



Revista Cerrados (Unimontes)
ISSN: 1678-8346
ISSN: 2448-2692
revista.cerrados@unimontes.br
Universidade Estadual de Montes Claros
Brasil

VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA COMO FERRAMENTA DE IDENTIFICAÇÃO DOS AÇUDES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS CABRAS

Souza, Denivaldo Ferreira de; Gonzalez, German Dario Duarte; Teixeira Filho, José
VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA COMO FERRAMENTA DE IDENTIFICAÇÃO DOS AÇUDES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS CABRAS

Revista Cerrados (Unimontes), vol. 17, núm. 1, 2019

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576961001011>

DOI: <https://doi.org/10.22238/rc244826922019170122239>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Este trabalho está sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-Não Derivada 4.0 Internacional.

VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA COMO FERRAMENTA DE IDENTIFICAÇÃO DOS AÇUDES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS CABRAS

TEMPORAL VARIATION OF THE NORMALIZED
DIFFERENCE VEGETATION INDEX AS A TOOL
IDENTIFICATION TOOL IN THE RIBEIRÃO DAS
CABRAS HYDROGRAPHIC BASIN

VARIACIÓN TEMPORAL DEL ÍNDICE DE
VEGETACIÓN POR DIFERENCIA NORMALIZADA
COMO HERRAMIENTA DE IDENTIFICACIÓN DE
LOS ACCESOS EN LA BACIA HIDROGRAFICA DEL
RIBEIRÃO DAS CABRAS

Revista Cerrados (Unimontes), vol. 17,
núm. 1, 2019

Universidade Estadual de Montes Claros,
Brasil

Recepção: 13 Fevereiro 2019

Aprovação: 10 Junho 2019

Publicado: 13 Junho 2019

DOI: <https://doi.org/10.22238/rc244826922019170122239>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576961001011>

Denivaldo Ferreira de Souza deny1609@gmail.com

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Brasil

German Dario Duarte Gonzalez gduarteg124@gmail.com

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Brasil

José Teixeira Filho jose@feagri.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Brasil

Resumo: O avanço da tecnologia por meio do uso de imagens de satélites vem impulsionando os vários tipos de monitoramento da superfície terrestre. Embasado nesse avanço, este artigo tem como objetivo analisar a cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Ribeirão das Cabras, localizada no município de Campinas/SP, utilizando técnicas de sensoriamento remoto para a determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN. O trabalho utilizou imagens dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI no período da estação chuvosa da região nos anos de 1986, 1992, 1999, 2004, 2011 e 2018. Para cada imagem foi calculado os valores de IVDN e agrupados em seis classes. O resultado das imagens mostrou que as áreas com cobertura vegetal mais intensa sofreram pequenas alterações no período. O destaque principal foi observado na classe que caracterizam os corpos hídricos, demonstrando um aumento da capacidade de reserva por meio de construção de açudes na região. Essas estruturas foram implantadas, em grande parte, a partir de projetos e construções inadequadas. Esses elementos potencializam os eventos de inundações na região por rompimento destas estruturas de barragens. Sendo assim, considerou a classificação das imagens utilizando o IVDN uma ferramenta que propicia um entendimento e análise da dinâmica da cobertura vegetal em diferentes tipos de escala e sazonalidades, determinando condições de aumento do potencial de risco de desastres ao meio.

Palavras-chave: Risco de enchentes, Reservatórios, Imagem de satélite, IVDN, Campinas.

Abstract: Technology's advance through of satellite imagery us have driven the different types of terrestrial surface monitoring. Based on this advance, this article aims to analyze the vegetal cover in Ribeirão das Cabras hydrographic basin, localized at Campinas/SP, using remote sensing techniques for Normalized difference vegetation index – NDVI. The work used images from Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI satellites in the period of rainy season in the region from years 1986, 1992, 1999, 2004, 2011 and 2018. For each image were calculated the NDVI values and grouped in six classes. The result of the images showed that the intense vegetal cover areas suffered small alterations in the study period. The main highlight was observed in the class that characterize water bodies, demonstrating an increase in the reserve capacity through the construction of dams in the region. These structures were implanted, in large part, from inadequate projects and constructions. These elements potentiate flood events in the region by breaking the dams. Thus, it was considered the classification of the images using the NDVI, a tool that promotes an understanding and analysis of the dynamics of vegetation cover in different types of scale and seasonality, determining conditions for increasing the potential of disaster risks to the environment.

Keywords: Flood risk, Reservoir, Satellite image, NDVI, Campinas.

Resumen: El avance de la tecnología por medio del uso de imágenes de satélites viene siendo impulsado los diferentes tipos de monitoramiento de la superficie terrestre. Basado en ese avance, este artículo tiene como objetivo analizar la cobertura vegetal en la cuenca hidrográfica de Ribeirão das Cabras, localizada en el municipio de Campinas/SP, utilizando técnicas de percepción remota para la determinación del índice de vegetación por diferencia normalizada – IVDN. El trabajo utilizó imágenes de los satélites Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI en el periodo de la estación lluviosa de la región los años 1986, 1992, 1999, 2004, 2011 y 2018. Para cada imagen fueron calculados los valores de IVDN y agrupados en seis clases. El resultado de las imágenes mostró que las áreas con cobertura vegetal más intensa sufrieron pequeñas alteraciones en el periodo. El principal destaque fue observado en la clase que caracterizan los cuerpos hídricos, demostrando un aumento de la capacidad de reserva por medio de construcción de presas en la región. Estas estructuras fueron implantadas, en grande parte, a partir de proyectos y construcciones inadecuadas. Estos elementos potencializan los eventos de inundaciones en la región por rompimiento de las presas. Siendo así, se consideró la clasificación de las imágenes utilizando el IVDN una herramienta que propicia un entendimiento e análisis de la dinámica de la cobertura vegetal en diferentes tipos de escala y estacionalidad, determinando condiciones de aumento del potencial de riesgos de desastres al medio ambiente.

Palabras clave: Riesgo de inundación, Embalse Imagen de satélite, IVDN, Campinas.

INTRODUÇÃO

A cobertura vegetal se apresenta como um fator extremamente importante na manutenção dos recursos naturais renováveis. Essa condição propicia as condições ideais para a conservação da água e solo nas bacias hidrografias, a partir da redução da energia do impacto das gotas de chuva na superfície, mantendo a porosidade e a permeabilidade do solo, reduzindo a formação do escoamento superficial (BELTRAME, 1994; MELO et al., 2011). O resultado produz um aumento da umidade e a fertilidade do solo pela presença de matéria orgânica (BELTRAME, 1994; MELO et al., 2011). A vegetação funciona como um manto protetor dos recursos naturais, e por essa razão, sua distribuição e o grau de desenvolvimento condicionam o estado de conservação do ambiente.

A identificação e caracterização da cobertura vegetal ao longo do tempo é fator importante para tomada de decisão no processo de intervenção com o objetivo de conservação da água e do solo. Técnicas

que possibilitem a determinação dessa condição a custos baixos e com confiabilidade devem ser utilizadas de maneira sistemática, que o caso da metodologia do cálculo dos índices de vegetação. Os índices de vegetação determinados por imagens, utilizando ferramenta gerada por técnicas de sensoriamento remoto, são amplamente empregados em trabalhos que buscam relacionar as informações à dinâmica de usos das terras. Esses índices permitem inferir e monitorar a dinâmica da cobertura e vigor da vegetação, obter elementos sobre a quantidade de fitomassa verde, parâmetros de crescimento e desenvolvimento da vegetação (PARISE e VETTORAZZI, 2005; GOULART, 2013).

Um índice de vegetação é resultado da combinação dos valores de refletância em dois ou mais intervalos de comprimento de onda, que possui uma relação com a quantidade e o estado da vegetação em uma dada área da superfície terrestre (RIZZI, 2004). Estes índices utilizam informações contidas nas refletâncias de dosséis referentes às faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, que proporcionam uma correlação melhor entre os dados orbitais e os parâmetros biofísicos da mesma (OLIVEIRA et al., 2007). Segundo Baret et al. (1989), essas duas bandas contêm mais de 90% da variação das respostas espectral da vegetação.

Esses índices são modelos matemáticos que foram desenvolvidos para caracterizar a cobertura vegetal, diagnosticar o índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética, produtividade e monitoramento das mudanças na vegetação (BARET et al. 1989). Existem diversos índices, como o NRVI (Normalized Ratio Vegetation Index); PVI (Perpendicular Vegetation Index); DVI (Difference Vegetation Index); TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index); MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index); WDVI (Weighted Difference Vegetation Index), dentre outros, sendo o mais utilizado o SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Para Aquino et al. (2016) os primeiros índices desenvolvidos para avaliação da vegetação datam do início da década de 1970 e têm sido empregados com sucesso para avaliar as diferentes condições da cobertura vegetal. Segundo Ramos et al. (2010) e Aquino et al. (2016), os índices de vegetação têm sido muito utilizados no monitoramento de áreas vegetadas, na determinação, estimativa do índice de área foliar, biomassa e da radiação fotossinteticamente ativa. Um dos mais utilizados é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), em inglês Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), apresentado por Rouse et al. (1973) esse índice tem sido considerado um método importante para a classificação e monitoramento da vegetação, inclusive correlacionando-o a variáveis hidrológicas (NEZLIN et al., 2005; GUIRAO, 2015). Em trabalhos de Rosendo e Rosa (2007), Eckert et al. (2013), Braz et al. (2015), Gameiro et al. (2016) e Oliveira et al. (2016) entre outros utilizam o NDVI com o objetivo de avaliar mudanças na vegetação, além de serem bastante utilizados nos estudos sobre potencial de riscos ao meio ambiente (DEMARCHI et al., 2011; AQUINO et al., 2016).

Dessa forma, o presente trabalho objetivou-se estimar o NDVI da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Ribeirão das Cabras - BHRC, utilizando como metodologia a análise multi-temporal de imagens de satélite dos anos de 1986, 1992, 1999, 2004, 2011 e 2018, a fim de avaliar a dinâmica da cobertura vegetal desta bacia. Pretende-se com os resultados subsidiar o planejamento e gestão territorial ambiental da área, considerando que nas últimas décadas houve um aumento populacional, bem como uma alternância gradativa das atividades econômicas desenvolvidas na mesma, com destaque para o extrativismo vegetal. Essas condições produziram e produzem crescentes armazenamentos de águas para o atendimento das demandas hídricas na bacia. Assim, a identificação dos locais dos armazenamentos ao longo do tempo pode colaborar a identificar possíveis potenciais de risco de enchente e inundação com prováveis danos na bacia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área escolhida para o trabalho, a BHRC, afluente de margem direita do Rio Atibaia, está locada no extremo leste do município de Campinas/SP. Todo seu território insere-se na Área de Preservação Ambiental - APA do município. A região engloba o distrito de Joaquim Egídio e partes do distrito de Sousas e os bairros Carlos Gomes, Chácaras Gargantilha e Jardim Monte Belo (CAMPINAS, 2010). A região está entre as coordenadas latitudinais 22°51'35,1"S e 22°54'51,8"S, e longitudinais 46°48'55"W e 46°56'25"W. Altitude variando entre 1080m, interflúvio da nascente, divisa entre os municípios de Campinas e Morungaba, e 665m, foz da seção, distrito de Sousas, possuindo uma área de 41,4 km² (Figura 1).

O clima de BHRC é tropical de altitude, com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 20,7 °C, tendo invernos secos e amenos e verões chuvosos. O índice pluviométrico médio é de aproximadamente 1.350 mm anuais, concentrados entre outubro e março, sendo janeiro o mês de maior precipitação com 226 mm (Tabela 1). De acordo com as normais meteorológicas (1961-1990) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) complementado e ampliado com os dados no Sistema Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), o ano com menor precipitação foi 1944, com 836,5 mm. Os anos de 1924, 1978, 1921 e 1968 apresentaram valores de precipitações abaixo de 1.000 mm, enquanto o ano com maior precipitação foi 1983, com 2.112 mm, em função de uma intensa atividade do fenômeno meteorológico El Niño (GROVE e ADAMSON, 2018).

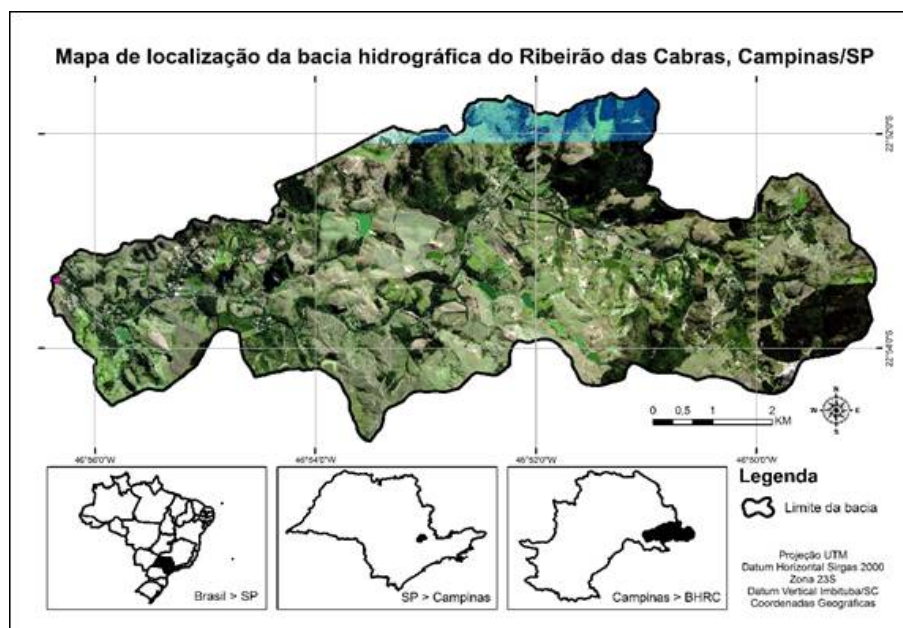


Figura 1

Mapa de localização da macro e micro escala da bacia hidrográfica do Ribeirão das Cabras
IBGE (2017). Org.: SOUZA (2017)

Tabela 1

Chuva média mensal no município de Campinas/SP no período de 1961

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Precipitação (mm)	226,5	211,5	126,4	54,8	45,8	50,9	50,8	30,7	62,8	148,6	143,3	205,4

INMET (2009); ANA (2017).

O clima de BHRC é tropical de altitude, com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 20,7 °C, tendo invernos secos e amenos e verões chuvosos. O índice pluviométrico médio é de aproximadamente 1.350 mm anuais, concentrados entre outubro e março, sendo janeiro o mês de maior precipitação com 226 mm (Tabela 1). De acordo com as normais meteorológicas (1961-1990) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) complementado e ampliado com os dados no Sistema HidroWEB da Agência Nacional de Águas (ANA), o ano com menor precipitação foi 1944, com 836,5 mm. Os anos de 1924, 1978, 1921 e 1968 apresentaram valores de precipitações abaixo de 1.000 mm, enquanto o ano com maior precipitação foi 1983, com 2.112 mm, em função de uma intensa atividade do fenômeno meteorológico El Niño (GROVE e ADAMSON, 2018).

A cobertura do solo na região tem predominância em três diferentes tipos de usos: pastagem com a presença do capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) destinada a criação de gado, monocultura com espécies do gênero *Eucalyptus* destinada a reflorestamento e mata nativa composta por floresta Mesófila Semidecidual situada em região característica do Bioma Mata Atlântica. Além desses, uma pequena ocupação de estruturas com edificações de moradia e de apoio a atividade agropecuária e

silvicultura, que são dispersas em toda a bacia e, em especial, no meio e baixo curso da bacia (CAMPINAS, 2012).

Aquisição e processamento dos dados

Todas as imagens disponíveis do catálogo de imagens (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) da Divisão de Geração de Imagem do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE foram analisadas no período de 1986 a 2018. As imagens escolhidas correspondem a um período estacional símile, estação chuvosa (verão), assim minimizando os efeitos de sazonalidade (Tabela 2). De maneira que fatores determinantes às respostas espectrais da vegetação não sofressem interferências decorrentes de questões naturais, logo estando com parâmetros de resposta espectral equivalente, de modo a não interferir nas análises. Todas as imagens dos satélites Landsat 5 - sensor TM e Landsat 8 - sensor OLI escolhidas foram processadas, a partir do espectro eletromagnético de 0,63 a 0,69 μm (espectro vermelho - banda 3) e 0,76 a 0,90 μm (espectro infravermelho próximo - banda 4) para o Landsat 5, e 0,64 a 0,67 μm (espectro vermelho - bandas 4) e 0,85 a 0,88 μm (espectro infravermelho próximo - bandas 5) para o Landsat 8.

As imagens escolhidas correspondem a um período estacional símile, estação chuvosa (verão), assim minimizando os efeitos de sazonalidade (Tabela 2). De maneira, os fatores determinantes às respostas espectrais da vegetação não sofressem interferências decorrentes de questões naturais, logo estando com parâmetros de resposta espectral equivalentes, de modo a não interferir nas análises.

Tabela 2
Caracterização das imagens adquiridas no trabalho

Período	1986	1992	1999	2004	2011	2018
Data da imagem	15/03/1986	12/02/1992	19/03/1999	16/03/2004	21/03/2011	23/03/2018
Órbita/Ponto	219/076	219/076	219/076	219/076	219/076	219/076
Satélite/Resolução/Sensor	Landsat 5/30m/TM	Landsat 5/30m/TM	Landsat 5/30m/TM	Landsat 5/30m/TM	Landsat 5/30m/TM	Landsat 8/30m/OLI

INPE (2017).

Todas as imagens foram inseridas no software ArcGIS 10.4, subsequente foram reprojatadas para o datum Sirgas 2000, padrão atual brasileiro. As imagens Landsat 5 foram re-georreferenciadas para sobrepor com exatidão a área de interesse. Desse modo, procedeu-se a realização de mosaico espectral das bandas 3 e 4 do LANDSAT 5, e das bandas 4 e 5 do LANDSAT 8 para a calibração radiométrica, reflectância e NDVI.

Calibração radiométrica e reflectância

A calibração radiométrica da imagem do Landsat 5 no sensor TM (Equação 1) é dada pela intensidade do fluxo radiante por unidade de

ângulo sólido e seu conceito pode ser comparado ao conceito de brilho, ou seja, um objeto é considerado mais brilhante quanto maior for sua radiância medida. O conjunto da radiância ou calibração radiométrica é obtida pela equação proposta por Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad \text{[Equação 1]}$$

Onde, a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (número inteiro compreendido entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) do satélite Landsat 5. Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens Landsat TM são os propostos por Chander e Markham (2003).

A reflectância da imagem do Landsat 5 (Equação 2) de cada banda ($P_{\lambda i}$) é definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, que é obtida através da equação (Allen et al., 2002):

$$P_{\lambda i} = \frac{\pi L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad \text{[Equação 2]}$$

Onde, $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa terra-sol em unidade astronômica (UA).

A calibração radiométrica da imagem Landsat 8 no sensor OLI (Equação 3) foi realizada com o tratamento da correção atmosférica (USGS,

$$L_{\lambda} = M_L Q_{CAL} + A_L \quad \text{[Equação 3]}$$

Onde, L_{λ} é o valor da radiação espectral na superfície da atmosfera, M_L é o fator multiplicativo do escalonamento para radiância específico obtido da banda utilizada, A_L é o fator aditivo de escala para radiância específico obtido da banda utilizada, Q_{CAL} é o valor pixel a pixel de cada banda.

Os dados do sensor OLI podem ser convertidos em valores de reflectância na superfície da atmosfera (Equação 4) utilizando os coeficientes de reflectância reescalados, fornecidos pelo Landsat 8 (USGS, 2016).

$$p_{\lambda} = M_p Q_{CAL} + A_p \quad \text{[Equação 4]}$$

Onde, p_{λ} é o valor da reflectância sem correção pelo ângulo solar. M_p é o fator multiplicativo do escalonamento para reflectância específico

obtido da banda utilizada, Ap é o fator aditivo de escala para reflectância específico obtido da banda utilizada, QCAL é o valor pixel a pixel de cada banda.

NDVI

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) proposto por Rouse et al. (1973), representa um índice vegetativo calculado como uma razão entre a refletividade medida nas regiões do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, com a faixa de valores obtida pelo NDVI entre -1 e 1 (Equação 5). Quanto mais próximo de 1, maior é a certeza de estar se tratando de um pixel de vegetação. Como ferramenta para o monitoramento da vegetação, o NDVI é utilizado para construir perfis sazonal e temporal das atividades da vegetação, permitindo comparações e correlações futuras.

$$\frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad \text{[Equação 5]}$$

Aonde, NIR é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo, R é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho.

Para Jackson e Huete (1991) o índice de NDVI tem como finalidade separar a vegetação verde, a partir do seu brilho utilizando dados de satélites. Este é o Índice de Vegetação mais utilizado habitualmente, dado que mantém a capacidade de minimizar os efeitos topográficos enquanto produz uma escala de medição linear (MONTEIRO, 2013; AQUINO et al., 2016).

Modelo de classificação

Dentro do software com a ferramenta Reclassify do ArcToolBox, utilizou para reclassificar o NDVI em ordem crescente de valores, que indicam às piores condições e as melhores condições de cobertura vegetal encontradas na área em estudo (Tabela 3). As classes foram definidas pela metodologia apresentada por Melo et al. (2011) e Aquino et al. (2016).

Tabela 3
Classes adotadas com os respectivos valores resultantes do NDVI.

Classes adotadas	Valores resultantes do NDVI
Corpo hídrico	> 0
Baixa	0,01 a 0,20
Moderadamente baixa	0,21 a 0,40
Moderada	0,41 a 0,60
Moderadamente alta	0,61 a 0,80
Alta	0,81 a 1

Adaptado de Melo (2011) e Aquino, et al. (2016).

RESULTADOS

Os resultados, após todas as etapas, apresentaram A distribuição espacial da variabilidade do NDVI na área de estudo para os anos de 1986, 1992, 1999, 2004, 2011 e 2018 no período sazonal chuvoso pode ser observada nos mapas da Figura 2. Esses mapas do NDVI permitiram determinar a evolução da cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão das Cabras ao longo dos 33 anos.

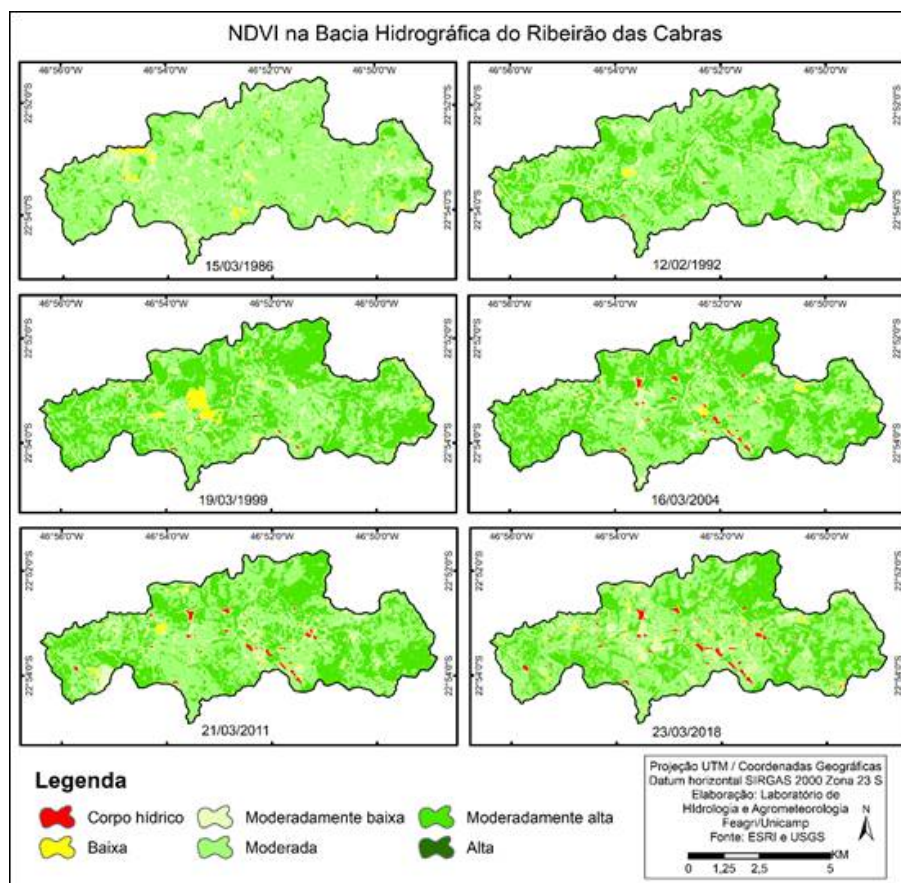


Figura 2

Mapa do NDVI em seis diferentes cenários na bacia hidrográfica do Ribeirão das Cabras ESRI e USGS (2018).

A Tabela 4 permite observar que a classe Corpo hídrico/solo exposto/urbano apresentou um aumento gradativo ao longo dos 33 anos. Essa classe passou de 0,02 para 1,2 % da área da bacia no período. Esse aumento se fez pelo crescimento, principalmente, dos corpos hídricos, que na área representa o aumento da capacidade de reserva de água superficial. Para as classes baixa e moderadamente baixa foram constatadas variações de aumento e recuo dos valores de NDVI no período. A primeira classe em 1986 ocupava 1,7 % da área de estudo, em 2018 passou a ocupar similares 1,8 %. Já a classe moderadamente baixa que em 1986 ocupava 14,8 %, declinou até 8,3 % em 2011, para em 2018 apresentar 13,3 %.

A classe moderada de NDVI, valores entre 0,41 a 0,60, encontra-se com a maior presença na bacia. Em 1986 apresentava 75,5 % da área total e sete anos mais tarde (1992) ocorreu uma queda considerável para 59,2 %. Em 1999, oito anos depois, ocorre uma diminuição para 46,8 % e 20 anos mais tarde (2018) esses valores sobem para 52,7 %. Essa queda inicial e permanência dos valores seguintes da classe moderada podem ser explicadas com a classe moderadamente alta, que em 1986 tinha 7,9 % aumentando para 28,6 % em 1992, 43,3 % em 1999, 41,3 % em 2004, diminuindo em 2018 para 31,2 %. A queda da classe moderada e o aumento da classe moderadamente alta têm influência no histórico do uso e ocupação na região, que nos últimos 30 anos passou a ter atuação significativa da monocultura do eucalipto para extração.

A última classe, classe alta, teve uma presença irrisória e esporádica alta. Esta classe que representa a maior proteção para a cobertura vegetal apresentou o seu máximo em 2004 com apenas 0,07 % de toda a área da bacia. Já nos anos de 1989 e 1999 valores muito baixos, enquanto que no ano 1992 não foi observado, e desaparecendo nos anos de 2011 e 2018 na bacia.

Tabela 4

Distribuição dos valores de área e percentual do NDVI nos seis diferentes cenários na bacia hidrográfica do Ribeirão das Cabras.

Classes	1986	1992	1999	2004	2011	2018
1. Corpo hidrico/solo exposto/urbano	0,008 km ²	0,033 km ²	0,076 km ²	0,26 km ²	0,34 km ²	0,49 km ²
1. Percentual (%)	0,02	0,08	0,18	0,63	0,81	1,2
2. Baixa	0,72 km ²	0,41 km ²	1,05 km ²	0,44 km ²	0,49 km ²	0,75 km ²
2. Percentual (%)	1,7	0,99	2,5	1,1	1,2	1,8
3. Moderadamente baixa	6,14 km ²	4,62 km ²	3,00 km ²	3,90 km ²	3,45 km ²	5,48 km ²
3. Percentual (%)	14,9	11,2	7,3	9,4	8,3	13,3
4. Moderada	31,2 km ²	24,5 km ²	19,3 km ²	19,7 km ²	21,9 km ²	21,8 km ²
4. Percentual (%)	75,5	59,2	46,8	47,6	52,9	52,7
5. Moderadamente alta	3,27 km ²	11,8 km ²	17,9 km ²	17,1 km ²	15,2 km ²	12,9 km ²
5. Percentual (%)	7,9	28,6	43,3	41,3	36,7	31,2
6. Alta	0,003 km ²	0	0,005 km ²	0,032 km ²	0	0
6. Percentual (%)	0,01	-	0,01	0,07	-	-

Adaptado de Melo (2011) e Aquino, et al. (2016).

A análise temporal para a classe Corpo hídrico observa-se um avanço considerável a partir do período entre 1999 e 2004 (Figura

3). Esse resultado mostra que a hidrologia da drenagem fluvial deixa claro que essa evolução corresponde a corpos hídricos para a retenção de água (açudes ou represas). Essas barreiras artificiais realizadas nos cursos d'água podem beneficiar aumentando da atividade agrícola nas proximidades da represa. Entretanto, essas estruturas apresentam impactos socioambientais negativos que não podem ser desprezados dentre eles pode-se citar:

- Retenção de sedimentos a montante dos barramentos e podendo gerar condições de erosão nas margens e no leito a jusante;
- Alteração das condições hidrodinâmicas da rede de drenagem, produzindo modificações da qualidade da água a montante e a jusante dos barramentos;
- Criação de barreiras artificiais para peixes migratórios e aumento a possibilidade de introdução de espécies exóticas no meio, que melhor se adaptam as condições hidrodinâmicas geradas pelos barramentos;
- Desenvolvimento de plantas invasoras, como os aguapés, prejudicando a qualidade de água e todo o ecossistema local.

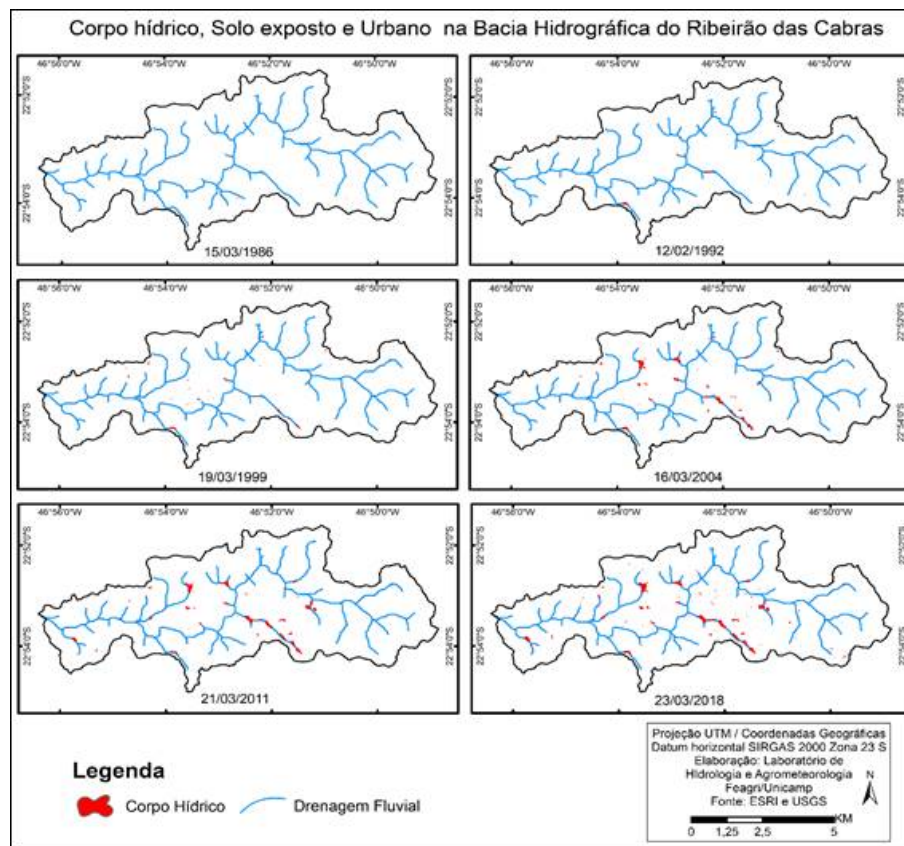


Figura 3

Mapa do NDVI na classe corpo hídrico/solo exposto/urbano em seis diferentes cenários na bacia hidrográfica do Ribeirão das Cabras ESRI e USGS (2018).

O crescimento dos açudes e suas problemáticas ganham destaque quando observamos o aumento das enchentes e inundações esporádicas que ocorrem nos distritos de Sousas e Joaquim Egídio. Há relatos históricos de moradores e da imprensa sobre desastres que aconteceram

sequencialmente nos anos de 2000, 2002, 2006, 2010 e 2016. Alguns registros foram acompanhados de colapso de estruturas de barragem na bacia, que potencializaram os efeitos das chuvas intensas.

Em 2002 a Prefeitura de Campinas em nota no Diário Oficial entrou com ação judicial para pedir o ressarcimento dos valores referentes aos danos sofridos pelo Município causados pelas barragens que se romperam. A nota oficial resumida afirma:

A Prefeitura de Campinas vai propor, na próxima semana, ação judicial contra os proprietários dos imóveis onde se situavam as barragens que romperam e inundaram Sosas e Joaquim Egídio em fevereiro passado. O objetivo da ação, que será estendida ao Governo de São Paulo, é pedir o ressarcimento ao erário dos valores referentes aos danos sofridos pelo Município. A Prefeitura gastou pelo menos R\$ 340 mil para reconstruir estradas e pontes e recuperar as áreas atingidas pelo volume de água resultante do rompimento dos açudes. A Administração Municipal também entrará com uma representação no Ministério Público Estadual relatando as ocorrências que resultaram no rompimento das barragens. O relato destacará, especialmente, o que diz respeito à negligência quanto à fiscalização por parte do Estado (...). As ações da Prefeitura são baseadas no resultado do Laudo de Causalidade feito pela Unicamp sobre o alagamento. O laudo apontou como causa da enchente nos distritos o rompimento dos açudes e não o volume de água decorrente da chuva que atingiu a região naquela data (CAMPINAS, 2002, p.01).

Outra consequência importante ambiental provocada pelas enchentes e, principalmente, inundações é a alteração nos ciclos de reprodução dos vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças, por meio da proliferação de locais com águas residuais, resíduos sólidos (lixo), silte e material em decomposição que recobrem as ruas e os solos após as inundações.

Freitas e Ximenes (2012) relacionam a alteração do ambiente com um aumento considerável na quantidade de mosquitos, moscas e ratos, assim como aumento da contaminação fecal por parasitas e vermes. E, mesmo em situações onde não se diagnosticou aumento na população de vetores, hospedeiros e reservatórios, identificou-se o potencial aumento na exposição função dos frequentes desalojamentos da população.

Na região de jusante da bacia do baixo Ribeirão das Cabras encontra-se o aglomerado urbana de Joaquim Egídio e de Sosas, onde esse problema ocasionado por agentes etiológicos se torna realidade com o aumento da incidência dos índices de febre amarela, dengue, chicungunha e diarreia infantil. Esses resultados são explicitados em informativos da Secretaria Municipal de Saúde na última década. Doenças que são potencializadas direta ou indiretamente por influência da água e suas condicionantes hidrológicas extremas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O procedimento aplicado buscou a aplicação do sensoriamento remoto integrado ao SIG como ferramenta de análise ambiental, monitoramento das alterações da cobertura vegetal e ainda, a relação socioambiental em bacias hidrográficas, com enfoque na cobertura vegetal de maneira multitemporal, favorecendo como relevante gerador de informações para

o planejamento e gestão ambiental para diferentes escalas em bacias hidrográficas.

O NDVI pode ser utilizado facilmente para entender e analisar a dinâmica da cobertura vegetal em diferentes tipos de escala e sazonalidades. Em um período de 32 anos, foi possível por meio do uso de imagens de satélite e do cálculo do índice de vegetação identificar um visível processo de perda da cobertura vegetal em alguns lugares na bacia hidrográfica do Ribeirão das Cabras, bem como o acréscimo da densidade vegetal em outros.

O trabalho realizado também ilustrou outro aspecto que o NDVI pode resultar, a evolução ou regressão de cenários dissemelhantes a vegetação. O crescimento dos corpos hídricos sobressaiu durante o período escolhido, sendo comprovado com a sobreposição da drenagem local. Esse aspecto cria uma nova perspectiva de pesquisa destinada especificamente ao resultado encontrado. Assim, se fazem necessárias as pesquisas que investiguem estas questões com maior profundidade, analisando a aplicação de novos índices que poderão fornecer resultados superiores aos obtidos por meio da análise feita somente nesse índice de vegetação, a fim de se aplicar novos métodos, modelos e cálculos para caracterizar os potenciais riscos de danos produzidos por eventos hidrológicos extremos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro fornecido à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH): Sistema HidroWEB. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso: 20 jan. 2017.
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land: Advanced Training and Users Manual. Idaho Implementation, version 1.0, Kimberly, ID, 2002.
- AQUINO, C.M.S.; DIAS, A.A.; SANTOS, F.A. Análise temporal do ndvi da bacia hidrográfica do Rio Longá, Piauí. Revista Formação, vol.3; n.23, maio, 2016. p.248-263.
- BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D.T. SAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation. In: Canadian Symposium on Remote Sensing, 12, 1989, Vancouver. Anais...Ottawa: Canadian Remote Sensing Society, 1989, p.1195-1197.
- BELTRAME, A.V. Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- BRAZ, A.M.; ÁGUAS, T.A.; GARCIA, P.H.M. Análise de índices de vegetação ndvi, savi e índice de área foliar (iaf) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho, município de

- Selvéria – MS. Revista Percurso – NEMO, Maringá, v. 7, n. 2, 2015, p.05-22.
- CAMPINAS. Governo aciona donos de açudes responsáveis por enchente. In: Diário Oficial do Município. Sábado, 08 de Junho, nº 7.954, 2002, p.1.
- CAMPINAS. Mapeamento das áreas verdes do município de Campinas. Arquivos técnicos. Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Campinas/SP. 2010.
- CAMPINAS. Situação dos recursos hídricos da Bacia do Ribeirão das Cabras: identificação, caracterização e georeferenciamento dos açudes, poços, represas e das nascentes da subbacia do Alto Ribeirão das Cabras. Projeto APA de Campinas. Relatório Final, 3ª Fase. Prefeitura Municipal de Campinas, 2012, 37p.
- DEMARCHI, J.C.; PIROLI, E.L.; ZIMBACK, C.R.L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP usando imagens Landsat-5. Revista Ra'ega, v. 21, 2011, p.234-271.
- ECKERT, S.; HÜSLER, F.; LINIGER, H.; HODEL, E. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. Journal of Arid Environments, v. 113, 2013, p.16-28.
- FREITAS, C.M.; XIMENES, E.F. Enchentes e saúde pública: uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. Ciência e Saúde Coletiva, 17(6), 2012, p.1601-1615.
- GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C.P.B.; SILVA NETO, T.A.; LOPES, M.F.L.; DUARTE, C.R.; SOUTO, M.V.S.; ZIMBACK, C.R.L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. Terræ, 13(1-2), 2016, p.15-22.
- GOULART, A.C.O. Relação entre índices de vegetação e a precipitação pluviométrica no município do Rio de Janeiro. Monografia. Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2013, 47p.
- GROVE, R. & ADAMSON, G. El Niño in World History. Publishing Company Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK, v. 1, 2018, 245p.
- GUIRAO, A. C. Processos hidrológicos e biogeoquímicos em bacias hidrográficas de floresta estacional semidecidual em Campinas, SP. Tese de doutorado. Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2015, 352p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais Climatológicas do Brasil, 1961-1990, Brasília, DF, 1999. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso: 30 dez. 2016.
- JACKSON, R.D. HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. Preventive veterinary Medicine, 11, 1991, p.185-200.
- MELO, E.T.; SALES, M.C.L.; OLIVEIRA, J.G.B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR. Revista RADEGA, v. 23, 2011, p.520-533.

- MONTEIRO, T.R.R. Uso dos solos, índices de vegetação e degradação na APA das Onças/PB. Dissertação de mestrado. UFPB, CCEN, João Pessoa, PB, 2013, 104p.
- NEZLIN, N.P.; KOSTIANOY, A.G.; LI, B. Inter-annual variability and interaction of remote-sensed vegetation index and atmospheric precipitation in the Aral Sea region. *Journal of Arid Environments*, London, v. 62, n. 4, 2005, p.677-700.
- OLIVEIRA, L.G.L.; PEREIRA, L.M.; PEREIRA, G.; MORAES, E.C.; MAEDA, E.F. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. Anais INPE. Florianópolis, SC, 2007, p.5995-6002
- OLIVEIRA, T.C.; FERREIRA, E.; DANTAS, A.A.A. Temporal variation of normalized difference vegetation index (NDVI) and calculation of the crop coefficient (Kc) from NDVI in areas cultivated with irrigated soybean. Santa Maria/RS. *Revista Ciência Rural*, v.46, n.9, set, 2016, p.1683-1688.
- PARISE, F.J.O. & VETTORAZZI, C.A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: Relações com a resposta espectral. *Revista Brasileira Fruticultura*, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, 2005, p.43-47.
- RIZZI, R. Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no RS. Tese de doutorado. INPE, São José dos Campos, SP, 2004. 212p.
- ROSENDO, J.S; ROSA, R. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. In: Anais. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, Florianópolis, SC, 2007, p.4209-4216.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Greenbelt: National Aerospace Spatial Administration, MD:, NASA/GSFC Type III, Final Report, 1973. 371p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Using the USGS Landsat 8 Product. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>. Acesso: 22 mai. 2019.