



THÁLITA CARRIJO DE OLIVEIRA

**VARIAÇÃO TEMPORAL DOS ÍNDICES DE
VEGETAÇÃO DA SOJA E CANA-DE-AÇÚCAR
E OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE
CULTURA (K_c) A PARTIR DO NDVI**

LAVRAS – MG

2014

THÁLITA CARRIJO DE OLIVEIRA

**VARIAÇÃO TEMPORAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DA SOJA E
CANA-DE-AÇÚCAR E OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA
(K_c) A PARTIR DO NDVI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Elizabeth Ferreira

Coorientador

Dr. Antônio Augusto Aguilar Dantas

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Oliveira, Thálita Carrijo de.

Variação temporal dos índices de vegetação da soja e cana-de-açúcar e obtenção do coeficiente de cultura (K_C) a partir do NDVI / Thálita Carrijo de Oliveira. – Lavras : UFLA, 2014.

144 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Elizabeth Ferreira.

Bibliografia.

1. EVI. 2. EVI2. 3. NDVI. 4. Perfis temporais. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 519.55

THÁLITA CARRIJO DE OLIVEIRA

**VARIAÇÃO TEMPORAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DA SOJA E
CANA-DE-AÇÚCAR E OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA
(K_c) A PARTIR DO NDVI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 11 de novembro de 2014.

Dr. Antônio Augusto Aguiar Dantas UFLA

Dr. Mauro Antonio Homem Antunes UFRJ

Dra. Elizabeth Ferreira
Orientadora

LAVRAS – MG

2014

*Aos meus queridos pais, Mara e Divonei, pela
dedicação e força prestados ao longo desta
etapa tão importante em minha vida.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), processo CAG-APQ 01560-12. Por meio deste projeto, pôde-se obter suporte para o financiamento de equipamentos e softwares, que implementados no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do DEG/UFLA facilitaram a execução desta dissertação.

Aos professores do Departamento de Engenharia da UFLA, pelos ensinamentos e dedicação.

À minha orientadora, professora Dra. Elizabeth Ferreira, pela confiança na minha capacidade de execução deste trabalho, pelos ensinamentos repassados e excelente orientação.

Ao professor, Dr. Antônio Augusto Aguilár Dantas, pela coorientação e conhecimentos transmitidos.

Ao professor, Dr. Mauro Antonio Homem Antunes, pela contribuição com seus conhecimentos em Sensoriamento Remoto e por aceitar participar como membro na banca examinadora.

Aos amigos e colegas da pós-graduação, Otávio, Michel, Jefferson, Lays e Christiany, pelas conversas descontraídas, mas também muito produtivas, pelo apoio e auxílio na execução deste trabalho.

RESUMO

Os levantamentos agrícolas dependem, em grande parte, de informações de órgãos governamentais e com a crescente disponibilização de dados e produtos de sensoriamento remoto, dentre eles os produtos de índices de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e os *Enhanced Vegetation Index* (EVI e EVI2), já é fato que o monitoramento das áreas agrícolas pode ser realizado por meio da análise destas informações. Uma importante aplicação da análise dos produtos de índices de vegetação está relacionada à estimação do coeficiente de cultura (K_c). Dessa forma, o monitoramento das grandes culturas, como a soja e cana-de-açúcar, por meio de séries temporais dos produtos de índices de vegetação, associado à estimação do coeficiente de cultura (K_c) que está diretamente relacionado ao ciclo fenológico, viabiliza o acompanhamento do desenvolvimento das culturas e diminui a subjetividade das estimativas agrícolas. Neste trabalho foram analisados os perfis temporais de índices de vegetação das culturas de soja irrigada, soja de sequeiro e cana-de-açúcar irrigada, gerados com base em imagens dos sensores TERRA/MODIS e SPOT/Vegetation. Os valores de NDVI foram utilizados para obter as curvas do coeficiente de cultura (K_c), para a cultura da soja irrigada, no município de Planura, em Minas Gerais. A identificação das áreas cultivadas com soja irrigada foi feita por meio de trabalho de campo; com soja de sequeiro pela análise visual nas imagens TERRA/MODIS; e, com cana-de-açúcar com o projeto Canasat. Foram construídas séries temporais dos produtos MOD13Q1 (NDVI e EVI), MOD09GQ (NDVI), VGT-S10 (NDVI) e LAF (EVI2) para análise dos índices de vegetação NDVI, EVI e EVI2, permitindo a extração dos valores desses índices para todos os pontos no período de duas safras (2010/2011 e 2011/2012). A obtenção dos valores de K_c foi feita por meio da análise dos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada baseada no índice de vegetação NDVI para comparação entre as curvas de K_c calculados (K_{cNDVI}) e tabelados (K_c FAO). Nos resultados da análise por safra dos perfis temporais de NDVI, EVI e EVI2, de todos os produtos, verificou-se que os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante quanto ao ciclo das culturas. Da mesma forma, na comparação entre as curvas de K_{cNDVI} e K_c FAO foi observado um padrão semelhante, nas análises de todos os produtos. Assim, o NDVI pode ser utilizado como uma alternativa na obtenção do coeficiente de cultura (K_c).

Palavras-chave: EVI. EVI2. NDVI. Perfis temporais.

ABSTRACT

Agricultural surveys largely depend on information from governmental organs and, with the increasing availability of data and remote sensing products, among which are the vegetation index products *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) and the *Enhanced Vegetation Index* (EVI and EVI2), it is already fact that the monitoring of agricultural areas might be performed by means of analyzing these information. An important application of the analysis of the vegetation indexes products is related to the estimation of crop coefficient (K_c). Thus, the monitoring of large cultures, such as soybean and sugarcane, by means of the temporal series of the vegetation indexes products, associated to the estimation of crop coefficient (K_c), which is directly related to the phenological cycle, makes the follow-up of culture development possible and decreases the subjectivity of the agricultural estimates. In this work, we analyzed the temporal profiles vegetation indexes of the cultures of irrigated soybean, non-irrigated soybean and irrigated sugarcane, generated based on images from the TERRA/MODIS and SPOT/Vegetation sensors. The NDVI values were used to obtain the crop coefficient (K_c) curves for the irrigated soybean culture, in the municipality of Planura, in Minas Gerais, Brazil. The identification of areas cultivated with irrigated soybean was done by means of field work; with non-irrigated soybean by the visual analysis of TERRA/MODIS images; and with sugarcane with the Canasat project. We constructed temporal series of the products MOD13Q1 (NDVI and EVI), MOD09GQ (NDVI), VGT-S10 (NDVI) and LAF (EVI2) for the analysis of the vegetation indexes NDVI, EVI and EVI2, allowing the extraction of the values of these indexes for all the points in the periods of two harvests (2010/2011 and 2011/2012). The attainment of the K_c values was done by means of the analysis of the phenological stages of the irrigated soybean culture based on the NDVI vegetation index for comparison between the K_c curves calculated (K_{cNDVI}) and tabulated (K_c FAO). In the results of the analysis by harvest of the NDVI, EVI and EVI2 temporal profiles of all the products, we verified that the temporal profiles presented a similar pattern regarding the culture cycles. In the same way, in the comparison between the K_{cNDVI} and K_c FAO curves, we observed a similar pattern in the analyses of all the products. Therefore, the NDVI may be used as an alternative for obtaining the crop coefficient (K_c).

Keywords: EVI. EVI2. NDVI. Temporal profiles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação do <i>tile</i> h (v) de 1200 x 1200 km.	31
Figura 2	Progressão sazonal do NDVI e K_c em locais de calibração do modelo: campo irrigado, Nebraska, USA (2007).....	42
Figura 3	Localização da área de estudo	43
Figura 4	Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da soja irrigada em função das datas de colheita (02/02/2011, 18/02/2011 e 06/03/2011), safra 2010/2011	51
Figura 5	Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da soja irrigada em função da duração do ciclo (16/10/2011 a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2011 e 01/11/2011 a 02/02/2012), safra 2011/2012.....	54
Figura 6	Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da soja irrigada em função das datas de colheita (02/02/2011 e 18/02/2011), safra 2010/2011.....	55
Figura 7	Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da soja irrigada em função da duração do ciclo (16/10/2011 a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012), safra 2011/2012.....	57
Figura 8	Perfis temporais de EVI2/LAF da soja irrigada em função da duração do ciclo (30/09/2010 a 18/02/2011, 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011), safra 2010/2011.....	59
Figura 9	Perfis temporais de EVI2/LAF da soja irrigada em função da duração do ciclo (30/09/2011 a 18/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012), safra 2011/2012.....	60

Figura 10	Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da soja irrigada em função da duração do ciclo (11/10/2010 a 01/02/2011, 01/11/2010 a 21/02/2011 e 11/11/2010 a 21/02/2011), safra 2010/2011.....	62
Figura 11	Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da soja irrigada em função da duração do ciclo (01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012, 11/10/2011 a 11/02/2012, 11/10/2011 a 21/02/2012 e 01/11/2011 a 11/02/2012), safra 2011/2012.....	65
Figura 12	Perfis temporais de NDVI/MOD09GQ da soja irrigada em função da duração do ciclo (17/10/2010 a 25/02/2011, 20/10/2010 a 02/02/2011, 20/10/2010 a 15/02/2011, 24/10/2010 a 19/02/2011, 03/11/2010 a 19/02/2011 e 03/11/2010 a 27/02/2011), safra 2010/2011.....	67
Figura 13	Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da soja de sequeiro em função das datas de colheita (02/02/2011 e 18/02/2011), safra 2010/2011.....	70
Figura 14	Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (16/10/2011 a 02/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012, 16/10/2011 a 05/03/2012, 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012), safra 2011/2012.....	72
Figura 15	Perfil temporal dos valores médios de EVI/MOD13Q1 da soja de sequeiro, safra 2010/2011.....	73
Figura 16	Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (16/10/2011 a 18/02/2012, 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012), safra 2011/2012.....	75

Figura 17	Perfis temporais de EVI2/LAF da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (30/09/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 06/03/2011, 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011), safra 2010/2011.....	77
Figura 18	Perfis temporais de EVI2/LAF da soja de sequeiro em função da data de colheita (18/02/2012, 05/03/2012 e 21/03/2012), safra 2011/2012	78
Figura 19	Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (11/10/2010 a 01/02/2011, 11/10/2010 a 11/02/2011, 11/10/2010 a 21/02/2011, 21/10/2010 a 11/02/2011 e 01/11/2010 a 11/02/2011), safra 2010/2011.....	80
Figura 20	Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012, 11/10/2011 a 11/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012), safra 2011/2012.....	82
Figura 21	Perfis temporais de NDVI/MOD09GQ da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (17/10/2010 a 21/02/2011, 20/10/2010 a 12/02/2011, 27/10/2010 a 19/02/2011, 29/10/2010 a 02/02/2011, 29/10/2010 a 12/02/2011 e 29/10/2010 a 20/02/2011), safra 2010/2011.....	84
Figura 22	Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (29/08/2010 a 14/09/2011, 14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 10/06/2011, 14/09/2010 a 30/09/2011, 30/09/2010 a 28/07/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011 e 30/09/2010 a 14/09/2011), safra 2010/2011.....	87

- Figura 23 Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (29/08/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 28/08/2012, 30/09/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012), safra 2011/2012.....89
- Figura 24 Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 12/07/2011, 30/09/2010 a 10/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 14/09/2011 e 01/11/2010 a 30/09/2011), safra 2010/2011.....92
- Figura 25 Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 16/11/2012, 16/10/2011 a 28/08/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012), safra 2011/2012.....94
- Figura 26 Perfis temporais de EVI2/LAF da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (29/08/2010 a 17/11/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 26/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 30/09/2011 e 16/10/2010 a 29/08/2011), safra 2010/2011.....96

Figura 27	Perfis temporais de EVI2/LAF da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (29/08/2011 a 11/07/2012, 29/08/2011 a 16/11/2012, 14/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012, 16/10/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 16/11/2012 e 17/11/2011 a 16/10/2012), safra 2011/2012	99
Figura 28	Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (21/09/2010 a 01/06/2011, 21/09/2010 a 01/07/2011, 21/09/2010 a 01/08/2011 e 21/09/2010 a 01/10/2011), safra 2010/2011.....	101
Figura 29	Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (21/09/2011 a 01/11/2012, 01/10/2011 a 21/07/2012, 01/10/2011 a 11/09/2012, 01/10/2011 a 21/09/2012 e 11/10/2011 a 11/09/2012), safra 2011/2012.....	103
Figura 30	Perfis temporais de NDVI/MOD09GQ da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (26/09/2010 a 08/06/2011, 26/09/2010 a 27/08/2011, 26/09/2010 a 07/10/2011, 01/10/2010 a 24/06/2011, 05/10/2010 a 05/08/2011, 05/10/2010 a 07/09/2011 e 06/10/2010 a 24/09/2011), safra 2010/2011.....	105
Figura 31	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011.....	108
Figura 32	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011 de soja irrigada.....	109
Figura 33	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011.....	111

Figura 34	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para safra de 16/10/2010 a 18/02/2011	112
Figura 35	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011	114
Figura 36	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011	115
Figura 37	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011	117
Figura 38	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011	118
Figura 39	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011	120
Figura 40	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011	121
Figura 41	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011	123
Figura 42	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011	124
Figura 43	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011	128
Figura 44	Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características gerais dos satélites ativos da série SPOT	23
Tabela 2	Especificações Técnicas do Sensor VEGETATION.....	24
Tabela 3	Características gerais do Satélite TERRA.....	25
Tabela 4	Especificações Técnicas do Sensor MODIS	26
Tabela 5	Calendário Agrícola da soja no Brasil.....	33
Tabela 6	Calendário agrícola da cana-de-açúcar no Brasil	35
Tabela 7	Coefficiente de cultura (K_c) em função do seu estágio de desenvolvimento.....	40
Tabela 8	Coefficientes das culturas (K_c) de cana-de-açúcar e soja, em função das fases de desenvolvimento e condições climáticas*	41
Tabela 9	Pontos referentes às áreas cultivadas com soja irrigada, soja de sequeiro e cana-de-açúcar irrigada, no município de Planura/MG	45
Tabela 10	Período de obtenção, resolução temporal e número de produtos de índices de vegetação utilizados nas séries temporais	46
Tabela 11	Comparação entre as datas de plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada na análise dos dados de campo e de NDVI/MOD13Q1.....	52
Tabela 12	Comparação entre as datas de plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada na análise dos dados de campo e de NDVI/VGT-S10	63
Tabela 13	Comparação entre as datas de plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada na análise dos dados de campo e de NDVI/MOD09GQ plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada na análise dos dados de campo e de NDVI/MOD09GQ.....	68

Tabela 14	Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011	106
Tabela 15	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011.....	107
Tabela 16	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011	108
Tabela 17	Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011	110
Tabela 18	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011.....	110
Tabela 19	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011	111
Tabela 20	Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011	112
Tabela 21	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011.....	113
Tabela 22	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011	114
Tabela 23	Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011	116
Tabela 24	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011.....	116
Tabela 25	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011	117
Tabela 26	Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011	119
Tabela 27	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011.....	119

Tabela 28	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011	121
Tabela 29	Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011	122
Tabela 30	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011.....	122
Tabela 31	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011	124
Tabela 32	Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011	125
Tabela 33	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011.....	125
Tabela 34	Valores de NDVI/MOD09GQ e os respectivos valores negativos de K_{cNDVI}	127
Tabela 35	K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011	128

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVO	21
2.1	Objetivo Geral	21
2.2	Objetivos Específicos	21
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1	Satélites para recursos terrestres e ambientais	23
3.1.1	Satélite SPOT	23
3.1.2	Satélite TERRA	24
3.2	Índices de Vegetação	26
3.3	Produtos de índices de vegetação	29
3.3.1	Produtos SPOT/VGT	29
3.3.2	Produtos TERRA/MODIS	30
3.4	A cultura da soja	32
3.5	Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento da cultura de soja	33
3.6	A cultura da cana-de-açúcar	34
3.7	Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento da cultura de cana-de-açúcar	36
3.8	Relação entre índices de vegetação e precipitação	36
3.9	Coeficiente de cultura (K_c)	38
3.10	Relação entre K_c e índices de vegetação	41
4	MATERIAL E MÉTODOS	43
4.1	Área, período de estudo e dados de precipitação	43
4.2	Identificação das áreas cultivadas com soja irrigada, soja de sequeiro e cana-de-açúcar	44
4.3	Obtenção e processamento dos dados TERRA/MODIS e SPOT/VGT	45
4.4	Pré-processamento e construção dos perfis temporais com base nos produtos MOD09GQ	47
4.5	Relação entre K_c e NDVI	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	Análise dos índices de vegetação para a cultura da soja irrigada ..	50
5.1.1	NDVI do produto MOD13Q1	50
5.1.2	EVI do produto MOD13Q1	54
5.1.3	EVI2 do Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF)	57
5.1.4	NDVI do produto VGT-S10	61
5.1.5	NDVI do produto MOD09GQ	65
5.2	Análise dos índices de vegetação para a cultura da soja de sequeiro	68

5.2.1	NDVI do produto MOD13Q1	69
5.2.2	EVI do produto MOD13Q1	72
5.2.3	EVI2 do Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF)	75
5.2.4	NDVI do produto VGT-S10	79
5.2.5	NDVI do produto MOD09GQ	82
5.3	Análise dos índices de vegetação para a cultura da cana-de-açúcar.....	85
5.3.1	NDVI do produto MOD13Q1	85
5.3.2	EVI do produto MOD13Q1	90
5.3.3	EVI2 do Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF)	94
5.3.4	NDVI do produto VGT-S10	99
5.3.5	NDVI do produto MOD09GQ	103
5.4	Análise dos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada a partir dos índices de vegetação para comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO	106
5.4.1	NDVI/MOD13Q1	106
5.4.2	NDVI/VGT-S10.....	115
5.4.3	NDVI/MOD09GQ.....	125
6	CONCLUSÕES.....	131
	REFERÊNCIAS	132
	ANEXOS	139

1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola tem importância estratégica na economia do Brasil, sendo influenciada, nos últimos anos, por grandes modificações em todo o sistema de produção, principalmente, por meio do incremento de novas tecnologias.

Dentre as culturas de grande valor econômico para o País, a soja e a cana-de-açúcar estão entre os principais produtos agrícolas, sendo cultivadas em grandes extensões e em regiões com diferentes aspectos físicos e climáticos, tornando o monitoramento das áreas agrícolas oneroso e demorado.

Os levantamentos agrícolas têm sido realizados, principalmente, por meio de métodos convencionais e informações de órgãos governamentais, porém com a crescente disponibilização de dados e produtos de sensoriamento remoto já é fato que o monitoramento das áreas agrícolas pode ser realizado por meio da análise destas informações. Os produtos de sensoriamento remoto são derivados de dados brutos provenientes das imagens registradas por sensores a bordo de satélites. Entre estes produtos podem ser citados os produtos de índices de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e os *Enhanced Vegetation Index* (EVI e EVI2), muito aplicados à agricultura.

Nos dias atuais, os produtos de índices de vegetação são disponibilizados com diversas resoluções espacial e temporal. Para aplicações na agricultura, a alta periodicidade fornecida por estes produtos (diária ou em intervalos de 10 ou 16 dias) são de importância fundamental para análises e acompanhamento do desenvolvimento de culturas em áreas extensas. Entretanto, pelo fato de existirem imagens e produtos com diferentes resoluções espaciais e temporais torna-se necessária a realização de estudos que avaliem a influência destas resoluções no comportamento destes índices ao longo do tempo, ou seja, da fase de plantio até a colheita da cultura.

Uma importante aplicação da análise dos índices de vegetação está relacionada à estimação do coeficiente de cultura (K_c). Como a atribuição dos valores de K_c está relacionada ao ciclo fenológico da cultura, existem estudos que sugerem que os perfis temporais de índices de vegetação podem ser utilizados para obtenção dos valores de K_c . O K_c é diretamente empregado nos cálculos de irrigação, para determinar o quantitativo necessário de irrigar, contribuindo, principalmente, para a racionalização do uso da água e a redução no custo de produção.

Assim, com o objetivo de contribuir com a ampliação das aplicações de sensoriamento remoto na agricultura, a análise de índices de vegetação, para culturas da soja e cana-de-açúcar, e a obtenção do coeficiente de cultura (K_c) com base em produtos de NDVI, para a cultura de soja irrigada, foram objeto deste estudo.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo foi conduzido com o objetivo de analisar os índices de vegetação das culturas da soja e cana-de-açúcar gerados com base em imagens de satélites/sensores que possuem diferentes resoluções espaciais e temporais (TERRA/MODIS e SPOT/Vegetation). Os valores de NDVI foram utilizados, para obter as curvas do coeficiente de cultura (K_c), para a cultura da soja irrigada, no município de Planura, em Minas Gerais.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Construir perfis temporais utilizando os produtos de NDVI e EVI gerados com base em imagens do sensor TERRA/MODIS (resolução espacial de 250 m e resolução temporal de 16 dias), para safras de soja e de cana-de-açúcar, 2010/2011 e 2011/2012.
- b) Construir perfis temporais utilizando os produtos de NDVI gerados com base em imagens do sensor SPOT/Vegetation (resolução espacial de 1 km e resolução temporal de 10 dias), para safras de soja e de cana-de-açúcar, 2010/2011 e 2011/2012.
- c) Construir perfis temporais de EVI2 (resolução espacial de 250 m e resolução temporal de 16 dias), utilizando dados do Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF), disponíveis na WEB, para safras de soja e de cana-de-açúcar, 2010/2011 e 2011/2012.
- d) Gerar e construir perfis temporais de NDVI com base em imagens diárias do sensor TERRA/MODIS, resolução espacial de 250 metros, para a safra de soja e de cana-de-açúcar, 2010/2011.

- e) Analisar o comportamento dos índices de vegetação nas áreas de soja de sequeiro, soja irrigada e cana-de-açúcar para verificar a influência das resoluções (temporais e espaciais) na identificação destas áreas.
- f) Relacionar os índices de vegetação com dados de precipitação acumulada (mm) nas áreas com soja de sequeiro.
- g) Relacionar os valores de K_c calculados (K_{cNDVI}) com os valores tabelados pela FAO (K_c FAO).
- h) Obter o coeficiente de cultura (K_c) com base no NDVI, para a cultura da soja irrigada, safra 2010/2011.
- i) Comparar as curvas de K_{cNDVI} e K_c FAO.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Satélites para recursos terrestres e ambientais

Dentre os principais satélites para o monitoramento dos recursos terrestres e ambientais estão os satélites SPOT e TERRA.

3.1.1 Satélite SPOT

A série de satélites SPOT (Satellite Pour l' Observation de la Terre) foi iniciada, no final da década de 70, sob liderança do governo francês, pelo Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) e apoio da Suécia e Bélgica. É constituída por seis satélites e seis instrumentos sensores e os principais sensores, *Vegetation* e HRG, foram introduzidos nos satélites SPOT 4 e SPOT 5, respectivamente (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2013). Entretanto, apenas três satélites estão em atividade atualmente (Tabela 1).

Tabela 1 Características gerais dos satélites ativos da série SPOT

Satélite	SPOT-2	SPOT-4	SPOT-5
Lançamento	22/01/1990	24/03/1998	04/05/2002
Situação Atual	Ativo	Ativo	Ativo
Órbita	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona
Altitude	823 km	823 km	823 km
Inclinação	98°	98°	98°
Horário de Passagem pelo Equador	10h30min a.m.	10h30min a.m.	10h30min a.m.
Período de Revisita	26 dias	26 dias	26 dias
Instrumentos Sensores	HRV	HRVIR e VEGETATION	HRG, HRS VEGETATION-2

Fonte: Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (2013)

O sensor *Vegetation* fornece imagens diárias ou em intervalos de 10 dias e coleta dados em quatro bandas espectrais (Tabela 2), duas delas posicionadas na região do visível e duas posicionadas na região do infravermelho próximo, sendo a banda do azul utilizada para efetuar a correção atmosférica dos dados gerados pelas outras bandas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

Tabela 2 Especificações Técnicas do Sensor VEGETATION

Bandas	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Faixa imageada
Azul	0,43-0,47 μm	1,15 km (nadir)			
Vermelho	0,61-0,68 μm		24 horas	8 bits	2250 km
Infravermelho próximo	0,78-0,89 μm	1,7 km (laterais do campo de visão)			
Infravermelho médio	1,58-1,75 μm				

Fonte: Adaptado de Centre National d'Etudes Spatiales- CNES (2013).

Uma das principais utilidades do sensor *Vegetation* está no monitoramento da vegetação, em estudos quantitativos com a aplicação do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI).

3.1.2 Satélite TERRA

O satélite Terra foi lançado em dezembro de 1999 e faz parte de um projeto da NASA, denominado *Earth Observing System* (EOS), financiado pelo programa *Earth Science Enterprises* (ESE). O principal objetivo da missão é contribuir para pesquisas sobre a dinâmica atmosférica global e suas interações com a superfície terrestre e o oceano (EMBRAPA, 2013).

A bordo da plataforma Terra estão os sensores ASTER, MODIS, MISR, CERES e MOPPIT e suas características principais estão descritas de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 Características gerais do Satélite TERRA

Satélite	TERRA
Lançamento	18/12/1999
Situação Atual	Ativo
Órbita	Polar e heliossíncrona
Altitude	705 km
Inclinação	98,2°
Horário de Passagem pelo Equador	10h30min a.m.
Período de Revisita	16 dias
Instrumentos Sensores	ASTER, MODIS, MISR, CERES e MOPPIT

Fonte: EMBRAPA (2013).

O sensor MODIS, cujas especificações técnicas são visualizadas na Tabela 4, é o principal instrumento do satélite Terra e foi criado para fornecer dados globais da superfície terrestre, dos oceanos e da atmosfera nas regiões do visível e infravermelho (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

Tabela 4 Especificações Técnicas do Sensor MODIS

Alcance Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Área Imageada
0,4 μm - 14,4 μm	250 m (2 bandas)	Diária, a norte da latitude 30°	12 bits	2330 x 5000 km
	500 m (5 bandas)	A cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°		
	1000 m (29 bandas) em nadir			

Fonte: Adaptado de Anderson et al. (2003).

3.2 Índices de Vegetação

Os índices de vegetação (IVs) podem ser definidos como transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético, utilizadas para realçar o comportamento espectral da vegetação. Esses índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009). Apresentam, também, elevados graus de correlação quando relacionados ao vigor vegetativo, atividade fotossintética e produtividade (EPIPHANIO et al., 1996).

O índice de vegetação mais utilizado é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que é sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho (JIANG et al., 2008; RISSO et al., 2009). Em virtude da grande utilização desse índice, explica-se a existência de diversos estudos, no que se refere ao mapeamento, estimativa de produção e produtividade e monitoramento de culturas agrícolas por meio de perfis temporais (FONTANA et al., 2000; RAMME; LAMPARELLI; ROCHA, 2010; WARDLOW; EGBERT, 2008).

Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala de valores, entre o intervalo de -1 e 1. Esse índice pode ser obtido utilizando-se a equação 1.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IVP} - \text{V}}{\text{IVP} + \text{V}} \quad (1)$$

Em que,

IVP - reflectância no infravermelho próximo;

V - reflectância no vermelho.

O EVI (*Enhanced Vegetation Index*) foi formulado com a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da atmosfera sobre o monitoramento da vegetação, contendo um fator de ajuste para solos e coeficientes que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis (JIANG et al., 2008). O EVI pode ser obtido pela equação 2.

$$\text{EVI} = G \frac{\text{IVP} - \text{V}}{\text{IVP} + \text{C}_1 * \text{V} - \text{C}_2 * \text{A} + \text{L}} \quad (2)$$

Em que,

IVP - reflectância no infravermelho próximo;

V - reflectância no vermelho;

A - reflectância no azul;

C1 - coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho = 6;

C2 - coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul = 7,5;

L - fator de correção para a interferência do solo = 1;

G - fator de ganho = 2,5.

O índice de vegetação, baseado no EVI, denominado EVI2, não utiliza a banda azul, pois esta não fornece informações adicionais sobre as propriedades biofísicas da vegetação, tendo a finalidade de reduzir o ruído e as incertezas associadas à alta variabilidade dos aerossóis atmosféricos, podendo ser um substituto aceitável para o EVI quando a imagem for de boa qualidade e quando for feita a correção atmosférica (ALBUQUERQUE; CRUZ; BARROS, 2010). Esse índice pode ser obtido de acordo com a equação 3.

$$EVI2 = G \frac{IVP - V}{IVP + (6 - 7,5/c)V + 1} \quad (3)$$

Em que,

IVP - reflectância no infravermelho próximo;

V - reflectância no vermelho;

A - reflectância no azul;

G - fator de ganho = 2,5;

c - coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos = VA^{-1} .

Os perfis temporais distintos obtidos, com base nos índices de vegetação, facilitam a discriminação de culturas agrícolas em imagens obtidas por meio de sensores orbitais, como o sensor MODIS. Dessa forma, é crescente a utilização de imagens de sensores orbitais em estudos cujo objetivo é identificar e discriminar diferentes culturas em uma determinada região, como por exemplo, cultivos de soja e cana-de-açúcar (RISSO et al., 2009, 2012; WARDLOW; EGBERT; KASTENS, 2007).

3.3 Produtos de índices de vegetação

Dentre os principais produtos de sensoriamento remoto para estudo da vegetação estão os produtos SPOT/VGT e TERRA/MODIS.

3.3.1 Produtos SPOT/VGT

Os produtos SPOT/VGT disponíveis aos usuários estão enquadrados em dois níveis de produtos avançados: VGT – P e VGT – S (VITO COMPANY DATA, 2013).

Os produtos VGT – P apresentam correção de erros do sistema (sensores de nivelamento, registro de bandas espectrais) e a reamostragem em uma projeção geográfica (a 1 km de resolução), permitindo um registro multitemporal das imagens (CNES, 2013).

Os Produtos VGT-S levam em conta a capacidade de síntese entre as órbitas sucessivas, seja no mesmo dia ou em dias diferentes. Além disso, estes produtos apresentam correção de erros do sistema, correção atmosférica e a reamostragem em uma projeção geográfica (1 km). Dessa forma, existem três tipos de produtos:

- a) VGT-S1: Síntese diária.
- b) VGT-S10: Síntese de 10 dias.
- c) VGT-D10: Síntese de 10 dias.

O produto VGT-S10 é uma síntese de imagens obtidas durante dez dias com base nos melhores valores de refletância sobre o período previsto (máximo de NDVI), em virtude da correção atmosférica realizada no produto VGT-D10.

Os produtos SPOT/VGT são disponibilizados pelo Projeto DevCoCast criado considerando a união de 10 organizações associadas da África, América do Sul e Europa, e outras 15 instituições parceiras como o ITC (Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation), EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) e o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). A disponibilização destes produtos é feita por um sistema de transmissão via satélite para dados ambientais e produtos de informação, denominado GEONETCast, operado pelos GEONETCast Networking Centres (GNC) (VITO COMPANY DATA, 2013).

Os produtos SPOT/VGT estão disponíveis no endereço eletrônico: <<http://www.devcocast.eu>>.

3.3.2 Produtos TERRA/MODIS

Os produtos MODIS relacionados ao estudo da vegetação são basicamente três:

MOD15 – Leaf Area Index / fPAR e MOD17 - Net Primary Production /Net Photosynthesis e MOD13 – Vegetation Indices (VI). Por sua vez, o produto MOD13 VI subdivide-se em MOD13A1, MOD13A2, MOD13A3, MOD13C1, MOD13C2 e o MOD13Q1. Além disso, existem os produtos de refletância da superfície utilizados para a geração de imagens diárias de índices de vegetação, como o produto MOD09GQ, derivado do produto MOD09.

O produto MOD13Q1 apresenta uma síntese do máximo valor do índice de vegetação (NDVI e EVI) com intervalo de 16 dias e resolução espacial de 250 m. Já, o produto MOD09GQ, refletância da superfície global diária, é disponibilizado em duas bandas (1 e 2) de 250 m, que correspondem, respectivamente, ao vermelho e infravermelho próximo.

A NASA disponibiliza gratuitamente os produtos MODIS no endereço eletrônico <http://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/>, no formato HDF (Hierarchical Data Format), com projeção sinusoidal e dividido em quadrantes (tiles) de 10x10 graus, equivalente a 1200x1200 km (Figura 1).

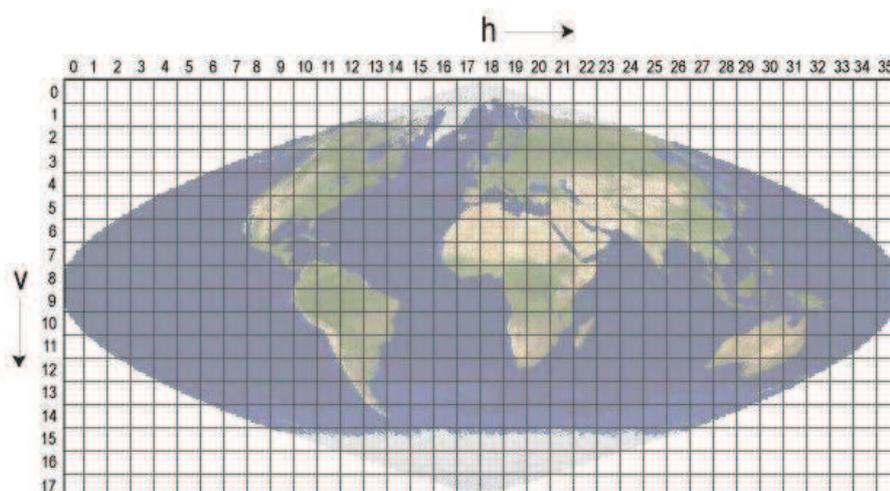


Figura 1 Representação do *tile* h (v) de 1200 x 1200 km.

Fonte: United States Geological Survey (2013)

O produto MOD13Q1, também, pode ser obtido do Banco de Produtos MODIS na Base Estadual Brasileira, desenvolvido pela Embrapa, que disponibiliza dados com correções atmosféricas, georreferenciados (projeção: geográfica, datum: WGS84) e no formato GeoTiff (ESQUERDO; ANTUNES; ANDRADE, 2010). Este produto está disponível no endereço eletrônico: <http://www.modis.cnptia.embrapa.br/geonetwork/srv/pt/main.home>.

3.4 A cultura da soja

A cultura da soja apresenta grande diversificação genética e morfológica em decorrência do elevado número de cultivares, variando seu ciclo de 75 a 210 dias desde sua germinação até a maturação (GARCIA et al., 2007).

O ciclo da soja é dividido em dois estádios fenológicos: vegetativo (V) e reprodutivo (R). O primeiro descreve o desenvolvimento vegetativo da planta desde a emergência do cotilédone (estádio VE) até o enésimo nó (Vn). Já o segundo descreve os períodos de florescimento (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento do grão (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8) (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Um dos principais fatores que influenciam o rendimento da cultura é a época de semeadura e, no caso da soja, é o período que permite, na maioria dos anos, que a implantação da lavoura, o crescimento e a reprodução das plantas ocorram sob as condições favoráveis de umidade e temperatura, conforme exigido por essa espécie. Dessa forma, para a região Centro-Sul, a época de semeadura indicada, para a maioria das cultivares, estende-se de 15/10 a 15/12, porém os melhores resultados, para rendimento e altura de plantas, na maioria dos anos, são obtidos nas semeaduras realizadas de final de outubro a final de novembro (GARCIA et al., 2007).

Outros dois fatores importantes são: a disponibilidade de água para a cultura e a temperatura do ar, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Dessa forma, a necessidade de água vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm.dia^{-1}), decrescendo após esse período (FARIAS et al., 2011).

Com relação à temperatura, a soja melhor se adapta a temperaturas do ar entre 20° e 30° . Entretanto, abaixas temperaturas, os florescimentos são mais

tardios e os portes maiores de plantas (MARCHIORI et al., 1999), a altas temperaturas ocorre a floração precoce, podendo acarretar diminuição na altura da planta. Além disso, diferenças de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura e na mesma latitude, ocorrem em razão da resposta diferencial das cultivares ao fotoperíodo, que está diretamente relacionado ao desenvolvimento de área foliar em genótipos juvenis (RODRIGUES et al., 2006).

O calendário agrícola é de fundamental importância na definição das melhores datas de aquisição das imagens e permite inferir sobre a dinâmica espectro-temporal das culturas imageadas pelos sensores orbitais. Neste sentido, o plantio da soja é realizado nos meses de setembro a dezembro e a colheita nos meses de janeiro a abril (Tabela 5).

Tabela 5 Calendário Agrícola da soja no Brasil

Fase	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Plantio												
Colheita												

Fonte: Adaptado de Centro de Estudos em Gestão Naval- CEGN (2013).

3.5 Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento da cultura de soja

O Sensoriamento Remoto é um conjunto de técnicas que permitem, além da aquisição de imagens da superfície terrestre, baseado em sensores instalados em plataformas espaciais, posterior tratamento destas imagens no contexto de uma determinada aplicação (CHUVIECO, 2002). Tais técnicas são utilizadas desde a década de 1960 na modelagem de vários parâmetros biofísicos da vegetação, que podem ser medidos, por exemplo, por meio dos índices de vegetação.

Exemplos de trabalhos utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao monitoramento de cultivos agrícolas estão relacionados às estimativas de produção e produtividade, estimativa da evapotranspiração, discriminação e mapeamento de áreas agrícolas, entre outros.

Risso et al. (2012) avaliaram o desempenho dos índices de vegetação NDVI e EVI para a discriminação de áreas de soja no Estado do Mato Grosso, obtendo como resultado um melhor desempenho ao utilizar de forma combinada o NDVI na entressafra e o EVI no pleno desenvolvimento da cultura.

Bernardes et al. (2011) utilizaram imagens diárias e imagens de 16 dias do sensor MODIS para avaliar uma metodologia para mapear áreas de soja no estado do Mato Grosso e concluíram que a metodologia aplicada às imagens do ciclo total da soja, utilizando as imagens de 16 dias, permitiu o mapeamento com índices de exatidão melhores do que os obtidos pela classificação derivada das imagens de data única.

3.6 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, que perfilha de maneira abundante, na fase inicial do desenvolvimento, permitindo cerca de cinco cortes para posteriormente ser feita a reforma do canavial (RODRIGUES, 1995).

A cana-de-açúcar é denominada cana-planta até a primeira colheita, tendo um período decréscimo entre 12 meses (cana de ano) e 18 meses (cana de ano-e-meio), dependendo da época do plantio e da variedade. Após a primeira colheita ela passa a ser denominada canasoca, seguida pela ressoca, segunda ressoca e, assim, sucessivamente, tendo cada uma dessas fases um período de crescimento de, aproximadamente, 12 meses (cana de ano) (FERNANDES, 2009).

A cana soca/cana de ano é plantada em setembro-outubro (Tabela 6) e tem seu máximo desenvolvimento de novembro a abril, diminuindo com as condições climáticas adversas do período de inverno na região Centro-Sul, podendo ser colhida a partir de julho (RODRIGUES, 1995).

Tabela 6 Calendário agrícola da cana-de-açúcar no Brasil

Fase	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Plantio	AM	AM	AM	AM				A	A	A/AM	AM	AM
Colheita												

*A – cana de ano

AM – cana de ano-e-meio

Fonte: Adaptado de Mello (2009).

O ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar é influenciado por algumas exigências climáticas, principalmente, boa luminosidade, calor e água, variando a quantidade conforme a fase de desenvolvimento.

Com elevadas taxas de radiação solar, os colmos são mais grossos e mais curtos; as folhas mais longas e mais verdes e o perfilhamento mais intenso. O fotoperíodo afeta o comprimento do colmo, assim, entre 10 e 14 horas o colmo aumenta, sofrendo redução entre 16 e 18 horas. Além disso, o número de folhas é reduzido em condições de déficit hídrico ou de baixas temperaturas (RODRIGUES, 1995).

A temperatura do ar afeta o crescimento da cana-de-açúcar, quando ultrapassa 20°C, ocorrendo um aumento na taxa de crescimento da cultura, visto que a faixa de 25°C a 33°C é a mais favorável ao desenvolvimento vegetativo (ALMEIDA et al., 2008).

3.7 Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento da cultura de cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar possui características favoráveis ao uso de sensoriamento remoto, por ocupar extensas áreas e apresentar um dossel uniforme. Dessa forma, em alguns estudos demonstram-se as diversas aplicações do sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento desta cultura, por exemplo, na identificação e mapeamento de áreas canavieiras (ADAMI et al., 2012; AGUILAR et al., 2010; RUDORFF et al., 2010), identificação de diferentes variedades (GALVÃO; FORMAGGIO; TISOT, 2005), estimativa de produtividade (PICOLI et al., 2009).

Uma importante aplicação do sensoriamento remoto no monitoramento da cana-de-açúcar é o Projeto Canasat, uma parceria entre o INPE e outras seis instituições de pesquisa com objetivo de mapear e quantificar a área plantada e colhida de cana-de-açúcar por meio de imagens dos satélites Landsat, CBERS e Resourcesat-I, da região centro-sul do país (RUDORFF et al., 2010).

Outra importante aplicação é a ferramenta disponibilizada pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta LAF/INPE para a visualização de séries temporais derivadas de imagens de satélites, desenvolvida dentro do conceito de um Laboratório Virtual de Sensoriamento Remoto (FREITAS et al., 2011) para auxiliar nos estudos e análises de mudança de uso e cobertura da terra.

3.8 Relação entre índices de vegetação e precipitação

Algumas culturas podem ser cultivadas predominantemente sem irrigação e estão sujeitas ao déficit hídrico. Porém, a aquisição de dados meteorológicos provenientes de estações meteorológicas para o monitoramento

de culturas apresenta dificuldades, em consequência do reduzido número de estações, ao lento processo de coleta e distribuição de dados, a concentração em algumas áreas e a escassez em outras (ARAÚJO; ROCHA; LAMPARELLI, 2011).

Uma forma de minimizar as dificuldades da aquisição de dados meteorológicos é a utilização do modelo atmosférico global ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*) que coleta dados meteorológicos de estações no mundo, radares meteorológicos, satélites entre outras fontes, produzindo parâmetros meteorológicos e agrometeorológicos válidos para o mundo inteiro (EUROPE CENTRE MEDIUM - RANGE WEATHER FORECASTS - ECMWF, 2014). Outra forma é a disponibilização de dados meteorológicos, provenientes de estações meteorológicas, pelos órgãos federais como, por exemplo, no portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde estão disponibilizadas as informações do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), que tem por objetivo apoiar as atividades de ensino e pesquisa e outras aplicações em meteorologia, hidrologia, meio ambiente. Este banco constitui-se de um banco de dados meteorológicos diário em forma digital, referentes a séries históricas, a partir de 1961, da rede de estações do INMET. As variáveis meteorológicas disponibilizadas para consultas no BDMEP são: precipitação ocorrida nas últimas 24 horas, temperatura do bulbo seco, temperatura do bulbo úmido, temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar, pressão atmosférica ao nível da estação, insolação, direção e velocidade do vento (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2014).

A precipitação influencia diretamente o equilíbrio da água, provocando alterações no regime de umidade do solo, que, por sua vez, influencia o crescimento das plantas. Dessa forma, em diversos estudos têm-se correlacionado dados de precipitação aos de índices de vegetação em virtude da

relação direta com o crescimento das plantas (GAUGHAN et al., 2012; NIGHTINGALE; PHINN, 2003; WANG; RICH; PRICE, 2003; YANG; XU; HONG, 2012).

Wang, Rich e Price (2003) analisaram a relação entre umidade do solo, precipitação e NDVI nas planícies centrais norte-americanas e concluíram que a relação entre NDVI e precipitação é forte e previsível, quando visto em escala espacial apropriada, além da principal influência da precipitação sobre o NDVI e, por inferência, em produtividade.

3.9 Coeficiente de cultura (K_c)

O coeficiente de cultura (K_c) é expresso pela razão entre a evapotranspiração máxima de determinada cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_0) (Equação 4). Os valores de K_c variam com o tipo de cultura, estágio de desenvolvimento e a duração do ciclo vegetativo.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (4)$$

A ET_0 pode ser calculada com base em dados climáticos e pela combinação direta da resistência da cultura, albedo e fatores de resistência do ar por meio do método Penman-Monteith-FAO (PM-FAO). Este método é recomendado como padrão para estimativa de ET_0 , com forte probabilidade de prever corretamente a ET_0 numa grande variedade de locais e climas. Embora o método PM-FAO seja amplamente divulgado e recomendado, ainda é possível encontrar extensões deste método, com o intuito de aperfeiçoamento ou quando existem limitações quanto à disponibilidade de elementos meteorológicos (CARVALHO et al., 2011).

Já a ET_c pode ser medida diretamente pela transferência de massa, pelo método do balanço de energia, ou ainda, derivada de estudos do balanço hídrico do solo determinados com base em campos cultivados ou pelo uso de lisímetros (ALLEN et al., 1998).

Em condições normais de cultivo de plantas de ciclo curto, logo após o plantio, a ET_c é bem menor do que a ET_0 , porém à medida que a cultura se desenvolve, a diferença entre os valores de ET_c e ET_0 é mínima em razão do aumento foliar, podendo o valor de ET_c ultrapassar o valor de ET_0 , quando a cultura atinge 80% do seu desenvolvimento vegetativo ou no início da formação dos primórdios florais até o término da fase de enchimento dos grãos, após a qual a diferença volta a aumentar novamente (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Genericamente, para as diferentes culturas, os coeficientes das culturas variam conforme visualizados na Tabela 7, para os quatro diferentes estádios de desenvolvimento das culturas.

Tabela 7 Coeficiente de cultura (K_c) em função do seu estágio de desenvolvimento

Estádio de desenvolvimento	Caracterização do estágio	K_c
Inicial	Da germinação até que, aproximadamente, 10% da superfície do solo estejam cobertos por vegetação verde.	0,2 a 1,0
Secundário ou de desenvolvimento vegetativo	10% de cobertura do solo à cobertura total efetiva.	Varia linearmente entre os valores do primeiro e terceiro estádios
Intermediário	Da cobertura total efetiva até o início da maturação. Etapa mais longa para plantas perenes e anuais.	0,9 a 1,25
Final ou de maturação	Do início da maturação até a colheita ou senescência completa.	Varia linearmente entre os valores do primeiro e terceiro estádios

Fonte: Adaptado de Allen et al. (1998).

Considerando tabelas de valores de K_c é possível traçar a curva de K_c , bastando, para isso, conhecer a duração, em dias, de cada período vegetativo (RIBEIRO, 2006).

Na Tabela 8 estão apresentados os valores de K_c para as culturas da soja e cana-de-açúcar, publicados pela FAO (DOORENBOS; PRUITT, 1979).

Tabela 8 Coeficientes das culturas (K_c) de cana-de-açúcar e soja, em função das fases de desenvolvimento e condições climáticas*

Cultura	Fases de desenvolvimento da cultura					Período vegetativo total
	I	II	III	IV	V	
Cana	0,4-0,5	0,7-1,0	1,0-1,3	0,75-0,8	0,5-0,6	0,85-1,05
Soja	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,15	0,7-0,8	0,4-0,5	0,75-0,9

*Primeiro valor: com umidade elevada (UR min > 70%) e vento fraco ($U < 5$ m/s).

Segundo valor: com umidade baixa (UR min < 20%) e vento forte ($U > 5$ m/s).

- Estádio I – emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo (DV)

- Estádio II – 10% do DV até 80% do DV

- Estádio III – 80% do DV até 100% do DV (inclusive frutos formados)

- Estádio IV – maturação

- Estádio V – colheita

Fonte: Mello e Silva (2009).

3.10 Relação entre K_c e índices de vegetação

A reflectância espectral das culturas pode fornecer uma estimativa indireta do K_c (BEZERRA et al., 2010). Além disso, as curvas de K_c são bem semelhantes às curvas dos índices de vegetação.

Kamble, Irmak e Hubbard (2013) desenvolveram um modelo de regressão linear simples para estabelecer uma relação entre valores de K_c e NDVI para diferentes usos agrícolas, nas altas planícies dos Estados Unidos e concluíram que existe uma forte correlação e semelhança nas curvas de NDVI e K_c . A progressão sazonal do NDVI e K_c em locais de calibração do modelo (campo irrigado) em Nebraska, USA pode ser observado na Figura 2.

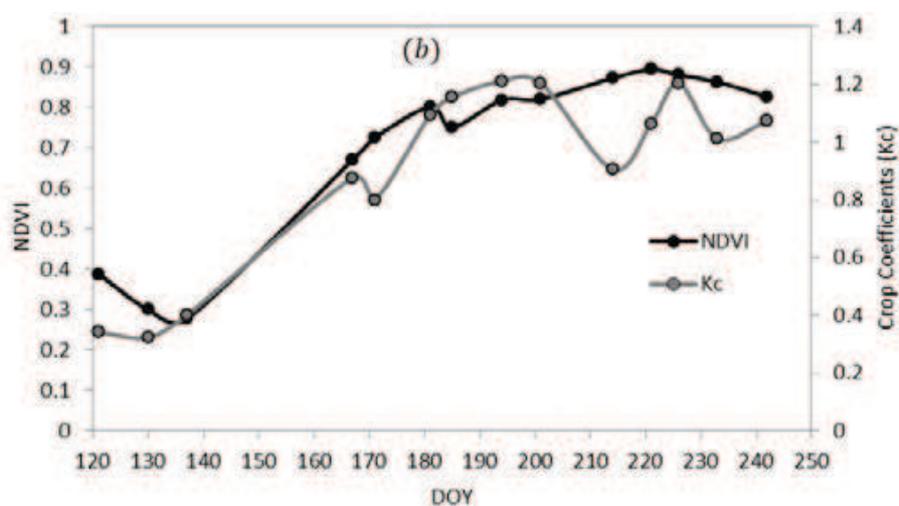


Figura 2 Progressão sazonal do NDVI e K_c em locais de calibração do modelo: campo irrigado, Nebraska, USA (2007)

Fonte: Kamble, Irmak e Hubbard (2013).

Singh e Irmak (2009), também, desenvolveram um modelo de regressão linear para estabelecer relação entre NDVI e o K_c estimado para as culturas de soja, milho, sorgo e alfafa, na região de centro-sul de Nebraska e obtiveram como resultado uma boa correlação entre NDVI e K_c , principalmente, em relação às culturas irrigadas quando comparadas às culturas de sequeiro.

O modelo de regressão linear permite correlacionar os valores de K_c com os valores dos índices de vegetação, tornando-se, assim, um método prático e fácil para a análise da relação entre K_c e os índices de vegetação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área, período de estudo e dados de precipitação

O município de Planura está localizado na região do Triângulo Mineiro, entre as coordenadas $19^{\circ}57'22''$ e $20^{\circ}10'10''$ de latitude Sul, $48^{\circ}44'39''$ e $48^{\circ}30'45''$ de longitude Oeste de Greenwich, com área total de 318 km². Apresenta relevo típico de chapada, cobertura vegetal tipicamente de cerrado e na agricultura é comum o uso da irrigação (Figura 3).

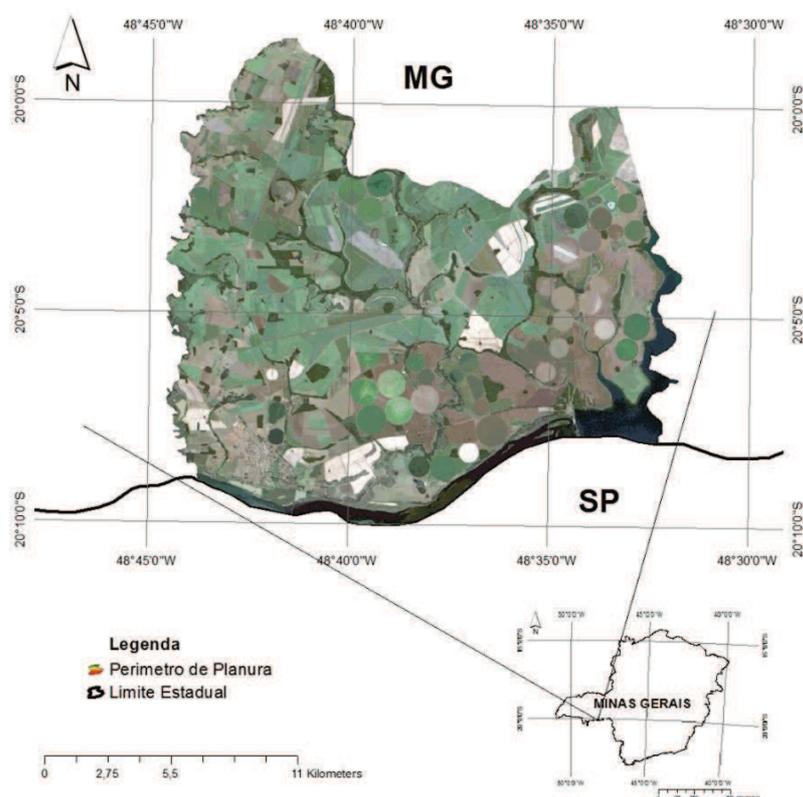


Figura 3 Localização da área de estudo

O clima é caracterizado úmido (B2), de acordo com o índice de umidade da classificação climática de Thornthwaite e a temperatura e a precipitação total acumulada, em médias anuais, são da ordem de 19 a 20°C e 1500 a 1600 mm, respectivamente (CARVALHO et al., 2008).

O período de estudo compreendeu as safras de 2010/2011 e 2011/2012.

Foram obtidos os dados de precipitação acumulada (mm), para o período de estudo, da Estação Meteorológica localizada no município de Frutal, MG. Esta é a estação mais próxima ao município de Planura. Estes dados foram obtidos no portal: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. A edição destes dados foi feita em uma planilha eletrônica.

No Anexo A estão os dados de precipitação acumulada (mm) referentes às datas das imagens MODIS (16 dias e diárias) e SPOT (10 dias) para o período de estudo.

4.2 Identificação das áreas cultivadas com soja irrigada, soja de sequeiro e cana-de-açúcar

Pereira (2011) realizou um trabalho de campo para a identificação e coleta de pontos com GPS, referentes às áreas cultivadas com soja irrigada por pivô central em fazendas localizadas no município de Planura - MG.

As informações dos pontos referentes às áreas cultivadas com soja de sequeiro foram extraídas nas imagens MODIS, por meio de uma análise visual dos perfis temporais característicos da cultura de soja.

O mapeamento de áreas cultivadas com cana-de-açúcar é disponibilizado pelo projeto Canasat (RUDORFF et al., 2010). As informações dos pontos referentes às áreas cultivadas com cana irrigada por pivô central foram obtidas por meio deste mapeamento que está disponível no portal: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/cultivo.html>>.

Na Tabela 9 estão apresentados os pontos estudados numerados e as coordenadas geográficas (longitude e latitude) para as áreas cultivadas com soja irrigada, soja de sequeiro e cana-de-açúcar. Foram estudados 11 pontos de cada cultura, totalizando 33 pontos.

Tabela 9 Pontos referentes às áreas cultivadas com soja irrigada, soja de sequeiro e cana-de-açúcar irrigada, no município de Planura/MG

Pontos	Soja Irrigada		Soja de Sequeiro		Cana irrigada	
	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (N)	Longitude (E)
1	-20.1332	-48.6966	-20.0919	-48.6151	-20.0662	-48.6579
2	-20.0386	-48.5518	-20.1234	-48.7094	-20.0623	-48.6112
3	-20.0496	-48.5484	-20.0605	-48.5455	-20.1326	-48.6799
4	-20.0501	-48.5565	-20.0672	-48.5500	-20.1101	-48.7276
5	-20.0449	-48.5626	-20.0987	-48.5769	-20.0810	-48.6977
6	-20.0887	-48.5605	-20.1077	-48.6016	-20.1420	-48.6891
7	-20.1177	-48.6348	-20.0830	-48.5657	-20.1097	-48.5484
8	-20.1149	-48.6600	-20.0897	-48.5680	-20.0907	-48.6352
9	-20.1261	-48.6570	-20.1099	-48.5680	-20.1381	-48.6569
10	-20.1086	-48.6344	-20.0942	-48.5522	-20.0552	-48.6747
11	-20.1062	-48.5847	-20.0942	-48.6196	-20.0717	-48.6984

4.3 Obtenção e processamento dos dados TERRA/MODIS e SPOT/VGT

Os produtos MOD13Q1 (NDVI e EVI) e SPOT/VGT-S10 (NDVI) foram obtidos para o período de agosto de 2010 a outubro de 2012, abrangendo as safras de soja e cana-de-açúcar, nos períodos de 2010/2011 e 2011/2012.

Os produtos MOD13Q1 foram obtidos do Banco de Produtos MODIS, na base estadual brasileira, para o estado de Minas Gerais (ESQUERDO; ZULLO JÚNIOR; ANTUNES, 2011). Os produtos SPOT/VGT-S10 foram obtidos no portal: <<http://www.devcoast.eu/>>. Para importação dos produtos

foram utilizados os *softwares ENVI (Environment for Visualizing Images)* e ILWIS (Integrated Land and Water Information System). O ENVI, versão 4.8 (VISUAL INFORMATION SOLUTIONS, 2008) foi utilizado para importar os produtos MOD13Q1. Utilizou-se o módulo “GEONETCast toolbox” do ILWIS para a importação e recorte dos produtos SPOT/VGT-S10. O módulo “GEONETCast toolbox” foi desenvolvido por Maathuis et al. (2011).

Para realizar a descrição e análise dos índices de vegetação foi construída uma série temporal dos produtos MODIS e SPOT, de acordo com as datas que foram obtidas. Este procedimento permitiu a extração dos valores de NDVI (para os sensores MODIS e SPOT) e EVI (somente para o sensor MODIS) para todos os pontos (Tabela 10) no período estudado. Posteriormente, transferiram-se os pontos para uma planilha eletrônica para a análise dos dados e elaboração dos gráficos. Na Tabela 10 está apresentada a descrição dos produtos de índices de vegetação, contendo o período de obtenção, a resolução temporal e o número de produtos utilizados nas séries temporais.

Tabela 10 Período de obtenção, resolução temporal e número de produtos de índices de vegetação utilizados nas séries temporais

Produtos	Índices de vegetação	Datas		Resolução Temporal	Número de produtos
		Início	Final		
SPOT-VGT-S10	NDVI	29/08/2010	31/10/2012	10 dias	50
MOD13Q1	NDVI	29/08/2010	31/10/2012	16 dias	50
	EVI				50
MOD09GQ	NDVI	01/08/2010	31/10/2011	1 dia	428
LAF/INPE	EVI2	29/08/2010	31/10/2012	16 dias	50

Considerando o produto MOD13Q1 e de procedimentos de filtragem Freitas et al. (2011) geraram duas séries temporais EVI2: com filtro e sem filtro. Para a visualização das séries temporais EVI2 foi necessário fornecer as

coordenadas geográficas referentes às áreas cultivadas com soja e cana-de-açúcar, acessando o laboratório virtual no endereço eletrônico <<http://www.dsr.inpe.br/laf/series.html>>. Os valores de EVI2 (sem filtro), para o período de estudo, foram exportados para uma planilha eletrônica para posterior reconstrução do perfil temporal. Foram utilizados os valores de EVI2 (sem filtro), pois os valores de EVI2 (com filtro) apresentam uma curva suavizada, com base na transformada de wavelets, que apresenta pouco detalhe na descrição dos perfis temporais (FREITAS et al., 2011).

4.4 Pré-processamento e construção dos perfis temporais com base nos produtos MOD09GQ

Os produtos MOD09GQ gerados com base em imagens do satélite TERRA/MODIS foram obtidos para o período de agosto de 2010 a outubro de 2011, abrangendo a safra de soja e cana-de-açúcar 2010/2011.

Os dados estão disponíveis no formato HDF (“*Hierarchical Data Format*”), em um nível de quantização de 12 bits, projeção *Sinusoidal*. Os produtos que cobrem a área de estudo (*tile* h13v11) foram adquiridos no endereço eletrônico: <<http://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD09GQ.005/>>. Como o formato HDF não é usual em Sistemas de Informações Geográficas (SIG`s), foi necessária a utilização do *software*, específico para o pré-processamento das imagens, MRT (*MODIS Reprojection Tool*), para reprojeter os dados para uma projeção mais usual, no formato GeoTiff. Este *software* está disponível no endereço eletrônico: <https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool>.

A geração do NDVI, considerando as imagens diárias do produto MOD09GQ, foi feita por meio da execução de uma rotina IDL para a criação das séries temporais referentes às bandas 1 (vermelho) e 2 (infravermelho). As

séries temporais correspondentes às imagens de reflectância referentes à banda 1 foram feitas separadamente das imagens de reflectância referentes à banda 2. Baseando-se na criação das séries temporais, foi efetuado o cálculo do NDVI (Equação 1) em uma planilha eletrônica.

Os perfis temporais, baseados no produto MOD09GQ, foram construídos após a seleção dos dias em que as imagens não foram contaminadas por nuvens ou por falhas ao serem registradas pelo sensor. Foi realizada uma análise condicional, em planilha eletrônica, para verificar a presença ou não de nuvem. Assim, generalizando, para valores de NDVI menores que 0, foi associada a presença de nuvem, entretanto para valores maiores ou iguais a 0, retornou-se um valor de NDVI. Porém, nos dias em que a imagem apresentou falhas, o pixel recebeu o valor de -28672, obtendo com base no cálculo de NDVI valores iguais a 0 e maiores que 1, ou seja, valores sem informação de NDVI.

4.5 Relação entre K_c e NDVI

A relação entre os valores de K_c e o NDVI foi feita pela análise dos perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO para a cultura de soja irrigada. Dessa forma, baseados no modelo de regressão linear simples (Equação 5), criado por Kamble, Irmak e Hubbard (2013), foram construídos os perfis de K_{cNDVI} , que, posteriormente, foram comparados aos dados de K_c FAO na análise dos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada.

$$K_{cNDVI} = 1,457 \text{ NDVI} - 0,1725 \quad (5)$$

O objetivo do estudo de Kamble, Irmak e Hubbard (2013) foi investigar a aplicabilidade das séries temporais de NDVI/MODIS 250m para desenvolver uma representação espacial do coeficiente de cultura (K_c), criando um modelo de

regressão linear simples (Equação 5) para estabelecer uma correlação entre os valores de NDVI e K_c , para dois tipos de culturas (milho e soja) e diferentes sistemas de produção agrícola. Dessa forma, os dados de K_c estimados foram comparados aos dados de K_c observados que foram obtidos considerando cálculos do coeficiente de cultura da FAO-56. Finalmente, os autores avaliaram a qualidade do ajuste das curvas de K_c por meio da correlação entre os valores estimados e observados de K_c . e utilizaram o coeficiente de determinação (r^2) como um índice relativo de desempenho do modelo e o erro médio quadrático (RMSE) para comparar os valores estimados e observados de K_c .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise dos índices de vegetação para a cultura da soja irrigada

Antes de iniciar a análise entre os diferentes índices de vegetação para a cultura da soja irrigada foi feita uma análise exploratória dos dados, separando os pontos em que a cultura apresentava padrões semelhantes, principalmente, quanto à época do plantio, o desenvolvimento e a época da colheita.

5.1.1 NDVI do produto MOD13Q1

Na Figura 4, estão representados os perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 para a cultura da soja irrigada, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 4, pode ser observado que o plantio da soja ocorreu no início da segunda quinzena de outubro (16/10/2010) para todos os pontos analisados. No entanto, a colheita ocorreu em datas diferentes (02/02/2011, 18/02/2011 e 06/03/2011), em função do ciclo da cultura.

Os valores de NDVI/MOD13Q1 foram 0,30, 0,23 e 0,18, respectivamente, para as parcelas colhidas em 02/02/2011, 18/02/2011 e 06/03/2011. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 17/11 para as parcelas colhidas em 02/02/2011 e 18/02/2011, apresentando valores médios de NDVI/MOD13Q1 de 0,77 e 0,84, respectivamente. Já, para a parcela colhida em 06/03/2011 o valor médio de NDVI/MOD13Q1, no período de desenvolvimento da cultura, foi de 0,85, na data de 03/12/2010. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. A parcela colhida em 02/02/2011 iniciou a maturação por volta de 01/01/2011. O período

da maturação teve início em 17/01/2011 para as parcelas colhidas em 18/02/2011 e 06/03/2011. O valor máximo de NDVI/MOD13Q1 atingido foi de 0,93, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 4, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 109, 125 e 141 dias, respectivamente, para as parcelas colhidas em 02/02/2011, 18/02/2011 e 06/03/2011. A duração do ciclo da soja pode variar de 75 a 210 dias dependendo da cultivar (GARCIA et al., 2007).

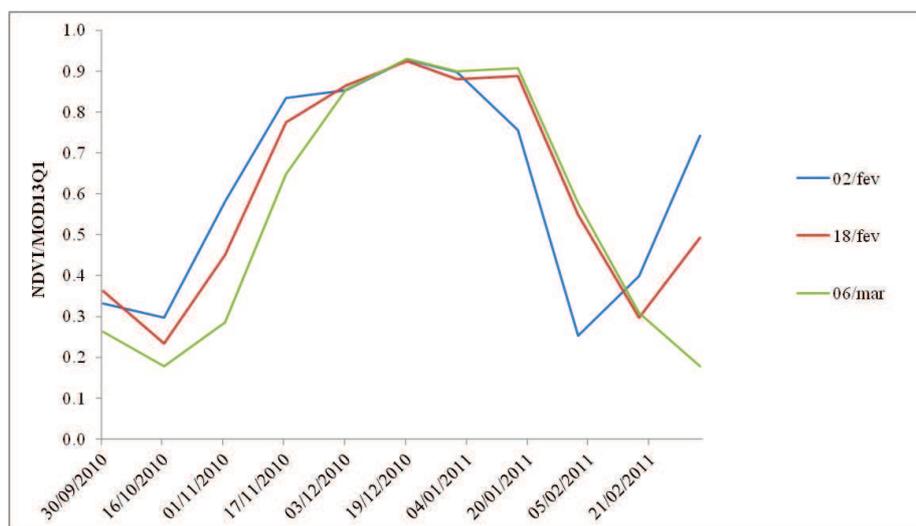


Figura 4 Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da soja irrigada em função das datas de colheita (02/02/2011, 18/02/2011 e 06/03/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 (Figura 4) verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas da colheita da soja e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

As datas de plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada, baseando-se na análise de NDVI/MOD13Q1, foram comparadas aos dados de campo coletados por Pereira (2011), para a safra 2010/2011 (Tabela 11). Dessa forma, na análise dos dados de campo, o plantio ocorreu, para a maioria dos pontos, no final da segunda quinzena de outubro e, na análise de NDVI/MOD13Q1, no início da segunda quinzena de outubro. A colheita ocorreu, para a maioria dos pontos, no mês de fevereiro. Entretanto, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita, a duração do ciclo da cultura foi semelhante em ambas as análises.

Tabela 11 Comparação entre as datas de plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada na análise dos dados de campo e de NDVI/MOD13Q1

Pontos	Dados de Campo			Análise de NDVI/MOD13Q1		
	Plantio	Colheita	Duração do ciclo	Plantio	Colheita	Duração do ciclo
1	10/10/2010	27/02/2011	140	16/10/2010	18/02/2011	125
2	21/10/2010	17/02/2011	119	16/10/2010	18/02/2011	125
3	21/10/2010	16/02/2011	118	16/10/2010	18/02/2011	125
4	12/10/2010	05/02/2011	116	16/10/2010	02/02/2011	109
5	14/10/2010	31/01/2011	109	16/10/2010	02/02/2011	109
6	22/10/2010	06/02/2011	107	16/10/2010	18/02/2011	125
7	27/10/2010	21/02/2011	117	16/10/2010	06/03/2011	141
8	22/10/2010	10/02/2011	111	16/10/2010	18/02/2011	125
9	27/10/2010	19/02/2011	115	16/10/2010	06/03/2011	141
10	27/10/2010	24/02/2011	120	16/10/2010	18/02/2011	125
11	24/10/2010	18/02/2011	117	16/10/2010	18/02/2011	125

Na Figura 5 estão representados os perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 para a cultura da soja irrigada, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 5 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (16/10/2011

a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012).

Os valores de NDVI/MOD13Q1 foram 0,31, 0,31, 0,17 e 0,24, respectivamente, para os plantios de 16/10/2011 a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 17/11/2011 para os plantios de 16/10/2011 a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012 e 16/10/2011 a 18/02/2012 apresentando valores médios de NDVI/MOD13Q1 de 0,86, 0,79 e 0,68, respectivamente. Já para os plantios 01/11/2011 a 02/02/2012 o valor médio de NDVI/MOD13Q1 no período de desenvolvimento da cultura foi de 0,92 e ocorreu em 03/12/2011. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O período da maturação para os plantios de 16/10/2011 a 02/02/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012 teve início em 17/01/2012. Já para os plantios de 16/10/2011 a 17/01/2012 e 16/10/2011 a 18/02/2012 o início da maturação ocorreu por volta de 01/01/2012 e 02/02/2012, respectivamente. O valor máximo de NDVI/MOD13Q1 atingido foi de 0,94, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 5, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 93 dias para os plantios de 16/10/2011 a 17/01/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012; 109 dias para o plantio de 16/10/2011 a 02/02/2012; e, 125 dias para o plantio de 16/10/2011 a 18/02/2012.

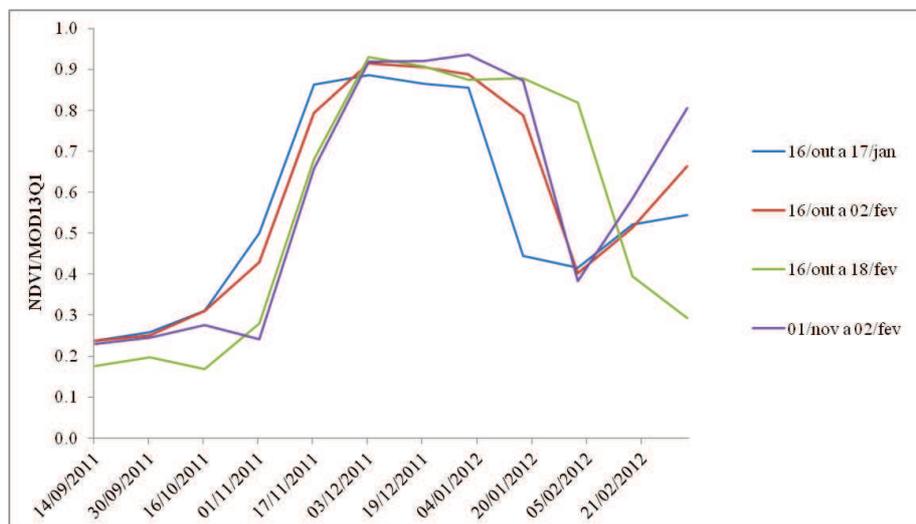


Figura 5 Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da soja irrigada em função da duração do ciclo (16/10/2011 a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2011 e 01/11/2011 a 02/02/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 (Figura 5), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.1.2 EVI do produto MOD13Q1

Na Figura 6 estão representados os perfis temporais de EVI/MOD13Q1 para a cultura da soja irrigada, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 6 pode ser observado que o plantio da soja ocorreu no início da segunda quinzena de outubro (16/10/2010) para todos os pontos analisados. No entanto, a colheita ocorreu em datas diferentes (02/02/2011 e 18/02/2011), em função do ciclo da cultura.

Os valores de EVI/MOD13Q1 foram 0,17 e 0,10, respectivamente, para as parcelas colhidas em 02/02/2011 e 18/02/2011. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 17/11/2010 para as parcelas colhidas em 02/02/2011 e 18/02/2011, apresentando valores médios de EVI/MOD13Q1 de 0,60 e 0,64, respectivamente. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O período da maturação teve início em 17/01/2011 para ambas as parcelas. O valor máximo de EVI/MOD13Q1 foi de 0,85, para a parcela colhida em 02/02/2011; e, 0,86, para 18/02/2011.

Com base na análise de EVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 6, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 109 e 125 dias, respectivamente, para as parcelas colhidas em 02/02/2011 e 18/02/2011.

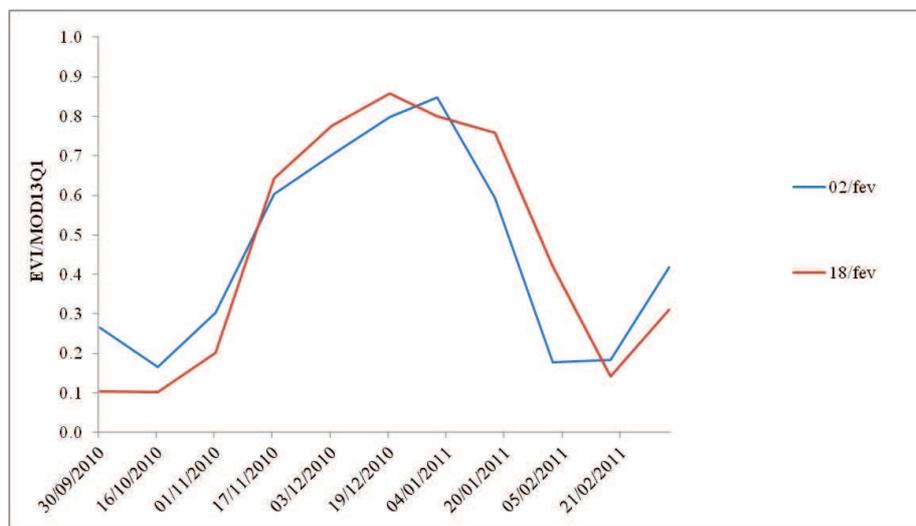


Figura 6 Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da soja irrigada em função das datas de colheita (02/02/2011 e 18/02/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de EVI/MOD13Q1 (Figura 6), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo

com a diferença entre as datas de colheita da soja e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

Na Figura 7 estão representados os perfis temporais de EVI/MOD13Q1 para a cultura da soja irrigada, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 7 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (16/10/2011 a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012).

Os valores de EVI/MOD13Q1 foram 0,15, 0,16 e 0,20, respectivamente, para os plantios de 16/10/2011 a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 17/11/2011 para os plantios de 16/10/2011 a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012, apresentando valores médios de EVI/MOD13Q1 de 0,70, 0,68 e 0,55, respectivamente. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O plantio de 16/10/2011 a 17/01/2012 iniciou a maturação por volta de 01/01/2012. O período da maturação teve início em 17/01/2012 para os plantios de 16/10/2011 a 02/02/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012. O valor máximo de EVI/MOD13Q1 atingido foi de 0,90, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 7, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 93 dias, para os plantios de 16/10/2011 a 17/01/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012; e, 109 dias, para o plantio de 16/10/2011 a 02/02/2012.

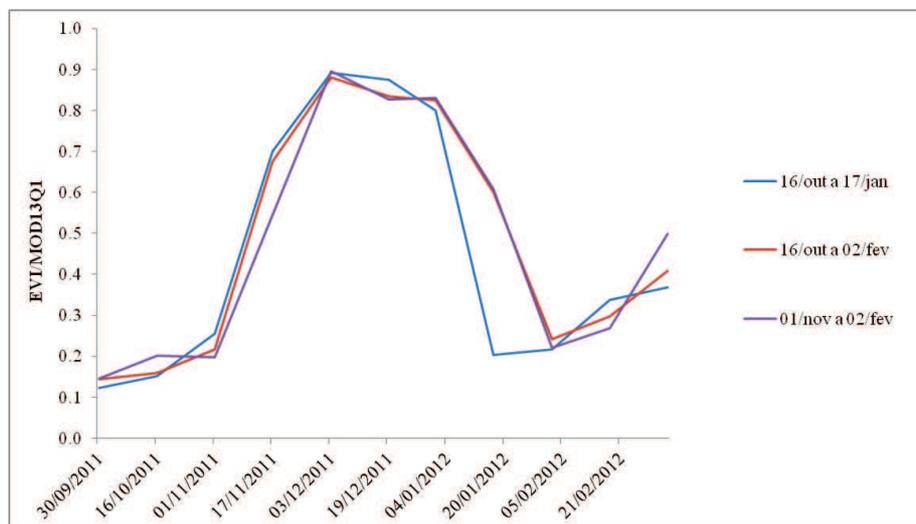


Figura 7 Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da soja irrigada em função da duração do ciclo (16/10/2011 a 17/01/2012, 16/10/2011 a 02/02/2012 e 01/11/2011 a 02/02/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de EVI/MOD13Q1 (Figura 7), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.1.3 EVI2 do Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF)

Na Figura 8 estão representados os perfis temporais de EVI2/LAF para a cultura da soja irrigada, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 8 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (30/09/2010 a 18/02/2011, 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011).

Os valores de EVI2/LAF foram 0,15, 0,21 e 0,14, respectivamente, para os plantios de 30/09/2010 a 18/02/2011, 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011).

a 06/03/2011. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 19/12/2010 para os plantios de 30/09/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,76 e 0,73, respectivamente. Já para o plantio de 01/11/2010 a 18/02/2011, o período de desenvolvimento da soja ocorreu até 01/01/2011 e o valor médio de EVI2/LAF foi de 0,75. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de dezembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O plantio de 30/09/2010 a 18/02/2011 iniciou a maturação por volta de 17/01/2011. O período da maturação teve início em 02/02/2011 para os plantios de 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011. O valor máximo de EVI2/LAF atingido foi de 0,82, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI2/LAF, ainda sobre a Figura 8, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 109 dias, para o plantio de 01/11/2010 a 18/02/2011; 125 dias, para o plantio de 01/11/2010 a 06/03/2011; e, 141 dias, para o plantio de 30/09/2010 a 18/02/2011.

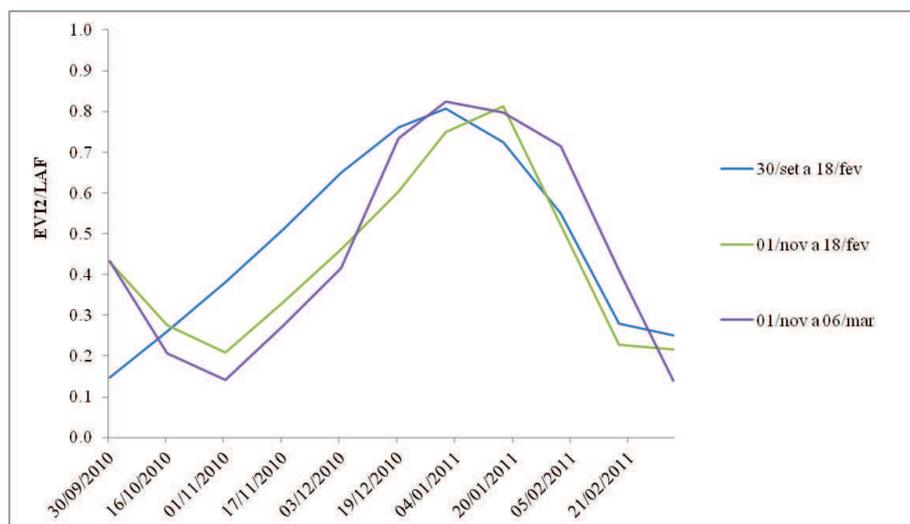


Figura 8 Perfis temporais de EVI2/LAF da soja irrigada em função da duração do ciclo (30/09/2010 a 18/02/2011, 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de EVI2/LAF (Figura 8), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

Na Figura 9 estão representados os perfis temporais de EVI2/LAF para a cultura da soja irrigada, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 9 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (30/09/2011 a 18/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012).

Os valores de EVI2/LAF foram 0,22, 0,13 e 0,11, respectivamente, para os plantios de 30/09/2011 a 18/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 03/12/2011 para os plantios de 30/09/2011 a 18/02/2012 e 16/10/2011 a 18/02/2012, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,66 e 0,69, respectivamente. Já

para o plantio de 01/11/2011 a 05/03/2012, o período de desenvolvimento da soja ocorreu até 19/12/2011 e o valor médio de EVI2/LAF foi de 0.74. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de dezembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O período da maturação teve início em 01/01/2012 para os plantios de 30/09/2011 a 18/02/2012 e 16/10/2011 a 18/02/2012. Já para o plantio de 01/11/2011 a 05/03/2012 a maturação ocorreu por volta de 17/01/2012. O valor máximo de EVI2/LAF atingido foi de 0,82, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI2/LAF, ainda sobre a Figura 9, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 125 dias, para os plantios de 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012; e, 141 dias, para o plantio de 30/09/2011 a 18/02/2012.

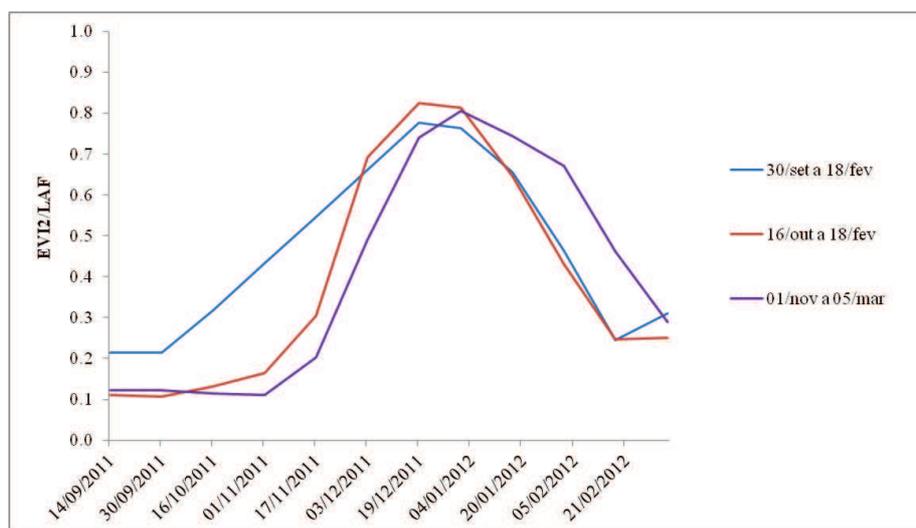


Figura 9 Perfis temporais de EVI2/LAF da soja irrigada em função da duração do ciclo (30/09/2011 a 18/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de EVI2/LAF (Figura 9), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.1.4 NDVI do produto VGT-S10

Em relação aos dados do produto de NDVI/VGT-S10 do sensor Vegetation do satélite SPOT, os pontos 1, 2 e 3, referentes às áreas cultivadas com soja irrigada (Tabela 9), foram excluídos nas análises das safras 2010/2011 e 2011/2012 por apresentarem um padrão totalmente diferente em relação aos outros pontos.

Na Figura 10 estão representados os perfis temporais de NDVI/VGT-S10, para a cultura da soja irrigada, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 10 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (11/10/2010 a 01/02/2011, 01/11/2010 a 21/02/2011 e 11/11/2010 a 21/02/2011).

Os valores de NDVI/VGT-S10 foram 0,30, 0,40 e 0,39, respectivamente, para os plantios de 11/10/2010 a 01/02/2011, 01/11/2010 a 21/02/2011 e 11/11/2010 a 21/02/2011. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 11/12/2010 para os plantios de 01/11/2010 a 21/02/2011 e 11/11/2010 a 21/02/2011, apresentando o valor médio de NDVI de 0,85, em ambas os plantios. Já para o plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011 o valor médio de NDVI/VGT-S10, no período de desenvolvimento da cultura foi de 0,74, na data de 21/11/2010. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011 iniciou a maturação após 21/01/2011. Já para os plantios de 11/10/2010 a 01/02/2011 e

11/11/2010 a 21/02/2011o período da maturação teve início em 01/01/2011 e 21/01/2011, respectivamente. O valor máximo de NDVI/VGT-S10 atingido foi de 0,87, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/VGT-S10, ainda sobre a Figura 10, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 102, 112 e 113 dias, respectivamente, para os plantios de 11/11/2010 a 21/02/2011, 01/11/2010 a 21/02/2011 e 11/10/2010 a 01/02/2011.

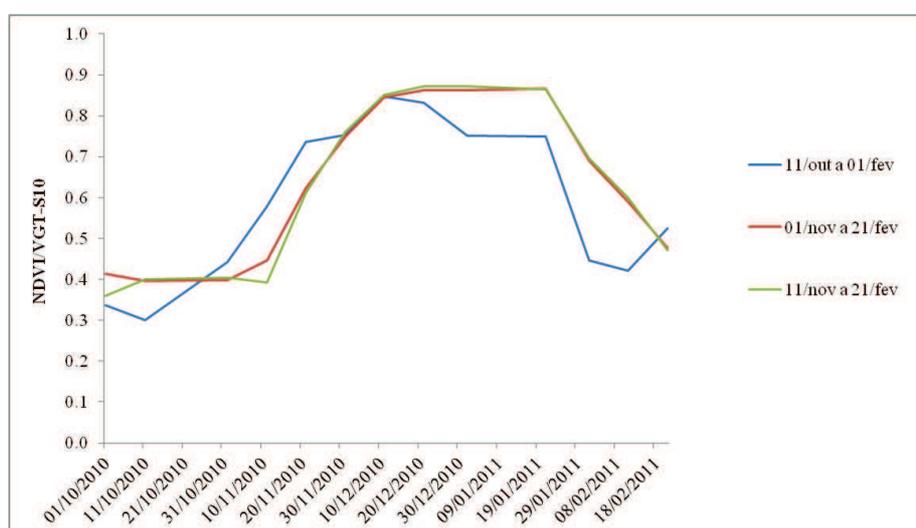


Figura 10 Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da soja irrigada em função da duração do ciclo (11/10/2010 a 01/02/2011, 01/11/2010 a 21/02/2011 e 11/11/2010 a 21/02/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de NDVI/VGT-S10 (Figura 10), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante. Este fato foi observado por Esquerdo e Zullo Júnior (2007), na análise dos perfis temporais

de NDVI, gerados por dados de sensoriamento remoto, entre eles, o produto VGT-S10, para a cultura de soja no oeste do Paraná.

As datas de plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada por análise de NDVI/VGT-S10 foram comparadas aos dados de campo coletados por Pereira (2011), para a safra 2010/2011 (Tabela 12). Dessa forma, na análise dos dados de campo, o plantio ocorreu, para a maioria dos pontos, no final da segunda quinzena de outubro e, na análise de NDVI/VGT-S10, no primeiro decêndio de novembro. A colheita ocorreu, para a maioria dos pontos, no mês de fevereiro, variando apenas o dia em que a soja foi colhida. Entretanto, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita, a duração do ciclo da cultura foi semelhante em ambas as análises.

Tabela 12 Comparação entre as datas de plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada na análise dos dados de campo e de NDVI/VGT-S10

Pontos	Dados de Campo			Análise de NDVI/VGT-S10		
	Plantio	Colheita	Duração do ciclo	Plantio	Colheita	Duração do ciclo
4	12/10/2010	05/02/2011	116	11/10/2010	01/02/2011	113
5	14/10/2010	31/01/2011	109	11/10/2010	01/02/2011	113
6	22/10/2010	06/02/2011	107	11/10/2010	01/02/2011	113
7	27/10/2010	21/02/2011	117	01/11/2010	21/02/2011	112
8	22/10/2010	10/02/2011	111	01/11/2010	21/02/2011	112
9	27/10/2010	19/02/2011	115	11/11/2010	21/02/2011	102
10	27/10/2010	24/02/2011	120	01/11/2010	21/02/2011	112
11	24/10/2010	18/02/2011	117	01/11/2010	21/02/2011	112

Na Figura 11 estão representados os perfis temporais de NDVI/VGT-S10, para a cultura da soja irrigada, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 11 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (01/10/2011 a 11/02/2012,

01/10/2011 a 21/02/2012, 11/10/2011 a 11/02/2012, 11/10/2011 a 21/02/2012 e 01/11/2011 a 11/02/2012).

Os valores de NDVI/VGT-S10 foram 0,25, 0,23, 0,34, 0,25 e 0,46, respectivamente, para os plantios de 01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012, 11/10/2011 a 11/02/2012, 11/10/2011 a 21/02/2012 e 01/11/2011 a 11/02/2012. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 21/12/2011 para os plantios de 01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012, apresentando valores médios de NDVI/VGT-S10 de 0,72, 0,76 e 0,80, respectivamente. Já para os plantios de 11/10/2011 a 11/02/2012 e 01/11/2011 a 11/02/2012 os valores médios de NDVI/VGT-S10 no período de desenvolvimento da cultura foram de 0,74 e 0,80, respectivamente, na data de 01/12/2011. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. Os plantios de 01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012 iniciaram a maturação por volta de 11/01/2012. Já para os plantios de 11/10/2011 a 11/02/2012 e 01/11/2011 a 11/02/2012 o período da maturação teve início após 11/01/2012. O valor máximo de NDVI/VGT-S10 atingido foi de 0,88, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/VGT-S10, ainda sobre a Figura 11, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 102 dias, para o plantio de 01/11/2011 a 11/02/2012; 123 dias, para o plantio de 11/10/2011 a 11/02/2012; 133 dias, para os plantios de 01/10/2011 a 11/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012; e, 143 dias, para o plantio de 01/10/2011 a 21/02/2012.

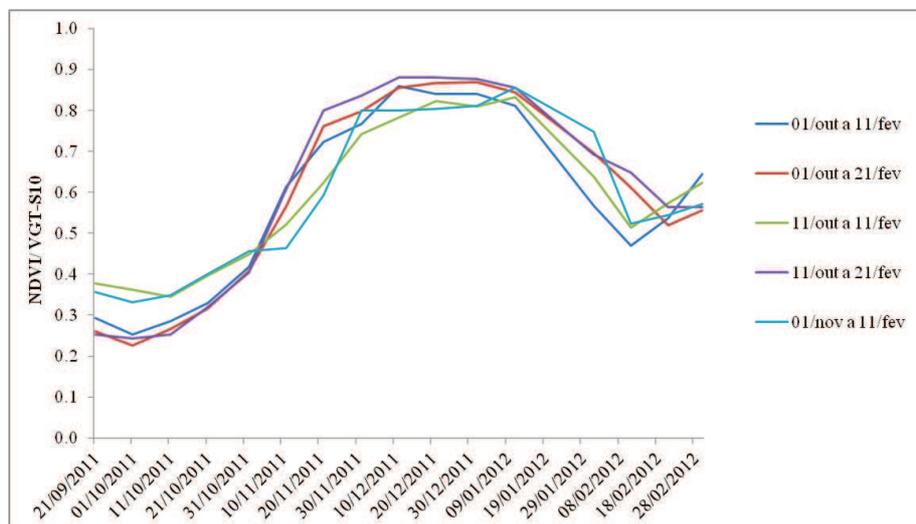


Figura 11 Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da soja irrigada em função da duração do ciclo (01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012, 11/10/2011 a 11/02/2012, 11/10/2011 a 21/02/2012 e 01/11/2011 a 11/02/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de NDVI/VGT-S10 (Figura 11), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.1.5 NDVI do produto MOD09GQ

Em relação aos dados de NDVI/MOD09GQ, os pontos 6 e 8, referentes às áreas cultivadas com soja irrigada (Tabela 9), foram excluídos na análise da safra 2010/2011 por apresentarem valores muito baixos de NDVI/MOD09GQ no mês de janeiro, sugerindo que a colheita foi realizada neste mês. Além disso, como é esperado que, durante o pico de biomassa, uma lavoura de soja em bom estado de desenvolvimento e sem problemas fitossanitários graves supere o valor

de 0,85 no NDVI (RISSO et al., 2012), então foram considerados apenas os valores de NDVI representativos dessa cultura agrícola.

Na Figura 12 estão representados os perfis temporais de NDVI/MOD09GQ para a cultura da soja irrigada, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 12 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (17/10/2010 a 25/02/2011, 20/10/2010 a 02/02/2011, 20/10/2010 a 15/02/2011, 24/10/2010 a 19/02/2011, 03/11/2010 a 19/02/2011 e 03/11/2010 a 27/02/2011).

Os valores de NDVI/MOD09GQ foram 0,29, 0,29, 0,33, 0,28, 0,20 e 0,14, respectivamente, para os plantios de 17/10/2010 a 25/02/2011, 20/10/2010 a 02/02/2011, 20/10/2010 a 15/02/2011, 24/10/2010 a 19/02/2011, 03/11/2010 a 19/02/2011 e 03/11/2010 a 27/02/2011. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 19/11/2010 para os plantios de 17/10/2010 a 25/02/2011, 20/10/2010 a 02/02/2011 e 24/10/2010 a 19/02/2011, apresentando valores médios de NDVI/MOD09GQ de 0,73, 0,78 e 0,79, respectivamente. Já para os plantios de 20/10/2010 a 15/02/2011, 03/11/2010 a 19/02/2011 e 03/11/2010 a 27/02/2011, os valores médios de NDVI/MOD09GQ no período de desenvolvimento da cultura foram de 0,77, 0,79 e 0,75, respectivamente, na data de 28/11/2010. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O período da maturação teve início em 24/01/2011, para os plantios de 20/10/2010 a 02/02/2011, 20/10/2010 a 15/02/2011 e 24/10/2010 a 19/02/2011; e, em 28/01/2011, para os plantios de 17/10/2010 a 25/02/2011, 03/11/2010 a 19/02/2011 e 03/11/2010 a 27/02/2011. O valor máximo de NDVI/MOD09GQ atingido foi de 0,96, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/MOD09GQ, ainda sobre a Figura 12, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 105 dias, para o plantio de 20/10/2010 a 02/02/2011; 108 dias, para o plantio de 03/11/2010 a 19/02/2011;

116 dias, para o plantio de 03/11/2010 a 27/02/2011; 118 dias, para os plantios de 20/10/2010 a 15/02/2011 e 24/10/2010 a 19/02/2011; e, 131 dias, para o plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011.

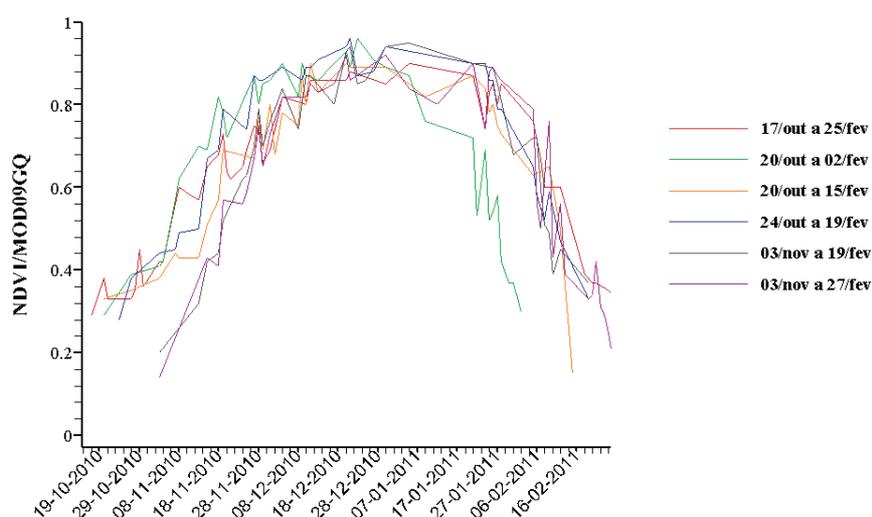


Figura 12 Perfis temporais de NDVI/MOD09GQ da soja irrigada em função da duração do ciclo (17/10/2010 a 25/02/2011, 20/10/2010 a 02/02/2011, 20/10/2010 a 15/02/2011, 24/10/2010 a 19/02/2011, 03/11/2010 a 19/02/2011 e 03/11/2010 a 27/02/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de NDVI/MOD09GQ (Figura 12) verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

As datas de plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada, considerando a análise de NDVI/MOD09GQ, foram comparadas aos dados de campo coletados por Pereira (2011), para a safra 2010/2011 (Tabela 13). Dessa forma, na análise dos dados de campo e de NDVI/MOD09GQ, o plantio

ocorreu, para a maioria dos pontos, na segunda quinzena de outubro. A colheita ocorreu, para a maioria dos pontos, no mês de fevereiro, variando apenas o dia em que a soja foi colhida. Entretanto, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita, a duração do ciclo da cultura foi semelhante em ambas as análises.

Tabela 13 Comparação entre as datas de plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada na análise dos dados de campo e de NDVI/MOD09GQ
plantio, colheita e a duração do ciclo da soja irrigada na análise dos dados de campo e de NDVI/MOD09GQ

Pontos	Dados de Campo			Análise de NDVI/MOD09GQ		
	Plantio	Colheita	Duração do ciclo	Plantio	Colheita	Duração do ciclo
1	10/10/2010	27/02/2011	140	17/10/2010	25/02/2011	131
2	21/10/2010	17/02/2011	119	20/10/2010	15/02/2011	118
3	21/10/2010	16/02/2011	118	20/10/2010	15/02/2011	118
4	12/10/2010	05/02/2011	116	20/10/2010	02/02/2011	105
5	14/10/2010	31/01/2011	109	20/10/2010	02/02/2011	105
7	27/10/2010	21/02/2011	117	03/11/2010	27/02/2011	116
9	27/10/2010	19/02/2011	115	03/11/2010	19/02/2011	108
10	27/10/2010	24/02/2011	120	03/11/2010	27/02/2011	116
11	24/10/2010	18/02/2011	117	24/10/2010	19/02/2011	118

5.2 Análise dos índices de vegetação para a cultura da soja de sequeiro

Antes de iniciar a análise entre os diferentes índices de vegetação para a cultura da soja de sequeiro foi feita uma análise exploratória dos dados, separando os pontos em que a cultura apresentava padrões semelhantes, principalmente, quanto à época do plantio, o desenvolvimento e a época da colheita.

5.2.1 NDVI do produto MOD13Q1

Na Figura 13 estão representados os perfis temporais de NDVI/MOD13Q1, para a cultura da soja de sequeiro, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 13 pode ser observado que o plantio da soja ocorreu no início da segunda quinzena de outubro (16/10/2010) para todos os pontos analisados. No entanto, a colheita ocorreu em datas diferentes (02/02/2011 e 18/02/2011), em função do ciclo da cultura.

O valor de NDVI/MOD13Q1 foi 0,27 para ambas as parcelas colhidas. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 17/11 para as parcelas colhidas em 02/02/2011 e 18/02/2011, apresentando valores médios de NDVI/MOD13Q1 de 0,81 e 0,76, respectivamente. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O período da maturação teve início em 17/01/2011 e o valor máximo de NDVI/MOD13Q1 atingido foi de 0,91, para ambas as parcelas colhidas.

Com base na análise de NDVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 13, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 109 e 125 dias, respectivamente, para as parcelas colhidas em 02/02/2011 e 18/02/2011.

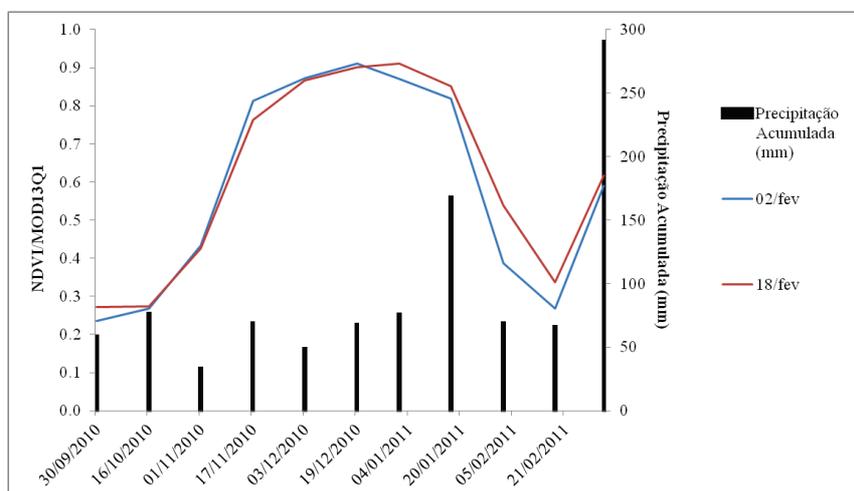


Figura 13 Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da soja de sequeiro em função das datas de colheita (02/02/2011 e 18/02/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 (Figura 13), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas da colheita da soja, baixa precipitação acumulada (mm) na safra e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

Na Figura 14 estão representados os perfis temporais de NDVI/MOD13Q1, para a cultura da soja de sequeiro, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 14 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (16/10/2011 a 02/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012, 16/10/2011 a 05/03/2012, 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012).

Os valores de NDVI/MOD13Q1 foram 0,24, 0,23, 0,32, 0,21 e 0,40, respectivamente, para os plantios de 16/10/2011 a 02/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012, 16/10/2011 a 05/03/2011, 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 17/11/2011 para

os plantios de 16/10/2011 a 02/02/2012 e 16/10/2011 a 18/02/2012 apresentando valores médios de NDVI/MOD13Q1 de 0,76 e 0,79, respectivamente. Já para os plantios de 16/10/2011 a 05/03/2012, 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012 os valores médios de NDVI/MOD13Q1 no período de desenvolvimento da cultura foram de 0,84, 0,90 e 0,83, em 03/12/2011. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O período da maturação para os plantios de 16/10/2011 a 02/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 18/02/2012 teve início em 17/01/2011. Já para os plantios de 16/10/2011 a 05/03/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012 o início da maturação teve início em 02/02/2012. O valor máximo de NDVI/MOD13Q1 atingido foi de 0,93, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 14, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 109 dias para os plantios de 16/10/2011 a 02/02/2012 e 01/11/2011 a 18/02/2012; 125 dias para os plantios de 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012; e, 141 dias para o plantio de 16/10/2011 a 05/03/2012.

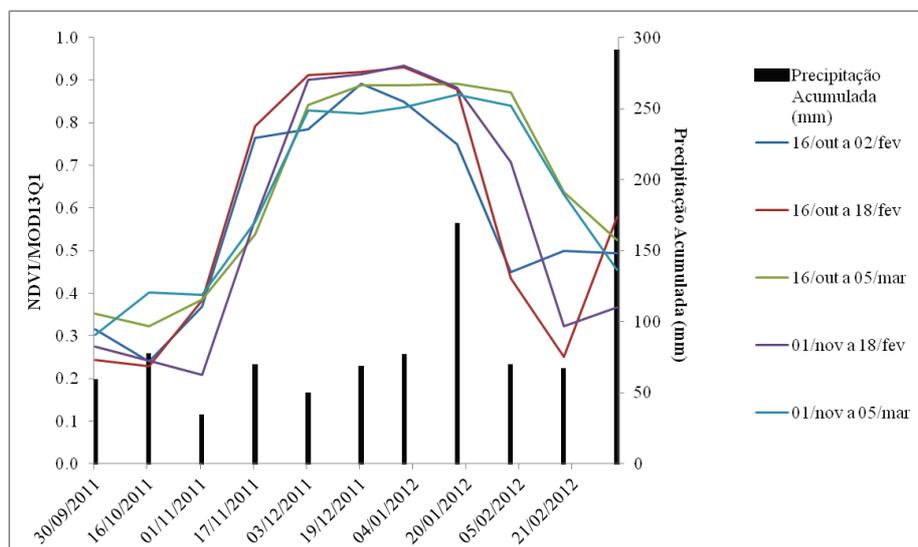


Figura 14 Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (16/10/2011 a 02/02/2012, 16/10/2011 a 18/02/2012, 16/10/2011 a 05/03/2012, 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 (Figura 14), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja, a baixa precipitação acumulada (mm) na safra e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.2.2 EVI do produto MOD13Q1

Na Figura 15 está representado o perfil temporal dos valores médios de EVI/MOD13Q1, para a cultura da soja de sequeiro, safra 2010/2011. Na Figura 15 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em 16/10/2010 e 18/02/2011, respectivamente, para todos os pontos analisados.

O valor de EVI/MOD13Q1 foi de 0,15. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 17/11/2010, apresentando valor médio de EVI/MOD13Q1 de 0,64. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de dezembro. O período da maturação ocorreu por volta de 01/01/2011. O valor máximo de EVI/MOD13Q1 foi de 0,86.

Com base na análise de EVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 15, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 125 dias.

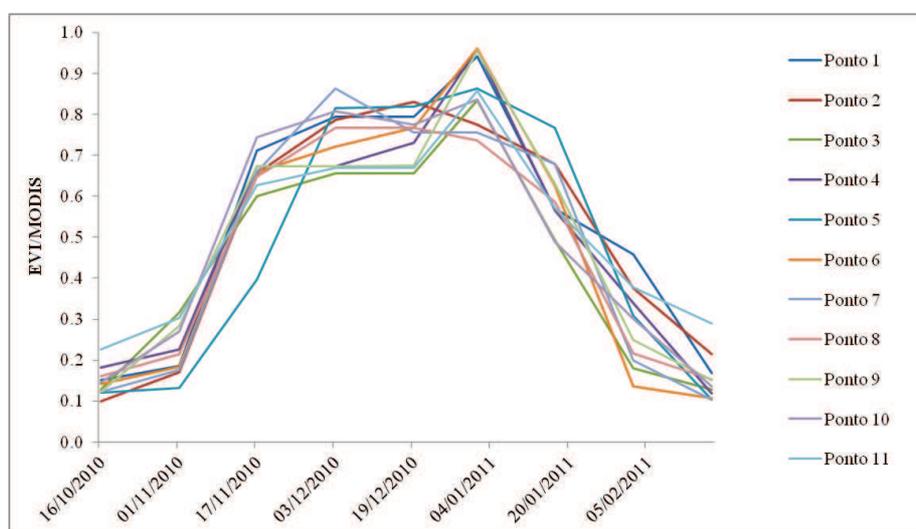


Figura 15 Perfil temporal dos valores médios de EVI/MOD13Q1 da soja de sequeiro, safra 2010/2011

Na Figura 16 estão representados os perfis temporais de EVI/MOD13Q1, para a cultura da soja de sequeiro, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 16 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (16/10/2011 a 18/02/2012, 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012).

Os valores de EVI/MOD13Q1 foram 0,12, 0,11 e 0,18, respectivamente, para os plantios de 16/10/2011 a 18/02/2012, 01/11/2011 a 18/02/2012 e

01/11/2011 a 05/03/2012. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 17/11/2011, para o plantio de 16/10/2011 a 18/02/2012, e até 03/12/2011, para os plantios de 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012, apresentando valores médios de EVI/MOD13Q1 de 0,59, 0,75 e 0,61, respectivamente. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entremeados de dezembro e início de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O plantio de 16/10/2011 a 18/02/2012 iniciou a maturação por volta de 01/01/2012. O período da maturação teve início em 17/01/2012 para os plantios de 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012. O valor máximo de EVI/MOD13Q1 atingido foi de 0,87, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 16, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 109 dias, para o plantio de 01/11/2011 a 18/02/2012; e, 125 dias, para os plantios de 16/10/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012.

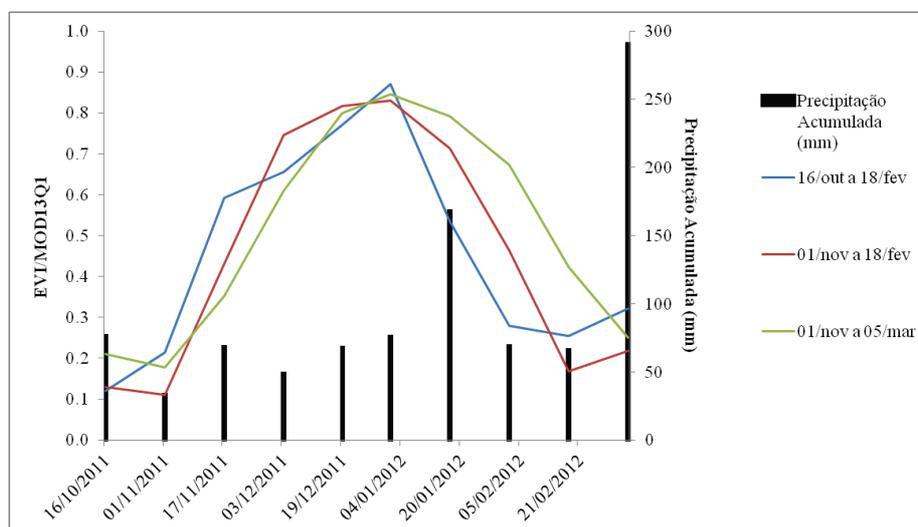


Figura 16 Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (16/10/2011 a 18/02/2012, 01/11/2011 a 18/02/2012 e 01/11/2011 a 05/03/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de EVI/MOD13Q1 (Figura 16), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja, a baixa precipitação acumulada (mm) na safra e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.2.3 EVI2 do Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF)

Na Figura 17 estão representados os perfis temporais de EVI2/LAF, para a cultura da soja de sequeiro, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 17 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (30/09/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 06/03/2011, 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011).

Os valores de EVI2/LAF foram 0,17, 0,17, 0,16, 0,19 e 0,17, respectivamente, para os plantios de 30/09/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 06/03/2011, 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 03/12/2010 para os plantios de 30/09/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 18/02/2011 e 16/10/2010 a 06/03/2011, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,63, 0,61 e 0,66, respectivamente. Já para os plantios de 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011, o período de desenvolvimento da soja ocorreu até 19/12/2011 e 01/01/2011, respectivamente. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de dezembro e início de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O período da maturação teve início em 17/01/2011 para os plantios de 30/09/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 06/03/2011 e 01/11/2010 a 18/02/2011. O plantio de 01/11/2010 a 06/03/2011 iniciou a maturação por volta de 02/02/2011. O valor máximo de EVI2/LAF atingido foi de 0,85, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI2/LAF, ainda sobre a Figura 17, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 109 dias, para o plantio de 01/11/2010 a 18/02/2011; 125 dias, para os plantios de 16/10/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011; e, 141 dias, para os plantios de 30/09/2010 a 18/02/2011 e 16/10/2010 a 06/03/2011.

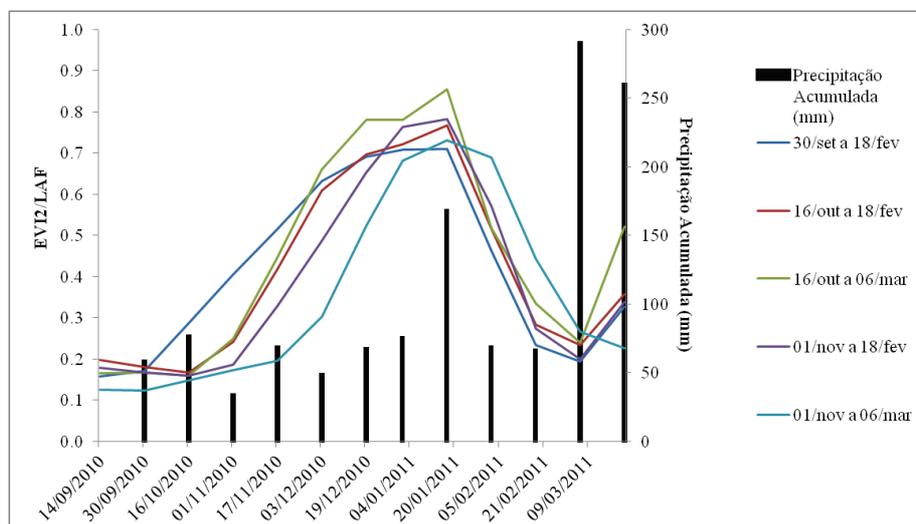


Figura 17 Perfis temporais de EVI2/LAF da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (30/09/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 18/02/2011, 16/10/2010 a 06/03/2011, 01/11/2010 a 18/02/2011 e 01/11/2010 a 06/03/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de EVI2/LAF (Figura 17), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja, a baixa precipitação acumulada (mm) na safra e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

Na Figura 18 estão representados os perfis temporais de EVI2/LAF, para a cultura da soja de sequeiro, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 18 pode ser observado que o plantio da soja ocorreu no início de novembro (01/11/2011) para todos os pontos analisados. No entanto, a colheita ocorreu em datas diferentes (18/02/2012, 05/03/2012 e 21/03/2012), em função do ciclo da cultura.

Os valores de EVI2/LAF foram 0,15, 0,15 e 0,21, respectivamente, para os plantios de 18/02/2012, 05/03/2012 e 21/03/2012. O período de

desenvolvimento da soja ocorreu até 19/12/2011 para os plantios de 18/02/2012, 05/03/2012 e 21/03/2012, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,67, 0,60 e 0,60, respectivamente. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre início de janeiro e início de fevereiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O período da maturação teve início em 17/01/2012, para a safra de 18/02/2012; 02/02/2012, para o plantio de 05/03/2012; e, 18/02/2012, para o plantio de 21/03/2012. O valor máximo de EVI2/LAF atingido foi de 0,80, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI2/LAF, ainda sobre a Figura 18, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 109 dias, para o plantio de 18/02/2012; 125 dias, para o plantio de 05/03/2012; e, 141 dias, para o plantio de 21/03/2012.

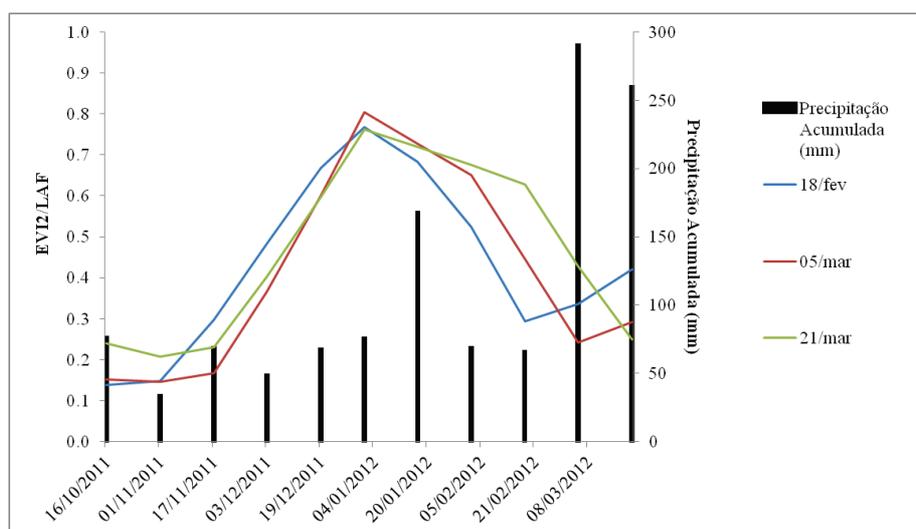


Figura 18 Perfis temporais de EVI2/LAF da soja de sequeiro em função da data de colheita (18/02/2012, 05/03/2012 e 21/03/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de EVI2/LAF (Figura 18), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença

entre as datas de colheita da soja, a baixa precipitação acumulada (mm) na safra e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.2.4 NDVI do produto VGT-S10

Em relação aos dados de NDVI/VGT-S10, os pontos 1 e 2, referentes às áreas cultivadas com soja de sequeiro (Tabela 9), foram excluídos na análise da safra 2010/2011; e os pontos 1, 2 e 10, na análise da safra 2011/2012, por apresentarem um padrão totalmente diferente em relação aos outros pontos.

Na Figura 19 estão representados os perfis temporais de NDVI/VGT-S10, para a cultura da soja de sequeiro, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 19 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (11/10/2010 a 01/02/2011, 11/10/2010 a 11/02/2011, 11/10/2010 a 21/02/2011, 21/10/2010 a 11/02/2011 e 01/11/2010 a 11/02/2011).

Os valores de NDVI/VGT-S10 foram 0,26, 0,30, 0,28, 0,42 e 0,46, respectivamente, para os plantios de 11/10/2010 a 01/02/2011, 11/10/2010 a 11/02/2011, 11/10/2010 a 21/02/2011, 21/10/2010 a 11/02/2011 e 01/11/2010 a 11/02/2011. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 21/11/2010 para os plantios de 11/10/2010 a 01/02/2011, 11/10/2010 a 11/02/2011, 11/10/2010 a 21/02/2011, 21/10/2010 a 11/02/2011 e 01/11/2010 a 11/02/2011, apresentando valores médios de NDVI/VGT-S10 de 0,83, 0,80, 0,74, 0,68 e 0,74, respectivamente. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de dezembro e início de janeiro. O período da maturação teve início em 21/01/2011 para todos os plantios. O valor máximo de NDVI/VGT-S10 atingido foi de 0,89, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/VGT-S10, ainda sobre a Figura 19, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 102, para o plantio de 01/11/2010 a 11/02/2011; 113 dias, para os plantios de 11/10/2010 a 01/02/2011 e 21/10/2010 a 11/02/2011; 123 dias, para o plantio de 11/10/2010 a 11/02/2011; e, 133 dias, para o plantio de 11/10/2010 a 21/02/2011.

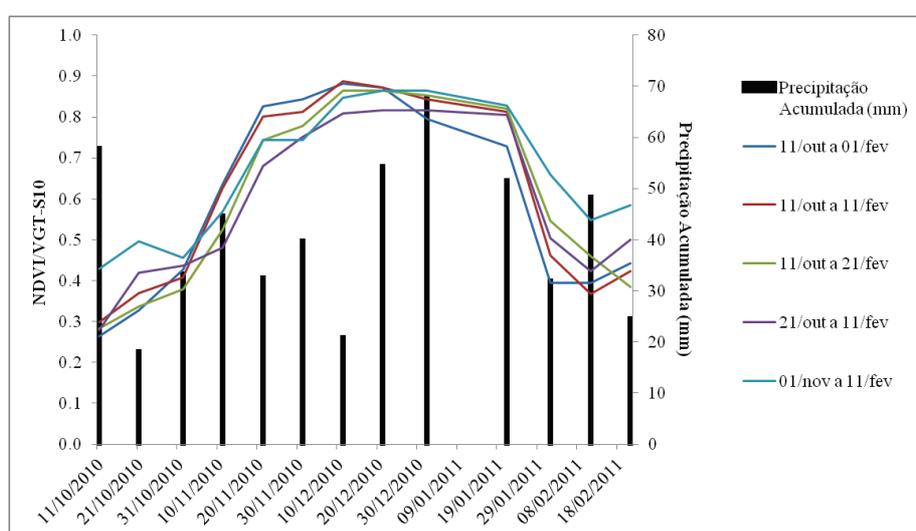


Figura 19 Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (11/10/2010 a 01/02/2011, 11/10/2010 a 11/02/2011, 11/10/2010 a 21/02/2011, 21/10/2010 a 11/02/2011 e 01/11/2010 a 11/02/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de NDVI/VGT-S10 (Figura 19), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja, a alta precipitação acumulada (mm) na safra e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

Na Figura 20 estão representados os perfis temporais de NDVI/VGT-S10, para a cultura da soja de sequeiro, safra 2011/2012, separados em função da

duração do ciclo da cultura. Na Figura 20 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012, 11/10/2011 a 11/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012).

Os valores de NDVI/VGT-S10 foram 0,28, 0,27, 0,25 e 0,26, respectivamente, para os plantios de 01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012, 11/10/2011 a 11/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 11/12/2011 para os plantios de 01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012, apresentando valores médios de NDVI/ VGT-S10 de 0,86, 0,85 e 0,84, respectivamente. Já para o plantio de 11/10/2011 a 11/02/2012 o valor médio de NDVI/VGT-S10 no período de desenvolvimento da cultura foi de 0,72, em 21/11/2011. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de dezembro e início de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. Os plantios de 01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012 iniciaram a maturação por volta de 11/01/2012. O período da maturação teve início a partir de 11/01/2012 para todos os plantios. O valor máximo de NDVI/VGT-S10 atingido foi de 0,87, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/VGT-S10, ainda sobre a Figura 20, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 123 dias, para o plantio de 11/10/2011 a 11/02/2012; 133 dias, para os plantios de 01/10/2011 a 11/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012; e, 143 dias, para os plantios de 01/10/2011 a 21/02/2012.

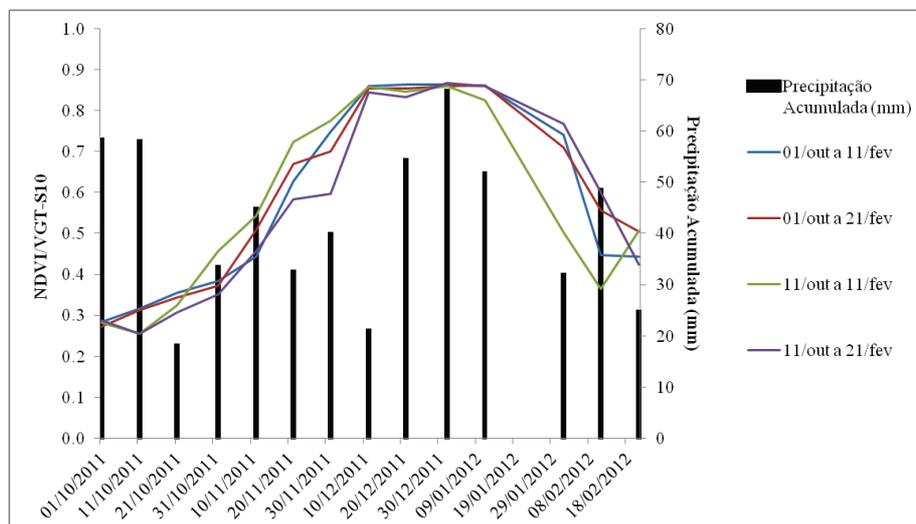


Figura 20 Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (01/10/2011 a 11/02/2012, 01/10/2011 a 21/02/2012, 11/10/2011 a 11/02/2012 e 11/10/2011 a 21/02/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de NDVI/VGT-S10 (Figura 20), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja, a alta precipitação acumulada (mm) na safra e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.2.5 NDVI do produto MOD09GQ

Em relação aos dados de NDVI/MOD09GQ os pontos 2 e 11, referentes às áreas cultivadas com soja de sequeiro (Tabela 9) foram excluídos na análise da safra 2010/2011 por apresentarem valores muito baixos de NDVI/MOD09GQ no mês de janeiro, sugerindo que a colheita foi realizada neste mês.

Na Figura 21 estão representados os perfis temporais de NDVI/MOD09GQ, para a cultura da soja de sequeiro, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 21 pode ser observado que o plantio e a colheita da soja ocorreram em datas diferentes (17/10/2010 a 21/02/2011, 20/10/2010 a 12/02/2011, 27/10/2010 a 19/02/2011, 29/10/2010 a 02/02/2011, 29/10/2010 a 12/02/2011 e 29/10/2010 a 20/02/2011).

Os valores de NDVI/MOD09GQ foram 0,21, 0,27, 0,38, 0,32, 0,27 e 0,26, respectivamente, para os plantios 17/10/2010 a 21/02/2011, 20/10/2010 a 12/02/2011, 27/10/2010 a 19/02/2011, 29/10/2010 a 02/02/2011, 29/10/2010 a 12/02/2011 e 29/10/2010 a 20/02/2011. O período de desenvolvimento da soja ocorreu até 19/11/2010 para os plantios de 20/10/2010 a 12/02/2011, 27/10/2010 a 19/02/2011, 29/10/2010 a 02/02/2011, 29/10/2010 a 12/02/2011 e 29/10/2010 a 20/02/2011, apresentando valores médios de NDVI/MOD09GQ de 0,77, 0,77, 0,79, 0,79 e 0,72, respectivamente. Já para o plantio de 17/10/2010 a 21/02/2011 o período de desenvolvimento ocorreu até 01/12/2010 e o valor médio de NDVI/MOD09GQ foi de 0,79. O período de máximo desenvolvimento ocorreu entre meados de novembro e meados de janeiro, dependendo da data que ocorreu o período de desenvolvimento. O período da maturação teve início em 21/01/2011, para os plantios de 20/10/2010 a 12/02/2011, 29/10/2010 a 02/02/2011, 29/10/2010 a 12/02/2011 e 29/10/2010 a 20/02/2011; 24/01/2011, para a safra de 27/10/2010 a 19/02/2011; e, 28/01/2011, para o plantio de 17/10/2010 a 21/02/2011. O valor máximo de NDVI/MOD09GQ atingido foi de 0,96, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/MOD09GQ, ainda sobre a Figura 21, pode-se concluir que a duração do ciclo da soja foi de 96 dias, para o plantio de 29/10/2010 a 02/02/2011; 106 dias, para o plantio de 29/10/2010 a 12/02/2011; 114 dias, para o plantio de 29/10/2010 a 20/02/2011; 115 dias, para os plantios

de 20/10/2010 a 12/02/2011 e 27/10/2010 a 19/02/2011; e, 127 dias, para o plantio de 17/10/2010 a 21/02/2011.

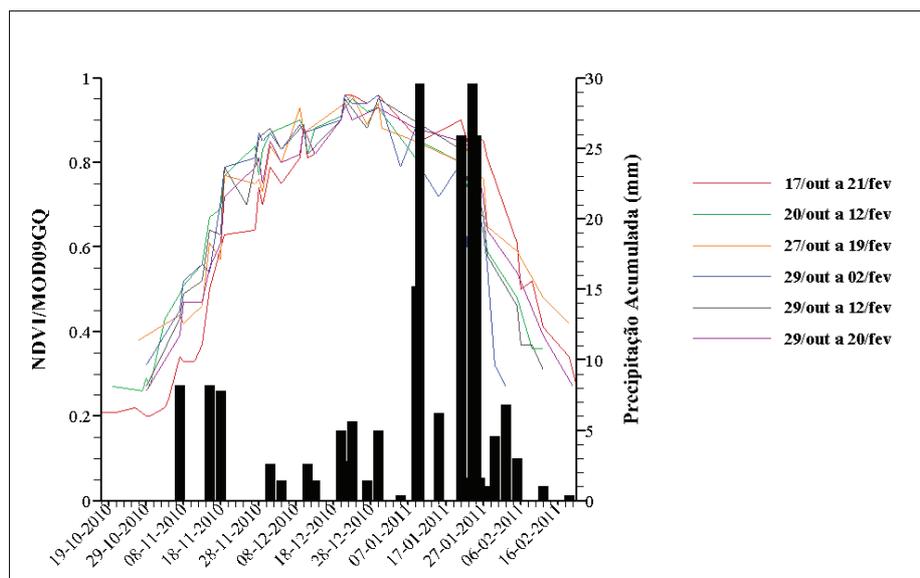


Figura 21 Perfis temporais de NDVI/MOD09GQ da soja de sequeiro em função da duração do ciclo (17/10/2010 a 21/02/2011, 20/10/2010 a 12/02/2011, 27/10/2010 a 19/02/2011, 29/10/2010 a 02/02/2011, 29/10/2010 a 12/02/2011 e 29/10/2010 a 20/02/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de NDVI/MOD09GQ (Figura 21), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre as datas de plantio e colheita da soja, a baixa precipitação acumulada (mm) na safra e diferentes cultivares adotados, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.3 Análise dos índices de vegetação para a cultura da cana-de-açúcar

Antes de iniciar a análise entre os diferentes índices de vegetação para a cultura da cana-de-açúcar foi feita uma análise exploratória dos dados, separando os pontos em que a cultura apresentava padrões semelhantes, quanto à época do plantio, o perfilhamento, os estádios de crescimento rápido e lento, a maturação e a época da colheita.

5.3.1 NDVI do produto MOD13Q1

Na Figura 22 estão representados os perfis temporais de NDVI/MOD13Q1, para a cultura da cana-de-açúcar, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 22 pode ser observado que o plantio e a colheita da cana ocorreram em datas diferentes (29/08/2010 a 14/09/2011, 14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 10/06/2011, 14/09/2010 a 30/09/2011, 30/09/2010 a 28/07/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011 e 30/09/2010 a 14/09/2011). Os valores de NDVI/MOD13Q1 foram 0,36, 0,36, 0,30, 0,30, 0,23, 0,22 e 0,22, respectivamente, para os plantios de 29/08/2010 a 14/09/2011, 14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 10/06/2011, 14/09/2010 a 30/09/2011, 30/09/2010 a 28/07/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011 e 30/09/2010 a 14/09/2011. O estágio de perfilhamento da cana ocorreu até 17/11/2010 para todos os plantios, apresentando valores médios de NDVI/MOD13Q1 de 0,66, 0,60, 0,52, 0,48, 0,45, 0,42 e 0,45, respectivamente, para os plantios de 29/08/2010 a 14/09/2011, 14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 10/06/2011, 14/09/2010 a 30/09/2011, 30/09/2010 a 28/07/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011 e 30/09/2010 a 14/09/2011. O estágio de crescimento rápido ocorreu até 17/01/2011 para os plantios de 29/08/2010 a 14/09/2011, 14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 10/06/2011, 14/09/2010 a 30/09/2011, 30/09/2010 a 28/07/2011 e 30/09/2010 a

13/08/2011, apresentando valores médios de NDVI de 0,79, 0,75, 0,74, 0,80, 0,77 e 0,82, respectivamente. Já para o plantio de 30/09/2010 a 14/09/2011 o estágio de crescimento rápido ocorreu até 18/02/201 e o valor médio de NDVI/MOD13Q1 foi de 0,77. O estágio de crescimento lento ocorreu entre meados de março e meados de junho, dependendo do início da maturação, que ocorreu em 07/04/2011, para o plantio de 29/08/2010 a 14/09/2011; 09/05/2011, para os plantios de 14/09/2010 a 25/05/2011 e 14/09/2010 a 10/06/2011; 26/06/2011, para os plantios de 14/09/2010 a 30/09/2011 e 30/09/2010 a 28/07/2011; 10/06/2011, para o plantio de 30/09/2010 a 13/08/2011; e, 26/06/2011, para o plantio de 30/09/2010 a 14/09/2011. O valor máximo de NDVI/MOD13Q1 atingido foi de 0,82, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 22, pode-se concluir que a duração do ciclo da cana foi de 253 dias, para o plantio de 14/09/2010 a 25/05/2011; 269 dias, para o plantio de 14/09/2010 a 10/06/2011; 301 dias, para o plantio de 30/09/2010 a 28/07/2011; 317 dias, para o plantio de 30/09/2010 a 13/08/2011; 349 dias, para o plantio de 30/09/2010 a 14/09/2011; e, 381 dias, para os plantios de 29/08/2010 a 14/09/2011 e 14/09/2010 a 30/09/2011.

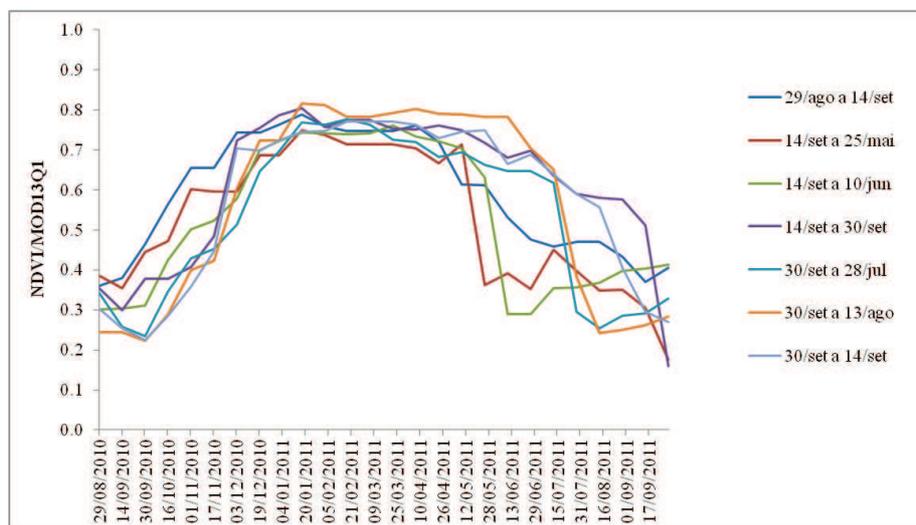


Figura 22 Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (29/08/2010 a 14/09/2011, 14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 10/06/2011, 14/09/2010 a 30/09/2011, 30/09/2010 a 28/07/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011 e 30/09/2010 a 14/09/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 (Figura 22), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre a duração do ciclo da cultura, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

Na Figura 23 estão representados os perfis temporais de NDVI/MOD13Q1, para a cultura da cana-de-açúcar, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 23 pode ser observado que o plantio e a colheita da cana ocorreram em datas diferentes (29/08/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 28/08/2012, 30/09/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012). Os valores de NDVI/MOD13Q1 foram 0,39, 0,39, 0,39, 0,31, 0,18, 0,38, 0,19 e 0,25, respectivamente, para os plantios

de 29/08/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 28/08/2012, 30/09/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012. O estágio de perfilhamento da cana ocorreu até 17/11/2011 para todos os plantios, apresentando valores médios de NDVI/MOD13Q1 de 0,66, 0,63, 0,70, 0,57, 0,48, 0,63, 0,55 e 0,35, respectivamente, para os plantios de 29/08/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 28/08/2012, 30/09/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012. O estágio de crescimento rápido ocorreu até 01/01/2012 para o plantio de 30/09/2011 a 25/06/2012 e o valor médio de NDVI/MOD13Q1 foi de 0,87. Já para os plantios de 30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 28/08/2012, 30/09/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012, o estágio de crescimento rápido ocorreu até 17/01/2012, apresentando valores médios de NDVI de 0,80, 0,79, 0,62, 0,80 e 0,78, respectivamente. Finalmente, para os plantios de 29/08/2011 a 09/06/2012 e 16/10/2011 a 29/09/2012, o estágio de crescimento rápido ocorreu até 02/02/2012, apresentando valores médios de NDVI/MOD13Q1 de 0,82 e 0,81, respectivamente. O estágio de crescimento lento ocorreu entre meados de abril e meados de junho, dependendo do início da maturação, que ocorreu em 22/04/2012, para o plantio de 30/09/2011 a 08/05/2012; 24/05/2012, para os plantios de 29/08/2011 a 09/06/2012 e 30/09/2011 a 25/06/2012; e, 25/06/2012, para os plantios de 30/09/2011 a 28/08/2012, 30/09/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012. O valor máximo de NDVI/MOD13Q1 atingido foi de 0,87, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 23, pode-se concluir que a duração do ciclo da cana foi de 221 dias, para o plantio de 30/09/2011 a 08/05/2012; 269 dias, para o plantio de 30/09/2011 a

25/06/2012; 285 dias, para o plantio de 29/08/2011 a 09/06/2012; 333 dias, para os plantios de 30/09/2011 a 28/08/2012 e 16/10/2011 a 13/09/2012; 349 dias, para o plantio de 16/10/2011 a 29/09/2012; 366 dias, para o plantio de 16/10/2011 a 16/10/2012; e, 382 dias, para o plantio de 30/09/2011 a 16/10/2012.

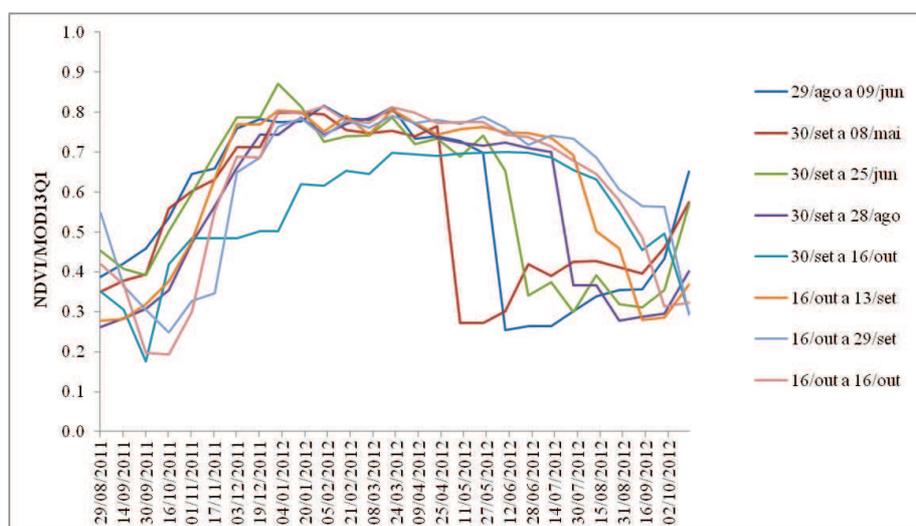


Figura 23 Perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (29/08/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 28/08/2012, 30/09/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de NDVI/MOD13Q1 (Figura 23), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre a duração do ciclo da cultura, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.3.2 EVI do produto MOD13Q1

Na Figura 24 estão representados os perfis temporais de EVI/MOD13Q1, para a cultura da cana-de-açúcar, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 24 pode ser observado que o plantio e a colheita da cana ocorreram em datas diferentes (14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 12/07/2011, 30/09/2010 a 10/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 14/09/2011 e 01/11/2010 a 30/09/2011).

Os valores de EVI/ MOD13Q1 foram 0,19, 0,19, 0,22, 0,17, 0,15, 0,15, 0,14 e 0,24, respectivamente, para os plantios de 14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 12/07/2011, 30/09/2010 a 10/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 14/09/2011 e 01/11/2010 a 30/09/2011. O estágio de perfilhamento da cana ocorreu até 17/11/2010 para todos os plantios, apresentando valores médios de EVI/ MOD13Q1 de 0,41, 0,34, 0,42, 0,37, 0,34, 0,34, 0,31 e 0,33, respectivamente, para os plantios de 14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 12/07/2011, 30/09/2010 a 10/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 14/09/2011 e 01/11/2010 a 30/09/2011. O estágio de crescimento rápido ocorreu até 19/12/2010 para os plantios de 14/09/2010 a 12/07/2011 e 30/09/2010 a 29/08/2011, apresentando valores médios de EVI/ MOD13Q1 de 0,66 e 0,56, respectivamente. Já para os plantios de 14/09/2010 a 25/05/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011 e 01/11/2010 a 30/09/2011 o estágio de crescimento rápido ocorreu até 17/01/2011, apresentando valores médios de EVI de 0,49, 0,60 e 0,56, respectivamente. Finalmente, para os plantios de 14/09/2010 a 26/06/2011, 30/09/2010 a 10/06/2011 e 30/09/2010 a 14/09/2011 o estágio de crescimento rápido ocorreu até 02/02/2011, apresentando valores médios de EVI/ MOD13Q1 de 0,58, 0,52 e

0,59, respectivamente. O estágio de crescimento lento ocorreu entre meados de março e meados de maio, dependendo do início da maturação, que ocorreu em 07/04/2011, para o plantio de 14/09/2010 a 12/07/2011; 09/05/2011, para os plantios de 14/09/2010 a 25/05/2011 e 30/09/2010 a 10/06/2011; 25/05/2011, para os plantios de 14/09/2010 a 26/07/2011, 30/09/2010 a 29/08/2011 e 01/11/2010 a 30/09/2011; e, 10/06/2011, para os plantios de 30/09/2010 a 13/08/2011 e 30/09/2010 a 14/09/2011. O valor máximo de EVI/ MOD13Q1 atingido foi de 0,66, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI/ MOD13Q1, ainda sobre a Figura 24, pode-se concluir que a duração do ciclo da cana foi de 253 dias, para os plantios de 14/09/2010 a 25/05/2011 e 30/09/2010 a 10/06/2011; 285 dias, para o plantio de 14/09/2010 a 26/06/2011; 301 dias, para o plantio de 14/09/2010 a 12/07/2011; 317 dias, para o plantio de 30/09/2010 a 13/08/2011; 333 dias, para os plantios de 30/09/2010 a 29/08/2011 e 01/11/2010 a 30/09/2011; e, 349 dias, para o plantio de 30/09/2010 a 14/09/2011.

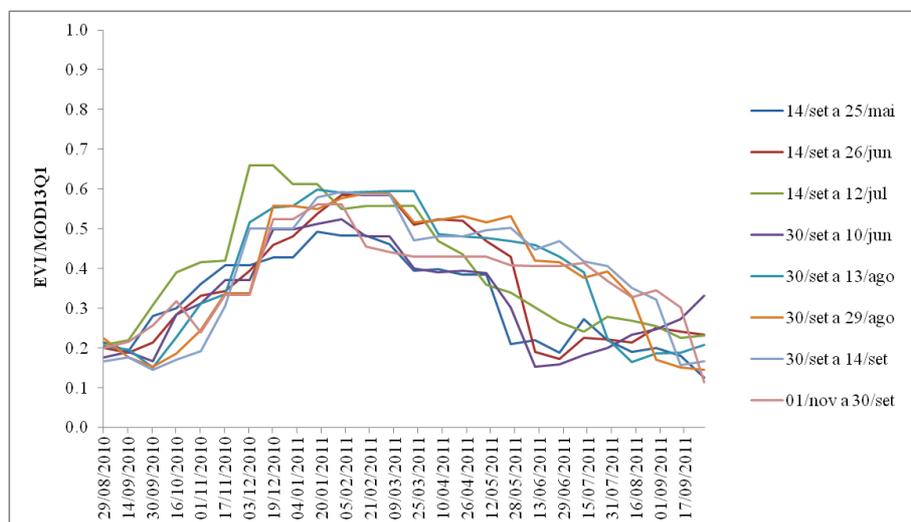


Figura 24 Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (14/09/2010 a 25/05/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 12/07/2011, 30/09/2010 a 10/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 14/09/2011 e 01/11/2010 a 30/09/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de EVI/MOD13Q1 (Figura 24), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre a duração do ciclo da cultura, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

Na Figura 25 estão representados os perfis temporais de EVI/MOD13Q1, para a cultura da cana-de-açúcar, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 25 pode ser observado que o plantio e a colheita da cana ocorreram em datas diferentes (30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 16/11/2012, 16/10/2011 a 28/0/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012). Os valores de EVI/MOD13Q1 foram 0,23, 0,33, 0,24, 0,13, 0,24, 0,25, 0,21 e 0,12, respectivamente, para os plantios de 30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012,

30/09/2011 a 16/11/2012, 16/10/2011 a 28/08/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012. O estágio de perfilhamento da cana ocorreu até 01/11/2011, para os plantios de 30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 16/11/2012 e 16/10/2011 a 13/09/2012, apresentando valores médios de EVI/MOD13Q1 de 0,39, 0,36, 0,33 e 0,40, respectivamente. Já para os plantios de 30/09/2011 a 09/06/2012, 16/10/2011 a 28/08/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012 o estágio de perfilhamento ocorreu até 17/11/2011, apresentando valores médios de EVI/MOD13Q1 de 0,47, 0,38, 0,33 e 0,18. O estágio de crescimento rápido ocorreu até 01/01/2012, para os plantios de 16/10/2011 a 28/08/2012 e 16/10/2011 a 13/09/2012, apresentando valores médios de EVI/MOD13Q1 de 0,61 e 0,57, respectivamente. Já para os plantios de 30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 16/11/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012 o estágio de crescimento rápido ocorreu até 17/01/2012, apresentando valores médios de EVI/MOD13Q1 de 0,62, 0,68, 0,56, 0,37, 0,56 e 0,51, respectivamente. O estágio de crescimento lento ocorreu entre meados de abril e meados de maio, dependendo do início da maturação, que ocorreu em 22/04/2012, para o plantio de 30/09/2011 a 08/05/2012; 08/05/2012, para os plantios de 30/09/2011 a 09/06/2012 e 30/09/2011 a 25/06/2012; e, 24/05/2012, para os plantios de 30/09/2011 a 16/11/2012, 16/10/2011 a 28/08/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012. O valor máximo de EVI/MOD13Q1 atingido foi de 0,68, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI/MOD13Q1, ainda sobre a Figura 25, pode-se concluir que a duração do ciclo da cana foi de 221 dias, para o plantio de 30/09/2011 a 08/05/2012; 253 dias, para o plantio de 30/09/2011 a 09/06/2012; 269 dias, para o plantio de 30/09/2011 a 25/06/2012; 317 dias, para o plantio de 16/10/2011 a 28/08/2012; 333 dias, para o plantio de 16/10/2011 a 13/09/2012;

349 dias, para o plantio de 16/10/2011 a 29/09/2012; 366 dias, para o plantio de 16/10/2011 a 16/10/2012; e, 413 dias, para o plantio de 30/09/2011 a 16/11/2012.

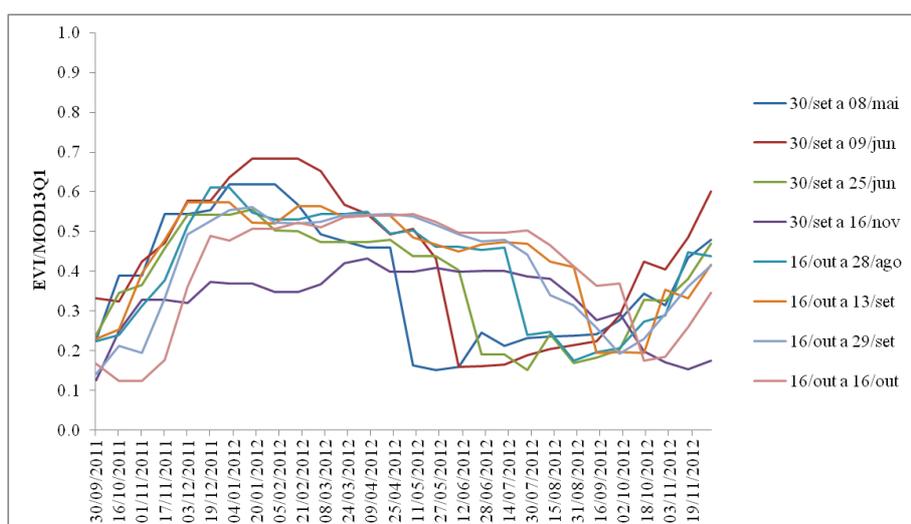


Figura 25 Perfis temporais de EVI/MOD13Q1 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (30/09/2011 a 08/05/2012, 30/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 25/06/2012, 30/09/2011 a 16/11/2012, 16/10/2011 a 28/08/2012, 16/10/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 16/10/2011 a 16/10/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de EVI/MOD13Q1 (Figura 25), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre a duração do ciclo da cultura, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.3.3 EVI2 do Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF)

Na Figura 26 estão representados os perfis temporais de EVI2/LAF, para a cultura da cana-de-açúcar, safra 2010/2011, separados em função da duração

do ciclo da cultura. Na Figura 26 pode ser observado que o plantio e a colheita da cana ocorreram em datas diferentes (29/08/2010 a 17/11/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 26/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 30/09/2011 e 16/10/2010 a 29/08/2011).

Os valores de EVI2/LAF foram 0,20, 0,19, 0,18, 0,19, 0,19, 0,20 e 0,21, respectivamente, para os plantios de 29/08/2010 a 17/11/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 26/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 30/09/2011 e 16/10/2010 a 29/08/2011. O estágio de perfilhamento da cana ocorreu até 17/11/2010, para todos os plantios, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,32, 0,31, 0,34, 0,31, 0,24, 0,29 e 0,28, respectivamente, para os plantios de 29/08/2010 a 17/11/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 26/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 30/09/2011 e 16/10/2010 a 29/08/2011. O estágio de crescimento rápido ocorreu até 19/12/2010, para o plantio de 30/09/2010 a 13/08/2011 e o valor médio de EVI2/LAF foi de 0,58. Já para o plantio de 29/08/2010 a 17/11/2011 o estágio de crescimento rápido ocorreu até 17/01/2011 e o valor médio de EVI2/LAF foi de 0,59. Finalmente, para os plantios de 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 26/06/2011, 30/09/2010 a 30/09/2011 e 16/1/2010 a 29/08/2011, o estágio de crescimento rápido ocorreu até 02/02/2011, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,54, 0,60, 0,53, 0,58 e 0,55, respectivamente. O estágio de crescimento lento ocorreu entre meados de março e início de abril, dependendo do início da maturação, que ocorreu em 07/04/2011, para os plantios de 29/08/2010 a 17/11/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 30/09/2010 a 26/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 30/09/2010 e 16/10/2010 a 29/08/2011; e, 23/04/2011 para o plantio de 14/09/2010 a 29/08/2011. O valor máximo de EVI2/LAF atingido foi de 0,61, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI2/LAF, ainda sobre a Figura 26, pode-se concluir que a duração do ciclo da cana foi de 269 dias, para o plantio de 30/09/2010 a 26/06/2011; 285 dias, para o plantio de 14/09/2010 a 26/06/2011; 317 dias, para os plantios de 30/09/2010 a 13/08/2011 e 16/10/2010 a 29/08/2011; 349 dias, para o plantio de 14/09/2010 a 29/08/2011; 365 dias, para o plantio de 30/09/2010 a 30/09/2011; e, 445 dias, para o plantio de 29/08/2010 a 17/11/2011.

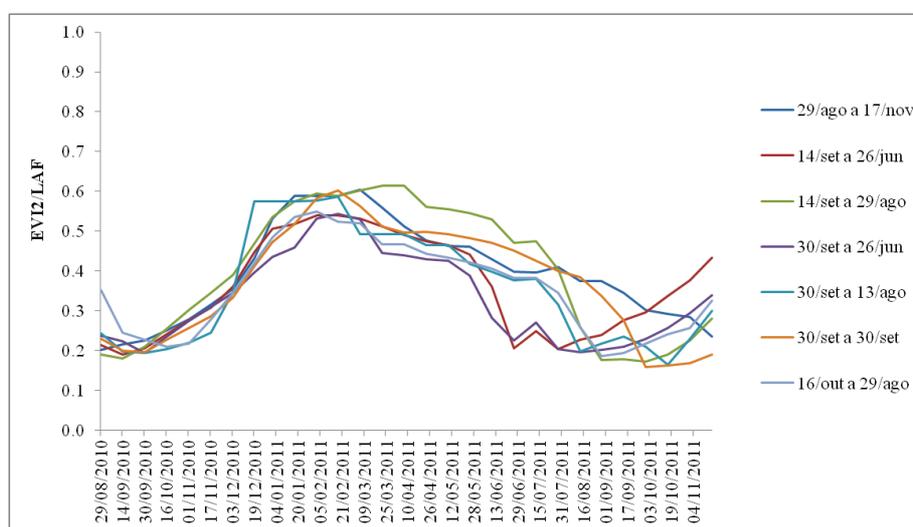


Figura 26 Perfis temporais de EVI2/LAF da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (29/08/2010 a 17/11/2011, 14/09/2010 a 26/06/2011, 14/09/2010 a 29/08/2011, 30/09/2010 a 26/06/2011, 30/09/2010 a 13/08/2011, 30/09/2010 a 30/09/2011 e 16/10/2010 a 29/08/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de EVI2/LAF (Figura 26), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre a duração do ciclo da cultura, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

Na Figura 27 estão representados os perfis temporais de EVI2/LAF, para a cultura da cana-de-açúcar, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 27 pode ser observado que o plantio e a colheita da cana ocorreram em datas diferentes (29/08/2011 a 11/07/2012, 29/08/2011 a 16/11/2012, 14/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012, 16/10/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 16/11/2012 e 17/11/2011 a 16/10/2012).

Os valores de EVI2/LAF foram 0,24, 0,19, 0,21, 0,20, 0,16, 0,15, 0,18 e 0,23, respectivamente, para os plantios de 29/08/2011 a 11/07/2012, 29/08/2011 a 16/11/2012, 14/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012, 16/10/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 16/11/2012 e 17/11/2011 a 16/10/2012. O estágio de perfilhamento da cana ocorreu até 01/11/2011, para os plantios de 29/08/2011 a 11/07/2012, 29/08/2011 a 16/11/2012, 14/09/2011 a 09/06/2012 e 30/09/2011 a 13/09/2012, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,38, 0,26, 0,31 e 0,24, respectivamente. Para o plantio de 16/10/2011 a 29/09/2012, o estágio de perfilhamento ocorreu até 17/11/2011 e o valor médio de EVI2/LAF foi de 0,30. Já para os plantios de 16/10/2011 a 16/10/2012 e 16/10/2011 a 16/11/2012, o perfilhamento ocorreu até 03/12/2011, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,31 e 0,20, respectivamente. Finalmente, para o plantio de 17/11/2011 a 16/10/2012 o perfilhamento ocorreu até 19/12/2011 e o valor médio de EVI2/LAF foi de 0,42. O estágio de crescimento rápido ocorreu até 19/12/2011, para o plantio de 29/08/2011 a 11/07/2012 e o valor médio de EVI2/LAF foi de 0,56. Já para os plantios de 29/08/2011 a 16/11/2012, 14/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012 e 17/11/2011 a 16/10/2012, o estágio de crescimento rápido ocorreu até 01/01/2012, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,43, 0,51, 0,52, 0,59 e 0,53, respectivamente. Finalmente, para os plantios de 16/10/2011 a 16/10/2012 e 16/10/2011 a 16/11/2012, o estágio de

crescimento rápido ocorreu até 02/02/2012, apresentando valores médios de EVI2/LAF de 0,50 e 0,49, respectivamente. O estágio de crescimento lento ocorreu entre meados de março e meados de junho, dependendo do início da maturação, que ocorreu em 06/04/2012, para o plantio de 14/09/2011 a 09/06/2012; 08/05/2012, para o plantio de 29/08/2011 a 11/07/2012; 24/05/2012, para o plantio de 16/10/2011 a 29/09/2012; 09/06/2012, para os plantios de 29/08/2011 a 16/11/2012, 30/09/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 16/10/2012 e 16/10/2011 a 16/11/2012; e, 25/06/2012, para o plantio de 17/11/2011 a 16/10/2012. O valor máximo de EVI2/LAF atingido foi de 0,60, independente do ciclo.

Com base na análise de EVI2/LAF, ainda sobre a Figura 27, pode-se concluir que a duração do ciclo da cana foi de 269 dias, para o plantio de 14/09/2011 a 09/06/2012; 317 dias, para o plantio de 29/08/2011 a 11/07/2012; 334 dias, para o plantio de 17/11/2011 a 16/10/2012; 349 dias, para os plantios de 30/09/2011 a 13/09/2012 e 16/10/2011 a 29/09/2012; 366 dias, para o plantio de 16/10/2011 a 16/10/2012; 397 dias, para o plantio de 16/10/2011 a 16/11/2012; e, 445 dias, para o plantio de 29/08/2011 a 16/11/2012.

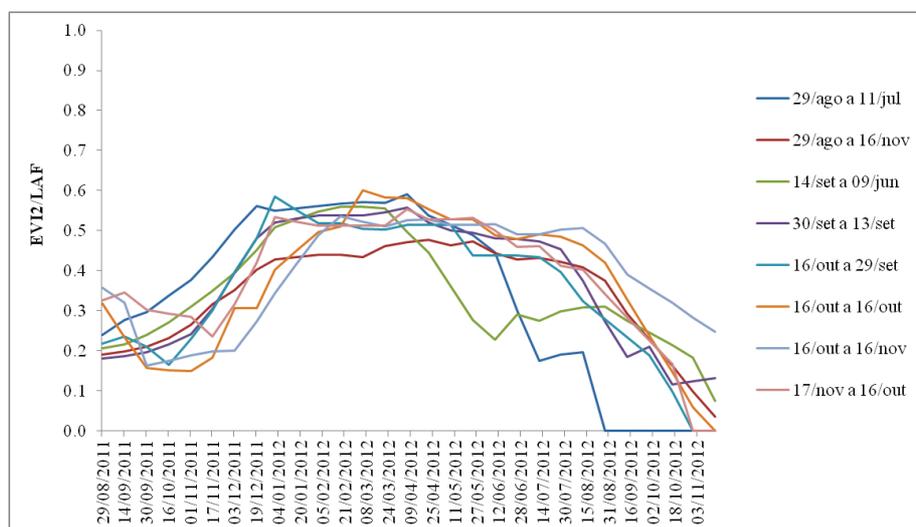


Figura 27 Perfis temporais de EVI2/LAF da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (29/08/2011 a 11/07/2012, 29/08/2011 a 16/11/2012, 14/09/2011 a 09/06/2012, 30/09/2011 a 13/09/2012, 16/10/2011 a 29/09/2012, 16/10/2011 a 16/10/2012, 16/10/2011 a 16/11/2012 e 17/11/2011 a 16/10/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de EVI2/LAF (Figura 27), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre a duração do ciclo da cultura, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.3.4 NDVI do produto VGT-S10

Na Figura 28 estão representados os perfis temporais de NDVI/VGT-S10, para a cultura da cana-de-açúcar, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 28 pode ser observado que o plantio e a colheita ocorreram em datas diferentes (21/09/2010 a 01/06/2011, 21/09/2010 a 01/07/2011, 21/09/2010 a 01/08/2011 e 21/09/2010 a 01/10/2011).

Os valores de NDVI/VGT-S10 foram 0,37, 0,31, 0,30 e 0,26, respectivamente, para os plantios de 21/09/2010 a 01/06/2011, 21/09/2010 a 01/07/2011, 21/09/2010 a 01/08/2011 e 21/09/2010 a 01/10/2011. O estágio de perfilhamento da cana ocorreu até 11/11/2010 para os plantios de 21/09/2010 a 01/06/2011, 21/09/2010 a 01/08/2011 e 21/09/2010 a 01/10/2011, apresentando valores médios de NDVI/VGT-S10 de 0,59, 0,48 e 0,48, respectivamente. O estágio de crescimento rápido ocorreu até 21/01/2011, para os plantios de 21/09/2010 a 01/06/2011, 21/09/2010 a 01/07/2011 e 21/09/2010 a 01/08/2011, apresentando valores médios de NDVI/VGT-S10 de 0,81, 0,76 e 0,80. Já para o plantio de 21/09/2010 a 01/10/2011 o estágio de crescimento rápido ocorreu até 01/02/2011 e o valor médio de NDVI/VGT-S10 foi de 0,80. O estágio de crescimento lento ocorreu entre meados de abril e meados de maio, dependendo do início da maturação, que ocorreu em 21/04/2011, para os plantios de 21/09/2010 a 01/06/2011 e 21/09/2010 a 01/07/2011; e, 21/05/2011, para os plantios de 21/09/2010 a 01/08/2011 e 21/09/2010 a 01/10/2011. O valor máximo de NDVI/VGT-S10 atingido foi de 0,84, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/VGT-S10, ainda sobre a Figura 28, pode-se concluir que a duração do ciclo da cana foi de 253, para o plantio de 21/09/2010 a 01/06/2011; 283 dias, para o plantio de 21/09/2010 a 01/07/2011; 314 dias, para o plantio de 21/09/2010 a 01/08/2011; e, 375 dias, para o plantio de 21/09/2010 a 01/10/2011.

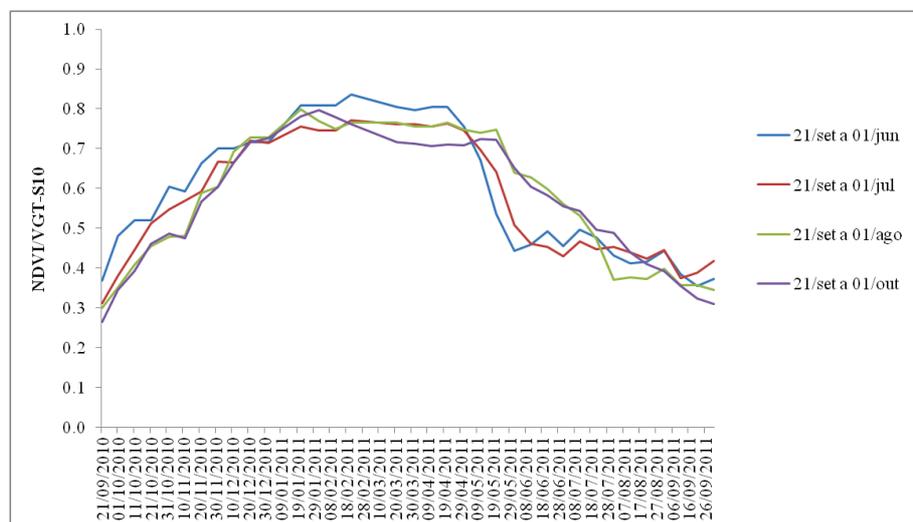


Figura 28 Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (21/09/2010 a 01/06/2011, 21/09/2010 a 01/07/2011, 21/09/2010 a 01/08/2011 e 21/09/2010 a 01/10/2011), safra 2010/2011

Na análise dos perfis temporais de NDVI/VGT-S10 (Figura 28), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre a duração do ciclo da cultura, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

Na Figura 29 estão representados os perfis temporais de NDVI/VGT-S10, para a cultura da cana-de-açúcar, safra 2011/2012, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 29 pode ser observado que o plantio e a colheita ocorreram em datas diferentes (21/09/2011 a 01/11/2012, 01/10/2011 a 21/07/2012, 01/10/2011 a 11/09/2012, 01/10/2011 a 21/09/2012 e 11/10/2011 a 11/09/2012).

Os valores de NDVI/VGT-S10 foram 0,36, 0,45, 0,33, 0,28 e 0,38, respectivamente, para os plantios de 21/09/2011 a 01/11/2012, 01/10/2011 a 21/07/2012, 01/10/2011 a 11/09/2012, 01/10/2011 a 21/09/2012 e 11/10/2011 a

11/09/2012. O estágio de perfilhamento ocorreu até 11/11/2011 para os plantios de 01/10/2011 a 21/09/2012 e 11/10/2011 a 11/09/2012, apresentando valores médios de NDVI/VGT-S10 de 0,48 e 0,52, respectivamente. Já para os plantios de 01/10/2011 a 21/07/2012 e 01/10/2011 a 11/09/2012, o estágio de perfilhamento ocorreu até 21/11/2011, apresentando valores médios de NDVI/VGT-S10 de 0,68 e 0,60, respectivamente. Finalmente, para o plantio de 21/09/2011 a 01/11/2012, o estágio de perfilhamento ocorreu até 11/12/2011 e o valor médio de NDVI/VGT-S10 foi de 0,54. O estágio de crescimento rápido ocorreu até 11/12/2011, para o plantio de 11/10/2011 a 11/09/2012; 01/01/2012, para o plantio de 01/10/2011 a 21/07/2012; 11/01/2012, para o plantio de 01/10/2011 a 21/09/2012; 01/02/2012, para o plantio de 01/10/2011 a 11/09/2012; e, 21/02/2012, para o plantio de 21/09/2011 a 01/11/2012. O estágio de crescimento lento ocorreu entre meados de maio e meados de julho, dependendo do início da maturação, que ocorreu em 21/05/2012, para os plantios de 01/10/2011 a 21/07/2012, 01/10/2011 a 11/09/2011 e 11/10/2011 a 11/09/2012; 21/06/2012, para o plantio de 01/10/2011 a 21/09/2012; e, 01/08/2012, para o plantio de 21/09/2011 a 01/11/2012. O valor máximo de NDVI/VGT-S10 atingido foi de 0,84, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/VGT-S10, ainda sobre a Figura 29, pode-se concluir que a duração do ciclo da cana foi de 284 dias, para o plantio de 01/10/2011 a 21/07/2012; 336 dias, para o plantio de 11/10/2011 a 11/09/2012; 346 dias, para o plantio de 01/10/2011 a 11/09/2012; 356 dias, para o plantio de 01/10/2011 a 21/09/2012; e, 407 dias, para o plantio de 21/09/2011 a 01/11/2012.

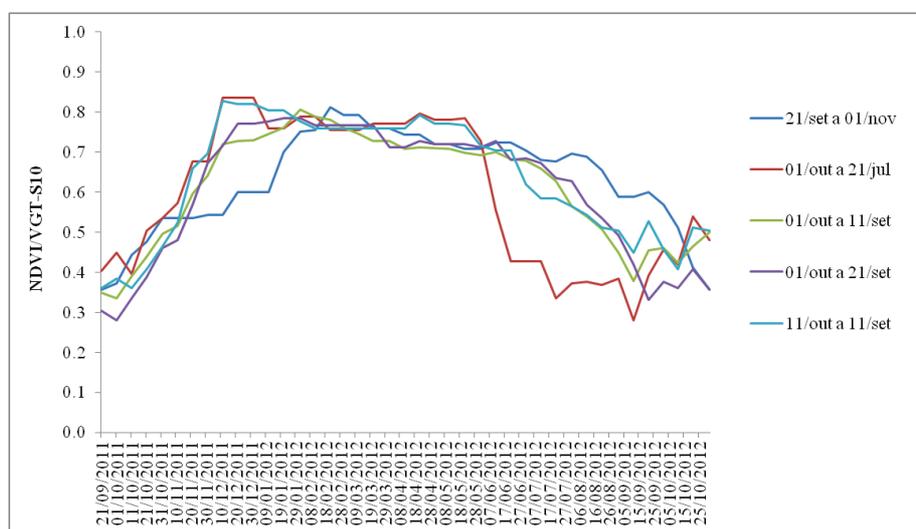


Figura 29 Perfis temporais de NDVI/VGT-S10 da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (21/09/2011 a 01/11/2012, 01/10/2011 a 21/07/2012, 01/10/2011 a 11/09/2012, 01/10/2011 a 21/09/2012 e 11/10/2011 a 11/09/2012), safra 2011/2012

Na análise dos perfis temporais de NDVI/VGT-S10 (Figura 29), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre a duração do ciclo da cultura, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.3.5 NDVI do produto MOD09GQ

Na Figura 30 estão representados os perfis temporais de NDVI/MOD09GQ, para a cultura da cana-de-açúcar, safra 2010/2011, separados em função da duração do ciclo da cultura. Na Figura 30 pode ser observado que o plantio e a colheita ocorreram em datas diferentes (26/09/2010 a 08/06/2011, 26/09/2010 a 27/08/2011, 26/09/2010 a 07/10/2011, 01/10/2010 a 24/06/2011, 05/10/2010 a 05/08/2011, 05/10/2010 a 07/09/2011 e 06/10/2010 a 24/09/2011).

Os valores de NDVI/MOD09GQ foram 0,24, 0,24, 0,25, 0,18, 0,24, 0,22 e 0,31, respectivamente, para os plantios de 26/09/2010 a 08/06/2011, 26/09/2010 a 27/08/2011, 26/09/2010 a 07/10/2011, 01/10/2010 a 24/06/2011, 05/10/2010 a 05/08/2011, 05/10/2011 a 07/09/2011 e 06/10/2010 a 24/09/2011. O estágio de perfilhamento ocorreu até 03/11/2010, para o plantio de 01/10/2010 a 24/06/2011 e o valor médio de NDVI/MOD09GQ foi de 0,63. Já para os plantios de 26/09/2010 a 08/06/2011, 26/09/2010 a 27/08/2011, 26/09/2010 a 07/10/2011, 05/10/2010 a 05/08/2011, 05/10/2010 a 07/09/2011 e 06/10/2010 a 24/09/2011, o estágio de perfilhamento ocorreu até 08/11/2010, apresentando valores médios de NDVI/MOD09GQ de 0,68 e 0,60, respectivamente. Finalmente, para o plantio de 21/09/2011 a 01/11/2012, o estágio de perfilhamento ocorreu até 11/12/2011 e o valor médio de NDVI/MOD09GQ foi de 0,54. O estágio de crescimento rápido ocorreu até 11/12/2011, para o plantio de 11/10/2011 a 11/09/2012; 01/01/2012, para o plantio de 01/10/2011 a 21/07/2012; 11/01/2012, para o plantio de 01/10/2011 a 21/09/2012; 01/02/2012, para o plantio de 01/10/2011 a 11/09/2012; e, 21/02/2012, para o plantio de 21/09/2011 a 01/11/2012. O estágio de crescimento lento ocorreu entre meados de maio e meados de julho, dependendo do início da maturação, que ocorreu em 21/05/2012, para os plantios de 01/10/2011 a 21/07/2012, 01/10/2011 a 11/09/2011 e 11/10/2011 a 11/09/2012; 21/06/2012, para o plantio de 01/10/2011 a 21/09/2012; e, 01/08/2012, para o plantio de 21/09/2011 a 01/11/2012. O valor máximo de NDVI/MOD09GQ atingido foi de 0,89, independente do ciclo.

Com base na análise de NDVI/MOD09GQ, ainda sobre a Figura 30, pode-se concluir que a duração do ciclo da cana foi de 255 dias, para o plantio de 26/09/2010 a 08/06/2011; 266 dias, para o plantio de 01/10/2010 a 24/06/2011; 304 dias, para o plantio de 05/10/2010 a 05/08/2011; 335 dias, para o plantio de 26/09/2010 a 27/08/2011; 337 dias, para o plantio de 05/10/2010 a

07/09/2011; 353 dias, para os plantios de 06/10/2010 a 24/09/2011; e 376 dias, para o plantio de 26/09/2010 a 07/10/2011.

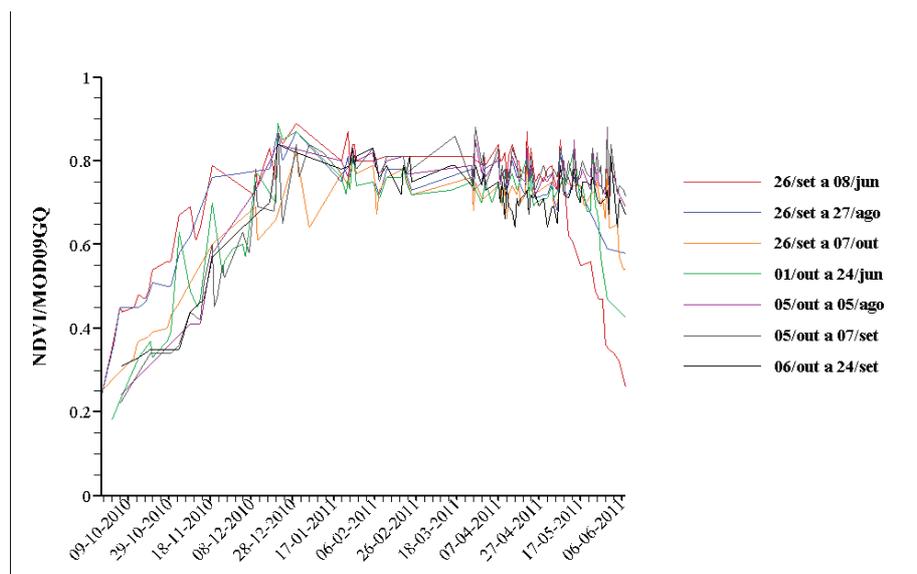


Figura 30 Perfis temporais de NDVI/MOD09GQ da cana-de-açúcar em função da duração do ciclo (26/09/2010 a 08/06/2011, 26/09/2010 a 27/08/2011, 26/09/2010 a 07/10/2011, 01/10/2010 a 24/06/2011, 05/10/2010 a 05/08/2011, 05/10/2010 a 07/09/2011 e 06/10/2010 a 24/09/2011), safra 2010/2011.

Na análise dos perfis temporais de NDVI/MOD09GQ (Figura 30), verificou-se que existe pouca variação entre eles, demonstrando que, mesmo com a diferença entre a duração do ciclo da cultura, os perfis temporais apresentaram um padrão semelhante.

5.4 Análise dos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada a partir dos índices de vegetação para comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO

A análise dos estádios fenológicos foi feita para a cultura de soja irrigada, considerando dos índices de vegetação NDVI/MOD13Q1, NDVI/VGT-S10 e NDVI/MOD09GQ. Com base nessa análise, foi possível estabelecer os valores tabelados de K_c FAO, para cada estágio da cultura, por safra, e, posteriormente, compará-los aos valores calculados de K_{cNDVI} (equação 5).

5.4.1 NDVI/MOD13Q1

Na Tabela 14 estão associados os valores de K_c FAO aos respectivos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada baseados na análise do perfil temporal para o plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011 (Figura 4).

Tabela 14 Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011

	Estádios	Início	Final	K_c FAO
I	Plantio	16/out		0.3
II	10 a 80%	01/nov	17/nov	0.7
III	80 a 100%	03/dez	19/dez	1
IV	Maturação	01/jan	17/jan	0.7
V	Colheita		02/fev	0.4

Na Tabela 15 estão representados os valores de K_{cNDVI} , calculados com base na equação 5, e os valores de K_c FAO, em função do plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011.

Tabela 15 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
16/10/2010	0.26	0.3
01/11/2010	0.68	0.7
17/11/2010	1.04	0.7
03/12/2010	1.07	1
19/12/2010	1.18	1
01/01/2011	1.14	0.7
17/01/2011	0.93	0.7
02/02/2011	0.20	0.4

Na Figura 31 estão representados os perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011, construídos baseados nos dados da Tabela 15. Ainda, na Figura 31, foi observado que os valores referentes aos estádios II e IV não são constantes e, por isso, foram excluídos, obtendo um melhor ajuste dos dados (Figura 32).

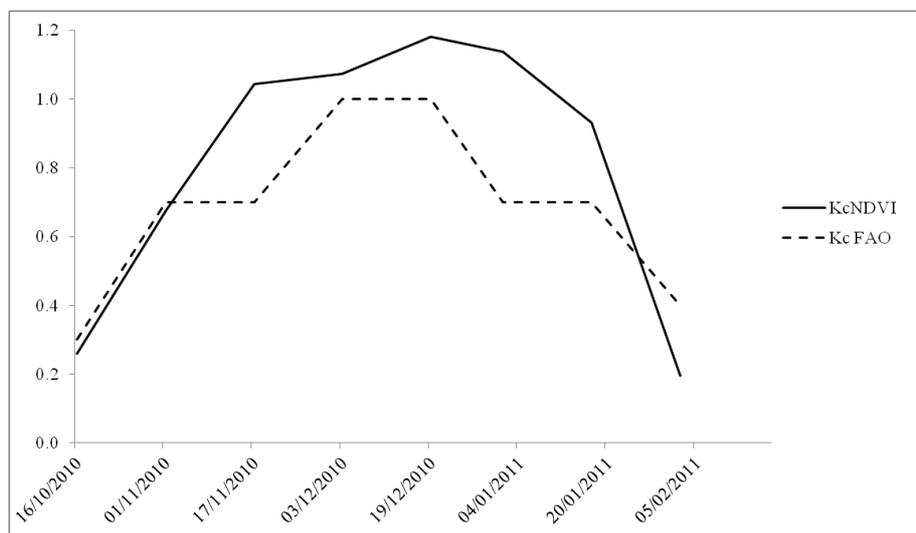


Figura 31 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011

Na Tabela 16 estão representados os valores de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao melhor ajuste dos dados, para o plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011.

Tabela 16 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
16/10/2010	0.26	0.3
01/11/2010	0.68	0.7
03/12/2010	1.07	1
19/12/2010	1.18	1
17/01/2011	0.93	0.7
02/02/2011	0.20	0.4

Na comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO (Figura 32), verificou-se que eles apresentaram um padrão semelhante, porém os valores de K_{cNDVI} foram maiores que os valores de K_c FAO.

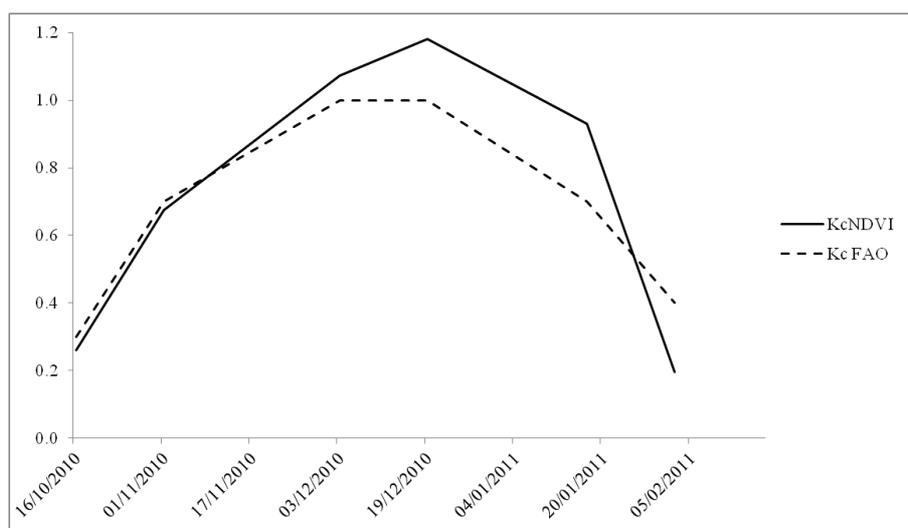


Figura 32 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 02/02/2011 de soja irrigada

Na Tabela 17 estão associados os valores de K_c FAO aos respectivos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada baseados na análise do perfil temporal para o plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011 (Figura 4).

Tabela 17 Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011

	Estádios	Início	Final	K_c FAO
I	Plantio	16/out		0.3
II	10 a 80%	01/nov	17/nov	0.7
III	80 a 100%	03/dez	01/jan	1
IV	Maturação	17/jan	02/fev	0.7
V	Colheita		18/fev	0.4

Na Tabela 18 estão representados os valores de K_{cNDVI} , calculados com base na equação 5, e os valores de K_c FAO, em função do plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011.

Tabela 18 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
16/10/2010	0.17	0.3
01/11/2010	0.48	0.7
17/11/2010	0.96	0.7
03/12/2010	1.09	1.0
19/12/2010	1.18	1.0
01/01/2011	1.11	1.0
17/01/2011	1.12	0.7
02/02/2011	0.63	0.7
18/02/2011	0.26	0.4

Na Figura 33 estão representados os perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011, construídos baseados nos dados da Tabela 18. Ainda, na Figura 33, foi observado que os valores referentes aos estádios II e IV não são constantes e, por isso, foram excluídos, obtendo um melhor ajuste dos dados (Figura 34).

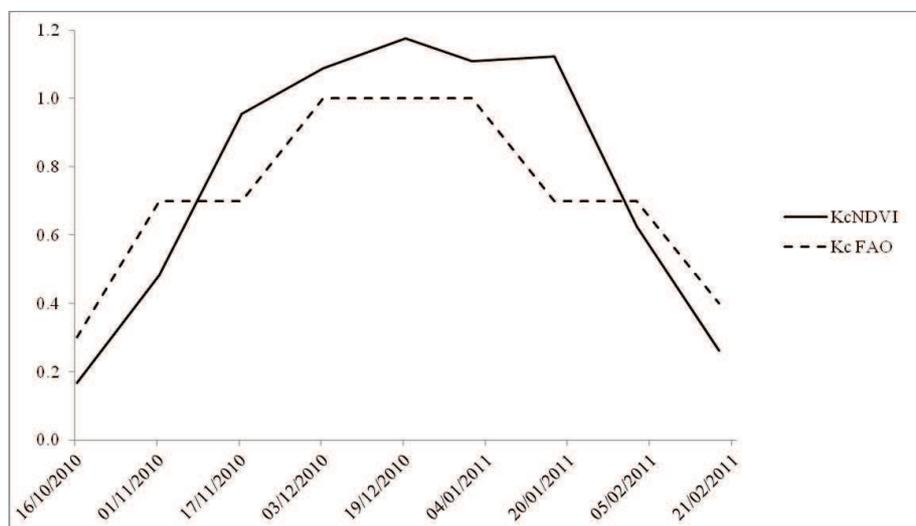


Figura 33 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011

Na Tabela 19 estão representados os valores de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011.

Tabela 19 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
16/10/2010	0.17	0.3
01/11/2010	0.48	0.7
03/12/2010	1.09	1.0
19/12/2010	1.18	1.0
01/01/2011	1.11	1.0
02/02/2011	0.63	0.7
18/02/2011	0.26	0.4

Na comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO (Figura 34), verificou-se que eles apresentaram um padrão semelhante, porém o estágio III apresentou uma maior duração considerando o perfil de K_c FAO.

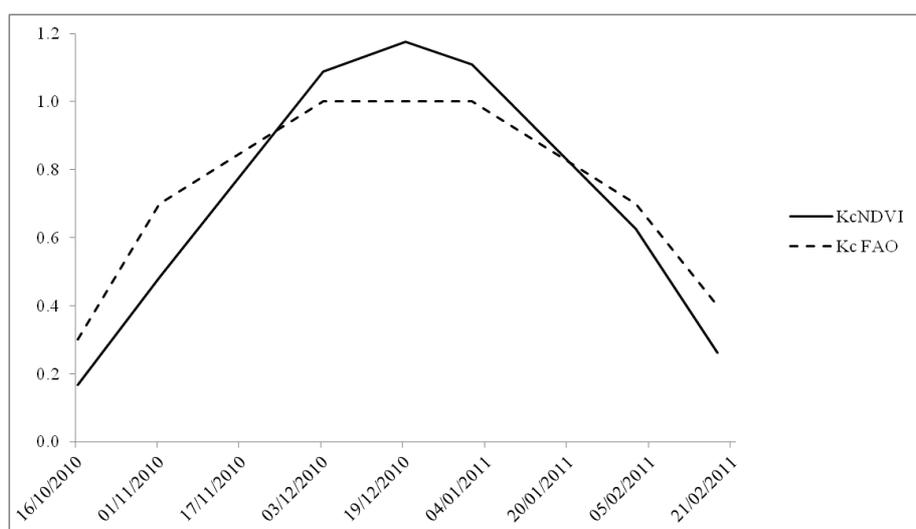


Figura 34 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para safra de 16/10/2010 a 18/02/2011

Na Tabela 20 estão associados os valores de K_c FAO aos respectivos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada pela análise do perfil temporal para o plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011 (Figura 4).

Tabela 20 Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011

	Estádios	Início	Final	K_c FAO
I	Plantio	16/out		0.3
II	10 a 80%	01/nov	17/nov	0.7
III	80 a 100%	03/dez	01/jan	1
IV	Maturação	17/jan	18/fev	0.7
V	Colheita		06/mar	0.4

Na Tabela 21 estão representados os valores de K_{cNDVI} , calculados pela equação 5, e os valores de K_c FAO, em função do plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011.

Tabela 21 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
16/10/2010	0.09	0.3
01/11/2010	0.24	0.7
17/11/2010	0.77	0.7
03/12/2010	1.07	1
19/12/2010	1.18	1
01/01/2011	1.14	1
17/01/2011	1.15	0.7
02/02/2011	0.67	0.7
18/02/2011	0.28	0.7
06/03/2011	0.09	0.4

Na Figura 35 estão representados os perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011, construídos baseados em dados da Tabela 21. Ainda, na Figura 35, foi observado que os valores referentes aos estádios II e IV não são constantes e, por isso, foram excluídos, obtendo um melhor ajuste dos dados (Figura 36).

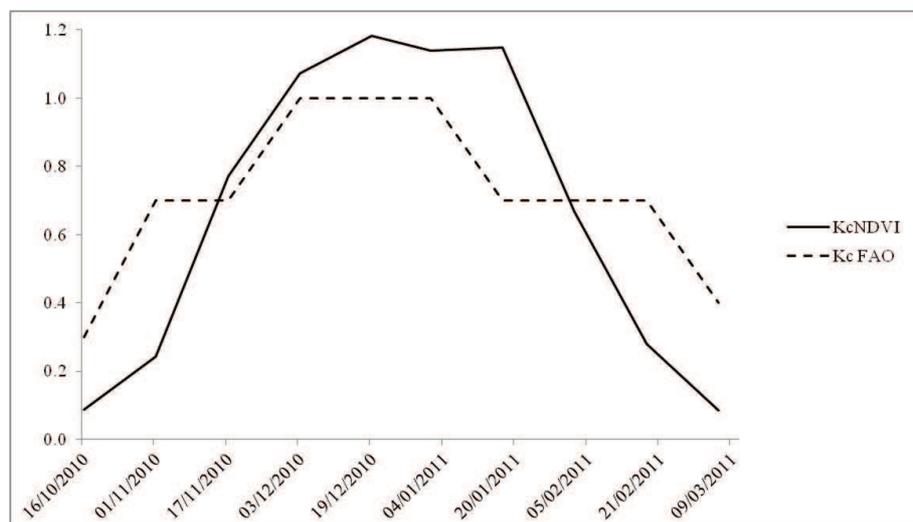


Figura 35 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011

Na Tabela 22 estão representados os valores de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 18/02/2011.

Tabela 22 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
16/10/2010	0.09	0.3
01/11/2010	0.24	0.7
03/12/2010	1.07	1
19/12/2010	1.18	1
01/01/2011	1.14	1
02/02/2011	0.67	0.7
18/02/2011	0.28	0.7
06/03/2011	0.09	0.4

Na comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO (Figura 36), verificou-se que eles apresentaram um padrão semelhante com uma diferença na duração do estágio da maturação, que foi maior considerando o perfil de K_c FAO.

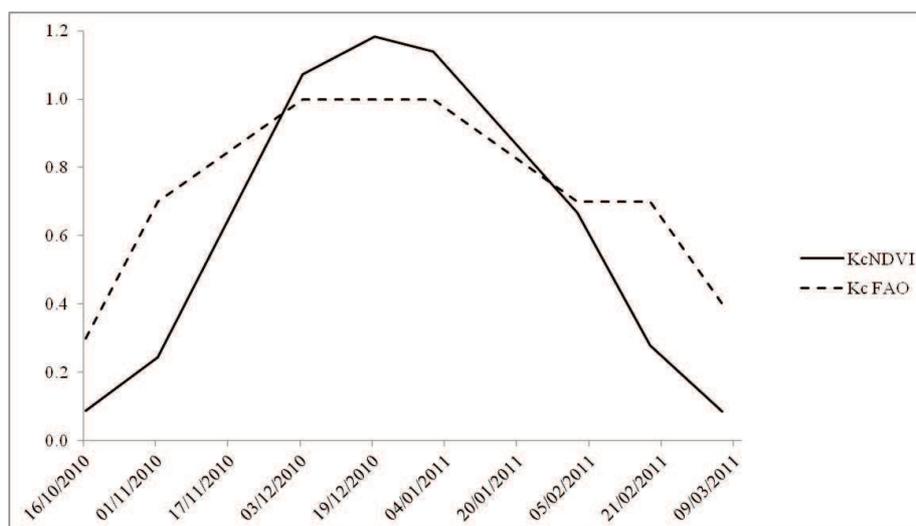


Figura 36 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 16/10/2010 a 06/03/2011

5.4.2 NDVI/VGT-S10

Na Tabela 23 estão associados os valores de K_c FAO aos respectivos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada com base na análise do perfil temporal para o plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011 (Figura 13).

Tabela 23 Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011

	Estádios	Início	Final	K_c FAO
I	Plantio	11/out		0.3
II	10 a 80%	01/nov	21/nov	0.7
III	80 a 100%	01/dez	21/dez	1
IV	Maturação	01/jan	21/jan	0.7
V	Colheita		01/fev	0.4

Na Tabela 24 estão representados os valores de K_{cNDVI} , calculados com base na equação 5, e os valores de K_c FAO, em função do plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011.

Tabela 24 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
11/10/2010	0.27	0.3
01/11/2010	0.47	0.7
11/11/2010	0.67	0.7
21/11/2010	0.90	0.7
01/12/2010	0.93	1.0
11/12/2010	1.06	1.0
21/12/2010	1.04	1.0
01/01/2011	0.92	0.7
21/01/2011	0.92	0.7
01/02/2011	0.48	0.4

Na Figura 37 estão representados os perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011, construídos baseados em dados da Tabela 24. Ainda, na Figura 37, foi observado que os valores referentes aos estádios II e IV não são constantes e, por isso, foram excluídos, obtendo um melhor ajuste dos dados (Figura 38).

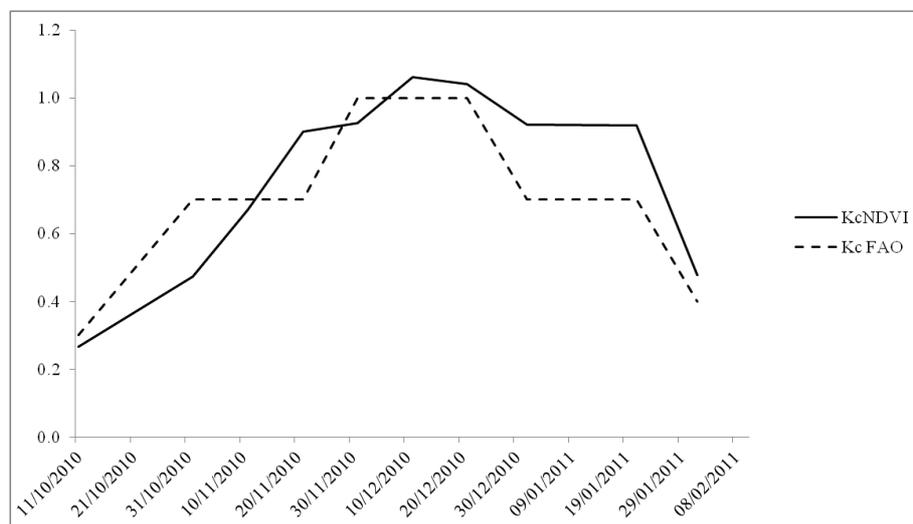


Figura 37 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011

Na Tabela 25 estão representados os valores de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011.

Tabela 25 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
11/10/2010	0.27	0.3
01/11/2010	0.47	0.7
01/12/2010	0.93	1.0
11/12/2010	1.06	1.0
21/12/2010	1.04	1.0
21/01/2011	0.92	0.7
01/02/2011	0.48	0.4

Na comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO (Figura 38), verificou-se que eles apresentaram um padrão semelhante, entretanto o estágio III apresentou uma maior duração no perfil de K_{cNDVI} em relação ao perfil de K_c FAO.

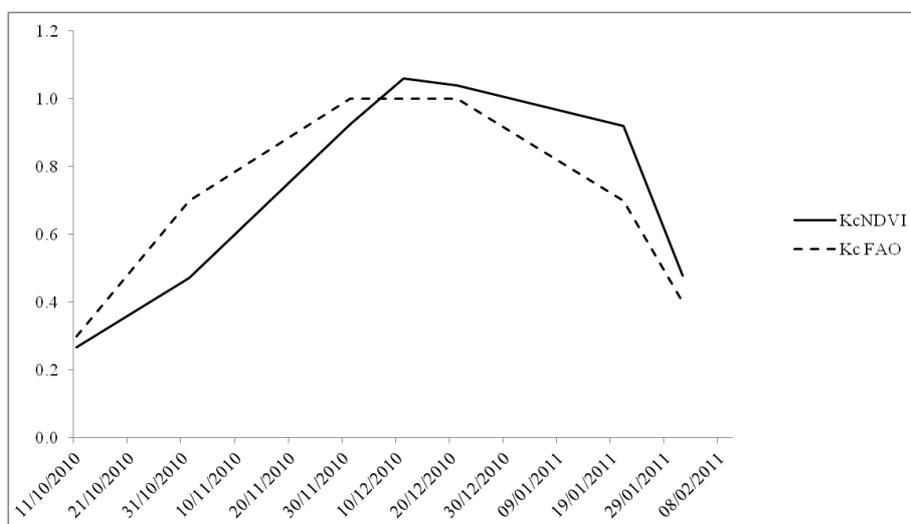


Figura 38 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/10/2010 a 01/02/2011

Na Tabela 26 estão associados os valores de K_c FAO aos respectivos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada com base na análise do perfil temporal para o plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011 (Figura 13).

Tabela 26 Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011

	Estádios	Início	Final	K_c FAO
I	Plantio	01/nov		0.3
II	10 a 80%	11/nov	21/nov	0.7
III	80 a 100%	01/dez	01/jan	1
IV	Maturação	21/jan	11/fev	0.7
V	Colheita		21/fev	0.4

Na Tabela 27 estão representados os valores de K_{cNDVI} , calculados com base na equação 5, e os valores de K_c FAO, em função do plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011.

Tabela 27 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
01/11/2010	0.41	0.3
11/11/2010	0.48	0.7
21/11/2010	0.74	0.7
01/12/2010	0.92	1.0
11/12/2010	1.06	1.0
21/12/2010	1.08	1.0
01/01/2011	1.08	1.0
21/01/2011	1.09	0.7
01/02/2011	0.83	0.7
11/02/2011	0.69	0.7
21/02/2011	0.52	0.4

Na Figura 39 estão representados os perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011, construídos baseados nos dados da Tabela 27. Ainda, na Figura 39, foi observado que os valores

referentes aos estádios II e IV não são constantes e, por isso, foram excluídos, obtendo um melhor ajuste dos dados (Figura 40).

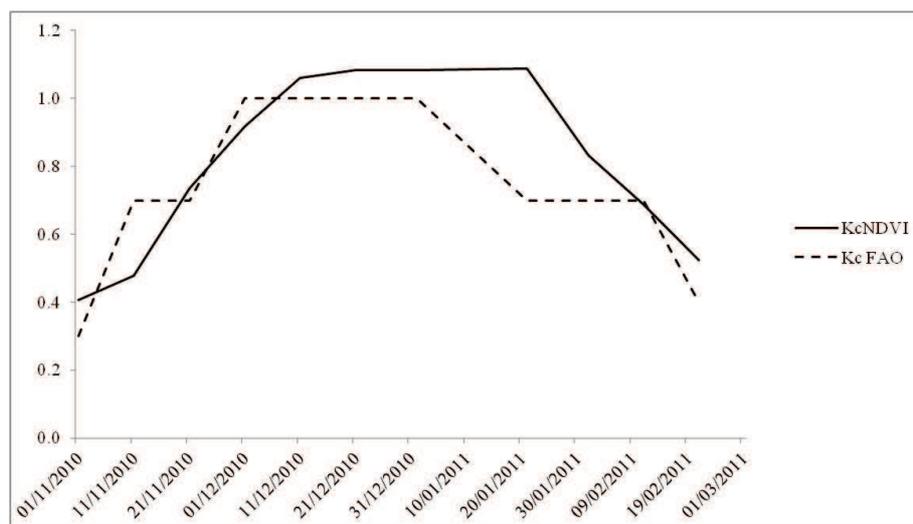


Figura 39 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011

Na Tabela 28 estão representados os valores de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao melhor ajuste dos dados para a safra de 01/11/2010 a 21/02/2011.

Tabela 28 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
01/11/2010	0.41	0.3
11/11/2010	0.48	0.7
01/12/2010	0.92	1.0
11/12/2010	1.06	1.0
21/12/2010	1.08	1.0
01/01/2011	1.08	1.0
11/02/2011	0.69	0.7
21/02/2011	0.52	0.4

Na comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO (Figura 40), verificou-se que eles apresentaram um padrão semelhante, porém o estádio II teve início primeiramente no perfil de K_c FAO em relação ao perfil de K_{cNDVI} .

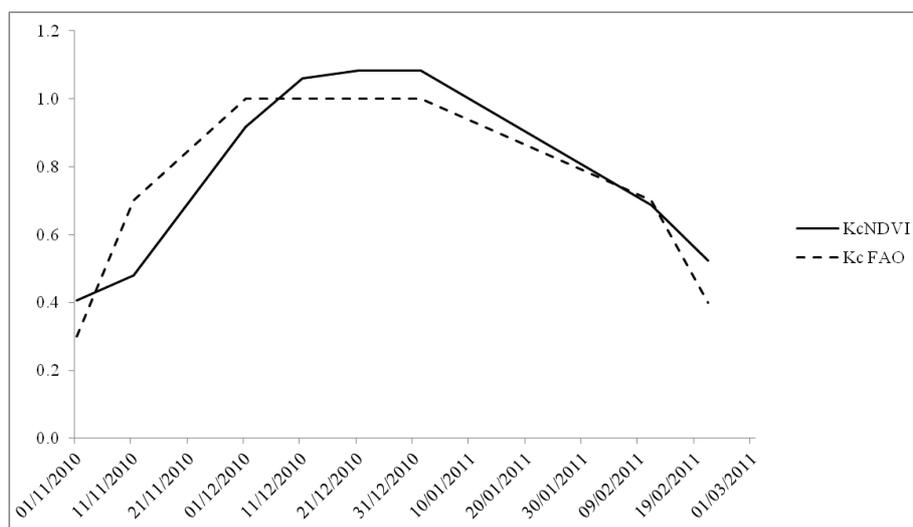


Figura 40 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 01/11/2010 a 21/02/2011

Na Tabela 29 estão associados os valores de K_c FAO aos respectivos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada com base na análise do perfil temporal para o plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011 (Figura 13).

Tabela 29 Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011

	Estádios	Início	Final	K_c FAO
I	Plantio	11/nov		0.3
II	10 a 80%	21/nov	01/dez	0.7
III	80 a 100%	11/dez	01/jan	1
IV	Maturação	21/jan	11/fev	0.7
V	Colheita		21/fev	0.4

Na Tabela 30 estão representados os valores de K_{cNDVI} , calculados com base na equação 5, e os valores de K_c FAO, em função do plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011.

Tabela 30 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
11/11/2010	0.40	0.3
21/11/2010	0.72	0.7
01/12/2010	0.93	0.7
11/12/2010	1.07	1.0
21/12/2010	1.10	1.0
01/01/2011	1.10	1.0
21/01/2011	1.09	0.7
01/02/2011	0.84	0.7
11/02/2011	0.70	0.7
21/02/2011	0.52	0.4

Na Figura 41 estão representados os perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011, construídos baseados em dados da Tabela 30. Ainda, na Figura 41, foi observado que os valores referentes aos estádios II e IV não são constantes e, por isso, foram excluídos, obtendo um melhor ajuste dos dados (Figura 42).

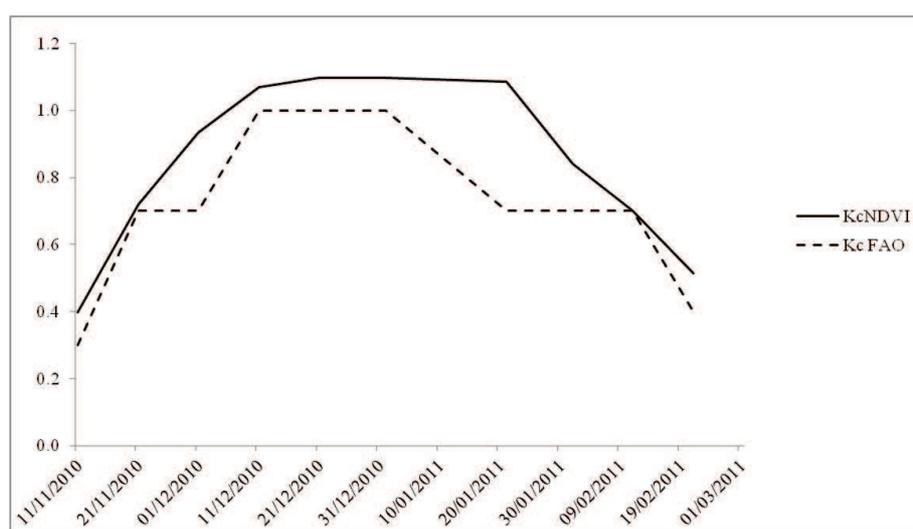


Figura 41 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011

Na Tabela 31 estão representados os valores de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011.

Tabela 31 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
11/11/2010	0.40	0.3
21/11/2010	0.72	0.7
11/12/2010	1.07	1.0
21/12/2010	1.10	1.0
01/01/2011	1.10	1.0
01/02/2011	0.84	0.7
11/02/2011	0.70	0.7
21/02/2011	0.52	0.4

Na comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO (Figura 42), verificou-se que eles apresentaram um padrão bem semelhante.

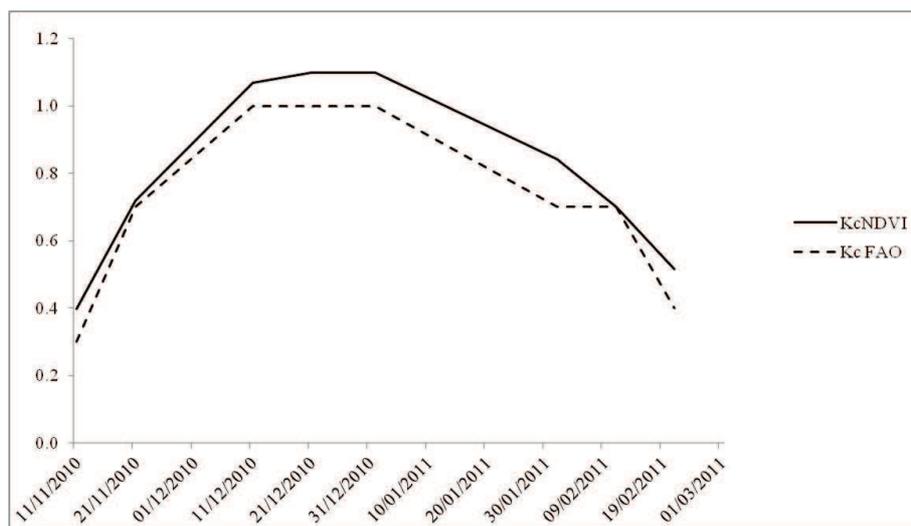


Figura 42 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 11/11/2010 a 21/02/2011

5.4.3 NDVI/MOD09GQ

Na Tabela 32 estão associados os valores de K_c FAO aos respectivos estádios fenológicos da cultura de soja irrigada com base na análise do perfil temporal para o plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011 (Figura 12).

Tabela 32 Estádios fenológicos da soja irrigada e os respectivos valores de K_c FAO para o plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011

	Estádios	Início	Final	K_c FAO
I	Plantio	17/out		0.3
II	10 a 80%	18/out	19/nov	0.7
III	80 a 100%	20/nov	27/jan	1
IV	Maturação	28/jan	24/fev	0.7
V	Colheita		25/fev	0.4

Na Tabela 33 estão representados os valores de K_{cNDVI} , calculados com base na equação 5, e os valores de K_c FAO, em função do plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011. Entretanto, foram excluídos os valores negativos de K_{cNDVI} (Tabela 34), resultantes de valores de NDVI menores que 0,1725 aplicados à equação 5.

Tabela 33 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
17/10/2010	0.24	0.3
19/10/2010	0.24	0.7
21/10/2010	0.31	0.7
26/10/2010	0.31	0.7
27/10/2010	0.31	0.7
28/10/2010	0.34	0.7
30/10/2010	0.35	0.7
03/11/2010	0.44	0.7

“Tabela 33, conclusão”

DATAS	K_cNDVI	K_c FAO
04/11/2010	0.44	0.7
07/11/2010	0.64	0.7
08/11/2010	0.71	0.7
11/11/2010	0.67	0.7
15/11/2010	0.77	0.7
18/11/2010	0.82	0.7
19/11/2010	0.89	0.7
25/11/2010	0.84	1
27/11/2010	0.92	1
28/11/2010	0.91	1
04/12/2010	1.02	1
10/12/2010	1.00	1
11/12/2010	1.08	1
20/12/2010	1.08	1
21/12/2010	1.10	1
30/12/2010	1.07	1
05/01/2011	1.14	1
21/01/2011	1.10	1
25/01/2011	1.03	1
26/01/2011	1.06	1
27/01/2011	1.00	1
28/01/2011	1.06	0.7
05/02/2011	0.93	0.7
07/02/2011	0.80	0.7
08/02/2011	0.71	0.7
09/02/2011	0.71	0.7
12/02/2011	0.70	0.7
18/02/2011	0.40	0.7
20/02/2011	0.36	0.7
21/02/2011	0.36	0.7
25/02/2011	0.32	0.7

Tabela 34 Valores de NDVI/MOD09GQ e os respectivos valores negativos de K_{cNDVI}

DATAS	NDVI/MOD09GQ	K_{cNDVI}
18/10/2010	0.01	-0.15
22/10/2010	0.10	-0.02
31/10/2010	0.02	-0.14
05/11/2010	0.07	-0.07
09/11/2010	0.07	-0.06
22/11/2010	0.04	-0.11
23/11/2010	0.04	-0.12
30/11/2010	0.06	-0.09
03/12/2010	0.04	-0.12
07/12/2010	0.11	-0.02
14/12/2010	0.02	-0.14
15/12/2010	0.05	-0.09
18/12/2010	0.06	-0.09
24/12/2010	0.04	-0.11
25/12/2010	0.09	-0.04
07/01/2011	0.07	-0.07
09/01/2011	0.11	-0.01
11/01/2011	0.02	-0.14
15/01/2011	0.07	-0.07
03/02/2011	0.11	-0.02
15/02/2011	0.09	-0.03
16/02/2011	0.06	-0.08
23/02/2011	0.11	-0.01

Na Figura 43 estão representados os perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011, construídos baseados nos dados da Tabela 33. Ainda, na Figura 43, foi observado que os valores referentes aos estádios II e IV não são constantes e, por isso, foram excluídos, obtendo um melhor ajuste dos dados (Figura 44).

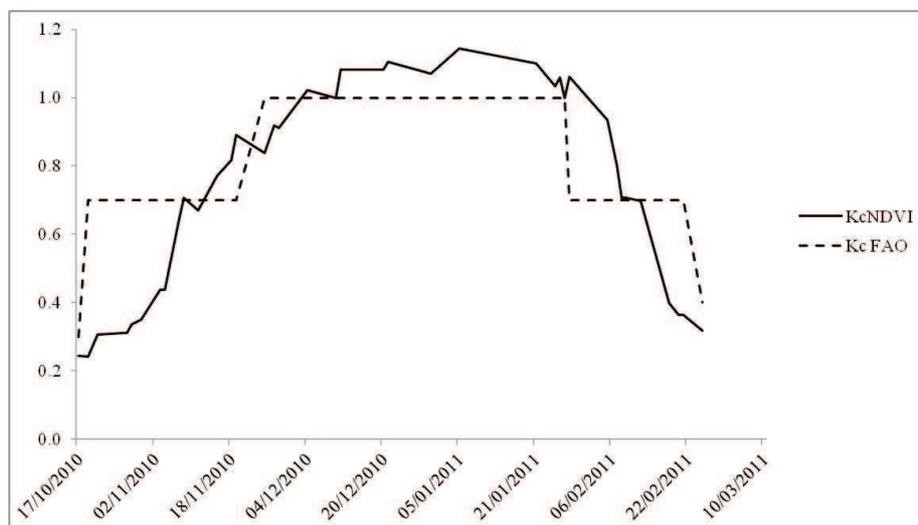


Figura 43 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011

Na Tabela 35 estão representados os valores de K_{cNDVI} e K_c FAO, referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011.

Tabela 35 K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011

DATAS	K_{cNDVI}	K_c FAO
17/10/2010	0.24	0.3
20/11/2010	0.77	1
24/11/2010	0.78	1
25/11/2010	0.84	1
27/11/2010	0.92	1
28/11/2010	0.91	1
04/12/2010	1.02	1
10/12/2010	1.00	1

“Tabela 35, conclusão”

DATAS	K_cNDVI	K_c FAO
11/12/2010	1.08	1
20/12/2010	1.08	1
21/12/2010	1.10	1
30/12/2010	1.07	1
05/01/2011	1.14	1
21/01/2011	1.10	1
25/01/2011	1.03	1
26/01/2011	1.06	1
27/01/2011	1.00	1
25/02/2011	0.32	0.4

Na comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO (Figura 44), verificou-se que eles apresentaram um padrão semelhante, porém no estágio III foi observada uma diferença entre os perfis em virtude da grande variação dos valores de K_{cNDVI} em relação aos valores de K_c FAO que, por sua vez, apresentaram-se constantes.

Nas Figuras 43 e 44 fica evidente que a melhoria da resolução temporal para 1 dia, com utilização do produto MOD09GQ, implicou perda da informação sobre dados da superfície. Bernardes et al. (2011) utilizaram imagens diárias e imagens de 16 dias do sensor MODIS, para mapear áreas de soja no estado do Mato Grosso e concluíram que a utilização de produtos com frequência temporal de 16 dias, permitiu o mapeamento com índices de exatidão melhores do que os obtidos pela classificação derivada das imagens diárias.

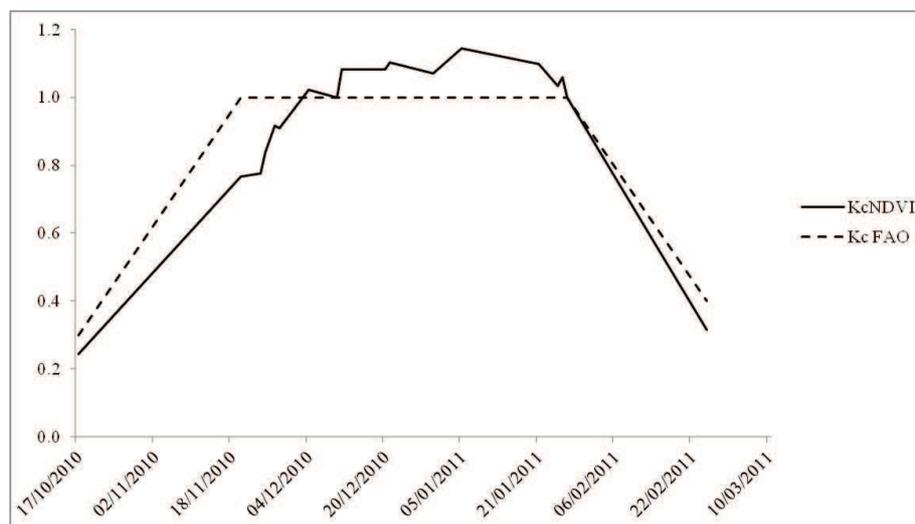


Figura 44 Perfis temporais de K_{cNDVI} e K_c FAO referentes ao melhor ajuste dos dados para o plantio de 17/10/2010 a 25/02/2011

6 CONCLUSÕES

Pelos resultados deste trabalho mostrou-se que, apesar da baixa resolução espacial dos sensores MODIS (250 m) e SPOT (1 km), a alta periodicidade das imagens torna possível a sua utilização na identificação de áreas cultivadas com soja e cana-de-açúcar, com base na análise dos perfis temporais dos índices de vegetação. Nesse sentido, na análise dos dados do sensor MODIS, os perfis temporais dos valores médios de NDVI/MOD13Q1, EVI/MOD13Q1, EVI2/MOD13Q1 e NDVI/MOD09GQ apresentaram um padrão semelhante quanto à sazonalidade, em todas as análises. Da mesma forma, em relação aos dados do sensor SPOT, os perfis temporais dos valores médios de NDVI/VGT-S10, também, apresentaram um padrão semelhante quanto à sazonalidade, em todas as análises.

Com relação aos dados de precipitação acumulada e à cultura de soja de sequeiro, verificou-se que, na safra, a baixa ou a alta precipitação acumulada não influenciou no padrão dos perfis temporais dos índices de vegetação, mantendo a pouca variação entre os perfis de cada safra e o perfil médio.

Finalmente, na relação entre NDVI e o coeficiente de cultura (K_c), verificou-se que, na comparação entre os perfis de K_{cNDVI} e K_c FAO foi observado um padrão semelhante, em todas as análises. Dessa forma, o NDVI pode ser utilizado como uma alternativa na obtenção do coeficiente de cultura (K_c).

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. et al. A web platform development to perform thematic accuracy assessment of sugarcane mapping in South-Central Brazil. **Remote Sensing**, Washington, v. 4, n. 10, p. 3201-3214, Oct. 2012.
- AGUILAR, N. et al. Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. **Avances em Investigación Agropecuaria**, San Luis Potosí, v. 14, n. 2, p. 29-48, 2010.
- ALBUQUERQUE, C. K.; CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S. Comparação do comportamento do NDVI e EVI2: um novo índice de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. **Anais Eletrônicos...** Recife: UFRJ, 2010. 1 CD-ROM.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, A. C. S. et al. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, set./out. 2008.
- ANDERSON, L. O. et al. **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE, 2003. 53 p. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2003/12.11.08.55>>. Acesso em: 3 nov. 2013.
- ARAÚJO, G. K. D.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Relação entre NDVI da cultura da soja e dados de precipitação de estações meteorológicas e do modelo ECMWF, no estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. 1 CD-ROM.

BERNARDES, T. et al. Imagens mono e multitemporais Modis para estimativa da área com soja no Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 11, p. 1530-1537, nov. 2011.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Relação solo-água-planta-atmosfera. In: _____. **Manual de irrigação**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 76-79.

BEZERRA, B. G. et al. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 3, p. 404-414, 2010.

CARVALHO, L. G. de et al. Clima. In: SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D. de; CARVALHO, L. M. T. de (Ed.). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: componente socioeconômico**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 4. Disponível em: <http://www.zee.mg.gov.br/pdf/componentes_geofisico_biotico/4clima.pdf>. Acesso em: 23 out. 2013.

CARVALHO, L. G. de et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CENTRO DE ESTUDOS EM GESTÃO NAVAL. **Período de safra da soja, milho e cana-de-açúcar no Brasil**. Disponível em: <<http://www.gestaonaval.org.br/arquivos/documentos/Log%C3%ADstica/CEGN%20-%20Per%C3%ADodo%20de%20safra%20da%20soja%20milho%20e%20cana-de-a%C3%A7%C3%ACar%20no%20Brasil.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2013.

CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA. **Sensores e plataformas orbitais**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/sensores.html>>. Acesso em: 28 nov. 2013.

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES. **Vegetation products**. Disponível em: <http://smc.cnes.fr/VEGETATION/A_produits.htm>. Acesso em: 30 nov. 2013.

CHUVIECO, E. **Teledetección ambiental**: la observación de la tierra desde el espacio. Barcelona: Ariel Ciencia, 2002. 568 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del água sobre el rendimento de los cultivos**. Rome: FAO, 1979. 212 p. (Riego y Drenaje, 33).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Terra**: Earth Observing System (EOS) Disponível em: <http://www.sat.cnpem.embrapa.br/conteudo/missao_terra.php>. Acesso em: 27 nov. 2013.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, jun. 1996.

ESQUERDO, J.; ANTUNES, J. F. G.; ANDRADE, J. **Desenvolvimento do banco de produtos MODIS na base estadual brasileira**. Campinas: EMBRAPA Informática Agropecuária, 2010. 7 p. (Comunicado Técnico, 100).

ESQUERDO, J.; ZULLO JÚNIOR, J. Geração automática de perfis temporais de NDVI a partir de imagens AVHRR/NOAA e SPOT/Vegetation. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais Eletrônicos...** Florianópolis: INPE, 2007. 1 CD-ROM.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ZULLO JÚNIOR, J.; ANTUNES, J. F. G. Use of NDVI/AVHRR time-series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 32, n. 13, p. 3711-3727, 2011.

EUROPE CENTRE MEDIUM - RANGE WEATHER FORECASTS. **World leader in global medium-range numerical weather prediction**. Disponível em: <<http://www.ecmwf.int/>>. Acesso em: 15 maio 2014.

FARIAS, J. R. B. et al. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: EMBRAPA Soja, 2011. 262 p. (Sistemas de Produção, 15).

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2007. 9 p. (Circular Técnica, 48).

FERNANDES, J. L. **Monitoramento da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo por meio de imagens SPOT VEGETATION e dados meteorológicos**. 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

FONTANA, D. C. et al. A case study for crop monitoring and harvest forecast in south Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FORENVIRONMENT, 28., 2000, Cape Town. **Proceedings...** Cape Town: ICRSE, 2000. p. 91-94.

FREITAS, R. M. et al. Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, Brasília, v. 2, n. 1, p. 57-64, Mar. 2011.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D. A. Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 94, n. 4, p. 523-534, 2005.

GARCIA, A. et al. **Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2007. 12 p. (Circular Técnica, 51).

GAUGHAN, A. et al. Linking vegetation response to seasonal precipitation in the Okavango-Kwando-Zambezi catchment of southern Africa. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 33, n. 21, p. 6783-6804, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 15 maio 2014.

JIANG, Z. et al. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 10, p. 3833-3845, 2008.

KAMBLE, B.; IRMAK, A.; HUBBARD, K. Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. **Remote Sensing**, New York, v. 5, p. 1588-1602, Mar. 2013.

MAATHUIS, B. et al. **GEONETCast toolbox: installation, configuration and user guide of the GEONETCast toolbox plug-in for ILWIS 3.7, XML version 1.2**. Enschede: ITC, 2011. 151 p. Disponível em: <<http://52north.org/downloads/earth-observation/geonetcast/geonetcast-toolbox>>. Acesso em: 4 maio 2012.

MARCHIORI, L. F. S. et al. Desempenho vegetativo de cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] em épocas normal e safrinha. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 383-390, 1999.

MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. **Apostila de irrigação**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2009. 32 p.

MELLO, M. P. **Classificação espectro-temporal de imagens orbitais para o mapeamento da colheita da cana-de-açúcar com queima da palha**. 2009. 132 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

NIGHTINGALE, J.; PHINN, S. Assessment of relationships between precipitation and satellite derived vegetation condition within South Australia. **Australian Geographical Studies**, Melbourne, v. 41, n. 2, p. 180-195, 2003.

PEREIRA, R. M. **Validação de mapas de uso e cobertura do solo do município de Planura/MG**. 2011. 47 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

PICOLI, M. C. A. et al. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 789-795, 2009.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 128 p.

RAMME, F. L. P.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V. Perfis temporais NDVI MODIS, na cana-soca, de maturação tardia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 480-494, maio/jun. 2010.

RIBEIRO, M. S. **Coefficientes de cultura (K_c) e crescimento vegetativo de 'acaia cerrado' (*Coffea arabica* L.) associados a graus-dia (2º ano)**. 2006. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

RISSO, J. et al. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1317-1326, set. 2012.

RIZZI, R. et al. Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais Eletrônicos...** Natal: INPE, 2009. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. Disponível em: <<http://www.malavolta.com.br/pdf/1071.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2014.

RODRIGUES, O. et al. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura do ar no desenvolvimento da área foliar da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2006. 28 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 33). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp33.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2014.

RUDORFF, B. F. T. et al. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using landsat data. **Remote Sensing**, New York, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.

SINGH, R.; IRMAK, A. Estimation of crop coefficients using satellite remote sensing. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 135, p. 597-608, Sept./Oct. 2009.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **LP DAAC**. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_overview>. Acesso em: 28 nov. 2013.

VISUAL INFORMATION SOLUTIONS. **Environment for visualizing images**. Version 4.6.1. Boulder, 2008.

VITO COMPANY DATA. **GEONETCast for and by developing countries DevCoCast**. Disponível em: <<http://www.devcoCast.eu>>. Acesso em: 1 dez. 2013.

WANG, J.; RICH, P.; PRICE, P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 24, n. 11, p. 2345-2364, 2003.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: an assessment for the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, p. 1096-1116, July 2008.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L.; KASTENS, J. H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 108, p. 290-310, Nov. 2007.

YANG, Y.; XU, J.; HONG, Y. The dynamic of vegetation coverage and its response to climate factors in Inner Mongolia, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, New York, v. 26, n. 3, p. 357-373, 2012.

ANEXOS

ANEXO A – Dados de precipitação

Na Tabela 1 estão os dados de precipitação acumulada (mm) referentes às datas das imagens MOD13Q1, para o período de estudo (2010/2011 e 2011/2012).

Tabela 1. Precipitação Acumulada (mm) referente às datas das imagens MOD13Q1, para o período de estudo (2010/2011 e 2011/2012).

2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)	2011/2012	Precipitação Acumulada (mm)
29/08/2010	0.00	29/08/2011	0.20
14/09/2010	0.00	14/09/2011	3.40
30/09/2010	58.40	30/09/2011	3.90
16/10/2010	76.20	16/10/2011	165.20
01/11/2010	33.40	01/11/2011	60.70
17/11/2010	68.60	17/11/2011	50.70
03/12/2010	48.70	03/12/2011	182.10
19/12/2010	67.60	19/12/2011	155.20
01/01/2011	75.60	01/01/2012	171.20
17/01/2011	167.90	17/01/2012	234.10
02/02/2011	68.70	02/02/2012	103.80
18/02/2011	66.00	18/02/2012	105.00
06/03/2011	290.30	05/03/2012	117.60
22/03/2011	259.70	21/03/2012	9.20
07/04/2011	68.90	06/04/2012	35.60
23/04/2011	5.20	22/04/2012	78.50

Na Tabela 2 estão os dados de precipitação acumulada (mm) referentes às datas das imagens VGT-S10, para o período de estudo (2010/2011 e 2011/2012).

Tabela 2. Precipitação Acumulada (mm) referente às datas das imagens VGT-S10, para o período de estudo (2010/2011 e 2011/2012).

2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)	2011/2012	Precipitação Acumulada (mm)
21/08/2010	0	21/08/2011	0
01/09/2010	0	01/09/2011	3.4
11/09/2010	0	11/09/2011	0
21/09/2010	0	21/09/2011	4.1
01/10/2010	58.4	01/10/2011	0
11/10/2010	58	11/10/2011	26.2
21/10/2010	18.2	21/10/2011	152.4
01/11/2010	33.4	01/11/2011	47.3
11/11/2010	44.8	11/11/2011	11.9
21/11/2010	32.6	21/11/2011	38.8
01/12/2010	39.9	01/12/2011	180.5
11/12/2010	21	11/12/2011	139.8
21/12/2010	54.4	21/12/2011	17
01/01/2011	67.8	01/01/2012	171.2
21/01/2011	51.7	11/01/2012	169.4
01/02/2011	32	21/01/2012	108.3
11/02/2011	48.5	01/02/2012	60.2
21/02/2011	24.7	11/02/2012	7.2
21/03/2011	175.6	21/02/2012	124.6
01/04/2011	55.1	01/03/2012	42.8
11/04/2011	19	11/03/2012	48
21/04/2011	5.2	21/03/2012	9.2
		01/04/2012	34.4
		11/04/2012	50.2
		21/04/2012	4.7

Na Tabela 3 estão dados de precipitação acumulada (mm) referentes às datas das imagens MOD09GQ, para o período de estudo entre agosto/2010 e abril/2011.

Tabela 3. Precipitação Acumulada (mm) referente às datas das imagens MOD09GQ, para o período de estudo (agosto/2010 a abril/2011).

2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)	2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)
29/08/2010	0	01/01/2011	0
30/08/2010	0	02/01/2011	3.6
31/08/2010	0	03/01/2011	33.7
01/09/2010	0	04/01/2011	7
02/09/2010	0	05/01/2011	0.4
03/09/2010	0	06/01/2011	20.6
04/09/2010	0	07/01/2011	18.6
05/09/2010	0	08/01/2011	0.6
06/09/2010	0	09/01/2011	15.2
08/09/2010	0	10/01/2011	29.6
09/09/2010	0	11/01/2011	16.8
10/09/2010	0	12/01/2011	0
11/09/2010	0	14/01/2011	9.7
12/09/2010	0	15/01/2011	6.2
13/09/2010	0	16/01/2011	0
14/09/2010	0	17/01/2011	5.1
15/09/2010	0	18/01/2011	2.8
16/09/2010	0	19/01/2011	0
17/09/2010	0	20/01/2011	1.2
18/09/2010	0	21/01/2011	25.9
19/09/2010	0	22/01/2011	0.8
20/09/2010	0	23/01/2011	1.6
21/09/2010	0	24/01/2011	0
22/09/2010	0	25/01/2011	0
24/09/2010	0	26/01/2011	0
25/09/2010	1.3	27/01/2011	0
26/09/2010	0	28/01/2011	1
28/09/2010	45	30/01/2011	4.6
29/09/2010	7.8	31/01/2011	0
30/09/2010	4	01/02/2011	24

Continuação...

2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)	2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)
01/10/2010	0	02/02/2011	6.8
02/10/2010	19.2	03/02/2011	16
03/10/2010	3.8	04/02/2011	9.8
04/10/2010	0	05/02/2011	3
05/10/2010	0	06/02/2011	0
06/10/2010	2.2	07/02/2011	0
07/10/2010	12.6	08/02/2011	11.8
08/10/2010	20.2	09/02/2011	0
10/10/2010	0	10/02/2011	0
11/10/2010	0	11/02/2011	1.1
12/10/2010	0	12/02/2011	0
13/10/2010	0	13/02/2011	1.1
14/10/2010	0	15/02/2011	6.4
15/10/2010	0	16/02/2011	0
16/10/2010	18.2	17/02/2011	5.6
17/10/2010	0	18/02/2011	0
18/10/2010	0	19/02/2011	0.4
19/10/2010	0	20/02/2011	0
20/10/2010	0	21/02/2011	0
21/10/2010	0	22/02/2011	0
22/10/2010	0	23/02/2011	0
24/10/2010	5	24/02/2011	16.4
26/10/2010	0	25/02/2011	10.6
27/10/2010	0	26/02/2011	3.1
28/10/2010	0	27/02/2011	0
29/10/2010	0	28/02/2011	16.2
30/10/2010	0	01/03/2011	20.4
31/10/2010	13	03/03/2011	62.6
02/11/2010	0	04/03/2011	51.2
03/11/2010	0	05/03/2011	45.6
04/11/2010	0	06/03/2011	38.4

Continuação...

2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)	2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)
05/11/2010	0	07/03/2011	12.4
07/11/2010	8.2	09/03/2011	5.8
08/11/2010	0	10/03/2011	12.3
09/11/2010	0	11/03/2011	0
11/11/2010	0	12/03/2011	15
12/11/2010	0	13/03/2011	14.8
13/11/2010	0	14/03/2011	0.1
14/11/2010	0	15/03/2011	7.2
15/11/2010	0	16/03/2011	0
16/11/2010	23.8	17/03/2011	1.6
17/11/2010	0	19/03/2011	31.6
18/11/2010	7.8	20/03/2011	94.2
19/11/2010	0	21/03/2011	7
20/11/2010	0	22/03/2011	5.2
21/11/2010	1	23/03/2011	6.6
22/11/2010	34.4	24/03/2011	13.5
23/11/2010	0.3	25/03/2011	0
24/11/2010	0	26/03/2011	14.6
25/11/2010	0	27/03/2011	0
27/11/2010	0	28/03/2011	12
28/11/2010	0	29/03/2011	0
29/11/2010	0	30/03/2011	0
30/11/2010	0	31/03/2011	0
01/12/2010	2.6	01/04/2011	3.2
02/12/2010	0	02/04/2011	0
03/12/2010	0	04/04/2011	4.8
04/12/2010	1.4	05/04/2011	0
05/12/2010	2	06/04/2011	8.2
06/12/2010	5.8	07/04/2011	0
07/12/2010	0	08/04/2011	0
08/12/2010	11.8	09/04/2011	0
09/12/2010	0	10/04/2011	0

Continuação...

2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)	2010/2011	Precipitação Acumulada (mm)
10/12/2010	0	11/04/2011	0
11/12/2010	0	12/04/2011	0
13/12/2010	0	13/04/2011	5.2
14/12/2010	10.6	14/04/2011	0
15/12/2010	0	15/04/2011	0
16/12/2010	15.2	16/04/2011	0
17/12/2010	0.5	17/04/2011	0
18/12/2010	0	18/04/2011	0
19/12/2010	20.3	20/04/2011	0
20/12/2010	5	21/04/2011	0
21/12/2010	2.8	22/04/2011	0
22/12/2010	19.8	23/04/2011	0
23/12/2010	5.6	24/04/2011	0
24/12/2010	32.8	25/04/2011	0
25/12/2010	1.4	26/04/2011	25.5
26/12/2010	2	27/04/2011	0
27/12/2010	1.4	28/04/2011	51.4
29/12/2010	0	29/04/2011	0
30/12/2010	0	30/04/2011	0
31/12/2010	0		