



LUANNA CAROLINE BARROS PAIVA

**SÉRIES TEMPORAIS EVI/MODIS E SUA RELAÇÃO COM
A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM SOJA**

LAVRAS-MG

2019

LUANNA CAROLINE BARROS PAIVA

**SÉRIES TEMPORAIS EVI/MODIS E SUA RELAÇÃO COM A
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM SOJA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

Dr. Hugo do Nascimento Bendini
Coorientador

**LAVRAS-MG
2019**

LUANNA CAROLINE BARROS PAIVA

**SÉRIES TEMPORAIS EVI/MODIS E SUA RELAÇÃO COM A
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM SOJA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 13/06/2019

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi - UFLA

Me. João Paulo Santos Carvalho – UFLA

Dr. Hugo Nascimento Bendini – INPE

Dra. Karina Barroso Silva - UFLA

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

Dr. Hugo do Nascimento Bendini
Coorientador

**LAVRAS-MG
2019**

À minha mãe por sempre me apoiar e incentivar na busca por meus sonhos.

À minha avó pelo amor incondicional e imensurável depositado em mim.

Ao meu pai pelo exemplo a seguir.

E à toda minha família pelo apoio.

Com amor

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Nossa Senhora das Graças por ter me proporcionado percorrer esse trajeto, sendo minha fortaleza de fé nos dias difíceis.

À minha mãe Joselia pela paciência, amor e fé depositados em mim todos os dias.

Ao meu pai Davidson pelo estímulo e conselhos que participaram da minha evolução na trajetória que escolhi perfazer.

Aos meus avós vivos e in memória por toda sabedoria compartilhada e por terem me feito amar a terra como instrumento de trabalho.

Aos meus tios Sandro e Glaucio, aos meus primos e primas, aos meus irmãos e demais familiares, por sempre estarem presentes nessa caminhada e compartilhando das minhas alegrias e conquistas.

Às minhas amigas e companheiras de vida por me apoiarem e compreenderem por me ausentar nas reuniões da turma muitas das vezes.

Aos meus amigos de UFLA, em especial ao “Grupo do UAI” e aos “Bonitores” que fizeram desse caminho mais leve de seguir.

Ao meu orientador Dr. Prof. Adriano Teodoro Bruzi por todo ensinamento e atenção no desenvolvimento desse trabalho.

Ao Diretor de Projetos do LEMAF Me. Samuel Santos pela oportunidade deste trabalho.

Ao Dr. Hugo do Nascimento Bendini pela concessão dos dados, coorientação e suporte na análise dos dados.

À minha querida orientadora de monitoria Dra. Profa. Luciana Lopes Silva Pereira por todos os anos de trabalho, ensinamentos e carinho.

Aos Departamentos de Agricultura e de Química da Universidade Federal de Lavras, por todas as oportunidades de crescimento profissional e pessoal.

A todos que participaram diretamente ou indiretamente da minha formação e da realização deste trabalho, meu muito obrigada.

RESUMO

O principal produto de exportação no Brasil é a soja em grãos. Isto é devido ao apoio de programas de incentivos às pesquisas pautadas na geração de tecnologias para obtenção de elevados índices de produtividade. As informações a cerca da produtividade das áreas colhidas são obtidas de modo abstrato por especulações realizadas por produtores e especialistas do agronegócio. A soja chegou ao país e foi cultivada inicialmente na região da Bahia. A sua expansão pelo território propiciou a abertura do Cerrado e passou a ser cultivada então no Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás. Atualmente a produção de soja tem ganhado espaço no estado de Minas Gerais e cresce a cada ano. Assim objetivou-se analisar a viabilidade no uso do *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e sua correlação com a produtividade de grãos em soja. As análises foram realizadas em 41 talhões distribuídos no leste goiano, noroeste mineiro e oeste baiano, durante a safra 2015/2016. Foram utilizadas cultivares de soja RR e INTACTA IPRO. No presente estudo, foram adotados procedimentos metodológicos considerando uma série temporal de EVI/MODIS, derivada dos satélites TERRA e AQUA, para cada talhão. Subsequentemente, foi utilizado o filtro Savitzky-Golay, para redução dos ruídos. Para extração das métricas fenológicas foi utilizado o software *TIMESAT* e estes dados comparados com as produtividades relatadas nestes talhões, pelos produtores e especialistas que estiveram no Rally da Safra 2015/2016. Os resultados obtidos demonstraram uma forte correlação entre a produtividade de grãos e os valores de EVI extraídos no intervalo de acúmulo de biomassa.

Palavras-chave: índice de vegetação, métricas fenológicas, sensoriamento remoto, análise, correlação.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações básicas do satélite TERRA.....	13
Tabela 2. Informações básicas do satélite AQUA.....	14
Tabela 3. Cores da região do visível associadas aos correspondentes intervalos espectrais.....	16
Tabela 4. Sub-regiões do Infravermelho com seus intervalos espectrais referentes.....	16
Tabela 5. Características do Sensor MODIS (<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>) a bordo dos Satélites TERRA e AQUA.....	17
Tabela 6. Coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis métricas fenológicas de EVI/MODIS e produtividade de soja.....	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro eletromagnético, relacionando os comprimentos de onda às respectivas classificações da radiação eletromagnética.....	15
Figura 2. Esquema representativo da evolução dos perfis temporais de EVI para duas cultivares de soja durante o ciclo de desenvolvimento em dias do ano.....	20
Figura 3. Localização geográfica dos talhões nas regiões analisadas.....	22
Figura 4. Climas do Brasil pela Classificação de Köppen.....	23
Figura 5. Parâmetros de Sazonalidade gerados no <i>TIMESAT</i>	25
Figura 6. Curva de Tendência Linear para as produtividades de soja em função dos espectro-temporais de EVI.....	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 A cultura da soja	11
2.2. Análise de imagens na agricultura.....	11
2.3. Satélites e sensores.....	12
2.4. Comportamento espectral dos elementos naturais.....	18
2.5. Índices de vegetação	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Caracterização da área	22
3.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	23
3.3. Redução de ruídos.....	24
3.4. Análises estatísticas dos dados.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5. CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as informações a cerca da área colhida e produtividade agrícola, na maioria das vezes, são determinadas de forma abstrata por meio de agentes ligados ao agronegócio e por entrevistas aplicadas aos produtores. Essa subjetividade aumenta a demanda por métodos que objetivam a obtenção dessas estimativas de modo rápido e com a menor margem de erro, além de poder ser utilizada de modo nacional devido a grande extensão de áreas agrícolas no país.

Atualmente, na agricultura brasileira o sensoriamento remoto (SR) tem sido amplamente utilizado em análises espaço - temporal de mudanças da dinâmica agrícola através da coleta de informações necessárias para avaliação dos processos fisiológicos da planta durante os estádios fenológicos, bem como identificação de tendências da cultura através de perfis espectrais de imagens de satélites, conhecidos como índices de vegetação.

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI) são os índices mais utilizados pela literatura e identificam a presença de biomassa. Entretanto o NDVI torna-se muito sensível na presença de muito vigor vegetativo, enquanto que o EVI foi proposto por Huete et al. (2002) para intensificar a sensibilidade da detecção de cobertura vegetal em altas densidades, além de reduzir a influência do solo e da atmosfera.

O sensor *Moderate Resolution Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites TERRA e AQUA, é o de maior destaque entre os sensores orbitais que são utilizados para identificar e monitorar áreas agrícolas. Isto é devido ao fato de apresentar resoluções espaciais e temporais adequadas para avaliações sobre a dinâmica dos cultivos (CHAVES et.al., 2017).

Diante do exposto objetivou-se analisar a relação existente entre perfis temporais de EVI/MODIS extraídos dos satélites TERRA e AQUA com a produtividade de grãos em soja em talhões distribuídos entre o leste de Goiás, noroeste de Minas Gerais e leste da Bahia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) é originária da costa leste da Ásia e teve sua produção restrita a China por muitos anos. Quando o teor de óleo e proteína do grão começou a despertar o interesse das indústrias mundiais, já no século XX, iniciaram-se as tentativas de introdução comercial do cultivo do grão em países como Rússia, Inglaterra e Alemanha, mas com as condições climáticas desfavoráveis não propiciou o avanço desta leguminosa na Europa (EMBRAPA, 2019).

No Brasil, a soja chegou em 1882, na região da Bahia, através de Gustavo Dutra. Porém, no final da década de 60, ocorre uma grande expansão da leguminosa pelo país. O fato foi devido ao cultivo da soja no verão após o trigo na região Sul do país e o aumento da criação de suínos e aves com a necessidade de farelo de soja. Em 1970, o aumento do preço da soja no mercado mundial despertou os agricultores e o governo brasileiro. Tal fato contribuiu para o cenário mundial de produção de grãos atual e para as pesquisas que contribuíram para a produção da soja em quase todo território nacional (EMBRAPA, 2019).

A cultura da soja é o principal *commodity* agrícola do Brasil, que apresentou uma produção de 114,3 milhões de toneladas no ano agrícola 2018/2019, sendo o segundo maior produtor mundial do grão. As regiões do centro-oeste e sul do Brasil são responsáveis por 79% do total dessa produção. Os principais Estados produtores de soja são Mato Grosso ocupando o primeiro lugar, seguido do Paraná e Rio Grande do Sul (CONAB, 2019).

Atualmente o Brasil ocupa o segundo lugar entre os maiores produtores do grão (32,63%) e é o primeiro em exportação (47,70%). A vantagem é devida ao escoamento da safra brasileira ocorrer na entressafra americana, que é quando os preços atingem as maiores cotações. Segundo a CONAB (2019) a estimativa é que o Brasil passe a ser o maior produtor mundial, entretanto ainda é cedo para afirmar devido aos eventos climáticos que podem vir a prejudicar o desenvolvimento da cultura e conseqüentemente refletir na produtividade.

2.2. Análise de imagens na agricultura

A agricultura necessita da obtenção de informações com alta precisão e em curto espaço de tempo. Diante disto, o sensoriamento remoto traz a tecnologia ideal para obter informações acerca da estimativa da área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, fornecendo auxílio para o manejo agrícola em escala de fazenda, município ou país (MOREIRA & RUDORFF, 2002).

O termo Sensoriamento Remoto denota um conjunto de atividades para obtenção de informações dos objetos constituintes da superfície terrestre sem que haja contato direto com os mesmos. Através da energia eletromagnética refletida/emitida por estes objetos terrestres e que são registradas por sensores remotos em satélites artificiais, tem – se a detecção, aquisição e análise – que seria a interpretação e extração de informações desta energia (MORAES, 2002).

O relato apresentado por Moraes (2002) destaca que os objetos interagem de forma diferente na energia eletromagnética refletida/emitida. Isso é devido às propriedades físico-químicas e biológicas dos objetos serem diferentes. Tais interações diferentes permitem a distinção e o reconhecimento dos variados objetos analisados, uma vez que se reconhece pela variação da porcentagem de energia refletida em cada comprimento de onda.

Para o sensoriamento remoto os dados temporais em série possibilitam a detecção e monitoramento das modificações da superfície terrestre, sendo esta série de alta frequência ou baixa resolução temporal (CÂMARA et al., 2006). Séries temporais são dados sequenciados em intervalos de tempo uniformes ou não, que permitem a extração de informações passadas e idealizações futuras, que auxiliam na tomada de decisão (COWPERTWAIT & METCALFE, 2009).

Moreira & Rudorff (2002) afirmam que com a coleta das imagens multiespectrais acerca das informações multitemporais de uma área agrícola, esta pode ser monitorada durante todo o ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura em questão, o que permite estimar a produção da cultura agrícola.

2.3. Satélites e Sensores

Para a obtenção de dados em nível orbital são utilizados de sistemas sensores acoplados em satélites artificiais. Desta forma, é possível que haja a repetitividade das informações, visando um melhor monitoramento de recursos naturais de grandes áreas da superfície terrestre (MORAES, 2002). Moreira (2001) relata que estes sistemas sensores se categorizam em função da região espectral que atuam e destaca Epiphanyo (1989) ao afirmar que a categorização é necessária, uma vez que cada sensor apresenta características ópticas e de detecção próprias.

Por seu turno, Moreira (2001) explica que a especificidade de um sensor está intimamente relacionada com a fonte de radiação, região do espectro eletromagnético, formato do dado produzido, princípio de funcionamento e resoluções do sensor.

A primeira série de satélites teve início nos anos 60, através de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), para monitoramento exclusivo dos recursos naturais terrestres. Inicialmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite) e em 1975 passou a ser chamado de LANDSAT. O LANDSAT-1 foi lançado ao espaço em 1972 e até hoje já foram lançados um total de 8 satélites da série (INPE, 2019).

Lançado em 2013, o LANDSAT-8, é o único satélite ativo da série e consta com o sensor OLI (Operational Terra Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor), sendo 15 a 30 metros de dados multiespectrais. As imagens obtidas apresentam média resolução e apesar de serem os primeiros satélites, ainda mantêm sua importância junto às pesquisas devida o seu acervo histórico e a contínua atualização tecnológica que mantém características importantes dos recursos naturais (INPE, 2019).

O satélite TERRA foi lançado em dezembro de 1999 como parte do programa da NASA, denominado *Earth Observing System* (EOS). Tratou-se de uma missão multinacional que envolveu parcerias com as agências aeroespaciais do Canadá e do Japão. A missão objetivou contribuir com as pesquisas sobre a dinâmica atmosférica global, bem como a interação da superfície terrestre e oceano (INPE, 2019). Diante do exposto, a tabela 1 trás as principais características do satélite TERRA.

Tabela 1. Informações básicas do satélite TERRA.

Instrumento/Sensor	ASTER, MODIS, MISR, CERES e MOPPIT
Operadora/Instituição Responsável	NASA
País	Estados Unidos
Situação Atual	Ativo
Lançamento	18/12/1999
Altitude	705 km
Inclinação	98,2°
Órbita	Polar e Heliossíncrona
Faixa Imageada	MODIS: 2.330 x 5.000 Km
Tempo de Duração da Órbita	98,1 min
Horário da Passagem	09h / 11h / 22h / 23h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial	MODIS: 250 m, 500 m, 1.000 m

Fonte: INPE (2019).

A bordo do TERRA encontram-se os sensores ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*), MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*), MIRS (*Multi-angle Imaging Spectro - Radiometer*) e MOPITT (*Measurements of Pollution in the Troposphere*) (EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE, 2019).

O satélite AQUA apesar de americano foi desenvolvido em parceria com o Japão e Brasil. Projetado para monitorar fenômenos físicos referentes à circulação da energia e da água na Terra. Lançados em maio de 2002, também faz parte da missão EOS do programa NASA *Earth Enterprise* (ESE). Levou a bordo seis sensores, sendo AIRS (*Atmospheric Infrared Sounder*), AMSU-A (*Advanced Microwave Sounding Unit*), HSB (*Humidity Sounder for Brazil*), AMSR-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS*), MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*) (INPE, 2019). Desta forma, na tabela 2 pode ser avaliado as principais características do satélite AQUA.

Tabela 2. Informações básicas do satélite AQUA.

Instrumento/Sensor	AIRS, AMSU-A, HSB, AMSR-E, MODIS e CERES
Operadora/Instituição	NASA (National Aeronautics and Space
Responsável	Administration)
País	Estados Unidos
Situação Atual	Ativo
Lançamento	04/05/2002
Altitude	705 km
Inclinação	98,2 °
Órbita	Polar e Heliossíncrona
Faixa Imageada	MODIS: 2.330 Km x 5.000 Km
Tempo de Duração da Órbita	98,8 min
Horário da Passagem	01h / 03h / 13h / 15h
Período de Revisita	1 a 2 dias
Resolução Espacial	500 m, 1.000 m

Fonte: INPE (2019)

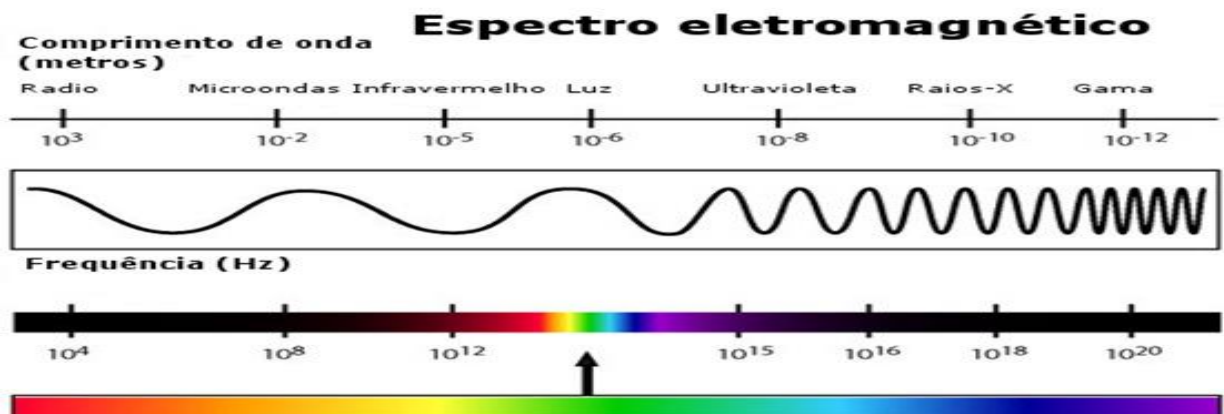
Os sensores podem ser classificados como passivos aqueles que não possuem uma fonte de radiação própria e depende de uma fonte externa, como o sol, para medir a radiação refletida/emitida pelos objetos. Neste contexto, ocorre a emissão de um fluxo de radiação em

determinada faixa espectral que irá interagir com os alvos na superfície da Terra que reflete parte dessa radiação, a qual é captada pelo sensor. Em contrapartida, se o sistema sensor possuir uma fonte de radiação, é denominado como ativo (MOREIRA, 2001).

Em função do comprimento de onda ou até mesmo da frequência, a energia eletromagnética ordena-se de forma contínua, cuja disposição é denominada de espectro eletromagnético. Para cada intervalo entre dois comprimentos de ondas têm-se as bandas eletromagnéticas, as quais resultam os pixels conforme ocorre o fluxo radiante (SPRING, 2019).

O espectro eletromagnético se estende desde comprimentos de onda muito curtos (raios cósmicos) até ondas de baixa frequência e grandes comprimentos de ondas (ondas de rádio), como podem ser vistos na Figura 1.

Figura 1. Espectro eletromagnético, relacionando os comprimentos de onda às respectivas classificações da radiação eletromagnética.



Fonte: Tudo sobre geoprocessamento (2011)

De acordo com Moraes (2002), no sensoriamento remoto a faixa espectral mais utilizada estende-se de $0,3 \mu\text{m}$ a $15 \mu\text{m}$. Desta forma temos a Ultravioleta (UV) que é produzida pelo Sol em grande quantidade, assim emitida na faixa de $0,003 \mu\text{m}$ até aproximadamente $0,38 \mu\text{m}$; a Visível (LUZ) sendo considerado o conjunto de radiações eletromagnéticas que podem ser perceptíveis ao sistema visual humano, caracterizando as cores nos intervalos espectrais a seguir na Tabela 3. E a região do Infravermelho (IV) que se estende de $0,7$ a $1000 \mu\text{m}$, sendo dividida em três sub-regiões (Tabela 4).

Tabela 3. Cores da região do visível associadas aos correspondentes intervalos espectrais.

Cor visível	Intervalo espectral
Violeta	0,38 a 0,45 μm
Azul	0,45 a 0,49 μm
Verde	0,49 a 0,58 μm
Amarelo	0,58 a 0,6 μm
Laranja	0,6 a 0,62 μm
Vermelho	0,62 a 0,70 μm

Fonte: Do autor (2019)

Tabela 4. Sub-regiões do Infravermelho com seus intervalos espectrais referentes.

IV	Intervalo espectral
IV próximo	0,7 a 1,3 μm
IV médio	1,3 a 6 μm
IV distante	6 a 1000 μm

Fonte: Do autor (2018)

De todos os sensores citados, o MODIS apresenta maior importância para os trabalhos voltados para a agricultura. Tal fato é devido à sua alta resolução temporal, permitindo o monitoramento sistemático de várias culturas agrícolas (INPE, 2019). Na tabela 5 pode-se observar as características do sensor MODIS.

Tabela 5. Características do Sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo dos Satélites TERRA e AQUA.

Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
1	620 - 670 nm	250 m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
2	841 - 876 nm				
3	459 - 479 nm	500 m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
4	545 - 565 nm				
5	1230 - 1250 nm				
6	1628 - 1652 nm				
7	2105 - 2155 nm				
8	405 - 420 nm				
9	438 - 448 nm				
10	483 - 493 nm				
11	526 - 536 nm	1000m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
12	546 - 556 nm				
13	662 - 672 nm				
14	673 - 683 nm				
15	743 - 753 nm				
16	862 - 877 nm				
17	890 - 920 nm				
18	931 - 941 nm				
19	915 - 965 nm				
20	3660 - 3840 nm				
21	3929 - 3989 nm				
22	3929 - 3989 nm				
23	4020 - 4080 nm				
24	4433 - 4498 nm				
25	4482 - 4549 nm				
26	1360 - 1390 nm				
27	6535 - 6895 nm				
28	7175 - 7475 nm				
29	8400 - 8700 nm				
30	9580 - 9880 nm				
31	10780 - 11280 nm				
32	11770 - 12270 nm				
33	13185 - 13485 nm				
34	13485 - 13785 nm				
35	13785 - 14085 nm				
36	14085 - 14385 nm				

Fonte: Adaptado de EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE (2019).

2.4. Comportamento espectral dos elementos naturais

Quando a energia eletromagnética sofre alterações ao atingir um objeto, devido o material que o compõe, assim é parcialmente refletida, absorvida e transmitida pelo objeto, variando os valores de 0-1. A assinatura espectral do objeto é definida como sendo o comportamento espectral de um objeto ao longo do espectro eletromagnético. Assim, a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção irá caracterizar o objeto (MORAES, 2002).

Segundo Moraes (2002), é de extrema importância se conhecer o comportamento espectral dos objetos terrestres, pois irá influenciar na escolha da região do espectro que se pretende adquirir os dados para determinado uso. Desta forma apresentam-se alguns objetos bastante frequentes nas imagens de sensoriamento remoto.

A vegetação sadia ao realizar a fotossíntese, a clorofila realiza uma alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível, entretanto a coloração da vegetação caracteriza a baixa absorção de determinada região deste espectro. No entanto, a água presente no conteúdo celular da vegetação irá modular o comportamento espectral do IV próximo (até 1,3 μ m), resultando na alta reflectância deste espectro (MORAES, 2002).

Para o solo, o comportamento espectral é decorrente dos seus constituintes, sendo os principais a constituição mineral, a matéria orgânica, a umidade e a granulometria. Portanto, a absorção é o principal fator que controla o comportamento espectral dos solos (MORAES, 2002).

A água irá apresentar comportamento espectral de acordo com estado físico que apresentar. Quando líquida e pura apresenta uma reflectância menor do que 10% na faixa compreendida entre 0,38 e 0,7 μ m e máxima absorção acima de 0,7 μ m. Se observado a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água a reflectância máxima será para o verde-amarelo, enquanto que a presença de matéria inorgânica em suspensão será vermelho (MORAES, 2002).

As nuvens apresentam cerca de 70% de reflectância em todo o espectro óptico com destaque de absorção nas bandas em 1, 1,3 e 2 μ m (MORAES, 2002).

2.5. Índices de Vegetação

Os índices espectrais de vegetação (IVs), ou simplesmente, índices de vegetação são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, utilizados para relacionar parâmetros dinâmicos da vegetação, uma vez que detectam a biomassa (MOREIRA, 2000).

Tais índices estão sendo amplamente utilizados para monitorar a cobertura vegetal da Terra, tanto em escala global, quanto local (MIURA, 2001).

Segundo Bayma (2015) dentre a gama de índices de vegetação existentes, os mais utilizados são o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*). A autora ainda reforça que os estudos para avaliação da variação dos ecossistemas terrestres utilizam os índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MODIS.

O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973), sendo calculado a partir da diferença do comprimento de onda vermelho visível ($\lambda \sim 0,6 \mu\text{m}$) e do infravermelho próximo ($\lambda \sim 0,8\mu\text{m}$), normalizada pela soma. Sua fórmula é dada por,

$$NDVI = \frac{Inir - Ir}{Inir + Ir}$$

Sendo, Inir = reflectância na banda do infravermelho próximo, Ir= reflectância do vermelho visível

Os resultados obtidos variam entre -1 a +1. Petsch & Bueno (2013) explica que os valores de índices negativos representam a presença de nuvens, enquanto que valores próximos ou iguais a zero é solo exposto ou sem vegetação. Já os valores maiores que zero é a presença de vegetação e quanto maior esse valor maior é a incidência de verde.

Entretanto, o NDVI deixa de se mostrar eficiente em áreas com grande quantidade de biomassa e variações na presença de solo exposto (CARLSON & RIPLEY, 1997; JIANG et al., 2008). Para minimizar o efeito do solo Huete et al. (1997) desenvolveram um outro índice, o EVI.

Segundo Song & Woodcock (2003), o índice NDVI é um dos índices de vegetação mais utilizados para processamento das imagens geradas pelos satélites do projeto Landsat.

O EVI é calculado a partir do comprimento de onda do vermelho visível ($\lambda \sim 0,6 \mu\text{m}$), infravermelho próximo ($\lambda \sim 0,8\mu\text{m}$) e azul ($\lambda 0,45$ a $0,49 \mu\text{m}$). Apresentando então uma sensibilidade na presença de biomassa (BENDINI, 2015). Seu cálculo é dado pela fórmula,

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + C_1 * \rho_{RED} - C_2 * \rho_{BLUE} + L}$$

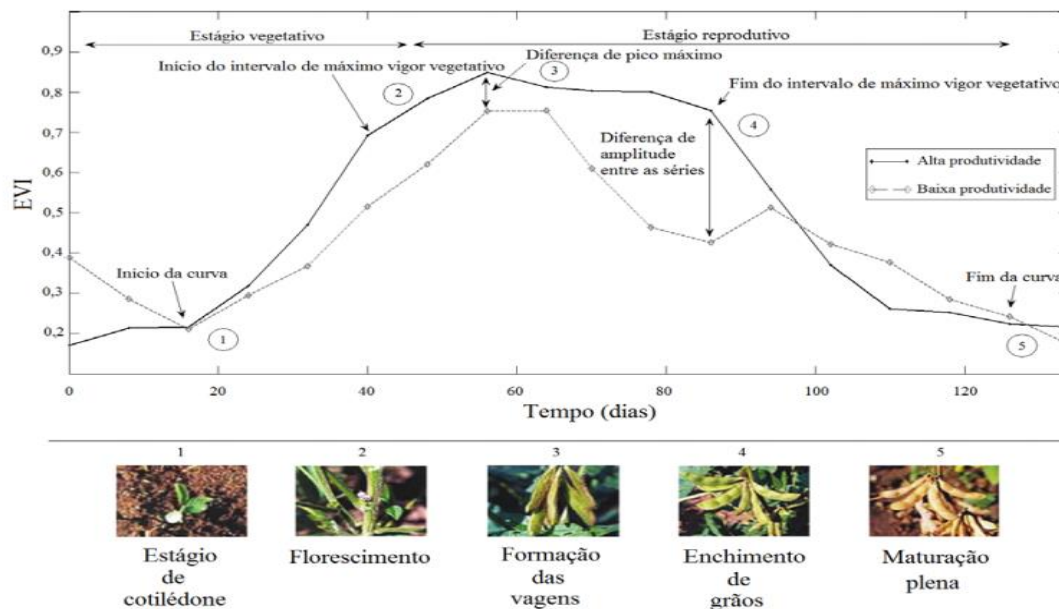
Sendo, que L é um fator de ajuste do solo; G é fator de ganho; e C_1 e C_2 são coeficientes de ajuste para o efeito atmosférico, onde os valores para as constantes são: $G = 2,5$, $L=1$, $C_1= 6$ e $C_2= 7,5$ (HUETE et al., 1997).

Huete et al. (1997) ao comparar os dois índices observou que os valores obtidos por EVI foram inferiores aos de NDVI. A explicação seria pelo fato de que o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção de luz na

banda do vermelho, enquanto o EVI é mais sensível a variações na estrutura do dossel. Assim, os valores de EVI variam de 0 a 1.

Chaves et.al. (2017) relacionaram as fases de fenologia de duas cultivares de soja com os resultados dos perfis temporais de EVI e fez inferências quanto a produtividade dessas cultivares. As métricas extraídas de EVI caracterizam uma curva onde permite analisar fatores como data de plantio, início da curva de crescimento do vigor vegetativo, data de germinação da soja, média, mediana e amplitude, data de colheita e fim da curva (Figura 2).

Figura 2. Esquema representativo da evolução dos perfis temporais de EVI para duas cultivares de soja durante o ciclo de desenvolvimento em dias do ano, evidenciando os estádios fenológicos da soja pela classificação de Fehr & Caviness (1977).



Estádios Vegetativos	Estádios Reprodutivos
VE – Emergência	R1 - Início do florescimento
VC - Cotilédone	R2 - Florescimento completo
V1 – Primeiro nó	R3 - Início da formação de vagens
V2 – Segundo nó	R4 - Formação de vagens completa
V3 – Terceiro nó	R5 - Enchimento de grãos inicial
...	R6 - Enchimento de grãos total
Vn – enésimo nó	R7 – Início da maturação
	R8 – Maturação total

Fonte: Adaptado de Chaves et.al. (2017).

O modelo proposto por Fehr & Caviness (1977) separa o desenvolvimento da soja em dois estádios, sendo o vegetativo representado por V e o reprodutivo por R (Figura 2). Desta forma, as letras V e R antecedem um valor numérico que irá caracterizar precisamente o estádio em que a soja se encontra, exceto os estádios VE (emergência dos cotilédones) e VC (folhas cotiledonares totalmente abertas). Outro detalhe seria o V1 (primeiro nó) que considera as folhas unifolioladas totalmente desenvolvidas e V2 (segundo nó) até o Vn (enésimo nó) relaciona o número de nós no caule principal com folhas completamente desenvolvidas

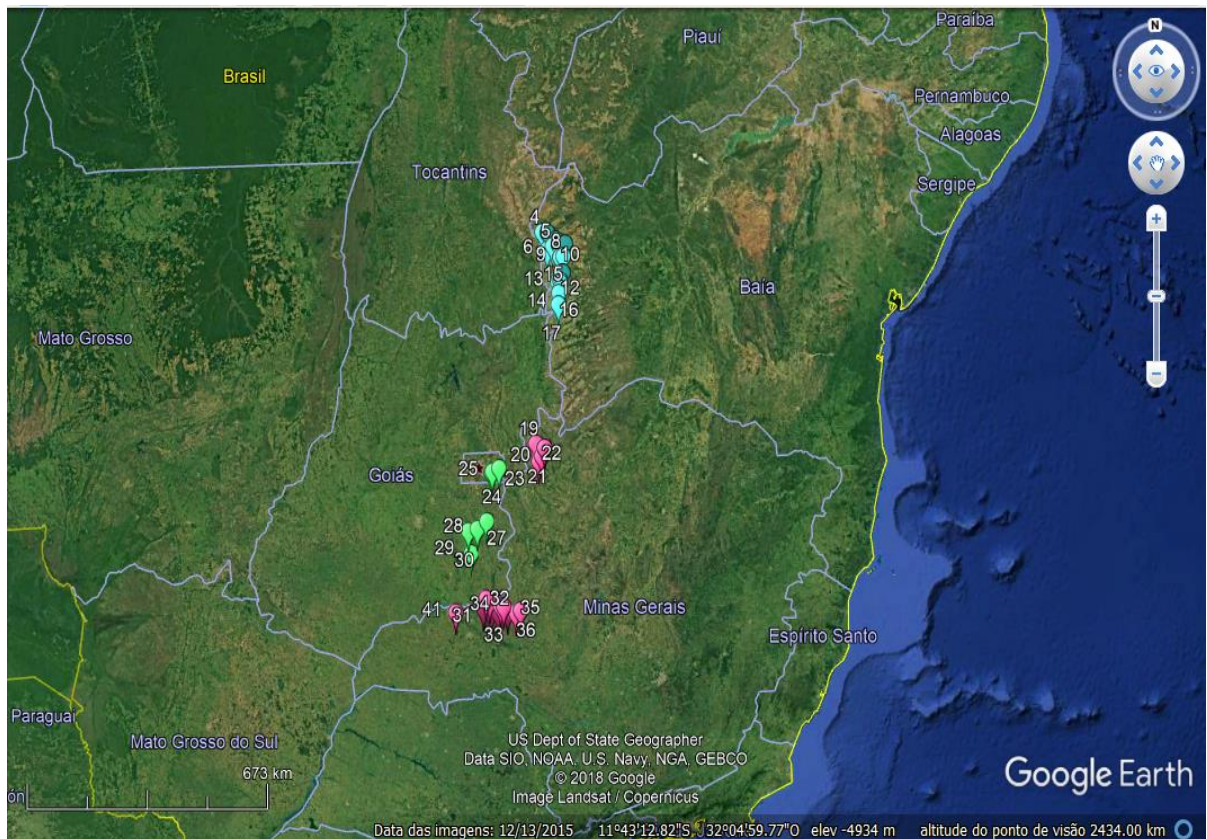
Inserindo neste contexto, os índices de vegetação permitem comparações pertinentes das condições da vegetação, quando analisadas de modo espacial e espectro-temporal. Deste modo, podem ser utilizadas para monitorar a atividade agrícola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área

As análises foram conduzidas nas regiões do leste goiano, noroeste mineiro e oeste baiano (Figura 3). As regiões de Goiás e Bahia possuem clima regional classificado como Aw, e a região de Minas Gerais possuem duas classificações, sendo Aw e Cwb, segundo a classificação de Köppen (Figura 4).

Figura 3. Localização geográfica dos talhões nas regiões analisadas.

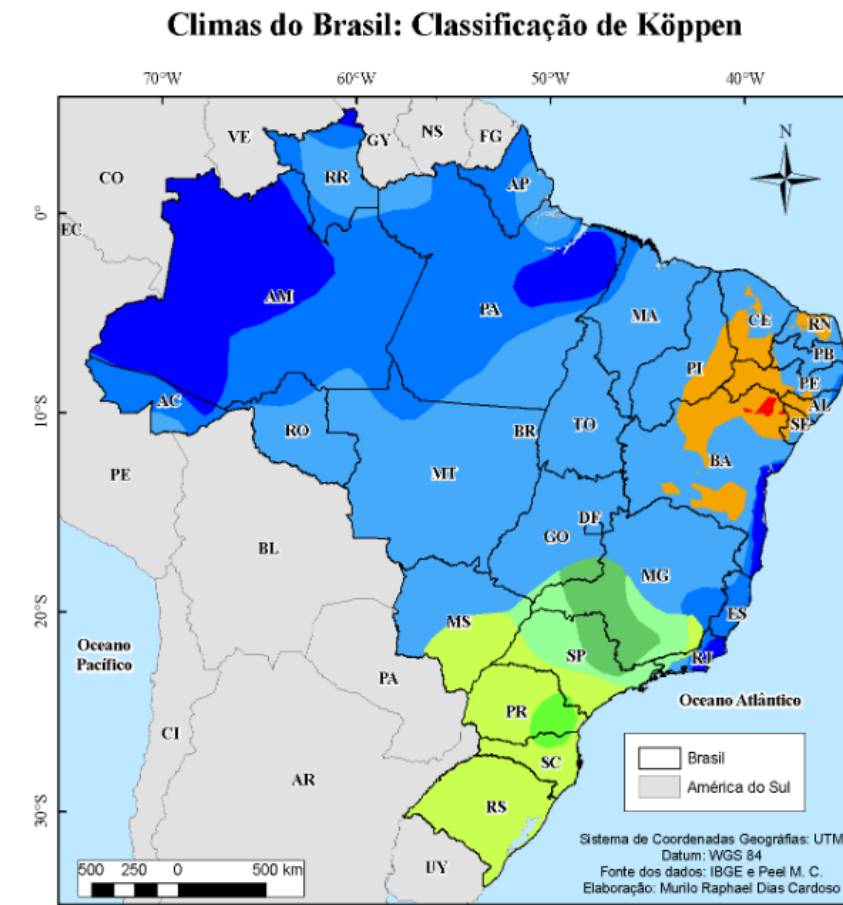


Fonte: Google Earth versão 7.3.2 (2019).

Legenda

- Oeste baiano
- Noroeste mineiro
- Leste goiano

Figura 4. Climas do Brasil pela Classificação de Köppen.



Fonte: CARDOSO (2019)

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

Todos os parâmetros foram obtidas na série temporal de EVI, estimados a partir das imagens do sensor MODIS do satélite TERRA e AQUA, o que garantiu a resolução da série temporal de 8 dias. A produtividade de grãos em soja na safra 2015/2016 foi estimada considerando as informações coletadas a partir dos produtores e especialistas que participaram do Rally da Safra 2015/2016 (BENDINI et. al, 2019; AGROCONSULT, 2019).

O delineamento amostral foi composto por 41 pontos que representaram talhões de soja com biotecnologia RR e INTACTA IPRO semeada entre novembro a dezembro de 2015 e sobre plantio direto, na maioria das áreas.

Todo o processo de extração da série fenológica de EVI foi realizado utilizando o serviço de WTSS (*Web Time Series Service*) presente no servidor *SATVeg (Sistema de Análise Temporal da Vegetação)*, o qual é uma ferramenta que foi desenvolvida pela Embrapa Informática Agropecuária, sendo destinada ao acesso e visualização de perfis temporais dos índices vegetativos NDVI e EVI do sensor MODIS para qualquer local da América do Sul. Por possuir uma atualização regular de acordo com a disponibilidade de imagens pelo LP-DAAC/EOS-NASA, o SATVeg fornece uma área de interação com o Google Maps para a localização das áreas de interesse, além de permitir a filtragem das séries temporais, módulos para carregamento de arquivos vetoriais e outras funcionalidades (EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 2019).

O serviço WTSS foi proposto com o intuito de permitir a recuperação de séries temporais derivadas de imagens satélites de modo que sejam organizadas em um conjunto de dados, que podem ser consultados para obtenção de uma série temporal com uma localização no espaço e intervalo de tempo (QUEIROZ et. al., 2015). Deste modo, os autores se baseiam na ideia de que uma interface de programação de aplicativos (API Web) que seja projetada especificamente para esse fim é mais eficaz no acesso e disseminação dos dados, quando comparados aos outros serviços usados na literatura.

Segundo Chaves et.al., 2017 a suavização dos perfis multitemporais de índices de vegetação é necessária, para melhorar ainda mais a identificação dos usos e coberturas terrestres.

3.3. Redução de Ruídos

Os dados de satélites sofrem comumente interferência de nuvens e gases atmosféricos. Tal efeito acaba por interferir na transmissão da reflectância da superfície terrestre para os satélites. Neste trabalho, os perfis espectro-temporais de EVI MODIS foram ajustados pelo filtro Savitzky-Golay.

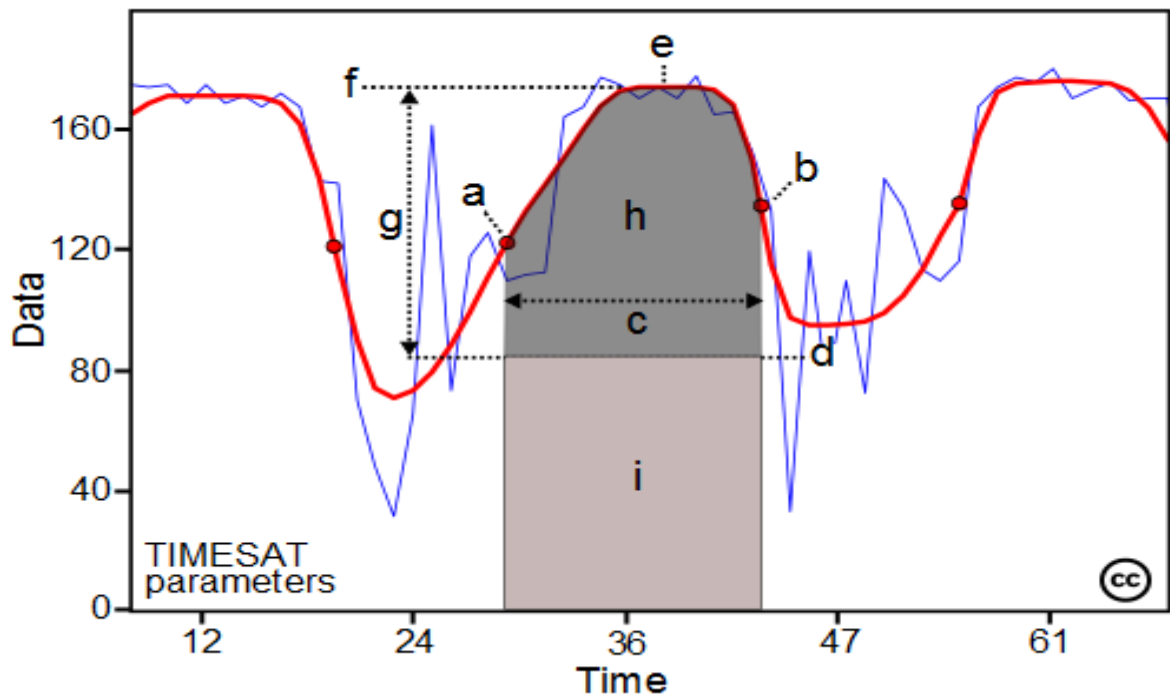
O filtro Savitzky-Golay é uma forma simples de reduzir o ruído e obter dados suavizados. Chaves et.al. (2017) destaca que este é o filtro mais eficiente, uma vez que ao minimizar ou eliminar os ruídos não modifica o padrão dos perfis espectro-temporais do índice de vegetação. Tal que,

$$fn = \sum_{l=0}^L c_l t_n^l, \forall n \in (2m + 1),$$

Onde m é o grau do polinômio e c_l coeficientes que são ajustados por mínimos quadrados para uma janela na vizinhança de um ponto t_n (MAUS, 2012).

Todo o procedimento de filtragem foi executado por meio do *software TIMESAT* (JÖNSSON & EKLUNDH, 2017). Segundo Bendini et. al. (2019), este *software* analisa a série temporal dos satélites de modo a extrair as métricas fenológicas executando uma interface gráfica como na Figura 3.

Figura 5. Parâmetros de Sazonalidade gerados no *TIMESAT*.



Fonte: Jönsson & Eklundh (2017).

A saída do programa consiste em: (a) e (b) valores de início e final ciclo, respectivamente, (c) duração do ciclo em dias do ano; (d) valor mínimo gerado na semeadura; (e) máximo vigor vegetativo (pico) em dias do ano; (f) valor do índice de vegetação no pico; (g) amplitude (diferença entre os valores máximo e mínimo); (h) integral de menor valor considerando a média dos valores mínimos do índice de vegetação do lado direito e esquerdo da curva (Sint); (i) integral de maior valor do índice de vegetação da curva que considera o nível zero como base (Lint) (JÖNSSON & EKLUNDH, 2017).

Segundo Jönsson & Eklundh, (2017) a velocidade para atingir o máximo vigor vegetativo (Lder) e o mínimo vigor vegetativo (Rder) também podem ser calculadas. Assim entende-se que o Lder é o tempo gasto pela borda esquerdada curva para atingir o pico vegetativo tendo como base o nível mínimo da esquerda dado no início do ciclo. Enquanto

que o Rder é o tempo que a borda direita gastou para diminuir até o nível mínimo de final de ciclo. Logo, o Lder é considerado a velocidade de início do máximo vigor vegetativo e o Rder a velocidade de final do máximo vigor vegetativo.

3.4. Análises estatísticas dos dados

Procedeu-se a análise de correlação de Pearson, com a finalidade de estabelecer a correlação entre as métricas fenológicas de EVI e a produtividade de grãos. Posteriormente procedeu-se análise de regressão multivariada com o auxílio do *software R* (R CORE TEAM, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A correlação de Pearson foi realizada com a finalidade de estabelecer o nível de correlação entre as variáveis avaliadas no experimento. Ela foi obtida através da comparação das variações de produtividade de cada talhão com cada métrica fenológica obtida no *TIMESAT* (Tabelas 6). De acordo com os resultados a relação existente entre a produtividade com o início do ciclo (VC) em valores dados em dias do ano gerou uma correlação negativa e fraca. Quando relacionamos a produtividade com o estágio de cotilédone em valores de EVI a correlação foi positiva e moderada, além de terem sido extraídos altos valores de EVI para cada talhão.

Tabela 6. Coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis métricas fenológicas de EVI/MODIS e produtividade de grãos em soja.

Variável	Início do ciclo		Fim do ciclo		Duração do ciclo	Menor valor
	Dias do Ano	EVI	Dias do Ano	EVI	Dias do Ano	EVI
	r	r	r	r	r	r
Produtividade	-0,33	0,65	0,19	0,60	0,27	0,59

Variável	Pico	Amplitude	Lder	Sder	Sint	Lint
	Dias do Ano	EVI	EVI	EVI	EVI	EVI
	r	r	r	r	r	r
Produtividade	-0,36	0,25	0,05	0,11	0,05	0,20

Fonte: Do autor (2019)

De acordo com a Tabela 6 a correlação com a variável final do ciclo (R9) em dias do ano foi positiva e desprezível. A produtividade comparada aos valores de EVI o resultado obtido foi positivo e moderado, e a extração dos valores de EVI para cada talhão também foram altos. Os valores mínimos de EVI (semeadura) extraídos indicaram uma correlação positiva e moderada. Segundo Zhu et al. (2016) os valores mínimos de EVI são obtidos quando a soja apresenta mínima cobertura vegetal, ou seja, semeadura, VC e R9. Os autores também explicam que na colheita as quedas nos valores da série não atingem os valores mínimos dados na semeadura devido à presença de uma pequena cobertura vegetal do pós-colheita.

Pautando-se nas inferências dadas por Zhu et. al. (2016) é compreensível os altos valores extraídos de EVI no início e final do ciclo, pois as áreas de soja avaliadas, em sua maioria, foram semeadas sobre sistema de plantio direto. A cobertura vegetal por se tratar de material derivado de outras culturas de sucessão a soja altera os valores de EVI, levando a uma não aceitação da correlação existente da produtividade com a semeadura, estágio cotilédone e colheita.

Entretanto, os maiores valores de EVI são observados no período de crescimento, ou seja, no acúmulo de biomassa (ZHU et al., 2016). Com base nas análises os valores máximos de EVI se deram no pico do vigor vegetativo e na amplitude (diferença entre o valor máximo e mínimo de EVI) da curva de desenvolvimento da soja. Com base nos valores da Tabela 6 a correlação das duas métricas com a produtividade o resultado foi positivo e desprezível para ambas. Para o pico em dias do ano a correlação foi negativa e fraca. O resultado para a duração do ciclo em dias do ano também mostrou uma correlação positiva e fraca.

Ao analisar os valores de EVI dados na velocidade que se deu o ponto de inflexão da curva no início do máximo vigor vegetativo (Lder) e de inflexão no final do máximo vigor vegetativo (Rder), as correlações se mostraram positiva e desprezível com os valores de produtividade (Tabela 6). Os parâmetros integral de menor valor considerando a média dos valores mínimos de EVI do lado direito e esquerdo da curva (Sint) e integral de maior valor de EVI da curva que considera o nível zero como base (Lint) estão diretamente relacionados à presença de biomassa. Desta forma a correlação de ambas integrais com a produtividade foram positivas, sendo desprezível e moderada, respectivamente.

Chaves et.al. (2017) demonstram na Figura 2 que a cultura da soja ao atingir os estádios de florescimento e início de enchimento de grãos, estes correspondem ao ponto de início e fim do máximo vigor vegetativo, respectivamente. Avaliações realizadas por Sakamoto et al. (2010) determinam que para estimar a produtividade da soja é importante ter conhecimento das datas de máximo desenvolvimento vegetativo, referentes aos estádios R1 (florescimento) a R3 (formação de vagens) da cultura. Diante disso, foi feito uma regressão multivariada a fim de mensurar o quanto a produtividade se relaciona com o Lder e Rder por estimarem o tempo gasto para o desenvolvimento vegetativo e também com o Sint e Lint por presumirem a presença de biomassa.

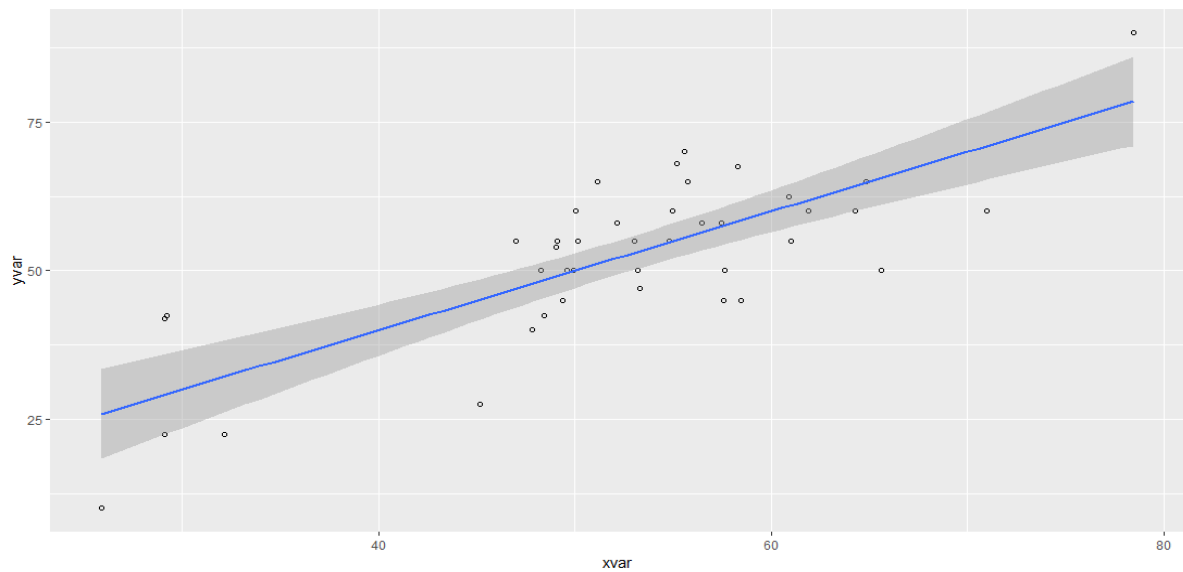
O comportamento dessas variáveis foi expresso por meio do gráfico da Figura 5 e podemos observar que apesar das correlações realizadas anteriormente não terem tido resultados satisfatórios, os resultados obtidos com a análise de regressão multivariada entre os

parâmetros com um $R^2=0,7392$ a um nível de significância ($p<0.01$) indica forte correlação entre as variáveis. A equação de ajuste do modelo é dada por,

$$\text{Produtividade} = 92,7404 * Lder + 137,4324 * Rder + 5,2363 * Lint + (-6,1079 * Sint) + 10,9206$$

Tal que, Lder = velocidade que a cultura atinge o ponto de inflexção do início do máximo vigor vegetativo, Rder = velocidade que a cultura atinge o ponto de inflexção do final do máximo vigor vegetativo, Lint = integral de maior valor da curva e Sint = integral de menor valor da curva.

Figura 6. Curva de Tendência Linear para as produtividades de soja em função dos espectro-temporais de EVI.



Fonte: Do autor (2019).

5. CONCLUSÃO

Os resultados preliminares evidenciam certa relação entre o comportamento espectro-temporal dos talhões de soja obtidos pelo EVI e a produtividade ao final da safra. Entretanto, é necessário ainda intensificar os esforços em trabalhos futuros, utilizar outras culturas em condições diferentes, fazer uso de maior número de amostras e dados de produtividade mensurada, além de analisar um conjunto de safras e trabalhar com informações derivadas de sensores de média resolução, como a série Landsat, de modo a validar o método do índice de vegetação na previsão de safra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROCONSULT. **Rally da Safra 2019**. Disponível em:

< <http://www.agroconsult.com.br/en/> >Acessado em: 03/06/2019.

BAYMA, A. P. **Análise do potencial de séries temporais de índices de vegetação (NDVI E EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma cerrado**. Dissertação de mestrado apresentado à Universidade de Brasília – UnB e Instituto de Geociência – IG no Programa de Pós-Graduação em Geociência Aplicadas. Brasília, março de 2015.

BENDINI, H. N.; FONSECA, L. M. G.; SCHWIEDER, M.; KÖRTING, T. S.; RUFIN, P.; SANCHES, I. D. A.; LEITAO, P. J.; HOSTERT, P. **Detailed Agricultural Land Classification in the Brazilian Cerrado based on Phenological Information from Dense Satellite Image Time Series**. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 82C , 2019, 101872.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D. de M.; SOARES, J. V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos - SP, Brasil: [s.n.], set 2006. Atualizado por Marisa da Motta.

CHAVES, M. E. D.; ALVES, M. de C.; RODRIGUES, J. D. P.; TRINDADE, F. S. T. **Perfis temporais EVI/MODIS e sua relação com a produtividade de cultivares de soja no Estado de Mato Grosso**. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2017. Anais eletrônicos... Campinas, GALOÁ, 2018. Disponível em:

<<https://proceedings.science/sbsr/papers/perfis-temporais-evi-modis-e-sua-relacao-com-a-produtividade-de-cultivares-de-soja-no-estado-de-mato-grosso>> Acesso em: 05/06/2019.

CARLSON, T. N.; RIPLEY, D. A. **On the relation between ndvi, fractional vegetation cover, and leaf area index**. Remote Sensing of Environment, v. 62, n. 3, p. 241 – 252, 1997.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, v. 6 - Safra 2018/19, n.6- Sétimo levantamento, abril 2019.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária**. Volume 6 – Safra 2018/2019.

COWPERTWAIT, P. S. & METCALFE, A. V. **Introductory Time Series with R**. [S.l.]: Springer, 2009. 256 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agência de Informações. Características da Soja**. Disponível em:

<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_24_271020069131.html> Acesso em: 15/05/2019.

- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **História da soja**. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia> > Acesso em: 15/05/2019.
- EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **SATVeg – Sistema de Análise Temporal da Vegetação**. Disponível em: < <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html> >. Acesso em: 07/06/2019
- EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento**. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_terra.html> Acesso em: 07/06/2019.
- GEOPROCESSAMENTO. **Tudo sobre geoprocessamento-Espectro Eletromagnético**. 2011. Disponível em: < http://tudosobreg geoprocessamento.blogspot.com/2011/06/espectro-eletromagnetico_29.html>. Acesso em: 08/05/2019.
- GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: < <https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 09/06/2019.
- INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Satélites**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites>> Acesso em: 19/05/2019.
- JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. **Development of a two-band vegetation index without a blue band**. Remote Sensing of Environment, v. 112, n. 10, p. 3833 – 3845, 2008.
- JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. **TIMESAT 3.3 com decomposição de tendência sazonal e processamento paralelo - Manual do Software**. Universidade de Lund, 2017,92 pp.
- MIURA, T.; Huete, A. R.; Yoshioka, H.; Holben, B. N. **An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction**. Remote Sensing of Environment, v.78, p.284- 298, 2001. Ponzoni, F. J.
- FEHR, W.R; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**, Ames: IOWA State University of Science and Technology, 1977, 11p.
- MORAES, E.C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos – SP, 2002.
- MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000, 179 pg. (Dissertação Mestrado em Sensoriamento Remoto).
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 2001, 208p.

- MOREIRA, M. A & RUDORFF, B.T.F. **Sensoriamento remoto aplicado à agricultura**. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 2002, 20p.
- QUEIROZ, G. R. de; FERREIRA, K. R.; VINHAS, L.; CAMARA, G.; COSTA, R. W. da; SOUZA, R. C. M. de; MAUS, V. W.; SANCHEZ, A. **WTSS: um serviço web para extração de séries temporais de imagens de sensoriamento**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos – SP. Institute for Geoinformatics (ifgi). University of Münster. Germany. Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil. 2015, INPE
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Proceedings of the Third ERTS Symposium, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.
- SAKAMOTO, T.; WARDLOW, B. D.; GITELSON, A. A.; VERMA, S. B.; SUYKER, A. E.; ARKEBAUER, T. J. **A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data**. Remote Sensing of Environment, v.114, n. 10, p.2146-2159, 2010.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponíveis em: <<https://www.R-project.org/>> Acesso em: 10/04/2019.
- SONG, C. & WOODCOCK, C. E. **Monitoring Forest Succession with Multitemporal Landsat Images: Factors of Uncertainty**. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, v. 41, n.11, nov., 2003.
- SPRING, Sistema de Informações Geográficas. **Manuais – Tutoriais de Geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html> Acesso em: 07/06/2019.
- Zhu, C., Lu, D., Victoria, D., Dutra, L. V. **Mapping fractional cropland distribution in Mato Grosso, Brazil using time series MODIS enhanced vegetation index and Landsat Thematic Mapper data**. Remote Sensing, v. 8, n. 1, 2016.