1).
- Bijos NR (2017) Fatores modeladores da composição e da diversidade de espécies herbáceo-arbustivas em veredas no Brasil.
- Brasil, 2012. Lei n. 12.651, de 25 de Maio de 2012. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. (Acessado em 10.07.2016).
- Bridgham SD, Megonigal JP, Keller JK, Bliss NB, Trettin C (2006) The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands*, 26(4), 889-916.
- Brightsmith D, Bravo A (2006) Ecology and management of nesting blue-and-yellow macaws (*Ara ararauna*) in *Mauritia* palm swamps. *Biodiversity and Conservation*, 15(13), 4271-4287.
- Budd JTC, Milton EJ (1982) Remote sensing of salt marsh vegetation in the first four proposed Thematic Mapper bands. *International Journal of Remote Sensing*, 3(2), 147-161.
- Canfield R (1941) Application of line interception in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*, 39, 388-394.
- Carvalho Júnior OAD, Sampaio CDS, Silva NCD, Couto Júnior AF, Gomes RAT, Carvalho APFD, Shimabukuro YE (2008) Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26(4), 505-517.
- Chao A, Gotelli NJ, Hsieh TC, Sander EL, Ma KH, Colwell RK, Ellison AM (2014) Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs* 84, 45-67.
- Clare S, Krogman N, Foote L, Lemphers N (2011) Where is the avoidance in the implementation of wetland law and policy? *Wetlands Ecology and Management*, 19(2), 165-182.

- De Alcântara Silva VM (2016) Characterization NDVI space-time and surface and analysis phytosociologic albedo for São João do Cariri. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 6(6), 305-315.
- Earth Explorer, USGS Science for a Changing World. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. (Acessado em 05.01.2016).
- Earth Point, plataforma do Google Earth. Disponível em: <http://www.earthpoint.us/> (Acessado em 15.05.17).
- Eiten G (1982) Brazilian “savannas”. In *Ecology of tropical savanas*. Springer Berlin Heidelberg, 25-47.
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2006) Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
- Fagundes NCA, Ferreira EJ (2016). Veredas (*Mauritia Flexuosa* palm swamps) in the southeast Brazilian savanna: Floristic and structural peculiarities and conservation status. *Neotropical Biology and Conservation*, 11(3), 178-183.
- Fensham RJ, Ponder WF, Fairfax RJ (2010) Recovery plan for the community of native species dependent on natural discharge of groundwater from the Great Artesian Basin. In: City East (Ed.), Basin. Report to Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts, Canberra. Queensland Department of Environment and Resource Management, Brisbane. C. East., 1–58.
- Fensholt R, Sandholt I, Rasmussen MS (2004) Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. *Remote sensing of Environment*, 91(3), 490-507.
- Galvão LS, Vitorello Í, Almeida Filho R (1999) Effects of band positioning and bandwidth on NDVI measurements of tropical savannas. *Remote Sensing of Environment*, 67(2), 181-193.
- Gamarra R M, Teixeira-Gamarra M C, Carrijo MGG, Paranhos Filho AC (2016) Uso do NDVI na análise da Estrutura da Vegetação e efetividade da Proteção de Unidade de Conservação no Cerrado. *RA'E GA-O Espaço Geográfico em Análise*, 37, 307-332.
- Geist HJ, Lambin EF (2004) Dynamic causal patterns of desertification. *AIBS Bulletin*, 54(9), 817-829.

- Google Earth. Disponível em: <http://earth.google.com>. (Acessado em 10.03.2017).
- Gotelli NJ, Ellison AM (2004) Princípios de Estatística em Ecologia. Artmed Editora, 257-305
- Gross MF, Hardisky MA, Klemas V, Wolf PL (1987) Quantification of biomass of the marsh grass *Spartina alterniflora* Loisel using Landsat Thematic Mapper imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(11), 1577-1583.
- Hong SK, Kim S, Cho KH, Kim JE, Kang S, Lee D (2004) Ecotope mapping for landscape ecological assessment of habitat and ecosystem. *Ecological Research*, 19, 130–139.
- Hsieh TC, Ma KH, Chao A (2015) iNEXT: An R package for interpolation and extrapolation for species diversity (Hill numbers). Disponível em: <http://chao.stat.nthu.edu.tw/blog/software-download>. (Acessado em 18.07.17).
- Junk WJ, Piedade MTF, Schöngart J, Cohn-Haft M, Adeney JM, Wittmann F (2011) A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. *Wetlands*, 31(4), 623-640.
- Junk WJ, Piedade MTF, Lourival R, Wittmann F, Kandus P, Lacerda LD, ... Schöngart J (2014) Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24(1), 5-22.
- Junk WJ, Piedade MTF, Schoengart J, Wittmann F, Nunes da Cunha C (2016) Brazilian Wetlands: Classification. *The Wetland Book*, 1-7.
- Keddy PA (2010) *Wetland ecology: principles and conservation*. Cambridge University Press.
- Kent M, Coker P (1992) *Vegetation description and analysis; a practical approach*. London: Blackwell, 363
- Legendre L, Legendre P (1978) Associations. 261-272 in: A. Sournia (ed). *Phytoplankton manual. Monographs on oceanographic Methodology*, Unesco, 6 (356).

- Liesenberg V, Ponzoni FJ, Soares Galvão L (2007) Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. *Revista Árvore*, 31(2).
- Lourival R, Drechsler M, Watts ME, Game ET, Possingham HP (2011) Planning for reserve adequacy in dynamic landscapes; maximizing future representation of vegetation communities under flood disturbance in the Pantanal wetland. *Diversity and Distributions*, 17, 297–310.
- Mamede F (2002) Análise de viabilidade sócio-econômico-ambiental da transposição de águas da Bacia do Rio Tocantins para o Rio São Francisco na Região do Jalapão/TO. *Conservation International do Brasil*.
- Mapbiomas: Cobertura e uso do solo do Cerrado. Disponível em: <http://mapbiomas.org/> (Acessado em 10.05.2017).
- Maselli F, Romanelli S, Bottai L, Zipoli G (2003) Use of NOAA-AVHRR NDVI images for the estimation of dynamic fire risk in Mediterranean areas. *Remote Sensing of Environment*, 86(2), 187-197.
- Munhoz CBR, Felfili JM (2006) Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma área de campo sujo no Distrito Federal, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, 20(3), 671-685.
- Munhoz CBR, Araújo GM (2011) Métodos de amostragem do estrato herbáceo-subarbustivo. *Fitossociologia no Brasil: Métodos e Estudos de Casos*, 1, 213-230.
- Nagendra H (2001) Using remote sensing to assess biodiversity. *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2377-2400.
- Ozesmi SL, Bauer ME (2002) Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands ecology and management*, 10(5), 381-402.
- Pettorelli N, Vik JO, Mysterud A, Gaillard JM, Tucker CJ, Stenseth NC (2005) Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 503–510.

- Petus C, Lewis M, White D (2013) Monitoring temporal dynamics of Great Artesian Basin wetland vegetation, Australia, using MODIS NDVI. *Ecological indicators*, 34, 41-52.
- Piao S, Mohammat A, Fang J, Cai Q, Feng J (2006) NDVI-based increase in growth of temperate grasslands and its responses to climate changes in China. *Global Environmental Change*, 16, 340–348.
- Ponzoni FJ, Shimabukuro YE (2009) Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação. Parêntese, São José dos Campos.
- Ponzoni FJ, Shimabukuro YE, Kuplich TM (2012) Sensoriamento remoto da vegetação. 2ª edição atualizada e ampliada.
- QGIS DT (2017) Quantum GIS geographic information system. Open source geospatial Foundation project.
- R Development Core Team. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rahman AF, Gamon JA (2004) Detecting biophysical properties of a semi-arid grassland and distinguishing burned from unburned areas with hyperspectral reflectance. *Journal of Arid Environments*, 58, 597–610.
- Reed BC, Brown JF, VanderZee D, Loveland TR, Merchant JW, Ohlen DO (1994) Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of vegetation science*, 5(5), 703-714.
- Ribeiro JF, Walter BMT (2008) As Matas de Galeria no Contexto do Bioma Cerrado. Embrapa Cerrados, 29-47.
- Rosolen V, de Oliveira DA, Bueno GT (2014) Vereda and Murundu wetlands and changes in Brazilian environmental laws: challenges to conservation. *Wetlands Ecology and Management*, 23(2), 285-292.
- Sampaio MB, Schmidt IB, Figueiredo IB (2008) Harvesting Effects and Population Ecology of the Buriti Palm (*Mauritia flexuosa* L. f., Arecaceae) in the Jalapão Region, Central Brazil. *Economic Botany*, 62(2), 171.
- Sannier CAD, Taylor JC, Plessis WD (2002) Real-time monitoring of vegetation biomass with NOAA-AVHRR in Etosha National Park, Namibia, for fire risk assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 23(1), 71-89.

- Santos FFM, Munhoz CBR. 2012. Diversidade de espécies herbáceo-arbustivas e zonação florística em uma vereda no Distrito Federal. *Heringeriana*, 6, 21-27.
- Senay GB, Elliott RL (2002) Capability of AVHRR data in discriminating rangeland cover mixtures. *International Journal of Remote Sensing*, 23(2), 299-312.
- Silva DPD (2017) Composição, estrutura e diversidade da vegetação herbáceo-arbustiva em Veredas no Jalapão, Tocantins.
- Singh RP, Roy S, Kogan F (2003) Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *International Journal of Remote Sensing*, 24(22), 4393-4402.
- Tait A, Zheng X (2003) Mapping frost occurrence using satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 42(2), 193-203.
- Tucker CJ, Pinzon JE, Brown ME, Slayback DA, Pak EW, Mahoney R, ... El Saleous N (2005) An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(20), 4485-4498.
- Valente CR, Latrubesse EM, Ferreira LG (2013) Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 46, 150-160.
- Vicens R S, Cruz CBM, Rizzini CM (1998) Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Análise da Cobertura Vegetal da Reserva Florestal de Linhares, ES, Brasil. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos, SP, 11.
- Wagenseil H, Samimi C (2006) Assessing spatio-temporal variations in plant phenology using Fourier analysis on NDVI time series: results from a dry savannah environment in Namibia. *International Journal of Remote Sensing*, 27(16), 3455-3471.
- Wang Q, Watanabe M, Hayashi S, Murakami S (2003) Using NOAA AVHRR data to assess flood damage in China. *Environmental monitoring and assessment*, 82(2), 119-148.
- Welch RM, Ray DK, Nair US, Sever T, Irwin D (2005) Impact of deforestation on the proposed Mesoamerican biological corridor in Central America. In Proceedings of 19th Conference on Hydrology, 85th AMS Annual Meeting.

- White D, Lewis MM (2011) A new approach to monitoring spatial distribution and dynamics of wetlands and associated flows of Australian Great Artesian Basin springs using QuickBird satellite imagery. *Journal of Hydrology*, 408, 140–152.
- Woodward RT, Wui YS (2001) The economic value of wetland services: a meta-analysis. *Ecological economics*, 37(2), 257-270.
- Zak MR, Cabido M (2002) Spatial patterns of the Chaco vegetation of central Argentina: Integration of remote sensing and phytosociology. *Applied Vegetation Science*, 5, 213-22
- Zhao X, Zhou D, Fang J (2012) Satellite-based Studies on Large-Scale Vegetation Changes in China. *Journal of integrative plant biology*, 54(10), 713-728.

Dissertação apresentada de acordo com os moldes da revista *Wetlands Ecology and Management*.

Material Suplementar

Tabela S1. Informações dos treze sítios de Vereda amostrados no Brasil Central, NDVI (média aritmética e desvio padrão de todas as Veredas), Área (tamanho em hectares), Pixels (número de pixels), Campo/Savana (porcentagem de pixels), Cobertura total (metros), Porcentagem de

| | NDVI (média) | NDVI (desvio padrão) | Área | Pixels | Campo | Mata e Cerrado | Área antropisada | Cobertura Total | Espécies graminóides | Espécies-chave |
|-----|-----------------|-------------------------|------|--------|-------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|----------------|
| DF1 | 0.33 | 0.03 | 27 | 318 | 75.82 | 5.42 | 18.75 | 243 | 0.91 | 10.8 |
| DF2 | 0.33 | 0.03 | 25 | 289 | 47.13 | 4.55 | 48.32 | 236.85 | 0.94 | 0.13 |
| DF3 | 0.32 | 0.02 | 59 | 692 | 77.57 | 6.77 | 15.66 | 275.42 | 0.77 | 10.81 |
| DF4 | 0.4 | 0.03 | 34 | 390 | 64.14 | 11.11 | 24.75 | 217.11 | 0.89 | 2.01 |
| GO1 | 0.51 | 0.02 | 4 | 45 | 1.81 | 39.25 | 58.94 | 226.19 | 0.97 | 7.02 |
| GO2 | 0.4 | 0.03 | 10 | 116 | 1.81 | 39.25 | 58.94 | 236.12 | 0.89 | 0 |
| GO3 | 0.36 | 0.07 | 24 | 279 | 75.97 | 17.70 | 6.33 | 229.14 | 0.93 | 0 |
| GO4 | 0.44 | 0.04 | 10 | 115 | 18.35 | 5.60 | 76.05 | 249.69 | 0.69 | 2.05 |
| MG1 | 0.34 | 0.04 | 23 | 273 | 16.17 | 18.45 | 65.38 | 273.76 | 0.98 | 0 |
| TO1 | 0.3 | 0.04 | 37 | 425 | 93.8 | 5.55 | 0.65 | 413.77 | 0.82 | 0 |
| TO2 | 0.25 | 0.03 | 14 | 164 | 91.12 | 8.02 | 0.85 | 328.57 | 0.94 | 0 |
| TO3 | 0.21 | 0.05 | 10 | 116 | 90.92 | 8.16 | 0.92 | 250.96 | 0.9 | 0 |
| TO4 | 0.27 | 0.03 | 44 | 504 | 83.13 | 14.24 | 2.63 | 390.07 | 0.9 | 0 |

Espécies Graminóide e Cobertura de Espécies-chave (metros).

Anexo 1

A Metodologia do MapBiomas citada neste trabalho utiliza a Coleção 2, finalizada no primeiro semestre de 2017, que inclui mapas de cobertura do uso do solo para toda a região do Cerrado de 2000 a 2016, com classes dos três principais tipos de vegetação nativa (floresta, savana e campo). A definição da classe de floresta (densa) para a Coleção 2, incluiu todas as áreas que têm alta densidade de árvores (menos de 50% da abertura do dossel) e mais alta que 8 m, esta definição inclui as florestas ribeirinhas ou as florestas que estão localizadas ao longo dos grandes rios com árvores que variam de altura de 20-25 m e com abertura de dossel variando de 50 a 90%. Entram também as florestas de galeria ao longo de pequenos rios e ravinas com árvores altas (20 a 30 m) e dossel próximo (70 a 95% de cobertura do dossel), as florestas decíduas e semi-decíduas que derramam suas folhas durante a estação seca com altura variando de 15 a 25m e com fechamento do dossel na estação de chuva atingindo até 95% e o "Cerradão", um dossel fechado (fechamento de 50 a 90%), com árvores mais curtas (8 a 15 m) se comparadas aos outros tipos de floresta (Ribeiro & Walter, 2008) (Fig. 1). Em seguida, temos a classe de savana, que representa tipos de vegetação que variam de floresta aberta a pastagens de savana, são coberturas de vegetação nativa remanescente e dominante no Cerrado (IBGE 2005; Sano et al. 2010; MCTI 2016), caracterizada por uma camada de solo de gramíneas, arbustos e árvores torcidas (Ribeiro e Walter 2008). A Coleção 2 também traz as formações não-florestais, uma classe de pastagem natural que inclui as pastagens sujas (campo sujo) e pastagens limpas (campo limpo), com predominância de gramíneas e com arbustos dispersos em algumas áreas (Ribeiro & Walter 2008) (Fig. 1).

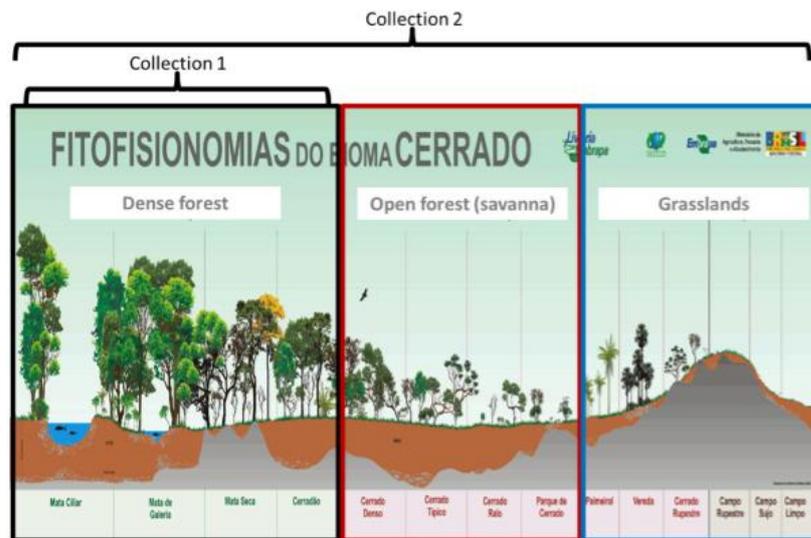
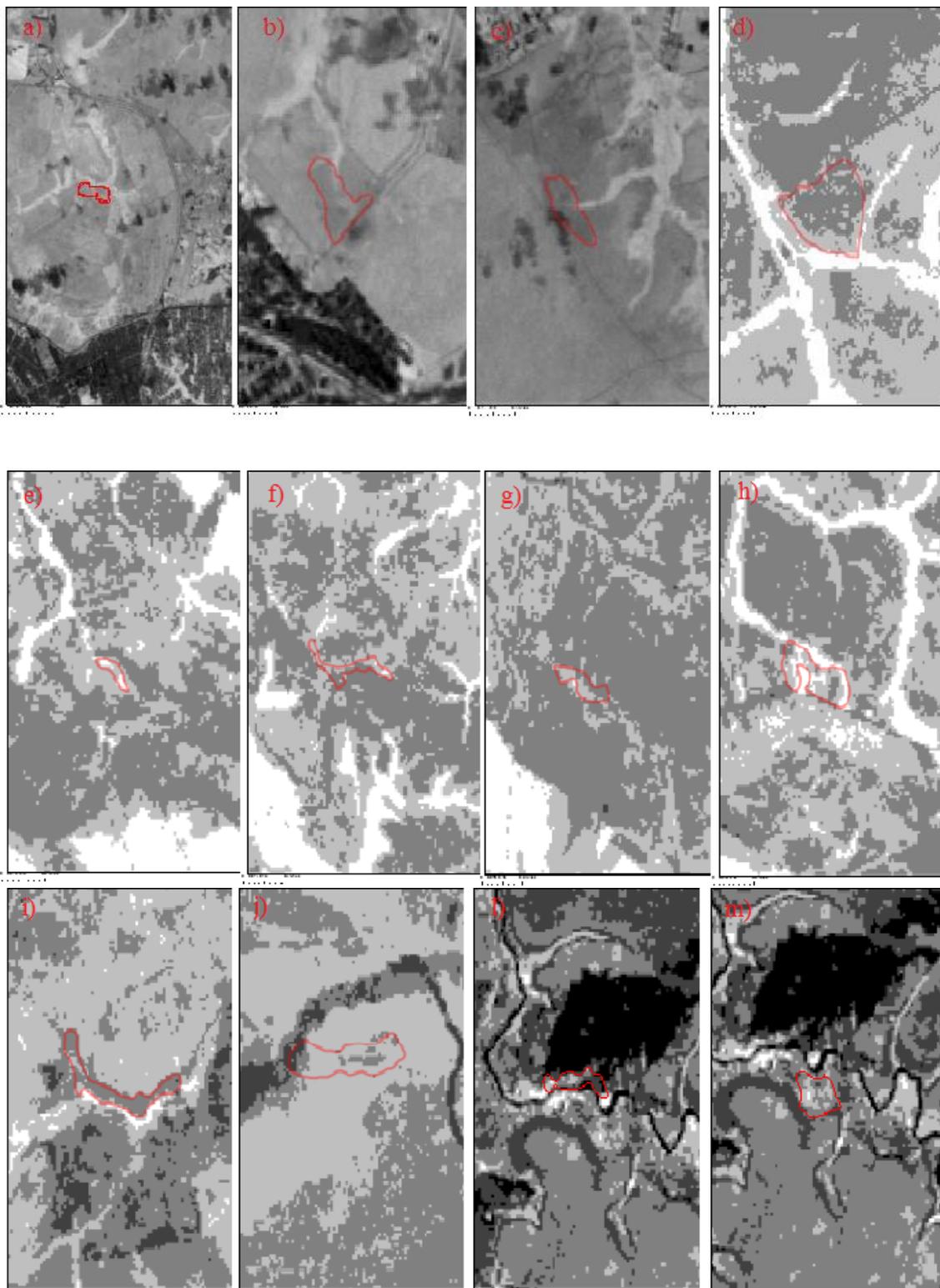


Fig. S1 Classes de vegetação nativa mapeadas no bioma Cerrado na Coleção 2, do MapBiomias, utilizada a partir do primeiro semestre de 2017, em comparação com a Coleção 1, utilizada até o ano de 2016 (Ribeiro e Walter 2008 adaptado).

Os mapas anuais de vegetação do Cerrado de 2000 a 2016 tiveram as seguintes etapas: (1) Definição dos mosaicos de imagens anuais utilizados para a classificação, (2) Montagem do banco de dados com base em uma coleção de pontos com informações estruturais da fitofisionomia; (3) Análise exploratória do banco de dados para avaliar parâmetros de sensoriamento remoto e para calibrar a árvore de decisão usada na classificação; (4) Definição da árvore de decisão (DT- *Decision Tree*); (5) Coleta de pontos de validação para toda série temporal; e (6) Parametrização de 2768 partes para gerar a primeira interação da Coleção 2. Tudo foi feito utilizando a plataforma do Mapbiomas Workspace para alimentar a Árvore de Decisão (DT). Todo o pré-processamento inclui a melhoria da qualidade das imagens, como a calibração e o tratamento, utilizando índices como NDFI e NDFI3 (Índice de Fração do Ecossistema de Savana) e o mapeamento e redução de nuvens das áreas não observadas. O índice NDFI3 (*Savana Ecosystem Fraction Index*) foi utilizado como uma das principais variáveis. Este índice representa as frações GV (Solo e Vegetação Verde) e NPV (Vegetação não fotossintética), normalizadas pela sombra e pelo solo, para reduzir a variação durante a estação seca quando as árvores soltam folhas no Cerrado. As métricas utilizadas incluíram média, mediana, desvio padrão, valores mínimos e máximos de todas as informações de bandas individuais, frações de análise de mistura espectral (Solo, Vegetação Verde - GV, Vegetação Não-Fotossintética - NPV, Sombra e

Sombra de Vegetação Verde - GVS), E índices de vegetação de sensoriamento remoto (NDFI, NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, EVI – Índice de Vegetação Melhorado). Utilizou-se um banco de dados em parceria com a Universidade de Brasília (UnB) de pontos espacialmente localizados com informações chave sobre tipos de vegetação, características estruturais e conteúdo de biomassa. Esses pontos foram reunidos com base na revisão da literatura e no banco de dados de especialistas. Foram verificados e validados visualmente usando imagens de alta resolução do *Google Earth* de forma a reduzir as inconsistências entre os tipos de vegetação e os padrões de imagem esperados.

Anexo 2



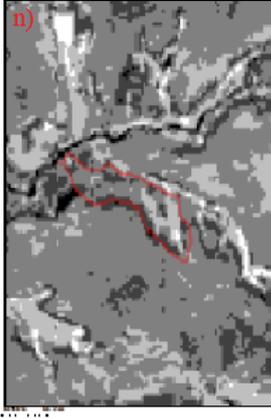


Fig. S2 Imagens de NDVI resultantes da divisão entre as bandas do infravermelho próximo e vermelho das imagens *landsat 5* e *7*. As treze Veredas estão representadas de a-n, respectivamente, circuladas de vermelho na paisagem. Os locais mais claros na imagem possuem maior vegetação e os locais mais escuros possuem um menor resquício de vegetação. a) DF1, b) DF2, c) DF3, d) DF4, e) GO1, f) GO2, g) GO3, h) GO4, i) MG1, j) TO1, l) TO2, m) TO3, n) TO4.

Anexo 3

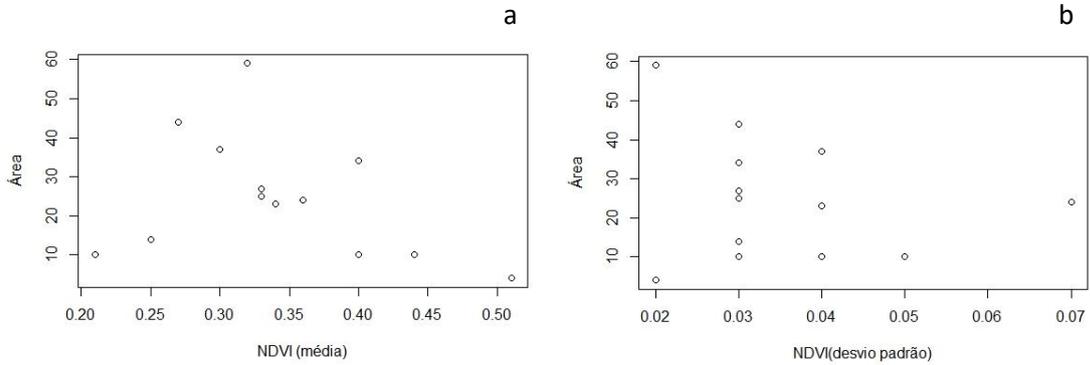


Fig. S3 Análise exploratória entre as médias (a) e os desvios padrões (b) de NDVI das treze Veredas com as Áreas em (ha).

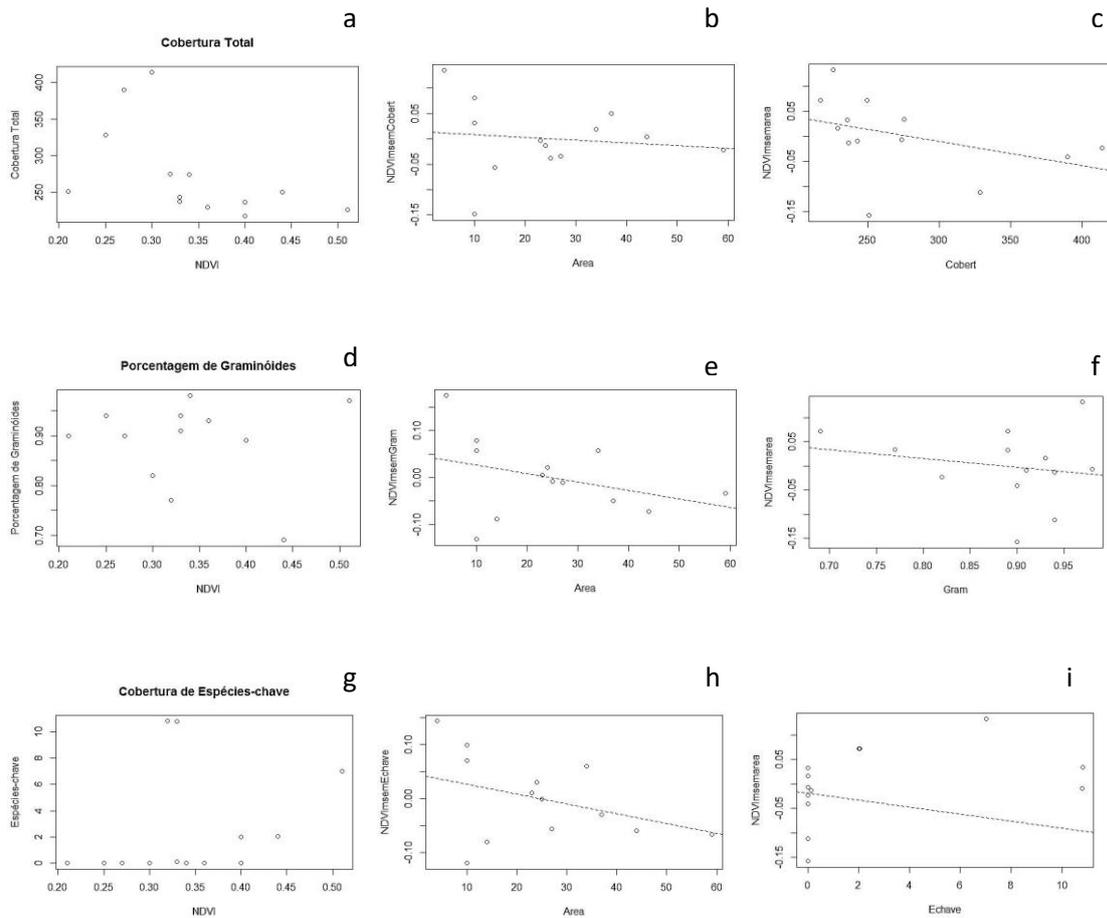


Fig. S4 Análise exploratória entre as coberturas (Total (a), Graminóides (d) e Espécies-

chave (g)) com a média do NDVI das treze Veredas. Relação entre as coberturas e a média dos NDVIs, com a área das treze Veredas estudadas, primeiramente, a regressão do NDVI com a área, desconsiderando as coberturas (b), (e) e (h) e a regressão do NDVI com as coberturas, desconsiderando as áreas (c), (f) e (i).

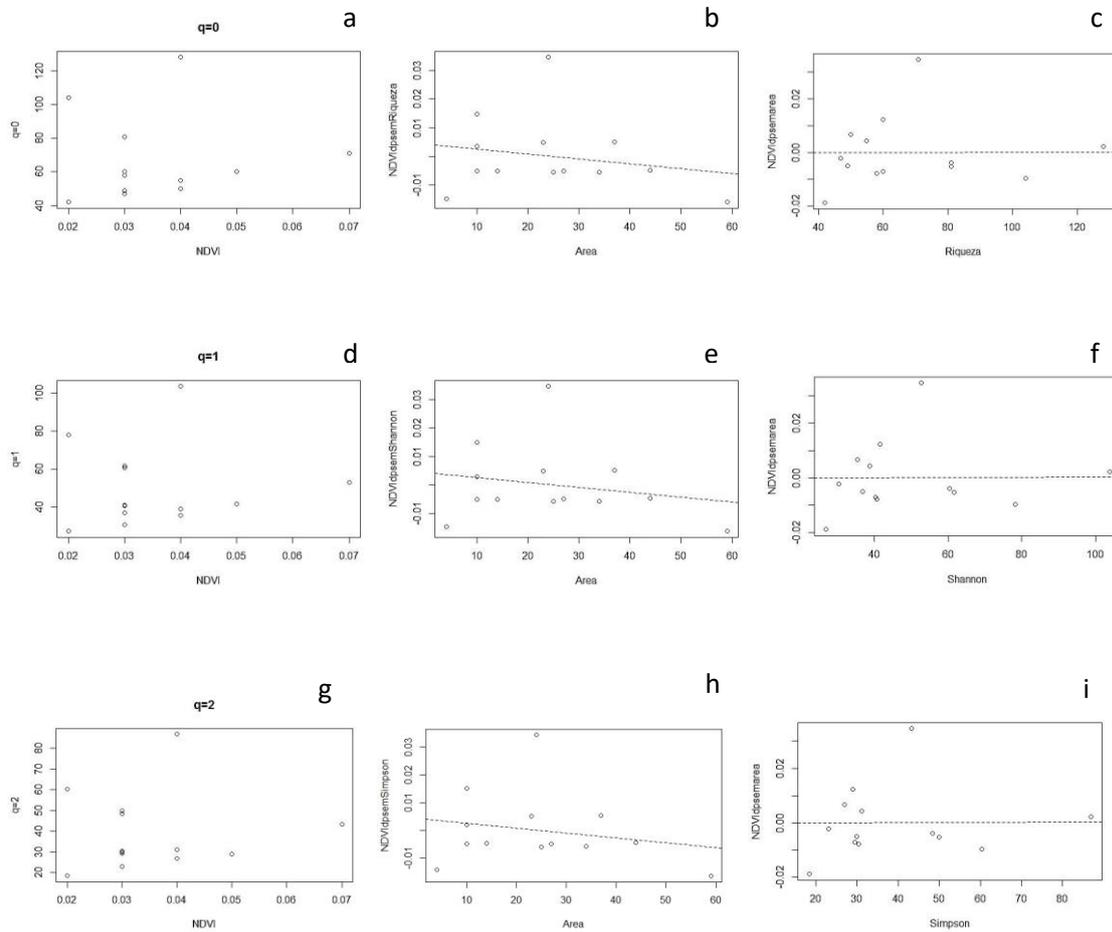


Fig. S5 Análise exploratória entre riqueza e diversidade ($q=0$ (a), $q=1$ (d) e $q=2$ (g)) com a média do NDVI das treze Veredas. Relação entre as coberturas e a média dos NDVIs, com a área das treze Veredas estudadas, primeiramente, a regressão do NDVI com a área, desconsiderando a riqueza e a diversidade (b), (e) e (h) e a regressão do NDVI com a riqueza e diversidade, desconsiderando as áreas (c), (f) e (i).

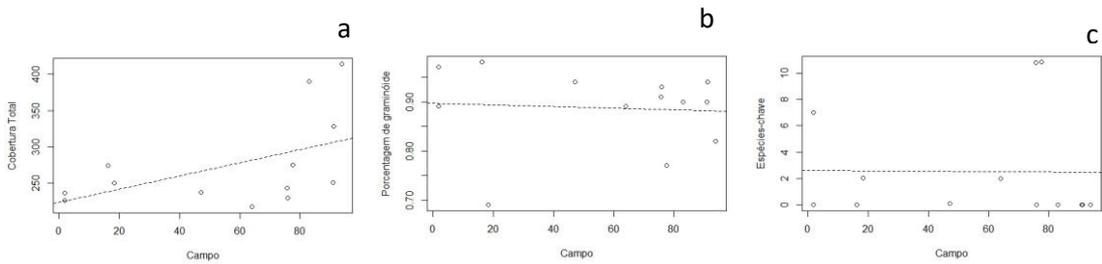


Fig. S6 Regressão simples entre Cobertura total (a), Porcentagem de Graminóides (b) e a Cobertura de Espécies-chave (c) e o entorno (Campo e savana) das treze Veredas estudadas.

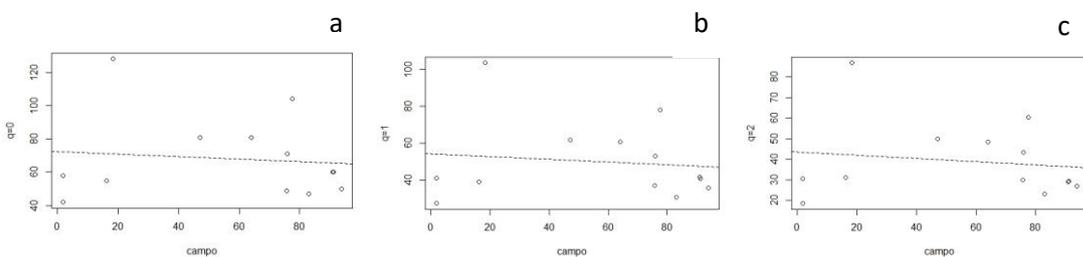


Fig. S7 Regressão simples entre $q=0$ (a), $q=1$ (b) e $q=2$ (c) e o entorno (Campo e savana) das treze Veredas estudadas.

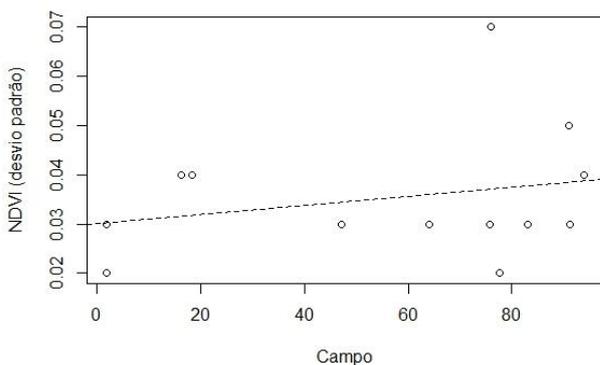


Fig. S8 Regressão simples entre NDVI (desvio padrão) e o entorno (Campo e Savana) das treze Veredas estudadas.

Anexo 4

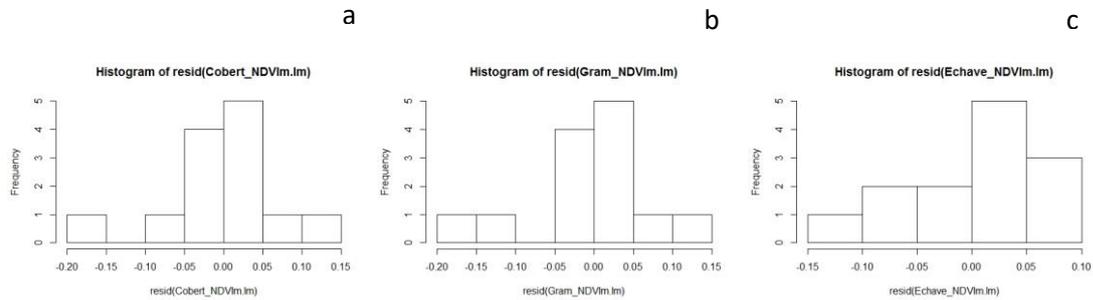


Fig. S9. Histograma de resíduos das regressões múltiplas entre Cobertura total (a), Porcentagem de Espécies Graminóides (b) e Cobertura de Espécies-chaves (c) com a média do NDVI e a variável área como correção das treze Veredas.

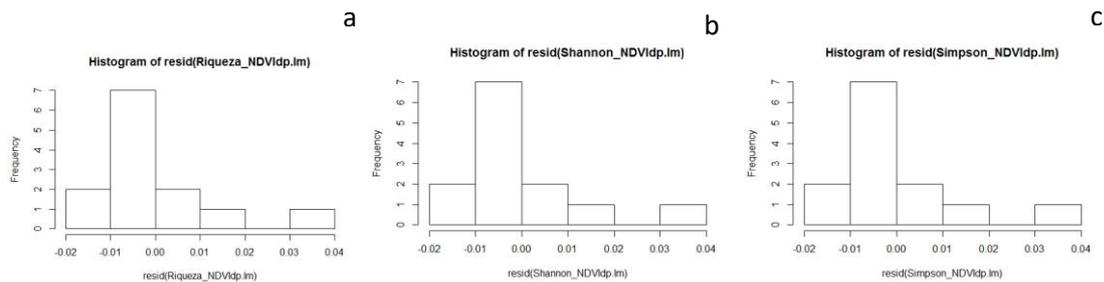


Fig. S10. Histograma de resíduos das regressões múltiplas entre $q=0$ (a), $q=1$ (b) e $q=2$ (c) com o desvio padrão do NDVI e a variável área como correção das treze Veredas.

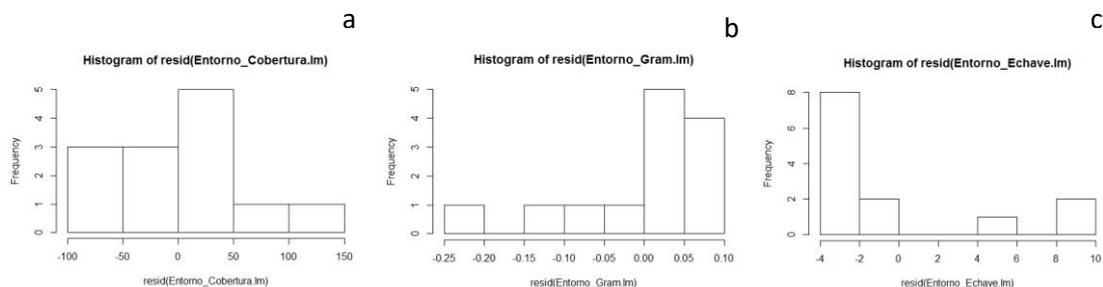


Fig. S11. Histograma de resíduos das regressões simples Cobertura total (a), Porcentagem de Espécies Graminóides (b) e Cobertura de Espécies-chaves (c) com o entorno (campo) das treze Veredas.

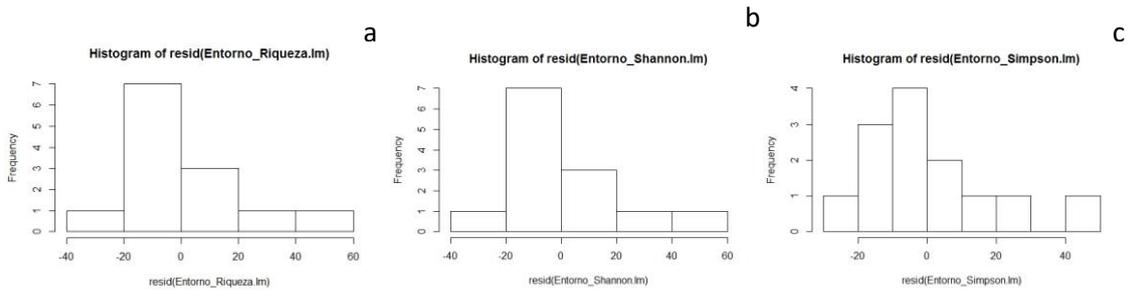


Fig S12. Histograma de resíduos das regressões simples entre $q=0$ (a), $q=1$ (b) e $q=2$ (c) com o entorno (campo) das treze Veredas.

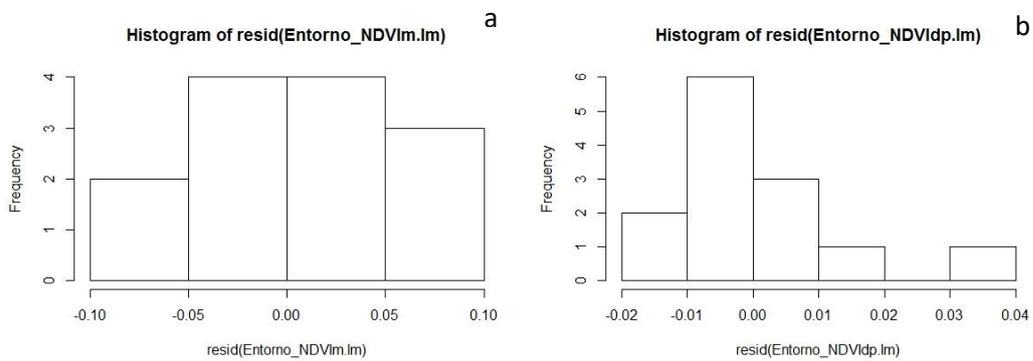


Fig S12. Histograma de resíduos das regressões simples entre NDVI médio (a) e NDVI desvio padrão (b) com o entorno (campo) das treze Veredas.