

Propriedades das Séries Temporais de NDVI e EVI da Cobertura Vegetal em Áreas de Solos RQo Associadas a Arenização

NDVI and EVI Time Series Properties of Vegetation Cover in Areas of RQo Soils Associated with Sanding Process

Letícia Celise Ballejo da Costa¹ , Laurindo Antonio Guasselli¹ , François Laurent² 
& François Messner² 

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS, Brasil

² Universidade de Le Mans, Laboratório ESO – *Espace et Société*, Le Mans, França

E-mails: leticelise@yahoo.com.br; laurindo.guasselli@ufrgs.br; francois.laurent@univ-lemans.fr; francois.messner@univ-lemans.fr

Resumo

Os processos relacionados a arenização inicialmente conceituados para a região sudoeste do Rio Grande do Sul, também ocorrem em outras regiões do Brasil. Estudos demonstram que o ponto convergente entre essas áreas é o tipo de solo, os Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo). Este artigo analisa as propriedades das séries temporais de NDVI e EVI da cobertura vegetal em áreas de solos RQo no Rio Grande do Sul, Goiás, Tocantins e Piauí, no período entre 2000 e 2015. Para tanto a metodologia proposta utiliza as seguintes propriedades: média, tendência, variabilidade interanual (IAV) e sazonalidade das séries temporais MOD13Q1 sensor MODIS, de NDVI e EVI; mapa de solos e índices pluviométricos do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Os resultados mostram que o comportamento dos valores das propriedades sugere que a cobertura vegetal em áreas com solos RQo em Gilbués/PI e Mateiros/TO se apresentam mais estáveis na série temporal, sem dinâmicas naturais ou antrópicas que ocasionem grandes mudanças no comportamento temporal da vegetação para serem expressas pelas propriedades tendência e IAV. Maçambará e Serranópolis com dinâmicas de arenização nas áreas de RQo mais intensas, apresentaram resultados mais expressivos. Serranópolis por abranger extensas áreas de pastagens e atividades agrícolas e ainda conservar uma boa parte de remanescentes de Cerrado se destacou com valores mais elevados em relação a tendência e sazonalidade. A variação da sazonalidade nas quatro áreas é consequência principalmente da dinâmica climática sazonal. As séries temporais de NDVI e EVI MODIS se mostraram eficientes em mostrar as variações temporais da biomassa e possibilitaram analisar satisfatoriamente a variação espaço-temporal do verdor da cobertura vegetal em áreas de solos RQo associadas a arenização.

Palavras-chave: Variação espaço-temporal; Índices de vegetação; Dinâmica sazonal

Abstract

The sandization processes initially conceptualized for the southwestern region of Rio Grande do Sul, also occur in other regions of Brazil. Studies show that the converging point between these areas is the type of soil, the Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo). This article analyzes the properties of the NDVI and EVI time series of vegetation cover in areas of RQo soils in Rio Grande do Sul, Goiás, Tocantins and Piauí, in the period between 2000 and 2015. For this purpose, the proposed methodology uses the following properties: average, trend, interannual variability (IAV) and seasonality of the sensor MODIS, NDVI and EVI time series; soil map and rainfall index of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. The results show that the behavior of the property values suggests that the vegetation cover in areas with RQo soils in Gilbués / PI and Mateiros / TO are more stable in the time series, without natural or anthropic dynamics that cause major changes in the vegetation's temporal behavior to be expressed by the trend and IAV properties. Maçambará and Serranópolis with sanding dynamics in the most intense RQo areas, presented more expressive results. Serranópolis for covering extensive areas of pastures and agricultural activities and still conserving a good part of Cerrado remnants stood out with higher values in relation to the trend and seasonality. The variation in seasonality in the four areas is mainly due to seasonal climatic dynamics. The time series of NDVI and EVI MODIS proved to be efficient in showing the temporal variations of the biomass and made it possible to satisfactorily analyze the space-time variation of the greenness of the vegetation cover in areas of RQo soils associated with sanding.

Keywords: Spatio-temporal variation; Vegetation indexes; Seasonal dynamics

1 Introdução

No sul do Brasil, o conceito de arenização (Suertegaray, 1987; 1998; 2012a; Verdum, 1997) busca explicar a ocorrência de manchas arenosas, conhecidas como areais, e diferenciá-las do processo de desertificação (Suertegaray *et al.*, 2001). A arenização está associada ao substrato arenoso, com formações superficiais características de clima semiárido ou semiúmido de um passado recente, com cobertura original de campo que sofre a intensificação do processo de escoamento concentrado, no clima úmido atual (Suertegaray, 2012b).

Outras regiões no Brasil também apresentam processos relacionados a arenização. Nessas áreas há aptidão natural para a ocorrência de processos erosivos, intensificados pelas práticas inadequadas de uso da terra. O ponto convergente entre essas áreas é o tipo de solo, isto é, em todas ocorrem Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo) (Scopel *et al.*, 2012; Sousa *et al.*, 2012; Cristo, 2013; Suertegaray & Oliveira, 2014).

Os solos RQo apresentam textura arenosa, contendo cerca de 90% de areia em sua composição, altamente friáveis e com baixo teor de nutrientes. São solos suscetíveis a erosão hídrica e eólica e facilmente dão origem a ravinas e voçorocas (Scopel *et al.*, 2012). A ocorrência e/ou intensificação do processo de arenização sobre os solos RQo pode ocorrer pela dinâmica natural (solo, geomorfologia, clima) ou por ação antrópica (Scopel *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2012; Cristo, 2013; Suertegaray & Oliveira, 2014).

As áreas no entorno dos areais, suscetíveis ao processo de arenização, têm cobertura vegetal rarefeita, com reduzida biomassa (Freitas *et al.*, 2009; Guasselli *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2015) e com dificuldades de estabelecimento sobre os solos RQo. Há a propensão da mobilização das camadas superficiais de solo por erosão hídrica e eólica, contribuindo para manutenção ou evolução dos areais (Suertegaray & Oliveira, 2014). Práticas inadequadas de uso da terra, relacionadas à agricultura e à pecuária (Peixinho *et al.*, 2010; Sousa *et al.*, 2012; Corbonnois *et al.*, 2014; Silva, 2014), desencadeiam a expansão dos areais sobre os solos RQo.

A análise de áreas suscetíveis a desertificação, tem utilizado de forma frequente séries temporais para detecção de mudanças na vegetação (Higginbottom & Symeonakis, 2014; Ferreira *et al.*, 2017; Masoudi *et al.*, 2018).

Em áreas suscetíveis à arenização, a detecção de mudanças nas condições da vegetação (Oliveira *et al.*, 2015; Souza, 2015; Machado, 2016), ainda precisa ser ampliada. A análise de séries temporais pode permitir melhor entendê-las e qualificá-las.

Séries temporais de índices de vegetação NDVI e EVI, sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), MOD13Q1, podem auxiliar nos estudos da vegetação, e no reconhecimento de padrões e detecção de mudanças ou anomalias associadas as perturbações naturais ou antrópicas (Kuplich *et al.*, 2013; Bayma & Sano, 2015; Moreira *et al.*, 2019), sua fenologia (Verbesselt *et al.*, 2010; Nhongo *et al.*, 2017; Moreira *et al.*, 2019), tendências temporais (Forkel *et al.*, 2013) e na detecção de mudanças globais e de cobertura da terra (Martinez & Gilabert, 2009; Freitas *et al.*, 2011).

Nesse sentido, Verbesselt *et al.* (2010) analisaram a capacidade de detecção de alterações fenológicas em séries temporais com o método *Breaks For Additive Sazonal e Trend* (BFAST), a partir de três componentes: um componente de ciclo de tendência, um componente sazonal e um componente restante para detectar mudanças.

Forkel *et al.* (2013) utilizaram métodos de estimação de tendências baseados em séries temporais de NDVI, e avaliaram que a variabilidade interanual pode diminuir o desempenho de métodos para detectar tendências e mudanças de tendência em séries temporais.

Moreira *et al.* (2019) utilizaram séries temporais de NDVI e EVI e a metodologia Wavelet para analisar a vegetação dos campos com arenização no Rio Grande do Sul, constataram uma dinâmica sazonal da vegetação sob a influência do clima subtropical, com valores mais altos nas estações quentes (primavera e verão) e menores nos períodos mais frios (outono e inverno). Bayma & Sano (2015), empregaram séries temporais de NDVI e EVI no Cerrado; e Souza *et al.* (2016) utilizaram NDVI e EVI para caracterizar o comportamento sazonal da vegetação do Cerrado.

A análise da vegetação nessas áreas é importante para entender as dinâmicas e os processos atuantes, já que revelam um ponto convergente do processo de arenização: os solos RQo. Para Suertegaray (2017), os solos podem não ser o único fator de erosão nessas áreas, mas revelam sua efetiva relação com a cobertura vegetal como constituinte de sua estabilidade relativa. A supressão da vegetação original, seja por processos naturais ou devido ao uso intensivo do solo, resultam na intensificação da arenização.

Portanto, estudos que analisam a variação espaço-temporal da vegetação em áreas suscetíveis a arenização em solos RQo podem contribuir na análise e compreensão dos processos inerentes. Assim, este artigo tem por objetivo analisar as propriedades de séries temporais de NDVI e EVI da cobertura vegetal em áreas de solos RQo sujeitas ao processo de arenização, no Rio Grande do Sul, Goiás, Tocantins e Piauí - Brasil, no período entre 2000 e 2015.

2 Metodologia e Dados

2.1 Áreas de Estudo

As áreas de estudo localizam-se em quatro municípios brasileiros com presença de solos RQo que, como mostram os estudos estão associados a processos de arenização: Gilbués (PI), Mateiros (TO), Serranópolis (GO) e Maçambará (RS) (Figura 1).

Em Maçambará, sudoeste do RS, a arenização está associada às formações Guará e Botucatu (Guasselli & Evers, 2012), e ocorre sobre solos RQo (Suertegaray, 2012b). Solos RQo apresentam cor avermelhada ou amarelo-avermelhada, devido ao óxido de ferro, na forma oxidada, contendo por volta de 90% de areia (Scopel *et al.*, 2012), e ocorrem no leste de Maçambará. A vegetação é característica dos campos do bioma Pampa, se insere nos Campos com Areais (Hasenack *et al.*, 2010) e tem baixa cobertura vegetal, com plantas adaptadas às condições de estresse hídrico. O clima é “Subtropical Ib - Pouco úmido com inverno frio e verão quente” (Rossato, 2011). Conforme Soares & Verdum (2011) não há comportamento sazonal, ocorrem picos de seca ou de chuvas torrenciais com distribuição irregular, e chuvas mensais (em torno de 100 mm) e anuais (1.200 mm).

Serranópolis, sudoeste de Goiás, se localiza no Cerrado brasileiro e abriga uma vegetação *relict* das

paisagens de Cerrado representantes de períodos mais secos da última glaciação quaternária (Peixinho *et al.*, 2010). Situa-se sobre a unidade geoambiental Depressão do Rio Verde. Caracteriza-se pela presença de arenitos, especialmente Botucatu (Juro-cretáceo), pouco encoberto por Formações Cenozóicas (Sousa *et al.*, 2012), em chapadas penetradas por depressões de relevo suave-ondulado a ondulado, sobre os quais aparecem solos arenosos (Peixinho *et al.*, 2010). Os Latossolos de textura média e os RQo predominam em 90% da área do município. Na Depressão do Rio Verde aparecem solos degradados, em forma de areais, característicos do processo de arenização.

Em Mateiros, leste do Tocantins, solos RQo ocorrem principalmente sob o Cerrado Senso Restrito, Campo Limpo e Campo Sujo, tendo como material de origem arenitos diversos (Cristo, 2013). A maior parte das áreas de solo RQo, se insere na unidade geomorfológica Patamares das Mangabeiras (IBGE, 2019). Segundo Cristo (2013), o solo RQo “evidencia a presença de um solo jovem, e sua relação direta ao intenso processo de transporte e deposição, sendo fator condicionante à ocorrência de assoreamentos das drenagens locais.” O clima predominante de acordo com a classificação de Köppen é o Tropical Aw, com estação mais seca no inverno.

Em Gilbués, Sudoeste do Piauí, os solos RQo situam-se no centro-oeste do município, divisa com Maranhão. A cobertura vegetal é característica de Savana Arborizada

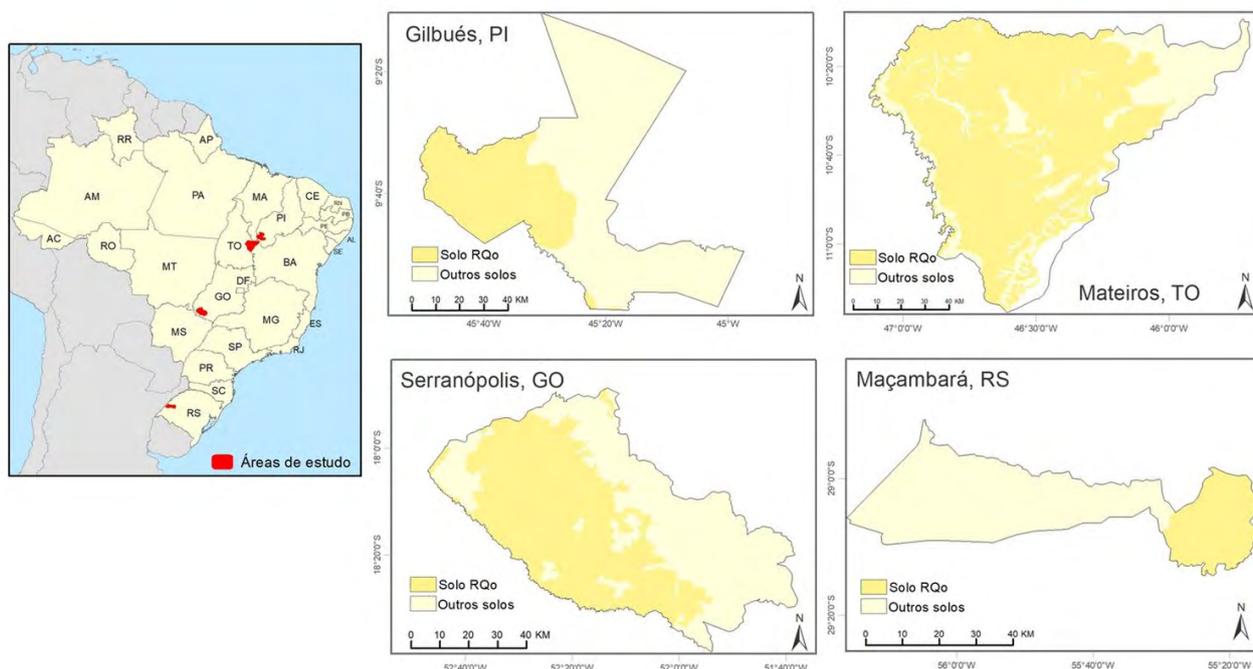


Figura 1 Mapa de localização dos municípios que apresentam solos RQo: Gilbués/PI, Mateiros/TO, Serranópolis/GO e Maçambará/RS. À direita espacialização do solo RQo (em amarelo) em cada município (segundo SIEG, 2005; BRASIL, 2006; SEPLAN, 2012; BRASIL, 2013).

(IBGE, 2019). Os solos, oriundos da alteração de rochas sedimentares, são espessos, friáveis, porosos e arenosos e pobres em matéria orgânica. A área de solos RQo situa-se na unidade geomorfológica Cabeceiras do Parnaíba (IBGE, 2019).

Segundo Silva (2014) se insere nos “Chapadões do Alto-Médio Parnaíba, com unidades de relevo tabuliformes (mesetas) de estrutura horizontal com bordas escarpadas e anfiteatros largos, penetradas por vales abertos e superfícies aplainadas”. Tem clima tropical de continentalidade articulada, com longo período chuvoso, opondo-se a outro, mais seco.

2.2 Dados

Organização da base de dados orbitais dos produtos MOD13Q1 - NDVI e EVI, sensor MODIS, a bordo do satélite Terra, disponibilizadas no portal *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP-DAAC - NASA), imagens de 16 dias, com resolução espacial de 250m.

Para cada uma das quatro áreas, Gilbués (PI), Mateiros (TO), Serranópolis (GO), Maçambará (RS), foram adquiridas séries temporais com 23 imagens por ano de NDVI e de EVI, entre 2000 e 2015, totalizando 368 imagens para cada município. As imagens foram reprojadas para o Sistema de Coordenadas Equiretangular Cilíndrica (Coordenadas Geográficas), Sistema Geodésico de Referência: WGS-84.

Os arquivos *shapefiles* dos solos foram obtidos de: Gilbués disponibilizados pelo IBGE na escala 1:5.000.000 do ano 2006; de Mateiros pela Secretaria de Planejamento do estado do Tocantins (SEPLAN) na escala 1:1.000.000 do ano 2012; de Serranópolis pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) na escala 1:1.000.000 do ano 2005; de Maçambará pelo IBGE na escala 1:1.000.000 do ano 2013.

Os dados dos índices pluviométricos são oriundos do satélite TRMM. Foram coletados a partir da ferramenta web “series view” do LAF (Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Florestas - INPE) (Freitas *et al.*, 2011), que permite visualizar séries temporais mensais de precipitação pluviométrica de qualquer ponto marcado sobre o mapa do Brasil, de janeiro de 2000 até os dias atuais. Foram selecionados dados de quatro polígonos amostrais em áreas de solo RQo dos municípios.

2.3 Método

As séries temporais de NDVI e de EVI foram filtradas em ambiente R, com o filtro Whittaker (WS) (Whittaker, 1923; Eilers, 2003; Atzberger & Eilers 2011a; 2011b), para amenizar as oscilações inconsistentes nos valores em decorrência de nuvens, influências atmosféricas

e da geometria de aquisição da imagem no momento da passagem do satélite. O filtro WS é um procedimento iterativo, diminui o peso das observações negativamente tendenciosas e *outliers* e leva a uma suavização mais próxima ao patamar superior da série, e tende a ter valores mais confiáveis (Atzberger & Eilers 2011a).

A análise das propriedades das séries temporais de NDVI e EVI nas áreas de RQo adotou a metodologia de Forkel *et al.* (2013) utilizando o pacote *greenbrown* disponível em ambiente R. O *greenbrown* tem uma gama de funções de análise de tendências e mudanças de tendências em séries temporais. Foram utilizadas as seguintes propriedades: Média, Tendência, Variabilidade Interanual (IAV) e Variação Sazonal.

O cálculo dessas propriedades é baseado na decomposição da série seguindo as etapas descritas por Forkel *et al.* (2013): 1º) cálculo da média da série temporal; 2º) cálculo do parâmetro tendência com base no método AAT - *Annual Aggregated Time Series*, em que valores mensais da série são agregados a valores anuais, estimando o coeficiente de inclinação da reta da regressão linear, indicando uma tendência positiva ou negativa (sem calcular as mudanças abruptas); 3º) cálculo do IAV, que corresponde ao desvio padrão das anomalias (ruídos) anuais, gerado pela subtração da média e da tendência dos valores originais da série; 4º) cálculo da sazonalidade pela subtração da média, da tendência e das anomalias da série temporal original.

3 Resultados e Discussão

A análise das propriedades das séries temporais de NDVI e EVI, entre 2000 e 2015, com base em Forkel *et al.* (2013), buscou caracterizar o comportamento espaço-temporal da cobertura vegetal em áreas com presença de solos RQo. As Figuras 2 e 3 apresentam a variação espacial dos valores das propriedades média, tendência, IAV e sazonalidade nas quatro áreas: Gilbués, Mateiros, Serranópolis e Maçambará.

Nas imagens correspondentes a média da série temporal de Gilbués (Figuras 2A e 3A) o padrão espacial do NDVI e EVI é semelhante. Os maiores valores correspondem as áreas de mata ciliar/floresta galeria da Savana arborizada, e os menores ao solo exposto ou áreas com reduzida biomassa vegetal. A tendência (Figuras 2B e 3B), apresenta valores próximos a zero (Tabelas 1 e 2). A significância da tendência em cada segmento da série temporal é estimada pelo teste de Mann-Kendall aplicado sobre os valores agregados anuais do índice de vegetação. Assim, valores iguais a zero significam que a inclinação de reta da tendência não foi significativa, ou seja, o “*p-value*” foi menor que 0,05 ($p > 0,05$) (Forkel *et al.*, 2013).

As imagens tendência de NDVI e de EVI (Figuras 2B e 3B) evidenciam valor zero predominante em áreas de solos

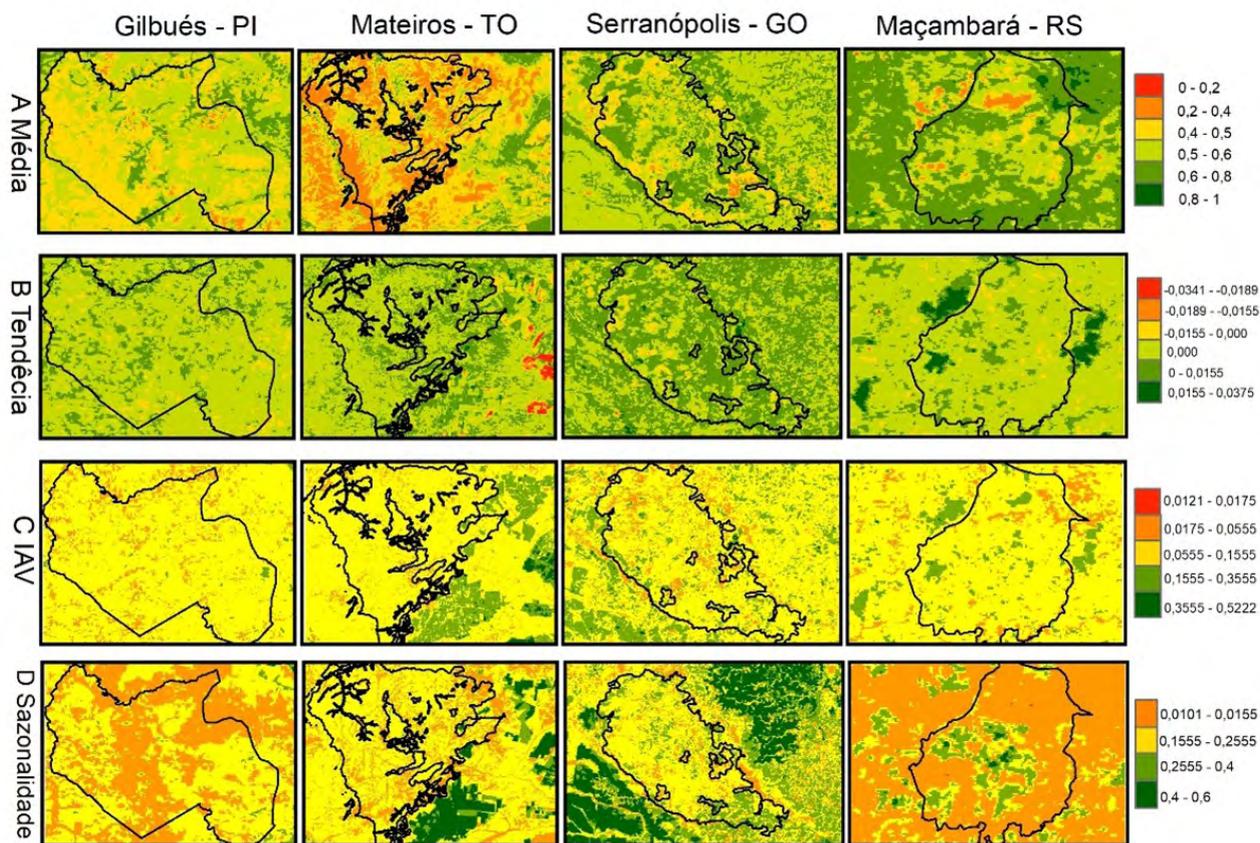


Figura 2 Variação espacial dos valores das propriedades das séries temporais de NDVI nas áreas de solo RQo em Gilbués, Mateiros, Serranópolis e Maçambará; A. Média, B. Tendência; C. IAV; D. Sazonalidade (baseada na metodologia de Forkel *et al.*, 2013).

RQo. Em Gilbués os valores de EVI do IAV apresentam menor contraste sazonal, com valores baixos concentrados entre 0,0101 - 0,0155, e os de NDVI distribuídos entre 0,0101 - 0,2555 (Figuras 2D e 3D).

Em Mateiros, as médias de NDVI ocorrem entre 0,2 e 0,5 e de EVI entre 0,2 e 0,3. Essas áreas correspondem, segundo o mapa da vegetação do estado de Tocantins (BRASIL, 2007), à vegetação Savana Parque, caracterizada por formações campestres. Valores mais elevados correspondem às Savanas com floresta de galeria próximas aos cursos d’água (Figuras 2A e 3A), e chegam a 0,8 de NDVI e a 0,55 de EVI (Tabelas 1 e 2). A tendência foi próxima a zero, com comportamento semelhante a Gilbués. Em Mateiros ocorre certa sazonalidade nos valores dos índices de vegetação (Forkel *et al.*, 2013; Dias, 2017), não tão intensas como, por exemplo, no sudeste de Mateiros (áreas que não englobam os solos RQo), que apresentam valores de sazonalidade mais elevados, em áreas com cultivo anual com um ciclo produtivo bem marcado sazonalmente (Figuras 2D e 3D).

A variação interanual - IAV (*Inter-annual variability*) corresponde as variações ou anomalias que ocorrem de um

ano para outro. Gilbués e Mateiros apresentam NDVI com maior amplitude e com valores mais elevados (Tabelas 1 e 2). A variação interanual dos índices de vegetação para áreas de RQo (Figuras 2C e 3C) apresenta valores próximos a zero. Valores de IAV próximos ou correspondentes a zero significam que ao longo da série temporal não houve variações interanuais significativas, ou seja, sem mudanças/anomalias, frequentes e consideráveis de um ano para outro. Quando os valores forem positivos, significa que existem anomalias interanuais que aumentam os valores dos índices de vegetação. A ocorrência de valores negativos indica que as anomalias anuais estão atuando na diminuição dos valores dos índices ao longo da série temporal (Forkel *et al.*, 2013).

Em Serranópolis, nas imagens da média (Figuras 3A e 4A) ocorrem valores entre 0,4 e 0,8 de NDVI e entre 0,2 e 0,5 de EVI.

Em relação a tendência, as áreas de RQo apresentaram valores expressivos em Serranópolis. Apesar de apresentar valores zero, predominam nas imagens de NDVI e EVI valores entre 0 e 0,0155 (Figuras 2B e 3B). As áreas de solos RQo com valores positivos de tendência, referem-se predominantemente a cobertura vegetal com

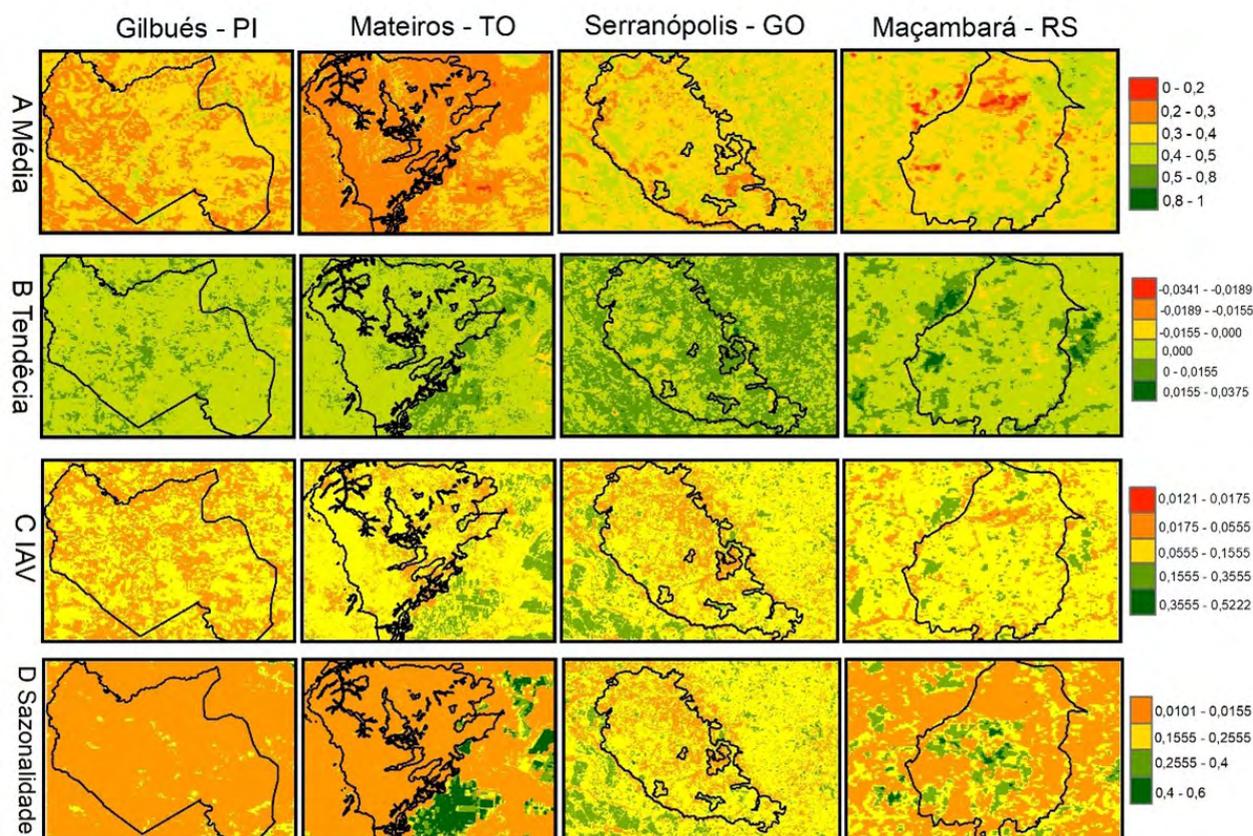


Figura 3 Variação espacial dos valores das propriedades das séries temporais de EVI nas áreas de solo RQo em Gilbués, Mateiros, Serranópolis e Maçambará; A. Média, B. Tendência; C. IAV; D. Sazonalidade (baseada na metodologia de Forkel *et al.*, 2013).

Tabela 1 Variação dos valores das propriedades da série temporal de NDVI.

		Média	Tendência	IAV	Sazonalidade
Gilbués	Mínimo	0,2745	-0,0155	0,0230	0,0393
	Máximo	0,7648	0,0082	0,3214	0,3265
	Média	0,5126	0,0003	0,0823	0,1550
Mateiros	Mínimo	0,1474	-0,0134	0,0197	0,0217
	Máximo	0,8099	0,0112	0,3615	0,4171
	Média	0,4358	0,0010	0,0854	0,1716
Serranópolis	Mínimo	0,2585	-0,0189	0,0216	0,0480
	Máximo	0,8213	0,0375	0,5199	0,5797
	Média	0,5730	0,0027	0,0994	0,2157
Maçambará	Mínimo	0,1995	-0,0140	0,0175	0,0100
	Máximo	0,8695	0,0356	0,3709	0,4785
	Média	0,5987	0,0010	0,0997	0,1490

menor influência antrópica, o que era esperado, uma vez que esses índices estão ligados ao verdor da vegetação. A Figura 4 apresenta o cruzamento das imagens de tendência de NDVI e EVI com os remanescentes vegetais do Cerrado.

A maior parte dos remanescentes apresentam tendência de NDVI positiva, indicando que nessas áreas a vegetação permaneceu estável ou apresentou leve aumento ao longo da série temporal. Essa vegetação corresponde as

fisionomias de Cerrado Típico e/ou Cerrado Denso. Para o EVI, a tendência foi predominante zero, indicando que esse índice não detectou uma tendência de aumento da biomassa.

Os valores de IAV em Serranópolis são mais expressivos que em Gilbués e Mateiros (Tabelas 1 e 2). As pequenas manchas com valores mais elevados, a partir de 0,1555, correspondem as áreas de silvicultura ou de pastagens e agricultura (Figuras 2C e 3C).

Em Serranópolis, a sazonalidade varia entre 0,0480 e 0,5797 de NDVI e entre 0,0640 e 0,5916 de EVI (Tabelas 1 e 2). A sazonalidade da série temporal indica a periodicidade

das alterações dos valores dos índices de vegetação. Quanto mais próximo de +1, indica que ocorre alterações sazonais que tendem a aumentar os valores dos índices. Valores zero ou muito próximos a ele indicam que não há atividades periódicas/sazonais na vegetação. E valores negativos indicam que ocorrem alterações sazonais que tendem a diminuir o valor do índice de vegetação ao longo da série (Forkel *et al.*, 2013).

A sazonalidade de NDVI dos remanescentes vegetais de Cerrado e das áreas de pastagens e agricultura nos solos RQo em Serranópolis, corresponde a sobreposição da

Tabela 2 Variação dos valores das propriedades da série temporal de EVI.

		Média	Tendência	IAV	Sazonalidade
Gilbués	Mínimo	0,1844	-0,0096	0,0165	0,0072
	Máximo	0,5144	0,0070	0,1864	0,2699
	Média	0,3130	0,0002	0,0585	0,1017
Mateiros	Mínimo	0,1042	-0,0072	0,0160	0,0101
	Máximo	0,5507	0,0118	0,2088	0,3485
	Média	0,2670	0,0003	0,0662	0,1139
Serranópolis	Mínimo	0,1754	-0,0117	0,0180	0,0640
	Máximo	0,5429	0,0312	0,4830	0,5916
	Média	0,3479	0,0016	0,0721	0,1915
Maçambará	Mínimo	0,1221	-0,0125	0,0142	0,0065
	Máximo	0,5529	0,0269	0,3489	0,5000
	Média	0,3623	0,0008	0,0902	0,1595

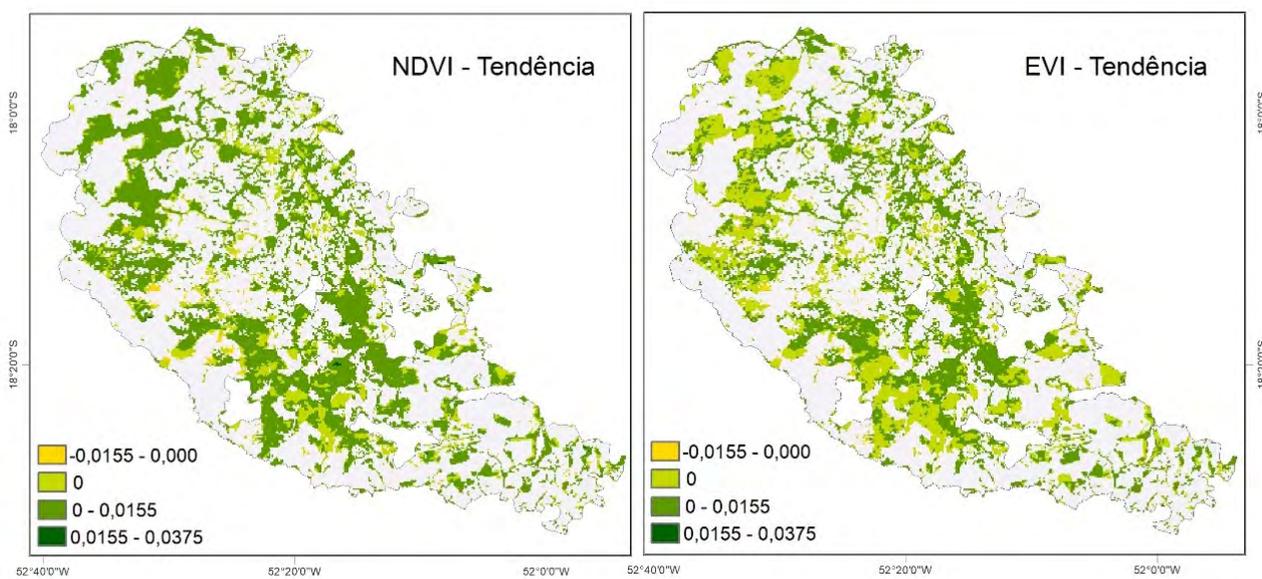


Figura 4 Tendência de NDVI e EVI dos remanescentes das formações vegetais do Cerrado nas áreas de RQo em Serranópolis.

imagem NDVI de sazonalidade com os remanescentes do Cerrado e com as áreas de pastagem e agricultura (Figura 5). Os valores mais elevados de sazonalidade se concentram nas áreas de pastagens e de agricultura (Figura 5B). Esses usos da terra apresentam variação sazonal significativa dos índices de vegetação ao longo do ano. A sazonalidade das pastagens está relacionada principalmente com a dinâmica das chuvas que influenciam o verdor das pastagens. Como o sistema radicular das gramíneas é pouco profundo e ocorre o seu amarelecimento no período seco nessas regiões que apresentam estacionalidade climática definida.

O mapeamento de solos do Rio Grande do Sul não mostra ocorrência que evidencie os solos RQo. Segundo Scopel *et al.* (2012) ocorrem áreas de solo descoberto, coincidentes com RQo, associadas as manchas arenizadas. Então, em Maçambará, para analisar as propriedades da série temporal, foi considerada a porção leste do município, área com maior presença de areais. Em relação à média, a série NDVI apresentou maior variação, com valores mais elevados do que de EVI nas áreas de RQo.

Os valores médios mais elevados dos índices 0,6-0,8 NDVI e 0,5-0,8 EVI (Figuras 2A e 3A), ocorrem em áreas de agricultura, pastagem e campo. Valores mais baixos 0,2-0,4 de NDVI e 0-0,3 de EVI, ocorrem em áreas com processos de arenização, incluindo os areais. A predominância de valores zeros (Figuras 2B e 3B) indica que a maior parte das áreas de RQo não apresentam tendência. Os valores mais elevados de tendência correspondem a 0,0155 a 0,0375 de NDVI e EVI, e significam que houve um acréscimo de vegetação nessas áreas ao longo da série temporal. Esse acréscimo se refere à silvicultura (Sirangelo, 2011; Souza, 2015; Caneppele, 2017).

Apesar dos índices apresentarem valores máximos do IAV, eles referem-se a pequenas áreas, com médias de 0,0997 de NDVI e 0,0902 de EVI (Tabelas 1 e 2). Áreas com valores entre 0,0121 e 0,0555 indicam baixa variabilidade interanual dos índices e correspondem principalmente à vegetação natural e florestal e aos areais, indicando que estas áreas permaneceram estáveis, sem variações/anomalias interanuais significativas ao longo da série temporal (Figuras 2C e 3C). A sazonalidade apresenta valores que variam entre 0,2555 e 0,6 para os dois índices (Figura 3D e 4D) na porção central da área. Referem-se principalmente a agricultura temporária que tem um ciclo de plantio e colheita que interfere diretamente nos valores de NDVI e EVI e às pastagens.

De maneira geral, a variação espaço-temporal de NDVI é similar à de EVI, porém, sempre com valores mais altos (Tabelas 1 e 2). O EVI apresenta uma menor variação dos valores das propriedades, o que pode estar relacionado à formulação de cada índice (Justice *et al.*, 1998; Huete *et al.*, 2002).

Os solos RQo presentes nas quatro áreas analisadas apresentam textura arenosa, contendo cerca de 90% de areia em sua composição, altamente friáveis e com baixo teor de nutrientes (Scopel *et al.*, 2012).

A dinâmica espaço-temporal da vegetação é importante para compreender as especificidades de cada área de estudo. Nessas áreas, a vegetação tem características de pequeno porte, como os campos e pastagens do Pampa em Maçambará e Cerrado em Gilbués, Mateiros e Serranópolis. As séries temporais de NDVI e EVI evidenciam a dinâmica espaço-temporal da vegetação no período entre 2000 e 2015.

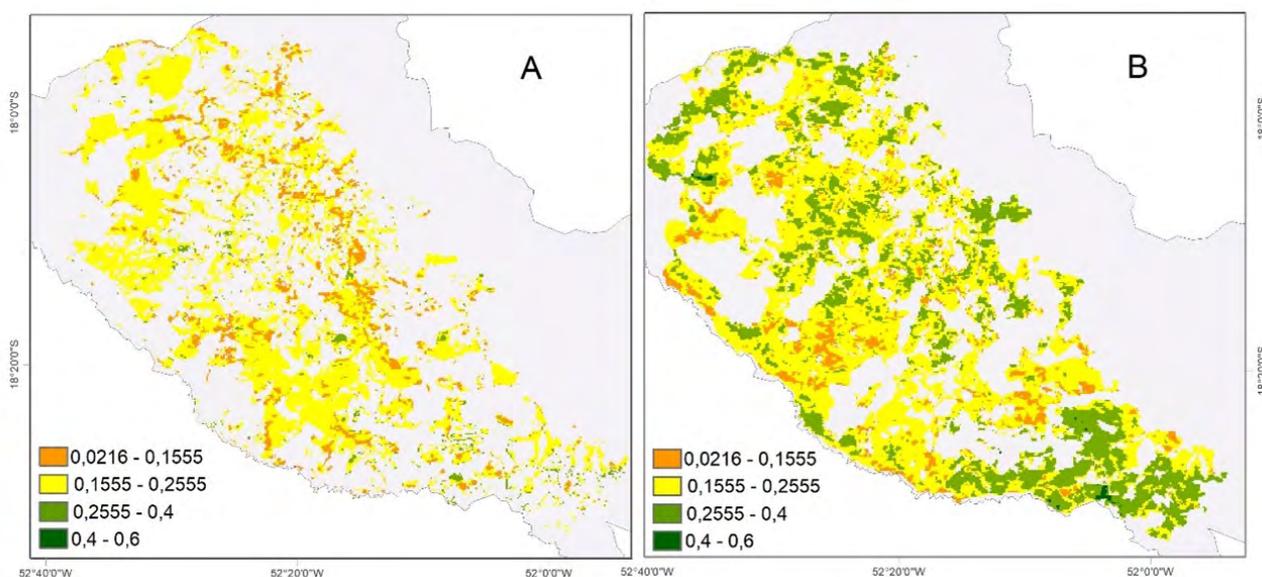


Figura 5 Sazonalidade do NDVI nos RQo em Serranópolis; A. Remanescentes vegetais de Cerrado; B. Áreas de pastagens e agricultura.

Utilizar as propriedades de média, tendência, IAV e sazonalidade para analisar a variação espaço-temporal de NDVI e EVI em áreas de solos RQo, demonstrou que algumas propriedades são mais satisfatórias que outras e que a dinâmica, características e ações antrópicas de cada área interferem no desempenho final da metodologia. Arantes (2014) sugere que utilizar imagens com maior resolução espacial, do que as do sensor MODIS, pode aumentar a eficácia da caracterização da série temporal.

A tendência ao longo das séries apresenta a predominância de valores zeros em quase todas as áreas. Esse parâmetro evidenciou, satisfatoriamente, perdas ou ganhos na biomassa, apenas em Serranópolis, onde as áreas de vegetação remanescente do Cerrado apresentam tendências acima de zero. As áreas com tendência negativa em Serranópolis, predominantemente referem-se a áreas de pastagens, e são áreas que podem estar em processo de arenização, relacionadas ao manejo inadequado do uso da terra.

Na Figura 6, nas áreas delimitadas na imagem da esquerda ocorrem valores negativos de tendência de NDVI. As imagens da direita mostram essas mesmas áreas,

em que aparentemente ocorrem processos de arenização, em solos RQo com baixa cobertura vegetal. Segundo Antunes (2006), em Serranópolis as áreas com processo de arenização associados ao solo RQo correspondem a extensas áreas cobertas por depósitos arenosos esbranquiçados. De acordo com Machado (2016), o manejo inadequado desses solos, tanto na pecuária quanto em atividades agropastoris, potencializa a arenização.

O IAV não apresentou valores expressivos de NDVI e EVI em áreas de RQo em Gilbués e Mateiros. Uma análise temporal de 1987 e 2009, mostrou que não ocorreram mudanças significativas no uso da terra em Gilbués. Inclusive, ocorreu um acréscimo de vegetação de aproximadamente 5% ao longo dos 22 anos. As áreas de degradação ambiental que correspondem aos processos de arenização e as áreas de solo exposto, apresentaram incremento de 1% e 2% respectivamente na área total do município. (Silva & Barros, 2016).

Em Mateiros, uma análise a partir do mapeamento do MapBiomas mostrou que as áreas de Cerrado no ano 2000 correspondiam a 1.113.895 ha e no ano 2015 a 1.048.124 ha, uma variação de 65.771 ha em um intervalo de 15

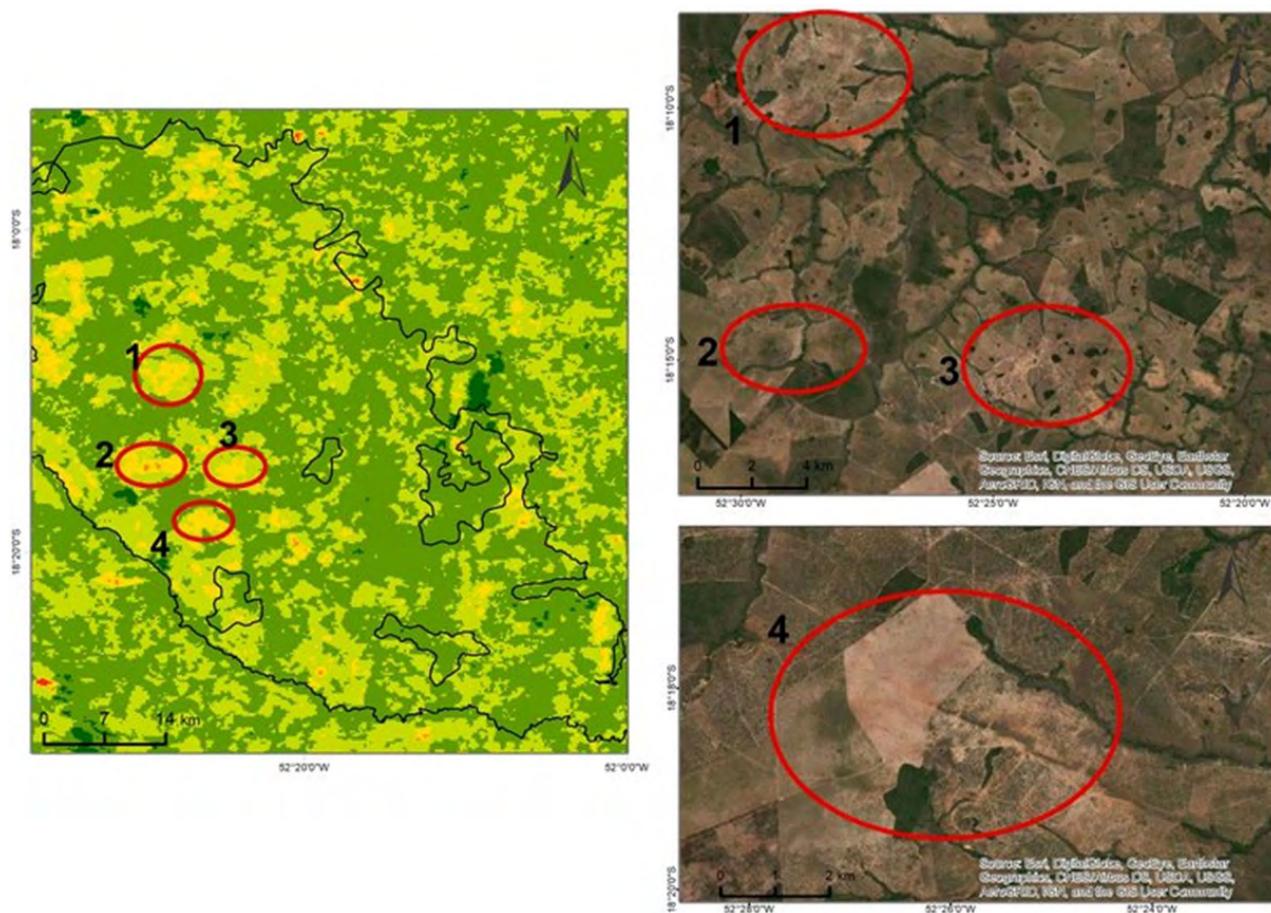


Figura 6 Áreas de tendência negativa de NDVI (circuladas em vermelho) em RQo – Serranópolis.

anos. Em Serranópolis e Maçambará o IAV apresentou valores maiores dos índices, referentes principalmente às pastagens e áreas agrícolas e de silvicultura (0,2 e 0,3 de EVI e NDVI respectivamente). Pelo ciclo das culturas e práticas agrícolas essas atividades antrópicas resultam em variações interanuais, que se expressam nos valores dos índices (Sirangelo, 2011; Scopel et al., 2012; Souza et al., 2012; Scopel et al., 2013).

Estudos de Sousa et al. (2012) e de Scopel et al. (2013), sobre o processo de arenização em solos RQo em Serranópolis, mostram indícios de que as áreas arenizadas, na sua maior parte, são consequência do uso e manejo inadequado com pecuária. Grande parte da vegetação natural foi convertida em pastagens e plantio de culturas.

Em Maçambará o processo de arenização, ainda que originalmente seja considerado natural, apresenta áreas com intensificação da erosão em decorrência do uso da terra a partir da atividade pastoril, de lavouras comerciais (soja) e mais recentemente de silvicultura com eucalipto (Suertegaray, 1987; Verdum, 1997; Guasselli et al., 2009; Souza, 2015; Caneppele, 2017).

A sazonalidade da série temporal infere sobre a ocorrência de periodicidade nas alterações dos valores dos índices de vegetação. Esse parâmetro pode indicar a presença de culturas agrícolas com ciclo produtivo e principalmente, a relação entre a cobertura vegetal e a dinâmica climática.

As quatro áreas mostraram dinâmicas climáticas bem características, com influência no comportamento da vegetação. O Cerrado apresenta sazonalidade dos índices pluviométricos, com uma estação seca e outra chuvosa bem definidas (Figura 7). Em Maçambará, no sul do país,

entretanto, não há sazonalidade pluviométrica (Figura 7), é a temperatura que se comporta de forma sazonal, uma estação com temperaturas mais baixas e outra com temperaturas mais elevadas, influenciando no comportamento temporal da vegetação, e consequentemente nos valores dos índices.

Em Gilbués e Mateiros a sazonalidade das séries temporais apresenta valores menores do que Serranópolis (Tabelas 1 e 2). Nessas três áreas há uma dinâmica sazonal da vegetação sob a influência do clima tropical. Os valores do NDVI e EVI são mais altos na estação chuvosa e menores na estação seca (Liesenberg et al., 2007; Becerra et al., 2009; Bayma & Sano, 2015; Souza et al., 2016), evidenciando que a cobertura vegetal dessas áreas é mais suscetível à disponibilidade de água. Em Serranópolis, os valores mais baixos da sazonalidade concentram-se nas áreas de remanescentes de Cerrado. Segundo Ratana et al. (2005), as áreas de pastagem apresentam maiores contrastes sazonais do que as áreas preservadas de Cerrado.

Em Maçambará, as áreas que apresentam valores mais elevados de sazonalidade (Figuras 2D e 3D) se referem as atividades agrícolas (UFRGS, 2016). Em relação a vegetação dos campos Moreira et al. (2019) estabeleceram boa relação entre o comportamento sazonal da vegetação e a temperatura. Entretanto, segundo Moreira et al. (2018) períodos de deficiência hídrica afetam o desenvolvimento da vegetação campestre tornando a precipitação fator determinante da produção vegetal e na sua relação com os índices espectrais. De acordo com Verdum & Soares (2010) observa-se que há avanços e retrocessos na relação entre a vegetação dos campos e a expansão dos areais, na forma de pulsar, regidos segundo as variações de período úmidos e secos.

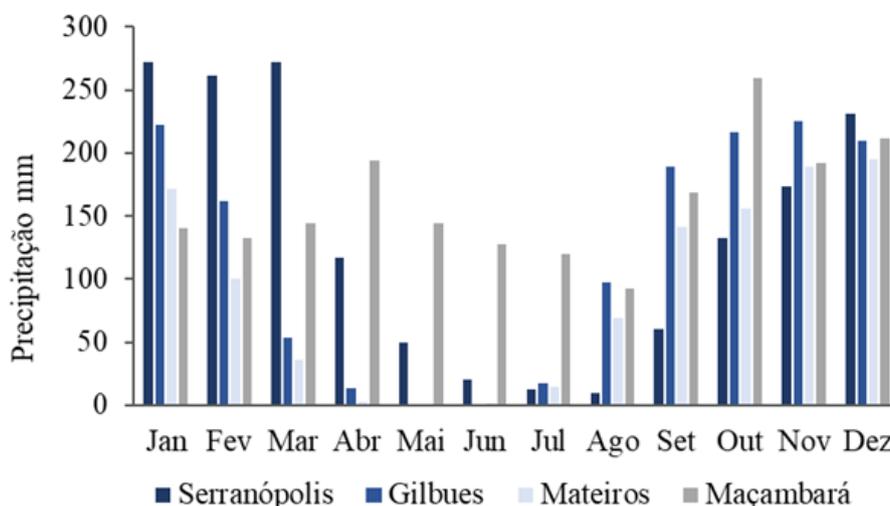


Figura 7 Média mensal da precipitação pluvial (mm) das áreas de solo RQo nos quatro municípios, período entre 2000 e 2015. Fonte: Series View - satélite TRMM.

4 Conclusões

Nas quatro áreas de estudo ocorrem Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo). Em Maçambará e Serranópolis este solo está diretamente relacionado com a ocorrência da arenização, que tem sua origem ligada a fatores naturais e intensificada por atividades antrópicas. Em Gilbués e Mateiros os estudos ainda são incipientes, não há comprovação de processos de arenização sobre os solos RQo.

As séries temporais de NDVI e EVI do sensor MODIS auxiliaram na investigação da variação espaço-temporal da cobertura vegetal a partir das propriedades propostas por Forkel *et al.* (2013). Apesar de não ter a resolução espacial mais adequada para análise dessa dinâmica, os dados MODIS se mostraram eficientes em mostrar as variações temporais da biomassa em áreas de RQo associadas a arenização.

O comportamento dos valores das propriedades sugere que a cobertura vegetal das áreas com ocorrência de solos RQo, em Gilbués e Mateiros, apresentaram-se mais estáveis ao longo da série temporal. Os resultados expressos pelas propriedades tendência e IAV na resolução espacial utilizada, sugerem que nessas áreas não há a atuação de intensas atividades naturais ou antrópicas que possam interferir no comportamento temporal da vegetação. Entretanto, é importante desenvolver mais estudos nas áreas de RQo utilizando dados orbitais com maior resolução espacial.

Maçambará e Serranópolis, por apresentarem dinâmicas de arenização nas áreas de RQo mais intensas, apresentaram maiores variações em relação a análise espaço-temporal de NDVI e EVI. Serranópolis por abranger extensas áreas de pastagens e atividades agrícolas e ainda conservar uma boa parte de remanescentes de Cerrado se destacou por apresentar valores expressivos em relação a tendência e sazonalidade.

A variação dos valores da sazonalidade nas quatro áreas é consequência do comportamento da cobertura vegetal frente às variações sazonais do clima de cada área. Nas áreas de Serranópolis, Gilbués e Mateiros o verdor da cobertura vegetal é suscetível à disponibilidade de chuvas. A distribuição das chuvas está relacionada a estacionalidade climática da região. No período seco ocorre a diminuição dos valores dos índices devido ao amarelecimento da vegetação. Em Maçambará a vegetação campestre está sob a influência do clima subtropical, as variações de temperaturas ocorrem nas estações quentes e frias.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Comitê Francês de Avaliação da Cooperação Universitária com o Brasil (COFECUB) pelo financiamento do projeto:

Qualidades dos Produtos da Territorialização no Rio Grande do Sul – QUALPROSUL (88887.130185/2017-01) e pela concessão da bolsa de doutorado-sanduiche.

6 Referências

- Antunes, E.C. 2006. *Recuperação de áreas degradadas por meio de recomposição vegetal em solos arenosos no sudoeste goiano*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Tese de doutorado, 134 p.
- Arantes, T.B. 2014. *Análise de séries temporais compostas por imagens sintetizadas a partir da fusão de dados MODIS – TM*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Dissertação de Mestrado, 91p.
- Atzberger, C. & Eilers, P.H. 2011a. A time series for monitoring vegetation activity and phenology at 10-daily time steps covering large parts of South America. *International Journal of Digital Earth*, 4(5): 365-386.
- Atzberger, C. & Eilers, P.H. 2011b. Evaluating the effectiveness of smoothing algorithms in the absence of ground reference measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 32(13): 3689-3709.
- Atkinson, P.M.; Jeganathan, C.; Dash, J. & Atzberger, C. 2012. Inter-comparison of four models for smoothing satellite sensor time-series data to estimate vegetation phenology. *Remote Sensing of Environment*, 123: 400-417.
- Bayma, A.P. & Sano, E.E. 2015. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(4): 797-813.
- Becerra, J.A.B.; Shimabukuro, Y.E. & Alvala, R.C.S. 2009. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(2): 125-134.
- BRASIL. 2006. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapeamento de solos do Brasil. Escala 1:5.000.000.
- BRASIL. 2007. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Vegetação do Estado de Tocantins. Escala: 1:1.000.000.
- BRASIL. 2013. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados georreferenciado sobre recursos naturais. Escala 1:1.000.000.
- Caneppele, J.C.G. 2017. *Espacialização da arenização a partir da ecodinâmica e da cartografia ambiental*. 2017. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 129 p.
- Corbonnois, J.; Laurent, F.; Andreu-Boussut, V.; Messner, F.; Verdum, R.; Medeiros, R.M.V. & Sogue, M. 2014. L'intensification des pratiques agricoles et la mobilisation des ressources naturelles dans La Pampa du Sud du Brésil. *Vertigo*, 14(1): 1-28.
- Cristo, S.S.V. 2013. *Abordagem geográfica e análise do patrimônio geomorfológico em unidades de conservação da natureza: aplicação na estação ecológica Serra Geral do Tocantins e área de entorno - estados do Tocantins e Bahia*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 245p.

- Dias, I.M. 2017. *Relação entre índices de vegetação e precipitação pluviométrica no estado de Sergipe*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Dissertação de Mestrado, 131p.
- Eilers, P.A.C. 2003. A Perfect Smoother. *Analytical Chemistry*, 75(14): 3631-3636.
- Ferreira, T.R.; Di Pace, F.T.; Da Silva, B.B.; & Delgado, J.R. 2017. Identification of desertification - sensitive areas in the Brazilian northeast through vegetation indices, *Engenharia Agrícola Jaboticabal*, 37(6): 1190-1202.
- Forkel, M.; Carvalhais, N.; Verbesselt, J.; Mahecha, M.D.; Neigh, C.S.R. & Reichstein, M. 2013. Trend change detection in NDVI time series: Effects of inter-annual variability and methodology, *Remote Sensing*, 5 (5): 2113-2144.
- Freitas, E.M.; Boldrini, I.I.; Muller, S.C. & Verdum, R. 2009. Florística e fitossociologia da vegetação de um campo sujeito à arenização no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 23(2): 414-426
- Freitas, R.M.; Arai, E.; Adami, M.; Souza, A.F.; Sato, F.Y.; Shimabukuro, Y.E.; Rosa, R.R.; Anderson, L.O. & Rudorff, B.F.T. 2011. Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. *Journal of Computational Interdisciplinary Sciences*, 2:57-64.
- Guasselli, L.A.; Oliveira, M.G.; Evers, H. & Suertegaray, D.M.A. 2009. Avaliação dos impactos da expansão agrícola sobre as áreas susceptíveis à arenização Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí - Rio Grande do Sul Brasil. In: ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA, 12, Montevideu, 2009. Artigo completo, Montevideu, UGB, p.1-15.
- Guasselli, L.A. & Evers, H. 2012. Relação entre paleodrenagens/valões e a ocorrência de áreas no sudoeste do RS. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. DA; GUASSELLI, L.A. (org.). *Arenização: natureza socializada*. Editora ComPasso lugar-cultura, p. 227- 243.
- Hasenack, H.; Weber, E.; Boldrini, I. & Trevisan, R. 2010. Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das Savanas Uruguaias. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ Centro de Ecologia. Escala 1:500.000
- Higginbottom, T.P. & Symeonakis, E. 2014. Assessing Land Degradation and Desertification Using Vegetation Index Data: Current Frameworks and Future Directions, *Remote Sensing*, 6: 9552-9575.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X. & Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83: 195-213.
- IBGE. 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados de informações ambientais – BDIA. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br>. Acesso em: 24 nov. 2020.
- Justice, C.O.; Vermote, E.; Townshend, J.R.G.; Defries, R.; Roy, D.P.; Hall, D.K. & Barnsley, M.J. 1998. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4):1228-1247.
- Kuplich, T.M.; Moreira, A. & Fontana, D.C. 2013. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(10): 1116–1123.
- Liesenber, V.; Ponzoni, F.J. & Galvão, L.S. 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): 295-305.
- Machado, L.M. 2016. *Áreas de arenização e areais no sudoeste de Goiás: o uso do sensoriamento remoto para identificação e mapeamento*. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Dissertação de Mestrado, 108 p.
- Martinez, B. & Gilbert, M.A. 2009. Vegetation dynamics from time series using the wavelet transform. *Remote Sensing of Environment*, 113: 1829-1842.
- Masoudi, M.; Jokar, P. & Pradhan, B. 2018. A new approach for land degradation and desertification assessment using geospatial techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18: 1133-1140.
- Moreira, A.; Fontana, D.C.; Kuplich, T.M. & Cardoso, M.A. 2018. Dados meteorológicos estimados em condições e clima subtropical e a relação com índices de vegetação. *Revista Brasileira de Cartografia*, 70: 1409-1436.
- Moreira, A.; Bremm, C.; Fontana, D.C. & Kuplich, T.M. 2019. Seasonal dynamics of vegetation indices as a criterion for grouping grassland typologies. *Scientia Agrícola*, 76: 24-32.
- Moreira, A.; Fontana, D.C. & Kuplich, T.M. 2019. Wavelet approach applied to EVI/MODIS time series and meteorological data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 147: 335-344.
- Nhongo, E.J.S.; Fontana, D.C.; Guasselli, L.A. & Esquerdo, J.C.D.M. 2017. Caracterização fenológica da cobertura vegetal com base em série temporal NDVI/MODIS na reserva do Niassa – Moçambique. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(6): 1175-1187.
- Oliveira, L.C.B.; Guasselli, L.A. & Suertegaray, D.M.A. 2015. Análise de áreas de arenização em Neossolos Quartzarênicos Órticos, nos estados de RS, GO, TO e PI, por meio de NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, João Pessoa, 2015. Artigos completos, João Pessoa, INPE, p.4458-4465.
- Peixinho, D.M.; Scopel, I. & Sousa, M.S. 2010. O homem e a terra: o uso e a ocupação de Neossolos Quartzarênicos (RQo) em Serranópolis-GO, Brasil. In: VI SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA II SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. Coimbra, 2010. Artigos completos, Coimbra, Universidade de Coimbra, p. 1-9
- Ratana, P.; Huete, A. & Ferreira, L.G. 2005. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain. *Earth Interactions*, 9: 1-22.
- Rossato, M.S. 2011. *Os Climas do Rio Grande do sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 253p.
- Scopel, I.; Suertegaray, D.M.A.; Souza, M.S.; Peixinho, D.M. & Ferreira, D.M. 2012. Neossolos Quartzarênicos Órticos das áreas de areais do sudoeste do Rio Grande do Sul: características físicas e morfológicas. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. (org.).

- Arenização: natureza socializada*. Editora ComPasso lugar-cultura, p.503-542.
- Scopel, I.; Sousa, M.S.; Peixinho, D.M. & Martins, A.P. 2013. Levantamento de áreas sob arenização e relações com o uso da terra no sudoeste de Goiás e no sudoeste do Rio Grande do Sul - Brasil. *Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia*, 5(15): 24-47.
- SEPLAN. 2012. Secretária da Fazenda e Planejamento do estado do Tocantins. Base de Dados Geográficos do Tocantins, Tema Pedologia. Escala 1:1.000.000.
- SIEG. 2005. Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. Mapeamento de solos. Escala 1:1.000.000.
- Silva, I.A.S. 2014. *Clima e Arenização em Gilbués-Piauí: dinâmica das precipitações e a vulnerabilidade da paisagem aos eventos pluviiais intensos*. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Dissertação de Mestrado, 183 p.
- Silva, I.A.S. & Barros, J.R. 2016. Degradação ambiental, cobertura e uso das terras: uma análise geográfica do município de Gilbués-PI. *Revista Equador*, 5(2): 190-204.
- Sirangelo, F.R. 2011. *Análise da atividade de silvicultura em relação aos areais, com base nas restrições estabelecidas no Zoneamento Ambiental para a UPN PC3, no sudoeste do RS*. Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Monografia de conclusão de curso, 53p.
- Soares, V.G. & Verdum, R. 2011. Dinâmica erosivas/deposicionais e microformas de relevo no interior dos areais no cerro da Esquina, São Francisco de Assis - RS, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 13, Búzios. 2011. Resumos expandidos Búzios, ABEQUA, p.1-4.
- Sousa, M.S.; Scopel, I.; Peixinho, D.M. & Martins, A.P. 2012. O processo de arenização no sudoeste de Goiás. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da & GUASSELLI, L.A. (org.). *Arenização: natureza socializada*. Editora ComPasso lugar-cultura, p. 563-597.
- Souza, A.C. 2015. *Análise dos areais da bacia hidrográfica do Arroio Puitã, oeste do RS, através do mapeamento multitemporal no período de 1984 a 2014*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 141p.
- Souza, G.M.; Gurgel, H.C. & Ciamp, P.M. 2016. Análise sazonal da vegetação do Cerrado por meio de dados do sensor MODIS no Distrito Federal (Brasil). *Boletim Goiano de Geografia*, 36(3): 502-520.
- Suertegaray, D.M.A. 1987. *A Trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí-RS*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 243p.
- Suertegaray, D.M.A. 1998. *Deserto Grande do Sul: controvérsia*. Editora da Universidade/UFRGS, 74p.
- Suertegaray, D.M.A.; Guasselli, L.A.; Verdum, R. 2001. *Atlas da Arenização Sudoeste do Rio Grande do Sul*. Secretaria da Coordenação e Planejamento do Estado do Rio Grande do Sul e Secretaria da Ciência e Tecnologia Governo do Estado do RS, 84p.
- Suertegaray, D.M.A. 2012a. Areais e a Arenização no contexto geográfico. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. & GUASSELLI, L.A. *Arenização: natureza socializada*. Compasso Lugar-Cultura, p. 41-72.
- Suertegaray, D.M.A. 2012b. Arenização: análise morfogenética. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. & GUASSELLI, L.A. *Arenização: natureza socializada*. Compasso Lugar-Cultura, p. 127-172.
- Suertegaray, D.M.A. & Oliveira, M.G. 2014. Uma análise comparativa do processo de arenização no Brasil: sudoeste do Rio Grande do Sul e sudoeste de Goiás. *Revista Investigaciones Geograficas*, 47: 19-34.
- Suertegaray, D.M.A. 2017. Arenização e solos. In: DIAS, M.B.G. & NUNES, J.O.R. *Trilhando pelos solos: construções de um percurso*. Editora ComPasso lugar-cultura, p. 55-79
- UFRGS. 2016. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Ecologia. *Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa: Ano-base 2009*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Verdum, R. 1997. *Approche géographique des déserts dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana – État do Rio Grande do Sul - Brésil*. Tese de Doutorado. Université de Toulouse II - Le Mirail. U.T.H. França, 211p.
- Verdum, R. & Soares, V.G. 2010. Dinâmica de processos erosivos/deposicionais e microformas de relevo no interior dos areais, sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista de Geografia do Programa de Pós-graduação em Geografia da UFPE*, 27(1): 262-272.
- Verbesselt, J.; Hyndman, R.; Zeileis, A. & Culvenor, D. 2010. Phenological Change Detection while Accounting for Abrupt and Gradual Trends in Satellite Image Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 114 (12): 2970-2980.
- Whittaker, E.T. 1923. On a new method of graduation. *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society*, 41: 63-75.

Recebido em: 16/07/2020

Aprovado em: 16/01/2021

Como citar:

Costa, L.C.B.; Guasselli, L.A.; Laurent, F. & Messner, F. 2021. Propriedades das Séries Temporais de NDVI e EVI da Cobertura Vegetal em Áreas de Solos RQo Associadas a Arenização. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 36729. DOI 1982-3908_2021_44_36729