



RESPOSTAS ESPECTRAIS E ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADO (NDVI) NA CULTURA DO MILHO IRRIGADO

Glaucio L. Araujo¹, Thomé S. Almeida², Everardo C. Mantovani³, Leonel A. M. Oliveira⁴, Rodolfo A. de Azeredo⁵.

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, Professor na FACIG, glaucio_araujo@yahoo.com.br

² Doutor em Agronomia Meteorologia Agrícola, Professor no IFMG, thome.almeida@ifsuldeminas.edu.br

³ Doutor em Agronomia, Professor na UFV, everardo@ufv.br

⁴ Graduando em Agronomia, UFV, leonel.oliveira@ufv.br

⁵ Graduando em Agronomia, UFV, rodolfo.azeredo@ufv.br

Resumo- A cultura do milho pode ser considerada como uma das de maior importância no cenário agrícola brasileiro. Estudos que contribuem para o entendimento dos padrões espectrais da cultura servem como base para estudos mais elaborados contribuindo com o avanço de novas tecnologias. O objetivo deste trabalho foi apresentar uma revisão sobre respostas espectrais do milho e fazer uma análise do índice de vegetação normalizado (NDVI) para a cultura, utilizando imagens do satélite Landsat 8. Para alcançar este objetivo um experimento foi realizado utilizando imagens captadas pelo sensor OLI, a bordo do Satélite Landsat 8. Este trabalho foi desenvolvido na região central do Brasil, mais precisamente nos estados de Goiás, Minas Gerais e no Distrito Federal, utilizando 13 pivôs de irrigação. Conclui-se que a medida com que as plantas se desenvolvem, são observados maiores valores de NDVI, e a medida com que as plantas atingem seu estágio de amadurecimento o NDVI diminuem. Neste trabalho o regime de chuvas não exerceu grandes influências nos valores de NDVI, por se tratarem de áreas irrigadas..

Palavras-chave: Milho irrigado; Índices de vegetação; Respostas espectrais; Landsat 8.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrícola .

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas cultivadas no Brasil, representando uma boa fatia na balança comercial brasileira. A produtividade da cultura, atualmente atinge o patamar de 81,9 sacas por hectare, e se encontra em pleno crescimento, isto devido a adoção de novas práticas e tecnologias.

O Brasil se encontra entre os maiores produtores mundiais de milho sendo superado atualmente pelos Estados Unidos da América, maior produtor mundial e pela China. De acordo com o relatório publicado em setembro de 2014 pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na última safra no Brasil, foram plantados 15.801 mil hectares com a cultura do milho, com estimativa de produtividade média de 5.057 kg ha⁻¹ e estimativa de produção de 79.905 mil toneladas no País (CONAB, 2014).

Sabendo da importância do milho em âmbito nacional, estudar aspectos da cultura no que diz respeito a interação do dossel com a radiação eletromagnética, e índices de vegetação é de extrema relevância, uma vez que estas informações podem dar base para outros estudos, como exemplo estudos da estimativa da produção agrícola por meio de imagens de satélite.

Para realizar estudos da interação da radiação eletromagnética (REM) com dosséis das culturas agrícolas, é necessário observar a variação dos efeitos fisiológicos e geométricos sobre as respostas espectrais das culturas, a partir dessas informações, inferir sobre parâmetros da vegetação tais como biomassa, albedo, fração da radiação fotossinteticamente ativa e índice de área foliar (PARKINSON e GREENSTONE, 2000; Citados por ALMEIDA, 2013).

No monitoramento das atividades agrícolas, é necessário fazer um acompanhamento periódico, visto que as culturas levam um determinado tempo para se desenvolver; e, para acompanhar a dinâmica agrícola, o caráter global, sinótico, multiespectral e repetitivo faz com que o sensoriamento remoto seja altamente qualificado para essa atividade, principalmente em países de grandes dimensões como o Brasil (SANCHES, et al., 2005).

São vários os parâmetros importantes para o sensoriamento remoto agrícola e por isso as relações entre as propriedades físicas e morfológicas de um dossel agrícola são dinâmicas e não correspondem de modo único nem simples a uma assinatura espectral imutável (FORMAGGIO e EPIPHANIO, 1990).

No que se refere aos dosséis vegetativos, a variação da reflectância da cobertura vegetal em

diferentes bandas espectrais depende principalmente da quantidade de folhas, das características ópticas (reflectância de folhas e galhos) e da arquitetura do dossel, Índice de Área Foliar, distribuição angular das folhas e galhos (ALMEIDA, 2013).

Observa-se em alguns estudos que a forma da curva da reflectância de um dossel é semelhante à curva da reflectância das folhas isoladas que compõem o dossel (GOEL, 1988; JENSEN, 2000; PONZONI E SHIMABUKURO, 2007). A resposta da reflectância também depende dos ângulos de iluminação e de visada (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Dado o exposto o objetivo deste trabalho foi apresentar fazer uma análise do índice de vegetação normalizado (NDVI) para a cultura do milho, utilizando imagens do satélite Landsat 8.

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido na região central do Brasil, mais precisamente nos estados de Goiás, Minas Gerais e no Distrito Federal, a região de trabalho compreende o quadrilátero formado pelas seguintes coordenadas geográficas: 15°44'0.33"S, 48°10'12.72"O; 15°44'0.33"S, 47°12'17.61"O; 16°44'35.85"S, 47°12'17.61"O; 16°44'35.85"S, 48°10'12.72"O, conforme Figura 1.

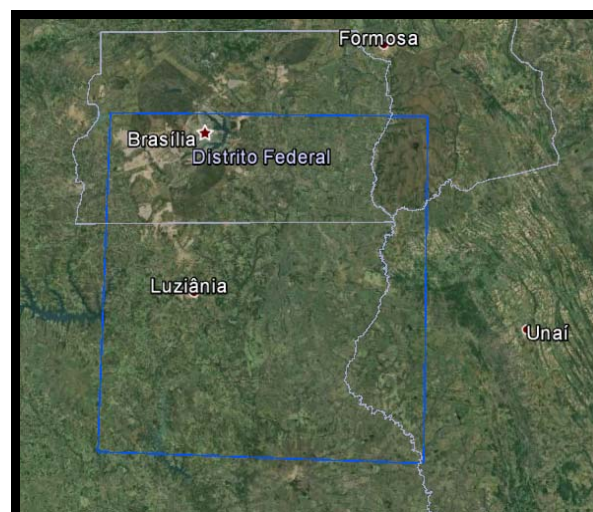


Figura 1. Região de trabalho.

As imagens utilizadas foram captadas pelo sensor OLI, a bordo do Satélite Landsat 8, na órbita 221:071. As imagens do satélite para o período de estudo foram obtidas diretamente do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos da America, U. S. Geological Survey (USGS) na internet, por meio do sistema EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

Neste trabalho foram utilizados 13 pivôs do tipo central, cultivados com milho, pertencentes as fazendas, Riacho Frio, Yanoama, Decisão e São Carlos. As datas de plantio e colheita assim como as coordenadas geográficas do centro de cada pivô e a área cultivada são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos pivôs utilizados no experimento: Proprietário, coordenadas geográficas do cento do pivô, área cultivada, datas de plantio e colheita.

Pivô	Fazenda	Coordenadas Geográficas		Área (ha)	Plantio	Colheita
1	Riacho Frio	16°06'37.89"S	47°38'06.60"O	113	05/10/2013	31/01/2014
2	Riacho Frio	16°07'40.36"S	47°38'14.45"O	60	01/03/2014	10/07/2014
3	Riacho Frio	16°07'36.77"S	47°38'21.79"O	100	16/02/2014	01/07/2014
4	Yanoama	15°54'51.00"S	47°29'43.80"O	106	13/11/2013	14/03/2014
5	Yanoama	15°54'19.56"S	47°30'35.16"O	113	05/10/2013	31/01/2014
6	Decisão	16°26'15.34"S	47°21'06.77"O	100	13/08/2013	23/12/2013
7	Decisão	16°26'34.36"S	47°20'21.45"O	90	15/08/2013	30/12/2013
8	Decisão	16°25'23.71"S	47°18'12.75"O	100	05/02/2014	18/06/2014
9	Decisão	16°26'35.85"S	47°18'35.55"O	101	02/09/2014	09/01/2015
10	Decisão	16°27'46.74"S	47°19'50.93"O	92	14/08/2014	08/01/2015
11	São Carlos	16°31'23.24"S	47°17'22.43"O	30	07/10/2014	12/02/2015
12	São Carlos	16°36'08.68"S	47°19'34.17"O	100	16/03/2014	20/07/2014
13	São Carlos	16°32'02.80"S	47°17'31.12"O	60	20/09/2014	13/01/2015

O Quadro 1 apresenta uma representação esquemática das datas de plantio e colheita juntamente com as datas de imagemamneto das imagens utilizadas no experimento. Apesar do

período de revista do satélite ser de 16 dias, algumas imagens não foram utilizadas devido a presença de nuvens.

Quadro 1. Esquema de datas de plantio e colheita e datas de imageamento.

Quadro 1: Esquema de datas de plantio e colheita e datas de imageamento.																			
Ano	2013					2014										2015			
Mês	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Dia de Imageamento (* presença de nuvens)																			
Primeira Imagem	14	15	01*	2	4	5	6	26*	11	13	14*	16	1	2	4	5*	7*	8	9*
Segunda Imagem	30*		17*	18*		21*	22*		27*	29	30		17	18	20	21*	23*	24*	25*
Pivô Central	Dia de Plantio e Colheita																		
1			5			31													
2								1				10							
3							16					1							
4				13				14											
5			5			13													
6	13				23														
7	15				30														
8							5				18								
9														2				9	
10													14					8	
11															7				12
12								16				20							
13														20				13	

Após o download das imagens no site do USGS, as mesmas foram recortadas com base nas coordenadas geográficas do quadrilátero mencionado anteriormente. Posteriormente as imagens foram processadas a fim de calcular a refletância no topo da atmosfera sem a correção para o ângulo solar, em cada uma das bandas. O processo foi realizado com base na Equação 1.

$$\rho'\lambda = M_p * ND + A_p \quad (1)$$

Onde: $\rho'\lambda$: Refletância no topo da atmosfera sem correção para o ângulo solar; M_p : Fator de reescala multiplicativo, específico de cada banda; ND: Valor do número digital de cada pixel; A_p : Fator de reescala aditivo, específico de cada banda.

Após determinar os valores de refletância para cada uma das imagens e bandas, foi realizada a correção da refletância em função do ângulo solar. Este processo foi realizado com base na equação abaixo.

$$\rho\lambda = \frac{\rho'\lambda}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

Onde: $\rho'\lambda$: Refletância no topo da atmosfera; θ_{SE} : Ângulo local de elevação solar.

Após as determinações dos valores de refletância para cada uma das imagens e bandas,

foi possível calcular os valores de NDVI. Este processo foi realizado com base na Equação 3.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3)$$

Onde: NIR: refletância na região do infravermelho próximo (0,75 – 0,90 μ m); R: refletância na região do vermelho (0,63 – 0,70 μ m).

Depois do processamento inicial das imagens, foram geradas imagens de NDVI, em cada uma das datas de imageamento. Os valores médios de NDVI para cada pivô na respectiva data de imageamento, foram calculados com base nos valores de NDVI de cada um dos pixels que compunham o pivô em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 se trata de uma composição RGB verdadeira, que utiliza as bandas 2 (azul), 3 (verde) e 4 (vermelho), do satélite Landsat 8, obtidas no dia 5 de janeiro de 2014. Nesta Figura é possível observar que se trata de uma região com elevado número de pivôs de irrigação. A área de estudo se trata de uma região com relevo favorável e clima propício a prática da agricultura irrigada.

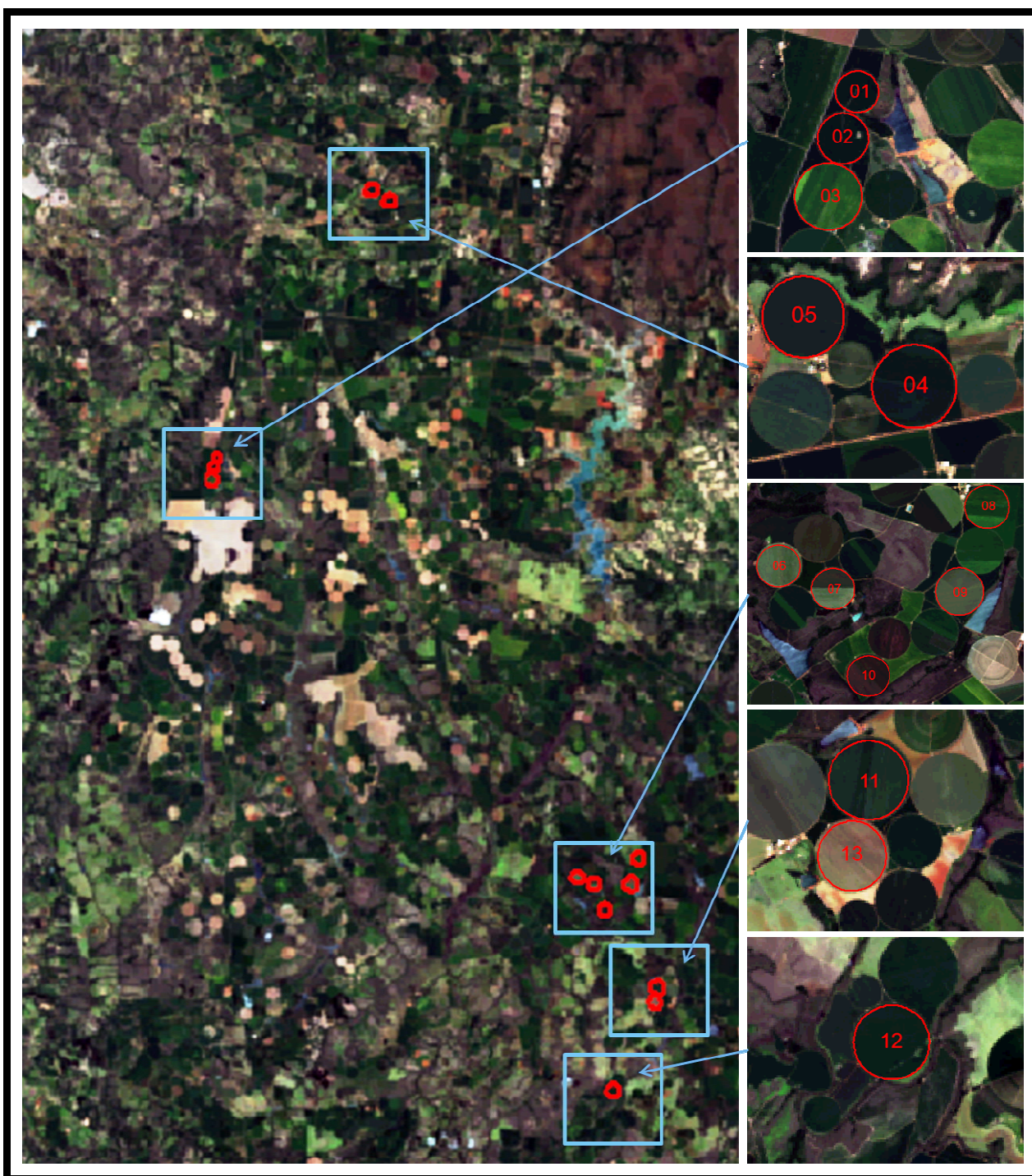


Figura 2. Composição RGB do dia 5 de janeiro de 2014, utilizando imagens do satélite Landsat 8. Pivôs 1, 2 e 3, proprietário Faz. Riacho Frio; Pivôs 4 e 5, proprietário Faz. Yanoama; Pivôs 6, 7, 8, 9 e 10, proprietário Faz. Decisão; Pivôs 11, 12 e 13, proprietário Faz. São Carlos.

Na Tabela 2, são apresentados os valores de NDVI para os 13 pivôs de irrigação, em função das datas de imageamento. devido a presença de nuvens o pivô de número 11 foi imageado apenas

duas vezes, o mesmo problema ocorreu com os pivôs 1, 4, 5 e 13 que foram imageados três vezes.

Tabela 2. Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) dos 13 pivôs de irrigação em função da data de imageamento, juntamente com suas respectivas datas de plantio e colheita.

Pivô	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Plantio	5/10/13	1/3/14	16/2/14	13/11/13	5/10/13	13/8/13	15/8/13	5/2/14	2/9/14	14/8/14	7/10/14	16/3/14	20/9/14
Colheita	31/1/14	10/7/14	1/7/14	14/3/14	31/1/14	23/12/13	30/12/13	18/6/14	9/1/15	8/1/15	12/2/15	20/7/14	13/1/15
Imageamento	Valores de NDVI												
14/8/13						0,237	0,274						
15/9/13						0,303	0,302						
2/11/13	0,231				0,378	0,587	0,598						
4/12/13	0,431			0,363	0,749	0,644	0,590						
5/1/14	0,881			0,854	0,829								
6/2/14				0,809					0,237				
11/4/14		0,743	0,744						0,806			0,433	
13/5/14		0,789	0,793						0,655			0,765	
29/5/14		0,812	0,805						0,693			0,823	
30/6/14		0,738	0,626									0,709	
16/7/14												0,675	
1/8/14													
17/8/14										0,243			
2/9/14									0,251	0,259			
18/9/14									0,256	0,443			
4/10/14									0,452	0,757			0,229
20/10/14									0,661	0,736	0,207		0,225
8/1/15									0,613	0,651	0,887		0,886
NDVI Médio	0,514	0,770	0,742	0,675	0,652	0,443	0,441	0,598	0,447	0,515	0,547	0,681	0,447

Na Tabela 2 é possível notar que os valores de NDVI acompanham o estado fenológico da cultura. A medida com que as plantas se desenvolvem e apresentam maiores valores de área foliar em função da expansão foliar natural da cultura, os valores de NDVI também crescem, e a medida com que as plantas atingem seu estágio de amadurecimento e com isso sofrem com o amarelecimento das folhas e abscisão foliar, os valores de NDVI diminuem. Quando observamos os pivôs de números 9 e 10, que apresentaram o maior número de imagens, este comportamento do NDVI fica bem evidenciado. No entanto os demais pivôs apresentaram o mesmo comportamento.

Com o amarelecimento das folhas ocorre maior refletância na faixa do vermelho, que por sua vez resulta na redução dos valores de NDVI. E com a queda das folhas ocorre a diminuição da área foliar que também reduz a refletância. Segundo Julien et al. (2011) e GU et al. (2012), índice de vegetação por diferença normalizada baseia-se na diferença de absorção dos tecidos fotossinteticamente ativos nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo. Fato que justifica a diminuição do NDVI com o amadurecimento da planta.

Segundo Santos et al. (2009), o desenvolvimento fenológico determina mudanças estruturais da vegetação ao longo da estação de crescimento, as quais resultam em correspondentes mudanças gradativas na refletância, o que define um perfil espectro-temporal.

Segundo Chaves (2014), de forma geral, o aumento dos valores dos índices, quando se analisam áreas agrícolas, é em razão do início do

período de crescimento vegetativo das plantas. Esse acréscimo culmina no ponto de máximo vigor vegetativo, correspondente ao fim da fase de desenvolvimento vegetativo e período de pleno vigor verde da planta. Neste ponto, inicia-se a colheita em algumas culturas.

Estes resultados corroboram com os obtidos por Giordano et al. (2014), que avaliaram o NDVI na cultura do milho em diferentes estádios de desenvolvimento em função da data de dessecação da aveia branca presente na área de cultivo.

Para Ponzoni e Shimabukuro (2010), é possível verificar as mudanças na fenologia e na diminuição de biomassa, baseadas nas variações no comportamento temporal/espectral da vegetação e na alteração nos valores de NDVI. Estes mesmos autores afirmam que, como ferramenta para o monitoramento da vegetação, o NDVI é utilizado para construir os perfis sazonais e temporais do seu comportamento, permitindo comparações interanuais entre eles, possibilitando detectar atividades sazonais e fenológicas de culturas, duração do período de crescimento, pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência. Estas possibilidades apresentam um grande potencial que contribui imensamente para este estudo.

Ainda na Tabela 2, é possível observar que os maiores valores de NDVI foram encontrados no mês de janeiro. Chaves (2014) trabalhando na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba nos anos de 2010, 2011 e 2012, também encontra picos de NDVI no mês de janeiro para a cultura do milho. Segundo Chaves (2014) o pico de maior vigor vegetativo assemelha-se ao de soja, abrupto e com curta duração, precedido de um período

estável, com grande vigor vegetativo, coincidentemente, após o início das chuvas. Este pico é sucedido por um período de queda nos valores em meses de pouca precipitação, o que corrobora a importância do regime pluviométrico para o milho.

Quando procedemos com a análise da quantidade de chuva recebida por cada um dos pivôs, Figura 3, e comparamos com os valores de NDVI, é possível observar que neste trabalho o regime de chuvas não exerceu grandes influências nos valores de NDVI, principalmente por se tratarem de áreas irrigadas.

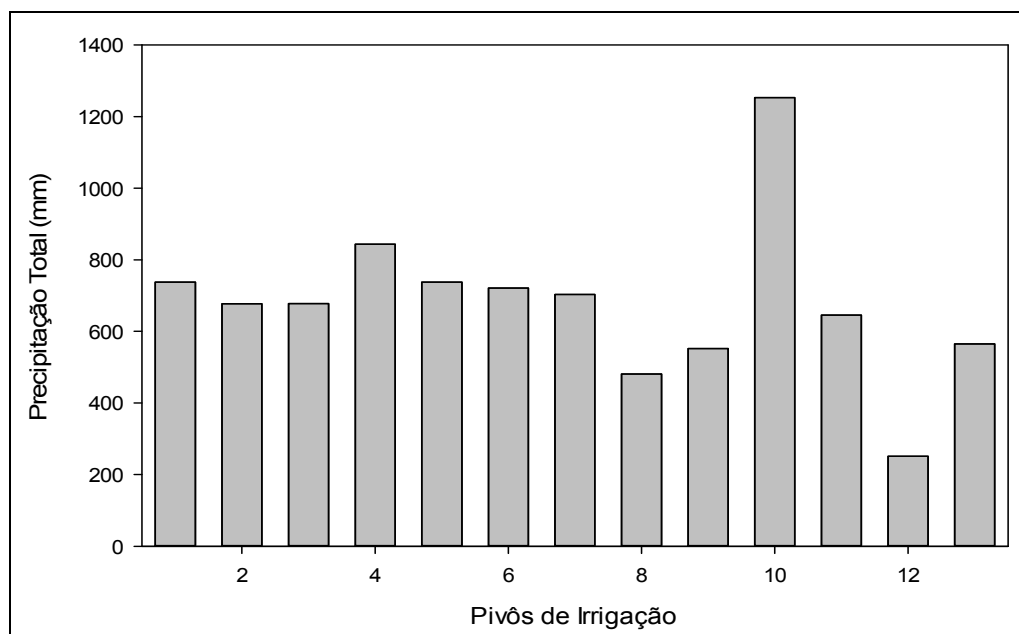


Figura 3. Precipitação total recebida por cada um dos pivôs de irrigação.

No trabalho de Chaves (2014) os maiores valores anuais de NDVI foram registrados na primeira em fevereiro de 2010, janeiro de 2011 e fevereiro de 2012, estes valores encontrados vão de encontro aos períodos de chuva na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, o que indica influência direta do acúmulo de precipitação dos meses anteriores, como novembro e dezembro, que apresentaram volume de precipitação variando entre 280 e 340 mm durante o período de análise.

No mesmo trabalho Chaves (2014), registra a ocorrência dos menores valores de NDVI em agosto e setembro, isso deve-se ao fato de que estes são meses que representam o período imediato ao inverno, onde a vegetação está mais seca ou o solo está descoberto, resultando em menor refletância. Além, claro, de se tratar de um período entre o fim de um ciclo da cultura e início de outro.

De acordo com Hall e Badhwar (1987), análises multitemporais como as realizadas neste trabalho, permitem um melhor acompanhamento do ciclo fenológico, sendo que o dinamismo do alvo agrícola, associado a multitemporalidade dos sensores permite uma melhor caracterização das culturas.

Jensen (2000) cita que existem épocas do ciclo mais propícias, quando se buscam identificar diferentes tipos de vegetação ou extrair informações biofísicas da mesma com base em dados de sensoriamento remoto. Por isso, é vital ter um conhecimento aprofundado sobre os ciclos fenológicos das plantas para selecionar datas mais apropriadas para a coleta de dados.

Uma análise temporal de índices de vegetação auxilia na identificação da fase em que se encontra a cultura e ajuda a observar quando os períodos de seca ou estresse hídrico ocorreram durante o ciclo e como interferem. Além disso, como cita Gleriani (2004), uma análise temporal melhora a qualidade de discriminação entre diferentes classes, permitindo a identificação das culturas com base na análise gráfica da resposta espectro-temporal.

Sanches (2004) explica que, para obter dados de estatísticas agrícolas ou realizar estudos sobre o comportamento espectral de cultivos com o uso de dados de sensoriamento remoto, é imprescindível uma análise multitemporal. Epiphanyo (2007) corrobora esta informação ao descrever que, para o monitoramento da atividade agrícola, é preciso realizar um acompanhamento periódico, já que as culturas apresentam uma alta dinâmica temporal.

CONCLUSÃO

O conhecimento da ecofisiologia da cultura é de extrema importância para entender seu padrões de resposta espectral. Os índices de vegetação podem ser utilizados para identificar padrões abrindo porta para outros estudos, sendo o NDVI o índice de maior importância. Neste estudo os valores de NDVI acompanham o estado fenológico da cultura. A medida com que as plantas se desenvolvem, os pivôs apresentam maiores valores de NDVI, e a medida com que as plantas atingem seu estágio de amadurecimento valores de NDVI diminuem. Neste trabalho o regime de chuvas não exerceu grandes influências nos valores de NDVI, por se tratarem de áreas irrigadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T. S. **Modelagem agrometeorológica-espectral para estimativa da produtividade de cafeeiros para áreas irrigadas do noroeste de minas gerais**. 2013. 63 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- CHAVES, M. E. D. **Uso de dados multitemporais de índices de vegetação para a identificação de culturas agrícolas no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba-MG**. 2014. 107 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de Safra Brasileira Grãos: V.1 - SAFRA 2013/14 N.12 - Décimo Segundo Levantamento Setembro/2014**-Companhia Nacional de Abastecimento. - Brasília: Conab 2014. 151p.
- EPIPHANIO, R. D. V. **Avaliação da potencialidade das imagens MODIS na estimação da área de soja no Estado do Mato Grosso**. 2007. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. **Características espectrais de culturas e rendimento agrícola**. São José dos Campos: INPE, 1990. 178 p. (INPE-5125-PE/630).
- GIORDANO, C. P. da S.; VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; JESUS, M. H. de; FERRARI, L. E. Estimativa do potencial produtivo em milho em diferentes estádios fenológicos utilizando sensor ativo de vegetação. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP, **Anais...**, São Pedro - SP, Brasil, 2014.
- GLERIANI, J. M. **Redes neurais na classificação espectro-temporal de culturas agrícolas**. 2004. 198 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.
- GOEL, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**. Great Britain, v. 4, n. 1, p. 1-212, 1988.
- HALL, F. G.; BADHWAR, G. D. Signature-extendable technology: global space-based crop recognition. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 25, n. 1, p. 11-27, 1987.
- JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resources perspective**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2000. 544 p.
- JENSEN, J.R. Multispectral remote sensing systems. In: _____. **Remote sensing of the environment an earth resource perspective**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000. cap. 7, p. 181-240.
- PARKINSON, C.L.; GREENSTONE, E. **EOS data products handbook**. Maryland: NASA, 2000. v. 2, 253 p.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A. S. Vieira, 2010. 135 p.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007.
- SANCHES, I. D. A. **Sensoriamento remoto para o levantamento espectrotemporal e estimativas de área de culturas agrícolas**. 2004. 172 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.
- SANCHES, I. D. A.; EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Culturas agrícolas em imagens multitemporais do satélite Landsat. **Agric.** São Paulo, São Paulo, v. 52, n. 1, p. 83-96, jan./jun. 2005.
- SANTOS, J. S.; GEHRARDT, A.; FONTANA, D. C. Análise das Estimativas de Área de Soja no Estado do Rio Grande do Sul Geradas por Imagens NDVI/MODIS Coleções 4 e 5. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO
REMOTO, 14. 2009, Natal. **Anais...** São José dos
Campos: INPE, 2009. p. 435-442. DVD.