



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA 'ELISEU MACIEL'
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SEMENTES

DISSERTAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO TEMPORAL DE LAVOURAS DE
ARROZ IRRIGADO POR MEIO DE IMAGENS MODIS

Felipe Luiz de Lemos Nobre

Pelotas - RS

Setembro de 2010

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA 'ELISEU MACIEL'
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SEMENTES

DISSERTAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO TEMPORAL DE LAVOURAS DE
ARROZ IRRIGADO POR MEIO DE IMAGENS MODIS

Felipe Luiz de Lemos Nobre

Dissertação apresentada à Faculdade de Agronomia 'Eliseu Maciel' da Universidade Federal de Pelotas, sob orientação do Prof. Dr. Antonio Carlos Souza de Albuquerque Barros e co-orientação do Prof. Dr. Rodrigo Rizzi, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Sementes.

Pelotas-RS

Setembro de 2010

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

N754c Nobre, Felipe Luiz de Lemos

Caracterização espectro temporal de lavouras de arroz irrigado por meio de imagens modis / Felipe Luiz de Lemos Nobre ; orientador Antonio Carlos Souza de Albuquerque Barros; co-orientador Rodrigo Rizzi - Pelotas,2010.-53f. ; il.- Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

1.*Oryza sativa* 2.Índice de vegetação 3.Sensoriamento remoto I.Barros, Antonio Carlos Souza Albuquerque de(orientador)
II .Título.

CDD 633.18

CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO TEMPORAL DE LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO POR MEIO DE IMAGENS MODIS

Autor: Felipe Luiz de Lemos Nobre

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Antonio Carlos Souza de Albuquerque Barros (Orientador)

Prof. Dr. Rodrigo Rizzi (Co-Orientador)

CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO TEMPORAL DE LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO POR MEIO DE IMAGENS MODIS

Autor: FELIPE LUIZ DE LEMOS NOBRE

Orientador: ANTONIO CARLOS SOUZA DE ALBUQUERQUE BARROS

Co-Orientador: RODRIGO RIZZI

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade da utilização das imagens adquiridas pelo sensor orbital MODERated resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) na determinação do período de ocorrência dos estádios fenológicos de modo a facilitar a identificação do ponto de maturidade fisiológica e do momento mais propício à colheita de lavouras de sementes de arroz irrigado. A área de estudo constitui-se de 12 talhões situados nos municípios de Arroio Grande e Rio Grande – RS, das quais se dispunha de informações das datas de semeadura, dos estádios fenológicos V4, R1, R6 e de colheita. A delimitação das lavouras foi realizada por meio de coordenadas geodésicas obtidas por um receptor GPS de navegação, auxiliadas por imagens de média resolução espacial do sensor TM do satélite Landsat 5. Na geração dos perfis espectro-temporais foram utilizadas imagens diárias do sensor MODIS produtos MOD09GQ (satélite Terra) e MYD09GQ (satélite Aqua), com resolução espacial de 250 metros, transformadas no índice de vegetação EVI2 (Enhanced Vegetation Index 2), abrangendo desde o período anterior a semeadura até o que precede a colheita. A partir das imagens diárias Terra e Aqua foram geradas imagens compostas contendo o valor máximo do EVI2 para a média de cada lavoura, em cada dia. Posteriormente, foram eliminadas da análise as imagens compostas contaminadas pela presença de nuvens e/ou ruídos e aquelas apresentando valores consideravelmente discrepantes às dos dias adjacentes. Aos perfis temporais do EVI2 foram associadas as informações sobre as datas de semeadura, dos estádios V4, R1, R6 e de colheita das lavouras. O perfil espectro-temporal sob a forma do EVI2 para a cultura do arroz irrigado apresenta-se com acréscimos consideráveis dos valores em torno do estádio V4, alcançando os valores mais altos por volta do estádio R6 que em seguida começam a decrescer até mesmo após a colheita da lavoura. Entretanto, observou-se grande amplitude de valores de EVI2 para cada estádio fenológico analisado e para a data de colheita, para as diferentes lavouras. Desta forma, neste estudo, não foi possível estabelecer parâmetros confiáveis que indiquem a possibilidade da utilização das imagens diárias do MODIS como único indicador para determinação tanto dos estádios fenológicos estudados quanto do momento mais propício à colheita de lavouras de arroz irrigado. Entretanto, é possível monitorar o perfil temporal do EVI2 das lavouras de arroz irrigado, que pode ser utilizado como ferramenta auxiliar para se determinar o provável estádio fenológico da cultura, desde que se disponham imagens livres de nuvens.

Termos para indexação: *Oryza sativa*, sensoriamento remoto, índice de vegetação.

SPECTRO-TEMPRAL CHARACTERIZATION OF PADDY RICE FIELDS THROUGH MODIS IMAGES

Author: FELIPE LUIZ DE LEMOS NOBRE

Adviser: ANTONIO CARLOS SOUZA DE ALBUQUERQUE
BARROS

Co-Adviser: RODRIGO RIZZI

ABSTRACT - The objective of this study was to look into the viability of using the images acquired by the Moderate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor in order to determine the period of occurrence of phenological stages in order to assist in determining the best conducive to harvesting of seed rice. The study area consisted of 12 farms located in the municipalities of Arroio Grande and Rio Grande - RS, of which we had information regarding sowing, V4, R1, R6 and harvest dates. The delimitation of the field crops was performed by geodetic coordinates obtained by a GPS navigation receiver, aided by medium spatial resolution images from Landsat-5 Thematic Mapper (TM) sensor. In order to generate the spectro-temporal profiles were used daily images from MODIS sensor products MOD09GQ (Terra satellite) and MYD09GQ (Aqua satellite) with 250m spatial resolution, turned in the Enhanced Vegetation Index 2 (EVI2), ranging from before sowing to after harvest. Daily images from Terra and Aqua satellites were composited in images containing the maximum EVI2 for each day. Then we excluded from the analysis the composite images with cloud cover noise contamination and those showing values significantly discrepant with those of adjacent days. The temporal profiles of EVI2 for each crop field were associated with the dates of sowing, V4, R1 and R6 phenological stages and harvesting of crops fields. The EVI2 spectro-temporal profile for paddy rice presented considerable increases around the V4 stage, reaching its highest values around the R6 stage and then begin to decrease even after harvesting. However, we observed a wide range of EVI2 values for each developmental stage analyzed and the harvest date for different crops fields. Thus, in this study we could not establish reliable parameters that indicate the possibility of using daily images from MODIS as a single indicator for determining both phenological stages and most propitious time for rice harvesting. However, it is possible to monitor the temporal profile EVI2 of irrigated rice fields, which can be used as auxiliary data to approximately determine the crop phenological stage, since cloud free images are available.

Index terms: *Oryza sativa*, remote sensing, vegetation index.

SUMÁRIO

RESUMO.....	04
ABSTRACT.....	05
1. INTRODUÇÃO.....	07
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	09
2.1 HISTÓRIA DO ARROZ.....	09
2.2 IMPORTÂNCIA DO ARROZ.....	09
2.3 ARROZ NO BRASIL.....	10
2.4 IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DE SEMENTE.....	11
2.5 PONTO DE COLHEITA.....	12
2.6 PONTO DE MATURIDADE FISIOLÓGICA	14
2.7 SENSORIAMENTO REMOTO.....	15
2.7.1 Resolução Espectral.....	15
2.7.2 Resolução Espacial	16
2.7.3 Resolução Temporal	16
2.7.4 Sensor MODIS	17
2.8 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5. CONSIDERAÇÕES.....	46
6. CONCLUSÕES.....	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) destaca-se por fazer parte da dieta básica de aproximadamente dois terços da população mundial, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem, além de ser considerada a espécie de maior potencial para aumento de produção e para o combate da fome no mundo (FAO, 2000).

A cultura é explorada em todos os continentes, ocupando, anualmente, uma área de aproximadamente 150 milhões de hectares (ha), com uma produção de 577,9 milhões de toneladas. No Brasil, maior produtor da América do Sul, 62% da produção de arroz provêm do sistema de cultivo irrigado, destacando-se o estado do Rio Grande do Sul como maior produtor brasileiro e considerado estabilizador da safra nacional devido à estabilidade da sua produção (AZAMBUJA et. al., 2002).

A qualidade da semente é a chave para o incremento da produção e produtividade de qualquer cultura. A semente de qualidade e origem genética superior, colhida com alto potencial fisiológico e sendo armazenada, em condições adequadas, proporcionará uma boa lavoura.

A qualidade da semente compreende uma série de parâmetros (genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários) que determinam sua indicação para a semeadura (POPINIGIS, 1985). O potencial fisiológico é diretamente responsável pelo desempenho das sementes no armazenamento e no campo. A resistência mostrada pelas sementes de alta qualidade a condições adversas de campo, e conseqüentemente, a emergência de plantas e produção final de matéria seca e grãos, tem grande importância na agricultura. Neste sentido, o conhecimento do ponto de colheita é fator preponderante para obtenção de sementes de qualidade, pois à medida que as sementes aptas à colheita permanecem no campo iniciam-se os processos de deterioração. Assim, alguns cuidados relacionados à colheita antecipada ou tardia afetam a produção e a qualidade das sementes. Os prejuízos da colheita precoce são: elevada ocorrência de grãos verdes, gessados e mal formados, que não completaram o seu desenvolvimento. Por outro lado, se a colheita for feita tardiamente, com os grãos apresentando umidade muito baixa,

ocorrem perdas por degrana natural, por acamamento, ataque de insetos, pássaros e roedores (SOARES, 2001).

Segundo Andrade et. al. (1992), a colheita é a atividade mais arriscada em relação à qualidade do produto, e que mais demanda mão-de-obra e recursos do agricultor, tornando fundamental a identificação do momento correto do seu início.

Alguns estudos afirmam que o ponto de maturidade fisiológica é, teoricamente, o mais indicado para a colheita, pois é o momento em que a qualidade da semente é máxima. Evidentemente, a colheita das sementes nesta fase se torna difícil, uma vez que a planta ainda apresenta grande quantidade de ramos e folhas verdes, o que dificultaria a colheita mecânica. Além disso, o alto teor de água ocasionaria danos mecânicos e haveria ainda a necessidade de utilização de um método rápido e eficiente de secagem, o que nem sempre é possível (PESKE & BARROS, 2004).

Dada a importância que a qualidade da semente representa para a cultura do arroz irrigado, este trabalho teve por objetivo verificar a possibilidade de identificação, através da utilização de imagens do sensor orbital MODIS os principais estádios fenológicos desta cultura de modo a facilitar a determinação do ponto de maturidade fisiológica e do momento mais propício à colheita de sementes de arroz em sistema irrigado.

A observação dos estádios fenológicos da cultura do arroz irrigado via imagens de satélites visa tornar mais eficiente este processo, facilitando as observações entre e dentro de áreas de produção de uma forma rápida, eficiente e por metodologia padronizada. Também, observam-se variáveis não perceptíveis por observação tradicional, como valores relacionados à atividade fotossintética e crescimento do dossel que estão diretamente relacionados ao desenvolvimento da lavoura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História Do Arroz

A domesticação do arroz é considerada como tendo ocorrido entre 15.000 a 10.000 A.C., e esta espécie tem sido cultivada na China e na Índia por mais de 8.000 anos (KHUSH, 1977). Tornou-se conhecido na Europa aos 300 anos da era cristã, quando também foi introduzido no Japão. Relatos indicam que foram, provavelmente, os portugueses quem introduziram esse cereal na África Ocidental, e os espanhóis, os responsáveis pela sua disseminação nas Américas por volta do século XVII (ALCOCHETE, 2005). Atualmente, essa cultura está disseminada em todo o mundo em regiões de clima tropical e temperado, e continua sendo uma das principais fontes de alimento, especialmente nos países asiáticos.

2.2 Importância Do Arroz

Ao longo da história, o arroz tem sido um dos alimentos mais consumidos no planeta. É a principal fonte de energia para a maioria dos seres humanos, principalmente para as populações pobres dos países de regiões tropicais e subtropicais e dos chamados países emergentes ou em fase de desenvolvimento. É a principal cultura alimentar e um dos alimentos diários de mais da metade da população mundial. Este cereal fornece cerca de 20% das calorias consumidas mundialmente (KHUSH, 2001).

É o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando uma área aproximada de 148 milhões de hectares (GOMES & MAGALHÃES Jr., 2004). O consumo médio individual de arroz, em nível mundial, é de 60 kg/pessoa/ano, sendo que os países asiáticos são os que apresentam as médias mais elevadas, situadas entre 100 e 150 kg/pessoa/ano, enquanto que na América Latina consomem-se em média 30 kg/pessoa/ano, destacando-se o Brasil como um grande consumidor (45 kg/pessoa/ano) (GOMES & MAGALHÃES Jr., 2004).

O arroz, como grão, é exclusivamente consumido pelo ser humano. Cerca de 90% da produção mundial de arroz é consumido na Ásia, onde esta cultura constitui dieta base e a principal fonte de carboidratos, proteínas, lipídeos e minerais. A matéria verde é também uma importante ração animal em muitos países (KHUSH, 1977; OECD, 1999).

A maior produção de arroz está centralizada na Ásia, incluindo o subcontinente indiano, que é também a principal região consumidora. Por exemplo, China e Índia permanecem no topo dos produtores mundiais (Tabela 1), mas são também os países com as maiores populações mundiais.

Tabela 1 – Principais países produtores mundiais de arroz em casca, representando 85,10% da produção mundial e suas taxas de crescimento no período de 1966-2007. Países ordenados pela participação na produção mundial.

PAÍS	PARTICIPAÇÃO	TAXA DE CRESCIMENTO ANUAL
CHINA	34,36 %	1,62 %
ÍNDIA	20,72 %	2,53 %
INDONÉSIA	8,04 %	3,40 %
BANGLADESH	5,44 %	2,50 %
TAILÂNDIA	4,21 %	2,13 %
VIETNÃ	4,19 %	4,02 %
MYANMAR	3,22 %	3,30 %
JAPÃO	2,95	1,23 %
BRASIL	1,98 %	1,40 %
TOTAL	-----	85,10 %

Fonte: FAO, 2009.

2.3 Arroz no Brasil

Historiadores consideram que a cultura foi trazida ao Brasil através dos imigrantes alemães em 1832, para ser consumido na forma de arroz doce.

Entretanto, o arroz silvestre já ocorria no Brasil antes da chegada dos portugueses (BUSO, 1998).

A prática da orizicultura no Brasil, de forma organizada e racional, só aconteceu em meados do século XVIII. Atualmente, o arroz é cultivado em praticamente todos os estados do Brasil.

A área total cultivada com arroz no País em 2009 foi de 2.888.315,0 hectares, com uma produção total de 12.609.060,0 de toneladas, obtendo-se produtividade média de 4.366 quilos por hectare. Do total de arroz produzido, 60% são oriundos do sistema de cultivo de várzea e 40%, de terras altas. (IBGE, 2010).

O arroz é um dos importantes produtos do agronegócio nacional, representou, em 2008 um volume de 11.047.937 toneladas de grãos (IBGE, 2008), sendo responsável por significativa parcela da renda de um grande número de produtores rurais.

2.4 Importância da Qualidade da Semente

O potencial máximo de produtividade de uma dada cultura é definido pela carga genética contida nas sementes, tornando esta um insumo extremamente importante, fazendo com que todos os processos e práticas da lavoura sejam planejados e conduzidos em função das mesmas. Em outras palavras, produção com alta qualidade e quantidade somente é obtida com sementes de elevada qualidade genética, associada a técnicas e práticas agrícolas que propiciem as melhores condições para um adequado desenvolvimento do material genético (PATERNIANI, 1999).

Sabe-se que a semente de alta qualidade oportuniza uma melhor “população de plantas” na lavoura, o que possibilita melhorar o aproveitamento de fertilizantes e corretivos, reduzir os problemas causados por plantas daninhas e, conseqüentemente, aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção, fatores que podem determinar a sustentabilidade da agricultura (SOSBAI, 2007).

A utilização de sementes certificadas e de boa qualidade fisiológica, geralmente, representa valores muito baixos no custo total de produção de uma

determinada cultura, principalmente quando são considerados os valores agregados e os benefícios de sua utilização.

De acordo com Delouche (1981), a produção de grãos e a de sementes difere apenas em alguns pontos críticos, como: seleção mais criteriosa da área de cultivo para produção de sementes; semente utilizada precisa ser de origem pura; são tomados cuidados para evitar misturas nos processos de semeadura, colheita, armazenamento e secagem; isolamento da área para evitar cruzamentos indesejáveis; realização de inspeções nos equipamentos durante o processo de colheita; na produção de sementes, as mesmas são limpas, embaladas e armazenadas em melhores condições do que o grão.

Mesmo assim, alguns produtores consideram mais econômico deixar as sementes secarem no campo, embora ignorem que, além de perdas na sua qualidade fisiológica, pode ocorrer um maior ataque de patógenos e insetos, bem como perdas quantitativas com chuvas, granizo e ventos fortes (DAVILA, 1986).

Para Delouche (1968), a deterioração é inexorável, irreversível e progressiva, e tanto Moore (1971) como França Neto (1984) consideram que as maiores perdas ocorrem quando as sementes secas ficam expostas à água da chuva ou do orvalho. A deterioração de sementes, que é intensificada por altas temperaturas e/ou por oscilações de umidade, ocorre quando a respiração, a degradação de lipídios, de proteínas e o desenvolvimento de microorganismos aumentam e a atividade enzimática é reduzida e conseqüentemente, afetam a germinação e o vigor das sementes.

Os estados iniciais de deterioração são geralmente superficiais, não provocando perdas imediatas do potencial germinativo, enquanto exposições sucessivas e intensas podem reduzir o vigor e a germinação. Por outro lado, para AHRENS & PESKE (1994), a absorção de umidade pela semente no campo, pronta para ser colhida, pode ser apontada como a principal causa para a sua baixa qualidade.

2.5 Ponto de Colheita

De acordo com Abreu et al (1992), a colheita é a atividade mais arriscada em relação a qualidade do produto, e que mais demanda mão de obra e recursos do agricultor, tornando fundamental a identificação do momento certo para seu início.

A operação de colheita normalmente não coincide com os valores máximos de germinação e de vigor das sementes, os quais ocorrem no momento de maturidade fisiológica. Saliencia-se que procedimentos adequados de colheita devem ser determinados para cada variedade cultivada em uma dada região. Os grãos longos e muito finos de certas variedades se quebram com maior facilidade, enquanto que variedades de maturação desuniforme tendem a produzir um excessivo número de grãos imaturos (WEBB, 1980). Quando mal conduzida, a colheita acarreta perdas, comprometendo os esforços e os investimentos dedicados à cultura durante todo o processo de produção.

Na cultura do arroz a colheita precoce pode corresponder à excessiva quantidade de sementes imaturas, mal formadas e chochas, resultando em diminuição do rendimento, baixo vigor e qualidade das sementes, que se apresentam com alto conteúdo de umidade e freqüentemente gessadas, ou seja, com formação incompleta dos grãos de amido em determinadas partes do endosperma. A colheita precoce somente é justificada por aumentar o período de tempo disponível para o preparo do solo para a próxima semeadura e por reduzir o período em que a cultura é suscetível ao ataque de insetos e pássaros.

Com a colheita tardia ocorre o trincamento de sementes, o aumento da debulha natural e o acamamento das plantas. A colheita tardia também expõe a lavoura a riscos climáticos e ao ataque de insetos, doenças e pássaros, reduzindo a produtividade, bem como acelera o processo de deterioração das sementes (GOMES & MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

Nesse sentido, Fonseca & Silva (1999) relatam que o arroz atinge o ponto de maturidade adequado para a colheita quando dois terços dos grãos/sementes da panícula atingem pleno amadurecimento e apresentam coloração característica da variedade o que geralmente coincide com o ciclo da cultura. Contudo, essa metodologia torna duvidosa a eficiência e uniformidade desse processo de determinação, pois é variável de produtor para produtor.

De acordo com estudos realizados no Rio Grande do Sul, o arroz deve ser colhido com umidade de sementes entre 20% e 26%. Dessa maneira, seria ideal realizar a colheita, perto à maturidade fisiológica, ou seja, após a estabilização da translocação da matéria seca às sementes, quando alcançam o potencial máximo de germinação e vigor (JACINTO & CARVALHO, 1974; MARCOS FILHO *et al.*, 1981; MARCOS FILHO *et al.*, 2005).

O momento ideal para a colheita de sementes depende de vários fatores, dentre os quais o conhecimento do processo de maturação das sementes da variedade cultivada. As sementes maduras são fisiologicamente independentes da planta mãe, de modo que se permanecerem no campo durante o período de tempo prolongado, após atingirem a maturidade, sua qualidade geralmente é prejudicada. Esse fato foi evidenciado em pesquisas efetuadas por Azevedo (1975).

O Conhecimento da melhor época de colheita é imprescindível para a produção de sementes de alta qualidade. Sua determinação baseia-se geralmente em apenas dois parâmetros: o teor de umidade das sementes e o aspecto das plantas. Entretanto, esses parâmetros nem sempre são suficientes para indicar o momento mais favorável. Assim, um maior conhecimento da maturação fisiológica das sementes torna-se necessário.

2.6 Ponto de Maturidade Fisiológica

Existem várias definições e, conseqüentemente, muitas controvérsias em relação ao momento exato em que a semente atinge a maturidade fisiológica. De um modo geral, os tecnologistas de sementes admitem que a maturidade fisiológica ocorre quando as sementes não mais apresentam acréscimos significativos no peso da matéria seca.

Para Popinigis (1985) a maturidade é atingida quando a semente apresenta valores máximos de massa seca, poder germinativo e vigor, além de acentuada redução no teor de água, alterações visíveis no aspecto externo de frutos e sementes, que culmina com máxima capacidade germinativa e vigor das mesmas. Nesse ponto, as sementes desligam-se da planta mãe, cessa a translocação de

fotossintetizados e a partir daí, ocorrem alterações fisiológicas que levam a secagem das sementes (BARROS, 1986).

Devido aos aspectos já mencionados, fica claro que o ponto ideal de colheita deveria ser aquele em que a semente atinge a maturidade fisiológica, pois após esse processo o único fato significativo que ocorre nas sementes é uma rápida desidratação. Logicamente a colheita realizada nesse ponto traz muita dificuldade ao produtor, devido a problemas enfrentados com a mecanização deste processo.

2.7 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é a ciência de obter informação sobre um objeto sem estar em contato físico direto. O sensoriamento remoto pode ser usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra (JENSEN, 2009).

Um sensor remoto óptico orbital é um dispositivo sensível à radiação eletromagnética (REM) refletida e/ou emitida pelos objetos da superfície terrestre. Cada sensor possui características próprias que variam de acordo com a finalidade para que este fora projetado. Neste sentido, serão definidos os conceitos de resolução espectral, espacial e temporal.

2.7.1. Resolução Espectral

A resolução espectral do sensor é definida pelo intervalo do espectro eletromagnético (banda espectral) a que o sensor é sensível. Quanto mais estreito este intervalo, maior a resolução espectral do sensor. Além disso, a resolução espectral também está relacionada ao número de bandas que o sensor apresenta. Normalmente, os sensores remotos orbitais de monitoramento dos recursos terrestres possuem bandas distribuídas na porção visível (VIS) (0,4 a 0,7 μm), infravermelho próximo (IVP) (0,7 a 1,3 μm) e infravermelho médio (IVM) (1,3 a 3,0 μm) do espectro eletromagnético. Alguns sensores possuem uma banda denominada pancromática, que é uma banda sensível a uma faixa maior do

espectro eletromagnético, geralmente compreendendo porções do (VIS) e do IVP. Tratando-se de aplicações envolvendo monitoramento agrícola, é preferível que se utilizem sensores que possuam pelo menos uma banda em cada porção do espectro eletromagnético citadas anteriormente (VIS, IVP e IVM), já que os alvos de interesse agrícola possuem comportamentos distintos nestas porções espectrais.

2.7.2. Resolução Espacial

A resolução espacial é o tamanho da menor área possível de ser individualizada pelo sistema sensor. É definida pela altitude do satélite e principalmente pela projeção de cada detector do sistema sensor sob a superfície terrestre (IFOV – *Instantaneous Field of View*). Neste caso, quanto maior a resolução espacial, menor é objeto possível de ser individualizado pelo sistema sensor.

2.7.3. Resolução Temporal

A resolução temporal é definida pelo tempo entre a aquisição de duas imagens correspondentes a mesma porção da superfície da Terra pelo mesmo sistema sensor. Em sensores de imageamento sistemático a resolução temporal está intimamente relacionada ao campo de visada do sensor (FOV – *Field of View*). Quanto maior o FOV, maior a faixa imageada em cada passagem do satélite e, conseqüentemente, menor o tempo para o sensor imagear toda a superfície terrestre, o que aumenta a resolução temporal.

Cabe aqui salientar que existe um compromisso entre a resolução temporal, a resolução espacial e a faixa imageada em cada passagem do satélite. Como a resolução espacial está relacionada à projeção de um detector sob a superfície terrestre, quanto menor a área individualizada por cada detector, menor a faixa imageada em cada passagem do satélite e maior o tempo para cobertura total da Terra, diminuindo a resolução temporal e vice-versa.

Além disso, o fato de um sensor possuir resolução temporal de, por exemplo, 2 dias, não significa que disporemos de imagens úteis com este intervalo

e tempo. Como a REM detectada pelos sensores ópticos é espalhada pelas nuvens, sua presença impede a chegada da REM provinda da superfície da Terra até o sistema sensor e inviabiliza a utilização das imagens, para fins de monitoramento da superfície.

2.7.4 Sensor MODIS

O sensor MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) está a bordo dos satélites Terra, com órbita descendente de passagem pelo equador às 10:30, e Aqua com órbita ascendente de passagem pelo equador às 13:30, hora local. Estes satélites fazem parte do projeto EOS (Earth Observing System) formado por diversos países, que se constitui de uma série de plataformas para monitoramento terrestre em praticamente todas as áreas de conhecimento (Rizzi, 2004). O MODIS possui 36 bandas espectrais, resolução espacial de 250 metros nas duas primeiras bandas (correspondentes ao V e IVP do espectro eletromagnético), 500 metros nas bandas 3 a 7 e 1000 metros nas demais 29 bandas. Estas estão posicionadas a partir do comprimento de onda de 0,405 até 14,385 μm , com resolução espectral variando entre 10 e 500 nm (MODIS, 2003). O MODIS possui resolução temporal diária para as latitudes entre aproximadamente 30° Norte e 30° Sul e de dois dias para as demais porções da Terra. Além disso, as imagens são distribuídas gratuitamente pela internet com correções radiométricas e geométricas previamente realizadas e também sob a forma de produtos para uso.

2.8 Índices de Vegetação

As faixas espectrais do espectro VIS correspondente as cores vermelho, verde e azul são altamente absorvidas pelos pigmentos fotossintéticos das plantas e, conseqüentemente, resultando em baixa refletância. Em contrapartida a faixa da REM correspondente ao IVP é altamente refletida pela estrutura interna das folhas vegetais. Na porção do espectro eletromagnético correspondente ao IVM, a reflectância das plantas verdes diminui consideravelmente em relação ao IVP,

principalmente em função das fortes bandas de absorção da água, em torno de 1,4; 1,9 e 2,7 μm .

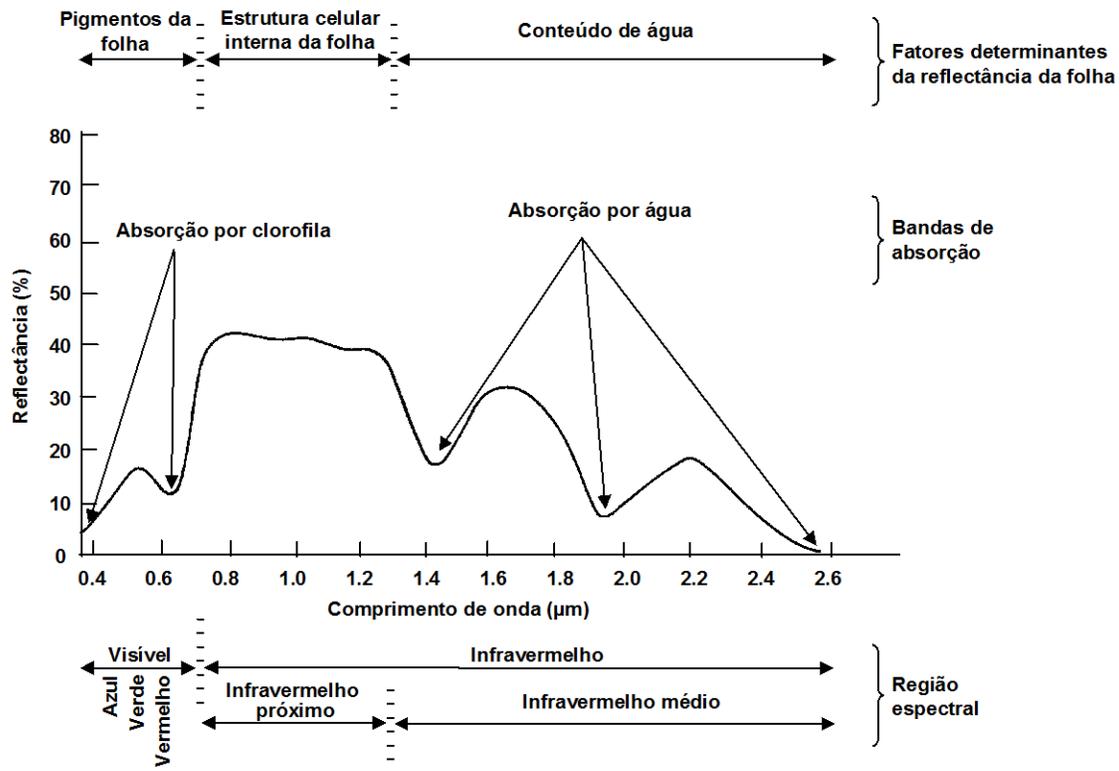


Figura 1 - Resposta espectral típica da vegetação fotossinteticamente ativa.

FONTE: Leblon, (1997).

Índices de vegetação (IVs) são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (Jensen, 2009).

Para a composição de um índice de vegetação utilizam-se, principalmente, os comprimentos de onda do IVP e do V, sendo que quanto maior for a quantidade de biomassa das plantas em uma área maior será a sua reflectância no IVP e menor no V.

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Equação 1) é o índice mais usado em pesquisas relacionadas com a dinâmica da cobertura vegetal. Embora numericamente os valores do NDVI possam variar entre -1 e 1, a vegetação está associada aos valores positivos do NDVI. Superfícies que refletem

mais intensamente na porção do V em comparação ao IVP (nuvens, água e neve) apresentam NDVI negativo. Solos descobertos e rochas geralmente refletem o Vermelho e o IVP quase na mesma intensidade, por conseguinte, seu NDVI é baixo (Lillesand e Kiefer, 1994).

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Apesar de sua grande utilização, o NDVI tem se mostrado sensível a influência de fundo do dossel (palha e solo) e aos gases e vapor de água constituintes na atmosfera, fato que pode influenciar no correto monitoramento de espécies vegetais.

O *Enhanced Vegetation Index 2* (EVI2) (Equação 2) proposto por Jiang et al. (2008), foi concebido para melhorar o sinal da vegetação, minimizando a influência do fundo do dossel e dos constituintes atmosféricos.

$$EVI2 = 2,5 \frac{IVP - V}{IVP + 2,4V + 1}$$

O EVI, altamente correlacionado com o EVI2 (JIANG et al., 2008), é mais sensível que o NDVI para o incremento de biomassa (HUETE et al., 2002). Sendo a biomassa do arroz irrigado menor do que as de áreas florestais, várias pesquisas demonstram a possibilidade do monitoramento de culturas agrícolas por meio dos índices de vegetação EVI e NDVI (SAKAMOTO et al., 2005) (D'ARCO, 2007).

Conforme pode ser observado na Figura 1, as plantas verdes apresentam maior absorção dos comprimentos de onda na faixa do VIS e maior reflectância na faixa do IVP.

Como a absorção dos comprimentos de onda do visível está relacionada à quantidade de pigmentos que utilizam esta energia nos processos fotossintéticos, quanto maior for a quantidade destes pigmentos maior será a absorção no visível, assim como quanto maior for o índice de área foliar (IAF) maior será a reflectância no infravermelho próximo.

A figura 2 explicita a relação entre reflectância e quantidade de folhas para cultura do milho. Este fato acontece para grande parte das espécies vegetais, fazendo com que o aumento do IAF acabe saturando a porcentagem de

reflectância da área, os acréscimos na reflectância são menores a medida que aumenta o IAF do dossel.

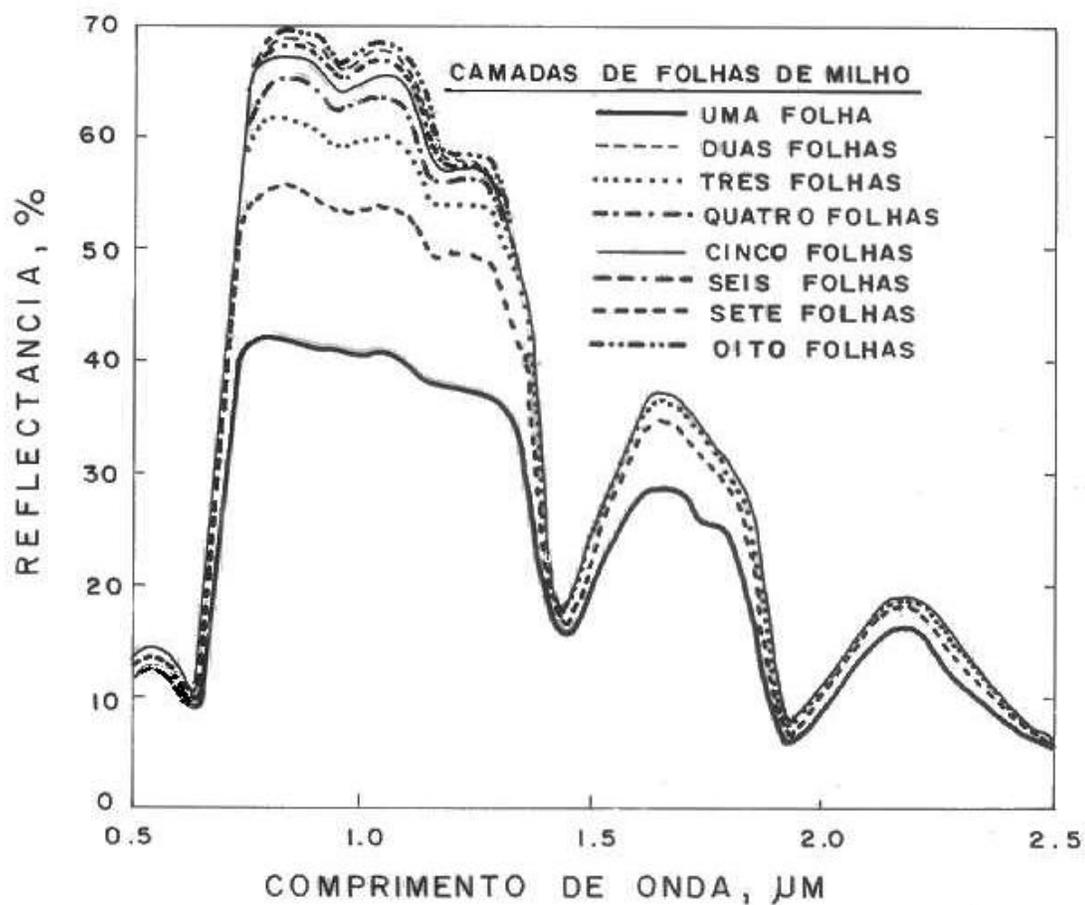


Figura 2 – Fator de reflectância de folhas de milho sobrepostas.

FONTE: Gausman et al. (1976).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado por meio da análise de dados fornecidos por orizicultores da região sul do Rio Grande do Sul e imagens do sensor MODIS a bordo dos satélites TERRA e AQUA, disponibilizadas na internet (<https://wist.echo.nasa.gov/>) pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). As imagens do sensor MODIS são distribuídas com correções radiométricas (espalhamento e absorção atmosférica) e geométricas previamente realizadas.

Foram avaliadas 12 lavouras localizadas a leste e a oeste da Lagoa Mirim, divididas em duas propriedades, cinco pertencentes à Fazenda Figueira, no município de Arroio Grande, e sete pertencentes à empresa Granja Quatro Irmãos, no município de Rio Grande.

Tabela 2 – Talhões experimentais.

TALHÃO	CULTIVAR	CICLO	ÁREA (ha)	PRODUTIVIDADE
1	IRGA 422 CL	médio	350,0	
2	BRS QUERÊNCIA	precoce	170,0	
3	IRGA 410	médio	200,0	
4	BRS QUERÊNCIA	precoce	73,0	
5	IRGA 424	médio	105,0	
6	BRS QUERÊNCIA	precoce	130,0	
7	BRS QUERÊNCIA	precoce	300,0	8.435 kg/ha
8	IRGA 424	médio	297,6	10.135 Kg/ha
9	IRGA 422	médio	58,0	7.350 Kg/ha
10	BRS QUERÊNCIA	precoce	400,0	8.535 Kg/ha
11	IRGA 424	médio	180,0	9.400 Kg/ha
12	AVAXI CL	híbrido - precoce	200,0	10.775 Kg/ha

Tabela 3 – Estádios fenológicos de cada talhão.

TALHÃO	CULTIVAR	SEMEADURA	V4	R1	R6	COLHEITA
1	IRGA 422 CL	6/10/2008	13/11/2008	25/12/2008	2/3/2009	20/4/2009
2	BRS QUERÊNCIA	25/10/2008	25/11/2008	2/1/2009	21/2/2009	31/3/2009
3	IRGA 410	5/10/2008	7/11/2008	16/12/2008	18/2/2009	2/4/2009
4	BRS QUERÊNCIA	20/10/2008	20/11/2008	31/12/2008	18/2/2009	25/3/2009
5	IRGA 424	25/9/2008	3/11/2008	11/12/2008	18/2/2009	29/3/2009
6	BRS QUERÊNCIA	2/10/2008	2/11/2008	20/12/2008	7/2/2009	16/3/2009
7	BRS QUERÊNCIA	2/10/2008	8/11/2008	19/12/2008	16/2/2009	14/3/2009
8	IRGA 424	29/9/2008	7/11/2008	18/12/2008	27/2/2009	23/3/2009
9	IRGA 422	1/10/2008	8/11/2008	16/12/2008	16/2/2009	5/3/2009
10	BRS QUERÊNCIA	26/9/2008	4/11/2008	12/12/2008	7/2/2009	2/3/2009
11	IRGA 424	30/9/2008	8/11/2008	20/12/2008	2/3/2009	28/3/2009
12	AVAXI CL	8/10/2008	10/11/2008	20/12/2008	16/2/2009	12/3/2009

Para fins do experimento as áreas foram nomeadas em talhões numerados.

Foram utilizadas uma cultivar de ciclo precoce (BRS Querência), quatro cultivares de ciclo médio (IRGA 424, IRGA 410, IRGA 422, IRGA 422 CL) e um híbrido de ciclo precoce da empresa RiceTec (Avaxi Cl).

Os estádio fenológicos observados foram conforme o proposto por Counce, Keisling e Mitchell (2000), sendo o estágio V4 correspondente a formação do 4º colar de crescimento vegetativo, o estágio R1 como o primeiro estágio reprodutivo marcado pela diferenciação da panícula e o estágio R6 onde a planta apresenta as sementes “leitosas” expandindo-se em espessura.

Os limites dos talhões de arroz foram obtidos através do uso de dados coletados por receptor GPS de navegação, com posterior delimitação dos talhões em uma imagem do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT 5, adquirida em 29/04/2009, conforme as figuras 3 e 4.



Figura 3 – Imagem do sensor Landsat TM, adquirida em 29/04/2009. Delimitação das áreas de estudo da Fazenda Figueira.



Figura 4 - Imagem do sensor Landsat TM, adquirida em 29/04/2009. Delimitação das áreas de estudo da Granja Quatro Irmãos.

Na análise, utilizaram-se imagens diárias com resolução espacial de 250 metros, adquiridas pelo sensor MODIS a bordo dos satélites Terra (produto MOD09GQ) e Aqua (produto MYD09GQ). Assim, obtiveram-se duas imagens para cada dia, abrangendo desde o período que antecede a semeadura até o que precede a colheita. As imagens foram transformadas no IV EVI2. Em seguida, visando minimizar a interferência atmosférica, as duas imagens diárias foram analisadas em conjunto, gerando-se uma imagem composta contendo os valores máximos dos IVs ocorridos para cada pixel. Então, a partir dos limites das lavouras, obteve-se a média de ambos os IVs para cada lavoura, para cada imagem diária, o que permitiu a definição do perfil temporal dos IVs (em períodos não regulares de tempo) para cada lavoura.

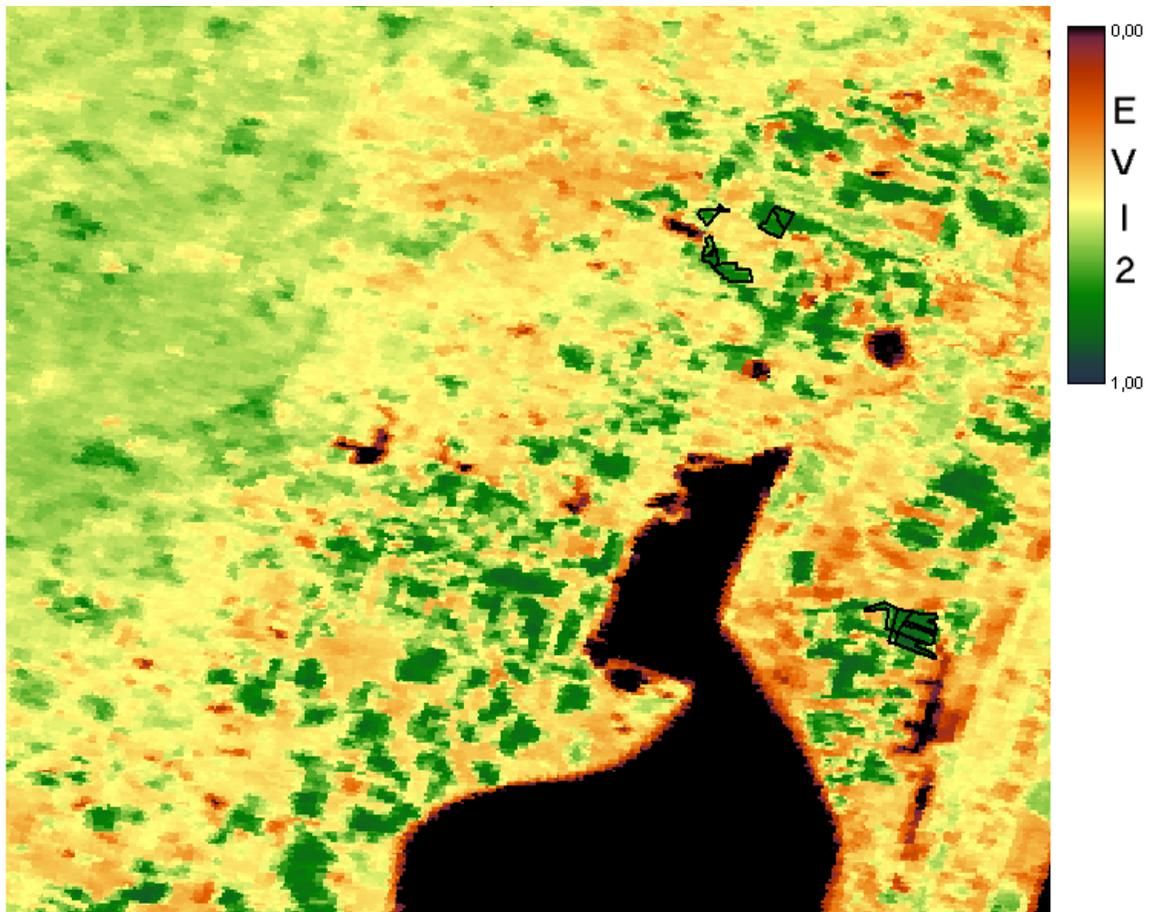


Figura 5 – Imagem do sensor MODIS EVI2, adquirida em 05/01/2009, do talhão que engloba a parte norte da Lagoa Mirim.

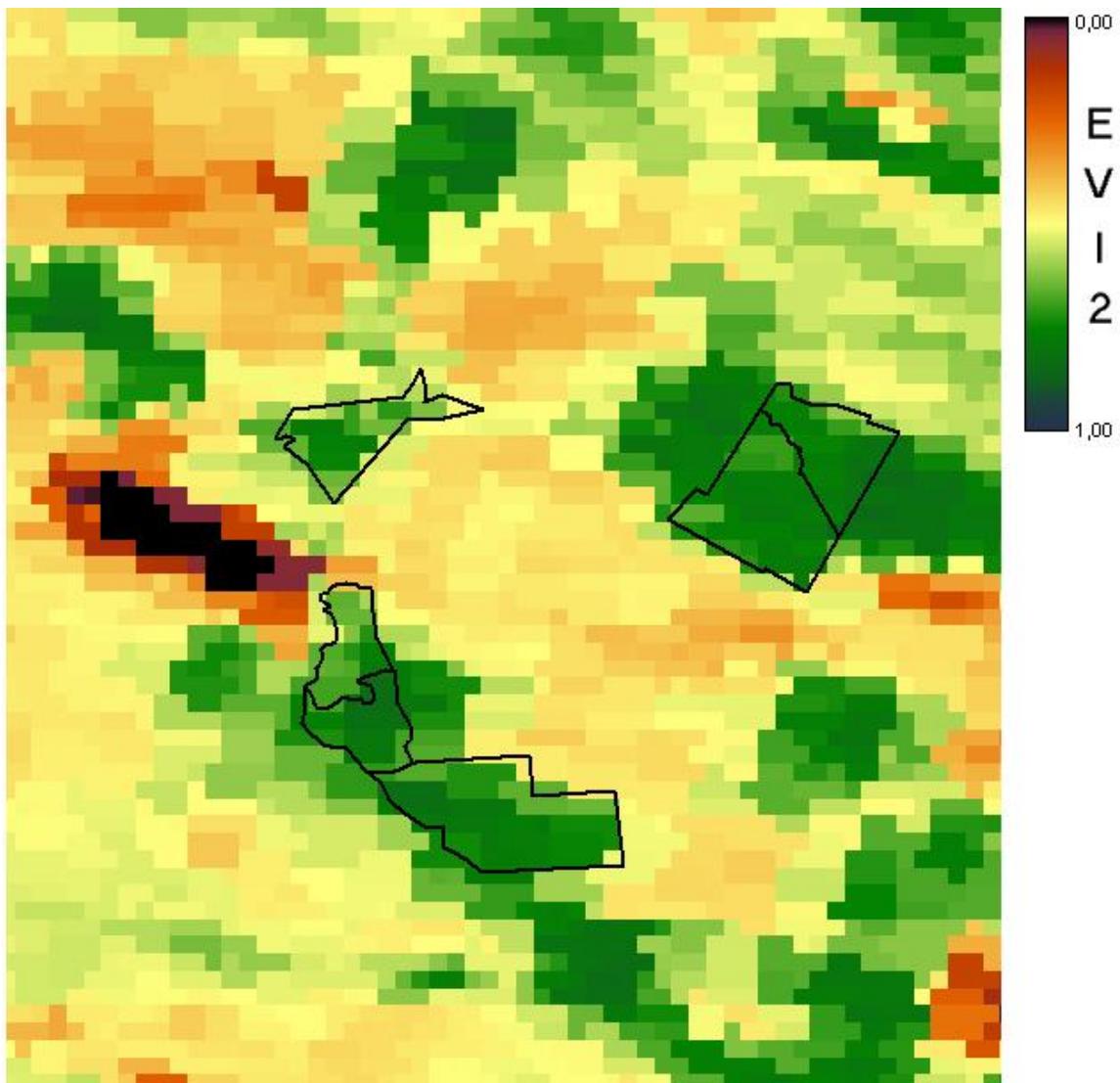


Figura 6 – Imagem do dia 05/01/2009 sobreposta pela delimitação dos talhões referentes às áreas da Fazenda Figueira.

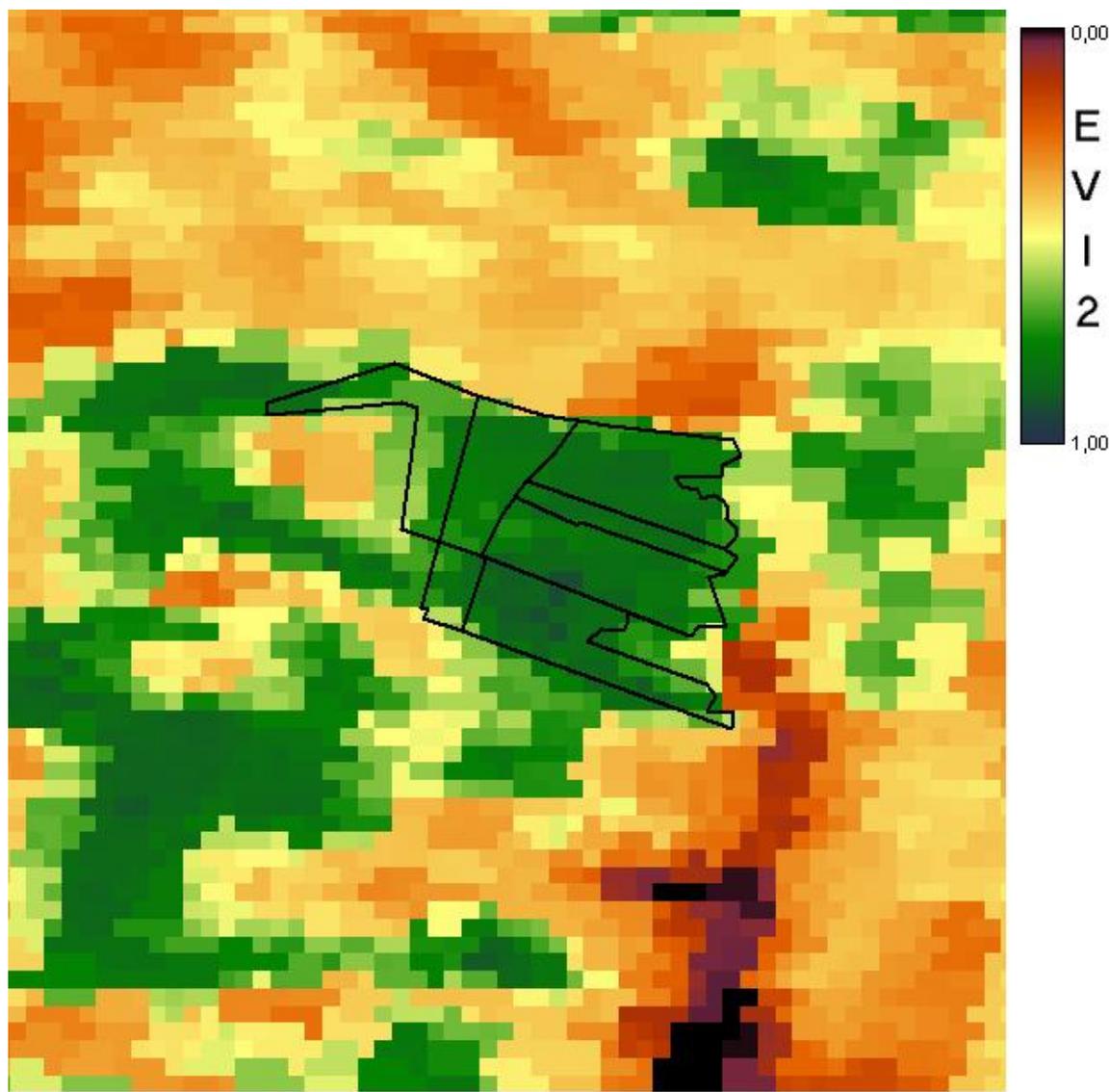


Figura 7 – Imagem do dia 05/01/2009 sobreposta pela delimitação dos talhões referentes às áreas da Granja 4 Irmãos.

Para alguns dias os valores de EVI2 obtidos mostraram-se muito discrepantes, sendo isto devido à presença de nuvens ou ruídos inerentes ao processo de imageamento. Assim, de forma interativa, foram eliminadas as imagens dos dias problemáticos e utilizaram-se apenas as imagens adquiridas em dias em que o índice aparentemente poderia representar com clareza o comportamento espectral das áreas de arroz.

A figura 8 apresenta os valores de EVI2 para todos os dias do período analisado, para o talhão 11.

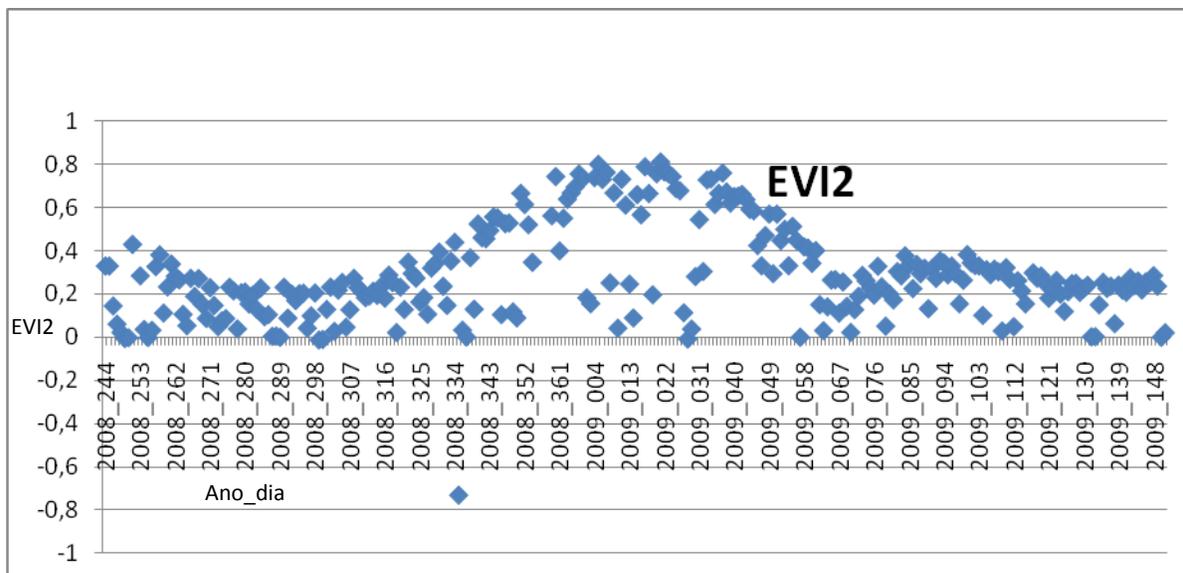


Figura 8 – Evolução temporal do EVI2, para o talhão 11.

Conforme mostrado na figura 8, há disponibilidade diária das imagens adquiridas pelo sensor MODIS nos dois satélites (Aqua e Terra), sendo possível a elaboração diária do índice utilizado neste trabalho, para cada lavoura. Entretanto, a ocorrência de cobertura de nuvens impossibilita a utilização da imagem para fins de monitoramento da superfície. Desta forma, a segunda parte da análise constituiu em eliminar os dias em que as imagens estavam contaminadas por nuvens e/ou ruídos. Para tanto, efetuou-se uma análise visual das imagens em cada dia analisado, para cada talhão. Quando uma imagem estava visualmente contaminada por nuvens, o valor do índice para o dia e lavoura foi descartado.

Além disso, foram excluídas da análise as imagens cujos valores de EVI2 eram consideravelmente diferentes (alterações bruscas nos valores) em aos valores de dias próximos (anteriores e posteriores) e que, em função disso, poderiam não estar representando a real condição de vegetação naquela lavoura.

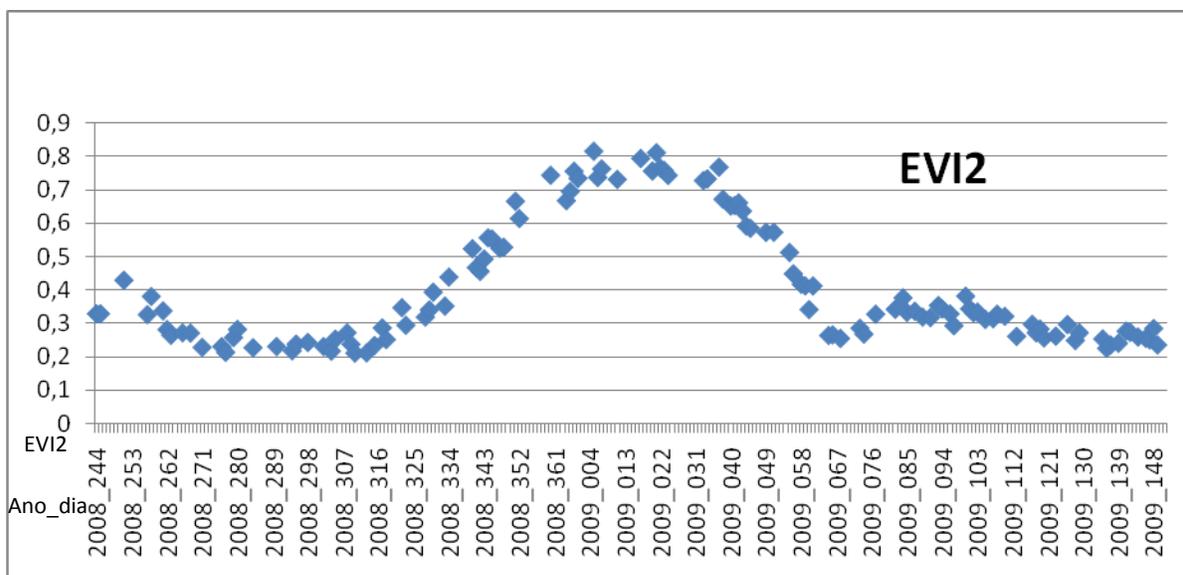


Figura 9 – Evolução temporal do EVI2, para o talhão 11

A figura 9 mostra o perfil temporal do EVI2 após o processamento das imagens do talhão 11 no período de 31/08/2008 (dia 244 de 2008) até 31/05/2009 (dia 151 de 2009).

Pela figura 9, percebe-se que, apesar da seleção visual e exclusão das imagens contaminadas por nuvens e da eliminação daquelas que apresentam valores aparentemente inconsistentes, ainda existe uma ligeira variação nos valores do EVI2 em um curto intervalo de tempo (1 ou 2 dias). Como as imagens MODIS utilizadas são atmosféricamente corrigidas, tais variações podem estar associadas à diferentes posições da lavoura no sentido transversal à faixa de imageamento do sensor.

Devido a larga faixa de imageamento do MODIS (2.330 km), um mesmo talhão pode estar “posicionado” mais próximo ou afastado do centro da faixa imageada (nadir) pelo sensor. Como a resolução espacial tende a diminuir à medida que se afasta do centro da faixa imageada, os pixels posicionados nas bordas das imagens detectam a radiância provinda de uma área maior da superfície terrestre (com a diminuição da resolução espacial, há um aumento da área da superfície terrestre que contribui para a formação do pixel), o que pode alterar o valor do EVI2 sob área vegetadas, em relação aos pixels posicionados no centro da faixa, provocando variações nos valores de IV para uma mesma lavoura mesmo que as condições da vegetação não tenham se alterado.

Em função disso, optou-se por escolher os dias que apresentassem os valores maiores do EVI2. Além de disponibilizar as imagens MODIS geométrica e atmosféricamente corrigidas, a NASA disponibiliza informações sobre a geometria de cada cena imageada. Desta forma pode-se inferir sobre a posição de cada talhão no sentido transversal à órbita no momento de aquisição de cada imagem. Assim, poder-se-ia selecionar as imagens referentes aos dias em que os talhões estão posicionados próximo do centro da órbita do MODIS (até $\pm 20^\circ$ fora do nadir, por exemplo) e que, possivelmente, possuem maior qualidade geométrica e radiométrica. Entretanto, isto poderia provocar a exclusão de boa parte das imagens, que, aliada a intensa presença de nuvens, poderia inviabilizar a análise por falta de imagens nos principais períodos estudados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os gráficos de perfil espectro-temporal para arroz irrigado associados às datas de ocorrência dos diferentes estádios analisados podem-se fazer algumas considerações envolvendo o período de cultivo e sua relação com o EVI2.

No período da semeadura nota-se a constante redução dos valores de EVI2 devido à morte das plantas daninhas existentes em função da aplicação de herbicidas. Esta diminuição segue até o estádio V4, pois as plântulas de arroz começam a emergir em seqüência da morte das plantas daninhas e concomitante a grande exposição de solo neste período. O estádio V4 marca o momento da aplicação da primeira dose de adubação nitrogenada e a colocação da lâmina de água sobre a área, de forma que enquanto a presença de água causa diminuição nos valores de EVI2, em contrapartida a adubação nitrogenada disponibiliza nitrogênio para as plântulas (mais rapidamente devido à solubilização) acarretando acelerado desenvolvimento vegetativo e conseqüentemente espera-se um aumento do IAF e cobertura total do solo/lâmina de água.

Na seqüência da evolução da lavoura é importante o estádio R1, que caracteriza a diferenciação do primórdio floral. Nesta fase acontece a segunda adubação nitrogenada e é quando se define o número de espiguetas de cada panícula.

O estádio R6 caracteriza a floração plena da lavoura, de forma que já está cessado o crescimento vegetativo desde o estádio R2, neste momento a maioria das plantas (colmos principais e afillhos) está com a panícula exposta e as espiguetas abertas. O estádio R6 caracteriza o momento de maior risco de perda de produtividade, não podendo, neste momento, a temperatura ambiental atingir 15°C ou menos.

Está marcada nos gráficos a época em que foi efetuada a colheita, estando nesta época a umidade média dos grãos em 22%.

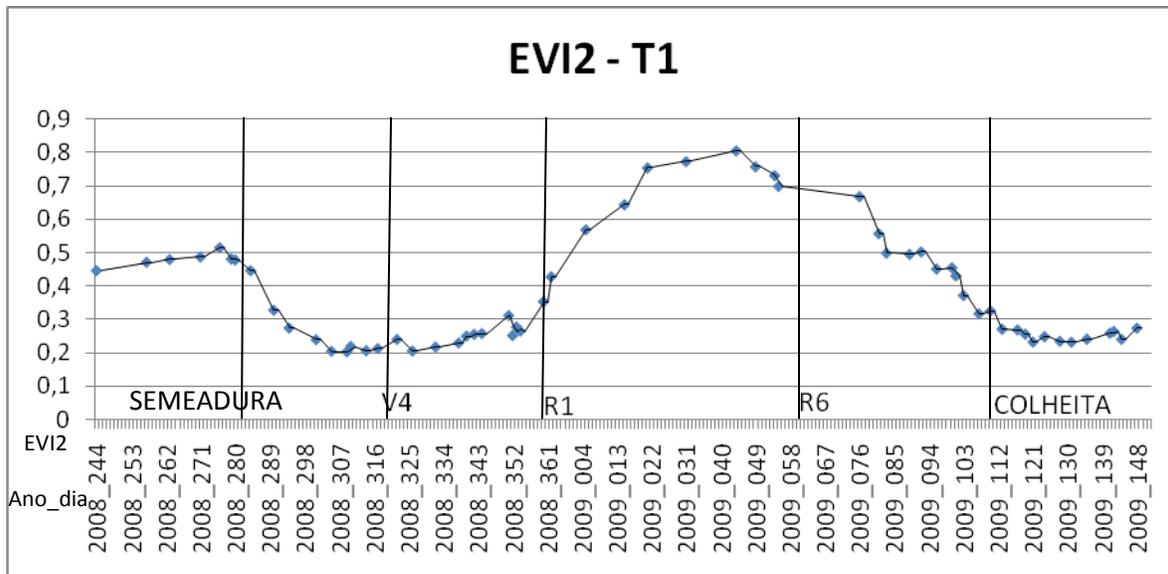


Figura 10 – Evolução temporal do EVI2, para o talhão 01, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 10 representa uma lavoura de 350 hectares da cultivar IRGA 422 CL com data de semeadura em 06/10/2008, estágio V4 em 13/11/2008, estágio R1 em 25/12/2008, estágio R6 em 02/03/2009 e com colheita em 20/04/2009.

Neste talhão devido a presença de plantas na área, provavelmente a dessecação pré-semeadura não tenha sido satisfatória ou tenha-se optado pela aplicação de herbicida pós-semeadura. Até 5-6 dias após a semeadura pode-se aplicar herbicidas não seletivos sem prejudicar a lavoura, pois as plântulas ainda não emergiram do solo, e mesmo que ocorra emergência, o arroz possui uma estrutura de proteção das primeiras folhas nos primeiros dias da emergência (perfil do coleóptilo).

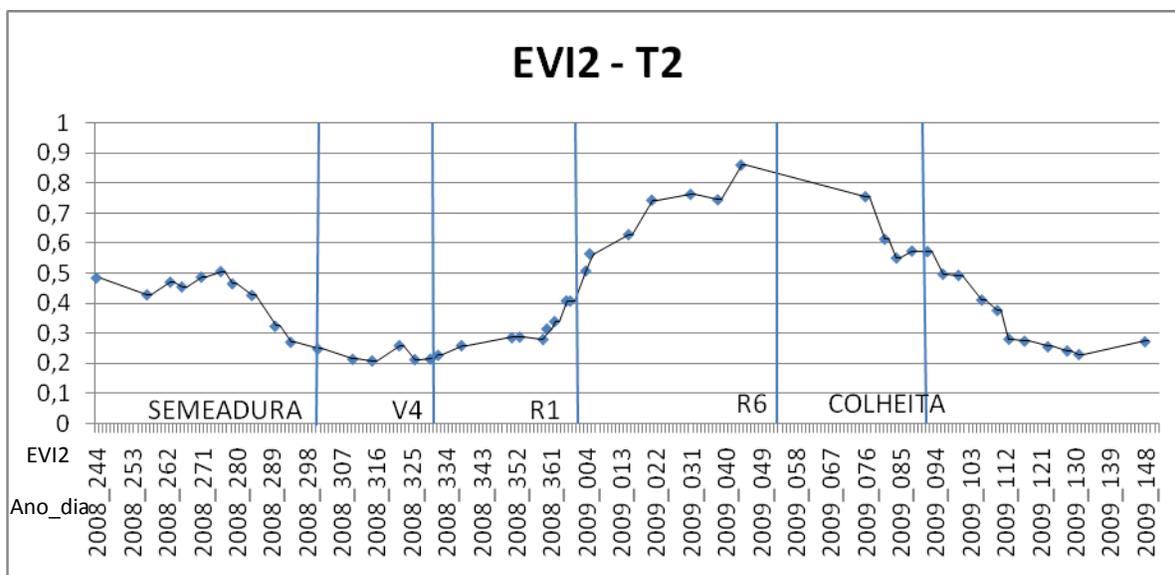


Figura 11 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 02, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 11 representa uma lavoura de 170 hectares da cultivar BRS Querência com data de semeadura em 25/10/2008, estágio V4 em 25/11/2008, estágio R1 em 02/11/2008, estágio R6 em 21/02/2009 e com colheita em 31/03/2009.

Para algumas talhões não se conseguiu aproveitar muitos dias em torno do estágio R6 devido a grande presença de nuvens neste período, fazendo com que a curva normal de comportamento espectral do arroz neste período ficasse desforme.

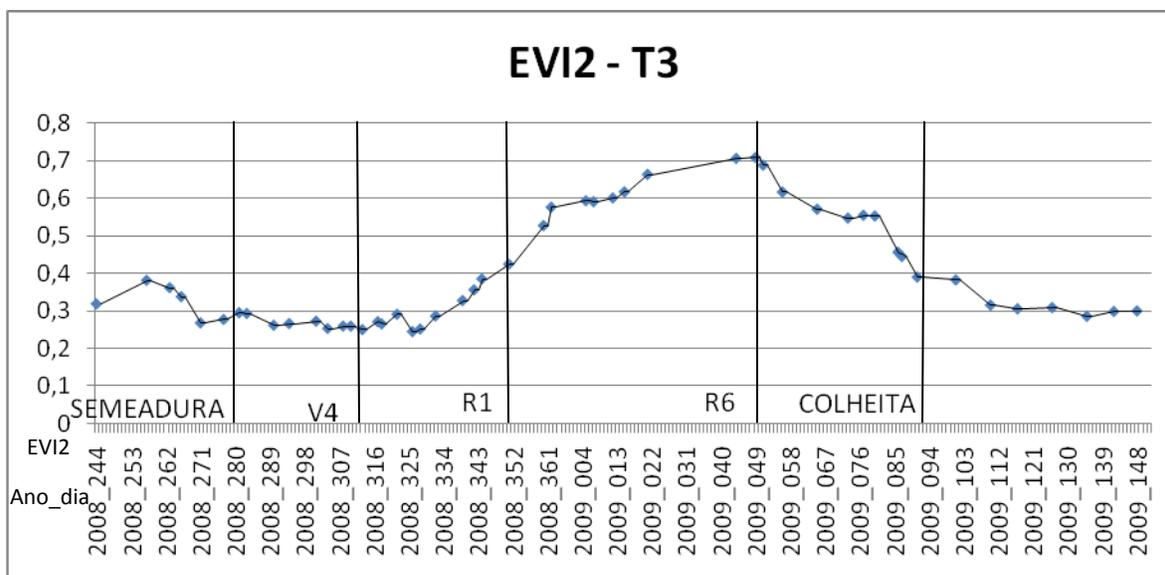


Figura 12 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 03, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 12 representa uma lavoura de 200 hectares da cultivar Irga 410 com data de semeadura em 05/10/2008, estágio V4 em 07/11/2008, estágio R1 em 16/12/2008, estágio R6 em 18/02/2009 e com colheita em 02/04/2009.

Percebe-se que o EVI2 apresenta valores baixos nos dias que antecedem a semeadura (períodos de solo exposto), e começam a aumentar à medida que aumenta a superfície de área foliar e conseqüentemente a cobertura do solo, com conseqüente aumento da reflectância do dossel. O aumento nos valores do EVI2 dá-se de forma rápida a partir da emergência, havendo uma tendência à saturação dos valores por ocasião da época de maior desenvolvimento das plantas, quando o aumento da área foliar modifica pouco o valor do índice. Assim como, há uma diminuição nos valores (queda na curva) por ocasião da diminuição da biomassa do arroz, que segue até o momento da colheita, onde o EVI2 descreve o comportamento espectral, principalmente dos restos culturais que sucedem a colheita.

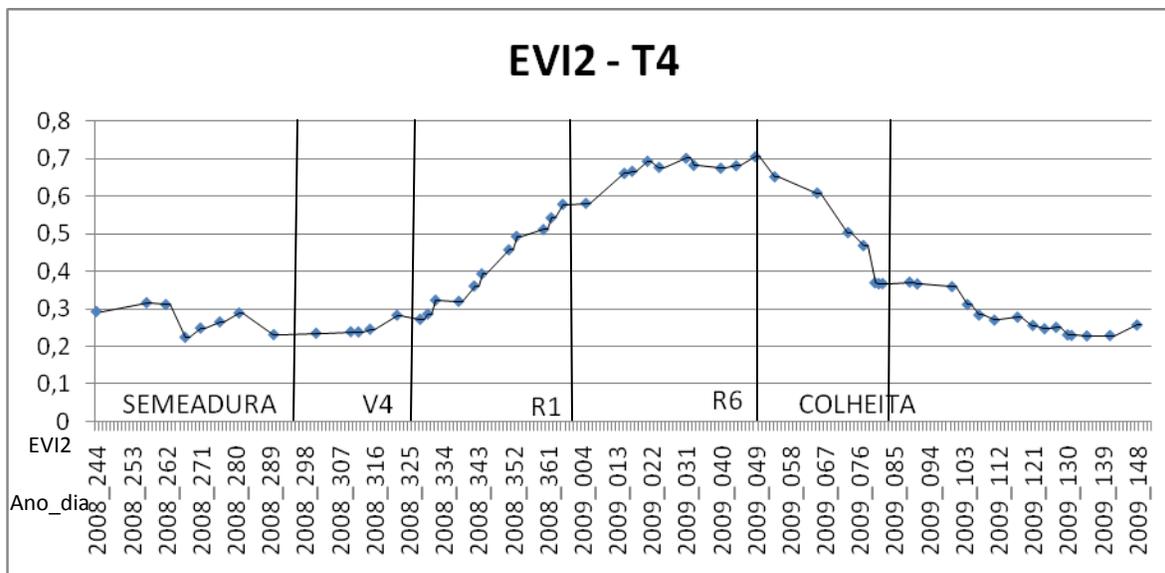
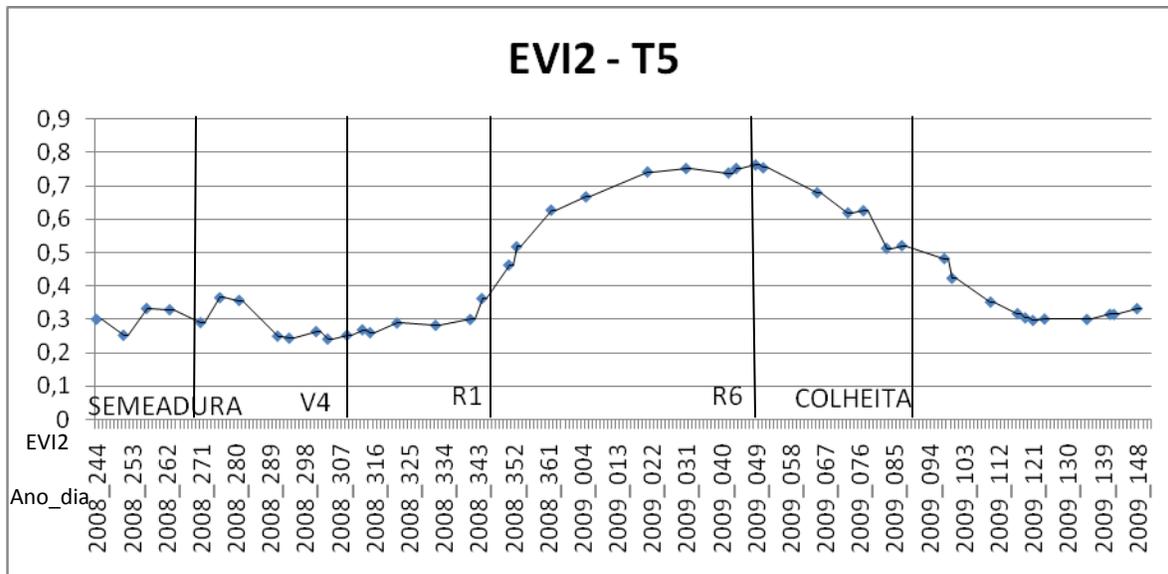


Figura 13 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 04, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 13 representa uma lavoura de 73 hectares da cultivar BRS Querência com data de semeadura em 20/10/2008, estágio V4 em 20/11/2008, estágio R1 em 31/12/2008, estágio R6 em 18/02/2009 e com colheita em 25/03/2009.



A figura 14 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 05, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 14 representa uma lavoura de 105 hectares da cultivar Irga 424 com data de semeadura em 25/09/2008, estágio V4 em 03/11/2008, estágio R1 em 11/12/2008, estágio R6 em 18/02/2009 e com colheita em 29/03/2009.

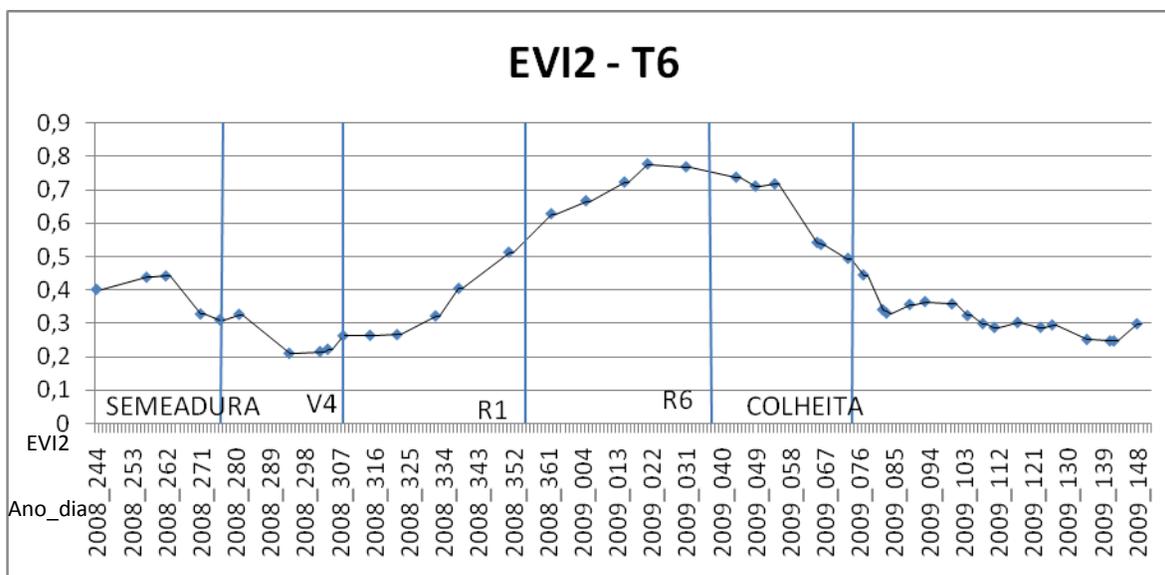


Figura 15 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 06, utilizando apenas o sensor com maior valor seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 15 representa uma lavoura de 130 hectares da cultivar BRS Querência com data de semeadura em 02/10/2008, estágio V4 em 02/11/2008, estágio R1 em 20/12/2008, estágio R6 em 07/02/2009 e com colheita em 16/03/2009.

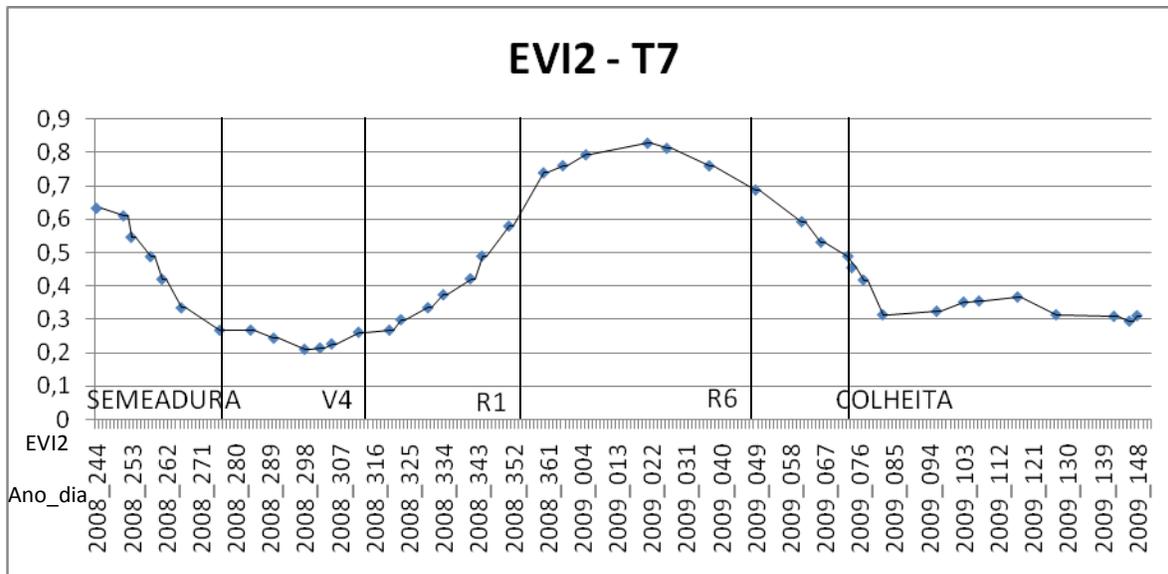


Figura 16 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 07, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, V1, R6, colheita).

A figura 16 representa uma lavoura de 300 hectares da cultivar BRS Querência com data de semeadura em 02/10/2008, estágio V4 em 08/11/2008, estágio R1 em 19/12/2008, estágio R6 em 16/02/2009 e com colheita em 14/03/2009.

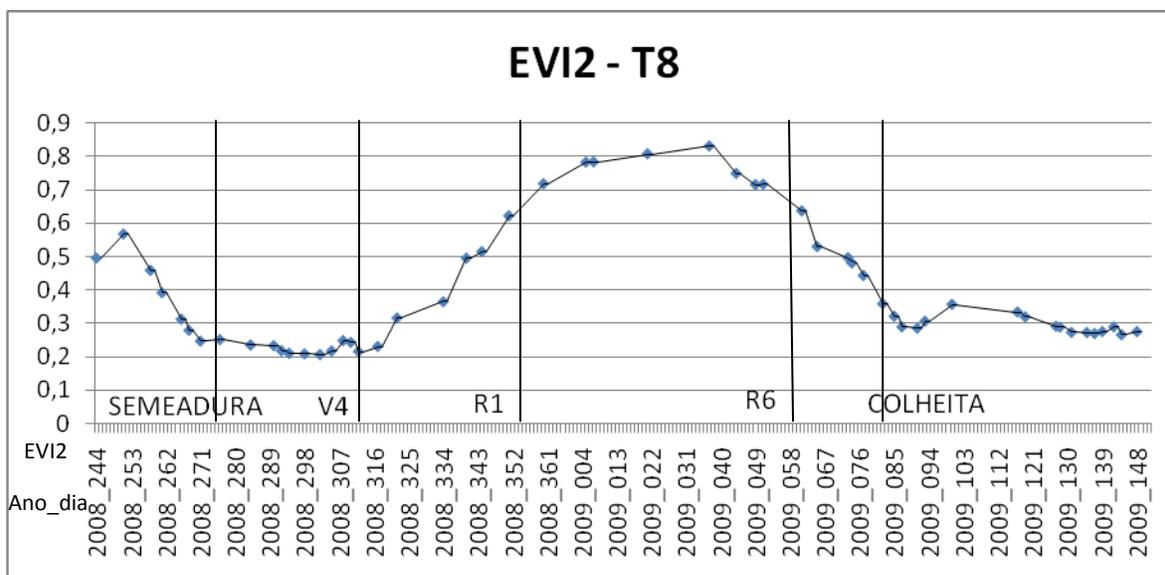


Figura 17 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 08, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 17 representa uma lavoura de 297,6 hectares da cultivar Irga 424 com data de semeadura em 29/09/2008, estágio V4 em 07/11/2008, estágio R1 em 18/12/2008, estágio R6 em 27/02/2009 e com colheita em 23/03/2009.

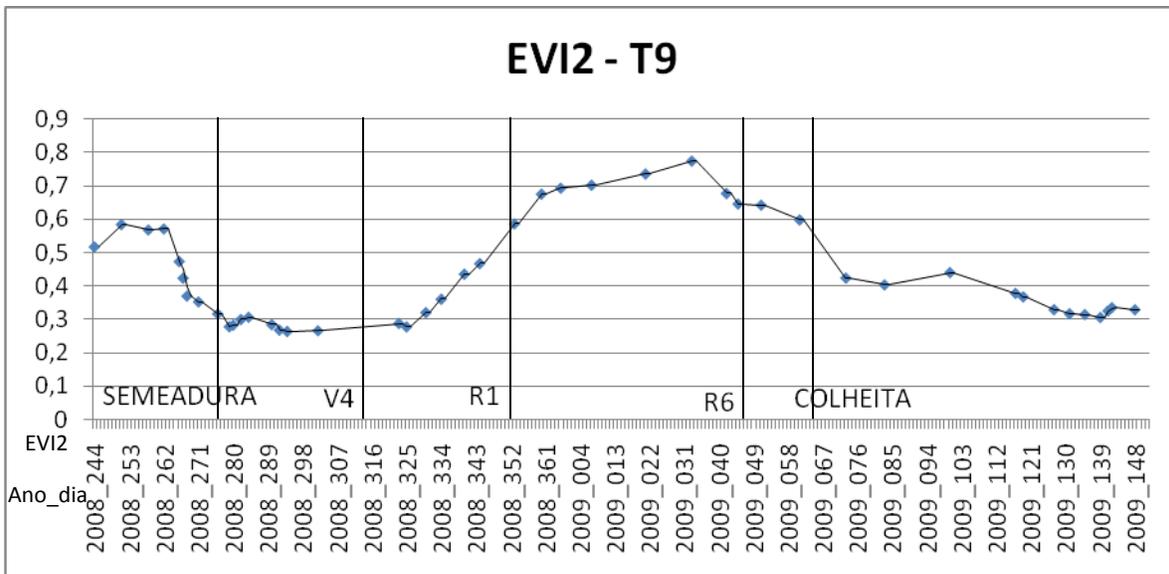


Figura 18 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 09, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 18 representa uma lavoura de 58 hectares da cultivar Irga 422 com data de semeadura em 01/10/2008, estágio V4 em 08/11/2008, estágio R1 em 16/12/2008, estágio R6 em 16/02/2009 e com colheita em 05/03/2009.

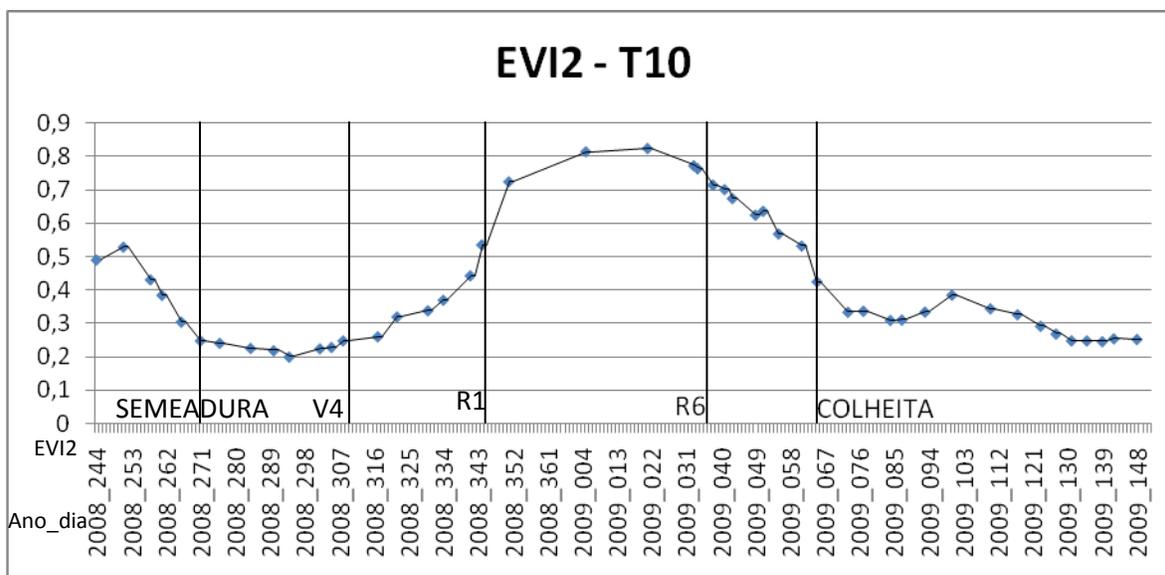


Figura 19 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 10, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 19 representa uma lavoura de 400 hectares da cultivar BRS Querência com data de semeadura em 26/09/2008, estágio V4 em 04/11/2008, estágio R1 em 12/12/2008, estágio R6 em 07/02/2009 e com colheita em 02/03/2009.

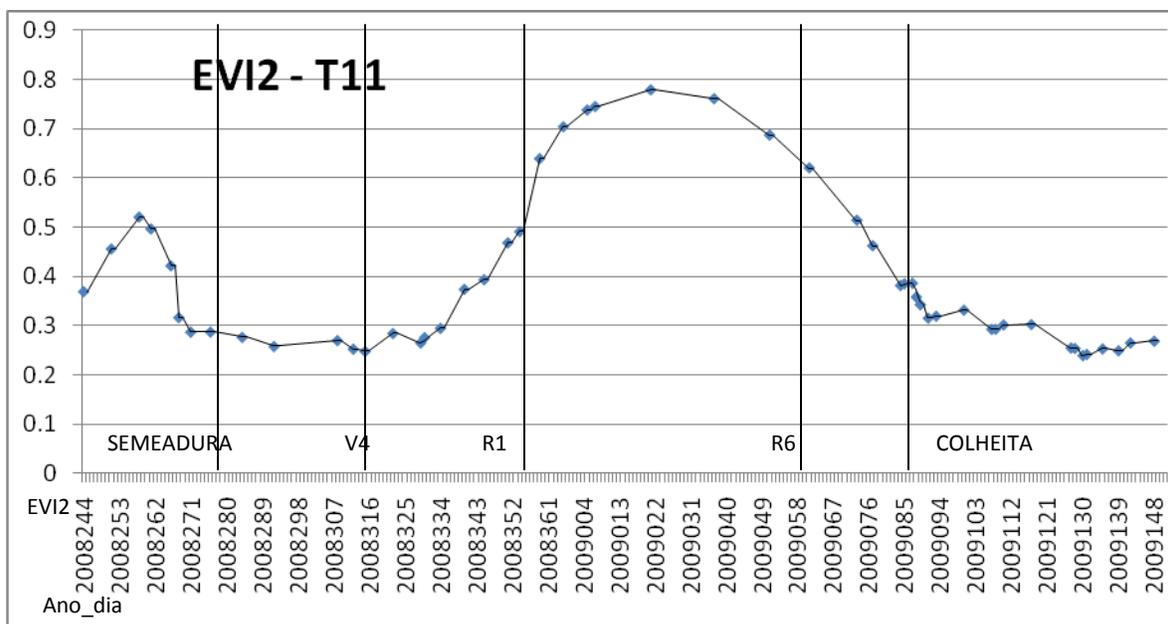


Figura 20 – Evolução temporal do EVI2, para o talhão 11, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 20 representa uma lavoura de 180 hectares da cultivar Irga 424 com data de semeadura em 30/09/2008, estágio V4 em 08/11/2008, estágio R1 em 20/12/2008, estágio R6 em 02/03/2009 e com colheita em 28/03/2009.

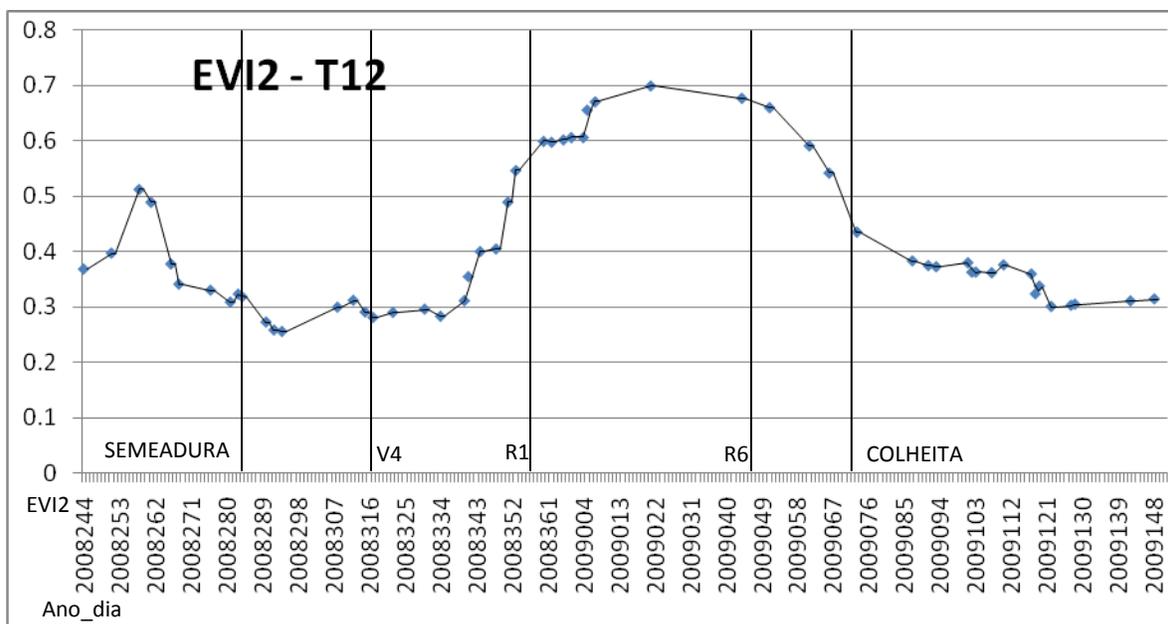


Figura 21 - Evolução temporal do EVI2, para o talhão 12, seleção dos melhores dias e utilização de linha de tendência na forma de média móvel a cada 2 pontos. Intersecção dos principais estádios fenológicos observados (semeadura, V4, R1, R6, colheita).

A figura 21 representa uma lavoura de 200 hectares da cultivar Avaxi CL com data de semeadura em 08/10/2008, estágio V4 em 10/11/2008, estágio R1 em 20/12/2008, estágio R6 em 16/02/2009 e com colheita em 12/03/2009.

Nota-se que, além da amplitude de valores de EVI2 encontrados para cada um dos estádios analisados e para a colheita nas lavouras analisadas, tais valores ainda estão sujeitos a alterações diárias (em função de fatores como cobertura parcial ou total de nuvens, ângulo de visada do sensor etc.) que não permitem que se façam inferências pontuais e sim, somente quanto à tendência dos valores no perfil temporal. Assim, a obtenção de valores aparentemente coerentes com o desenvolvimento da cultura pode dar-se a intervalos grandes de tempo (4 a 5 dias, por exemplo). Além disso, em épocas de nebulosidade constante, o intervalo entre a obtenção de imagens úteis pode ser tal que inviabilize o monitoramento da cultura por longos períodos, conforme pode ser visto no gráfico do perfil temporal do EVI2 para o talhão 2, entre os dias 14/02/2009 e 16/03/2009. Além disso, existe um tempo entre a passagem do satélite e a disponibilização da imagem pela NASA que geralmente é de 3 dias.

A tabela 4 evidencia os valores obtidos através do cálculo do EVI2 para cada estágio em cada talhão, assim como os valores máximos e mínimos encontrados em cada fase do desenvolvimento da lavoura.

Tabela 4 – Valores de EVI2 para os estádios em estudo, para cada talhão em estudo.

TALHÃO	CULTIVAR	SEMEADURA	V4	R1	R6	COLHEITA	CICLO
1	IRGA 422 CL	0,48	0,21	0,35		0,32	médio
2	BRS QUERÊNCIA		0,22	0,41			precoce
3	IRGA 410			0,42	0,71		médio
4	BRS QUERÊNCIA				0,70		precoce
5	IRGA 424				0,76		médio
6	BRS QUERÊNCIA	0,31	0,26				precoce
7	BRS QUERÊNCIA	0,27	0,26		0,69	0,49	
8	IRGA 424	0,25	0,22	0,62		0,36	
9	IRGA 422	0,32		0,59	0,65		
10	BRS QUERÊNCIA	0,27	0,27	0,55	0,76	0,40	
11	IRGA 424	0,29	0,25	0,49	0,62	0,39	
12	AVAXI CL	0,31	0,29	0,57	0,68	0,44	
	mínimo	0,25	0,21	0,35	0,62	0,32	
	máximo	0,48	0,29	0,62	0,76	0,49	

Porém é importante salientar que o perfil espectro-temporal de cada cultivar difere, embora tratem-se da mesma espécie, as variações em comprimento de ciclo, arquitetura de planta e potencial produtivo as tornam muito diferentes.

Observando-se esta tabela é possível se inferir que os acréscimos em índice de vegetação ocorrem a partir do estágio V4.

Para semeadura, os valores estão próximos de 0,28, com exceção do talhão 1. Para V4, os valores também estão próximos aos da semeadura. Para R1, os valores variam bastante. Para R6 os valores altos, próximos de 0,7. E, para colheita, os valores também variaram bastante.

As variações entre valores do índice refletem, principalmente, a atividade fotossintética do dossel. Para alguns talhões em algumas datas não foi possível se obter imagens livres de nuvens.

Para o estágio R6 obteve-se resultados muito próximos para todos os talhões. Este estágio é um marcador significativo para determinar-se a proximidade da maturidade fisiológica. E, através deste estudo percebeu-se que o valor de índice de vegetação (EVI2) fica próximo a 0,7 nesta fase, podendo-se estimar pelo estudo das imagens com precisão a sua ocorrência.

5. CONSIDERAÇÕES

Para a utilização de imagens de satélites para uso agrícola é necessário que não hajam nuvens nos momentos de estudo e, ainda, que as inferências sejam feitas quanto à tendência dos valores no perfil temporal e não à valores individuais.

É possível monitorar o perfil temporal do EVI2 das lavouras de arroz irrigado, que pode ser utilizado como ferramenta auxiliar para se determinar aproximadamente os períodos de ocorrência dos estádios fenológicos (V4, R1 e R6) da cultura desde que se disponham imagens livres de nuvens.

Para utilização de imagens de sensores a bordo de satélites com fins agrícolas é necessário que se tenha claro o tipo de estudo que se deseja efetuar, para o caso da caracterização espectro-temporal de lavouras de arroz irrigado é necessário que se obtenha o máximo de imagens sem nuvens na época de cultivo o que só foi possível utilizando-se o sensor MODIS que possui resolução temporal diária para a latitude em questão e, sendo assim, foi possível descartar muitas imagens que estavam ruins para este trabalho e ainda dispor-se imagens boas para a época da safra.

6. CONCLUSÕES

- É possível o monitoramento de lavoura de sementes de arroz irrigado com déficit de 3 a 5 dias.

- O perfil espectro-temporal sob a forma do EVI2 para a cultura do arroz irrigado apresenta-se com acréscimos consideráveis dos valores em torno do estágio V4, alcançando os valores mais altos por volta do estágio R6 que em seguida começam a decrescer até mesmo após a colheita da lavoura.

- A análise do perfil espectro-temporal de áreas de produção de sementes de arroz irrigado mostra aproximadamente os principais estádios de desenvolvimento da cultura, assim como a data de colheita.

- O estágio R6 apresenta-se com valor médio de EVI2 igual 0,7 para as cultivares avaliadas, ocorrendo em geral 2 dias antes da maturidade fisiológica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; MARTINS, L.A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.23, n.1, p.105-112, jan.1994.

AHRENS, D.C.; PESKE, S.T. Flutuações de umidade e qualidade de semente de soja após a maturação fisiológica. II. Avaliação da qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**. Vol.16, nº2, p. 111-115, 1994.

ALCOCHETE, A.A.N.; RANGEL, P.H.N.; FERREIRA, M.E. Mapping of QTLs for thermosensitive genic male sterility (TGMS) in indica rice. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brazil, v. 40, n. 12, p. 1179-1188, 2005.

ANDRADE, M.J.B.; ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P. Recomendações para a cultura do feijoeiro em Minas Gerais, Lavras: ESALQ, 12p. (Circular, 06). 1992.

AZAMBUJA, I.H.V.; MAGALHÃES Jr., A.M. de; VERNETTI Jr., F. de J. Situação da cultura do arroz no mundo e no Brasil. In: COMISSÃO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E COOPERATIVISMO. SÉRIE CULTURAS ARROZ. P.11-22. 2002.

AZEVEDO, J.I.S. Effects of delayed harvest upon soybean seed quality. Mississippi State University, Dissertação de Mestrado, 70 páginas, 1975.

BARROS, A.S.R. Maturação e colheita de sementes. In: CÍCERO, S.M.; MARCOS FILHO, J.; SILVA, W.R. (Coord.). Atualização em produção de sementes. Campinas: Fundação Cargill, p. 34-107, 1986.

BUSO, G.S.C.; RANGEL, P.H.; FERREIRA, M.E. Análise genética de espécies silvestres de arroz (*Oryza spp.*) nativas do Brasil estrutura de populações,

diversidade genética e relações fitogenéticas utilizando marcadores moleculares. **Tese de Doutorado**. UnB, Brasília, Brasil, 1998.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. *A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development*. **Crop Science**. Madison, v.40, n.2, p. 436-443, 2000.

D'ARCO, E. **O uso de geotecnologias para estimativas da área plantada de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul**. 2007. 209 p. (INPE-15326-TDI/1369). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <[HTTP://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.18.14.08](http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.18.14.08)>.

DAVILA, S. Benefício de semillas. Cali: CIAT, 167p. 1986.

DELOUCHE, J.C. Physiology of seed storage. Proc. 23rd. Corn and Sorghum Res. Conf., Amer. Seed Trade Ass., 23:83-90, 1968.

DELOUCHE, J.C. Metodologia de pesquisa em sementes. In: Produção e colheita de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**. vol. 03, n.2, p.41-46, 1981.

FAO. Food and Agriculture Organization of United Nations. Faostat database results. Disponível: site FAO. <http://www.fao.org>. 2000.

FAO. Food and Agriculture Organization of United Nations. Faostat database results. 2009. Disponível: site FAO. <http://www.faostat.fao.org>. Acesso em março de 2010.

FONSECA, J.R.; SILVA, J.G. Colheita. In: VIEIRA, N.R.A.; SANTOS, A.B.; SANT'ANA, E.P. (Ed). **A Cultura do Arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.452-462. 1999.

FRANÇA NETO, J.B. Qualidade fisiológica da semente. In: FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A. **Qualidade fisiológica e sanitária da semente de soja**. Londrina: EMBRAPA – CNPSo, p.5-24 (EMBRAPA – CNSo, Circular Técnica, 9) 1984.

GAUSMAN. H.W.; RODRIGUEZ, R.R.; RICHARDSON, A.J. Infinite Reflectance of Dead Compared with Live Vegetation. **Agronomy Journal**. v. 68, n. 2, p. 295-296, 1976.

GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr, A.M. Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 899p., 2004.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**. v.83, p.195-213, 2002.

IBGE. Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias GCEA/ IBGE, DPE, COAGRO – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2008.

IBGE. Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias GCEA/ IBGE, DPE, COAGRO – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Março de 2010.

JACINTHO, J.B.C.; CARVALHO, N.M. Maturação de sementes de soja. Científica, Jaboticabal, v.1, p.81-88, 1974.

JENSEN, J. R. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective, 2nd ed. Traduzido por: EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; SANTOS, A.R.; RUDORFF, B.F.T.; ALMEIDA, C.M.; GALVÃO, L.S.. INPE, São José dos Campos, SP. 2009.

JIANG, Z.; HUETE, A.R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**. v. 112, p. 3833-3845, 2008.

KHUSH, G.S. Chair's introduction. In Rice Biotechnology: Improving Yield, Stress Tolerance and Grain Quality (Goode, J.A. and Chadwick, D., eds). Chichester: Wiley, p. 11-12. 2001.

KHUSH, G.S. Origem, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Mol. Biol.* 35:25-34. 1977.

LEBLON, B. **Soil and Vegetation Optical Properties** [online] <http://umbc7.umbc.edu/~tbenja1/leblon/frame9.html> . 1997.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. University of Wisconsin – Madison, third edition, p. 750, 1994.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 12 ed. Piracicaba: ESALQ. 495p. 2005.

MARCOS FILHO, J.; AMORIM, H.V.; SILVAROLLA, M.B.; PESCARIN, H.M. Relações entre germinação, vigor e permeabilidade das membranas celulares durante a maturação de sementes de soja. In: Seminário Nacional de Pesquisa de Soja. Brasília, 1981. Resumos. Brasília: EMBRAPA / CNPsoja, v.2, p.676-688, 1981.

MODIS. **MODIS Science Team Publications – Main Page** [online]. <http://modis.gsfc.nasa.gov> . 2003.

MOORE, R.P. Mechanisms of water damage in mature soybean seed. *Proc. Assoc. Off. Seed Anal.*, 61:112-8, 1971.

OECD Consensus Document on the biology of *Oryza sativa* (Rice) Environmental Health and Safety Publications. Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology. n.14. Environment Directorate. 1999.

PATERNIANI, E. 1999. Plant breeding in Brazil: history and perspectives. In: **Biowork II – Plant breeding in the turn of the millennium**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 199. P. 353-379.

PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A. **Produção de Sementes de Arroz Irrigado**. Capítulo 9, In: PESKE, S.T.; SCHUCH, L.O.B.; BARROS, A.C.S.A. **Produção de Arroz Irrigado**. 3ªed. 623p., 2004.

POPINIGIS, F. Fisiologia da semente. Brasília: AGIPLAN, 289 p. 1985.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa de produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 212p. (INPE-12271-TDI/983). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/07.02.14.17/doc/paginadeacesso.html>>

SAKAMOTO, T.; YOKOZAWA, M.; TORITANI, H.; SHIBAYAMA, M.; ISHITSUKA, N.; OHNO, H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**. v. 96, p. 366-374, 2005.

SOARES, A.A. Cultura do arroz. Lavras: UFLA, (Textos acadêmicos, 7). 111 p. 2001.

SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas, 2007. 154p.

WEBB, B.D. Rice quality and grades. In: LUH, B.S. (Ed.) Rice: production and utilization. Westport: CTAVI, 1980. p.543-565.