

Application of the Topographic Wetness Index (TWI) and Phenological Metrics, in the temporal analysis of the vegetation cover behavior in the Northeastern Bahia Mesoregion

Lucas A. Fernandes*, Udmilla M. C. Fortunato**, Elane F. Borges***

*Bacharelado em Geografia, Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. E-mail: lucas.amorimfernandes@gmail.com

**Bacharel em Geografia, Licencianda em Geografia, Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS.

E-mail: udfortunato@gmail.com

***Prof. Dra., Departamento de Ciências Humanas e Filosofia, Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS.

E-mail: elaneborges@gmail.com

Received 28 September 2021; accepted 22 November 2021

Abstract

The Topographic Wetness Index (TWI) is related to the distribution of saturation zones of surface water and water in the soil. In view of this, the occurrence of events related to plant phenology in semi-arid regions is usually influenced not only by rainfall rates, but also by water availability for vegetation. Analogously, this study aimed to analyze the plant phenology from the phenological metrics and relate them to the TWI, associating them to the Desertification process in the Caatinga biome. The applied methodology consisted in generating the TWI in the QGIS and SAGA GIS softwares, with the acquisition of the Digital Terrain Model (DTM) and spatial resolution of 30 meters. Then, the phenological metrics were extracted through MODIS/Terra (MOD13Q1) images that contain the vegetation index (EVI) corresponding to the temporal period from 2001 to 2017, being clipped in ENVI software and processed in TIMESAT program with the application of Savitzky-Golay smoothing filter. As main results the TWI indicated low humidity values in the higher regions and less prone to water saturation in the study area, and the highest values are in the flat/smoothed areas of the Pole more prone to water saturation. The phenological metrics extracted indicated a better analysis of the seasonal behavior of vegetation, specifically drought events in the Jeremoabo Pole. In this regard, the crossing of data between TWI and Phenological Metrics through cross-tabulation, offered better behavioral detailing between both variables in the region, and the metrics showed direct relations to the climatic seasonality of the region.

Keywords: desertification, sensor modis, vegetation index, remote sensing, geoprocessing.

Aplicação do Índice Topográfico de Umidade (TWI) e Métricas Fenológicas, na análise temporal do comportamento da cobertura vegetal na Mesorregião do Nordeste da Bahia

Resumo

O Índice Topográfico de Umidade (TWI) está relacionado a distribuição das zonas de saturação de água superficial e da água no solo. Haja vista, a ocorrência de eventos relacionados a fenologia vegetal em regiões semiáridas geralmente está influenciada não somente pelos índices pluviométricos, mas também pela disponibilidade hídrica para a vegetação. Analogamente, esse estudo objetivou-se analisar a fenologia vegetal a partir das métricas fenológicas e relacioná-las ao TWI, associando-os ao processo de Desertificação no bioma Caatinga. A metodologia aplicada consistiu na geração do TWI nos softwares QGIS e SAGA GIS, com a aquisição do Modelo Digital de Terreno (MDT) e resolução espacial de 30 metros. Logo, as métricas fenológicas foram extraídas por meio das imagens MODIS/Terra (MOD13Q1) que contém o índice de vegetação (EVI) correspondendo ao período temporal de 2001 a 2017, sendo recortadas no software ENVI e processadas no programa TIMESAT com a aplicação do filtro de suavização *Savitzky-Golay*. Como principais resultados o TWI indicou valores baixos de umidade nas regiões mais elevadas e menos propícias a saturação hídrica na área de estudo, sendo que os maiores valores estão nas áreas planas/suavizadas do Polo mais propícias a saturação hídrica. As métricas fenológicas extraídas indicaram melhor análise do comportamento sazonal da vegetação, especificamente eventos de seca no Polo de Jeremoabo. No tocante, o cruzamento dos dados entre o TWI e as Métricas Fenológicas por meio da tabulação cruzada, ofereceram melhor detalhamento comportamental entre ambas as variáveis na região, sendo que as métricas apresentaram relações diretas a sazonalidade climática da região.

Palavras-chave: desertificação, sensor modis, índice de vegetação, sensoriamento remoto, geoprocessamento.

1. Introdução

A Caatinga é o terceiro bioma mais degradado do Brasil devido as modificações provocadas pelo desmatamento nos últimos anos, atrás apenas da Floresta Amazônica e do Cerrado. Estimam-se que cerca de 80% da sua vegetação nativa esteja modificada pelas ações antrópicas do extrativismo e atividades agropastoris, desencadeando, dessa maneira, a instalação do processo de desertificação comprometendo o equilíbrio ecológico e a resiliência ambiental nesse bioma (Araújo Filho, 1996; Myers et al., 2000; Souza et al., 2015; Oliveira Júnior, 2019).

Segundo o Artigo 1 da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), a desertificação é um “processo de degradação das terras em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de variações climáticas e atividades humanas” (Matallo Junior, 2009) gerando consequências ambientais e econômicas. A ação antrópica acirra as condições de vulnerabilidade à desertificação nas terras secas à medida que realiza a supressão da vegetação natural e utiliza os solos e os recursos hídricos de maneira insustentável. O rebatimento de tais ações implicam na existência de regiões onde a desertificação já está instalada com modificações que diminuem a presença da cobertura vegetal por longos períodos temporais (Souza et al., 2015).

São características do bioma Caatinga a variedade de fitofisionomias que são influenciadas pelo clima quente e muito seco, e pelo baixo índice pluviométrico somado a grande irregularidade das chuvas. Essa região apresenta um mosaico de arbustos espinhosos e florestas secas - detém uma fisionomia marcada por cactáceas e bromélias, plantas espinhosas e decíduais, as quais têm influência direta dos efeitos da sazonalidade climática, com variações de coloração cinzenta no período seco e verdejante no chuvoso (Ganem, 2017).

Às diversas espécies vegetais presentes no bioma Caatinga apresentam consideráveis adaptações fisiológicas às condições estressantes desencadeadas pelo clima semiárido em decorrência desse fator, sendo que algumas espécies desse bioma possuem padrões fenológicos marcados pela rápida renovação das copas em períodos chuvosos e, as espécies caducifólias em alguns períodos da estação seca (Japiassú et al., 2016).

Estudos relacionados ao comportamento fenológico de espécies da Caatinga ainda são muito escassos. De acordo com Lima (2010) alguns estudos apontam o regime pluviométrico como precursor do comportamento fenológico na Caatinga

(Pereira et al., 1989; Machado et al., 1997; Griz e Machado, 2001). Haja vista, outros estudos realizados enfatizam que algumas espécies desse bioma não apresentam seu comportamento fenológico diretamente ligado ao regime pluviométrico (Barbosa et al., 1989; Amorim et al., 2009).

Estudos relacionados a fenologia são realizados por meio de controle a partir das observações terrestres, as quais demandam longos períodos de tempo e, são muito pontuais (Penatti, 2014). Dito isto, o Sensoriamento Remoto tem sido nos últimos anos muito utilizado para o monitoramento da fenologia da vegetação por meio de imagens de satélite, com sensores de alta resolução temporal, como por exemplo o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) presente nas plataformas Terra e Aqua. De acordo com Rosendo e Rosa (2005) o MODIS disponibiliza uma variedade de pacotes de produtos, sendo importante destacar o MOD13Q1 – Índice de Vegetação o qual dispõe dois índices de vegetação essenciais para análise da cobertura vegetal, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*).

Com a utilização do sensoriamento remoto, a análise fenológica pode ser feita por séries multitemporais de índices de vegetação, a partir de dados relacionados a “evolução temporal da radiação fotossinteticamente ativa absorvida e, ao ciclo fenológico da vegetação” (Penatti, 2014, p. 61), sendo que, a partir desses índices temporais de vegetação são extraídas as métricas fenológicas. Para Borges (2014) tais métricas, no que tange as características climáticas, sejam elas temperatura, índice e regime de chuvas, relacionam-se aos diversos tipos de vegetação e também ao tipo de cultivo e manejo (vegetação antropizada).

O objetivo dessa pesquisa consistiu em analisar a fenologia vegetal através das métricas fenológicas e relacioná-las ao Índice Topográfico de Umidade, selecionando e comparando as métricas com o TWI, associando os resultados com o processo de Desertificação na área de estudo.

2. Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo na qual está aplicada a pesquisa, é o Polo de Jeremoabo, sendo composto por 13 municípios baianos: Antas, Canudos, Chorrochó, Coronel João Sá, Glória, Jeremoabo, Macururé, Novo Triunfo, Paulo Afonso, Pedro Alexandre, Rodelas, Santa Brígida e Uauá (Figura 1).

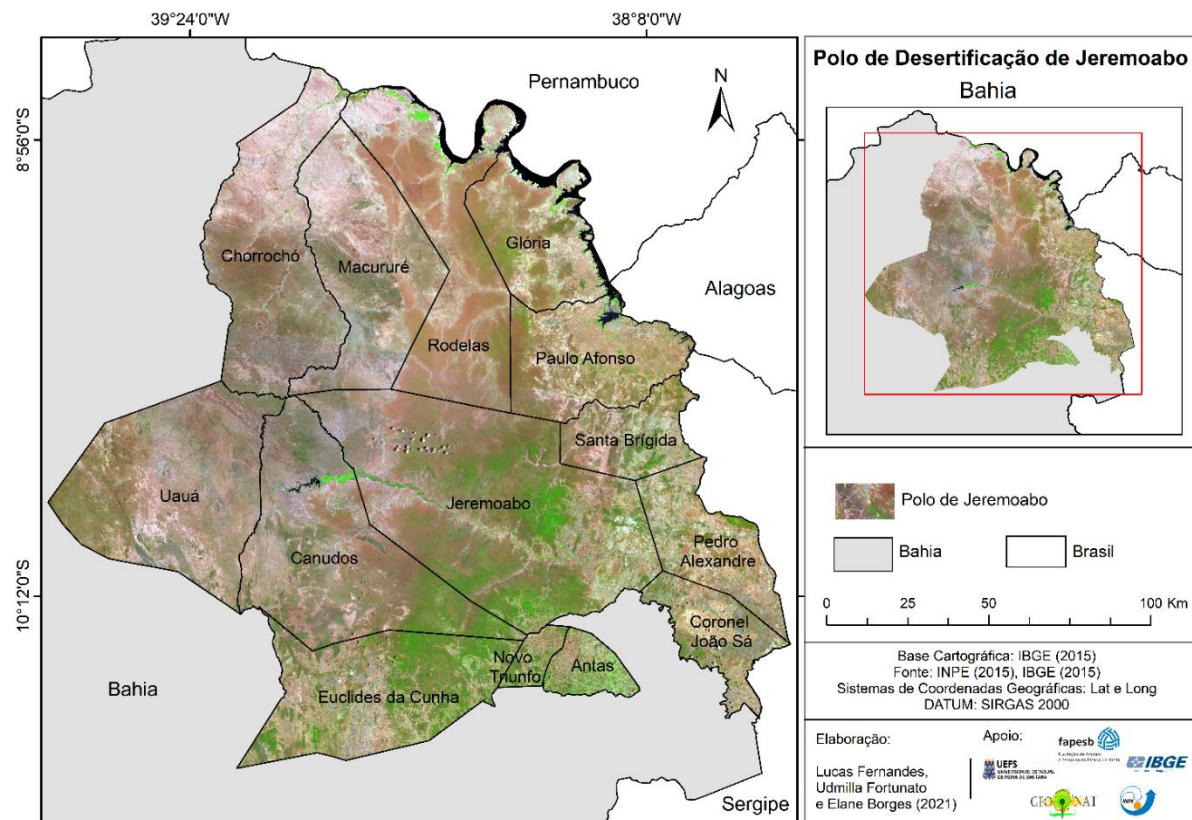


Figura 1- Localização do Polo de Desertificação de Jeremoabo, na mesorregião do Nordeste da Bahia.

O Polo está inserido na ASD (Área Susceptível a Desertificação) localizado em uma região com baixos índices pluviométricos, elevadas temperaturas, chuvas concentradas em apenas três meses com valores elevados de evapotranspiração potencial, tendo déficit hídrico em quase todos os meses do ano, ou seja, seus ecossistemas são frágeis e vulneráveis, podendo desencadear o processo de desertificação (Bahia, 1999).

Segundo Oliveira Júnior (2014) diversos estudos científicos enfatizaram a existência de regiões nesse Polo, onde o processo de degradação ambiental está em estágio avançado, devido as atividades antrópicas sobre as suas feições vegetais em solos de superfícies arenosas. O período chuvoso na área de estudo ocorre geralmente nos meses de dezembro a março, podendo ter anos com índices pluviométricos de até 1000 mm, como também anos com apenas 200 mm (Maia, 2012).

Extração das métricas fenológicas

Para a realização desta pesquisa adquiriram-se as imagens MODIS/Terra, produto MOD13Q1 (*Vegetation Index 16-Day L3 Global 250 m*) que contém o EVI.

Utilizou-se exclusivamente o EVI, pois o dado de interesse restringe ao estrato superior da

vegetação e o que apresenta maior diversidade, que segundo Teles (2015), possui maior sensibilidade à variação do índice área foliar e é mais sensível aos efeitos de iluminação solar do que o NDVI, este com a função de realçar diferentes tipos de fitofisionomias, contudo com influências no brilho e efeitos espectrais do solo, reduzindo resultados das avaliações da vegetação (Demarchi et al., 2011). Foram adquiridas 391 imagens para um período compreendido entre os anos de 2001 e 2017, totalizando 23 imagens por ano. Esses dados foram recortados no software ENVI segundo os limites da área de estudo - Polo de Jeremoabo, organizados de forma que cada imagem fosse identificada com seus respectivos números e em ordem cronologicamente compondo uma lista - a série temporal.

A série temporal foi processada no programa computacional TIMESAT 3.1.1 (Figura 2), no primeiro momento testaram-se três filtros de suavização disponibilizados pelo software: Logística Dupla, Savitzky-Golay e Gaussiano Assimétrico para verificar qual teria melhor desempenho. Foi selecionado o Savitzky-Golay, pois esse filtro suavizou os dados da série temporal, corrigindo os valores dos pixels ruidosos encontrados (Costa, 2011; Verica, 2018; Trindade et al., 2019).

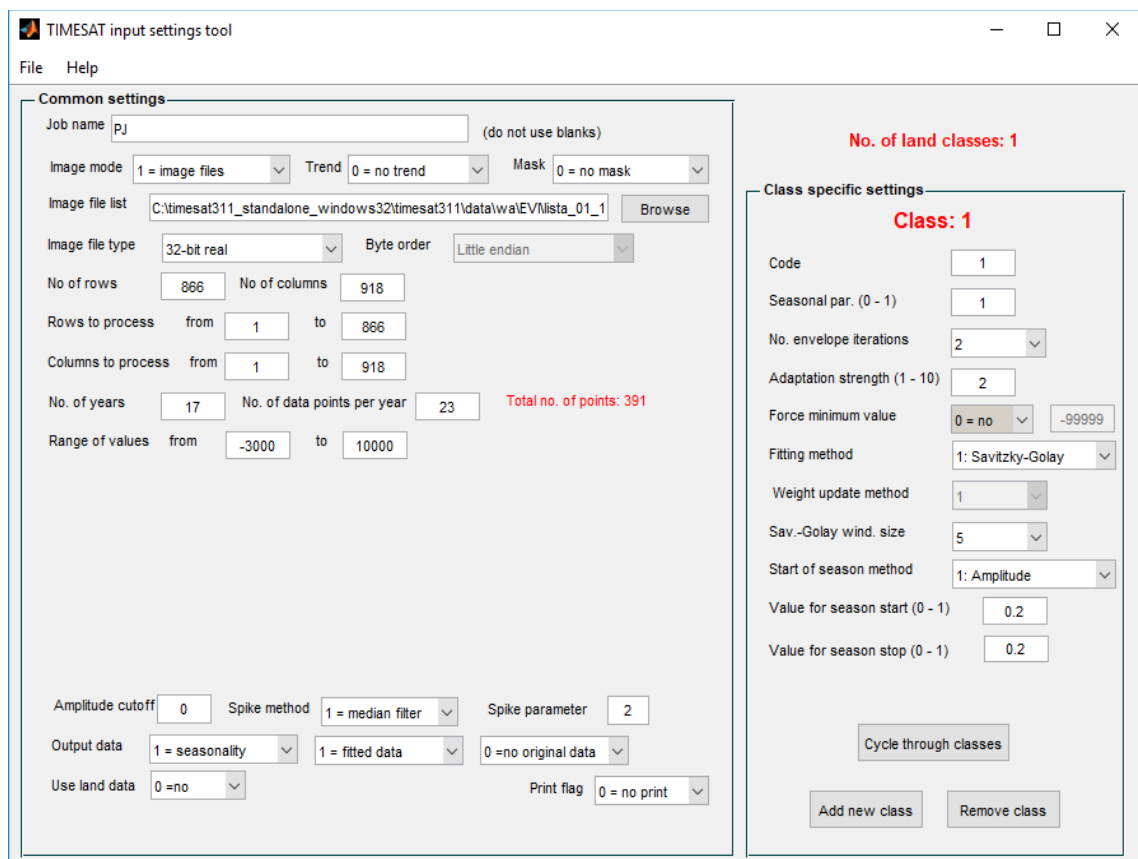


Figura 2- Arquivo de configuração no programa TIMESAT com os parâmetros de filtragem da série temporal.

Aquisição do MDT (Modelo Digital de Terreno) e geração do TWI (Índice Topográfico de Umidade)

O MDT foi adquirido na plataforma da USGS (United States Geological Survey) através de um conjunto de dados relacionados ao Modelo de Elevação Digital (Digital Elevation) e ao SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) no parâmetro de aquisição SRTM 1 Arc-Second Global, com resolução espacial de 30 x 30 metros. Devido a área de estudo ser extensa, a aquisição dos dados se deu por meio de oito cenas: s09_w039_1arc_v3; s09_w040_1arc_v3; s10_w038_1arc_v3; s10_w039_1arc_v3; s10_w040_1arc_v3; s11_w038_1arc_v3; s11_w039_1arc_v3; s11_w040_1arc_v3.

A etapa seguinte consistiu na reprojeção das cenas no software ArcGIS 10.4 para SIRGAS 2000 UTM zona 24s, utilizando a ferramenta *Project Raster*. Logo em seguida foi realizado o mosaico das mesmas em um novo conjunto de dados utilizando a ferramenta *Mosaic to New Raster*, que possibilitou a mesclagem de vários conjuntos de dados raster para um único conjunto de dados.

Com o MDT disponibilizado pelo SRTM (Valeriano e Rossetti, 2012) este com resolução espacial de 30 x 30 metros, foi gerado o mapa de declividade da área de estudo, posteriormente calculou-se o TWI nos softwares QGIS 3.0 Girona e

SAGA GIS 7.2, utilizando a ferramenta *Saga wetness index* para gerar o TWI. Este índice está relacionado a distribuição das zonas de saturação de água superficial e da água no solo, estimando balanços entre o acúmulo de água e a capacidade de drenagem em escala local.

O TWI é representado pela expressão da Equação 1 (Beven e Kirkby, 1979):

$$TWI = \ln \frac{\alpha}{\tan \beta} \quad (1)$$

sendo α a área de contribuição e β a declividade em radianos.

Reamostragem e tabulação cruzada

Neste estudo foi necessário padronizar o tamanho do pixel do dado referente ao TWI com o pixel dos dados MODIS. Para tanto, realizou-se uma reamostragem do dado original do TWI, passando de 30 x 30 metros para 250 x 250 metros, o mesmo tamanho do pixel das métricas fenológicas extraídas do Sensor MODIS, a fim de viabilizar a tabulação cruzada entre ambas as variáveis, de modo que fosse possível analisar a relação entre as duas variáveis (TWI e métricas fenológicas). Após esse processo foi definido o método de interpolação para a reamostragem pela ferramenta no ArcGIS

denominada *Resample*, a qual altera a resolução espacial de um conjunto de dados definindo novas regras na interpolação de valores nos novos tamanhos do pixel reamostrado. O método escolhido foi *Nearest* (vizinho mais próximo) o qual executa atribuição de vizinho mais próximo, sendo este método o mais rápido.

A etapa seguinte consistiu na reclassificação das variáveis utilizando a ferramenta *Reclassify*, pois as métricas fenológicas apresentaram dados contínuos sendo fatiadas em intervalos de classes de natureza contínua (*Natural Breaks*) com o método de quebras naturais, permitindo estabelecer os intervalos de modo a minimizar a variância intraclasse, isto é, os grupos tendem a apresentar, internamente, estimativas semelhantes de probabilidades (Jenks, 1967; Valladares et al., 2012; Borges e Sano, 2014).

Para a reclassificação das variáveis definiu-se intervalo de três classes para o TWI e as

métricas fenológicas, sendo feito em seguida o cruzamento dos dados de TWI (umidade) com cada métrica fenológica (vegetação) utilizando-se a ferramenta *Tabulate Area*. Essa ferramenta permite a tabulação simultânea de duas variáveis, possibilitando observar seu comportamento e variação entre cada classe definida.

3. Resultados e discussão

Conforme observa-se na Figura 3, o TWI na área de estudo apresentou variações de 5.2 a 18.0, sendo que nas áreas mais íngremes do Polo os valores encontrados foram de 5.2 a 9.4 em praticamente todos os municípios, mais precisamente na região centro-sul onde têm-se predominância de solos rasos com pouca profundidade do tipo Neossolos Litólicos Distóficos (baixa fertilidade) e Eutróficos (elevada fertilidade), sendo que nas áreas de relevo mais planos os valores encontrados foram de 10.9 a 18.0 nas regiões centro-sul e leste do Polo, regiões essas com predominância de solos rasos do tipo Neossolos Quartzarênicos.

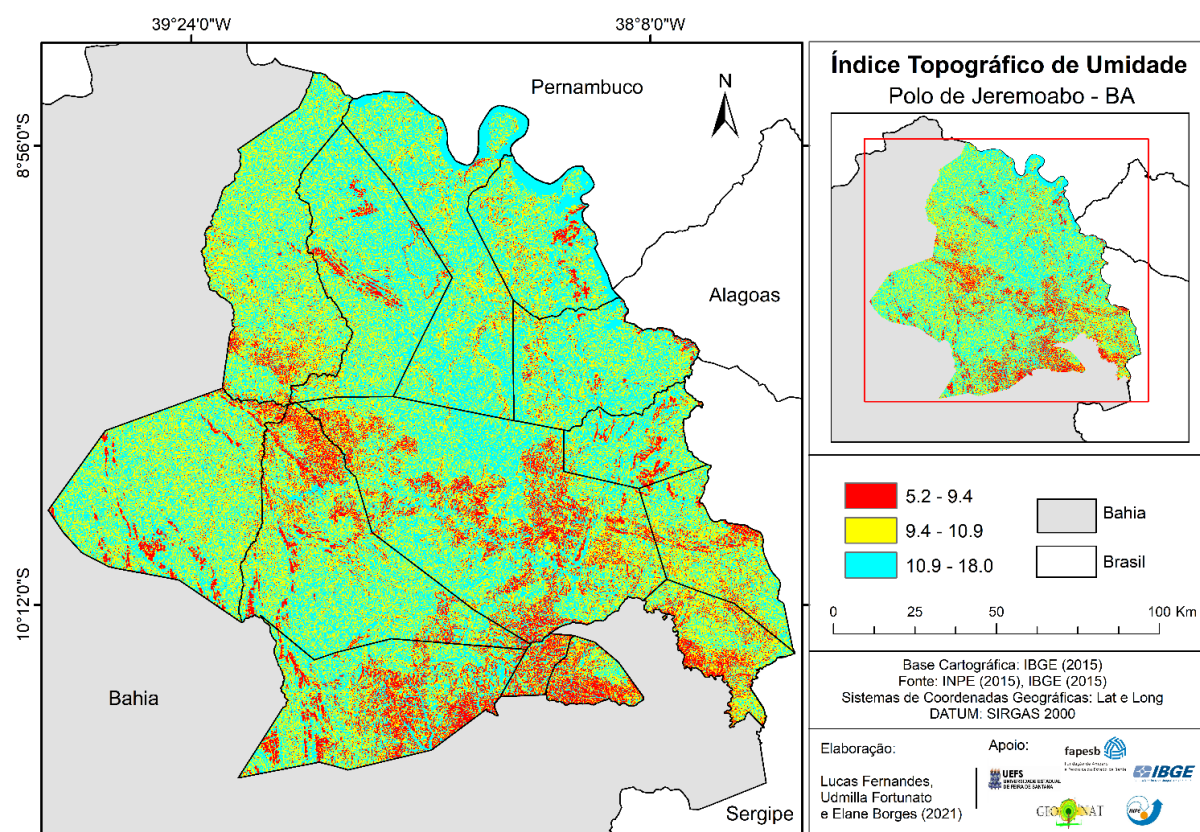


Figura 3- Índice Topográfico de Umidade (TWI) do Polo de Jeremoabo-BA.

No Polo de Jeremoabo os valores mais baixos registrados no TWI, próximos de 5.2 a 9.4, correspondem as áreas menos propícias a saturação hídrica, pois apresentam relevo íngreme e áreas de contribuição reduzida, ou seja, o teor de água no

solo é baixo. Entretanto, os valores registrados próximos de 10.4 a 18.0 correspondem às áreas mais planas no Polo, cuja contribuição da montante é maior e a declividade do relevo é mais suavizada, proporcionando maior índice de saturação hídrica no

solo, seja periódica ou permanente, com elevado teor de água no solo (Hung et al., 2017).

A Figura 4 representa o comportamento médio das métricas fenológicas derivadas do produto EVI do sensor MODIS, referentes aos 16 ciclos completos das variações anuais da vegetação no Polo de Jeremoabo, durante os anos de 2001-2017. A partir da observação comparativa do comportamento das métricas e do TWI (Figura 5), nota-se que ambas as variáveis apresentaram padrões espaciais concordantes em algumas regiões do Polo: centro-sul e leste.

Essas imagens representadas (Figura 4 a-f) sintetizam as assinaturas espectro-temporais de EVI da área em estudo, pois apresentam variabilidades inter e intra-anuais distintas relacionadas a classe de cobertura vegetal natural e/ou antrópica (Borges e Sano, 2014) e a umidade topográfica presente. Com exceção da métrica de comprimento (Figura 5b), todas as outras apresentaram elevados valores nas regiões sudeste e sul do Polo, especificamente nos municípios de Euclides da Cunha (sul) e Pedro Alexandre, Jeremoabo, Novo Triunfo, Coronel João Sá e Santa Brígida (sudeste).

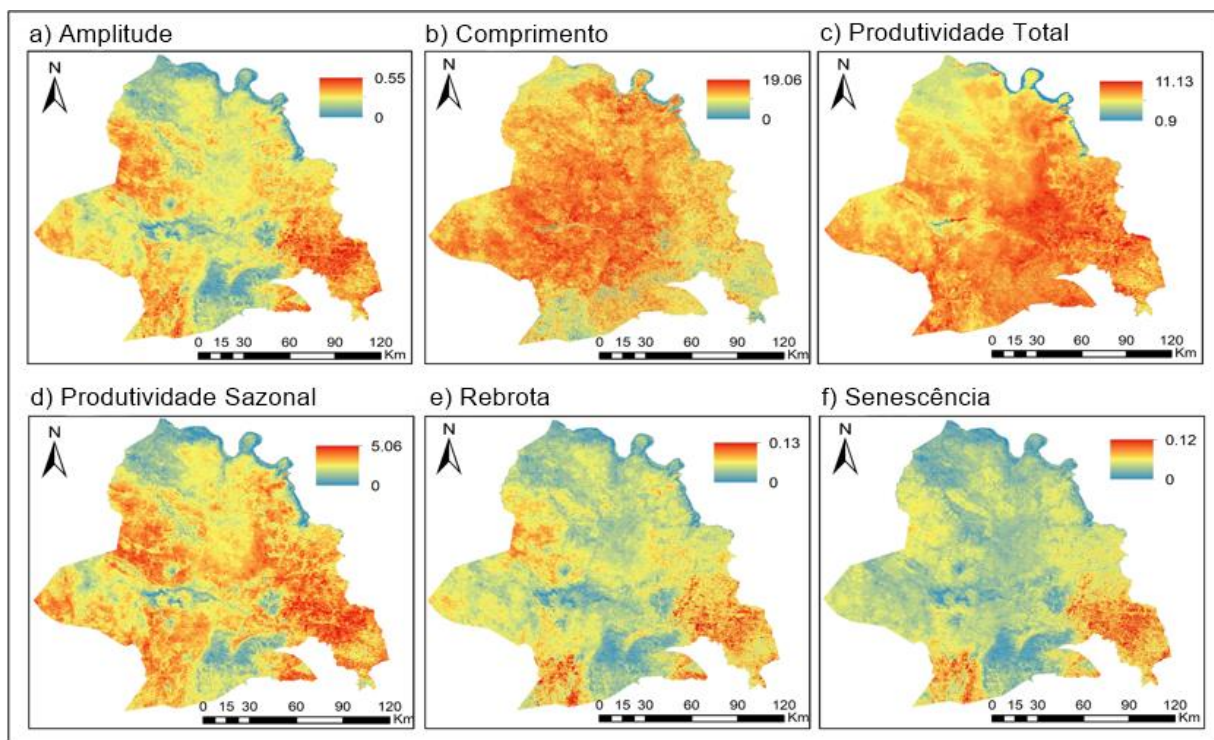


Figura 4: Métricas fenológicas extraídas da série temporal de EVI do período temporal de 2001 a 2017, no Polo de Jeremoabo-BA.

As métricas fenológicas apresentam variações conforme a paleta de cor utilizada, cujas cores frias indicam os menores valores e as cores quentes os valores mais elevados. Nota-se que as métricas de rebrota (Figura 4e) e senescência (Figura 4f) em praticamente todo o Polo obtiveram menores valores, pressupondo-se que as mesmas apresentam relação direta com o efeito da sazonalidade climática anual da região e distribuição das chuvas ao longo do ano.

Em seus estudos Penatti (2014) afirma que métricas fenológicas consiste em parâmetros descritivos relacionados aos períodos de verdejamento da vegetação, tendo fator primordial a estimativa das diversas fases de desenvolvimento do ciclo anual da vegetação. No tocante, a partir da observação do recorte das métricas fenológicas percebe-se algumas variabilidades em seu

comportamento fenológico, pois acredita-se que essas regiões possuam ciclos vegetativos diferentes.

A Figura 5 corresponde aos resultados da tabulação cruzada das métricas fenológicas com o TWI relacionados à área de estudo, as quais apresentaram valores baixos a intermediários de correlação. No tocante, estas variáveis estão associadas as características naturais da cobertura vegetal (umidade) e antrópicas (manejo e uso da terra), bem como a umidade topográfica da região.

O período de início e duração do ciclo fenológico de cada tipo de vegetação variam de ano a ano, a depender das condições climáticas da região, todavia, essas condições climáticas, especialmente a umidade e a temperatura vão influenciar diretamente no comportamento fenológico de cada espécie (Larcher, 2000; Prause e Angeloni, 2000).

Para a métrica da média/amplitude (Figura 5a) os valores mais elevados na tabulação cruzada estão associados as classes com os valores intermediários do TWI, 9.4 a 10.9. No TWI esses valores estão concentrados na região central do Polo,

onde se encontra a vegetação de baixo porte do tipo Savânica-Estépica, apresentando adaptações à irregularidade hídrica, com relevo íngreme intermediária e valores não muito acentuados com relação a produtividade nesta classe (IBGE, 2004).

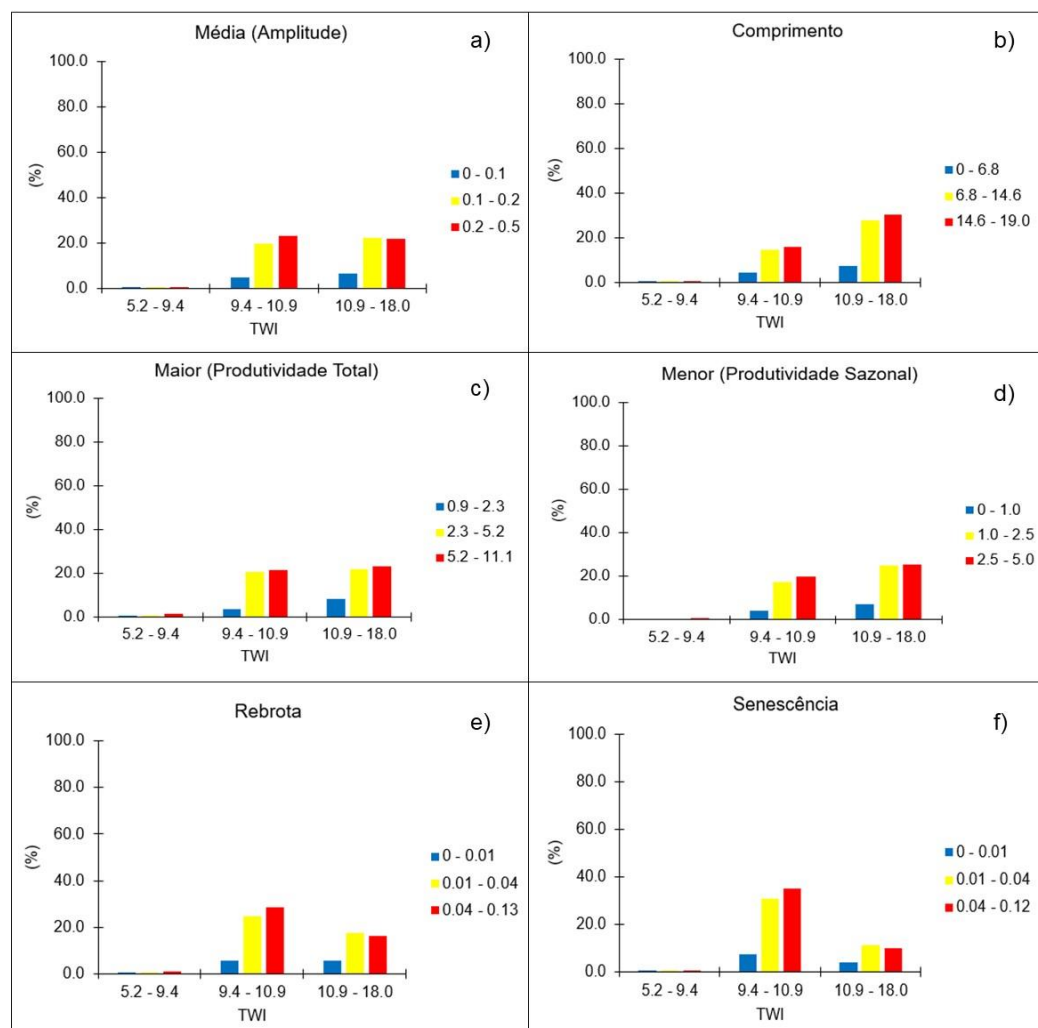


Figura 5: Resultados em (%) da tabulação cruzada entre as variáveis: Métricas Fenológicas e TWI, no Polo de Jeremoabo-BA.

A métrica de comprimento (Figura 4b) está relacionada à duração da rebrota da vegetação (verdeamento) e senescência (queda das folhagens). Os valores da tabulação cruzada da métrica de comprimento com o TWI mais elevados correspondem as áreas mais úmidas do Polo, com valores que variam de 10.9 a 18.0 (Figura 5b). Esses valores mais elevados encontrados estão associados a regiões do Polo onde a declividade é mais suavizada, proporcionando maior concentração de umidade em seus solos, cujas fitofisionomias apresentam a mesma duração sazonal, devido as adaptações climáticas da caatinga.

As áreas que apresentaram os menores valores entre a correlação do TWI com a métrica de comprimento, estão associadas a classe com menor umidade no Polo (5.2 a 9.4). Nessas áreas o relevo é

mais íngreme e acredita-se que são representadas por um ciclo de duração sazonal mais curto, que possivelmente estejam relacionadas a técnicas de agropecuária, com produção acelerada, condicionando maior exposição do solo.

Notadamente as métricas de produtividade total (figura 5c) e produtividade sazonal (figura 5d) não apresentaram resultados discrepantes na relação com o TWI. A maior proporção de produtividade total foi encontrada na classe de maior umidade (10.9 a 18.0) com valores de produtividade total de 5.2 a 11.1, onde a declividade do terreno no Polo é caracterizada como íngreme (menor umidade) a mais suavizada (maior umidade), sendo encontrada nessa área a classe de vegetação da formação Savânica-Estépica. Os menores valores da produtividade total corresponderam a classe 5.2 a

9.4 no TWI para com todas as classes de produtividade total, as quais podem estar associadas as atividades antrópicas (agropecuária).

Para a classe de produtividade sazonal os resultados encontrados estiveram muito próximos aos resultados da produtividade total. Nesta métrica os maiores valores encontrados na correlação com o TWI foram também na classe de maior umidade, 10.9 a 18.0, onde no Polo encontram-se as áreas com maior e menor declividade do terreno, pois as classes com valores de produtividade sazonal 1.0 a 2.5 e 2.5 a 5.0 apresentaram praticamente os mesmos valores na tabulação com o TWI, podendo estar associadas a todas as classes de cobertura vegetal presente no Polo, como por exemplo a classe de Formação Florestal que inicia seu período de rebrota durante os períodos chuvosos, diferentemente de outros tipos de vegetação. No tocante, esta variável encontra-se estritamente relacionada ao padrão sazonal vegetativo da região o que muitas das vezes o período de maior produtividade da vegetação esteja relacionado aos períodos chuvosos ou mais secos com menor umidade.

Quanto aos resultados encontrados na tabulação cruzada da métrica rebrota com o TWI, observaram-se que os maiores valores estão concentrados na classe intermediária de umidade, 9.4 a 10.9, esses localizados nas áreas de declividades intermediárias a suavizadas, ideais para práticas da agropecuária. De acordo com Borges e Sano (2014, p. 1276) “o ciclo de vida das culturas agrícolas anuais é o mais curto” considerando outras classes de uso e cobertura existentes no Polo, tais como a Formação Savânica-Estépica, Florestal e Campestre. Entretanto, os resultados para a tabulação da métrica senescência e TWI apresentaram seus maiores valores concentrados na classe intermediária de umidade, 9.4 a 10.9. Analogamente, esses resultados podem estar associados as áreas com menores declividades do Polo, o que possivelmente estão relacionadas as culturas agrícolas, as quais perdem de maneira brusca seu padrão vegetativo em períodos de estiagem.

4. Conclusão

O TWI indicou valores baixos de umidade nas regiões mais elevadas e menos propícias a saturação hídrica na área de estudo, sendo que os maiores valores indicaram as áreas planas/suavizadas do Polo, mais propícias a saturação hídrica, conforme esperado.

As métricas fenológicas extraídas indicaram melhor análise do comportamento sazonal da vegetação, especificamente os eventos de seca no Polo de Jeremoabo. No tocante ao cruzamento dos

dados entre o TWI e as Métricas Fenológicas por meio da tabulação cruzada ofereceram melhor detalhamento comportamental entre ambas as variáveis na área de estudo, sendo que tais métricas apresentaram relações diretas com a sazonalidade climática da região.

Recomenda-se a aplicação dessas variáveis, em outras regiões do semiárido que apresentam também o processo de desertificação.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo apoio para a realização desse estudo, ao grupo de pesquisa GeoNat (Natureza, Sociedade e Ordenamento Territorial) e, a Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

Referências

- Amorim, I.L.de, Sampaio, E.V.de, Araújo, E.deL., 2009. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. *Revista Árvore* 33, 491-499.
- Araújo Filho, J.A., 1996. Desenvolvimento Sustentável da Caatinga. Ministério da Agricultura/EMBRAPA/CNPC, Sobral.
- BAHIA. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia., 1999. Balanço hídrico do Estado da Bahia. SEI, Salvador.
- Barbosa, D.C.deA., Alves, J.L.deH., Prazeres, S.deM., Paiva, A.M.A., 1989. Dados fenológicos de 10 espécies arbóreas de uma área de caatinga (Alagoinha-PE). *Acta Botânica Brasílica* 3, 109-117.
- Beven, K.J., Kirkby, M.J., 1979. A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrology Science Bulletin* 24, 43-69.
- Borges, E.F., 2014. Discriminação e caracterização fenológica de classes de cobertura vegetal natural e antrópica do Oeste da Bahia a partir de séries temporais do sensor MODIS. Tese (Doutorado). Brasília, UNB.
- Borges, E.F., Sano, E.E., 2014. Caracterização Fenológica da Cobertura Vegetal do Oeste da Bahia a partir de séries temporais de EVI do Sensor Modis. *Revista Brasileira de Cartografia* 6, 1265-1280.
- Costa, T.A.deA., 2011. Geração de trajetórias sub-ótimas para plataformas flutuantes do tipo Hovercraft. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro, UFRJ.
- Demarchi, J.C., Piroli, E.L., Zimback, C.R.L., 2011. 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* 21, 234-271.
- Ganem, R.S., 2017. Caatinga: Estratégias de Conservação. Consultoria Legislativa, Brasília.
- Griz, L.M.S., Machado, I.C.S., 2001. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 17, 303-321.
- Hung, M.N.W.B., Marangon, F.H.S., Santos, I.dos, 2017. Comparação entre o Índice Topográfico e o Tasseled Cap Wetness na estimativa da umidade do solo na bacia hidrográfica do Rio Corredeiras - SC. Congresso Nacional de Geografia Física, Campinas.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004. Mapa de vegetação do Brasil escala 1:5.000.000. IBGE, Rio de Janeiro.
- Japiassú, A., Lopes, K.P., Dantas, J.G., Nóbrega, J.S., 2016. Fenologia de quatro espécies arbóreas da Caatinga no Semiárido paraibano. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 11, 34-43.
- Jenks, G.F., 1967. The data model concept in statistical mapping. International Cartographic Association ed. International Yearbook of Cartography 7, 186-190.
- Larcher, W., 2000. *Ecofisiologia vegetal*. Rima – Artes e Textos, São Carlos.
- Lima, A.L.A.de., 2010. Tipos funcionais fenológicos em espécies lenhosas da Caatinga, Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado). Recife, UFRPE.
- Machado, I.C.S., Barros, L.M., Sampaio, E.V.S.B., 1997. Phenology of Caatinga Species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. *Biotropica* 29, 57-68.
- Maia, G.N., 2012. Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades. Printcolor Gráfica e Editora, Fortaleza
- Matallo Junior, H. 2009. Glossário de Termos e Conceitos usados no Contexto da UNCCD. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B.da., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-859.
- Oliveira Junior, I.de, 2014. O processo de Desertificação: A vulnerabilidade e a Degradação Ambiental no Polo Regional de Jeremoabo – Bahia. Dissertação (Mestrado). Salvador, UFBA.
- Oliveira Junior, I.de, 2019. Da Mata Branca ao estado de Degradação: a desertificação em Canudos-BA. Tese (Doutorado). Salvador, UFBA.
- Penatti, N.C., 2014. Geobotânica e Fenologia da superfície terrestre no estudo da diversidade do Pantanal: Uma abordagem multi-sensor. Tese (Doutorado). São Paulo, USP.
- Pereira, R.M.deA., Araujo Filho, J.A.de, Lima, R.V., Lima, A.O.N., Araujo, Z.B.de, 1989. Estudos fenológicos de algumas espécies lenhosas e herbáceas da caatinga. *Ciência Agrônômica* 20, 11-20.
- Prause, J., Angeloni, P., 2000. Fenología de especies forestales nativas: abscisión de hojas. Chaco: Universidad Nacional del Nordeste: Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- Rosendo, J.dosS., Rosa, R., 2005. Exemplo de aplicação do Produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS/Terra. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia.
- Souza, B.I.de, Artigas, R.C., Lima, E.R.V.de, 2015. Caatinga e Desertificação. *Mercator* 14, 131-150.
- Teles, T.S., 2015. Relações de Métricas Fenológicas EVI/MODIS do Timesat com sombreamento e padrões atípicos de temperatura em Floresta Estacional Decidua. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos, INPE.
- Trindade, F.S., Alves, M.deC., Noetzold, R., Andrade, I.C.de, Pozza, A.A.A., 2019. Relação espectro-temporal de índices de vegetação com atributos do solo e produtividade da soja. *Revista de Ciências Agrárias: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 62, 1-11.
- Valladares, G.S., Gomes, A.daS., Torresan, F.E., Rodrigues, C.A.G., Grego, C.R., 2012. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47, 1376-1383.
- Valeriano, M.M., Rossetti, D.F., 2012. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography* 32, 300-309.
- Verica, W.R., 2018. Mapeamento semiautomático por meio de padrão Espectro-Temporal de Áreas Agrícolas e Alvos Permanentes com EVI/MODIS no Paraná. Dissertação (Mestrado). Cascavel, Unioeste.