



**Análise da Estrutura Vegetal de Fragmentos do
Bioma Cerrado Através de Sensoriamento Remoto**
Plant Structure Analysis of
Cerrado Fragments by Remote Sensing

César Claudio Cáceres Encina¹; Maria Rita Marques¹; Marco Antonio Diodato²;
Jaíza Santos Motta¹; Raquel de Faria Godoi¹; José Renato Silva de Oliveira³;
Roberto Macedo Gamarra¹; Fabricio Bau Dalmas⁴ & Antonio Conceição Paranhos Filho¹

¹Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campus Campo Grande, s/n. 79070-900, Campo Grande, MS, Brasil

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido. BR 110, Km 47, Costa e Silva. 59625-900 Mossoró, RN, Brasil

³Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências.

Rua do Lago, 562, Cidade Universitária, 05508-080 São Paulo, SP, Brasil

⁴Universidade UNG, Mestrado em Análise Geoambiental.

Praça Tereza Cristina, 239, 07023-070 Guarulhos, SP, Brasil

E-mail: ccaceres.encina@gmail.com; marques.mariarita@gmail.com; madio61@gmail.com; ea.jsmotta@gmail.com; rachgodoi@gmail.com; joserenato@usp.br; rmgamarra@gmail.com; fdalmas@prof.ung.br; antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Recebido em: 16/05/2018 Aprovado em: 17/07/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_585_597

Resumo

Com o desenvolvimento das sociedades, a preservação do meio ambiente se torna imprescindível. A perda e a fragmentação dos habitats naturais constituem uma das maiores ameaças à biodiversidade provocando alterações de origem biótica e abiótica nos remanescentes florestais, como os encontrados no bioma cerrado, que chegou a ocupar 23% do território brasileiro. A heterogeneidade ambiental contribui para a elevada riqueza de espécies e dentre os serviços ambientais que oferece se destaca a proteção aos recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi analisar a estrutura da vegetação de fragmentos de Cerrado por meio de composição multitemporal, baseada nos Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Índice de Umidade por Diferença Normalizada. Ambos os índices foram aplicados sobre imagens Landsat de 1985 a 2015. Posteriormente foi gerada uma composição falsa-cor para detectar mudanças na cobertura vegetal. Foi possível detectar mudanças da cobertura vegetal e de umidade ao longo dos trinta anos entre 1985 e 2015. A combinação falsa-cor multitemporal se mostrou uma maneira simples e rápida para se localizar os locais onde houve mudanças na cobertura vegetal.

Palavras-chave: Índices espetrais; Fragmentação; Composição Multitemporal

Abstract

With the development of society to preserve the environment becomes essential. Biodiversity is a resource that has strategic value and is related to the territorial heterogeneity. The loss and fragmentation of natural habitats is one of the greatest threats to biodiversity resulting biotic and abiotic changes in the remaining. The Cerrado occupied 23% of the Brazilian territory in the plains of the central plateau. Estimates indicates that the Cerrado will be completely destroyed in 2030. The environmental heterogeneity contributes to the high species richness and from the environmental services offering stands out the protection of water resources. This study aims to analyze the structural vegetation of 18 Cerrado fragments by multi-temporal composite applied to Normalized Difference Vegetation Index and Normalized Difference Water Index. Both indices were calculated using Landsat images 1985-2015 and a false-color composite was then generated to detect changes in vegetation cover. It was possible to detect changes in vegetation cover and moisture over time. The false-color multi-temporal combination proved to be a quick and easy way to locate the places where there have been changes in vegetation cover.

Keywords: Spectral indices; Fragmentation; Multi-temporal Composite

1 Introdução

Com o desenvolvimento das sociedades, a compatibilização entre a utilização dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente se torna imprescindível (FLAUZINO *et al.*, 2010), visto que a destruição destes recursos provoca alterações nos ecossistemas e reflete na sua capacidade de contribuir com bens e serviços para a sociedade (TILMAN, 2000), que é definido como os Serviços Ecossistêmicos.

O termo serviços ecossistêmicos é afim a serviços ambientais, ambos se referem aos benefícios que o homem recebe indireta ou diretamente da natureza, através do complexo sistema que rege a troca de energia e matéria entre os agentes que compõem os ecossistemas. A qualidade de vida do homem está condicionada aos serviços ecossistêmicos, pois através desses, aquele recebe proteção à desastres naturais (como secas e furacões), controle da perda de solo por erosão, polinização de culturas que servem como base da economia de tantas nações e manutenção do clima. As árvores influenciam no clima do planeta, fornecem madeira e alimentos, além de terem papel primordial no ciclo da água. Os rios, córregos, lagos e lagoas disponibilizam água doce aos seres vivos, e enchem os reservatórios de usinas hidrelétricas, servem como recurso energético (De Groot *et al.*, 2002).

A biodiversidade é um recurso que possui valor estratégico (econômico e científico), tornando a conservação da natureza um fim ético e instrumental na defesa e no bem-estar das sociedades (Pereira *et al.*, 2007), pois está relacionada com a heterogeneidade territorial, uma vez que as alterações nos gradientes ambientais do planeta têm influência direta nos padrões e na distribuição desta biodiversidade (Begon & Townsend, 2006). Contudo, as atividades e ações humanas por meio do processo de transformação da terra vem promovendo a simplificação da matriz territorial dos habitats afetando diretamente a heterogeneidade de ambientes e a biodiversidade (Collinge, 1996).

A perda e a fragmentação dos habitats naturais constituem uma das maiores ameaças à biodiversidade (Fahrig, 2003). A fragmentação

do habitat é definida como um processo que promove a divisão de uma área contínua em partes menores, eliminando ou reduzindo um tipo de habitat e isolando fragmentos remanescentes através de uma matriz diferente do habitat original (Carvalho *et al.*, 2009).

As consequências deste processo de fragmentação provocam alterações de origem abiótica e biótica nos fragmentos. Com relação às mudanças de origem abiótica podem-se citar os fatores climáticos ambientais como a baixa umidade, altas temperaturas e alta radiação solar, especialmente na borda dos mesmos. Dentre os efeitos bióticos podem ser citados a perda de biodiversidade da fauna e da flora, desestabilização das interações entre espécies como competição, relação predador-presa e parasitismo, mudanças na composição e estrutura das comunidades (Saunders *et al.*, 1991; Viana *et al.*, 1992; Metzger, 1999).

Outros fatores que afetam a composição e estrutura dos fragmentos florestais são tamanho e forma, que estão intrinsecamente ligados à borda do fragmento. Quanto menor o fragmento, ou mais alongado, mais fortemente os efeitos de borda podem se fazer sentir, pois diminui a razão interior/margem (Primack & Rodriguez, 2001). Segundo Metzger (2003), a ecologia da paisagem lida com a relação entre padrões espaciais e processos ecológicos, assim há a necessidade de se quantificar os padrões espaciais sendo uma das formas de quantificação a utilização das métricas da paisagem ou índices de paisagem.

Neste trabalho analisaram-se fragmentos de Cerrado do Distrito de Areado, próximo ao Município de São Gabriel do Oeste.

2 Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

O Distrito de Areado (Figura 1) localiza-se próximo ao Município de São Gabriel do Oeste, que está localizado na região centro norte do Estado de Mato Grosso do Sul, a 136 km de Campo Grande, entre as latitudes 18°40'00"S e 19°35'00"S e longitudes

54°10'00" W e 54°50'00" W. A metodologia aplicada para mapear os fragmentos de cerrado foi baseada na aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto, por meio de composição multitemporal aplicada em imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Índice de Umidade por Diferença Normalizada.

São Gabriel do Oeste possui base econômica na pecuária, agroindústria e principalmente na produção agroexportadora de soja, tendo participação significativa no mercado internacional. Esse caráter altamente especulativo da agricultura comercial promoveu a simplificação dos ecossistemas ao longo dos anos, com alguns resultados indesejáveis no domínio Cerrado.

2.2 Seleção das Amostras

Sobre a área de estudo, Distrito de Areado, foram selecionados 18 fragmentos ao longo das rodovias estaduais MS-142 e MS-435. Foi realizada a identificação das fitofisionomias desses fragmentos com base na classificação de Ribeiro & Walter

(2008). Dentro dos fragmentos foram coletados dados de cobertura do dossel com o auxílio de um densímetro esférico, que é um dispositivo muito utilizado na medição da cobertura do dossel, pois apresenta medidas rápidas e confiáveis e não depende das condições climáticas, sendo um aparelho de uso prático (Suganuma *et al.*, 2008).

A estimativa da cobertura do dossel foi realizada dentro de dez fragmentos, sendo que dentro de cada fragmento foram amostrados 10 pontos pelo método de caminhada aleatória. Em cada ponto foram feitas quatro leituras sendo uma no sentido norte, sul; e outra leste e oeste. Assim, em cada fragmento foram tomadas 40 leituras no total. Posteriormente, calculou-se a média de cobertura do dossel em cada ponto a partir das quatro leituras e para estimar a cobertura do dossel foi calculada a média a partir dos valores médios de cobertura dos pontos amostrados. A Figura 2 apresenta a localização dos 18 fragmentos selecionados dentro da área de estudo.

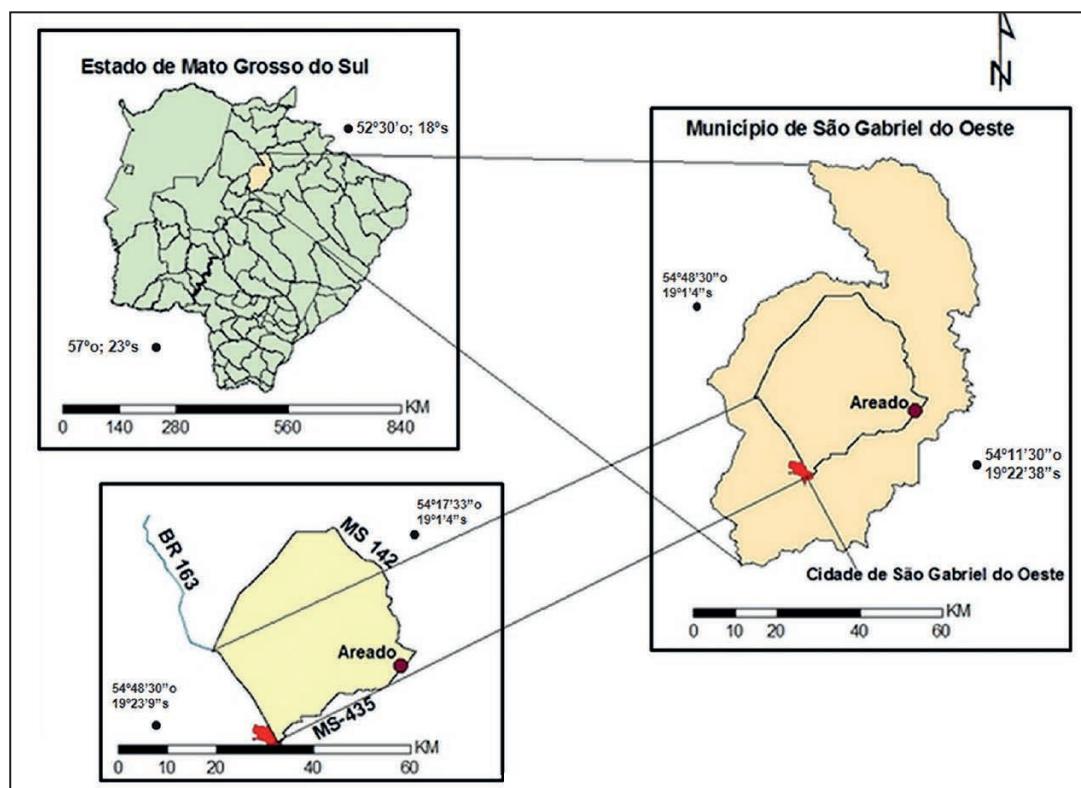


Figura 1
 Localização do
 Município de São
 Gabriel do Oeste
 com a localização
 da sub-região do
 Distrito de Areado,
 nas proximidades
 da Cidade de São
 Gabriel do Oeste.

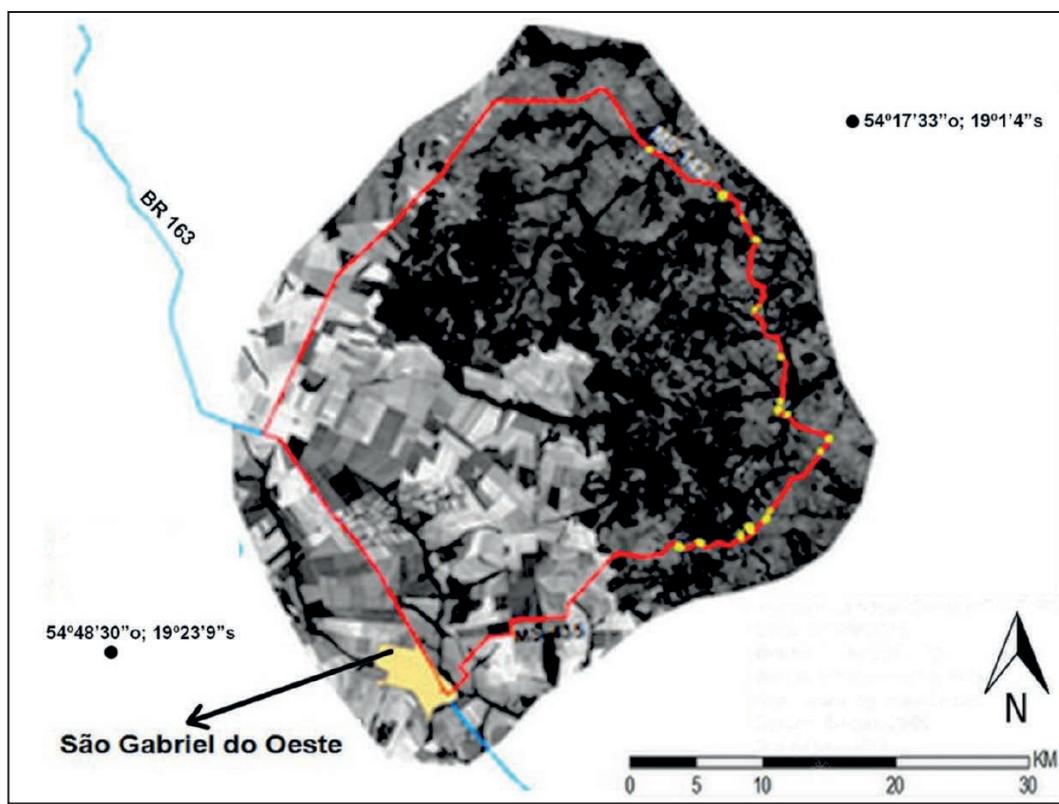


Figura 2 Imagem Landsat 8 da sub-região do Distrito de Areado, delimitada pelas estradas MS-142 e BR-163 que passa pela Cidade de São Gabriel do Oeste. Os pontos amarelos destacam os fragmentos de Cerrado selecionados.

Para verificar o precisão de predição das medidas de cobertura vegetal tomadas com um densímetro sobre a complexidade e heterogeneidade do habitat foi realizado uma análise de regressão simples. A média e o desvio padrão da cobertura vegetal foram as variáveis preditoras e a média e o desvio padrão dos valores de índice de vegetação calculado em cada fragmento foram as variáveis explicativas. As análises foram realizadas no software R versão 3.1.2 (R Core Team, 2014).

2.3 Pré-Processamento das Cenas Landsat

Utilizaram-se cenas do sensor TM (Landsat 5) das seguintes datas: 13 de agosto de 1985, 26 de julho de 1990, 25 de agosto de 1995, 22 de agosto de 2000, 20 de agosto de 2005 e 22 de setembro de 2011; e do sensor OLI (Landsat 8) de 1 de agosto de 2015. Todas imagens de ambos sensores são correspondentes à órbita ponto 225/073. Essas cenas foram adquiridas na página do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e para garantir maior distinção entre as fitofisionomias e menor

interferência da sazonalidade, todas as cenas adquiridas são da estação seca.

Após a aquisição das imagens foi realizada a reprojeção da cena Landsat OLI/TIRS para o Hemisfério Sul. Em seguida, foi realizado o georreferenciamento das cenas Landsat TM onde a cena Landsat OLI/TIRS foi utilizada como referência por possuir acurácia posicional (Roy *et al.* 2014). Todas as cenas foram georreferenciadas com erro inferior a 1 pixel.

Separadamente foi realizada a transformação dos valores de *digital number* das cenas Landsat a valores de reflectância no topo da atmosfera (TOA) e, posteriormente, foi realizada a correção atmosférica das bandas 3, 4 e 5 do Landsat TM e 4, 5 e 6 do Landsat OLI/TIRS. A conversão dos valores de *digital number* para valores de reflectância no topo da atmosfera foram obtidos através da execução do módulo *i.landsat.toar* no programa computacional GRASS (GRASS, 2012).

A conversão de valores de reflectância no topo da atmosfera para valores de reflectância de

superfície foi executada no Quantum GIS versão 2.10 (QGIS, 2015), utilizando o módulo *i.atcorr*, presente na biblioteca de algoritmos. Após a correção das cenas Landsat, foi realizada o cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Badhwar *et al.*, 1982) e Índice de Umidade por Diferença Normalizada (Mcfeeters, 1996).

2.4 Processamento das Cenas Landsat

2.4.1 Cálculo do NDVI

A fundamentação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) reside no comportamento antagônico que as bandas do vermelho e infravermelho próximo apresentam diante da reflectância da vegetação (Folhes, 2005). Quanto maior for a densidade de cobertura vegetal em uma determinada área, menor a reflectância na região do visível (vermelho) e maior será no infravermelho próximo (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

Para o cálculo do NDVI foram utilizadas as bandas 3 e 4 do sensor TM (1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2011) as quais abrangem as faixas do vermelho, infravermelho próximo do espectro eletromagnético respectivamente. No sensor OLI as bandas 4 e 5 (de 2015) correspondem as faixas espectrais supracitadas. Para o cálculo do índice de vegetação foi utilizada a Equação 1 (Rouse *et al.*, 1973).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (1)$$

Onde,

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR: Reflectância correspondente a banda do infravermelho próximo

R: Reflectância correspondente a banda do vermelho

2.4.2 Cálculo do NDWI

O Índice de Umidade por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Water Index - NDWI*) detecta a presença de umidade na vegetação e assim como o NDVI, os valores variam de -1 a 1. Quando os valores de reflectância na faixa espectral do infravermelho médio são altos, os valores do Índice são negativos, o que indica ausência de umidade na cobertura vegetal. Por outro lado, valores baixos de reflectância na faixa espectral do infravermelho médio indicam que o teor de água da vegetação é alto, uma vez que a água absorve a radiação nessa faixa espectral.

Para analisar o grau de umidade nos fragmentos foi realizado o cálculo do NDWI sobre as imagens do sensor TM (1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2011) e OLI/TIRS. Para o cálculo foram utilizadas as bandas 4 e 5 do Landsat TM e as bandas 5 e 6 do Landsat OLI/TIRS (2015), que correspondem a faixa do infravermelho próximo e infravermelho médio do espectro eletromagnético. Para o cálculo do Índice foi utilizada a Equação 2 (Gao, 1996).

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR}) \quad (2)$$

Onde,

NDWI: Índice de Umidade por Diferença Normalizada

SWIR: Reflectância correspondente a banda do infravermelho médio

NIR: Reflectância correspondente a banda do infravermelho próximo

3 Resultados

3.1 Composição Multitemporal RGB-NDVI

Foi realizada uma composição multitemporal com o NDVI das imagens dos sensores TM e OLI, para detecção de possíveis alterações da fitomassa nos fragmentos de Cerrado. As Figuras 3 e 4 apresentam a composição multitemporal RGB do NDVI dos 18 fragmentos de Cerrado. Distintas composições para o mesmo fragmento são apresentadas ao longo de cada linha das figuras. Cada banda representa o NDVI do fragmento de uma determinada época. Por exemplo: a primeira linha e primeira coluna da

figura 3 apresenta um fragmento de Cerradão com composição RGB 177 de 1985.

Significa que no canal do vermelho — está o NDVI do ano de 1985 e no canal Verde e Azul o NDVI do ano de 2015. A mudança na resposta do NDVI é apresentada em vermelho intenso e

indica onde os valores de NDVI do ano de 1985 são maiores, e a cor ciana indica onde os valores de NDVI do ano de 2015 são maiores. Dessa maneira, as colunas das Figuras 3 e 4 apresentam o NDVI de um mesmo fragmento nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2011 e 2015, da esquerda para a direita, respectivamente.

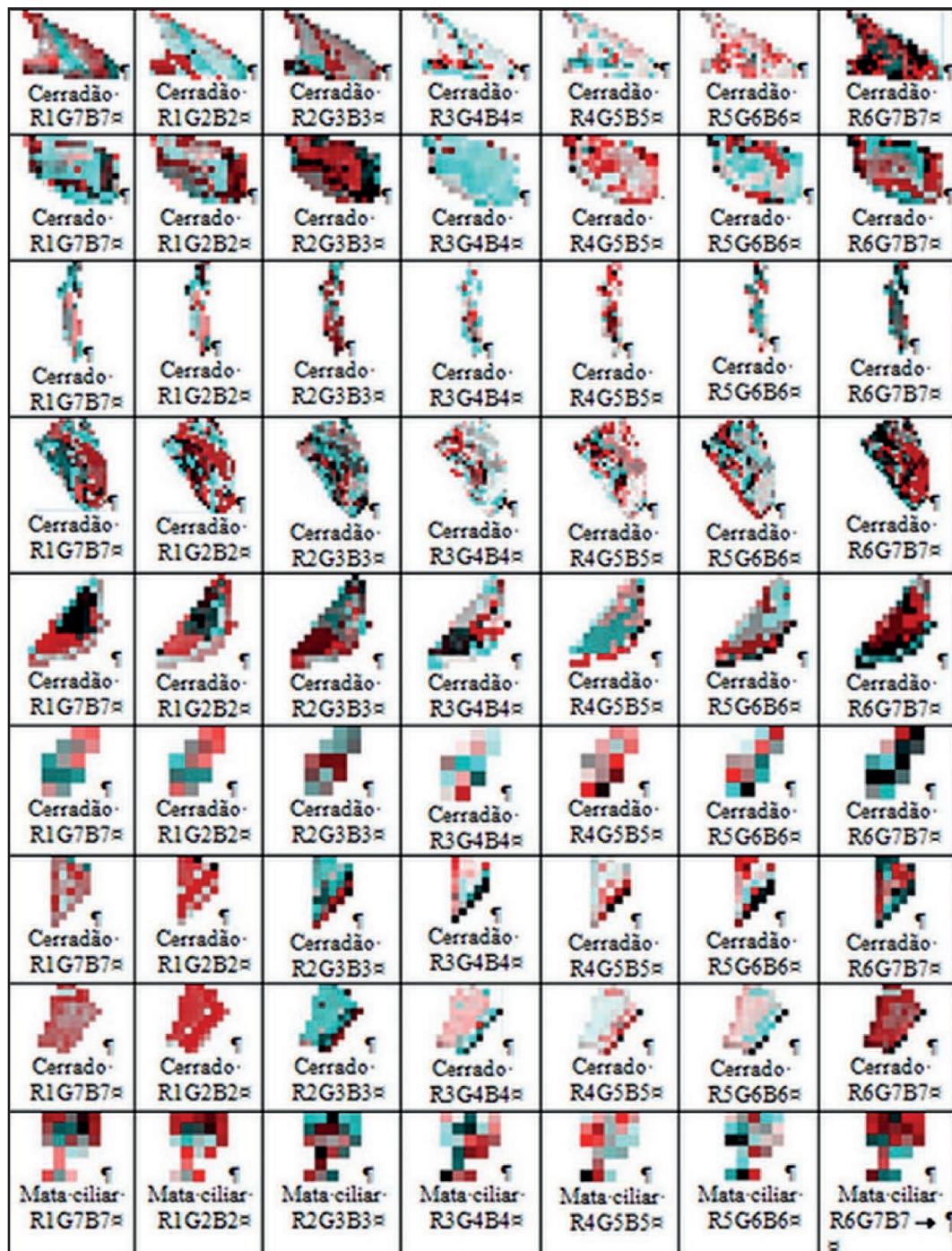


Figura 3
 Composição
 multitemporal
 RGB-NDVI para as
 datas 13/08/1985,
 26/07/1990,
 25/08/1995,
 22/08/2000,
 20/08/2005,
 22/09/2011 e
 11/09/2015,
 da esquerda
 para a direita,
 respectivamente.

Pixels que se destacam com um vermelho intenso indicam uma grande mudança nos valores de NDVI de uma época em relação à outra. A cor é vermelha, pois a imagem NDVI que se encontra no canal vermelho da composição RGB, possui valores de NDVI maiores. Quanto maior a discrepância nos valores de NDVI entre as duas imagens mais intensa será a cor predominante. O ciano também indica grandes mudanças nos valores de NDVI dos fragmentos. Assim, a cor vermelha dos pixels indica que houve diminuição na vegetação (O NDVI antigo é maior que o atual) e a cor ciano indica aumento na vegetação (O NDVI antigo é menor do que o atual) em uma composição RGB NDVI.

A cor escura, seja vermelho ou ciano, indica que as duas imagens possuem valores de Índice de Vegetação próximos e interpretados como variações internas do fragmento, sem alteração significativa de fitomassa. É possível notar também a presença de pixels brancos e pretos nos fragmentos. Esse tipo de resposta indica ausência de mudanças na resposta espectral nos fragmentos. Apesar de serem interpretados como ausência de mudança, a diferença reside na presença e ausência de fitomassa onde a primeira é representada por pixels brancos e o último por pixels pretos.

Por último, pixels com tons de cinza indicam que as imagens das três bandas possuem valores de NDVI na mesma intensidade. O tom de cinza claro ou escuro é resultante da magnitude dos valores de NDVI. Se os valores tenderem a 1 a tonalidade tende a ser mais clara. Por outro lado, se os valores tenderem a zero a tonalidade resultante será escura tendendo ao preto.

3.2 Composição Multitemporal RGB-NDWI

O raciocínio utilizado para a interpretação das mudanças nos valores de NDWI é a mesma em relação a aquele usado para a composição RGB para o NDVI onde, o vermelho intenso em suas distintas tonalidades indica a intensidade da mudança de umidade que ocorreu entre as datas. Em uma composição RGB NDWI pixels vermelhos indicam que os valores de NDWI são maiores nas imagens de datas antigas em relação a aquelas de datas mais

recentes. Já os pixels em ciano indicam o contrário. Assim a cor vermelha dos pixels indica que houve diminuição na umidade do fragmento analisado. A cor ciano indica ganho de umidade. Assim, as colunas das Figuras 5 e 6 apresentam o NDWI de um mesmo fragmento nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2011 e 2015, da esquerda para a direita, respectivamente.

Na Figura 5 é possível observar uma variação nos valores de umidade dentro de um mesmo fragmento, onde o aumento de umidade ocorre em momentos diferentes. Como exemplo o fragmento de Cerradão com a composição R1G7B7 na quarta linha (de cima para baixo) apresenta algumas áreas em ciano e outra parte em vermelho. Pixels em ciano indicam que a umidade foi maior no ano analisado; já pixels vermelhos indicam a situação contrária, ou seja, que a umidade diminuiu.

3.3 Relação entre o NDVI e NDWI

Para apresentar a variação na resposta espectral entre o NDVI e NDWI ao longo do tempo foi calculado para cada índice o valor médio geral dos 18 fragmentos a partir dos valores médios de cada fragmento. A Figura 7 apresenta a variação dos valores de NDVI e NDWI ao longo dos anos. De 1985 até 1990 há uma oscilação nos valores de NDVI. Em 2000 o NDVI apresenta um aumento no seu valor médio. De 2005 a 2015 é observado um decréscimo contínuo do valor médio do Índice. O mesmo padrão de variação é observado em relação ao NDWI indicando uma relação de associação entre os dois índices. Assim, a medida em que há um aumento de fitomassa há também um ganho de umidade.

3.4 Análise Estatística dos Dados de Cobertura Vegetal

Foi realizada uma análise de regressão linear simples com a finalidade de avaliar o poder preditor da cobertura vegetal sobre a média (complexidade do habitat) e desvio padrão (heterogeneidade de habitat) do NDVI. A Figura 8 apresenta os resultados da análise. A média e o desvio padrão da cobertura por espécies lenhosas apresentaram um baixo valor de predição sobre os valores do Índice de Vegetação.

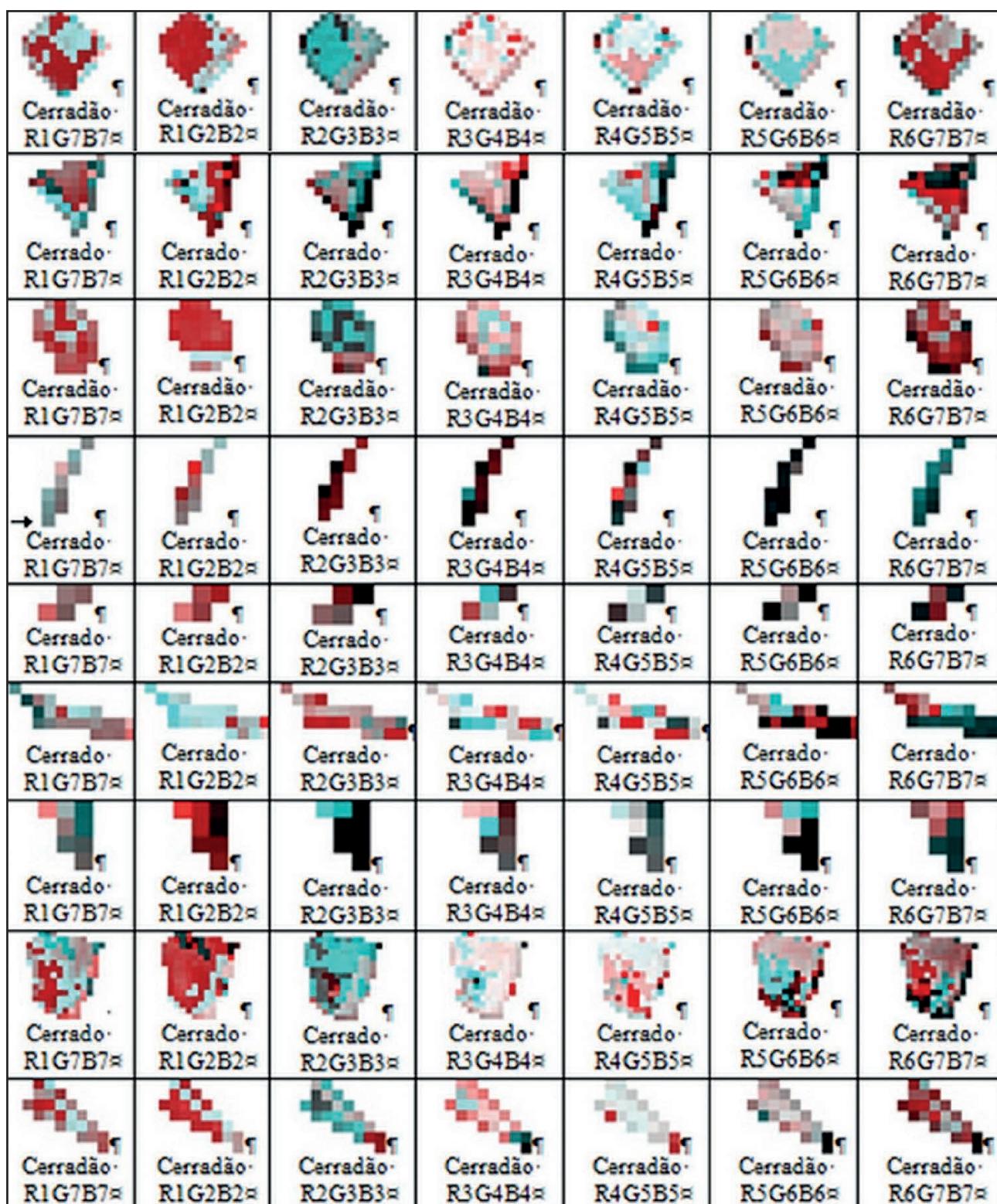


Figura 4 Composição multitemporal RGB-NDVI para as datas 13/08/1985, 26/07/1990, 25/08/1995, 22/08/2000, 20/08/2005, 22/09/2011 e 11/09/2015, da esquerda para a direita, respectivamente.



Figura 5 Composição multitemporal RGB-NDWI para para as datas 13/08/1985, 26/07/1990, 25/08/1995, 22/08/2000, 20/08/2005, 22/09/2011 e 11/09/2015, da esquerda para a direita, respectivamente.

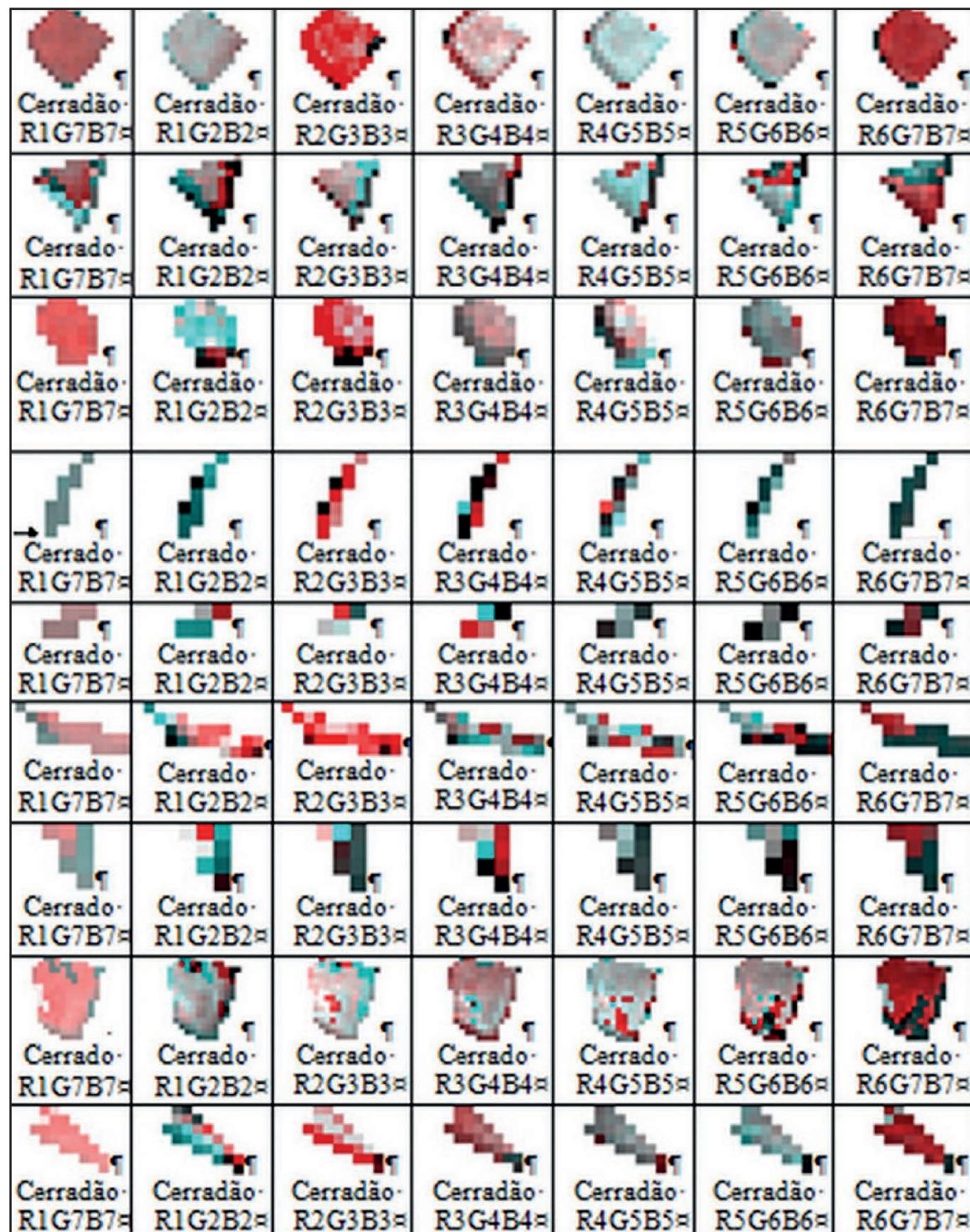


Figura 6 Composição multitemporal RGB-NDWI para as datas 13/08/1985, 26/07/1990, 25/08/1995, 22/08/2000, 20/08/2005, 22/09/2011 e 11/09/2015, da esquerda para a direita, respectivamente.

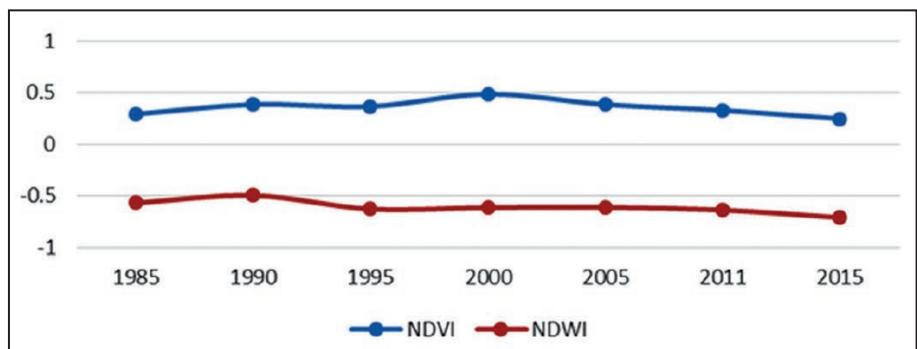


Figura 7 Valores médios de NDVI e NDWI de 18 fragmentos do bioma Cerrado ao longo do tempo.

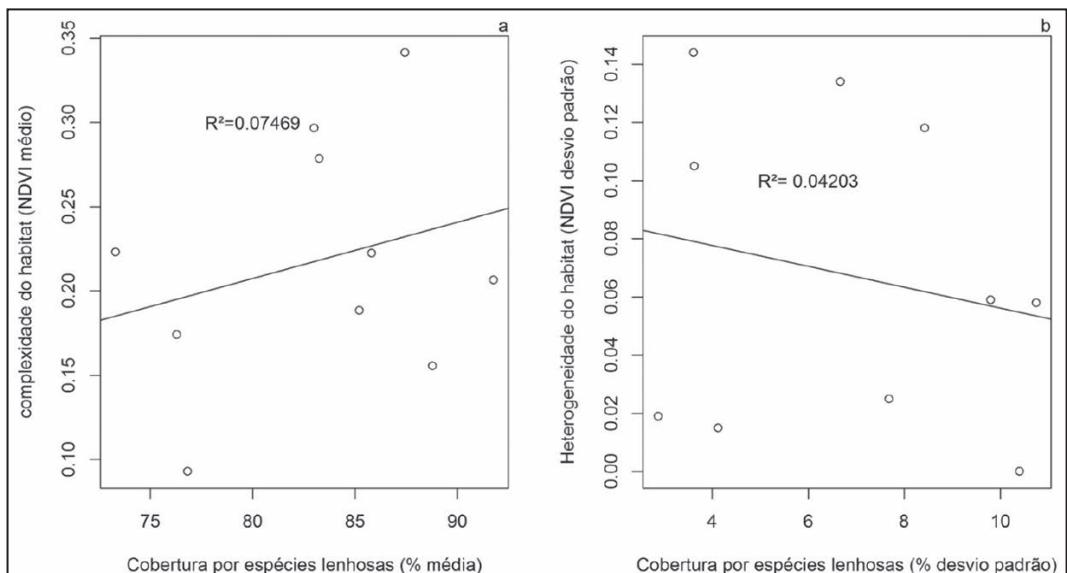


Figura 8 Análise de Regressão Linear Simples entre os valores do Índice de Vegetação (NDVI) e a porcentagem de cobertura vegetal dos fragmentos.

4 Discussão dos Resultados

O NDWI é um índice complementar ao NDVI pois este índice apresenta limitações ao avaliar o conteúdo de água da vegetação (Ceccato *et al.*, 2002). Assim, se faz necessário utilizar os dois índices para avaliar as condições da vegetação (Kamila & Pal, 2015).

A mudança heterogênea dos valores de NDVI pode ser explicada pela existência de diferentes extratos e espaçamentos presentes nos fragmentos, que permite que a radiação solar incida sobre o solo. O NDVI é sensível ao solo exposto, o que causa a diminuição do seu valor e a resposta espectral de um pixel de 30 metros é resultante da mistura espectral dos objetos que o pixel cobre. Assim, aparecem valores reduzidos de NDVI em algumas áreas, o que indica pontos com vegetação de menor porte, com dossel aberto e com maior espaçamento e não

necessariamente desmatamento. Para verificar a ocorrência de desmatamento dos fragmentos um estudo quantitativo da composição multitemporal deve ser realizado gerando uma carta de cobertura ao solo com base nos valores do NDVI.

Alguns valores de NDWI se mostraram inconsistentes com os valores de NDVI, pois apesar da baixa umidade os valores de NDVI ainda se mostraram elevados. Por exemplo, na Figura 7 no ano de 1995 observou-se um aumento do NDVI a medida que há uma diminuição do NDWI na mesma época. Isto pode ser explicado pela presença de espécies perenifólias nos fragmentos, que são capazes de manter suas folhas por um longo período de tempo inclusive em época de seca. Espécies que passam por um estresse hídrico começam a perder suas folhas para diminuir a perda de água causando aumento da deciduidade das folhas, consequentemente o

processo de fotossíntese cessa uma vez que a água se torna um fator limitante (Asner *et al.*, 2000).

Foi observado que há uma associação entre os valores de NDVI e NDWI, pois áreas com aumento de fitomassa mostram aumento de umidade. Ao dispor de água as plantas conseguem manter a taxa fotossintética e produzir reservas energéticas mantendo a produção de folhas. A perda de umidade de um fragmento é um indicativo de perda de vigor da vegetação, consequentemente, perda da qualidade ambiental deste fragmento.

Houveram grandes mudanças na resposta espectral de alguns fragmentos nas composições R1G7B7, R1G2B2 e R6G7B7 (Figuras 3 e 4), onde exibem um vermelho intenso em toda ou quase toda a extensão do fragmento. Na primeira composição os valores de Índice de Vegetação são maiores em 1985 em relação a 2015. Na composição R1G2B2, a imagem de 1985 apresenta valores de NDVI maiores em relação à imagem de 1990. Na última composição, R6G7B7, o vermelho intenso nos fragmentos indica que os valores de NDVI da imagem referente a 2011 são maiores em relação à imagem de 2015. Assim, houve perda de fitomassa de 2011 para 2015.

Nas composições R1G7B7 e R6G7B7 (Figuras 5 e 6) o NDWI do ano de 2015 é menor com relação aos anos de 1985 e 2011 indicando um decréscimo de umidade onde os pixels vermelhos destacam essa diminuição. Com relação a composição RGB NDWI entre as imagens de 1990 e 1995, a primeira data exibe os maiores valores de NDWI. Essa mudança é destacada também pelos pixels em vermelho. Portanto, houve perda de umidade no período analisado.

Os resultados da regressão entre valores de cobertura vegetal do dossel e valores médio e desvio padrão do NDVI não corroboraram com os resultados encontrados em Gamarra (2013), nos quais essas relações foram positivas com um coeficiente de determinação alto. O NDVI apesar de ter se mostrado um índice que funcione na caracterização da estrutura vegetal não gerou um resultado satisfatório, uma vez que a composição falsa-cor RGB com imagens NDVI mostrou uma resposta espectral heterogênea. Assim, esperava-

se um alto valor preditivo dos valores de cobertura vegetal com relação aos valores de NDVI.

5 Conclusão

A comparação dos valores de NDVI observados nas imagens com as fitofisionomias identificadas em campo, mostraram uma relação na qual a variação do NDVI de um mesmo fragmento está associada com a heterogeneidade deste fragmento. O valor médio que representa o fragmento está relacionado com a fitofisionomia identificada em campo.

O NDWI se prestou como índice de forma complementar ao NDVI, pois um mesmo fragmento sem variação de NDVI ao longo do tempo e com perda de umidade identificada através do NDWI, pode indicar perda de serapilheira ou de subbosque, o que pode ser originado em efeito de borda ou ação antrópica.

Assim, concluiu-se que o NDWI é um índice complementar ao NDVI, pois apresenta limitações ao avaliar o conteúdo de água da vegetação. É necessário utilizar os dois índices para avaliar as condições da vegetação. A combinação falsa-cor multitemporal se mostrou uma maneira simples e rápida para se localizar os locais onde houve mudanças na cobertura vegetal. No caso de um estudo quantitativo, a carta de cobertura dos solos pode ser derivada do NDVI como forma alternativa à classificação espectral automática (não supervisionada). Recomenda-se para estudo futuros considerar ainda um índice que avalie a contribuição dos solos expostos nos valores dos índices analisados.

Outros Índices de vegetação devem ser utilizados para detectar fatores que expliquem a heterogeneidade do habitat e complexidade ambiental. Apesar das vantagens que o sensoriamento remoto oferece como precisão e rapidez na aquisição de dados ambientais e menor custo-benefício a atividade de campo se faz necessária, pois os dados adquiridos requerem validação por meio de coleta de dados em campo.

6 Agradecimentos

À Fundect-MS (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do

Estado de Mato Grosso do Sul) pelo apoio financeiro. Ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa de A.C. Paranhos Filho (Processo 304122/2015-7).

7 Referências

- Asner, G.P.; Wessman, C.; Bateson, C. & Privette, J.L. 2000. Impact of Tissue, Canopy, and Landscape Factors on the Hyperspectral Reflectance Variability of Arid Ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 74: 69-84.
- Badhwar, G.D.; Austin, W.W. & Carnes, J.G. 1982. A semi-automatic technique for multitemporal classification of a given crop within a Landsat scene. *Pattern Recognition*, 15: 217-230.
- Begon, M.; Townsend, R.C. & Harper, L.J. 2006. *Ecology From Individuals to Ecosystems*. Oxford, Blackwell Publishing. 738 p.
- Carvalho, F.; De Marco, J.P. & Ferreira, L.G. 2009. The Cerrado into-pieces: habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*, 142: 1392-1403.
- Ceccato, P.; Stéphane, F. & Jean-Marie, G. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data Part 2. Validation and applications. *Remote Sensing of Environment*, 82: 198-207.
- Collinge, S.K. 1996. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. *Landscape and urban planning*, 36: 59-77.
- De Groot, R.S.; Wilson, M. . & Boumans, R.M.J. 2002. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393-408.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology evolution and systematics*, 34: 487-515.
- Flauzino, F.S.; Silva, M. K. A.; Nishiyama, L. & Rosa, R. 2010. Geotecnologias Aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba do cerrado mineiro. *Sociedade & Natureza*, 22: 75-91.
- Folhes, M.T. 2005. Uma aplicação da banda termal do TM/Landsat-5 no gerenciamento dos recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12 Anais, Goiânia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 3009-3016.
- Gamarra, R.M. 2013. *Dinâmica da estrutura da vegetação no Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari-MS*. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Tese de Doutorado. 112p.
- Gao, B. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58: 257-266.
- GRASS - Development Team. 2012. *Geographic Resources Analysis Support System*. Programmer's Manual. Open SourceGeospatial Foundation Project.
- Kamila, A. & Pal, S.C. 2015. Urban growth monitoring and analysis of environmental impacts on Bankura-I and II Block using Landsat Data. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 4(1): 965-975.
- McFeeters, S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 1425-1432.
- Metzger, J. P. 1999. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71: 445-464.
- Metzger, J. P. 2003. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN, J.R. L.; RUDRAN, R. & VALLADARES-PÁDUA, C. (eds.). *Métodos de estudos em biologia da conservação & manejo da vida silvestre*. Editora da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 423-453.
- Pereira, M.A.S.; Sousa Neves, N.A.G. & Figueiredo, D.F.C. 2007. Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. *Geografia*, 16: 5-24.
- Ponzoni, F. J. & Shimabukuro, Y. E. 2007. *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. São José dos Campos: Editora Parêntese. 127 p. il
- Primack, R. B. & Rodriguez, E. 2001. Ameaças à Diversidade Biológica. In: PRIMACK, R. B. & RODRIGUEZ, E. (eds.). *Biologia da Conservação*. Londrina, p. 69-134.
- QGIS - Development Team. 2015. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R Core Team. 2014. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ribeiro, J. R. & Walter, B. M. T. 2008. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. (eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa-CPAC, Planaltina, p.151-199.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A. & Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, D.C. Goddard Space Flight Center, v.1, p.309-317.
- Roy, D. ; Wulder, M.A.; Loveland, T.R.; Woodcock, C.E.; Allen, R.G.; Anderson, M.C.; Helder, D.; Irons, J.R.; Johnson, D.M.; Kennedy, R.; Scambos, T.A.; Schaaf, C.B.; Schott, J. R.; Sheng, Y.; Vermote, E.F.; Belward, A.S.; Bindschadler, R.; Cohen, W. B.; Gao, F.; Hippel, J. D.; Hostert, P.; Huntington, J.; Justice, C.O.; Kilic, A.; Kovalsky, V.; Lee, Z.P.; Lymburner, L.; Masek, J.G.; McCorkel, J.; Shuai, Y.; Trezza, R.; Vogelmann, J.; Wynne, R. H. & Zhu, Z. 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145: 154-172.
- Saunders, D. A.; Hobbs, R. J. & Margules, C. R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservationbiology*, 5:18-32.
- Suganuma, M.S.; Torezan, J.M.D.; Cavalheiro, A. L.; Vanzela, A.L.L. & Benato, T. 2008. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. *Revista Árvore*, 32: 377-385.
- Tilman, D. 2000. Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature*, 405: 208-211.
- Viana, V.M.; Tabanez, A.J. & Martinez, J.L. 1992. Restauração e manejo de fragmentos florestais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS. Instituto Florestal/Secretaria de Meio Ambiente, Campos do Jordão, 2: 400-406.