



Aplicação de índices de vegetação na análise espaço-temporal da cobertura do solo no município de Alegrete-RS

Application of Vegetation Indices in Spatiotemporal Analysis of Soil Coverage in the Municipality of Alegrete-RS

Samanta Tolentino Cecconello¹

 <https://orcid.org/0000-0001-5903-6241>  <http://lattes.cnpq.br/0667595394126577>

Luana Nunes Centeno²

 <https://orcid.org/0000-0001-9398-9863>  <http://lattes.cnpq.br/0801302302856431>

Nelva Bugoni³

 <https://orcid.org/0009-0005-1255-0282>  <http://lattes.cnpq.br/1775726571682899>

Diuliana Leandro⁴

 <https://orcid.org/0000-0002-8092-5550>  <http://lattes.cnpq.br/3076528365846421>

RESUMO

O processo de mudança do uso e cobertura do solo tem atraído grande atenção para seu melhor entendimento e planejamento para evitar impactos negativos como perda de biodiversidade, erosão hídrica do solo, arenização, entre outros. Frente a isto, este estudo objetivou realizar uma análise espaço-temporal, da cobertura vegetal do município de Alegrete localizado no estado do Rio Grande do Sul, através dos Índices de Vegetação pela Razão Simples (RS) e Diferença Normalizada (NDVI) no período compreendido entre os anos 2016 e 2020. Para a determinação dos Índices de Vegetação pela Razão Simples (RS) e Diferença Normalizada (NDVI) foram utilizadas imagens do satélite Sentinel 2A nível 1C para o dia 17/01/2016 e 23/08/2020 (folhas 21JWH, 21JXH, 21JWG e 21 JXG). Foi possível observar que no ano de 2016, há visualmente uma maior quantidade de valores de RS baixos, indicando coloração mais avermelhada na porção noroeste do município que se estende até o centro da imagem e no ano de 2020, houve uma redução na quantidade de vegetação mais desenvolvida e ou mais densa na qual os valores de RS mostraram-se mais uniformes pela área de estudo. Com relação ao NDVI no ano de 2016 não apresentou valores para as classes -1.0 a -0.8 e -0.8 a -0.6, o que demonstra que no ano de 2016 havia mais áreas com vegetação rasteira. Nas áreas onde o NDVI apresentou valores entre -0.6 a -0.4 no ano de 2016, no ano de 2020 estes valores passaram para -1.0 a -0.8, o que pode ser justificado pelo aumento das áreas de solo exposto. Conclui-se que, através da aplicação de conceitos radiométricos e dos índices de

¹ E-mail: satolentino@pelotas.ifsul.edu.br

² E-mail: luananunescenteno@gmail.com

³ E-mail: nelva.bugoni@gmail.com

⁴ E-mail: diuliana.leandro@gmail.com



vegetação razão simples e NDVI, foi possível realizar uma análise espaço-temporal da vegetação no município de Alegrete para os anos de 2016 e 2020.

Palavras-chave: Degradação do solo; NDVI; SRI; Sentinel.

ABSTRACT

The process of changing land use and land cover has garnered significant attention for better understanding and planning to mitigate negative impacts such as biodiversity loss, soil water erosion, and desertification, among others. In light of this, the present study aimed to conduct a spatiotemporal analysis of the vegetation cover in the municipality of Alegrete, located in the state of Rio Grande do Sul, using the Vegetation Indices Simple Ratio (SRI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) during the period from 2016 to 2020. Sentinel-2A Level 1C satellite images were used for January 17, 2016, and August 23, 2020 (sheets 21JWH, 21JXH, 21JWG, and 21JXG). The bands used included B2 (490 nm), B3 (560 nm), B4 (665 nm), and B8 (near-infrared), where B2 (blue), B3 (green), B4 (red), and B8 (near-infrared) were applied. For data processing, QGIS software version 3.10 Coruña was utilized. The results showed that in 2016, there was visually a greater amount of low SRI values, indicating more reddish coloration in the northwestern portion of the municipality, extending towards the center of the image. In 2020, there was a reduction in the amount of more developed or denser vegetation, with SRI values appearing more uniform across the study area. Regarding NDVI, in 2016, there were no values for the classes -1.0 to -0.8 and -0.8 to -0.6, indicating more areas with undergrowth. In areas where NDVI values ranged from -0.6 to -0.4 in 2016, these values shifted from -1.0 to -0.8 in 2020, likely due to an increase in exposed soil areas. In conclusion, through the application of radiometric concepts and the Simple Ratio and NDVI vegetation indices, it was possible to conduct a spatio-temporal analysis of vegetation in the municipality of Alegrete for the years 2016 and 2020.

Keywords: Soil degradation; NDVI; SRI; Sentinel.

1. INTRODUÇÃO

A degradação do solo, envolve de maneira geral a perturbação das propriedades do solo, e pode estar relacionada aos processos naturais quando envolve os processos pedológicos, geomorfológicos e geológicos (Teixeira; Galvêncio, 2010) e atividades antrópicas, quando relacionadas à produção agrícola, manutenção da infraestrutura e qualidade dos recursos naturais (Chalise; Kumar; Kristiansen, 2019; Xie *et al.*, 2020). A degradação do solo também está associada a redução da produtividade dos ecossistemas ao longo do tempo (Da Costa; Galvanin; Vieira, 2020), devido a acidificação, alcalinização, lixiviação dos nutrientes do solo e redução da matéria orgânica, compactação, erosão do solo e perda de biodiversidade (Abdelrahman; Metwaly; Shalaby, 2019). Estes fatores ocorrem por meio de vários processos físicos, biológicos e químicos induzidos por atividades humanas, direta ou indiretamente. Neste contexto, destaca-se que cerca de 60% da área terrestre do mundo é considerada degradada (Paim *et al.*, 2019; Timofeeva *et al.*, 2020).

A degradação do solo no município de Alegrete, localizado na parte oeste do estado do Rio Grande do Sul, objeto deste estudo, está associada às formações superficiais características de clima semiúmido, com a cobertura original de campo que sofre com a intensificação do processo de escoamento concentrado de água, decorrentes das características do clima úmido atual (Gomes; Carvalho; Barboza, 1990; Silva, 2012;



Suertegaray, 2012). Entretanto, esta região apresenta aptidão natural para a ocorrência de processos erosivos que foram intensificadas pelas práticas de uso do solo inadequadas. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2015), Alegrete é o 3º maior produtor da fronteira oeste com uma área cultivada, com arroz em torno de 61468 hectares em 2014/15.

Nesse contexto, a utilização do monitoramento espaço-temporal da cobertura do solo, para compreensão da heterogeneidade espacial e assim compreender a influência das ações antrópicas sobre a paisagem e sobre os processos ecológicos, bem como seus efeitos sobre a conservação dos ecossistemas, se fazem necessários. Neste sentido a incorporação de técnicas de geoprocessamento, como por exemplo, o sensoriamento remoto, podem contribuir de forma efetiva para a integração e análises mais complexas, se apresentando como excelentes ferramentas auxiliares para a tomada de decisões (Santos *et al.*, 2020). Entretanto, a identificação da vegetação através de um produto de sensoriamento remoto é o resultado de um processo complexo envolvendo diversos parâmetros e fatores ambientais (Bezerra *et al.*, 2019). O conteúdo efetivamente medido por sensores remotos oriundos de uma determinada vegetação (alvo) não pode ser explicado apenas pelas características inerentes à vegetação (Tang; He; Li, 2020), mas também inclui a interferência de diversos outros parâmetros e fatores, como fontes de radiação, o espalhamento atmosférico, as características tanto das folhas quanto do dossel, os teores de umidade do solo, a interferência da reflectância do solo, sombra, entre outros (Santa; Rosa; Mónaco, 2013; Silva *et al.*, 2009). Portanto, há necessidade de se realizar transformações radiométricas e geométricas, antes da utilização dos índices de vegetação, visando reduzir os ruídos na imagem obtida.

Os índices de vegetação são valores medidos de radiação adimensional gerado por uma transformação matemática que usa as características multiespectrais de sensores remotos, que tem sido utilizado para explorar as propriedades espectrais da vegetação (folhas e outros componentes ativos fotossintéticos), especialmente nas regiões do visível e infravermelho próximos ao espectro eletromagnético (Berger; 2019). Em relação ao sensoriamento remoto orbital, os índices de vegetação mais empregados na avaliação da cobertura vegetal são os Índices de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice da Razão Simples (RS) (Name; Junior, 2014), que facilitam a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do espectro eletromagnético do infravermelho, que pode fornecer importantes informações sobre a evapotranspiração das plantas (Jensen, 2009).

O NDVI, é um índice amplamente utilizado na pesquisa de monitoramento do crescimento da vegetação em plantações agrícolas em diferentes estágios fenológicos, podendo também realizar análises anuais das alterações fisiológicas e senescência de plantas e folhas (Ponzoni; Shimabukuro, 2009). Meneses e Almeida (2012) também enfatizam o uso do NDVI para estudos multitemporais na mesma área, pois é menos afetado pelas mudanças nas condições atmosféricas. Jensen (2009) destacou que além das mudanças sazonais na vegetação, o NDVI também ajuda a reduzir o ruído nas imagens. Frente ao exposto este estudo objetivou realizar uma análise espaço-temporal, da cobertura vegetal do município de Alegrete localizado no



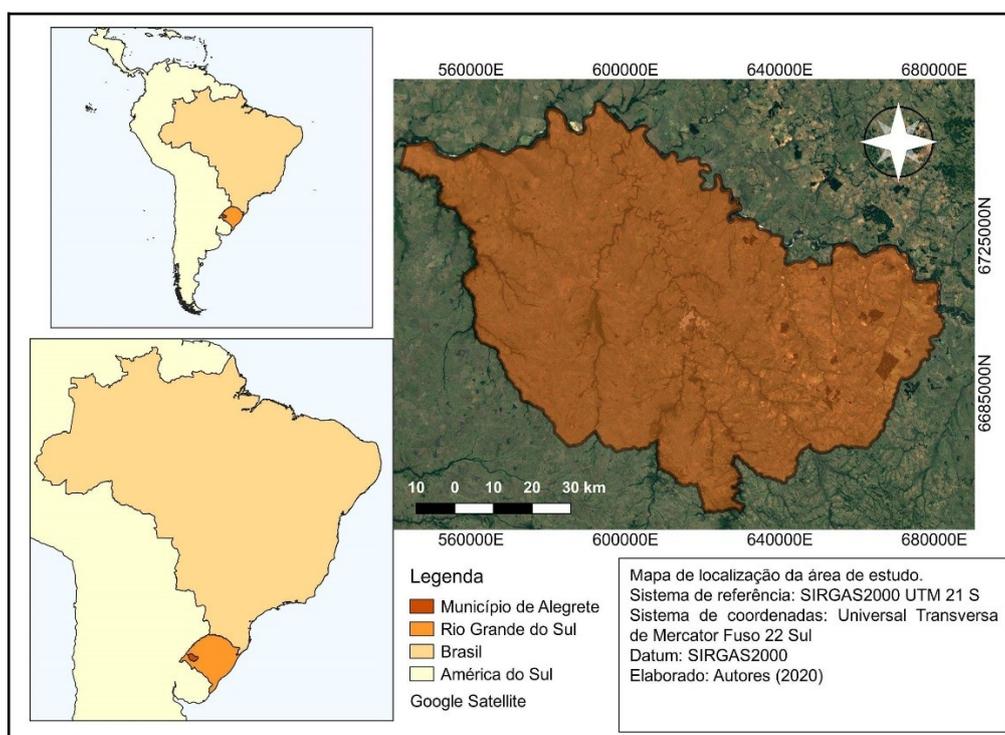
estado do Rio Grande do Sul, através dos Índices de Vegetação pela Razão Simples (RS) e Diferença Normalizada (NDVI) no período compreendido entre os anos 2016 e 2020.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Alegrete é um município do estado do Rio Grande do Sul, situado nas coordenadas geográficas 29° 47' 2" S e 55° 47' 28" W (coordenadas do centro da praça Getúlio Vargas), estando a uma altitude média de 102 metros. Localizado na fronteira Oeste (Figura 1) o município possui cerca de 78768 habitantes, ocupando uma área territorial, com aproximadamente 7800 km² (IBGE, 2010).

Figura 1 - Mapa de localização do município de Alegrete/RS.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O clima nesta área é caracterizado como subtropical, quente e temperado, com distribuição uniforme de chuvas e estações bem definidas (Cfa na classificação de Köppen), em que a precipitação média anual é de cerca de 1500 mm. A temperatura média anual do município é de 19,1 °C. A temperatura mínima observada entre 1961 e 1990 pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foi de -4,1 °C em 17 de junho de 1971 e a máxima de 39,8 °C em 12 de dezembro de 1968 e a umidade relativa média do ar é de aproximadamente 75% (Gomes; Carvalho; Barboza, 1990; Silva, 2012).

A paisagem da região caracteriza-se como estepes gramíneo-lenhosas (campo nativo) e floresta estacional decidual aluvial. A fisionomia é de extensas planícies de campo limpo com algumas ondulações e raros morros residuais de arenito silicificado. O



município de Alegrete tem sua economia baseada principalmente na agricultura, com ênfase na alta produtividade de arroz, e na pecuária bovina, sendo está, a maior do estado (IBGE, 2017).

2.2. OBTENÇÃO DAS IMAGENS

O satélite Sentinel 2 foi lançado no dia 23 de junho de 2015 e faz parte da missão da *European Space Agency* (ESA) que desenvolveu o programa *Copernicus* (ESA, 2020). As imagens utilizadas neste estudo foram obtidas gratuitamente pelo site da ESA e são referentes ao satélite Sentinel 2A nível 1C. A imagem nível 1C é um produto de ortoimagem, isto é, uma projeção em mapa da imagem obtida utilizando um Modelo Digital de Elevação para corrigir distorções geométricas no solo. As medidas radiométricas do pixel são fornecidas em Top-Of-Atmosphere (TOA), ou seja, com valores de reflectância no topo da atmosfera (ESA, 2020).

O satélite Sentinel 2A apresenta resolução espacial de 10m, resolução radiométrica de 12 bits, resolução temporal de 5 dias e apresenta 13 bandas espectrais. Para este estudo trabalhou-se com as bandas B2 (490nm), B3 (560 nm), B4 (665nm) e B8 (842 nm), onde as bandas B2 (azul), B3 (verde) e B4 (vermelho) e B8 (infravermelho próximo).

Foram utilizadas as folhas 21JWH, 21JXH, 21JWG e 21JXG, para cobrir o município de Alegrete/RS, onde a imagem 1 é referente ao dia 17 de janeiro de 2016 e a imagem 2 refere-se ao dia 23 de agosto de 2020. Ambas as imagens escolhidas apresentavam menos de 20% de nuvens. O sistema de referência das imagens baixadas diretamente pelo site da ESA são fornecidas em WGS84 UTM 21S, utilizou-se o software Qgis versão 3.10 Coruña para todo o processamento dos dados.

Após o download das imagens referente a cada uma das folhas para os dois períodos analisados, realizou-se o empilhamento das bandas (B2, B3, B4 e B8) através do comando Raster-Miscelânea. Após a junção das bandas para cada folha e para cada período, realizou-se o mosaico das imagens para cada período, de modo que ao final obteve-se dois mosaicos contendo as quatro bandas. O tipo de dado de saída dos mosaicos foi o número inteiro não sinalizado (*unsigned int16 bits*), ou seja, podem ser armazenados nesta imagem, valores de níveis de cinza de 0 a 65535.

Posteriormente, reprojeteu-se os mosaicos para o sistema de referência adotado neste estudo, SIRGAS2000 UTM 21 Sul, através do comando *raster - projeções - reprojeter* coordenadas. Após a composição do mosaico, realizou-se o georreferenciamento das imagens utilizando a imagem do ano de 2020 como imagem-referência. Para este procedimento, utilizou-se o comando *raster - georreferenciador*. Após o georreferenciamento da imagem de 2016 a partir da imagem de 2020, realizou-se o recorte das imagens utilizando a camada vetorial do município de Alegrete, para tal utilizou-se o comando *raster - extrair - recortar raster* pela camada de máscara.

2.3. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO PELA RAZÃO SIMPLES (RS) E DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

O Índice Razão Simples (*Simple Ratio*) foi o precursor dos índices de vegetação e baseia-se no princípio de que as folhas absorvem relativamente mais radiação



eletromagnética na região do vermelho (visível) do que na região do infravermelho. Deste modo, quanto maior a quantidade de folhas no dossel, maior será o valor da razão entre as bandas, sendo utilizada para identificar a vegetação bem desenvolvida e densa, geralmente vegetação de grande porte, como as florestas (Jensen, 2009). O índice RS é calculado pixel a pixel conforme a Equação (1).

$$RS = \frac{IVP}{V} \quad (1)$$

Onde:

RS: Índice Razão Simples

IVP: Banda do infravermelho próximo

V: Banda do vermelho

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalize Difference Vegetation Index* - NDVI), foi desenvolvido por Rouse *et al.* (1973) e é descrito como a razão entre a diferença do comprimento da onda entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, normalizada pela soma dessas bandas, conforme a Equação (2).

$$NDVI = \frac{(\sigma_{IVP} - \sigma_V)}{(\sigma_{IVP} + \sigma_V)} \quad (2)$$

Onde:

σ_{IVP} : refletância na banda do infravermelho próximo;

σ_V : refletância na banda do vermelho.

A escala de medição varia de -1 a +1, onde o valor próximo a 1 representa áreas com vegetação densa fotossinteticamente ativa, enquanto valores próximos a 0 (zero) indicam áreas com vegetação sob estresse e valores próximos a -1, indicam planta morta ou superfícies expostas (Rosendo, 2005, Gamon; Peñuelas; Field, 1992).

Após a obtenção das imagens (arquivos *raster*) para cada um dos índices e para cada período, realizou-se a reclassificação dos *pixels*, onde definiu-se o número de classes de acordo com os limites encontrados pelos índices anteriormente aplicados. Neste trabalho foi definido 10 classes entre os limites de -1 a +1, com intervalos iguais de 0,2 para o NDVI e para o RS utilizou-se os valores mínimo e máximo distribuídos em 10 classes em intervalos iguais de uma unidade. Utilizou-se para este procedimento o algoritmo GRASS *r.recode* no QGIS.

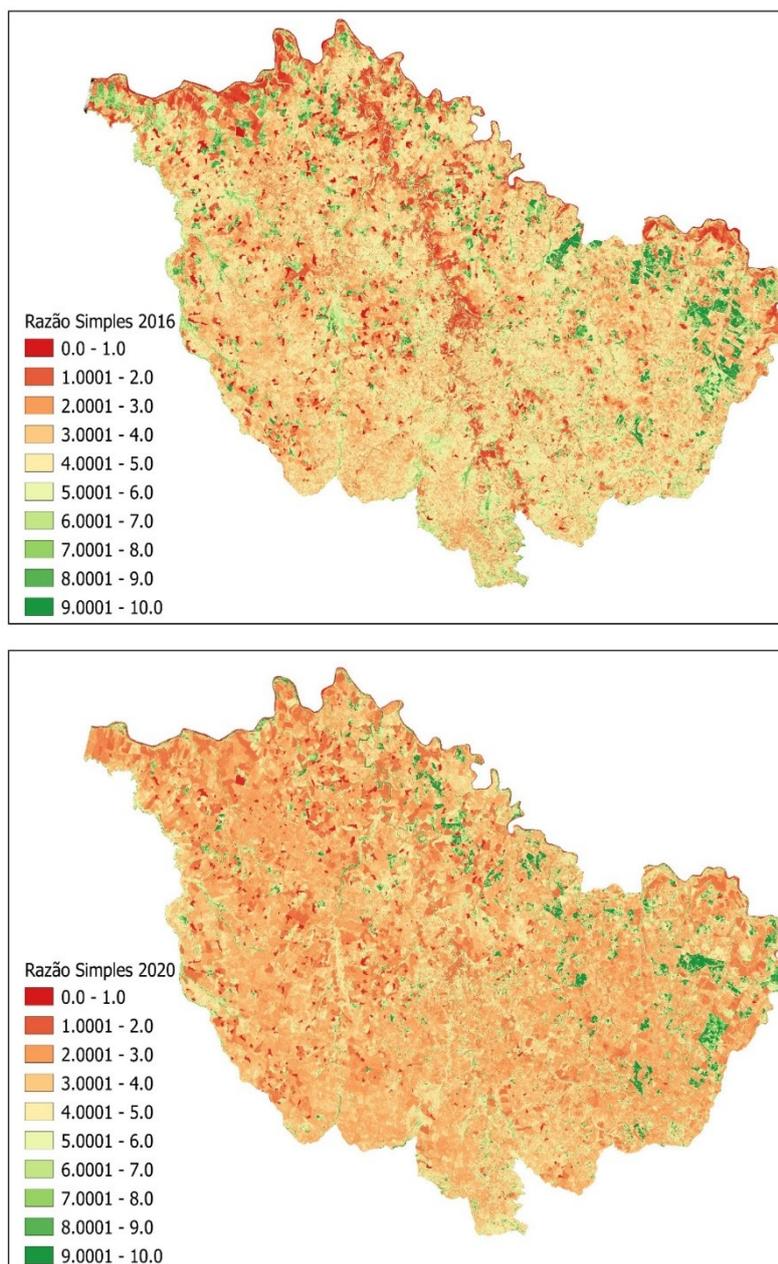
Posteriormente à reclassificação, realizou-se a conversão do arquivo *raster* (matricial) em arquivo vetorial (polígonos) para que fosse possível obter a área referente a cada classe para o NDVI. Através da tabela de atributos do arquivo vetorial do NDVI para cada período analisado, calculou-se a área em km² através da ferramenta calculadora de campo. Extraíu-se as informações das tabelas de atributos e utilizou-se de planilha eletrônica para realizar o cálculo dos percentuais de áreas e diferença percentual para os períodos 1 e 2 referentes aos índices NDVI. Optou-se por utilizar apenas o NDVI, pois as maiores variações ocorreram em vegetação de porte pequeno e médio, tendo em vista a característica do município quanto às atividades agropecuárias existentes.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 está apresentado o resultado após a aplicação da aritmética das bandas para o cálculo do índice de razão simples (RS) para as imagens do ano de 2016 e de 2020.

Figura 2 – Índice de vegetação razão simples para o município de Alegrete.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se na Figura 2 que os valores mais baixos de RS (coloração vermelha) indicam as áreas onde há pouca ou nenhuma vegetação bem desenvolvida, tendo em vista que a vegetação sadia e mais desenvolvida reflete mais na faixa do espectro eletromagnético do infravermelho, assim os valores mais altos de RS (coloração verde) indicam que há vegetação mais desenvolvida e mais densa. Observa-se que no ano de

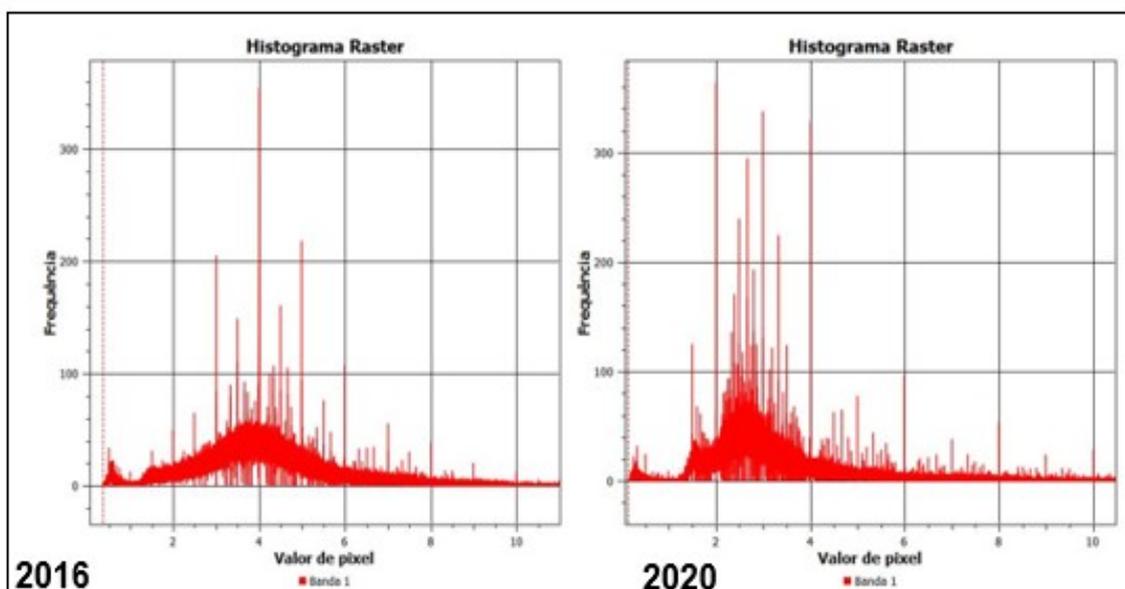


2016, há visualmente uma maior quantidade de valores de RS baixos, indicando coloração mais avermelhada na porção noroeste do município que se estende até o centro da imagem, porém, estas áreas mais avermelhadas, podem indicar presença de corpos d'água.

Sabe-se que a água absorve a radiação do espectro eletromagnético na faixa do infravermelho próximo, deste modo, reflete mais na faixa do vermelho, sendo assim, na Figura 2 no ano de 2016, pode-se verificar que as áreas à noroeste - centro de Alegrete, apresentam características de rede de drenagem. Para o ano de 2020, o índice RS apresenta-se mais distribuído ao longo da área de estudo, apresentando valores de RS mais baixos (maior coloração avermelhada).

Pode-se deste modo, inferir que no ano de 2020, houve uma redução na quantidade de vegetação mais desenvolvida e ou mais densa, tendo em vista que as imagens obtidas para o ano 2020 possivelmente estejam relacionados ao período de maior precipitação na região, e que em 2016, as imagens correspondem ao período de temperaturas mais elevadas e baixa pluviosidade (imagens de janeiro de 2016). Na Figura 3, pode-se verificar os efeitos visuais identificados na Figura 2, através da comparação entre os histogramas do índice RS obtido para cada período.

Figura 3 - Histograma do índice RS para os anos de 2016 e 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores.

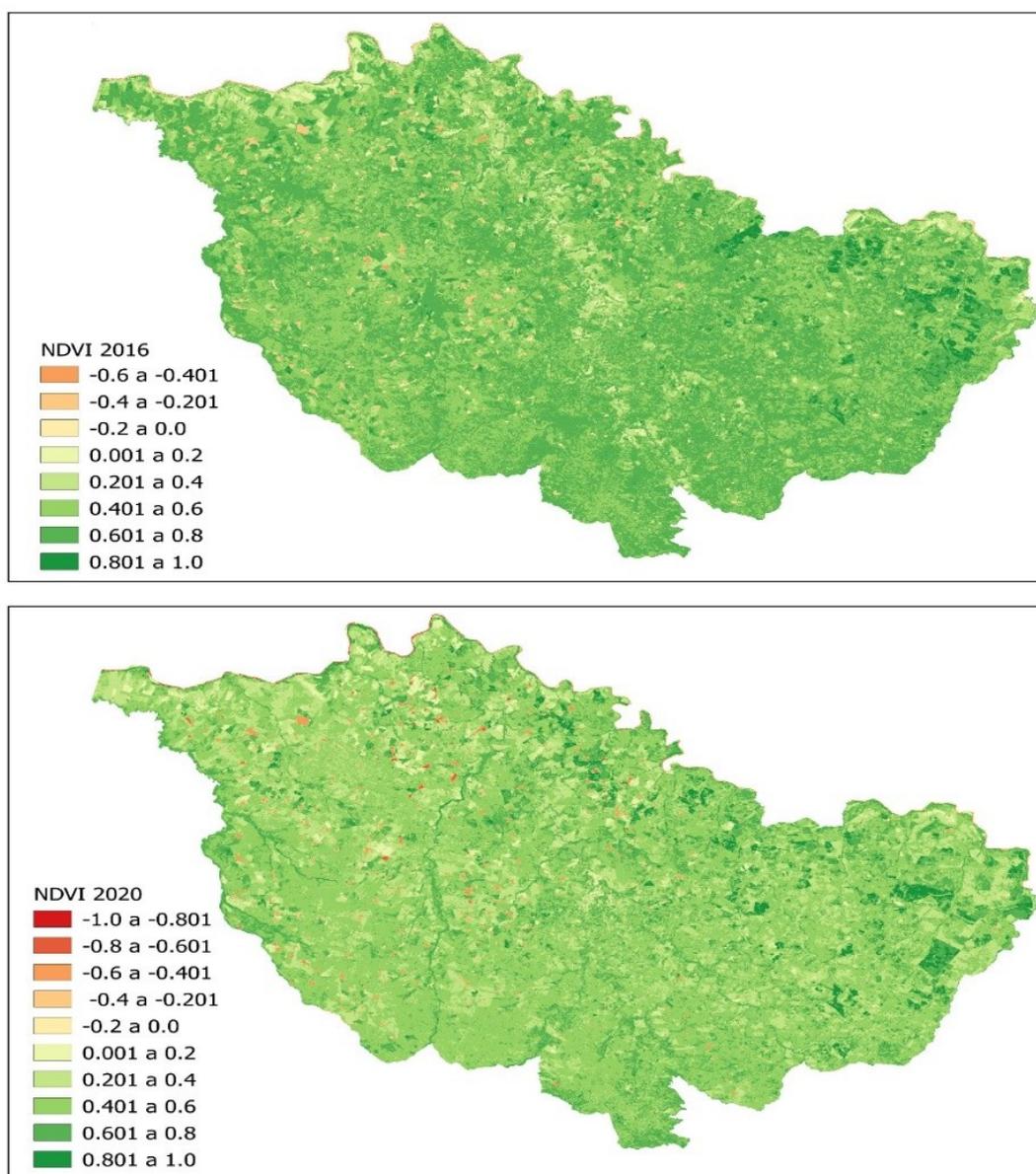
Verifica-se que no histograma referente ao ano de 2016, a maior quantidade de valores de RS estão situados entre as classes 3 e 6, já para o ano de 2020, há maior concentração dos valores de RS entre as classes 1 e 4. Desta forma, pode-se perceber o comportamento do índice RS nos dois períodos, corroborando para a inferência sobre a vegetação mais densa e com características mais florestais.

A Figura 4 mostra os resultados obtidos para o NDVI para o período analisado. Os níveis próximos de +1, denotados por tons de verde escuro, representam altos índices de vegetação, enquanto os níveis próximos de -1, em tons de vermelho escuro, representam baixos índices de vegetação, ou ainda solo exposto e água. Verifica-se



que para o ano de 2016 o NDVI não apresentou valores para as classes -1.0 a -0.8 e -0.8 a -0.6, o que demonstra que no ano de 2016 havia mais áreas com vegetação. De acordo com Jensen (2009), o NDVI é um índice de vegetação indicado para estudos de vegetação de pequeno porte ou rasteiras, como as lavouras e ou pastagens. Nas áreas onde o NDVI apresentou valores entre -0.6 a -0.4 no ano de 2016, no ano de 2020 estes valores passaram para -1.0 a -0.8, o que pode ser justificado pelo aumento das áreas de solo exposto.

Figura 4 – Índice de vegetação NDVI para os anos de 2016 e 2020 para o município de Alegrete.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 1 está apresentada a classificação dos valores de NDVI para as imagens Sentinel 2A referente aos anos de 2016 e 2020 para o município de Alegrete, com suas respectivas áreas.



Tabela 1 – Classificação de valores do NDVI com suas respectivas áreas para o município de Alegrete entre 2016 e 2020.

Classe	Valores NDVI	Área km ²		Percentual de área entre os períodos		Diferença Percentual
		2020	2016	2020	2016	
1	-1 a -0.8	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	100.00
2	-0.8 a -0.6	16.6451	0.0000	0.2143	0.0000	100.00
3	-0.6 a -0.4	79.6942	6.9696	1.0263	0.0897	1043.46
4	-0.4 a -0.2	34.5813	106.9028	0.4453	1.3766	-67.65
5	-0.2 a 0.0	14.6811	50.2723	0.1891	0.6474	-70.84,0
6	0.0 a 0.2	169.6503	127.0475	2.1847	1.6360	33.53
7	0.2 a 0.4	1652.0483	582.5890	21.2741	7.5022	183.57
8	0.4 a 0.6	4276.6015	3092.1908	55.0716	39.8195	38.30
9	0.6 a 0.8	1324.6402	3633.8893	17.0580	46.7952	-63.55
10	0.8 a 1.0	196.9810	165.6631	2.5366	2.1333	18.90
		7765.5244	7765.5244	100.0000	100.0000	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Diante dos dados dispostos na Tabela 1, pode-se observar que nas classes 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 9 foi onde ocorreram as maiores diferenças, acima de 50% em 4 anos, e nas classes 6, 8 e 10 as menores diferenças, abaixo de 39%. Sendo que as classes 1, 2, 3 e 7 foram onde ocorreram diferenças acima de 100%, e que nas classes 1, 2 e 3 houve um aumento nas áreas com baixo valor de NDVI, o que sugere um aumento nas áreas de solo exposto. A classe 7 sugere que houve um aumento nas áreas de agricultura e pastagens, pois o NDVI encontra-se entre os valores 0.2 e 0.4.

Nota-se ainda, que em ambas as imagens há um predomínio das classes 6, 7 e 8 em que no ano de 2016 correspondem a 48,95% da área total e que a imagem do ano de 2020, correspondem a 78,53% do total. Esses valores demonstram que há grande quantidade de vegetação de pequeno e médio porte, isto se justifica devido à região apresentar uma agricultura e pecuária intensiva. Através dos dados das classes de NDVI, constata-se uma discrepância entre os valores encontrados nos anos de 2016 e 2020 na classe 3, isso se dá porque no ano de 2016 os menores valores de NDVI se encontravam nesta classe, correspondendo a áreas possíveis de corpos d'água, já em 2020 as áreas de corpos d'água apresentaram valores de NDVI entre -1.0 a -0.6, corroborando para a interpretação de que houveram expressivos aumentos nas áreas de solo exposto ou nas etapas iniciais de crescimento vegetativo das culturas características. Salienta-se que na região do município de Alegrete há processos de arenização, que são intensificados pelas atividades intensivas de agricultura e pecuária.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que, através da aplicação de conceitos radiométricos e dos índices de vegetação razão simples e NDVI, foi possível realizar uma análise espaço-temporal da



vegetação no município de Alegrete para os anos de 2016 e 2020. Conclui-se ainda que o índice NDVI foi o que se mostrou melhor na identificação das variações decorrentes do aumento de áreas agrícolas e ou solo exposto no município de Alegrete.

5. REFERÊNCIAS

ABDELRAHMAN, M. A. E.; METWALY, M. M.; SHALABY, A. Quantitative assessment of soil saline degradation using remote sensing indices in Siwa Oasis. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 13, p. 53-60, jan. 2019.

BAPTISTA, G. M. M. Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1037-1044.

BAPTISTA, G. M. M.; MUNHOZ, C. B. R. Comportamento do sequestro florestal de carbono, do conteúdo de CO₂ atmosférico e do conteúdo de umidade da vegetação no Pantanal de Nhecolândia, MS, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1071-1078.

BERGER, R. *et al.* Índices de vegetação para a estimativa do Índice de Área Foliar em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 885-899, 2019.

BEZERRA, H *et al.* Variabilidade espaço-temporal das variáveis biofísicas no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 184-201, 25 jul. 2019.

DA COSTA, A. A.; GALVANIN, E. A. S.; VIEIRA, E. H A.. Estado de conservação da vegetação natural frente às mudanças temporais da paisagem na Bacia Hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso - Brasil. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 14, n. 1, p. 205-225, 2020.

CHALISE, D.; KUMAR, L.; KRISTIANSEN, P. Land degradation by soil erosion in Nepal: a review. **Soil Systems**, v. 3, n. 1, p. 12, 8 fev. 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - Rio Grande do Sul**: relatório geral. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2015. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_05_12_11_25_06_relato_maio_2015.pdf. Acesso em: 19 ago. 2020.

ESA. **Copernicus is the European Union's Earth**. Paris: European Space Agency, 2020. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/es/sobre-copernicus>. Acesso em: 9 set. 2020.

GAMON, J. A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, n. 1, p. 35-44, jul. 1992.

GOMES, A. M. B.; CARVALHO, C. S. D; BARBOZA, V. R. D. Estudo de geomorfologia: Alegrete, RS. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 9, p. 243-254, 1990.



JENSEN, J. R. (Coord.). **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**: características da população e dos domicílios. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 jan. 2021.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em: 15 ago. 2018.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB/CNPq, 2012.

NAME, M. H.; JUNIOR, A. S. Comparação de classes NDVI utilizando imagens espaciais na região dos Campos Gerais. **Revista de Estudos Vale do Iguaçu (R.E.V.I.)**, v. 1, n. 24, p. 43-52, 2014.

PAIM, L. P. *et al.* Sowing of *Lupinus albescens* Hook. e Arn. in arenization degraded area. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 42, p. 855-863, 13 ago. 2019.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

ROSENDO, J. dos S. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari - MG - utilizando dados do sensor Modis**. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

ROUSE, J.W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA**, v.1, p.309-317, 1973.

SANTA, V.; ROSA, M. J.; MÓNACO, N. Determinación de la correlación entre datos de biomasa obtenidos a campo y NDVI obtenidos por sensores remotos a lo largo del arroyo Chucul (Pcia. Córdoba). **Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam**, v. 22, sup. 2, p. 157-162, 2013.

SANTOS, J. P. *et al.* Sensoriamento remoto e análise temporal de dados NDVI em áreas do maciço residual de Água Branca e seu entorno, Semiárido de Alagoas. **Revista Homem, Espaço e Tempo**, v. 14, n. 1, p. 164-177, 2020.

SILVA, C. A. V. *et al.* Uso do sensoriamento remoto através de índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá - PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: Centro de Convenções, 2009. p. 3079-3085.

SILVA, C. B. da. Mapeamento das áreas de inundação do rio Ibirapuitã em Alegrete - RS. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 15, n. 3, p. 73-92, 2012.

SUERTEGARAY, D. M. A. Erosão nos campos sulinos: arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, p. 61-74, 2012.



TANG, L.; HE, M.; LI, X.. Verification of fractional vegetation coverage and NDVI of desert vegetation via UAVRS technology. **Remote Sensing**, v. 12, n. 11, p. 1742, mai. 2020.

TEIXEIRA, J. L.; GALVÍNCIO, J. D. Uso de geotecnologias para a caracterização física espacial da bacia hidrográfica do grupo de pequenos rios litorâneos (GL2) / PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 2, p. 132-138, nov. 2010.

TIMOFEEVA, Y. *et al.* Soil structure of sand quarries territory. **E3S Web of Conferences**, v. 157, 02017, p. 1-8, 2020.

XIE, Z. *et al.* Corrigendum to “using landsat observations (1988–2017) and Google earth engine to detect vegetation cover changes in rangelands - a first step towards identifying degraded lands for conservation”. **Remote Sensing Of Environment**, v. 241, 111737, may 2020.

Submetido em: **04/10/2020**

Aceito em: **02/08/2024**