

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**ESPECTRORRADIOMETRIA EM CULTIVO
DA SOJA *Glycine max* (L.) Merr.
DURANTE CICLO VEGETATIVO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

João Paulo de Mello Felipe

Santa Maria, RS, Brasil.

2011

**ESPECTRORRADIOMETRIA EM CULTIVO
DA SOJA *Glycine max* (L.) Merr.
DURANTE CICLO VEGETATIVO**

João Paulo de Mello Felipe

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geomática.**

Orientador: Prof. Dr. Elódio Sebem

Santa Maria, RS, Brasil.

2011

Felipe, João Paulo de Mello

Espectrorradiometria em cultivo da Soja *Glycine max* (L.) Merr. durante ciclo vegetativo, município de Santa Maria – RS / João Paulo de Mello Felipe. 2011. 101 p. 30cm.

Orientador: Elódio Sebem

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS, 2011.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Espectrorradiômetro. 3. Soja, 4. *Glycine max*. 5. Estimativa de Produção. 6. Assinatura Espectral. I. Sebem, Elódio. II Título.

© 2011

Todos os direitos autorais reservados a João Paulo de Mello Felipe. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor. Endereço eletrônico: jpmellofelipe@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**ESPECTRORRADIOMETRIA EM CULTIVO DA SOJA *Glycine max*
(L.) Merr. DURANTE CICLO VEGETATIVO**

elaborada por
João Paulo de Mello Felipe

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Elódio Sebem, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Rudiney Soares Pereira, Dr. (UFSM)

Liane de Souza Weber, Dr^a. (UFSM)

Santa Maria, 11 de Novembro de 2011.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Departamento de Engenharia Rural, ao Programa de Pós-Graduação em Geomática, ao Colégio Politécnico da UFSM e ao Laboratório do Núcleo de Desenvolvimento e Informações de Geotecnologias, pela oportunidade de aperfeiçoamento e por disponibilizar a estrutura e equipamentos que, sem eles, este trabalho não seria possível.

À CAPES, que contribuiu de forma decisiva na parte financeira, sem a qual seria menos provável conseguir mais este objetivo.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Elódio Sebem, primeiro pela oportunidade e pelo voto de confiança. Sempre esteve presente e me ajudou e apoiou quando preciso, entendeu as dificuldades e contribuiu de forma inestimável à qualidade e à conclusão deste trabalho.

Aos Professores Doutores: Rudiney Soares Pereira, Liane de Souza Weber, Adão Robson Elias, por gentilmente aceitarem o convite em fazer parte desta Comissão Examinadora.

Aos amigos e colegas pelo apoio à realização deste trabalho: Elias Fernando Berra, Mateus Sabadi Schuh, Pedro Vier, Jarbas Silva Borges e Paulo Ricardo, Prof. Hércules e Prof. Luciano, Adalberto e Olney, que estiveram sempre dispostos a colaborar da melhor maneira possível.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Geomática, o sincero muito obrigado, pela dedicação e ensinamentos e por compartilharem seus conhecimentos.

Agradeço à minha Mãe, Maria Heloísa, pelo Amor com que sempre me apoiou de forma incondicional, ajudando de todos os modos possíveis. A meu Pai, Idory, que sempre ajudou e incentivou.

Ao meu querido irmão Pedro Otávio, que esteve sempre ao meu lado, dando força, ajudando-me a abrir os caminhos, obrigado pela amizade e por ser meu irmão.

À minha querida namorada Lucinha, sempre ao meu lado, com sua ajuda e apoio, colaborando para o meu sucesso, te amo!

Aos meus Tios, José Américo e Elma, que nunca pouparam esforços para que este mestrado se tornasse possível, ajudando de todas as formas possíveis, muito obrigado.

A todos os tios, primos, parentes e amigos, que sempre colaboraram com conselhos e incentivos, quando eu mais precisava.

Aos funcionários Wanderley Vasconcellos e André Höher, sempre dispostos a resolver os problemas de Secretaria e ajudar no que for preciso.

Aos meus amigos do Curso de mestrado, sempre ao meu lado em todas as etapas desta jornada, fazendo com que cada momento fosse mais proveitoso e divertido.

Também à Professora Claire e à turma 2010 do Curso de Tecnologia em Geoprocessamento, do Colégio Politécnico da UFSM, que foram meus primeiros alunos.

Aos amigos Fábio, Maureen, Andressa, Gustavo, Francisco, Vagner, Jeovani, Laurinho, e todos os amigos e pessoas com quem convivi durante este período, e que fizeram este momento possível.

“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.”

Eleanor Roosevelt

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

ESPECTRORRADIOMETRIA EM CULTIVO DA SOJA *Glycine max* (L.) Merr. DURANTE CICLO VEGETATIVO

AUTOR: JOÃO PAULO DE MELLO FELIPE

ORIENTADOR: ELÓDIO SEBEM

Data e local da defesa: Santa Maria, 11 de Novembro de 2011.

A soja é um dos produtos de maior relevância para a economia brasileira. A estimativa de produtividade de soja por meio de sensoriamento remoto é uma ferramenta potencial para agricultura de precisão, qualificando e quantificando o potencial produtivo da lavoura. O objetivo principal do trabalho foi relacionar os dados obtidos através de radiometria de campo com a produtividade do cultivo da soja e validar os dados obtidos através de plataformas de sensoriamento remoto orbital (CBERS e LANDSAT) com a utilização de índices de vegetação. A área de estudo situa-se na Universidade Federal de Santa Maria, com área total de 16,14 hectares. Foram feitas leituras com o Espectrorradiômetro, em cada um dos 15 pontos da grade de trabalho. Com os dados de campo e das imagens dos Satélites foram calculados os Índices de Vegetação. Na Safra 2009/2010 os melhores modelos encontrados para Regressão Múltipla foram para os grupos de Índices de Vegetação 1 (CRI, IV Próximo B4, REP VARI e WBI) , 4 (CRI, REP, NDMI, VARI e SAVI) e 11 (Vermelho B3, SAVI, REP e VARI) onde os coeficientes de determinação e de determinação ajustado chegaram a valores de 97,70% e 96,40%; 98,00% e 96,30% e 97,72% e 96,41% para os grupos 1, 4 e 11, respectivamente, e apresentaram valores baixos de desvio padrão. Mostraram que a combinação dos índices de vegetação dos grupos em questão pode ser utilizada para estimativa de safra com boa precisão. É importante destacar que todos os grupos tiveram boas correlações com a produtividade para soja com 43 dias após o plantio. As análises de Regressão Múltipla e Stepwise Backward com os Índices de Vegetação, calculados com os dados das imagens do LANDSAT das datas 24/01, 09/02 e 14/04 de 2010, não apresentaram valores significativos para nenhuma das regressões.

Palavras-chave: Espectrorradiômetro Agricultura de precisão. Sensoriamento remoto. Soja. *Glycine max*. Estimativa de produção.

ABSTRACT

Master Thesis
Post-Graduation Program in Geomatic
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

SPECTRORADIOMETER IN SOYBEAN *Glycine max* (L.) MERR. DURING THEIR GROWTH CYCLE

AUTHOR: JOÃO PAULO DE MELLO FELIPE

ADVISOR: ELÓDIO SEBEM

Date and Place of Defense: Santa Maria, November 11, 2011.

Soy is one of the products of most relevance to the Brazilian economy. Estimating soybean productivity through remote sensing is a potential tool for precision farming, qualifying and quantifying the productive potential of crops. The main objective of the work was to relate the data obtained through field from radiometric dates with the productivity of soybean cultivation and validate the data obtained through remote sensing platforms orbital (CBERS and LANDSAT) with the use of vegetation index. The study area is located at the Federal University of Santa Maria, with a total area of 16.14 hectares. Readings were made in each of the 15 points of working with the grid Espectrorradiometer. With the field data and Satellite images of vegetation indices were calculated. In 2009/2010 the best multiple regression models found to have been for the groups of vegetation Indices 1 (CRI, Near-Infrared B4, REP VARI and WBI), 4 (CRI, REP, NDMI, VARI and SAVI) and 11 (Red B3, SAVI, REP and VARI) where the coefficients of determination and determination adjusted reached 97.70% and values 96.40%; 98.00% and 96.30% and 97.72% and 96.41% for groups 1, 4 and 11 respectively, and have low values of standard deviation. Showing that the combination of vegetation index of the groups in question can be used to estimate crop with good accuracy. It is important to highlight that all groups had good correlations with soybean productivity with 43 days after planting. The multiple regression analysis and Stepwise Backward with the vegetation Indices calculated with data from LANDSAT images of dates 24/01, 09/14/02 and 04, 2010, did not show significant values for any regressions.

Keywords: Spectrorradiometer. Precision agriculture. Remote sensing. Soya. *Glycine max*. Estimated production.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – CRI:	30
Equação 2 – NDVI:.....	31
Equação 3 – NDMI ou NDWI:.....	31
Equação 4 – NVI:	32
Equação 5 – TCARI:	33
Equação 6 – OSAVI:	33
Equação 7 – RTO:.....	33
Equação 8 – REP:.....	34
Equação 9 – RS:	35
Equação 10 – SAVI:	35
Equação 11 – TVI:.....	36
Equação 12 – VARI:.....	36
Equação 13 – WBI:	37
Equação 14 – Equação de Comparação do VARI	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Características da Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD.....	25
Tabela 2 –	Características dos Satélites LANDSAT Thematic Mapper.....	26
Tabela 3 –	Coeficientes de calibração das bandas do LANDSAT 5 TM e valor de irradiância para cada intervalo de comprimento de onda.....	27
Tabela 4 –	Fases fenológicas da cultura da Soja e respectivas simbologias.....	41
Tabela 5 –	Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja em R6 (Pleno enchimento das vagens)	52
Tabela 6 –	Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja entre V4 (quarto nó) e V5 (quinto nó).....	52
Tabela 7 –	Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja no Estágio Reprodutivo R2 (pleno florescimento)	53
Tabela 8 –	Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja no Estágio Reprodutivo R5 (início da formação da semente)	53
Tabela 9 –	Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja no Estágio Reprodutivo R8 (maturidade completa).....	54
Tabela 10 –	Pontos e coordenadas da grade de trabalho juntamente com os dados de umidade e peso das amostras e produtividade por ponto de trabalho da safra 2008/2009	57
Tabela 11 –	Resultados de Desvio Padrão, R^2 , R^2 Ajustado e Equação de Regressão das análises de regressão Múltipla e Stepwise para os índices de vegetação calculados com dados do Espectrorradiômetro e produtividade da soja com 85 dias após o plantio.....	60
Tabela 12 –	Valores dos Índices de Vegetação (NDVI, RS, SAVI, TVI e VARI) calculados utilizando as imagens do CBERS de 04 de Abril de 2009 da Soja com 85 dias após o plantio	62
Tabela 13 –	Pontos e coordenadas da grade de trabalho juntamente com os dados de umidade e peso das amostras e produtividade por ponto de trabalho da safra 2009/2010	63
Tabela 14 –	Valores dos Picos de Reflectância da Soja observados na Assinatura Espectral da cultura com idades diferentes.....	65

Tabela 15 – Resultados de Desvio Padrão, R^2 , R^2 Ajustado e Equação de Regressão das análises de regressão Múltipla e Stepwise para os índices de vegetação e produtividade do Espectrorradiômetro do dia 10 de fevereiro de 2010	67
Tabela 16 – Resultados de Desvio Padrão, R^2 , R^2 Ajustado e Equação de Regressão das análises de regressão Múltipla e Stepwise para os índices de vegetação e produtividade das imagens de Satélite CBERS 2B e LANDSAT TM.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR.....	38
Figura 2 – Valores para interpretação da correlação linear de acordo com Santos (2007).....	43
Figura 3 – Diferenças entre os procedimentos para previsão de safra dos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010 com as datas e classificação do estado fenológico da Soja	46
Figura 4 – Área nova com a grade de pontos da coleta de dados da área plantada com soja e divida nas glebas A, B e C para as safras 2008/2009 e 2009/2010	48
Figura 5 – Foto mostrando a coleta de dados no campo onde a Soja estava com 85 dias após o plantio em R6 (Pleno enchimento das vagens).....	49
Figura 6 – Etapas do processo de aquisição e processamento dos dados visando a realização das análises estatísticas	51
Figura 7 – Foto da coleta de dados com Espectrorradiômetro e foto da planta de Soja com 43 dias após o plantio no Estágio Reprodutivo R2 (pleno florescimento).....	55
Figura 8 – Mapa de produtividade de Soja da área de trabalho gerado pelas rotinas de Agricultura de Precisão do Sistema CR – Campeiro 7 dividido em 10 classes de produtividade, safra 2008/2009	58
Figura 9 – Gráficos do comportamento do resíduo para o grupo 3 do dia 04 de abril de 2009. 1) Gráfico de Probabilidade Normal; 2) Gráfico de Resíduos dos Valores Ajustados; 3) Histograma de Frequência dos Resíduos e 4) Gráfico de Resíduos por ordem de Observação	61
Figura 10 – Mapa de produtividade de Soja da área de trabalho gerado pelas rotinas de Agricultura de Precisão do Sistema CR – Campeiro 7 dividido em 10 classe de produtividade, safra 2009/2010.....	64
Figura 11 – Comparação da curva do Comportamento espectral da Soja com 17, 43, 59, 85 e 100 dias de desenvolvimento após o plantio.....	65
Figura 12 – Gráficos do comportamento do resíduo para o grupo 4 do dia 10 de Fevereiro de 2010. 1) Gráfico de Probabilidade Normal; 2) Gráfico de Resíduos dos Valores Ajustados; 3) Histograma de Frequência dos Resíduos e 4) Gráfico de Resíduos por ordem de Observação	68
Figura 13 – Gráficos do comportamento do resíduo para o grupo 11 do dia 10 de Fevereiro de 2010. 1) Gráfico de Probabilidade Normal; 2) Gráfico de Resíduos dos Valores Ajustados; 3) Histograma de Frequência dos Resíduos e 4) Gráfico de Resíduos por ordem de Observação	69

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 04 de Abril de 2009.....	85
Apêndice 2 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 04 de Abril de 2009.....	86
Apêndice 3 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 15 de Janeiro de 2010.	87
Apêndice 4 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 15 de Janeiro de 2010.	88
Apêndice 5 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 10 de Fevereiro de 2010.....	89
Apêndice 6 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 10 de Fevereiro de 2010.....	90
Apêndice 7 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 26 de Fevereiro de 2010.....	91
Apêndice 8 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 26 de Fevereiro de 2010.....	92
Apêndice 9 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 08 de Abril de 2010.....	93
Apêndice 10 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 08 de Abril de 2010.....	94
Apêndice 11 – Assinatura espectral da Soja com idade de 85 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 04 de Abril de 2009	95
Apêndice 12 – Assinatura espectral da Soja com idade de 17 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 15 de janeiro de 2010.....	96
Apêndice 13 – Assinatura espectral da Soja com idade de 43 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 10 de fevereiro de 2010.....	97

Apêndice 14–	Assinatura espectral da Soja com idade de 59 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 26 de fevereiro de 2010.....	98
Apêndice 15 –	Assinatura espectral da Soja com idade de 100 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 08 de Abril de 2010	99
Apêndice 16 –	Valores dos Índices de Vegetação (NDVI, RS, SAVI, TVI e VARI) calculados utilizando as imagens do LANDSAT 5 TM das datas 24/01/2010, 09/02/2010 e 14/04/2010 da Soja com 26, 42 e 106 dias após o plantio respectivamente	100

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Tabela de interpretação espectrorradiométrica entre os comprimentos de onda 490 a 985 nm.	101
--	-----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1. Sensoriamento Remoto	20
2.1.1. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação	22
2.1.2. Índices de Vegetação	28
a) CRI – <i>Carotenoid Reflectance Index</i>	30
b) NDVI – <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	30
c) NDMI – <i>Normalized Difference Moisture Index</i> ou NDWI - <i>Normalized Difference Water Index</i>	31
d) NVI – <i>New Vegetation Index</i>	32
e) TCARI – <i>Transformed Absorption in Reflectance Index</i>	32
f) OSAVI – <i>Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index</i>	33
g) REP – <i>Red-edge Position Determination</i>	34
h) RS – Razão Simples	35
i) SAVI – <i>Soil-Adjusted Vegetation Index</i>	35
j) TVI – <i>Triangular Vegetation Index</i>	35
k) VARI – <i>Visible Atmospherically Resistant Index</i>	36
l) WBI – <i>Water Band Index</i>	36
2.1.3. Sensor Espectrorradiômetro FildSpec Pro Fr	37
2.2. Ciclo vegetativo da Soja	39
2.3. Análise estatística	42
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1. Município de Santa Maria	47
3.2. Caracterização da Área de Estudo	48
3.3. Safra 2008/2009	49
3.3.1. Aquisição de dados	49
3.3.2. Colheita	50
3.3.3. Preparação dos dados: Espectrorradiômetro	50
3.3.4. Organização dos índices de Vegetação em grupos	51
3.3.5. Preparação dos dados: Imagens do CBERS.....	54
3.4. Safra 2009/2010	54

3.4.1. Aquisição de dados	54
3.4.2. Colheita	55
3.4.3. Preparação dos dados: Espectrorradiômetro	56
3.4.4. Preparação dos dados: Imagens do LANDSAT.....	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1. Safra 2008/2009	57
4.2. Safra 2009/2010	62
5. CONCLUSÕES	71
5.1. Análise de comportamentos espectrais.....	71
5.2. Conclusões Gerais.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICES	85
ANEXOS	101

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é um dos produtos de maior relevância para a economia brasileira e, possivelmente, a cultura que apresentou crescimento mais expressivo no cultivo e no seguimento agroindustrial, na segunda metade do século XX (BARBOSA; ASSUMPÇÃO, 2002).

O Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja (grão, farelo e óleo), o qual vem desempenhando papel fundamental para o desenvolvimento de várias regiões do País. Embora a área cultivada com a oleaginosa represente apenas 5,8% da área agropecuária brasileira (CONAB, 2009; IBGE, 2009), na safra 2008/09, as exportações de produtos desse complexo representaram 25,0% das exportações do agronegócio nacional e 9,1% das exportações totais do País (SECEX/MDIC, 2009). Em termos globais, o Brasil participa com aproximadamente 27,1% e 39,0%, respectivamente, da produção e das exportações mundiais de soja em grão (USDA, 2009).

A produção brasileira de soja na safra (2010/2011) atingiu a marca de 75 milhões de toneladas, em uma área plantada de 24,2 milhões de hectares, com produtividade média de 3.106 kg/ha (CONAB, 2011).

Segundo o USDA, a safra (2009/2010) superou a anterior, que foi de 69 milhões de toneladas. Já as exportações, segundo o mesmo organismo internacional, para a safra (2010/2011) estão estimadas em 29,4 milhões de toneladas, o que corresponde a um aumento de 3,7% em relação à safra passada (USDA, 2010).

A estimativa de produtividade de soja por meio de sensoriamento remoto sugere uma ferramenta potencial para agricultura de precisão, qualificando e quantificando o potencial produtivo da lavoura (FERNANDES, et al. 2009).

O uso de técnicas de sensoriamento remoto permite identificar e mapear áreas e relacionar com algum parâmetro biofísico e pode ser instrumento viável no manejo dos cultivos agrícolas. Estudos detalhados sobre variação da resposta espectral de culturas agrícolas através de técnicas de sensoriamento remoto podem ser realizados utilizando-se espectrorradiometria de campo, com a qual se obtém medidas de reflectância da cultura em várias faixas de comprimento de onda do

espectro eletromagnético, geralmente compreendidas nas regiões do visível e do infravermelho próximo.

A quantidade de energia refletida pelo dossel da cultura, nos comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, é significativamente correlacionada com a atividade fotossintética das plantas. Plantas afetadas por pragas, doenças, déficit hídrico, por exemplo, possuem alterações na resposta espectral em relação às plantas saudáveis.

Em estudos realizados utilizando-se sensoriamento remoto na agricultura, tem sido comum a utilização de Índices de Vegetação como parâmetro na estimativa de produtividade em lavouras, conseguindo-se boas correlações destes índices com o peso de grãos por unidade de área.

De acordo com alguns autores, o uso de índices de vegetação para caracterizar e quantificar determinado parâmetro biofísico de culturas agrícolas tem duas grandes vantagens: permite reduzir a dimensão das informações multiespectrais, através de um simples número, além de fornecer um dado altamente correlacionado aos parâmetros agrônômicos (WIEGAND et al.,1991; TUCKER, 1979).

Recursos possibilitando utilização de técnicas de sensoriamento remoto para grandes áreas tendem a tornarem-se cada vez mais acessíveis com o avanço tecnológico e disponibilização de novos satélites com maior resolução espacial e alta frequência temporal.

O objetivo principal do trabalho é relacionar os dados obtidos através de radiometria de campo com a produtividade do cultivo da soja e validar os dados obtidos através de plataformas de sensoriamento remoto orbital (CBERS e LANDSAT TM) com a utilização de índices de vegetação.

Objetivos secundários foram a geração de mapas de produtividade do cultivo da soja na área estudada e comparar os valores da resposta espectral da cultura nas suas diferentes fases de desenvolvimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é a arte e a ciência de obter informações sobre um objeto sem estar em contato físico direto com o mesmo. Segundo Meneses & Madeira Netto (2001), o sucesso resultante da correta utilização da tecnologia estimulou o crescimento de pesquisas na área de sensoriamento remoto, tendo suas aplicações multiplicadas a cada ano.

O termo *sensoriamento remoto* tem origem em um artigo não publicado datado de 1960 elaborado pelo grupo *Office of Naval Research (ONR) Geography Branch* (PRUITT, 1979; FUSSELL et al., 1986). A fotointerpretação aérea tornou-se muito importante na II Guerra Mundial, contudo a era espacial estava apenas começando. O ONR expandiu suas pesquisas usando instrumentos além de câmeras, tais como, escâneres, radiômetros entre outros e abrangendo regiões do espectro eletromagnético, não apenas o visível e infravermelho próximo. Devido a isto no final da década de 50 o termo “foto” tendo em vista a sua palavra raiz, fotografia, não estava mais abrangendo toda a área de estudo.

O termo *sensoriamento remoto* foi promovido numa série de simpósios patrocinado pelo ONR nos Laboratórios *Willow Run* da Universidade de Michigan em conjunto com a *National Research Council* que ocorreram nos anos 60 e início dos anos 70, e desde então tem sido usado (ESTES; JENSEN 1998).

Uma definição clássica aceita e difundida por muitos autores brasileiros é a citada por Slater (1980) que afirma que o sensoriamento remoto é um conjunto de atividades de coleta de informações relativas à superfície da terra utilizando sensores instalados a bordo de plataforma em altitude. Porém este conceito não abrange todas as áreas de aplicação. O sensoriamento é uma técnica para obter informações sobre objetos através de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos estudados (AVERY; BERLIN 1992, p.2) não limitando assim o conceito ao uso de plataformas, incorporando sensores utilizados diretamente no solo, como foi realizado neste estudo.

De acordo com Florenzano (2002), a origem do sensoriamento remoto vincula-se ao surgimento da fotografia aérea. Sendo assim, a história do sensoriamento remoto pode ser dividida em dois períodos: de 1860 a 1960, baseado no uso de fotografias aéreas, e de 1960 até os dias atuais, caracterizado por uma grande variedade de sensores que registram dados em diferentes formatos.

Desde então numerosas definições de sensoriamento tem sido propostas. Alguns autores como Fussel et al., (1986) e Jensen (2009) têm proposto uma definição máxima globalizante, “sensoriamento remoto é a aquisição de dados sobre um objeto sem tocá-lo.” Tal definição é curta, simples, geral e memorizável. Infelizmente, ela exclui pouco da esfera do sensoriamento remoto (FUSSEL et al., 1986). Ela abrange virtualmente todos os dispositivos de sensoriamento remoto, incluindo câmeras, escâneres ópticos-mecânicos, dispositivos de imageamento lineares ou matriciais, lasers, sistemas de radar, sonares, sismógrafos, gravímetros, magnetômetros e cintilômetros (JENSEN, 2009).

Já outros têm sugerido uma definição máxima, mais focada na área de sensoriamento remoto, que adicione qualificadores e mais qualificadores buscando inserir apenas funções legítimas, como:

“Sensoriamento remoto é o registro da informação das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho, e micro-ondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares, e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagens” (JENSEN 2009).

Considerando o contexto da tecnologia espacial, a definição de sensoriamento remoto a ser adotada, se limita à utilização de sensores que medem alterações sofridas no campo eletromagnético. De acordo com Novo (2008) o conceito de sensoriamento remoto é “a aquisição de informações sobre objetos a partir da detecção e mensuração de mudanças que estes impõem ao campo eletromagnético”. A utilização deste conceito restringe o sensoriamento remoto apenas a sensores de radiação eletromagnética. Isto se deve ao fato de que a radiação eletromagnética não necessita de um meio de propagação como os demais campos e também pela grande diversidade de aplicações em diferentes áreas do conhecimento científico e de tecnologias tão distintas que envolvem a interação dos diferentes campos de força com os objetos em estudo.

Mesmo assim este conceito é bastante amplo e inclui levantamentos de propriedade das estrelas, planetas, e propriedades do espaço cósmico. Considerando que este estudo está voltado para aquisição de dados utilizando sensores remotos apenas na superfície terrestre, a definição que melhor se adapta é:

Sensoriamento Remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações, (NOVO, 2008).

O sensoriamento remoto é aplicável em inúmeras áreas: administração pública, fiscalização governamental, turismo, empreendimentos imobiliários comércio e serviços, ensino e pesquisa, meio ambiente, recursos hídricos, estudo de solos, geologia, florestas e agricultura entre outros.

Várias aplicações do sensoriamento remoto podem ser utilizadas no campo da Agricultura: monitoramento de incêndios, mapeamento de culturas, definição de áreas de aptidão agrícola, zoneamento agroecológico em lavouras e pastagens e previsão de safras. Na previsão de safras, por exemplo, o sensoriamento remoto pode ser utilizado em dois segmentos: no dimensionamento das áreas de plantio e na estimativa do rendimento, sendo este último um dos principais focos deste trabalho.

2.1.1. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação

A forma mais comum para categorizar a radiação eletromagnética, ao longo do espectro eletromagnético, é através do comprimento de onda; sendo o conjunto de radiações a serem detectadas pelo olho humano denominado de espectro visível, compreendido entre 400nm e 700nm, seguido pelo infravermelho próximo, que chega até 1000nm (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

De acordo com Holanda e Guerra, (2010) o sensoriamento remoto tem exercido um grande papel no estudo da vegetação, onde suas numerosas ferramentas têm auxiliado no monitoramento, dinâmica e detecção de mudanças

tanto naturais como antrópicas, além das aplicações em estudos fisiológicos e fenológicos das plantas. Quando se tem o interesse de prever a produção de uma cultura agrícola, segundo Ponzoni e Shimabukuro (2009), utilizam-se dados radiométricos coletados em nível orbital para estimar a quantidade de folhas em fases específicas de desenvolvimento da cultura, sendo estas correlacionadas com sua produtividade através de modelos matemáticos pré-estabelecidos.

Ainda de acordo com o mesmo autor, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação teve início com os primeiros mapeamentos temáticos realizados na década de 40 com base em fotografias aéreas, mais foi somente na década de 80, que se iniciaram mapeamentos extensivos da cobertura vegetal brasileira, incluindo culturas agrícolas. Na década seguinte foram estabelecidas correlações entre parâmetros geofísicos do meio ambiente e/ou biofísicos da vegetação com dados radiométricos extraídos de imagens orbitais.

Em campo, os dados podem ser coletados diretamente das folhas ou através de dispositivos como plataformas (móveis ou fixas), teleféricos, etc.; que permitem a colocação dos sensores imediatamente acima dos dosséis vegetais segundo as mais diferentes disposições. Na coleta de dados em aeronave, estão incluídas as máquinas fotográficas, os radiômetros e os sensores eletro-ópticos, assim como em nível orbital (PONZONI, 2002).

Embora a região do infravermelho próximo forneça informações específicas sobre os pigmentos da folha e estrutura da vegetação, as bandas na região do infravermelho de ondas curtas são conhecidas por melhorar a caracterização da vegetação, especialmente nas áreas semiáridas, fornecendo informações detalhadas sobre os componentes lenhosos e teor de água da vegetação (ASNER e HEIDEBRECHT, 2002; HE et al., 2006; LUCAS et al. 2008; e USTIN et al., 2004).

Informações de diferentes partes do espectro medido são muitas vezes combinados para formar o que é chamado de índice de vegetação espectral. As bandas espectrais utilizadas para formar os índices de vegetação são selecionadas e combinadas de tal forma que melhore o contraste das características espectrais relacionadas com a variável de interesse, reduzindo os efeitos indesejáveis causados por variações no sol, solo, de reflexão, exibição e geometria, composição atmosférica, ou propriedades do dossel (DORIGO et al., 2007).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) tornou-se um produto de sensoriamento remoto padrão para aplicações ecológicas (PETTORELLI et al., 2005) e tem sido amplamente aplicada para discriminar e interpretar as unidades de vegetação mapeadas (HONG et al., 2004; RAHMAN e GAMON, 2004).

Dada à importância da agricultura mundial, social e economicamente, a disponibilidade de informações precisas e eficientes sobre as atividades agrícolas em um intervalo de tempo é extremamente relevante para uma série de decisões estratégicas. Com informações precisas sobre o estado das culturas diferentes, é possível desenvolver planos comerciais, para regular estoque de produtos agrícolas internos, para tomar decisões sobre os subsídios e traçar estratégias para a negociação de commodities agrícolas nos mercados financeiros (SEDIYAMA, 2009).

Dados de sensoriamento remoto têm sido cada vez mais aplicados ao longo das últimas três décadas para avaliar a produtividade agrícola, produção e condição da cultura (WIEGAND et al. 1979; REN et al., 2008).

Diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do vermelho e infravermelho próximo (HOLANDA; GUERRA, 2010). Estes índices estão relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição que influenciam os valores de reflectância da vegetação (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

Moraes (2002), assim como a maioria dos pesquisadores em sensoriamento remoto, distingue os sistemas sensores entre imageadores e não-imageadores. O sensor imageador é, conforme a autora, aquele que fornece como produto uma imagem da área observada. Um exemplo destes, segundo ela, são as câmaras fotográficas. Já os sistemas não-imageadores, também denominados radiômetros, apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos. Os sensores imageadores que terão suas imagens utilizadas neste trabalho são o CBERS 2B e o LANDSAT 5 TM.

Com o programa CBERS, o Brasil obteve uma ferramenta para monitorar seu território com satélites próprios de sensoriamento remoto. Suas imagens são usadas em controle do desmatamento e queimadas na Amazônia Legal, o monitoramento

de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação do solo, em educação e em inúmeras outras aplicações (INPE 2010).

A câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD - *High Resolution CCD* Câmera) fornece imagens de uma faixa de 113 km de largura, com uma resolução espacial de 20 m. Esta câmera tem capacidade de orientar seu campo de visada dentro de $\pm 32^\circ$, possibilitando a obtenção de imagens estereoscópicas de uma certa região. As características técnicas da câmara CCD são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características da Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD

Características da Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD	
Bandas espectrais	0,51 - 0,73 μm (pan) 0,45 - 0,52 μm (azul) 0,52 - 0,59 μm (verde) 0,63 - 0,69 μm (vermelho) 0,77 - 0,89 μm (infravermelho próximo)
Campo de Visada	8,3°
Resolução espacial	20 x 20 m
Largura da faixa imageada	113 km
Capacidade de apontamento do espelho	$\pm 32^\circ$
Resolução temporal	26 dias com visada vertical (3 dias com visada lateral)

Fonte: CBERS/INPE

A Câmera CCD opera em cinco faixas espectrais incluindo uma faixa pancromática de 0,51 a 0,73 μm . São necessários 26 dias para uma cobertura completa da Terra.

Este trabalho foi planejado de forma que as leituras de campo, que ocorreriam a cada 13 dias, caso as condições do tempo fossem favoráveis à coleta. Como a resolução temporal do CBERS é de 26 dias, a cada duas coletas de campo teríamos uma imagem do satélite da área com a mesma data da coleta de campo, com o objetivo de comparar os índices de vegetação calculados com os dados de campo e os dados das imagens do satélite em questão.

Porém o encerramento do programa devido a problemas no satélite como foi noticiado pelos principais jornais do país: agência FAPESP – O CBERS-2B, do programa de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres, lançado em

setembro de 2007, teve suas operações encerradas. A decisão foi do Comitê Conjunto do Programa, em reunião no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em São José dos Campos-SP.

Ainda segundo o mesmo jornal, os técnicos brasileiros e chineses tentavam restabelecer a operação normal do CBERS-2B desde março de 2010, quando foram verificados problemas no satélite, o terceiro lançado pelo programa.

Em 16 de abril de 2010, os centros de controle brasileiro e chinês não conseguiram estabelecer contato com o veículo que, desde então, tem enviado sinais intermitentes indicando falta de energia. Como as chances de se restabelecer o funcionamento normal são mínimas, a Agência Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST) e o INPE, responsável no Brasil pelo Programa CBERS, deram como encerrada sua vida útil.

Como alternativa para o problema de indisponibilidade de imagens do CBERS será utilizado neste trabalho imagens do satélite LANDSAT 5 TM que está disponível para download gratuito no site do INPE.

O LANDSAT 5 TM foi lançado em primeiro de março de 1984 e encontra-se ativo até hoje. Opera a uma altitude de 705 km e inclinação de 98,2º, o tempo de duração da órbita é de 99 min. e período de revista de 16 dias. Possui dois tipos de instrumentos sensores, o MSS e TM, e foi projetado para três anos de vida útil. O satélite LANDSAT-5 opera com 7 bandas espectrais (Tabela 2) nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal, além do sensor TM.

Tabela 2 – Características dos Satélites LANDSAT Thematic Mapper

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
TM (Thematic Mapper)	(B1) AZUL	0.45 - 0.52 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(B2) VERDE	0.50 - 0.60 μm				
	(B3) VERMELHO	0.63 - 0.69 μm				
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 μm	120 m			
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 μm				
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 μm	30 m			
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.08 - 2.35 μm				

Fonte: EMBRAPA

O sucesso do programa LANDSAT associado ao crescente interesse mundial de informações obtidas por meio de sensoriamento remoto orbital fez com que surgissem novos programas de satélites em diversos países. Muitos programas, tais como: SPOT (França), IRS (Índia) e RESURS (Rússia) foram lançados na década de oitenta e possuíam características semelhantes ao programa LANDSAT, embora com variações nas resoluções temporais, espaciais, entre outras (MARINO JUNIOR, 2006).

O espalhamento atmosférico, (Zullo et al., 1996), corresponde à mudança aleatória na direção de propagação da irradiação solar devido a sua interação elástica com pequenas partículas, gases e aerossóis em suspensão. Nessa interação, os fótons não são perdidos, mas redistribuídos em todas as direções sem haver mudança no comprimento da onda eletromagnética. Então, neste caso, o que chega ao sensor é a própria onda eletromagnética e não o resultado da interação da irradiação solar com um alvo específico. Isto torna a imagem nebulosa, dificultando a sua visualização e interpretação.

Tabela 3 – Coeficientes de calibração das bandas do LANDSAT 5 TM e valor de irradiância para cada intervalo de comprimento de onda.

Banda	Coeficientes		Irradiancia espectral solar extraterrestre $E_{0(k)}$ (w/m ²)
	a_0	a_1	
1	-0,06662095	0,04197408	138,25
2	-0,15732250	0,10345120	139,04
3	-0,11269370	0,06499743	89,1
4	-0,23285630	0,11705160	147,7
5	-0,08640033	0,02726504	44,6
7	-0,05113922	0,01692211	21,33

Fonte: CARLOS PINILLA RUIZ, Elementos de Teledetección.

A absorção é outro mecanismo de interação da radiação eletromagnética com a atmosfera. Em contraste com o espalhamento, este fenômeno, causado principalmente por moléculas de gases, absorve energia de vários comprimentos de onda. Ozônio absorve radiação ultravioleta. Dióxido de carbono absorve muita

energia da porção do infravermelho-distante (termal). Vapor d'água afeta ondas eletromagnéticas de 1 μ m até 22 μ m. Poluição e outros agentes químicos em suspensão na atmosfera também provocam a absorção (Kaufman et al., 2001).

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de calibração das bandas do LANDSAT 5 TM e valor de irradiância para cada intervalo de comprimento de onda que serão usados neste trabalho para a correção das imagens do LANDSAT 5 TM.

2.1.2. Índices de Vegetação

Em geral índices de vegetação podem ser usados para estabelecer relações empíricas com a produtividade em culturas agrícolas em escala local (SHIBAYAMA; AKIYAMA 1991; SERRANO et al., 2000; SHANAHAN et al., 2001; ROYO et al., 2003). Outra aplicação é o uso para estimativas de parâmetros biofísicos como, Índice de Área Foliar – IAF (LAI, Leaf Area Index), para compor modelos mais elaborados de crescimento de culturas e de estimativas de produtividade usando dados de múltiplas fontes em escala regional (BAUER et al., 1986; RUDORFF; BATISTA, 1990; CLEVERS, 1997; DORAISWAMY et al., 2004; PRASAD et al., 2006; RIZZI; RUDORFF, 2007).

A previsão de safras por meio de sensoriamento remoto tem como finalidade a interpretação automática, o monitoramento contínuo e atualizado de grandes áreas agrícolas, além do menor custo e o menor tempo para as estimativas. A agilidade e a disponibilidade de informações precisas podem facilitar a elaboração de estratégias referentes ao armazenamento, comercialização e suporte às decisões (PONTES et al. 2005).

O NDVI é considerado um bom estimador de biomassa, é muito utilizado para avaliar produtividade de culturas (JACKSON et al., 1986) e tem uma boa correlação com o teor de umidade da planta (SIMS e GAMON, 2003), podendo ser aplicado na Agricultura de Precisão para o acompanhamento de culturas (BARNES et al., 1996).

Apesar do enorme crescimento na produção brasileira de soja, poucos estudos de sensoriamento remoto têm sido feitos com essa cultura agrícola (GALVÃO et al. 2009).

Ainda segundo o mesmo autor, os avanços recentes no sensoriamento remoto hiperespectral por satélites oferecem a oportunidade de melhorar o conhecimento sobre as relações entre a produtividade de soja e Índices de Vegetação de bandas estreitas. O sensoriamento remoto hiperespectral terrestre pode ser uma boa alternativa para obter Índices de Vegetação visando estimar a produtividade de culturas agrícolas com precisão.

Desde a década de 1960, os cientistas vêm extraindo e modelando vários parâmetros biofísicos com o uso de dados de sensoriamento remoto. Grande parte desses esforços tem envolvido o uso de Índices de Vegetação (JENSEN, 2009).

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

De acordo com Running et al. (1994) e Huete e Justice (1999) um Índice de Vegetação ideal deve ter as seguintes características:

- a) Maximizar a sensibilidade a parâmetros biofísicos das plantas, preferencialmente de uma forma linear, para que esta sensibilidade seja fidedigna para uma grande amplitude de condições da vegetação e para facilitar a validação e a calibração do Índice;
- b) Normalizar ou modelar efeitos externos, tais como o ângulo solar, o ângulo de visada e as interferências atmosféricas, de modo a permitir comparações espaciais e temporais;
- c) Normalizar efeitos internos, tais como variações no substrato abaixo do dossel, incluindo topografia (declividade e aspecto), solos, e diferenças quanto à vegetação senescente ou presença de ramos lenhosos (componentes não fotossintéticos);
- d) Ser acoplável a algum parâmetro biofísico mensurável, tais como a biomassa, o índice de área foliar, ou a radiação fotossinteticamente ativa absorvida, para fins de validação e de controle de qualidade.

Dentre a grande quantidade de Índices de vegetação existentes usados em diversas aplicações e situações, neste trabalho foram utilizados treze deles mais adequados aos objetivos do mesmo, são eles:

a) CRI – *Carotenoid Reflectance Index*

Proposto por GITELSON et al., (2002a) representa a diferença entre o inverso das refletâncias em 508nm e 701nm, esses comprimentos de onda afetam a refletância dos carotenoides e da clorofila.

Equação 1 – CRI:

$$CRI = \frac{1}{\rho_{508}} - \frac{1}{\rho_{701}}$$

Onde ρ_{508} é a refletância no comprimento de onda de 508nm e ρ_{701} é a refletância no comprimento de onda de 701nm.

b) NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*

A previsão de safras por meio de sensoriamento remoto tem, como finalidade, a interpretação automática, o monitoramento contínuo e atualizado de grandes áreas agrícolas, além do menor custo e menor tempo para as estimativas. A agilidade e a disponibilidade de informações precisas podem facilitar a elaboração de estratégias referentes ao armazenamento e dar suporte às decisões (LUCAS & SCHULER, 2007).

Ainda segundo os mesmos autores, o estudo de fenologia da cultura constitui um parâmetro importante para a avaliação do desenvolvimento e manejo da cana-de-açúcar, através do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).

O NDVI que tem sido empregado para avaliar o vigor da vegetação, monitorar a cobertura vegetal, auxiliar na detecção de desmatamentos, avaliar áreas queimadas, dar suporte a previsão da produtividade agrícola, entre outras aplicações (CPETC, 2006).

Equação 2 – NDVI:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V}$$

Onde ρ_{IVP} é a reflectância na banda do infravermelho próximo e ρ_V é a reflectância na banda do vermelho.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é baseado no contraste entre a absorção máxima no vermelho, devido a pigmentos de clorofila e a máxima reflexão no infravermelho próximo, causado pela estrutura celular. O NDVI torna-se saturado onde temos uma cobertura vegetal densa mostrando assim uma relação não linear com parâmetros biofísicos tais como o índice de área foliar (BARET; GUYOT, 1991).

c) NDMI – *Normalized Difference Moisture Index* ou NDWI - *Normalized Difference Water Index*

Segundo Wilson e Sader (2002), o pouco conhecido NDMI é mais sensível à água que o NDVI, em função das regiões de absorção d'água na faixa do infravermelho médio que é menos influenciada pelos efeitos atmosféricos. Dessa forma o NDMI pode indicar a presença de umidade no solo e na vegetação permitindo bons contrastes entre diferentes tipos de vegetação. Por utilizar a faixa do infravermelho médio ao invés do vermelho visível, o NDMI também tende a apresentar maior correlação com parâmetros biofísicos da vegetação.

Hardisky et al. (1983) e Gao (1996) notaram que o NDWI baseado nas bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio do sensor TM da plataforma LANDSAT era altamente correlacionado com o conteúdo de água do dossel vegetal e conseguia acompanhar melhor as mudanças na biomassa e nos estresses de umidade das plantas do que o índice NDVI.

Equação 3 – NDMI ou NDWI:

$$NDMI \text{ ou } NDWI = \frac{NIR_{TM4} - MidIR_{TM5}}{NIR_{TM4} + MidIR_{TM5}}$$

Onde NIR_{TM4} é a reflectância na banda do infravermelho próximo e $MidIR_{TM5}$ é a reflectância na banda do vermelho médio.

d) *NVI – New Vegetation Index*

Visando melhorar a capacidade de monitoramento da biomassa do NDVI, Gupta et al. (2001) resolveram excluir as bandas de absorção do vapor d'água criando o Novo Índice de Vegetação, descrito na Equação 4.

Baseado em gradações de verde, o NVI desenvolvido pela NASA permite que os analistas do Sistema de Aviso Prévio Contra Fome (FEWS) extrapolar estado de culturas a partir das condições gerais da vegetação (WALSH, 1988).

Ainda segundo o mesmo autor, o relatório do Sistema de Aviso Prévio Contra Fome é "inicialmente um protótipo valioso que pode servir como base para um efetivo sistema de alerta de longo prazo".

Equação 4 – NVI:

$$NVI = \frac{\rho_{777} - \rho_{747}}{\rho_{673}}$$

Onde ρ_{777} é a reflectância no comprimento de onda de 777nm, ρ_{747} é a reflectância no comprimento de onda de 747nm e ρ_{673} é a reflectância no comprimento de onda de 673nm.

e) *TCARI – Transformed Absorption in Reflectance Index*

Muitos cientistas têm interesse na quantidade de clorofila da vegetação como Daughtry et al. (2000) e Kim et al. (1994) que desenvolveram o Índice de Refletância para Absorção pela Clorofila (CARI), o qual foi posteriormente modificado para tornar-se o Índice de Refletância para Absorção pela Clorofila Modificado (TCARI) (JESSEN, 2009).

TCARI mostrou-se um estimador eficaz de clorofila da folha (Vincini e Frazzi 2009). Hu et al. (2004) previu conteúdo de clorofila com sucesso a partir de

medições de sensores aéreos através da aplicação do TCARI:OSAVI em relação à soja, milho e campos de trigo.

Equação 5 – TCARI:

$$TCARI = 3 \left[\rho_{700} - \rho_{670} - 0,2 \rho_{700} - \rho_{550} \frac{\rho_{700}}{\rho_{670}} \right]$$

Onde ρ_{700} é a reflectância no comprimento de onda de 700nm, ρ_{670} é a reflectância no comprimento de onda de 670nm e ρ_{550} é a reflectância no comprimento de onda de 550nm.

f) OSAVI – *Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index*

O índice TCARI é sensível às propriedades de reflectância do solo, principalmente quando a vegetação apresenta baixo IAF (JENSEN, 2009). Daughtry et al. (2000) propuseram a combinação entre o TCARI e um índice de vegetação com a linha do solo, tal como o OSAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Otimizado) (RONDEAUX et al., 1996).

Equação 6 – OSAVI:

$$OSAVI = \frac{1 + 0,16 (\rho_{800} - \rho_{670})}{(\rho_{800} + \rho_{670} + 0,16)}$$

Onde ρ_{800} é a reflectância no comprimento de onda de 800nm e ρ_{670} é a reflectância no comprimento de onda de 670nm.

E a razão entre os índices é TCARI e OSAVI:

Equação 7 – RTO:

$$RTO = \frac{TCARI}{OSAVI}$$

A qual é altamente correlacionada com o conteúdo de clorofila da vegetação (HABOUDANE et al., 2002).

Zarco-Tejada et al. (2005) compararam estimativas de clorofila de videiras obtidos com TCARI e com TCARI:OSAVI; eles encontraram TCARI vantajoso para os dados de vegetação e TCARI:OSAVI para a mistura de dados de solo e de vegetação.

Vincini et al (2008) e Vincini e Frazzi (2009) mostrou que TCARI: OSAVI resultou em correlações mais fortes com a concentração de clorofila no nível do dossel do que aqueles baseados nos índices de borda vermelha.

g) REP – *Red-edge Position Determination*

A posição da borda vermelha (REP) é o ponto de máxima declividade no espectro de reflectância da vegetação entre os comprimentos de ondas vermelho e infravermelho próximo. A borda vermelha foi primeiramente descrita por Collins (1978), e segundo Schlerf e Atzberger (2001) talvez seja a feição mais estudada na curva espectral da vegetação. A REP é útil porque está fortemente correlacionada com o conteúdo de clorofila da folha e pode ser um indicador sensível do estresse da vegetação (JENSEN, 2009).

Equação 8 – REP:

$$REP = 700 + 40 \frac{\frac{\rho_{(670nm)} + \rho_{(780nm)}}{2} - \rho_{(700nm)}}{\rho_{(740nm)} - \rho_{(700nm)}}$$

Onde $\rho_{(700nm)}$ é a reflectância no comprimento de onda de 700nm, $\rho_{(740nm)}$ é a reflectância no comprimento de onda de 740nm, $\rho_{(670nm)}$ é a reflectância no comprimento de onda de 670nm e $\rho_{(780nm)}$ é a reflectância no comprimento de onda de 780nm.

h) RS – Razão Simples

Jordan (1969) propôs a Razão Simples entre a banda do infravermelho próximo e vermelho para destacar a cobertura do solo usando dados Satélite LANDSAT-1.

Equação 9 – RS:

$$RS = \frac{\rho_{IVP}}{\rho_V}$$

Onde ρ_{IVP} é a reflectância aparente no infravermelho próximo e ρ_V é a reflectância aparente no vermelho (JORDAN, 1969).

i) SAVI – *Soil-Adjusted Vegetation Index*

No índice de vegetação ajustado para o solo SAVI (HUETE, 1988), proposto por Huete et al. (1985), é introduzida uma constante L que minimiza o efeito do solo. Segundo Huete (1988), os valores ótimos de L são: 1, para densidades baixas de vegetação; 0,5, para densidades médias; e 0,25, para densidades altas. Este índice é dado pela Equação 10.

Equação 10 – SAVI:

$$SAVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V + L} \times (1 - L)$$

Onde ρ_{IVP} é a reflectância no infravermelho próximo, ρ_V é a reflectância no vermelho e L é uma constante que assume valores de 0 a 1 de acordo com a cobertura do solo.

j) TVI – *Triangular Vegetation Index*

Broge e Leblanc (2000) desenvolveram o TVI, o qual descreve a energia radiativa absorvida pelos pigmentos como uma função da diferença relativa entre as

reflectâncias no vermelho e no infravermelho conjuntamente com magnitude de reflectância na região do verde, onde a absorção de luz pelas clorofilas *a* e *b* é relativamente insignificante. Segundo Jensen (2009) este índice é calculado como a área do triângulo definido pelo pico do verde, pelo mínimo na região de absorção da clorofila e pelo ombro do infravermelho próximo, quando se considera a curva de resposta espectral típica da cultura.

Equação 11 – TVI:

$$TVI = 0,5 \cdot 120 \cdot \rho_{nir} - \rho_{green} - 200(\rho_{red} - \rho_{green})$$

Onde ρ_{green} , ρ_{red} e ρ_{nir} são as reflectâncias concentradas em 550 nm, 670nm e em 750nm respectivamente.

k) VARI – *Visible Atmospherically Resistant Index*

Tomando por base o ARVI – Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera, foi desenvolvido o VARI – Índice Resistente a Atmosfera no Visível (GITELSON et al., 2002).

Equação 12 – VARI:

$$VARI = \frac{\rho_{green} - \rho_{red}}{\rho_{green} + \rho_{red} + \rho_{blue}}$$

Este índice foi muito pouco sensível aos efeitos atmosféricos, permitindo a estimativa da fração vegetação com erro menor que 10% em uma grande variedade de espessuras ópticas atmosféricas (JENSEN, 2009).

l) WBI – *Water Band Index*

Índice da banda de água (WBI) projetado para monitorar o estado da água no dossel da vegetação (PENUELAS et al., 1997).

Segundo o mesmo autor, a relação entre a reflectância em 970nm e a reflectância em um comprimento de onda da referência, 900nm, é altamente correlacionada com a concentração relativa da água da planta.

Equação 13 – WBI:

$$WBI = \frac{\rho_{900}}{\rho_{970}}$$

Onde ρ_{900} é a reflectância no comprimento de onda de 900nm e ρ_{970} é a reflectância no comprimento de onda de 970nm.

2.1.3. Sensor Espectrorradiômetro FieldSpec Pro Fr

Os Espectrorradiômetros realizam ampla leitura do espectro com altíssima resolução espectral (Figura 1) e podem também trabalhar instalados em aeronaves (suborbitais) e satélites (orbitais) (SALISBURY; D'ARIA, 1992).

Meneses; Madeira Netto (2001) salientam que os Espectrorradiômetros decompõem a radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, possibilitando medir a resposta da superfície de maneira contínua ao longo do espectro eletromagnético, fornecendo um conjunto de dados numéricos ou gráficos, conhecidos como curvas ou assinaturas espectrais.

Sobre o FieldSpec Pro FR possui as seguintes características descritas por Meneghello (2008)::

O Espectrorradiômetro FieldSpec®3 modelo FieldSpec Pro FR realiza medições de irradiação e radiância solar, sendo um aparelho para uso no campo e em laboratório, com peso aproximado de 8 kg. Apresenta um FOV (campo de visada) de 25° e opera na faixa de 350 a 2.500 nm do espectro eletromagnético, além de possuir uma resolução espectral de 1 nm e capacidade de coletar até 10 espectros por segundo.

Os procedimentos de calibração e obtenção de respostas pelo sensor são descritos por Pacheco (2001) como sendo o ajuste do sistema sensor para que ele forneça respostas padronizadas, evitando que se obtenham respostas incoerentes.

Se isto de fato ocorrer, tem-se a falsa impressão de serem alvos distintos entre si, quando na realidade são similares e guardam semelhanças em suas propriedades físicas.

Gomes (1998) afirma, no entanto, que a calibração do sistema sensor não poderá ser avaliada se não houver uma padronização no processamento dos dados.

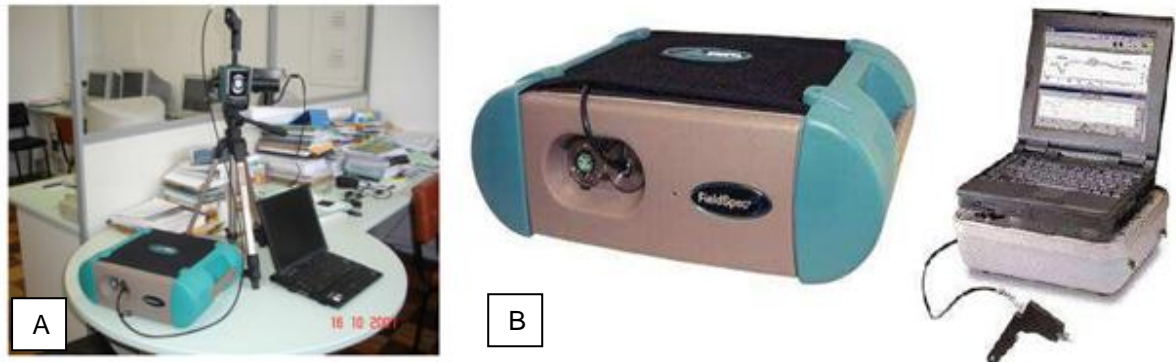


Figura 1 – Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR

Fonte: (A) Laboratório do Núcleo de Desenvolvimento e Informações de Geotecnologias e (B): Samwoo Scientific Co. (2008).

Moreira (2005) resalta que na análise dos dados obtidos por sensores remotos é imprescindível que se alie a interpretação aos padrões de referência daquilo que foi sensoriado a fim de que as informações sejam fidedignas, ou seja, o dado analisado pelo intérprete corresponda ao que foi registrado.

Para uma eficaz operação o Espectrorradiômetro possui os seguintes acessórios:

- 1) Um computador notebook IBM Think Pad, dotado do software RS3 160521 para as coletas de amostras;
- 2) Baterias intercambiáveis próprias para o equipamento que servem para fornecer energia para o funcionamento do aparelho;
- 3) Placa de referencia (Spectralon) que é utilizada para calibração do sensor.

A interface de comunicação do Espectrorradiômetro com o computador ocorre por meio de uma porta paralela bidirecional wireless.

2.2. Ciclo vegetativo da Soja

O gênero *Glycine* tem várias espécies originárias das regiões como África, Ásia oriental e Austrália. A palavra soja teve origem do japonês *shoyu* e a descrição sobre sua origem está contida no livro Pen Ts'ao Kong Mu, no qual o imperador Sheng-Nung, aproximadamente no ano de 2838 A. C., descreve as plantas da China (SEDIYAMA, 2009).

Ainda segundo o mesmo autor, é uma das mais importantes leguminosas cultivadas, sendo um dos cinco grãos sagrados (arroz, soja, trigo, cevada e milho) considerados essenciais na existência da civilização chinesa. Existem relatos que a domesticação da soja teve início há cerca de 1100 anos a. C., na região nordeste da China. A forma cultivada da soja foi introduzida na Coreia, e posteriormente no Japão, por volta de 200 a 300 anos antes da Era Cristã.

Em 1740 a soja foi introduzida na Europa (França). Em 1804, a soja foi pela primeira vez citada nos Estados Unidos da América (EUA). Em 1915, a soja cultivada nos EUA, foi pela primeira vez, esmagada para extração de óleo para consumo humano. No entanto, até 1941, o principal uso da soja naquele país era a alimentação animal (PROBST & JUDD, 1973).

Foi no início do século XX que passou a ser cultivada comercialmente nos EUA. A partir de então, houve um rápido crescimento na produção, com o desenvolvimento das primeiras cultivares comerciais (EMBRAPA, 2000).

Segundo Sedyama (2009) a primeira referência sobre soja no Brasil data de 1882, na Bahia, em relatos de Gustavo D'Utra. No entanto, as cultivares introduzidas dos EUA não tiveram boas adaptações nas latitudes em torno de 12° Sul. Mais tarde em 1891, novas cultivares foram introduzidas em Campinas-SP em latitudes em torno de 22°54' Sul. Nesta região a soja apresentou melhor desenvolvimento do que na Bahia. Neste mesmo ano, foi introduzida também no Rio Grande do Sul (SANTOS, 1988). Em 1908, com a vinda dos japoneses para São Paulo, foram introduzidas novas cultivares, mais especificamente para consumo humano.

Porém, a expansão da soja no país aconteceu nos anos 70, com o interesse crescente da indústria de óleo e a demanda do mercado internacional (EMBRAPA, 2000).

Segundo Rizzi & Rudorff (2003), no Brasil, as estimativas oficiais de produtividade agrícola são realizadas predominantemente de forma subjetiva, através de entrevistas aplicadas aos produtores, especulações sobre venda de insumos, análise de safras passadas, observação das condições meteorológicas, entre outros fatores, que não permitem uma análise quantitativa dos erros envolvidos. Em função disso, torna-se crescente a demanda por metodologias que permitam a obtenção de tais informações através de métodos objetivos, ou seja, que relacionem a variabilidade meteorológica aos fatores que afetam o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas e definem sua produtividade.

A produtividade da cultura pode ser estimada a partir de sua relação com o vigor da cultura, que por sua vez, pode ser determinado via sensoriamento remoto, pela sua relação com determinados Índices de Vegetação gerados a partir de imagens multiespectrais (ARAÚJO et al. 2005).

A necessidade de métodos alternativos para previsão de safras com os quais se consiga obter informações mais abrangentes, com menor necessidade de análises laboratoriais e menos subjetivas estimulou o desenvolvimento deste projeto que procura relacionar a produtividade com Índices de Vegetação. Nesse aspecto, o sensoriamento remoto demonstra grande potencial na avaliação do comportamento espectral das culturas e de acordo com Rudorff e Batista (1990) podem ser aplicados em estimativas de produção.

Na Tabela 3 temos as Fases fenológicas da cultura da Soja e respectivas simbologias.

O sistema de representação empregado aqui neste trabalho foi retirado de Alvares Filho (1988, p. 34-35), que divide o desenvolvimento da planta em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R) (Tabela 3). Subdivisões da fase vegetativa são designadas numericamente como V1, V2, V3, até Vn, menos os dois primeiros estádios que são designados como VE (emergência) e VC (estádio de cotilédone). O último estádio vegetativo é designado como Vn, onde “n” representa o número do último nó vegetativo formado por um cultivar específico. O valor de “n” varia em função das diferenças varietais e ambientais. A fase reprodutiva apresenta oito subdivisões ou estádios, cujas representações numéricas e respectivos nomes são apresentados na Tabela 4.

A Figura 4 mostra a área de trabalho em que foi plantada a Soja. Na safra 2008/2009 toda a área foi plantada com a cultivar BMX Apolo RR da empresa

BRASMAX, que é uma cultivar de porte médio e ciclo super precoce com ciclo médio de 125 dias, população de plantas indicada de 200 a 250 mil plantas/ha. Habito de crescimento indeterminado, com flor branca, com pubescência cinza e com hilo amarelo. É uma cultivar resistente ao acamamento, exigente em fertilidade e com elevado potencial produtivo. Indicada para semeadura em novembro, especialmente no Planalto/Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Sudoeste e Sul do Paraná. O plantio foi realizado em 09 de janeiro e a colheita em 21 de maio de 2009.

Tabela 4 – Fases fenológicas da cultura da Soja e respectivas simbologias.

Estádio		Descrição
Símbolo	Denominação	Estádio vegetativo
VE	Emergência	Os cotilédones estão acima da superfície do solo
VC	Cotilédone desenvolvido	As margens das folhas unifoliadas e opostas não se tocam
V ₁	Primeiro nó	Folhas unifoliadas desenvolvidas
V ₂	Segundo nó	Folhas trifoliada completamente desenvolvidas no nó acima ao da folha unifoliada
V ₃	Terceiro nó	Três nós sobre a haste principal com folhas completamente desenvolvidas, iniciando-se com nós das folhas unifoliadas
V _(n)	Enésimo nó	"N" números de nós sobre a haste principal com folhas completamente desenvolvidas, iniciando-se com nós das folhas unifoliadas
Símbolo	Denominação	Estádio Reprodutivo
R ₁	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal
R ₂	Florescimento pleno	Uma flor aberta no último nó da haste principal, com folha completamente desenvolvida
R ₃	Início da formação de vagens	Vagem com 0,5 cm de comprimento desenvolve-se em um dos quatro últimos nós da haste principal, com folha completamente desenvolvida
R ₄	Plena formação de vagens	Vagem com 2,0 cm de comprimento desenvolve-se em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida completamente
R ₅	Início do enchimento de grãos	Semente com 3 mm de comprimento em uma vagem, localizada em um dos quatro últimos nós da haste principal, com a folha completamente desenvolvida
R ₆	Pleno enchimento de grãos	Vagem contendo semente verde que preencha a sua cavidade, localizada em um dos quatro últimos nós da haste principal, com a folha completamente desenvolvida
R ₇	Maturação fisiológica	Uma vagem normal sobre a haste principal que tenha atingido a cor da vagem madura
R ₈	Maturação de colheita	95% das vagens atingindo a cor de vagem madura

Fonte: Alvares Filho (1988, p. 34-35)

Na safra 2009/2010 foram plantadas duas cultivares distintas, uma foi a cultivar BMX Impacto RR da empresa BRASMAX, esta cultivar foi plantada na gleba C (Figura 4). É uma cultivar de porte médio e ciclo precoce com ciclo médio de 130 dias, população de plantas indicada de 220 a 280 mil plantas/ha. Habito de

crescimento determinado, com flor branca, com pubescência cinza e com hilo marrom claro. É uma cultivar moderadamente resistente ao acamamento, exigência em fertilidade é de média a alta e com boa produtividade. Indicada para semeadura em novembro, especialmente no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Sul do Paraná, recomendada para áreas com rotação de culturas.

A segunda cultivar plantada foi a BRS 246 RR da Embrapa, que foi plantada na gleba B (Figura 4). Época de semeadura de 11 de outubro a 20 de dezembro. É uma cultivar com porte médio é de 82 cm e ciclo médio. Habito de crescimento determinado, com flor branca, com pubescência marrom e com hilo marrom. É uma cultivar resistente ao acamamento, com produtividade média de 2932, 3859, 3090 e 2703 kg/ha para os estados de RS, SC, PR e SP respectivamente.

2.3. Análise estatística

A estatística é definida por CRESPO (1997) como uma parte da Matemática aplicada que fornece métodos para a coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados e para a utilização dos mesmos para a tomada de decisões.

Segundo COSTA NETO (2002), a ciência estatística trata da organização, descrição, análise e interpretação dos dados amostrais com o objetivo de obter conclusões sobre populações, com base nos resultados observados em amostras extraídas dessas populações.

Segundo LIRA (2004) a Análise de Correlação fornece um número, indicando como duas variáveis variam conjuntamente. Mede a intensidade e a direção da relação linear ou não linear entre duas variáveis. É um indicador que atende à necessidade de se estabelecer a existência ou não de uma relação entre essas variáveis sem que, para isso, seja preciso o ajuste de uma função matemática.

Santos (2007) propõe a seguinte classificação da correlação linear, como mostra a Figura 2.

A existência de dependência linear entre as variáveis explicativas ou variáveis independentes é chamada de multicolinearidade. Segundo CORRADI (2006), este fato viola uma das condições iniciais para geração do modelo. Se existir dependência linear entre as variáveis explicativas, o processo de regressão não é

adequado. Evidentemente que, em tal caso, que corresponde à redundância na informação, a eliminação de variáveis resolve o problema.

Não é desejável que exista alta correlação entre as variáveis independentes, pois o modelo de regressão é sensível à colinearidade entre as variáveis (Hair et al., 1998). A inclusão de variáveis altamente correlacionadas pode ocasionar estimativas extremamente exageradas dos coeficientes de regressão (Hosmer e Lemeshow, 1989). Desta forma, indicadores com alta correlação entre si foram excluídos, tendo em vista a sua alta correlação verificada com os outros indicadores, usando somente indicadores com correlações entre (-0,8 a 0,8).

Coeficiente de correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 < r < 0,1$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Figura 2 – Valores para interpretação da correlação linear de acordo com Santos (2007).

Como a multicolinearidade está relacionada com a correlação entre variáveis, podendo ser detectada na matriz de correlação, buscando selecionar variáveis com maior correlação com a produtividade e eliminar variáveis com alta multicolinearidade. Utilizou-se a seguinte metodologia:

- a) A matriz de correlação foi gerada pelo Software Microsoft Excel 2007®.

- b) Foram descartadas as variáveis com correlações inferiores a 20% com a produtividade;
- c) As variáveis restantes foram organizadas em grupos de forma que variáveis com correlações menores que - 80% e maiores que 80% entre si não ficassem no mesmo grupo, sendo que cada variável estivesse presente em pelo menos um grupo.
- d) Ainda existindo multicolinearidade, as variáveis com maior VIF (*Variance Inflation Factor*) dentro de cada grupo foram retiradas, até que o VIF de cada variável fosse menor ou igual a 10.

De acordo com Guedes (2005), as duas medidas mais comuns para avaliar a colinearidade de duas ou mais variáveis são o valor de tolerância e seu inverso, o fator de inflação de variância (normalmente conhecido por sua sigla em inglês VIF, ou *Variance Inflation Factor*). Estas medidas nos dizem o grau em que cada variável independente é explicada pelas demais variáveis independentes. Em termos simples, cada variável independente se torna uma dependente, e passa por uma regressão em relação às demais. A tolerância é a “quantidade” de variabilidade da variável independente selecionada que não é explicada pelas demais variáveis independentes. Logo, valores muito pequenos de tolerância (e grandes de VIF, uma vez que $VIF = 1/\text{tolerância}$) denotam colinearidade elevada. Procuramos valores VIF pequenos como indicativos de baixa intercorrelação entre as variáveis (HAIR, 1998 pg. 179).

Ainda segundo o mesmo autor, o valor de VIF é estipulado pelo pesquisador nos programas de regressão. Um valor de referência comum é uma tolerância de 0,10, equivalente a um valor VIF igual a 10. Considera-se que um VIF superior a 10 seja uma indicação de que a multicolinearidade possa causar problemas na estimação.

O processo de Regressão Stepwise segundo GUEDES, (2005), consiste em se estabelecer sequencialmente modelos com um crescente número de variáveis independentes a partir da entrada e saída de variáveis, de forma que o poder de previsão destes modelos é sucessivamente melhorado. Inicialmente a variável independente de melhor correlação com a variável dependente é incluída no modelo. A seguir, analisa-se qual a próxima variável independente a ser incluída cuja combinação com aquela inicialmente escolhida fornecerá uma equação com

melhor poder explicativo. E assim sucessivamente novas variáveis independentes vão sendo incluídas (ou excluídas), aumentando a correlação do modelo com a variável dependente.

A Regressão Múltipla é um dos inúmeros modelos estatísticos explanatórios causais referentes ao tratamento de séries temporais de dados. Sua base estatística advém da Regressão Linear, que se restringe a duas variáveis e a apenas uma equação funcional do primeiro grau ($Y = a + bX$) de ajustamento (KASZNAR & GONÇALVES).

Segundo os mesmos autores a análise de Regressão Múltipla é uma metodologia estatística de previsão de valores de uma ou mais variáveis de resposta (Dependentes) através de um conjunto de variáveis explicativas (Independentes). Esta metodologia pode ser utilizada também para a avaliação dos efeitos das variáveis explicativas como previsoras das variáveis de resposta; isto é, serve para contribuir na obtenção de respostas.

A análise de Regressão Múltipla envolve três ou mais variáveis. A finalidade das variáveis independentes adicionais é melhorar a capacidade de predição em comparação com a regressão linear simples.

Após a formação dos grupos, utilizou-se o Software Minitab® versão 15.1.30.0. para fazer a análise de Regressão Múltipla que foram realizadas para cada uma das safras em duas etapas:

- a) Com as funções oferecidas pelo Software foram adicionados os Índices de Vegetação de cada grupo e realizado o processo de análise para todos os grupos dos dados obtidos pelos Espectrorradiômetro;
- b) Análise dos dados dos Índices de Vegetação obtidos através das imagens de satélite;
- c) Comparação dos Índices de Vegetação obtidos com os dados do Espectrorradiômetro com os dados das imagens de satélite.

O programa retorna vários coeficientes dentre eles o desvio padrão, coeficiente de determinação, coeficiente de determinação ajustado e VIF, juntamente com a equação de regressão.

Utilizando o mesmo Software realizou-se também a análise Regressão Stepwise com os mesmos dados buscando uma melhor equação para previsão de safra:

- Com as funções oferecidas pelo Software foram adicionados os Índices de Vegetação de cada grupo e realizado o processo de análise para todos os grupos dos dados obtidos pelos Espectrorradiômetro;
- Análise dos dados dos Índices de Vegetação obtidos através das imagens de satélite;

O programa retorna vários coeficientes dentre eles o desvio padrão, coeficiente de determinação, coeficiente de determinação ajustado e VIF, juntamente com a equação de regressão, os resultados de todas as análises.

Todos os resultados das análises e gráficos correspondentes estão em um capítulo posterior onde também se encontra as discussões dos mesmos, a Figura 3 mostra a sequencia das etapas para se chegar a um modelo de previsão de safra.

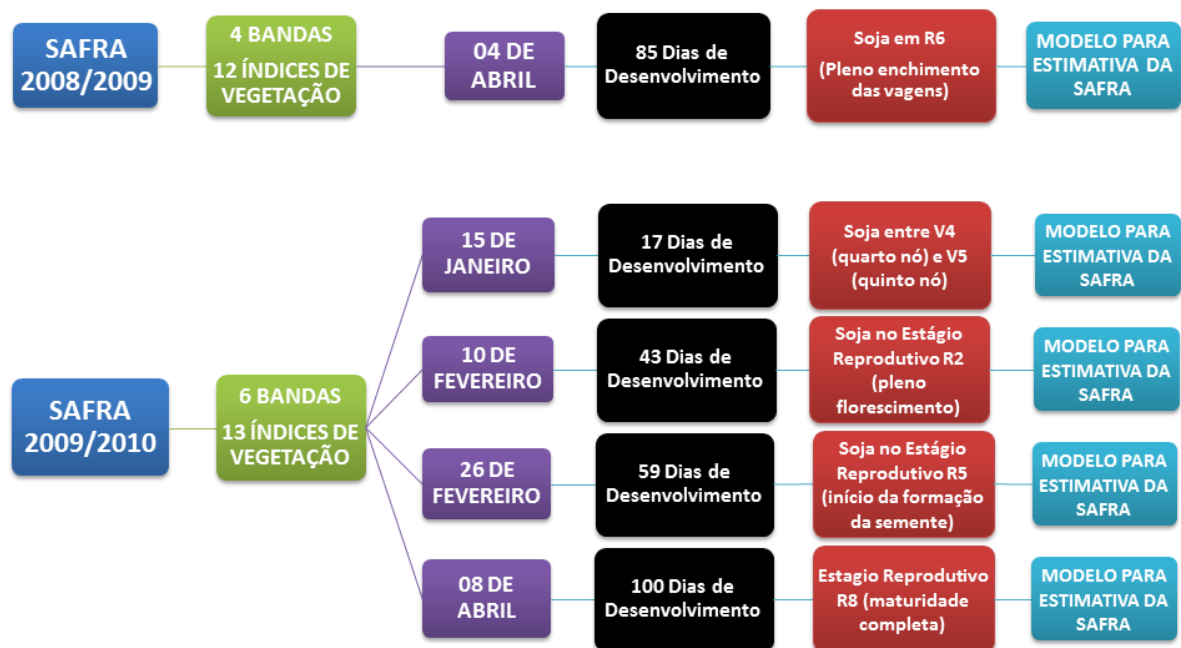


Figura 3 – Diferenças entre os procedimentos para previsão de safra dos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010 com as datas e classificação do estado fenológico da Soja.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Município de Santa Maria

De acordo com o IBGE (2007), Santa Maria localiza-se na região fisiográfica da Depressão Central, próxima à zona denominada de rebordo do Planalto, a 29° 43' de latitude sul e 53° 49' de longitude oeste.

O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com precipitação média anual de 1700 mm e temperatura média anual de 18°C, sendo a média das máximas do mês mais quente 32°C e das mínimas do mês mais frio de 9°C (BURIOL et al., 1979 apud PEDRON et al., 2006).

Os solos desta região são medianamente profundos (1m), com cores bruno-acinzentadas no horizonte A e bruno-amareladas no horizonte B, apresentando textura média, sendo friáveis e imperfeitamente drenados. O material de origem predominante são siltitos e arenitos. São solos ácidos com saturação por bases baixa no horizonte superficial. Nos horizontes subsuperficiais a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e a Saturação por Bases aumentam. Ocorrem em relevo suave ondulado a ondulado, totalizando 505.000ha no estado do Rio Grande do Sul (1,87% da área do estado) (REINERT, 2007).

O mesmo autor coloca que a fertilidade é natural moderada. Solo muito susceptível à erosão, sendo ela de moderada a forte, a falta d'água de ligeira a moderada com boa capacidade de retenção de umidade, mas podendo apresentar deficiência devido a ocorrência de períodos secos, a falta de ar é ligeira a moderada. Quanto ao uso de implementos agrícolas, são moderados, a má drenagem interna do perfil dificulta a mecanização em épocas chuvosas.

3.2. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo (Figura 4) situa-se na Universidade Federal de Santa Maria, com área total de 16,14 hectares. Antes do experimento esta área era campo bruto, utilizada em atividades de pecuária extensiva.

A poligonal do talhão de estudo foi levantada com GPS Garmin modelo eTrex de navegação e foi utilizada para a confecção da malha de amostragem quadrada de 1 ha (100m x 100m), totalizando 15 pontos com coordenadas planas E e N, que foram utilizados na safra 2008/2009.

Na safra seguinte (2009/2010) problemas de drenagem do solo impossibilitou o plantio em parte da área, onde esta localizada a gleba A (Figura 4). Para continuar trabalhando com 15 pontos na safra 2009/2010 o Ponto 16 foi adicionado a grade ficando localizado na gleba C.

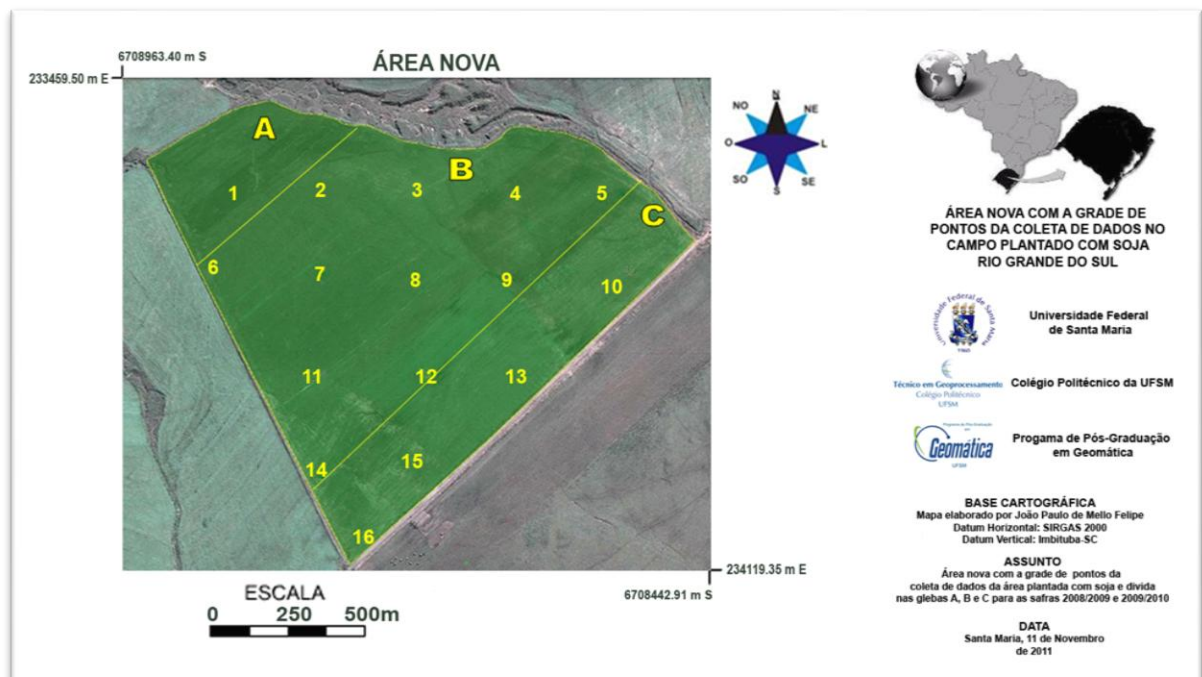


Figura 4 – Área nova com a grade de pontos da coleta de dados da área plantada com soja e dividida nas glebas A, B e C para as safras 2008/2009 e 2009/2010.

3.3. Safra 2008/2009

3.3.1. Aquisição de dados

O equipamento utilizado na pesquisa de campo, para a obtenção de medidas de reflectância da soja foi o Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR como mostra a Figura 5.



Figura 5 – Foto mostrando a coleta de dados no campo onde a Soja estava com 85 dias após o plantio em R6 (Pleno enchimento das vagens).

Primeiramente realizou uma leitura na placa de Espectralon, nos passos seguintes foram feitas cinco leituras em cada um dos 15 pontos da grade (Figura 4), a cada cinco pontos era feita uma leitura na placa de Espectralon. Os dados foram

coletados em 04 de Abril de 2009, a Soja estava no estagio reprodutivo R6 (Pleno enchimento das vagens) com 85 dias após o plantio, ver Tabela 4 e Figura 5.

Além dos dados coletados no campo com o Espectrorradiômetro, utilizaram-se imagens do satélite CBERS 2B de mesma data. Estas imagens foram adquiridas diretamente do site do INPE onde estão disponíveis gratuitamente para download.

3.3.2. Colheita

A colheita da soja foi feita 132 dia após o plantio no dia 21 de maio de 2009. Foi colhido um metro quadrado de soja em cada um dos 15 pontos de trabalho. Após a trilhagem, os grãos foram pesados. Também foi feita a quantificação da umidade dos grãos pelo método padrão de estufa, os dados de umidade foram utilizados para padronização da umidade das amostras em 14%, que é a umidade máxima aceitável pela Associação Nacional dos Exportadores de Cereais – ANEC. Com esses dados foi feito o cálculo da produtividade em cada ponto. Com os dados de produtividade, foi criado o mapa de produtividade, da área em questão, utilizando as rotinas de Agricultura de Precisão do Sistema CR-Campeiro 7.

3.3.3. Preparação dos dados: Espectrorradiômetro

A Coleta de campo feita na cultura registrou leitura de reflectância da soja nos pontos previamente determinados, com a utilização do Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR. Para o processamento destas informações foi utilizado o aplicativo ASD View Spec Pro Versão 4.05®, o qual possibilitou a conversão da leitura efetuada pelo sensor em valores numéricos para interpretação. Realizada a transformação dos dados, os valores numéricos foram importados para planilhas do aplicativo Microsoft Excel 2007®.

Neste aplicativo foi gerada uma planilha de 2150 (duas mil cento e cinquenta) linhas correspondentes à leitura de reflectância pelo Espectrorradiômetro que abrange o intervalo entre 350nm até 2500nm e cinco colunas relacionadas às

repetições em cada ponto da grade. As cinco repetições foram agrupadas em uma única média. Feito isso para cada ponto e colocando todos os pontos em uma única planilha, obteve-se a uma planilha de 2150 linhas por 15 colunas (cada coluna correspondendo a um ponto da amostrado).

Esta planilha possibilitou a aplicação das equações, descritas anteriormente no item 2.1.2, para obtenção dos índices de vegetação.

A Figura 6 mostra que o processo foi dividido em três etapas, a primeira consiste na aquisição e preparo dos dados do Espectrorradiômetro, a segunda mostra o processamento dos dados das imagens dos satélites e a terceira etapa a metodologia aplicada aos dados de produtividade.

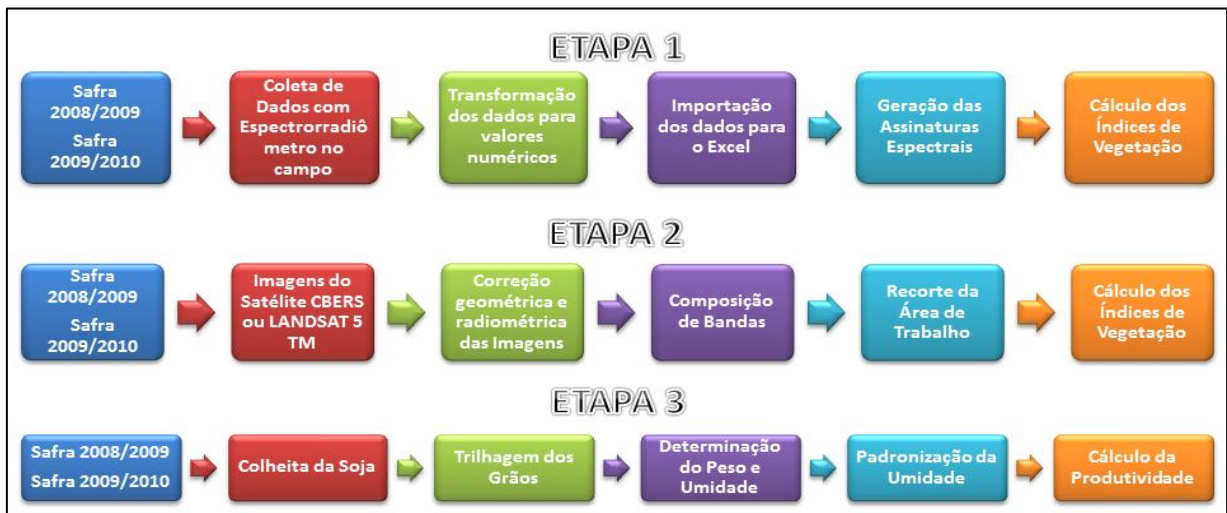


Figura 6 – Etapas do processo de aquisição e processamento dos dados visando a realização das análises estatísticas.

3.3.4. Organização dos índices de Vegetação em grupos

As Tabelas de 5 a 9 mostram os sete grupos de índices de Vegetação formados utilizando a metodologia descrita nas letras de **a** a **d**. do item 2.3.

Tabela 5 – Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja em R6 (Pleno enchimento das vagens).

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6	GRUPO 7
CRI	CRI	CRI	OSAVI	AZUL	AZUL	VERDE
IV PROXIMO	SAVI	TVI	VARI	VARI	IV PROXIMO	IV PROXIMO
TCARI	TCARI	TCARI	VERMELHO	OSAVI	VARI	VARI
VARI	VARI	VARI				

Na Tabela 4 mostra os sete grupos formados com os dados da safra 2008/2009 coletados com o Espectrorradiômetro, Soja estava no estagio reprodutivo R6 (Pleno enchimento das vagens). Os grupos formados foram os seguintes:

Já Tabela 6 mostra os apenas três grupos formados com os dados da safra 2009/2010 coletados com o Espectrorradiômetro, Soja estava ainda no estagio vegetativo entre V4 (quarto nó) e V5 (quinto nó). Os grupos formados foram os seguintes:

Tabela 6 – Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja entre V4 (quarto nó) e V5 (quinto nó).

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
VERDE B2	VERDE B2	VERDE B2
REP	REP	REP
VERMELHO B3	CRI	AZUL B1

A Tabela 7 é a que contém o maior número de grupos, no total de 11 grupos formados com os dados da safra 2009/2010 coletados com o Espectrorradiômetro em 10 de fevereiro de 2010 com a Soja no Estágio Reprodutivo R2 (pleno florescimento) ver Figura 5. Os grupos formados foram os seguintes:

Tabela 7 – Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja no Estágio Reprodutivo R2 (pleno florescimento).

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6	GRUPO 7	GRUPO 8	GRUPO 9	GRUPO 10	GRUPO 11
CRI	CRI	CRI	CRI	CRI	CRI	CRI	AZUL B1	TVI	CRI	VERMELHO B3
IV PROXIMO B4	IV PROXIMO B4	WBI	REP	SAVI	IV PROXIMO B4	IV PROXIMO B4	SAVI	RS	SAVI	SAVI
REP	REP	REP	NDMI	REP	REP	RS	REP	REP	TCARI/ OSAVI	REP
VARI	NDMI	VARI	VARI	IV MEDIO B5	IV PROXIMO B7	REP	IV MEDIO B5	VARI	REP	VARI
WBI	VARI	SAVI	SAVI	VARI	VARI	VARI	VARI			

Na Tabela 8 estão os oito grupos formados com os dados da safra 2009/2010 coletados com o Espectrorradiômetro em 26 de fevereiro de 2010 com a Soja no Estágio Reprodutivo R5 (início da formação da semente). Os Índices de Vegetação ficaram divididos nos seguintes grupos:

Tabela 8 – Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja no Estágio Reprodutivo R5 (início da formação da semente).

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6	GRUPO 7	GRUPO 8
CRI	VERMELHO B3	AZUL B1	CRI	CRI	CRI	CRI	CRI
NDMI	TCARI	TCARI	RS	TCARI	NDMI	NDMI	TCARI
REP	NDMI	NDMI	TCARI	NDMI	REP	NVI	NDMI
RS	REP	REP	NDMI	REP	TVI	VERDE B2	NVI
VERDE B2	RS	RS	REP	NDVI	RS		

A Tabela 9 mostra apenas três grupos formados com os dados da safra 2009/2010 coletados com o Espectrorradiômetro com a Soja no Estágio Reprodutivo R8 (maturidade completa). Os grupos formados foram os seguintes:

Tabela 9 – Grupo formado pelas variáveis calculadas com os dados de reflectância da Soja coletadas com o Espectrorradiômetro com a Soja no Estagio Reprodutivo R8 (maturidade completa).

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
IV PROXIMO B7	REP	IV PROXIMO B7
REP	IV MEDIO B5	REP
VERMELHO B3	VERMELHO B3	AZUL B1

3.3.5. Preparação dos dados: Imagens do CBERS

As imagens foram obtidas pelo site do INPE no formato (.TIF) foram importadas e transformadas para arquivo (.img) pelo Software ERDAS 9.2®. Inicialmente foi feita a correção geométrica das imagens, composição de bandas, corte da área de interesse. Usando a função *Modeler Maker* calcularam-se os Índices de Vegetação, de acordo com as equações descritas anteriormente, e os valores dos Índices de Vegetação foram extraídos para uma tabela usando a ferramenta *Zonal Attributes* do Software em questão.

Com os valores dos Índices de Vegetação e da produtividade, tornou-se possível uma análise estatística das relações existentes entre estes dados, buscando a geração de modelos para a previsão de safra.

3.4. Safra 2009/2010

3.4.1. Aquisição de dados

O equipamento utilizado na pesquisa de campo, para a obtenção de medidas de reflectância da soja foi o Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR, o mesmo já descrito anteriormente na página 40.

Na Figura 7 observa-se a coleta de dados com o Espectrorradiômetro e uma planta com 43 dias após o plantio no Estágio Reprodutivo R2 (pleno florescimento).



Figura 7 – Foto da coleta de dados com Espectrorradiômetro e foto da planta de Soja com 43 dias após o plantio no Estágio Reprodutivo R2 (pleno florescimento).

Primeiramente realizou uma leitura na placa de Espectralon, nos passos seguintes foram feitas cinco leituras dos pontos 2 ao 16 da grade (Figura 4), realizaram-se cinco coletas de dados, nas datas 15/01/2010, 10/02/2010, 26/02/2010, 16/03/2010 e 08/04/2010 na safra de 2010, estando a Soja com 17, 43, 59, 76 e 100 dias de desenvolvimento respectivamente. Os dados coletados ao 76^o dia não puderam ser aproveitados devido a erros no sistema operacional do Espectrorradiômetro. Além dos dados coletados no campo com o Espectrorradiômetro, utilizaram-se imagens do satélite LANDSAT 5 TM dos dias 24 de janeiro, 09 de fevereiro e 14 de abril, que correspondem com o período da cultura no campo.

3.4.2. Colheita

Ao finalizar o ciclo do cultivo fez-se uma colheita de um metro quadrado área plantada de soja em cada ponto amostrado para estimar a produtividade da lavoura.

O plantio foi realizado em 29 de dezembro de 2009 e a colheita em 14 de abril de 2010.

Os procedimentos adotados nesta safra foram os mesmo adotados na safra anterior. As únicas mudanças foram a utilização do ponto 16 em substituição ao ponto 1 (Figura 4), e a realização de cinco coletas ao longo do ciclo da soja.

3.4.3. Preparação dos dados: Espectrorradiômetro

Os procedimentos adotados para esta safra foram os mesmos adotados na safra anterior. Porém nesta safra se trabalhou com leituras de cinco datas diferentes, com o objetivo de obter os índices de vegetação para cada uma das datas.

3.4.4. Preparação dos dados: Imagens do LANDSAT

Como neste trabalho era interessante ter imagens do Satélite e dados do Espectrorradiômetro de mesma data, com o objetivo de comparar os índices de vegetação calculados com os dados de campo e os dados das imagens do satélite em questão, buscou-se utilizar todas as imagens disponíveis da área de trabalho durante o período de cultivo. As datas utilizadas foram 24/01/2010, 09/02/2010 e 14/04/2010 que correspondem ao período da cultura no campo.

Os procedimentos adotados para as imagens do LANDSAT foram os mesmos adotados para as imagens do CBERS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Safra 2008/2009

A Tabela 10 contém os pontos de trabalho e suas respectivas coordenadas, umidade, peso e produtividade para a safra 2008/2009. Observa-se que a umidade varia de 12,09 a 15,10% justificando a necessidade da padronização em 14,00% para o cálculo da produtividade. As amostras com valores de umidade inferiores a 14,00% tiveram seu peso aumentado, enquanto as com umidade acima deste valor tiveram seu peso diminuído.

Tabela 10 – Pontos e coordenadas da grade de trabalho juntamente com os dados de umidade e peso das amostras e produtividade por ponto de trabalho da safra 2008/2009.

Ponto	Cordenadas		Umidade de Colheita	Peso de 1m ² (g)	Umidade Padrão	Peso de 1m ² (g) Corrigido	Produtividade Kg/ha
	E (m)	N (m)					
1	233.587	6.708.851	14,99%	341,73	14,00%	319,16	3.191,61
2	233.687	6.708.851	13,59%	269,54	14,00%	277,67	2.776,72
3	233.787	6.708.851	12,58%	536,63	14,00%	597,20	5.972,03
4	233.887	6.708.851	13,56%	613,07	14,00%	632,96	6.329,63
5	233.987	6.708.851	12,47%	511,21	14,00%	573,93	5.739,33
6	233.574	6.708.765	14,96%	451,47	14,00%	422,50	4.224,99
7	233.687	6.708.751	12,20%	586,10	14,00%	672,57	6.725,74
8	233.787	6.708.751	13,59%	390,97	14,00%	402,77	4.027,65
9	233.887	6.708.751	12,09%	266,84	14,00%	309,00	3.089,96
10	233.987	6.708.751	13,37%	373,30	14,00%	390,89	3.908,90
11	233.687	6.708.651	13,56%	473,70	14,00%	489,07	4.890,71
12	233.787	6.708.651	12,98%	377,25	14,00%	406,90	4.068,95
13	233.887	6.708.651	12,85%	250,13	14,00%	272,52	2.725,15
14	233.687	6.708.551	15,10%	395,58	14,00%	366,76	3.667,63
15	233.787	6.708.551	14,80%	454,76	14,00%	430,18	4.301,78

A Figura 8 mostra o mapa da lavoura com 10 classes de produtividade onde as cores mais escuras indicam maior produtividade.

Molin (2001) afirma que, sem dúvida, a melhor informação do resultado de uma lavoura é a colheita. Na agricultura de precisão essa informação é o mapa de

produtividade que mostra o total colhido para cada pequena porção da lavoura. É uma imagem que representa a variabilidade espacial da produção.

A partir da geração de mapas de produtividade, é possível constatar a variabilidade espacial da produção em áreas agrícolas, evidenciando-se que uma área não é homogênea, o que leva a produtividades distintas e, conseqüentemente, à rentabilidade econômica variável (CREMONINI, 2002). O autor continua, dizendo que as causas da variabilidade podem ser as mais diversas e, portanto, a geração confiável de informação, relacionada às causas ou aos efeitos, torna-se uma ferramenta de grande importância para a tomada de decisões.

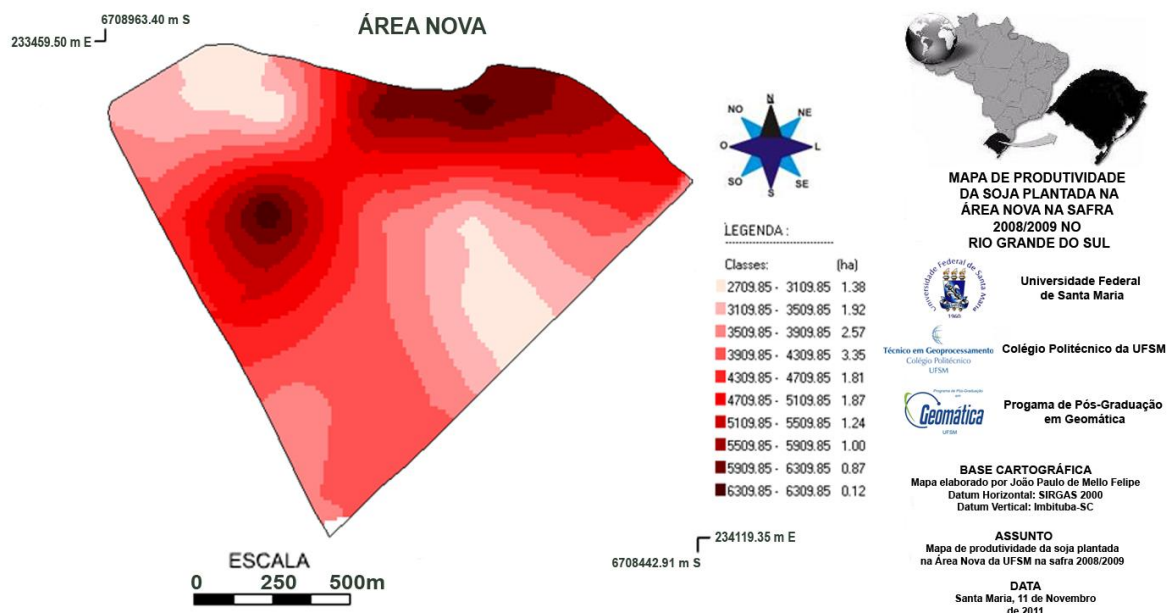


Figura 8 – Mapa de produtividade de Soja da área de trabalho gerado pelas rotinas de Agricultura de Precisão do Sistema CR – Campeiro 7 dividido em 10 classes de produtividade, safra 2008/2009.

Um possível erro associado a este mapa pode estar relacionado à pequena área amostrada para o cálculo da produtividade que foi de apenas um metro quadrado. De qualquer forma representa uma grande fonte de informações para o agricultor, juntamente com informações do histórico da área, análise de solo, dados pluviométrico entre outros.

O Apêndice 11 traz o comportamento espectral da soja com idade de 85 dias após o plantio. O comprimento de onda vai de 350nm até 2500nm. As faixas destacadas em vermelho representam as áreas de atenuação atmosférica.

O pico na banda do verde (ou ponto de máxima reflectância) no espectro visível está fortemente relacionado ao total de clorofila (SCHEPERS et al. 1996).

Na região do visível a curva é influenciada principalmente pelos pigmentos das folhas (Clorofila *a* e *b*, carotenoides e xantofilas). Ocorre um pico de reflectância em 554nm responsável pela coloração verde visualizada nas folhas.

As clorofilas *a* e *b* são os mais importantes pigmentos vegetais absorvedores da luz azul e vermelha: a clorofila *a* nos comprimentos de onda 430nm e 660nm, e clorofila *b* nos comprimentos de onda 450nm e 650nm (FARABEE, 1997).

A região que vai de 720nm a 1350nm aproximadamente é caracterizada pelo espalhamento interno da radiação infravermelha pelo mesófilo esponjoso. SANTOS JUNIOR et al. (2002), trabalhando com resposta espectral de soja cv. BRS 133 infectada por *Heterodera glycines*, constatou que plantas ou amostras situadas em pontos de maior infestação de nematoides, apresentaram diminuição nos valores de reflectância na região do infravermelho próximo, em função da menor quantidade de biomassa em resposta ao ataque dos nematoides.

Estudando o efeito da variação das concentrações de nitrogênio em mamona Reddy & Matcha (2010) detectaram que reduções nos pigmentos aumentaram a reflectância da folha nos comprimentos de onda de 555 e 715nm, e causando um deslocamento da borda vermelha.

Nota-se que no gráfico do Apêndice 11 o comportamento espectral da Soja sofreu grande interferência nas bandas de absorção da água atmosférica nas faixas de 1350nm a 1410nm, de 1800nm a 1970nm e de 2390nm a 2500nm aproximadamente.

Já faixa que vai de 1420nm a 2500nm (região do infravermelho médio) é resposta principalmente do conteúdo de água. Segundo Jensen (2009), nesta faixa do espectro os picos de reflectância da vegetação ocorrem aproximadamente em 1600nm e 2200nm entre as duas principais bandas de absorção pela água atmosférica. Neste gráfico os picos ocorreram em 1668nm e 2221nm, esses picos podem ser característicos da cultura.

Ainda segundo o mesmo autor a água é um bom absorvedor da energia no infravermelho médio, de tal forma que quanto maior a turgidez das folhas menores

as reflectância. Inversamente à medida que o conteúdo de umidade diminui a reflectância aumenta substancialmente.

Na Tabela 11 temos os resultados das análises de regressão Múltipla e Stepwise por eliminação Backward (usando alfa igual a 5%). Os melhores resultados foram encontrados para o grupo 3 e 4, onde os coeficientes de determinação e determinação ajustado apresentaram valores idênticos e com desvios padrões quase idênticos, entretanto cerca de 70,3% da variabilidade do modelo não pode ser explicado pela equação.

Tabela 11 – Resultados de Desvio Padrão, R^2 , R^2 Ajustado e Equação de Regressão das análises de regressão Múltipla e Stepwise para os índices de vegetação calculados com dados do Espectrorradiômetro e produtividade da soja com 85 dias após o plantio.

	Análise de Regressão	S	R-Sq	R-Sq(adj)	Equação de Regressão
GRUPO 1	Múltipla	1225,06	29,20%	9,90%	PRODUTIVIDADE = 9708 - 18 CRI + 18455 IV PROXIMO - 41820 TCARI - 14300 VARI
	Stepwise	1213	17,94%	11,63%	PRODUTIVIDADE = - 3916 + 16111 IV PROXIMO
GRUPO 2	Múltipla	1250,1	26,30%	6,20%	PRODUTIVIDADE = 3042 - 29 CRI + 23406 SAVI - 33698 TCARI - 15695 VARI
	Stepwise	-	-	-	-
GRUPO 3	Múltipla	1220,83	29,70%	10,50%	PRODUTIVIDADE = 10672 - 7 CRI + 377 TVI - 53012 TCARI - 17011 VARI
	Stepwise	-	-	-	-
GRUPO 4	Múltipla	1220,73	29,70%	10,50%	PRODUTIVIDADE = - 12576 + 41127 OSAVI - 21770 VARI - 12230 VERMELHO
	Stepwise	-	-	-	-
GRUPO 5	Múltipla	1299	27,60%	0,00%	PRODUTIVIDADE = - 13304 + 5832 AZUL - 20387 VARI + 40275 OSAVI
	Stepwise	-	-	-	-
GRUPO 6	Múltipla	1298,53	27,70%	0,00%	PRODUTIVIDADE = 9941 - 46721 AZUL + 15654 IV PROXIMO - 16615 VARI
	Stepwise	1213	17,94%	11,63%	PRODUTIVIDADE = - 3916 + 16111 IV PROXIMO
GRUPO 7	Múltipla	1290,04	28,60%	0,10%	PRODUTIVIDADE = 11311 - 73445 VERDE + 19739 IV PROXIMO - 18268 VARI
	Stepwise	1213	17,94%	11,63%	PRODUTIVIDADE = -3916 + 16111 IV PROXIMO

Na Figura 9 o Gráfico 1 mostra a distribuição do resíduo em função da porcentagem. No Gráfico 2 da Figura 9 observa-se grande dispersão nos valores dos resíduos, que indica que o modelo não consegue prever a produtividade com precisão. No Gráfico 3 mostra maior concentração de resíduos em -1000 e em 1000, o Gráfico 4 mostra a distribuição de resíduos por ponto de trabalho.

As análises de Regressão Múltipla e Stepwise por eliminação Backward (usando alfa igual a 5%) com os Índices de Vegetação apresentados na Tabela 12

(NDVI, RS, SAVI, TVI e VARI) não apresentaram valores significativos para nenhuma das regressões para previsão de safra.

Outra estatística feita foi a análise de regressão para comparar Índice por Índice de Vegetação (NDVI, RS, SAVI, TVI e VARI) calculados com os dados do Espectrorradiômetro e das imagens do Satélite CBERS 2B de mesma data (04 de abril de 2009). O melhor resultado foi obtido pelo Índice VARI, que apresentou desvio padrão igual a 4,41, R^2 de 23,6% e R^2 ajustado de 15,9%. A equação foi:

Equação 14 – Equação de Comparação do VARI

$$VARI(CBERS) = 114 + 173 VARI(ESPEC)$$

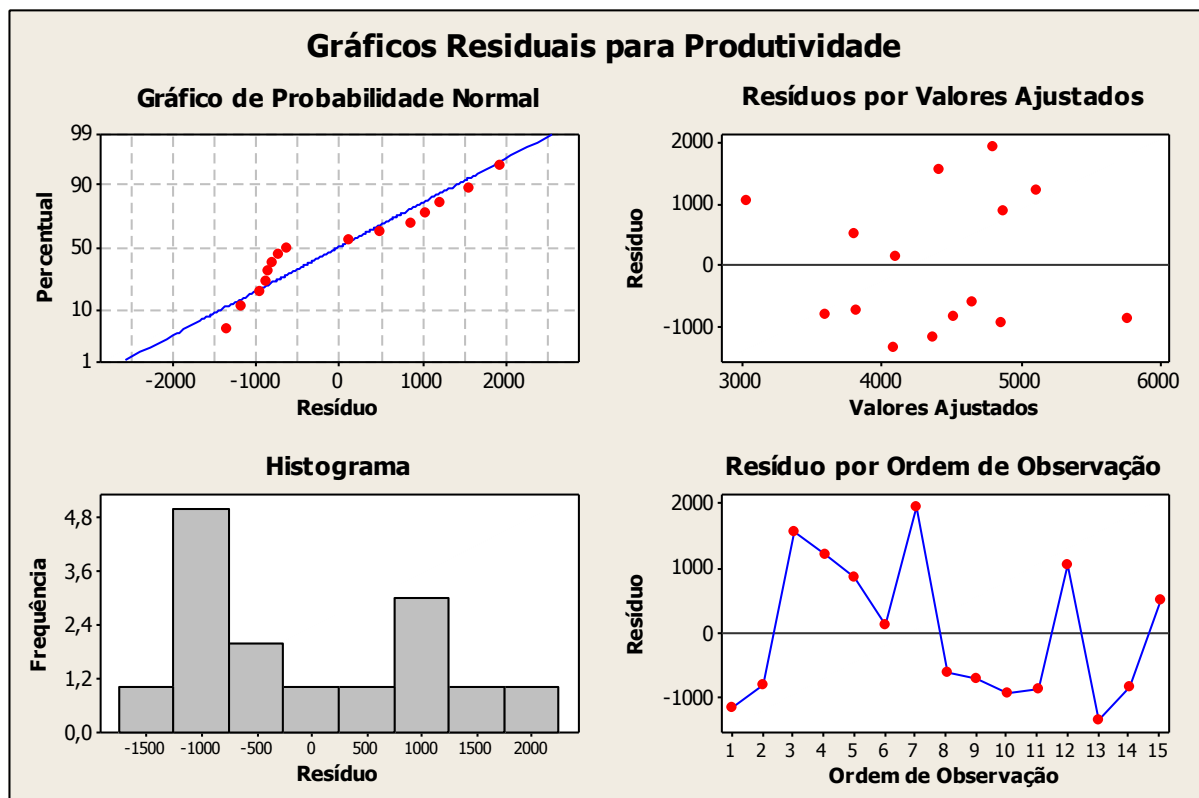


Figura 9 – Gráficos do comportamento do resíduo para o grupo 3 do dia 04 de abril de 2009. 1) Gráfico de Probabilidade Normal; 2) Gráfico de Resíduos dos Valores Ajustados; 3) Histograma de Frequência dos Resíduos e 4) Gráfico de Resíduos por ordem de Observação.

Tabela 12 – Valores dos Índices de Vegetação (NDVI, RS, SAVI, TVI e VARI) calculados utilizando as imagens do CBERS de 04 de Abril de 2009 da Soja com 85 dias após o plantio.

DADOS DAS IMAGENS DO CBERS 04/04/2009								
Ponto	E (m)	N (m)	NDVI	RS	SAVI	TVI	VARI	PRODUTIVIDADE (Kg/ha)
1	233.587	6.708.851	0,7266	3,79	0,331	7680	0,2500	3191,6
2	233.687	6.708.851	0,7422	5,18	0,334	8100	0,2344	2776,7
3	233.787	6.708.851	0,7031	4,51	0,327	7780	0,2031	5972,0
4	233.887	6.708.851	0,7266	5,19	0,331	7780	0,2031	6329,6
5	233.987	6.708.851	0,6172	4,89	0,309	6860	0,1563	5739,3
6	233.574	6.708.765	0,6641	5,40	0,318	6820	0,2109	4225,0
7	233.687	6.708.751	0,7813	3,73	0,343	8300	0,2891	6725,7
8	233.787	6.708.751	0,6953	4,27	0,324	7460	0,1641	4027,7
9	233.887	6.708.751	0,7656	5,14	0,339	8300	0,2813	3090,0
10	233.987	6.708.751	0,7422	4,56	0,335	8020	0,2031	3908,9
11	233.687	6.708.651	0,6406	4,61	0,314	6820	0,2031	4890,7
12	233.787	6.708.651	0,8203	5,00	0,35	8640	0,2578	4069,0
13	233.887	6.708.651	0,7969	4,72	0,346	8580	0,2500	2725,2
14	233.687	6.708.551	0,5234	4,22	0,289	5680	0,0859	3667,6
15	233.787	6.708.551	0,4844	4,62	0,282	5240	0,0469	4301,8

GALVÃO et al (2009), trabalhando com relações entre índices de vegetação e a produtividade de soja com dados do Hyperion/OI-1, também não encontrou correlações significativas para os índices NDVI, RS e VARI com a produtividade.

A baixa correlação encontrada na comparação entre os índices calculados pelos dados do Espectrorradiômetro e pelos dados das imagens do Satélite pode ser devido à baixa resolução espectral das imagens.

4.2. Safra 2009/2010

Na Tabela 13 estão os pontos de trabalho para a safra 2009/2010 e suas respectivas coordenadas, umidade, peso e produtividade. A umidade varia de 11,68 a 16,08% uma variação ainda maior que na safra anterior, a umidade foi padronizada em 14,00% para o cálculo da produtividade. As amostras com valores de umidade inferiores a 14,00% tiveram seu peso aumentado, enquanto as com umidade acima deste valor tiveram seu peso diminuído.

Tabela 13 – Pontos e coordenadas da grade de trabalho juntamente com os dados de umidade e peso das amostras e produtividade por ponto de trabalho da safra 2009/2010.

Ponto	Cordenadas		Umidade de Colheita	Peso de 1m ² (g)	Umidade Padrão	Peso de 1m ² (g) Corrigido	Produtividade Kg/ha
	E (m)	N (m)					
2	233.687	6.708.851	16,08%	353,82	14,00%	308,10	3.081,02
3	233.787	6.708.851	13,80%	644,15	14,00%	653,33	6.533,34
4	233.887	6.708.851	12,65%	588,52	14,00%	651,34	6.513,37
5	233.987	6.708.851	13,59%	489,27	14,00%	504,09	5.040,90
6	233.574	6.708.765	14,06%	489,23	14,00%	487,09	4.870,91
7	233.687	6.708.751	11,68%	422,48	14,00%	506,50	5.064,95
8	233.787	6.708.751	13,51%	567,51	14,00%	588,21	5.882,05
9	233.887	6.708.751	12,55%	451,45	14,00%	503,60	5.036,03
10	233.987	6.708.751	13,25%	423,33	14,00%	447,38	4.473,82
11	233.687	6.708.651	12,24%	647,45	14,00%	740,65	7.406,50
12	233.787	6.708.651	12,63%	653,70	14,00%	724,83	7.248,30
13	233.887	6.708.651	11,76%	485,37	14,00%	577,92	5.779,20
14	233.687	6.708.551	14,40%	439,59	14,00%	427,39	4.273,94
15	233.787	6.708.551	12,53%	680,99	14,00%	761,03	7.610,28
16	233.730	6.708.476	13,51%	508,50	14,00%	527,07	5.270,73

A Figura 10 mostra o mapa da lavoura com 10 classes de produtividade com cores mais escuras indicando maior produtividade.

Em comparação com o mapa da safra anterior, observa-se que diminuiu a área com produtividades inferiores a 4500 kg/ha. Grande parte da área está classificada nas classes intermediárias de 4 a 7, ficando apenas uma pequena porção nas classes de 1 a 3 e de 7 a 10.

Observa-se também que no mapa da Figura 10 a área que não tinha sido plantada (Figura 4) devido a problemas de encharcamento do solo, foi retirada da área para geração mapa de produtividade.

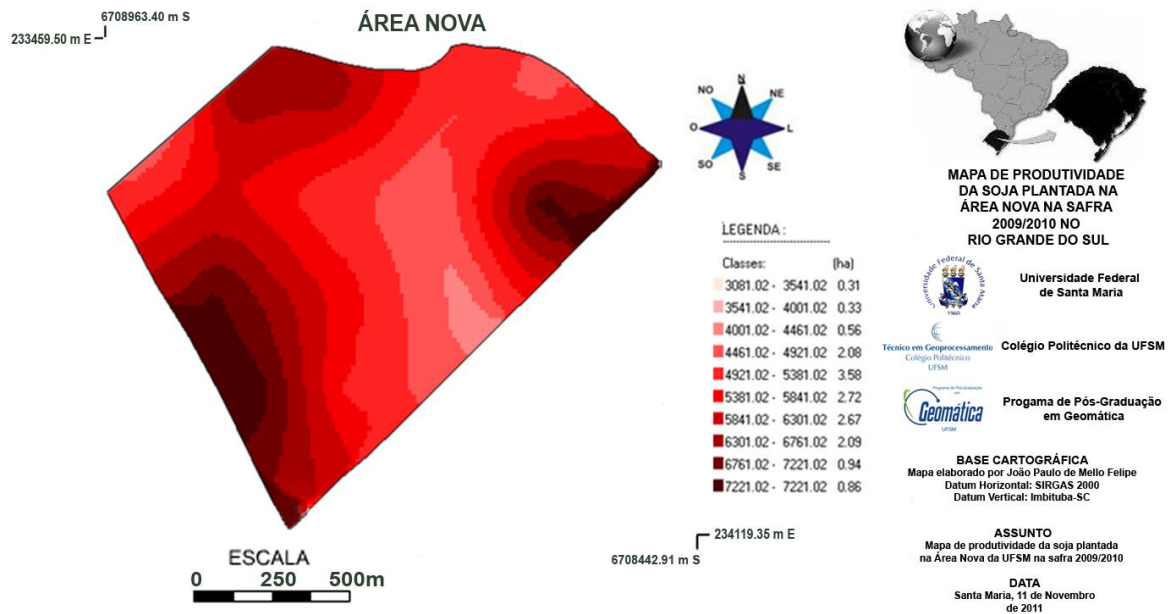


Figura 10 – Mapa de produtividade de Soja da área de trabalho gerado pelas rotinas de Agricultura de Precisão do Sistema CR – Campeiro 7 dividido em 10 classe de produtividade, safra 2009/2010.

No Apêndice 13 podemos ver a média das assinaturas espectrais de todos os pontos amostrais da área de soja com idade de 43 dias após o plantio. O comprimento de onda vai de 350nm até 2500nm. As faixas destacadas em vermelho representam as áreas de atenuação atmosférica.

Na região do visível, região de influencia dos pelos pigmentos, ocorre um pico de reflexão em 554nm (ver Tabela 14) que é responsável pela visualização da cultura na coloração verde. O maior valor de reflectância ocorreu exatamente no mesmo comprimento de onda para todas as leituras quando não havia solo exposto. As maiores reflectância ocorreram em 554nm para a soja com 85 dias após o plantio para a leitura de 2009, 43, e 59 dias após o plantio para as leituras de 2010. O mesmo não ocorreu quando a soja estava com 17 e 100 dias após o plantio, em que os picos de reflectância ocorreram em 556nm e 584nm respectivamente.

Tabela 14 – Valores dos Picos de Reflectância da Soja observados na Assinatura Espectral da cultura com idades diferentes.

DIAS APÓS O PLANTIO	PICO 1 (500 a 600)nm	PICO 2 (750 a 800)nm	PICO 3 (850 a 950)nm	PICO 4 (1050 a 1200)nm
17	556	762	942	1127
43	554	762	940	1125
59	554	762	931	1071
85	554	-	921	1077
100	584	747	922	1089

Também ocorreram picos de reflectância em 762nm para a soja com 17, 43 e 59 dias. O mesmo não ocorreu para 85 dias (safra 2008/2009) e 100 dias (safra 2009/2010), como se pode observar na Figura 11.

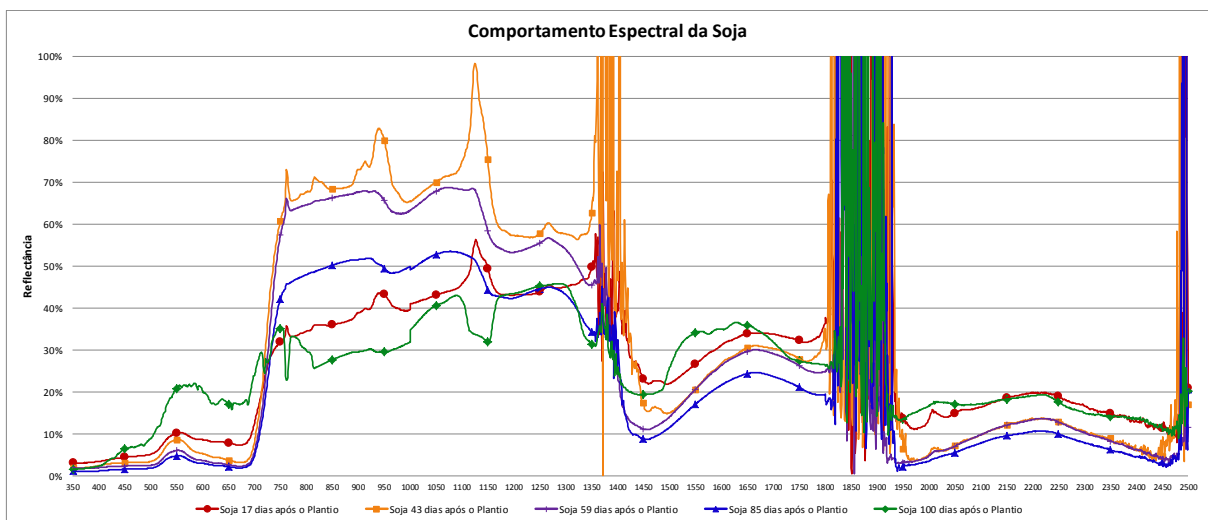


Figura 11 – Comparação da curva do Comportamento espectral da Soja com 17, 43, 59, 85 e 100 dias de desenvolvimento após o plantio.

A região que vai de 720nm a 1350nm aproximadamente que é caracterizada pelo espalhamento interno da radiação infravermelha pelo mesófilo esponjoso, os picos ocorreram em 921nm e 1077nm para a soja com 85 dias (safra 2008/2009) e 942nm e 1127nm; 940nm e 1125nm; 931nm e 1070nm e 922nm e 1089nm para a soja com 17, 43, 59 e 100 dias após o plantio respectivamente para a safra seguinte.

Os gráficos dos comportamentos espectrais referentes a 17, 59 e 100 dias após o plantio da soja estão nos apêndices 12,14 e 15 respectivamente.

A curva sofreu grande interferência nas bandas de absorção da água atmosférica nas faixas de 1350nm a 1410nm, de 1800nm a 1970nm e de 2390nm a 2500nm aproximadamente.

Na Tabela 15 temos os resultados das análises de regressão Múltipla e Stepwise por eliminação Backward (usando alfa igual a 5%).

Os melhores resultados encontrados para Regressão Múltipla foram para os grupos 1, 4, e 11 onde os coeficientes de determinação e determinação ajustado chegaram a valores de 97,70% e 96,40%; 98,00% e 96,30% e 97,72% e 96,41% para os grupos 1, 4 e 11 respectivamente. Apresentaram valores baixos de desvio padrão. Mostrando que a combinação dos índices de vegetação dos grupos em questão pode ser utilizada para estimativa de safra com boa precisão.

É importante destacar que todos os grupos tiveram boas correlações com a produtividade para soja com 43 dias após o plantio.

Já na Stepwise por eliminação Backward os melhores resultados encontrados foram para os grupos 8 e 11, onde os coeficientes de determinação e determinação ajustado chegaram a valores de 95,68% e 94,06%; e 97,72% e 96,41% para os grupos 8 e 11 respectivamente.

Portanto é possível a utilização dos modelos gerados tanto pela Regressão Múltipla como pela Stepwise Backward para a previsão de safra, de acordo com a metodologia utilizada, para soja com 43 dias após o plantio, com a Soja no Estágio Reprodutivo R2 (pleno florescimento) ver Figura 7.

Os resultados encontrados mostram que a melhor período para fazer previsão de safra é no Estágio Reprodutivo R2

As plantas em R2 têm 43 a 56 cm de altura e estão nos estádios V8 a V12. Nessa fase, a planta acumulou somente cerca de 25% de sua matéria seca final e nutrientes, atingiu aproximadamente 50% de sua altura final e desenvolveu cerca de metade do número total de nós. Esse estágio marca o início de um período de rápido e constante acúmulo diário das taxas de matéria seca e de nutrientes pela planta, que continuará até logo após o estágio R6 (POTAFOS, 2011).

Tabela 15 – Resultados de Desvio Padrão, R², R² Ajustado e Equação de Regressão das análises de regressão Múltipla e Stepwise para os índices de vegetação e produtividade do Espectrorradiômetro do dia 10 de fevereiro de 2010.

Análise de Regressão		S	R-Sq	R-Sq(adj)	Equação de Regressão
GRUPO 1	Múltipla	250,3	97,70%	96,40%	PRODUTIVIDADE = - 482301 - 181 CRI + 8044 IV PROXIMO B4 + 736 REP - 34930 VARI - 2276 WBI
	Stepwise	358,0	94,72%	92,09%	PRODUTIVIDADE = - 542643 - 186 CRI + 8291 IV PROXIMO B4 + 821 REP - 33883 VARI
GRUPO 2	Múltipla	490,7	90,10%	85,20%	PRODUTIVIDADE = - 484039 - 169 CRI + 8306 IV PROXIMO B4 + 735 REP - 1294 NDMI - 35543 VARI
	Stepwise	358,0	94,72%	92,09%	PRODUTIVIDADE = - 542643 - 186 CRI + 8291 IV PROXIMO B4 + 821 REP - 33883 VARI
GRUPO 3	Múltipla	440,8	92,00%	88,00%	PRODUTIVIDADE = - 511641 - 222 CRI - 3050 WBI + 774 REP - 34131 VARI + 13371 SAVI
	Stepwise	351,0	94,93%	92,40%	PRODUTIVIDADE = - 593641 - 232 CRI + 890 REP - 32572 VARI + 13856 SAVI
GRUPO 4	Múltipla	224,4	98,00%	96,30%	PRODUTIVIDADE = - 538201 - 216 CRI + 809 REP - 1224 NDMI - 34127 VARI + 13872 SAVI
	Stepwise	351,0	94,93%	92,40%	PRODUTIVIDADE = - 593641 - 232 CRI + 890 REP - 32572 VARI + 13856 SAVI
GRUPO 5	Múltipla	383,0	94,70%	91,00%	PRODUTIVIDADE = - 499284 - 197 CRI + 12429 SAVI + 750 REP + 3233 IV MEDIO B5 - 36026 VARI
	Stepwise	351,0	94,93%	92,40%	PRODUTIVIDADE = - 593641 - 232 CRI + 890 REP - 32572 VARI + 13856 SAVI
GRUPO 6	Múltipla	367,4	95,10%	91,70%	PRODUTIVIDADE = - 435312 - 146 CRI + 7469 IV PROXIMO B4 + 662 REP + 7153 IV PROXIMO B7 - 38282
	Stepwise	358,0	94,72%	92,09%	PRODUTIVIDADE = - 542643 - 186 CRI + 8291 IV PROXIMO B4 + 821 REP - 33883 VARI
GRUPO 7	Múltipla	363,2	95,30%	91,90%	PRODUTIVIDADE = - 536974 - 180 CRI + 8430 IV PROXIMO B4 - 6 RS + 813 REP - 33893 VARI
	Stepwise	358,0	94,72%	92,09%	PRODUTIVIDADE = - 542643 - 186 CRI + 8291 IV PROXIMO B4 + 821 REP - 33883 VARI
GRUPO 8	Múltipla	370,6	95,10%	91,50%	PRODUTIVIDADE = - 321800 + 163515 AZUL B1 + 15238 SAVI + 472 REP - 5962 IV MEDIO B5 - 29139 VARI
	Stepwise	283,0	95,68%	94,06%	PRODUTIVIDADE = - 1442 + 136540 AZUL B1 + 11362 SAVI - 32243 VARI
GRUPO 9	Múltipla	368,0	95,10%	91,70%	PRODUTIVIDADE = - 353205 + 173 TVI - 86,6 RS + 538 REP - 44405 VARI
	Stepwise	465,0	90,00%	86,67%	PRODUTIVIDADE = - 476082 + 181 TVI + 720 REP - 51727 VARI
GRUPO 10	Múltipla	377,7	94,90%	91,20%	PRODUTIVIDADE = - 742676 - 489 CRI + 7984 SAVI - 20146 TCARI/OSAVI + 1119 REP
	Stepwise	748,0	68,39%	65,51%	PRODUTIVIDADE = 11729 - 397 CRI
GRUPO 11	Múltipla	250,3	97,72%	96,41%	PRODUTIVIDADE = - 411864 + 99366 VERMELHO B3 + 13802 SAVI + 611 REP - 39328 VARI
	Stepwise	250,3	97,72%	96,41%	PRODUTIVIDADE = - 411864 + 99366 VERMELHO B3 + 13802 SAVI + 611 REP - 39328 VARI

Ainda segundo o mesmo Instituto essa rápida acumulação de matéria seca e nutrientes pela planta inteira inicia-se nas partes vegetativas (folhas, hastes, pecíolos e raízes), deslocando-se gradualmente para as vagens e sementes em formação, enquanto as partes vegetativas finalizam o seu desenvolvimento. Além disso, a taxa de fixação de nitrogênio pelos nódulos radiculares também aumenta rapidamente no estágio R2.

Os bons resultados encontrados é um bom indicativo de que está seja mesmo o melhor estágio da cultura para uma boa previsão de safra, porém devido a grande quantidade de variáveis presentes durante todo o ciclo da cultura no campo, mais estudos são necessários para a confirmação destes resultados.

Galvão et al (2009) trabalhando com relações entre índices de vegetação e produtividade da soja, encontro boas correlação entre os índices CRI, VARI, NDMI e WBI e a produtividade o que pode ser comprovado por este trabalho.

Além dos índices já citados podemos usar também REP e o SAVI, e também as bandas Azul B1, Vermelho B3, IV Próximo B4 e IV Médio B5 para ajustes de modelos com boa precisão. Nas Figuras 11 e 12 observa-se o comportamento de

dispersão nos valores dos resíduos, com dispersões bem menores comparados com os gráficos da Figura 9.

Na Figura 12 o Gráfico 1 mostra a distribuição do resíduo em função da porcentagem. No Gráfico 2 observa-se o valor do resíduo em relação aos valores previstos de produtividade. No Gráfico 3 mostra maior concentração de resíduos em zero, 200 e em 400, o Gráfico 4 mostra a distribuição de resíduos por ponto de trabalho.

Na Figura 13 o Gráfico 1 mostra a distribuição do resíduo em função da porcentagem. No Gráfico 2 observa-se o valor do resíduo em relação aos valores previstos de produtividade. No Gráfico 3 mostra maior concentração de resíduos em 100, o Gráfico 4 mostra a distribuição de resíduos por ponto de trabalho.

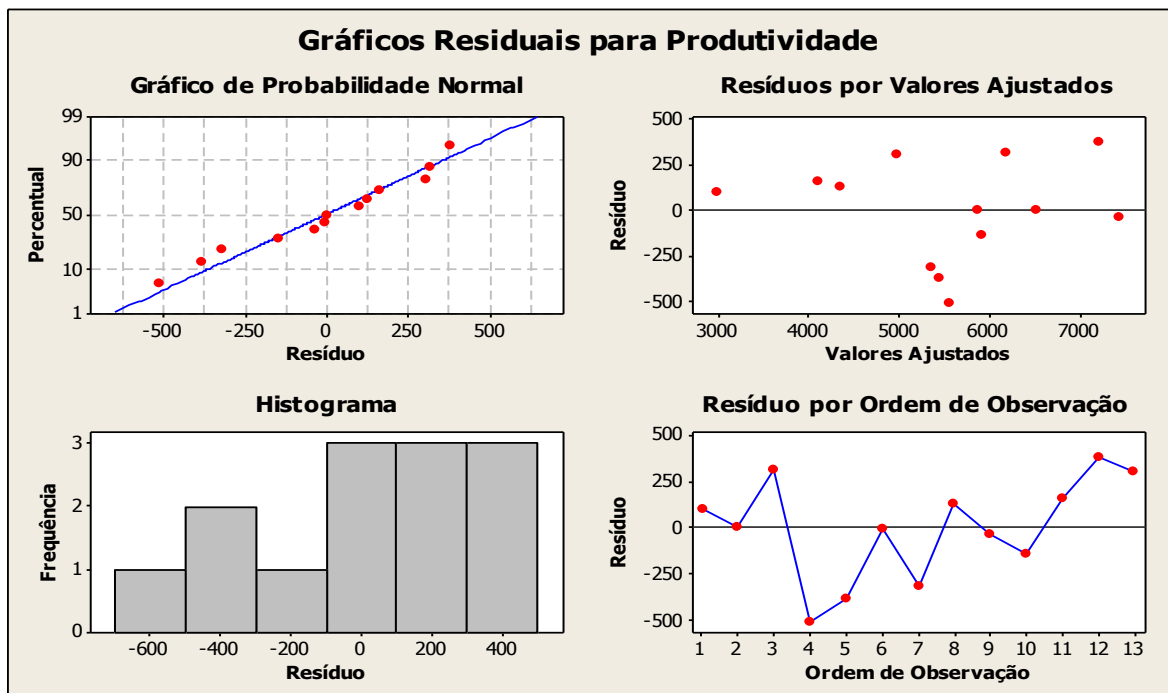


Figura 12 – Gráficos do comportamento do resíduo para o grupo 4 do dia 10 de Fevereiro de 2010. 1) Gráfico de Probabilidade Normal; 2) Gráfico de Resíduos dos Valores Ajustados; 3) Histograma de Frequência dos Resíduos e 4) Gráfico de Resíduos por ordem de Observação.

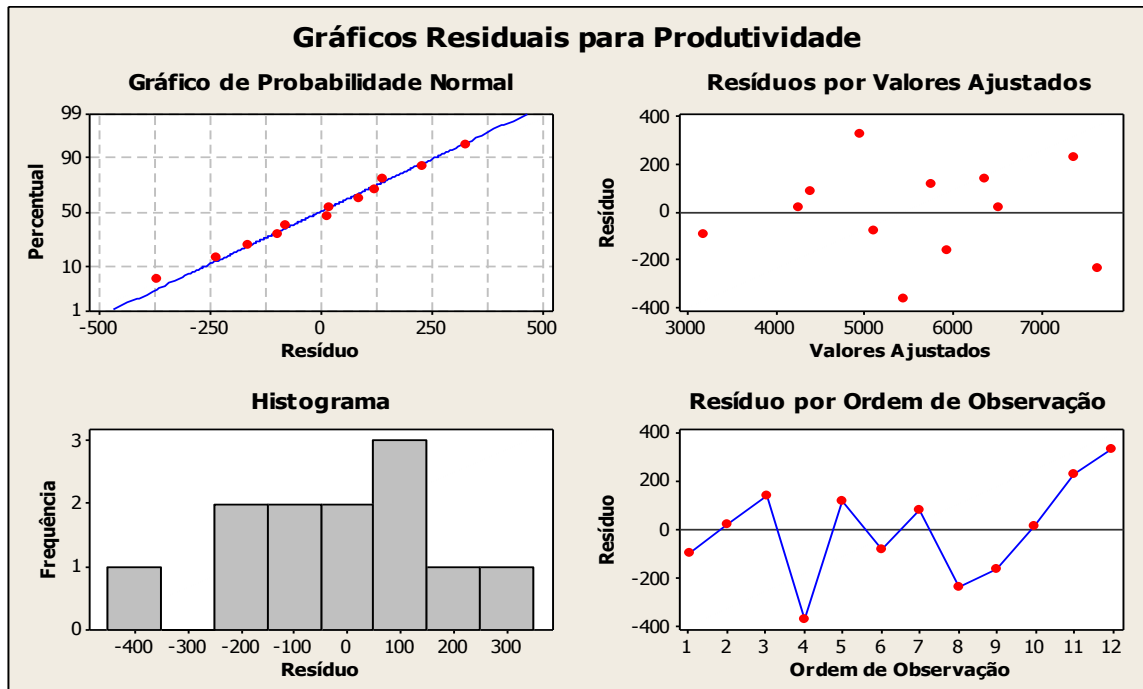


Figura 13 – Gráficos do comportamento do resíduo para o grupo 11 do dia 10 de Fevereiro de 2010. 1) Gráfico de Probabilidade Normal; 2) Gráfico de Resíduos dos Valores Ajustados; 3) Histograma de Frequência dos Resíduos e 4) Gráfico de Resíduos por ordem de Observação.

Os resultados das análises de regressão Múltipla e Stepwise por eliminação Backward (usando alfa igual a 5%) feita com os dados coletados nos dias 15 de janeiro, 26 de fevereiro e 8 de abril, não apresentaram resultados satisfatórios, somente o grupo 5 do dia 26 de fevereiro apresentou R^2 e R^2 ajustado de 62,20% e 38,5% respectivamente para o modelo gerado pela regressão Múltipla. Todos os outros grupos ficaram abaixo de 50% e 32% para R^2 e R^2 ajustado respectivamente.

As análises de Regressão Múltipla e Stepwise Backward (usando alfa igual a 5%) com os Índices de Vegetação (NDVI, RS, SAVI, TVI, VARI e NDMI) calculados com os dados das imagens do LANDSAT 5 TM das datas 24 de Janeiro, 09 de fevereiro e 14 de abril de 2010, não apresentaram valores significativos para nenhuma das regressões, os resultados estão na Tabela 16, os valores destes Índices de Vegetação estão no Apêndice 16.

A análise feita para comparar Índice por Índice de Vegetação (NDVI, RS, SAVI, TVI, VARI e NDMI) calculados com os dados do Espectrorradiômetro e das imagens do Satélite do LANDSAT 5 TM não foram possíveis pelo fato dos dados terem sido coletados em datas diferentes.

Tabela 16 – Resultados de Desvio Padrão, R^2 , R^2 Ajustado e Equação de Regressão das análises de regressão Múltipla e Stepwise para os índices de vegetação e produtividade das imagens de Satélite CBERS 2B e LANDSAT TM.

	Análise de Regressão	S	R-Sq	R-Sq(adj)	Equação de Regressão
CBERS 04/04/2009	Múltipla	1136,9	25,70%	3,40%	PRODUTIVIDADE = 9293 - 1721 RS + 1,12 TVI - 40,0 VARI
	Stepwise	-	-	-	NÃO GEROU EQUAÇÃO
LANDSAT TM 24/01/2010	Múltipla	1262,6	30,00%	2,00%	PRODUTIVIDADE = 40912 - 222 NDVI + 4,55 TVI - 44,6 VARI - 22 NDMI
	Stepwise	-	-	-	NÃO GEROU EQUAÇÃO
LANDSAT TM 09/02/2010	Múltipla	1208,3	35,90%	10,20%	PRODUTIVIDADE = 124651 + 1854 RS + 16395 SAVI - 86,0 VARI - 531 NDMI
	Stepwise	-	-	-	NÃO GEROU EQUAÇÃO
LANDSAT TM 14/04/2010	Múltipla	1261,6	44,10%	2,10%	PRODUTIVIDADE = - 538201 - 216 CRI + 809 REP - 1224 NDMI - 34127 VARI + 13872 SAVI
	Stepwise	-	-	-	NÃO GEROU EQUAÇÃO

Índices de vegetação com alta correlação entre si, como RS e NDVI não devem ser utilizados no mesmo modelo para a previsão de safra.

Os índices de vegetação NDVI, RS, SAVI, TVI, VARI calculados com dados das imagens do satélite CBERS, para a soja com 85 dias de desenvolvimento, não tiveram correlação significativa com a produtividade. Os mesmos índices de vegetação mais o NDMI calculados com dados das imagens do satélite LANDSAT 5 TM, para a mesma cultura com desenvolvimento de 26, 42 e 106 dias, também não apresentaram correlação significativa com a produtividade da soja.

A comparação dos índices de vegetação NDVI, RS, SAVI, TVI, VARI calculados com dados das imagens do satélite CBERS e com dados do Espectrorradiômetro não apresentaram correlação significativa entre si.

5. CONCLUSÕES

5.1. Análise de comportamentos espectrais

O comportamento Espectral da Soja apresentou características marcantes onde é possível destacar a presença de picos de Reflectância. O Pico 1 na banda do verde no espectro visível é influenciado principalmente pelos pigmentos das folhas e ocorre geralmente em 554nm, variando quanto a presença de solo exposto e senescência da planta.

A cultura também apresentou o Pico 2 bem característico nas fases iniciais de desenvolvimento que ocorreu em 762nm, variando apenas nas fases finais R5 e R8 do seu desenvolvimento.

A reflectância no infravermelho apresentou o Pico 3 que variou de 942 no início do ciclo a 921nm na fase final do desenvolvimento da Soja.

Na faixa entre 1000 e 1100nm ocorreu o Pico 4 caracterizado com valores maiores no início do ciclo da Soja e valores menores no fim do ciclo, que variou de 1125nm a 1071 mais no fim do ciclo..

A curva sofreu grande interferência nas bandas de absorção da água atmosférica nas faixas de 1350nm a 1410nm, de 1800nm a 1970nm e de 2390nm a 2500nm aproximadamente.

5.2. Conclusões Gerais

Os modelos gerados neste trabalho com dados de espectrorradiometria de campo podem servir de base para a previsão de safra na cultura da Soja, e pode ser uma ferramenta de valor inestimável para produtores tanto no planejamento, quanto na comercialização de produtos agrícolas. Com informações precisas sobre sua produção o agricultor pode negociar com calma e conseguir melhores preços com a sua produção.

Altas correções entre os modelos e a produtividade que ocorreram quando a Soja estava com 43 dias de desenvolvimento no estágio R2 (Pleno Florescimento) podem estar associados a alguma fonte de erro, pois os valores encontrados foram elevados.

O uso de Índices de Vegetação oriundos de dados hiperespectrais de Espectrorradiometria de campo quando a soja esta com 43 dias de desenvolvimento são ótimos estimadores da produtividade para esta cultura.

A reflectância da soja nas bandas do visível deve ser utilizada, juntamente com os Índices de Vegetação para estimar o rendimento da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES FILHO, A. Botânica e desenvolvimento. In: SANTOS, O.S. ed. **A Cultura da soja-1**. Rio de Janeiro: Editora Globo. 1988. p. 25-35.

ARAÚJO, J. C.; VETTORAZZI, C. A.; MOLIN, J. P. Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 27, n. 3, p. 437-447, July/Sept., 2005.

ASNER, G. P., & HEIDEBRECHT, K. B. Spectral unmixing of vegetation, soil and dry carbon cover in arid regions: Comparing multispectral and hyperspectral observations. **International Journal of Remote Sensing**, 23, 3939-3958. 2002.

AVERY, T. E.; BERLIN, G. L. **Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation**. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992, 472 p.

BARBOSA, M. Z.; ASSUMPÇÃO, R.; **A expansão da sojicultura na Argentina, Brasil e Estados Unidos no período de 1991 – 2001**. Informações Econômicas, SP, Vol. 32, no 10, Out. 2002.

BARET, F.; GUYOT, G. **Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment**. Remote Sensing of Environment. 35: 161-173, 1991.

BARNES, E. M., MORAN, M. S., PINTER, JR., P. J., CLARKE, T. R. Multispectral Remote Sensing and SiteSpecific Agriculture: Examples of Current Tecnology and Future Possibilities. In: Precision Agriculture '96: **Proceedings** of the 3rd International Conference on Precision Agriculture. 1996. Robert, P.C., R.H. Rust and L.E. Larson (ed.). Minnesota, June 23-26, 1996. ASA,CSSA, SSSA, Madison,WI.

BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T.; BIEHL, L. L.; KANEMASU, E. T.; HALL, F. G. **Field spectroscopy of agricultural crops**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 24, n. 1, p. 65-75, 1986.

BROGE, N. H.; LEBLANC, E. **Comparing Prediction Power and Stability of Broadband and Hyperspectral Vegetation Indices for Estimation of Green Leaf Area Index and Canopy Chlorophyll Density**. Remote Sensing of Environment, 76: 156-172. 2000.

CARLOS PINILLA RUIZ, **Elementos de Teledetección**, Editorial: RA-MA Págs. 344. MADRID, 1995.

CLEVERS, J. G. P. W. **A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data**. Remote Sensing of Environment, v. 61, n. 2, p. 221-228, 1997.

COLLINS, W. **Remote Sensing of Crop Type and Maturity**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 43-55. 1978.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas de produtividade de grãos**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 outubro 2009.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas de produtividade de grãos**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 julho 2011.

CORRADI, C. A. L. **Modelagem matemática da relação entre composição química, microestrutura e propriedades mecânicas de ligas de alumínio fundidas hipoeutéticas e eutéticas**. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, 2006. 132p. (Dissertação de Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional).

COSTA NETO, P. L. de O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

CPTEC (2006). **Determinação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) a partir de imagens NOAA-17/AVHRR**. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/htmldocs/ndvi/notas_ndvi_17.htm> Acessado em: 03 jul. 2006.

CREMONINI, L. C. M. **Acurácia de mapas altimétricos obtidos com DGPS na colheita de cereais**. Piracicaba, SP. 2002. 61f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura —Luiz de Queiroz||, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

CRESPO, A. A., 1997. **Estatística Fácil**. 15^o Ed., Saraiva, São Paulo, SP.

DAUGHTRY, C. S. T.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S.; BROWN DE COLSTOUN, E.; MCMURTREY, J. E. III. **Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance**. *Remote Sensing of Environment*, 74: 229-239. 2000.

DORAISWAMY, P. C.; HATFIELD, J. L.; JACKSON, T. J.; AKHMEDOV, B. PRUEGER, J.; STERN, A. **Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS**. *Remote Sensing of Environment*, v. 92, n. 4, p. 548-559, 2004.

DORIGO, W. A., ZURITA-MILLA, R., de WIT, A. J. W., BRAZILE, J., SINGH, R., & SCHAEPMAN, M. E. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 9, 165–193. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações Técnicas para a Cultura da Soja na Região Central do Brasil 2000/2001**. Londrina, 2000. 245p. (EMBRAPA CNPSoja. Documentos, 146.)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MONITORAMENTO POR SATÉLITE, **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/landsat.htm>> Acesso em 20 de novembro de 2010.

ESTES, J. E.; JENSEN, J. R. **Development of Remote Sensing Digital Image Processing Systems and Raster GIS**. *History of Geographic Information System*, T. Foresman (Ed.), NY: Longman, p. 163-180, 1998.

FARABEE, M. J. **Photosynthesis**. <<http://gened.emc.maricopa.edu/bio/bio181/BIOBK/BiobookPS.html>>. (1997),

FERNANDES, P.; VEIVERBERG, K. T.; SEBEM, E. Determinação da Produtividade de Soja por Sensoriamento Remoto em Nível de Talhão. **Anais**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2009-2015.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para estudos ambientais**. São Paulo : Oficina de Textos, 2002.

FUSSELL, J.; RUNDQUIST, D.; HARRINGTON, J. A. **On Defining Remote Sensing**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 52(9): 1507-1511, 1986.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; Breunig, F. M. Relações entre índices de vegetação e produtividade de soja com dados de visada fora do nadir do sensor Hyperion/EO-1. **Anais. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1095-1102.

GAO, B. C. **NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space**. *Remote Sensing of Environment*, 58: 257-266. 1996.

GITELSON, A. A.; ZUR, Y.; CHIVKUNOVA, O. B.; MERZLYAK, M. N. **Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy**. *Photochemistry and Photobiology*, v. 75, n. 3, p. 272-281, 2002a.

GITELSON, A.; STARK, R.; GRITS, U.; RUNDQUIST, D.; KAUFMAN, Y.; DERRY, D. Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. **International Journal of Remote Sensing** 23: 2537–2562. 2002.

GOMES, J. C. **Noções de Sensoriamento Remoto**. Guaratinguetá: EEAR, 1998, 65p.

GUEDES, M. F. **A propensão ao financiamento através de cartões de crédito**. Dissertação (MPA) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo. 2005.

GUPTA, R. K.; VIJAYAN, D.; PRASAD, T. S. **New Hyperspectral Vegetation Characterization Parameters**. *Advances in Space Research*. 28(1): 201-206. 2001.

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; TREMBLAY, N.; ZARCO-TEJADA, P. L.; DEXTRAZE, L. **Integrated Narrow-band Vegetation Indices for Prediction of Crop Chlorophyll Content for Application to Precision Agriculture**. *Remote Sensing of Environment*, 81: 416-426. 2002.

HAIR, J. F. et al. **Multivariate data analysis**. 5.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998

HARDISKY, M. A.; KLEMAS, V.; SMART, M. **The Influence of Soil Salinity, Growth Form, and Leaf Moisture on the Spectral Radiance of Spartina Alterniflora Canopies**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 49: 77-83. 1983.

HE, Y., GUO, X. L., & WILMSHURST, J. Studying mixed grassland ecosystems I: Suitable hyperspectral vegetation indices. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 32, 98–107. 2006.

HOLANDA, A. S. S.; GUERRA, C. E. **Monitoramento da vegetação da região do eixo-forte no município de Santarém-PA utilizando imagens dos índices de vegetação NDVI e NDWI**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010 p. 002-005.

HOSMER, D.; LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**. New York: John Wiley & Sons, 1989

HONG, S. K., KIM, S., CHO, K. H., KIM, J. E., KANG, S., & LEE, D. **Ecotope mapping for landscape ecological assessment of habitat and ecosystem**. Ecological Research, 19, 130–139. 2004.

HU, B. X.; QIAN, S. E.; HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; HOLLINGER, A. B.; TREMBLAY, N. **Retrieval of crop chlorophyll content and leaf area index from decompressed hyperspectral data: The effects of data compression**. Remote Sensing of Environment, 92, 139–152. 2004.

HUETE A. R.; JUSTICE, C. O.; van LEEUWEN, W. **MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document**. Available from: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf. April 30, 1999.

HUETE, A. R.; JACKSON, R.D.; POST, D.F. **Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds**. Remote Sens. Environ. 17:37–53. 1985.

HUETE, A. R. **A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI)**. Remote Sensing of Environment, 25: 295-309. 1988.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 23 out 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. 2007.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa CBERS**. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/?content=index>> Acesso em 17 de novembro de 2010.

JACKSON, R. D., P.J. PINTER, R. J. REGINATO, S. B. IDSO. **Detection and Evaluation of plant stresses for crop management decisions.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing GE-24:99-106. 1986.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução José Carlos Neves Epiphânio (coordenador) ...[et al.]. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

JORDAN, C. F. **Derivation of leaf area index from quality of light at the forest floor.** Ecology, 50: 663-666. 1969.

LIRA, S. A. **Análise de Correlação:** Abordagem Teórica e de Construção dos Coeficientes com Aplicações. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Paraná Curitiba. 2004.

LUCAS, A. A.; SCHULER, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.11, n.6, p. 607-614, 2007.

Lucas, R., Bunting, P., Paterson, M., & Chisholm, L. **Classification of Australian forest communities using aerial photography, CASI and HyMap data.** Remote Sensing of Environment, 112, 2088-2103. 2008.

KAUFMAN, Y. J., DIDIER TAMRÉ, D., DUBOVIK, O., KARNIELI, A. and REMER, L. A. **Absorption of sunlight by dust as inferred from satellite and ground-based remote sensing.** Geophysical Research Letters, v. 28, n. 8, p.1479-1482, 2001.

KASZNAR I. K.; GONÇALVES, B. M. L. **Regressão múltipla:** uma digressão sobre seus usos. IBCI – Institucional Business Consultoria Internacional. Rio de Janeiro, Disponível em <<http://www.ibci.com.br>>

KIM, M.; DAUGHTRY, C. S.; CHAPPELLE, E. W.; MCMURTREY III, J. E.; WALTHALL, C. L. The Use of High Spectral Resolution Bands for Estimating Absorbed Photosynthetically Active Radiation (APAR). **Proceedings, 6th** Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Janeiro 17-21., Val D'Isere, França, 299-306. 1994.

LUCAS, A. A.; SCHULER C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol.11, no.6, Campina Grande: Nov./Dec. 2007.

LUCAS, R., BUNTING, P., PATERSON, M., & CHISHOLM, L. **Classification of Australian forest communities using aerial photography, CASI and HyMap data.** *Remote Sensing of Environment*, 112, 2088–2103. 2008.

MARINO JUNIOR, E. O uso do sensoriamento remoto orbital na Pesquisa socioeconômica. **Revista Científica Eletônica De Agronomia – Issn: 1677-0293.** Ano V – Número 10 – Dezembro de 2006 – Periódico Semestral.

MENEGHELLO O. M. **Análise da Reflectância Espectral de Amostras do Solo e Sua Relação com Modelos Digitais de Fertilidade:** Estudo de Caso Em Agricultura de Precisão. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Santa Maria-RS, Brasil, 2008.

MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento Remoto:** Reflectância dos Alvos Naturais. 1ª Ed. Brasília: UnB, 2001, 262 p.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão – o gerenciamento da variabilidade.** Piracicaba: José Paulo Molin, 2001. 83p.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** São José dos Campos: INPE, 2002, 22p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicações.** 3ª Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005, 320p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto:** princípios e aplicações. 3ª Ed. São Paulo: Bluncher, 2008.

PACHECO, A. P. Sensoriamento Remoto na faixa espectral do infravermelho termal. In: **Revista da Comissão Brasileira de Geodésia.** Recife: UFPE, 2001.

PEDRON, F. de A. **Classificação do potencial de uso das terras no perímetro urbano de Santa Maria - RS.** 2005. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria.

PENUELAS, J.; PINOL, J.; OGAYA, R.; FILELLA, I. Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 13, p. 2869-2875, 1997.

PETTORELLI, N., VIK, J. O., MYSTERUD, A., GAILLARD, J. M., TUCKER, C. J., & STENSETH, N. C. **Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change.** *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 503–510. 2005.

PONTES, P. P. B.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 217-224.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação:** diagnosticando a mata atlântica. V Curso de uso e sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos. Cap. 8, INPE, 22-26 de julho de 2002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** Parêntese: São Paulo, 2007.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** São José dos Campos, SP: A. Silveira Ed., 136p, 2009.

POTAFOS. **Como a Planta de Soja se Desenvolve.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato Rua Alfredo Guedes nº 1949 - Edifício Rácz Center - sala 701 - Fone/Fax: (019) 433-3254. Endereço Postal: Caixa Postal 400 - CEP 13400-970 - Piracicaba-SP – Brasil.

PRASAD, A. K.; CHAI, L.; SINGH, R. P.; KAFATOS, M. Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 8, n. 1, p. 26-33, 2006.

PROBST, A. H; JUDD, R. W. Origin, U. S. history and development, and world distribution. In: CALDWELL, B. E. Soybeans: improvement, production, and uses. **American Society of Agronomy**, Inc., Publisher. W. I. p.1-15. 1973.

PRUITT, E. L. **The Office of Naval Research and Geography.** *Annals, Association of American Geographers*, 69(1): 106. 1979.

RAHMAN, A. F., & GAMON, J. A. **Detecting biophysical properties of a semi-arid grassland and distinguishing burned from unburned areas with hyperspectral reflectance.** *Journal of Arid Environments*, 58, 597–610. 2004.

REDDY, K. R.; MATCHA, S. K. **Remote sensing algorithms for castor bean nitrogen and pigment assessment for fertility management.** Mississippi State University, Department of Plant and Soil Sciences, Box 9555, Mississippi State, MS 39762, USA. 2010.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. A. **Principais solos da depressão central e campanha do rio grande do sul,** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS 2ª edição – 2007.

REN, W.B.; XU, Z.; CHENG L. B. Cytological changes of root tip cells of alfalfa seeds after space flight. (In Chinese). **J. Nuclear Agric. Sci.** 22(5): 566-568. 2008.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Imagens Landsat na estimativa de área plantada com soja em municípios do Rio Grande do sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte. 2003. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 231-238. Disponível na biblioteca digital URLib <http://lagavulin.ltid.inpe.br:1905/col/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.27.11.57/doc/01_411.PDF> Acesso em: 8 out. 2004.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. **Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônomo para estimar a produtividade de soja.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. 1, p. 73-80, 2007.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. **Optimization of Soil-adjusted Vegetation Index.** Remote Sensing of Environment, 55:95-107. 1996.

ROYO, C.; APARICIO, N.; VILLEGAS, D.; CASADESUS, J.; MONNEVEUX, P.; ARAUS, J. L. **Usefulness of spectral reflectance indices as durum wheat yield predictors under contrasting Mediterranean conditions.** International Journal of Remote Sensing, v. 24, n. 22, p. 4403-4419, 2003.

RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. **Spectral response of wheat and its relationship to agronomic variables in the tropical region.** Remote Sensing of Environment, v. 31, n. 1, p. 53-63, 1990.

RUNNING, S. W.; LOVELAND, T. R.; PIERCE, L. L.; HUNT, E. R. JR. **A remote sensing based vegetation classification for global land cover analysis.** Remote Sensing of Environment (in press) 1994.

SALISBURY, J. W.; D'ARIA, D. M. **Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 μm atmospheric window.** In: Remote Sensing of Environment, v. 42, p. 83-106, 1992.

SANTOS, C. **Estatística Descritiva - Manual de Auto-aprendizagem**, Lisboa, Edições Sílabo, 2007.

SANTOS, O. S. **Cultura da Soja-1 Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.** Ed. Globo. 299p.1988.

SANTOS, R. F. JR. dos; RUDORFF, B. T. F.; SANTOS, J. M.; MARCHIORATO, I. A. **RESPOSTA ESPECTRAL DE SOJA cv. BRS 133 INFECTADA POR Heterodera glycines.** 2º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão. Viçosa, MG, 12 a 14 de junho de 2002.

SCHEPERS, J.S. et al. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. **J. Plant Physiol**, v.148, p. 523-529, 1996.

SCHLERF, M. & ATZBERGER, C. **Imaging Spectrometry and Vegetation Science.** In Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications, F. van der Meer and S. de Jong, Eds., Dordrecht: Kluwer, 111-155. 2001.

SECEX/MDIC - Secretaria de Comércio Exterior/Ministério do Desenvolvimento. **Balança comercial brasileira.** Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=1161>>. Acesso em: 15 out 2010.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja.** 1. ed. Londrina, PR: Mecenias, 2009, v. 1. 314 p.

SERRANO, L.; FILELLA, I.; PENUELAS, J. **Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies.** Crop Science, v. 40, n. 3, p. 723-731, 2000.

SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VARVEL, G. E.; WILHELM, W. W.; TRINGE, J.M.; SCHLEMMER, M.R.; MAJOR, D.J. Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 3, p. 583 - 589, 2001.

SHIBAYAMA, M.; AKIYAMA, T. **Estimating grain yield of maturing rice canopies using high spectral resolution reflectance measurements.** *Remote Sensing of Environment*, v. 36, n. 1, p. 45-53, 1991.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. **Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance:** a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. *Remote Sensing of Environment*, 84 (4):526-537. 2003.

SLATER, P. N. **Remote Sensing, optics and optical Systems.** New York, Addison-Wesley, 1980, 575 p.

TUCKER, C. J., **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation.** *Remote Sensing of Environment*, v. 8, p. 127– 150, 1979.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>. Acesso em: 22 out 2010.

USTIN, S. L., ROBERTS, D. A., GAMON, J. A., ASNER, G. P., & GREEN, R. O. Using imaging spectroscopy to study ecosystem processes and properties. *BioScience*, 54, 523–534. 2004.

VINCINI, M. & FRAZZI, E. Sensitivity of narrow and broad-band vegetation indices to leaf chlorophyll concentration in planophile crops canopies. In E. J. van Henten, D. Goense, & C. Lokhorst (Eds.), **Precision agriculture '09** (pp. 39–45). Wageningen: Wageningen Academic Publishers. 2009.

VINCINI, M.; FRAZZI, E.; & D'ALESSIO, P. A broad-band leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale. *Precision Agriculture*, 9, 303–319. 2008.

WALSH, John. Famine Early Warning System Wins Its Spurs. **SCIENCES**. VOL. 239, 15 JANUARY 1988.

WIEGAND, C. L., RICHARDSON, A. J.; KANEMASU, Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for évapotranspiration and crop modeling. *Agron. J.* 71, 336-34. 1979.

WIEGAND, C. L.; RICHARDSON, A. J.; ESCOBAR, D. E. **Vegetation indices in crop assessment.** *Remote Sensing of Environment*, v. 35, n. 2, p.105-109, 1991.

WILSON, E.H.; SADER, S. A.; **Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery.** Remote Sensing of Environment, v.80, p.385-396, 2002

ZARCO-TEJADA, P. J.; USTIN, S. L.; WHITING, M. L. Temporal and spatial relationships between within-field yield variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imagery. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 3, p. 641-653, 2005.

ZULLO, J.; X. F. GU, R. LAMPARELLI, G. GUYOT, P. BEZERRA, 1996. Pré-processamentos das imagens de satélites. **CIG – Caderno de Informações Georeferenciadas**, 1(1), URL: <http://www.cpa.unicamp.br/revista/cigv1n1a7.html> (last day accessed 10 September 2004).

APÊNDICES

Apêndice 1 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 04 de Abril de 2009.

PONTO	E (m)	N (m)	AZUL	VERDE	VERMELHO	IV PROXIMO	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/ OSAVI	VARI	NVI	TVI	CRI	WBI	REP	PRODUTI- VIDADE (Kg/ha)
1	233586,591	6708850,745	0,0308	0,0522	0,0217	0,4837	22,2945	0,9141	0,6893	0,0929	0,7895	0,1176	0,7080	2,2751	28,7164	26,8655	1,0613	671,8411	3191,6
2	233686,588	6708850,740	0,0251	0,0462	0,0165	0,5174	31,3970	0,9383	0,7267	0,0859	0,8163	0,1052	0,7902	3,5663	29,5538	35,8676	1,0511	671,7658	2776,7
3	233786,585	6708850,743	0,0297	0,0533	0,0201	0,5408	26,8446	0,9282	0,7361	0,0981	0,8207	0,1196	0,7578	2,8815	31,8768	29,1055	1,0579	671,9221	5972,0
4	233886,590	6708850,746	0,0271	0,0491	0,0187	0,5744	30,7656	0,9370	0,7626	0,0913	0,8391	0,1088	0,7484	3,7749	32,4309	32,5069	1,0704	671,1625	6329,6
5	233986,587	6708850,747	0,0265	0,0441	0,0179	0,5107	28,5100	0,9322	0,7186	0,0772	0,8134	0,0949	0,7378	3,5369	29,2694	29,1832	1,0776	671,1014	5739,3
6	233573,678	6708764,679	0,0218	0,0386	0,0149	0,4733	31,8641	0,9391	0,6959	0,0705	0,8047	0,0877	0,7509	3,9213	27,0267	38,8253	1,0781	671,4091	4225,0
7	233686,586	6708750,747	0,0341	0,0548	0,0237	0,5256	22,2006	0,9138	0,7175	0,0969	0,8009	0,1210	0,7009	2,0966	30,0133	21,4009	1,0438	672,5215	6725,7
8	233786,591	6708750,741	0,0306	0,0538	0,0214	0,5386	25,2183	0,9237	0,7320	0,0970	0,8127	0,1194	0,7278	2,2883	30,9570	26,6539	1,0558	673,1700	4027,7
9	233886,587	6708750,743	0,0243	0,0431	0,0161	0,4892	30,2993	0,9361	0,7058	0,0793	0,8101	0,0979	0,7711	3,6906	28,3670	34,7467	1,0740	671,2799	3090,0
10	233986,591	6708750,745	0,0268	0,0476	0,0192	0,5197	27,1153	0,9289	0,7227	0,0860	0,8071	0,1066	0,7121	2,5001	29,3198	31,7137	1,0582	672,8717	3908,9
11	233686,584	6708650,744	0,0300	0,0507	0,0210	0,5636	26,8145	0,9281	0,7504	0,0888	0,8275	0,1073	0,7108	3,0164	31,9521	25,5604	1,0715	671,8147	4890,7
12	233786,588	6708650,739	0,0235	0,0421	0,0155	0,4581	29,5033	0,9344	0,6818	0,0780	0,7946	0,0981	0,7789	3,5677	26,4706	37,2706	1,0763	671,3208	4069,0
13	233886,591	6708650,741	0,0277	0,0497	0,0187	0,5231	27,9706	0,9310	0,7262	0,0921	0,8145	0,1131	0,7610	3,1202	30,3482	31,4645	1,0501	671,4724	2725,2
14	233686,591	6708550,742	0,0319	0,0532	0,0214	0,5308	24,7725	0,9224	0,7261	0,0930	0,8134	0,1143	0,7443	2,9394	30,7175	23,2454	1,0730	670,7859	3667,6
15	233786,585	6708550,746	0,0244	0,0437	0,0171	0,4713	27,6046	0,9301	0,6894	0,0818	0,7959	0,1028	0,7330	3,4771	26,9795	36,8878	1,0810	670,4419	4301,8

Apêndice 2 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 04 de Abril de 2009.

	AZUL	VERDE	VERMELHO	IV PROXIMO	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/OSAVI	VARI	NVI	TVI	CRI	WBI	REP	PRODUTIVIDADE
AZUL	1,0000																
VERDE	0,9546	1,0000															
VERMELHO	0,9862	0,9405	1,0000														
IV PROXIMO	0,5680	0,6604	0,5604	1,0000													
RS	-0,8731	-0,7813	-0,8971	-0,1487	1,0000												
NDVI	-0,8660	-0,7650	-0,8887	-0,1207	0,9938	1,0000											
SAVI	0,4059	0,5187	0,3927	0,9812	0,0408	0,0703	1,0000										
TCARI	0,8671	0,9717	0,8508	0,6527	-0,6821	-0,6654	0,5299	1,0000									
OSAVI	0,1075	0,2289	0,0776	0,8579	0,3518	0,3791	0,9332	0,2630	1,0000								
TCARI/OSAVI	0,8782	0,9636	0,8669	0,5252	-0,7672	-0,7552	0,3848	0,9857	0,0971	1,0000							
VARI	-0,6171	-0,4873	-0,7263	-0,2395	0,7443	0,7402	-0,0943	-0,3560	0,1690	-0,4008	1,0000						
NVI	-0,8308	-0,8069	-0,8723	-0,2536	0,9107	0,9026	-0,0864	-0,7401	0,2631	-0,8111	0,7087	1,0000					
TVI	0,6454	0,7488	0,6235	0,9753	-0,2411	-0,2124	0,9402	0,7466	0,8089	0,6303	-0,2154	-0,3223	1,0000				
CRI	-0,9692	-0,8746	-0,9536	-0,5647	0,8367	0,8246	-0,4115	-0,7418	-0,1360	-0,7448	0,6490	0,7711	-0,6260	1,0000			
WBI	-0,5535	-0,6434	-0,5380	-0,3726	0,4172	0,4368	-0,3043	-0,6953	-0,0458	-0,7107	0,1591	0,6530	-0,4180	0,4305	1,0000		
REP	0,4231	0,4754	0,4778	0,3100	-0,3863	-0,3892	0,2427	0,4604	-0,0096	0,4773	-0,4102	-0,7152	0,3034	-0,3812	-0,7015	1,0000	
PRODUTIVIDADE	0,3231	0,2461	0,3392	0,4236	-0,1639	-0,1661	0,3816	0,2096	0,3317	0,1583	-0,3697	-0,0938	0,3807	-0,3445	0,0160	0,0714	1,0000

Apêndice 3 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 15 de Janeiro de 2010.

PONTO	E (m)	N (m)	AZUL B1	VERDE B2	VERMELHO B3	IV PROXIMO B4	IV MEDIO B5	IV PROXIMO B7	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/OSAVI	VARI	NVI	CRI	WBI	TVI	REP	NDMI	PRODUTIVIDADE (Kg/ha)
2	233686,588	6708850,740	0,0504	0,0864	0,0818	0,3757	0,2985	0,1631	4,5915	0,6423	0,4603	0,1214	0,5503	0,2206	0,0210	0,2691	10,3528	0,9581	19,4688	670,4660	0,1145	3081,0
3	233786,585	6708850,743	0,0444	0,0851	0,0646	0,4871	0,3273	0,1733	7,5364	0,7657	0,6025	0,1622	0,6956	0,2332	0,1057	0,5014	12,3234	0,9929	31,1804	672,1843	0,1962	6533,3
4	233886,590	6708850,746	0,0545	0,0952	0,0830	0,4460	0,3818	0,2100	5,3732	0,6862	0,5291	0,1474	0,6157	0,2394	0,0523	0,2907	9,5723	0,9865	26,3546	672,0023	0,0775	6513,4
5	233986,587	6708850,747	0,0534	0,0923	0,0844	0,3225	0,3488	0,2152	3,8220	0,5852	0,3938	0,1333	0,4835	0,2757	0,0343	0,2208	9,7527	0,9293	17,1846	667,3626	-0,0392	5040,9
6	233573,678	6708764,679	0,0457	0,0736	0,0705	0,3021	0,2886	0,1751	4,2864	0,6217	0,3982	0,0985	0,5028	0,1959	0,0166	0,2486	10,7440	0,9618	15,2583	670,7638	0,0229	4870,9
7	233686,586	6708750,747	0,0397	0,0762	0,0557	0,3773	0,2677	0,1378	6,7745	0,7427	0,5171	0,1388	0,6324	0,2194	0,1197	0,3307	13,4280	0,9865	25,4645	672,8055	0,1700	5065,0
8	233786,591	6708750,741	0,0502	0,0796	0,0820	0,3172	0,2523	0,1457	3,8660	0,5890	0,3922	0,0906	0,4844	0,1870	-0,0114	0,1970	9,9460	0,9810	14,5686	671,2810	0,1139	5882,1
9	233886,587	6708750,743	0,0515	0,0941	0,0818	0,3483	0,3221	0,1848	4,2560	0,6195	0,4297	0,1536	0,5242	0,2930	0,0539	0,2189	10,3928	0,9379	20,5404	668,2556	0,0390	5036,0
10	233986,591	6708750,745	0,0394	0,0853	0,0531	0,4614	0,3380	0,1662	8,6839	0,7935	0,6037	0,1909	0,7110	0,2685	0,1810	0,5125	14,1316	0,9823	33,8648	672,0051	0,1544	4473,8
11	233686,584	6708650,744	0,0398	0,0596	0,0644	0,2239	0,1888	0,1243	3,4764	0,5532	0,3035	0,0611	0,4013	0,1522	-0,0296	0,2064	12,3993	0,9463	8,6684	669,5166	0,0850	7406,5
12	233786,588	6708650,739	0,0625	0,0950	0,0972	0,2708	0,3436	0,2139	2,7875	0,4719	0,3001	0,1034	0,3736	0,2768	-0,0084	0,1567	8,0278	0,9369	10,4293	663,3645	-0,1184	7248,3
13	233886,591	6708650,741	0,0506	0,0912	0,0789	0,3496	0,3310	0,2051	4,4317	0,6318	0,4374	0,1444	0,5358	0,2696	0,0556	0,2644	10,2432	0,9563	20,1734	668,9022	0,0273	5779,2
14	233686,591	6708550,742	0,0717	0,0950	0,1137	0,3015	0,2694	0,2045	2,6529	0,4525	0,3079	0,0437	0,3652	0,1197	-0,0667	0,1212	5,8926	0,9727	8,3411	672,6425	0,0563	4273,9
15	233786,585	6708550,746	0,0362	0,0732	0,0461	0,3567	0,2857	0,1441	7,7394	0,7712	0,5161	0,1552	0,6466	0,2400	0,1744	0,4735	14,8880	0,9724	25,1803	671,2505	0,1105	7610,3
16	233730,448	6708475,849	0,0605	0,0986	0,1033	0,3881	0,3306	0,2034	3,7574	0,5796	0,4309	0,1053	0,4986	0,2111	-0,0178	0,1956	7,7674	0,9615	17,8971	671,4693	0,0799	5270,7

Apêndice 4 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 15 de Janeiro de 2010.

PONTO	AZUL B1	VERDE B2	VERMELHO B3	IV PROXIMO B4	IV MEDIO B5	IV PROXIMO B7	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/OSAVI	VARI	NVI	CRI	WBI	TVI	REP	NDMI	PRODUTIVIDADE	
AZUL B1	1,0000																				
VERDE B2	0,7539	1,0000																			
VERMELHO B3	0,9783	0,6968	1,0000																		
IV PROXIMO B4	-0,2169	0,3349	-0,2831	1,0000																	
IV MEDIO B5	0,2965	0,7860	0,2114	0,5915	1,0000																
IV PROXIMO B7	0,7642	0,8786	0,7040	0,1051	0,7731	1,0000															
RS	-0,7271	-0,2467	-0,8106	0,7429	0,1798	-0,3998	1,0000														
NDVI	-0,7816	-0,2640	-0,8295	0,7550	0,1988	-0,4125	0,9617	1,0000													
SAVI	-0,5496	0,0232	-0,6125	0,9280	0,4136	-0,1778	0,9196	0,9445	1,0000												
TCARI	-0,5090	0,1709	-0,5782	0,7633	0,6108	0,0270	0,7964	0,8310	0,8586	1,0000											
OSAVI	-0,6523	-0,0884	-0,7120	0,8656	0,3410	-0,2691	0,9486	0,9808	0,9897	0,8683	1,0000										
TCARI/OSAVI	-0,1821	0,3947	-0,2276	0,3662	0,7217	0,3474	0,3215	0,3704	0,4025	0,8007	0,4121	1,0000									
VARI	-0,7237	-0,1787	-0,8177	0,6389	0,2794	-0,3003	0,9471	0,9235	0,8492	0,8837	0,8982	0,5435	1,0000								
NVI	-0,7227	-0,2595	-0,8015	0,7243	0,1941	-0,3628	0,9759	0,9329	0,8931	0,7838	0,9200	0,3326	0,9159	1,0000							
CRI	-0,9742	-0,6649	-0,9918	0,3102	-0,2076	-0,7148	0,8296	0,8400	0,6319	0,6040	0,7267	0,2513	0,8363	0,8184	1,0000						
WBI	-0,2720	-0,1413	-0,3394	0,6507	-0,0270	-0,3279	0,6280	0,5908	0,6585	0,2446	0,6319	-0,2970	0,4116	0,5674	0,3221	1,0000					
TVI	-0,5463	0,0669	-0,6189	0,9117	0,4749	-0,1238	0,9200	0,9352	0,9883	0,9167	0,9809	0,5101	0,8863	0,8907	0,6414	0,5784	1,0000				
REP	-0,2658	-0,2185	-0,2749	0,5183	-0,2217	-0,3929	0,4948	0,5062	0,5381	0,0812	0,5190	-0,4985	0,2691	0,4187	0,2737	0,8339	0,4387	1,0000			
NDMI	-0,5491	-0,3621	-0,5386	0,6095	-0,2740	-0,6339	0,6975	0,7095	0,7012	0,3137	0,7002	-0,2683	0,4848	0,6495	0,5682	0,7981	0,6203	0,8564	1,0000		
PRODUTIVIDADE	-0,2402	-0,3166	-0,2661	-0,1887	-0,1034	-0,1462	0,0732	0,0349	-0,0808	-0,0013	-0,0345	0,0758	0,1112	0,1413	0,2475	-0,0051	-0,0536	-0,2749	-0,1426	1,0000	

Apêndice 5 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 10 de Fevereiro de 2010.

PONTO	E (m)	N (m)	AZUL B1	VERDE B2	VERMELHO B3	IV PROXIMO B4	IV MEDIO B5	IV PROXIMO B7	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/OSAVI	VARI	NVI	CRI	WBI	TVI	REP	NDMI	PRODUTIVIDADE (Kg/ha)
2	233686,5882	6708850,7397	0,0230	0,0401	0,0231	0,4712	0,1222	0,0458	20,3636	0,9064	0,6759	0,0814	0,7987	0,1019	0,1968	2,5829	21,0444	1,1284	29,7096	672,5187	0,5881	3081,0
3	233786,5853	6708850,7430	0,0346	0,0576	0,0361	0,5904	0,1816	0,0743	16,3412	0,8847	0,7380	0,1075	0,8243	0,1304	0,1674	1,9862	13,4750	1,1238	37,6964	672,5758	0,5295	6533,3
4	233886,5904	6708850,7455	0,0370	0,0630	0,0386	0,6514	0,2016	0,0855	16,8635	0,8880	0,7724	0,1226	0,8438	0,1453	0,1756	2,3529	12,8061	1,1187	41,3568	671,6888	0,5273	6513,4
5	233986,5873	6708850,7470	0,0307	0,0559	0,0345	0,5747	0,2187	0,0919	16,6771	0,8869	0,7306	0,1171	0,8204	0,1428	0,1774	1,9464	16,9074	1,0755	36,7149	672,6139	0,4487	5040,9
6	233573,6777	6708764,6794	0,0393	0,0711	0,0425	0,6850	0,2790	0,1227	16,0998	0,8830	0,7850	0,1532	0,8477	0,1807	0,1869	1,6903	12,7073	1,0396	45,1308	673,0868	0,4211	4870,9
7	233686,5861	6708750,7467	0,0352	0,0718	0,0376	0,7982	0,3127	0,1403	21,2256	0,9100	0,8541	0,1771	0,8949	0,1979	0,2366	2,7040	15,1513	1,0474	54,6927	672,3999	0,4370	5065,0
8	233786,5906	6708750,7409	0,0367	0,0752	0,0386	0,8283	0,3170	0,1456	21,4791	0,9110	0,8667	0,1845	0,9012	0,2048	0,2436	2,5093	14,5931	1,0619	56,3112	672,9464	0,4465	5882,1
9	233886,5867	6708750,7433	0,0313	0,0574	0,0315	0,7068	0,2576	0,1103	22,4168	0,9146	0,8179	0,1286	0,8789	0,1463	0,2151	3,0818	15,9732	1,0895	46,2795	672,2995	0,4657	5036,0
10	233986,5908	6708750,7451	0,0275	0,0525	0,0282	0,6566	0,2300	0,1029	23,2510	0,9175	0,7955	0,1221	0,8690	0,1405	0,2240	2,9359	19,2254	1,0793	42,4750	672,7276	0,4811	4473,8
11	233686,5843	6708650,7444	0,0379	0,0694	0,0415	0,7760	0,2889	0,1305	18,6833	0,8984	0,8362	0,1452	0,8788	0,1652	0,1871	2,3130	13,2835	1,0591	50,9749	672,5969	0,4574	7406,5
12	233786,5879	6708650,7387	0,0343	0,0644	0,0366	0,6872	0,2268	0,0978	18,7886	0,8989	0,7975	0,1441	0,8601	0,1675	0,2054	2,2438	15,0765	1,0703	44,5425	672,6750	0,5037	7248,3
13	233886,5913	6708650,7414	0,0426	0,0869	0,0466	0,6725	0,3395	0,1638	14,4291	0,8704	0,7701	0,2040	0,8349	0,2443	0,2287	1,3458	12,2063	1,0214	47,4217	673,1593	0,3290	5779,2
14	233686,5908	6708550,7423	0,0293	0,0589	0,0308	0,7297	0,2599	0,1138	23,7172	0,9191	0,8317	0,1454	0,8874	0,1639	0,2365	3,2843	18,4643	1,0639	47,3680	672,0834	0,4746	4273,9
15	233786,5852	6708550,7457	0,0369	0,0711	0,0422	0,6626	0,3220	0,1480	15,7109	0,8803	0,7725	0,1522	0,8375	0,1817	0,1925	1,3854	14,6915	1,0159	44,7603	673,8522	0,3459	7610,3
16	233730,4484	6708475,8494	0,0362	0,0742	0,0382	0,7917	0,3366	0,1574	20,7224	0,9079	0,8499	0,1853	0,8907	0,2080	0,2422	2,7220	14,9824	1,0519	53,2660	671,9547	0,4034	5270,7

Apêndice 6 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 10 de Fevereiro de 2010.

PONTO	AZUL B1	VERDE B2	VERMELHO B3	IV PROXIMO B4	IV MEDIO B5	IV PROXIMO B7	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/OSAVI	VARI	NVI	CRI	WBI	TVI	REP	NDMI	PRODUTIVIDADE	
AZUL B1	1,0000																				
VERDE B2	0,9200	1,0000																			
VERMELHO B3	0,9835	0,9114	1,0000																		
IV PROXIMO B4	0,5143	0,6776	0,4629	1,0000																	
IV MEDIO B5	0,6981	0,8880	0,7106	0,8007	1,0000																
IV PROXIMO B7	0,7029	0,8978	0,7149	0,7775	0,9967	1,0000															
RS	-0,6060	-0,3753	-0,6666	0,3402	-0,0486	-0,0673	1,0000														
NDVI	-0,6147	-0,4019	-0,6756	0,3380	-0,0853	-0,1072	0,9928	1,0000													
SAVI	0,3806	0,5587	0,3225	0,9844	0,7296	0,7030	0,4795	0,4741	1,0000												
TCARI	0,7317	0,9363	0,7148	0,7767	0,9338	0,9428	-0,0748	-0,1111	0,6942	1,0000											
OSAVI	0,2063	0,4056	0,1389	0,9370	0,6197	0,5916	0,6351	0,6296	0,9818	0,5865	1,0000										
TCARI/OSAVI	0,7713	0,9558	0,7648	0,6869	0,9164	0,9308	-0,1969	-0,2378	0,5907	0,9897	0,4688	1,0000									
VARI	-0,0048	0,3585	-0,0542	0,6280	0,5738	0,5843	0,6322	0,5849	0,6660	0,6545	0,7115	0,5837	1,0000								
NVI	-0,6116	-0,4577	-0,6927	0,2633	-0,1942	-0,2163	0,9482	0,9522	0,4066	-0,1993	0,5661	-0,3196	0,4800	1,0000							
CRI	-0,9560	-0,7792	-0,9204	-0,4089	-0,5056	-0,5018	0,6495	0,6418	-0,2839	-0,5370	-0,1186	-0,5751	0,2135	0,5870	1,0000						
WBI	-0,5961	-0,7788	-0,6703	-0,5460	-0,8877	-0,8869	0,2006	0,2447	-0,4722	-0,8058	-0,3560	-0,8257	-0,4220	0,3973	0,3684	1,0000					
TVI	0,5699	0,7568	0,5253	0,9868	0,8682	0,8514	0,2724	0,2620	0,9544	0,8561	0,8937	0,7799	0,6718	0,1711	-0,4373	-0,6290	1,0000				
REP	0,2939	0,3188	0,3918	-0,0882	0,3247	0,3369	-0,4467	-0,4768	-0,1651	0,2253	-0,2573	0,2951	-0,0899	-0,6940	-0,1712	-0,5840	0,0068	1,0000			
NDMI	-0,6732	-0,8161	-0,7342	-0,4622	-0,8943	-0,9014	0,3363	0,3918	-0,3756	-0,7979	-0,2444	-0,8382	-0,3442	0,4891	0,4777	0,9266	-0,5614	-0,5497	1,0000		
PRODUTIVIDADE	0,6535	0,4928	0,6776	0,3008	0,3239	0,3212	-0,5032	-0,4724	0,2208	0,2599	0,0860	0,2811	-0,3247	-0,4945	-0,7038	-0,2735	0,2914	0,3021	-0,3034	1,0000	

Apêndice 7 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 26 de Fevereiro de 2010.

PONTO	E (m)	N (m)	AZUL B1	VERDE B2	VERMELHO B3	IV PROXIMO B4	IV MEDIO B5	IV PROXIMO B7	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/OSAVI	VARI	NVI	CRI	WBI	TVI	REP	NDMI	PRODUTIVIDADE (Kg/ha)
2	233686,588	6708850,740	0,0203	0,0348	0,0206	0,5831	0,2116	0,0936	28,3021	0,9317	0,7645	0,0714	0,8548	0,0836	0,1875	5,0363	24,8900	1,0935	35,0060	670,0644	0,4674	3081,0
3	233786,585	6708850,743	0,0298	0,0540	0,0311	0,6919	0,2647	0,1166	22,2776	0,9141	0,8105	0,1180	0,8720	0,1353	0,1998	3,2827	17,0491	1,0849	44,3934	671,4320	0,4466	6533,3
4	233886,590	6708850,746	0,0272	0,0531	0,0284	0,7005	0,2618	0,1180	24,6745	0,9221	0,8204	0,1268	0,8812	0,1439	0,2272	3,7118	20,6159	1,0872	45,2887	671,2633	0,4559	6513,4
5	233986,587	6708850,747	0,0282	0,0512	0,0285	0,7809	0,3032	0,1435	27,4224	0,9296	0,8619	0,1184	0,9042	0,1310	0,2109	4,3478	19,1628	1,0727	49,7938	670,8737	0,4406	5040,9
6	233573,678	6708764,679	0,0235	0,0424	0,0245	0,6209	0,2374	0,1092	25,3400	0,9241	0,7810	0,0936	0,8621	0,1086	0,1979	4,1583	21,8529	1,0926	38,6096	670,6640	0,4468	4870,9
7	233686,586	6708750,747	0,0291	0,0505	0,0298	0,6616	0,2777	0,1342	22,2178	0,9139	0,7955	0,1066	0,8644	0,1233	0,1892	3,2303	17,3524	1,0794	41,7925	671,4747	0,4087	5065,0
8	233786,591	6708750,741	0,0266	0,0500	0,0272	0,7544	0,2999	0,1450	27,7660	0,9305	0,8512	0,1191	0,8987	0,1326	0,2199	4,5438	20,9953	1,0826	47,8129	670,7013	0,4310	5882,1
9	233886,587	6708750,743	0,0231	0,0430	0,0240	0,6572	0,2587	0,1132	27,3891	0,9296	0,8041	0,0989	0,8761	0,1128	0,2106	4,3638	23,0727	1,0657	41,3269	671,1595	0,4350	5036,0
10	233986,591	6708750,745	0,0259	0,0437	0,0271	0,6822	0,2601	0,1134	25,1531	0,9235	0,8126	0,0870	0,8757	0,0993	0,1710	3,6629	19,4257	1,0609	42,5874	671,7357	0,4480	4473,8
11	233686,584	6708650,744	0,0270	0,0477	0,0274	0,6505	0,2536	0,1157	23,7242	0,9191	0,7935	0,1035	0,8666	0,1194	0,1983	3,4315	18,7330	1,0796	41,4140	671,7117	0,4390	7406,5
12	233786,588	6708650,739	0,0241	0,0438	0,0247	0,6797	0,2632	0,1120	27,4978	0,9298	0,8157	0,0992	0,8816	0,1125	0,2057	4,2718	21,8858	1,0674	42,9320	671,4273	0,4416	7248,3
13	233886,591	6708650,741	0,0234	0,0426	0,0243	0,6866	0,2573	0,1125	28,2533	0,9316	0,8204	0,0963	0,8851	0,1088	0,2028	4,6640	22,2581	1,0786	42,7543	671,0718	0,4548	5779,2
14	233686,591	6708550,742	0,0238	0,0436	0,0236	0,5521	0,2025	0,0955	23,3668	0,9179	0,7369	0,1016	0,8367	0,1214	0,2195	3,1635	22,9479	1,0841	35,1428	671,8163	0,4633	4273,9
15	233786,585	6708550,746	0,0238	0,0372	0,0240	0,5685	0,2240	0,0987	23,6634	0,9189	0,7476	0,0659	0,8411	0,0783	0,1549	3,7502	19,1877	1,0705	34,5495	671,2180	0,4347	7610,3
16	233730,448	6708475,849	0,0211	0,0386	0,0224	0,5611	0,2126	0,0930	25,0093	0,9231	0,7457	0,0873	0,8439	0,1035	0,1969	3,6409	25,1849	1,0595	34,8213	671,8534	0,4505	5270,7

Apêndice 8 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 26 de Fevereiro de 2010.

PONTO	AZUL B1	VERDE B2	VERMELHO B3	IV PROXIMO B4	IV MEDIO B5	IV PROXIMO B7	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/OSAVI	VARI	NVI	CRI	WBI	TVI	REP	NDMI	PRODUTIVIDADE	
AZUL B1	1,0000																				
VERDE B2	0,9218	1,0000																			
VERMELHO B3	0,9877	0,9263	1,0000																		
IV PROXIMO B4	0,6626	0,7383	0,6767	1,0000																	
IV MEDIO B5	0,7232	0,7454	0,7308	0,9603	1,0000																
IV PROXIMO B7	0,7455	0,7645	0,7292	0,8953	0,9600	1,0000															
RS	-0,4810	-0,3143	-0,4756	0,3199	0,2019	0,1179	1,0000														
NDVI	-0,4978	-0,3275	-0,4901	0,3070	0,1857	0,1006	0,9980	1,0000													
SAVI	0,5814	0,6719	0,5998	0,9932	0,9437	0,8637	0,4142	0,4018	1,0000												
TCARI	0,7329	0,9363	0,7400	0,7237	0,6881	0,7155	-0,0997	-0,1085	0,6779	1,0000											
OSAVI	0,4818	0,5990	0,5018	0,9732	0,9107	0,8234	0,5159	0,5050	0,9923	0,6402	1,0000										
TCARI/OSAVI	0,7242	0,9293	0,7298	0,6423	0,6123	0,6536	-0,1841	-0,1922	0,5905	0,9933	0,5487	1,0000									
VARI	0,1743	0,5246	0,1681	0,3986	0,2987	0,3447	0,2459	0,2437	0,4011	0,7832	0,4330	0,7903	1,0000								
NVI	-0,4851	-0,3701	-0,4828	0,2496	0,1498	0,0838	0,9453	0,9356	0,3423	-0,2060	0,4353	-0,2904	0,1029	1,0000							
CRI	-0,9061	-0,6858	-0,8865	-0,4758	-0,5768	-0,5749	0,5717	0,5871	-0,3987	-0,3969	-0,2914	-0,3862	0,2218	0,5084	1,0000						
WBI	0,1202	0,1951	0,0771	-0,0113	-0,0804	0,0481	-0,0709	-0,0914	-0,0195	0,2224	-0,0299	0,2442	0,3025	0,1285	-0,0437	1,0000					
TVI	0,7162	0,8097	0,7291	0,9914	0,9519	0,8948	0,2383	0,2269	0,9758	0,8007	0,9496	0,7299	0,4689	0,1512	-0,5028	0,0008	1,0000				
REP	0,2487	0,1998	0,2708	-0,1901	-0,1266	-0,1587	-0,6168	-0,5985	-0,2433	0,1277	-0,2920	0,1886	-0,0450	-0,8172	-0,2498	-0,5575	-0,1052	1,0000			
NDMI	-0,5172	-0,3634	-0,5080	-0,3291	-0,5784	-0,6166	0,2667	0,2818	-0,2934	-0,2009	-0,2395	-0,1809	0,1859	0,2351	0,5863	0,2666	-0,3258	-0,1496	1,0000		
PRODUTIVIDADE	0,3638	0,3047	0,3644	0,1943	0,2528	0,1498	-0,2644	-0,2576	0,1694	0,2032	0,1373	0,1952	-0,0561	-0,2765	-0,4689	-0,1905	0,2300	0,3504	-0,3422	1,0000	

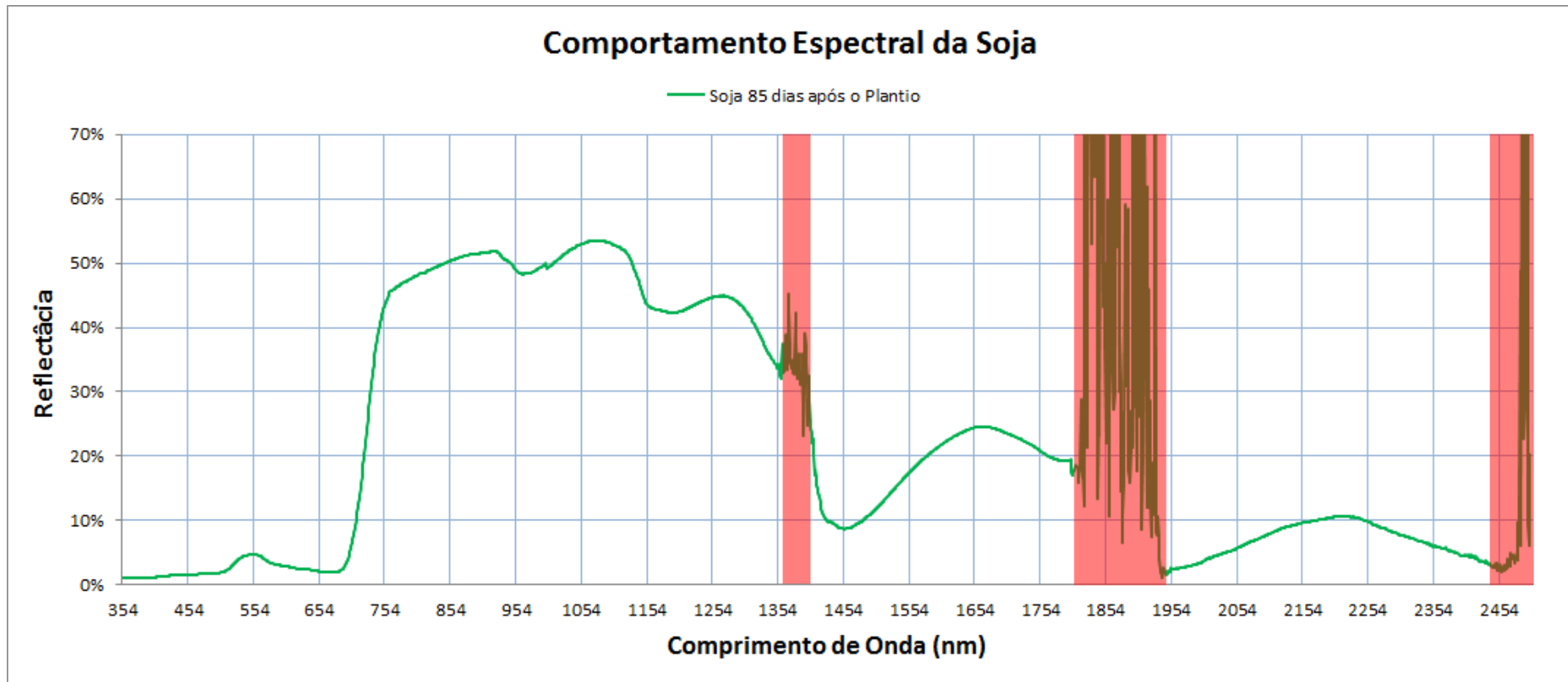
Apêndice 9 – Valores das bandas, coordenadas, produtividade e Índices de Vegetação calculados utilizando dados do Espectrorradiômetro de 08 de Abril de 2010.

PONTO	E (m)	N (m)	AZUL B1	VERDE B2	VERMELHO B3	IV PROXIMO B4	IV MEDIO B5	IV PROXIMO B7	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/OSAVI	VARI	NVI	CRI	WBI	TVI	REP	NDMI	PRODUTIVIDADE (Kg/ha)
2	233686,588	6708850,740	0,0931	0,1653	0,1883	0,3177	0,9310	0,4203	1,6873	0,2558	0,1930	0,0400	0,1713	0,2333	-0,0514	-0,0186	4,1696	0,8853	2,3240	667,5067	-0,4911	3081,0
3	233786,585	6708850,743	0,1018	0,2516	0,2390	0,5486	0,7596	0,2896	2,2951	0,3930	0,3606	0,3103	0,3718	0,8345	0,0211	-0,0669	4,6359	1,0014	27,1940	660,6481	-0,1613	6533,3
4	233886,590	6708850,746	0,0829	0,2285	0,1796	0,5514	0,6351	0,2314	3,0708	0,5087	0,4531	0,4070	0,5046	0,8065	0,0996	-0,1369	5,8594	1,0381	40,8445	664,2524	-0,0705	6513,4
5	233986,587	6708850,747	0,0795	0,1847	0,1794	0,2703	0,1981	0,1216	1,5063	0,2020	0,1435	0,2165	0,2325	0,9309	0,0120	-0,1338	5,4524	0,9675	18,6127	663,1308	0,1542	5040,9
6	233573,678	6708764,679	0,0939	0,1954	0,1999	0,2654	0,2594	0,1659	1,3275	0,1407	0,1017	0,1572	0,1585	0,9913	-0,0092	-0,1260	4,6670	0,9601	12,7572	667,8473	0,0115	4870,9
7	233686,586	6708750,747	0,1011	0,2071	0,2264	0,2986	0,2955	0,1873	1,3188	0,1375	0,1056	0,1286	0,1542	0,8341	-0,0360	-0,1121	4,2687	0,9537	10,4588	670,9248	0,0052	5065,0
8	233786,591	6708750,741	0,0892	0,2442	0,2015	0,3836	0,2177	0,1253	1,9035	0,3112	0,2517	0,3838	0,3522	1,0896	0,0798	-0,2127	5,5453	1,0378	37,5399	666,3812	0,2759	5882,1
9	233886,587	6708750,743	0,0815	0,1404	0,1614	0,1755	0,2673	0,1815	1,0876	0,0419	0,0253	0,0187	0,0416	0,4480	-0,0548	-0,0751	4,6106	0,9039	0,7804	676,5899	-0,2071	5036,0
10	233986,591	6708750,745	0,0897	0,2558	0,2025	0,3735	0,2374	0,1321	1,8450	0,2970	0,2385	0,4168	0,3505	1,1891	0,0974	-0,2523	5,2706	1,0110	40,4082	665,8234	0,2228	4473,8
11	233686,584	6708650,744	0,0737	0,1272	0,1392	0,1463	0,2531	0,1889	1,0512	0,0250	0,0136	0,0177	0,0297	0,5967	-0,0353	-0,0820	4,6430	0,8977	1,6843	678,1559	-0,2672	7406,5
12	233786,588	6708650,739	0,0751	0,1277	0,1351	0,1449	0,1962	0,1377	1,0732	0,0353	0,0190	0,0241	0,0394	0,6108	-0,0219	-0,0859	4,3773	0,9081	2,8327	677,5147	-0,1502	7248,3
13	233886,591	6708650,741	0,0672	0,1414	0,1369	0,2326	0,1511	0,0741	1,6983	0,2588	0,1650	0,1370	0,2628	0,5213	0,0129	-0,1607	6,8493	1,0078	16,7827	672,0845	0,2123	5779,2
14	233686,591	6708550,742	0,0580	0,1376	0,1228	0,2018	0,1599	0,0978	1,6429	0,2432	0,1436	0,1690	0,2391	0,7069	0,0465	-0,1516	7,8241	0,9983	15,7928	666,2447	0,1158	4273,9
15	233786,585	6708550,746	0,0704	0,1530	0,1529	0,2175	0,1857	0,1082	1,4223	0,1743	0,1113	0,1387	0,1805	0,7684	0,0003	-0,1228	6,3215	0,9687	11,8087	667,7249	0,0789	7610,3
16	233730,448	6708475,849	0,0672	0,1285	0,1419	0,1773	0,1904	0,1167	1,2497	0,1110	0,0649	0,0567	0,1047	0,5416	-0,0398	-0,0818	6,1454	0,9266	4,5911	670,8891	-0,0355	5270,7

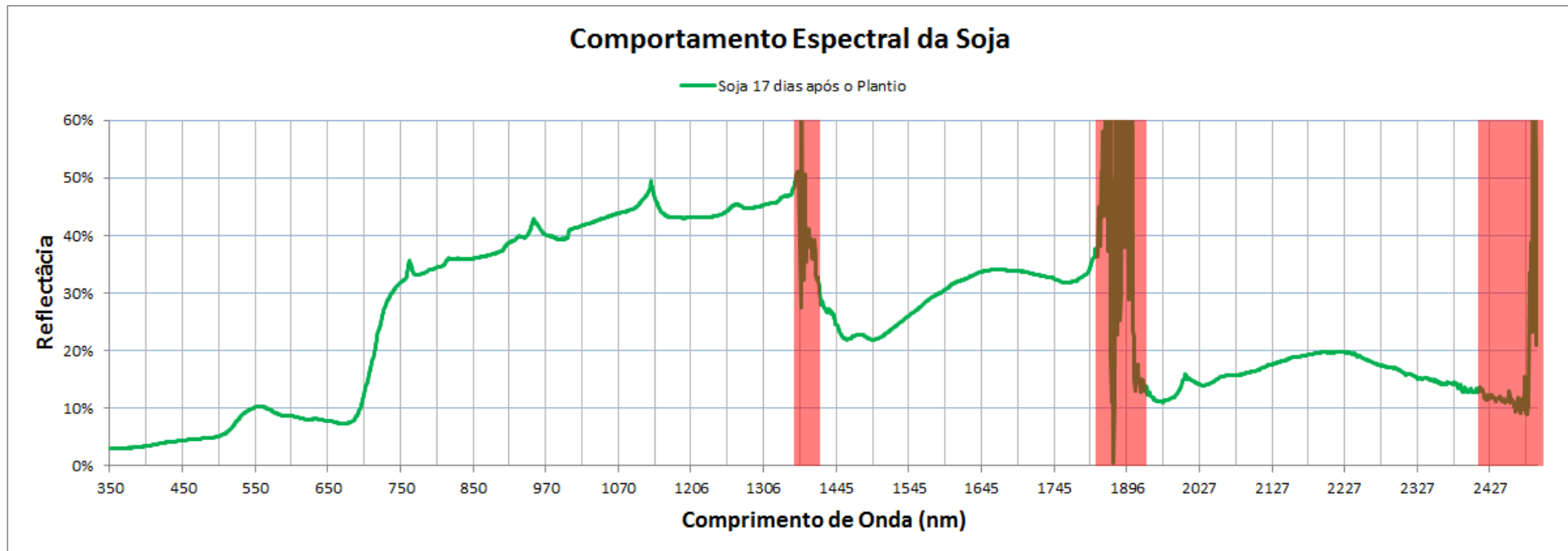
Apêndice 10 – Valores da análise de correlação dos índices de vegetação e produtividade dos dados do Espectrorradiômetro de 08 de Abril de 2010.

PONTO	AZUL B1	VERDE B2	VERMELHO B3	IV PROXIMO B4	IV MEDIO B5	IV PROXIMO B7	RS	NDVI	SAVI	TCARI	OSAVI	TCARI/OSAVI	VARI	NVI	CRI	WBI	TVI	REP	NDMI	PRODUTIVIDADE	
AZUL B1	1,0000																				
VERDE B2	0,7388	1,0000																			
VERMELHO B3	0,9505	0,8616	1,0000																		
IV PROXIMO B4	0,6127	0,8725	0,7269	1,0000																	
IV MEDIO B5	0,5621	0,3615	0,4960	0,6442	1,0000																
IV PROXIMO B7	0,6002	0,2309	0,4677	0,4406	0,9497	1,0000															
RS	0,2560	0,6691	0,3867	0,9069	0,5448	0,2893	1,0000														
NDVI	0,2712	0,7115	0,4348	0,9020	0,5197	0,2602	0,9732	1,0000													
SAVI	0,3794	0,7671	0,5190	0,9572	0,5843	0,3374	0,9836	0,9837	1,0000												
TCARI	0,3377	0,8800	0,5287	0,8157	0,1474	-0,0674	0,7982	0,8329	0,8388	1,0000											
OSAVI	0,2609	0,7776	0,4499	0,8835	0,3476	0,0854	0,9440	0,9742	0,9583	0,9266	1,0000										
TCARI/OSAVI	0,3293	0,7358	0,4967	0,4246	-0,2966	-0,3874	0,2941	0,3438	0,3608	0,7753	0,5231	1,0000									
VARI	0,0238	0,6671	0,2039	0,6311	-0,0264	-0,2476	0,7483	0,7712	0,7415	0,9293	0,8717	0,6989	1,0000								
NVI	0,0783	-0,4798	-0,0876	-0,2023	0,5071	0,6205	-0,2705	-0,3461	-0,2838	-0,7091	-0,5254	-0,7759	-0,7999	1,0000							
CRI	-0,7530	-0,2158	-0,5420	-0,1051	-0,4223	-0,6030	0,2206	0,2825	0,1397	0,2081	0,3172	0,0648	0,4352	-0,4390	1,0000						
WBI	0,0602	0,6658	0,2911	0,6510	-0,0804	-0,3356	0,7358	0,7886	0,7425	0,8914	0,8885	0,6847	0,9013	-0,7566	0,5265	1,0000					
TVI	0,2752	0,8400	0,4587	0,7909	0,1150	-0,1075	0,8085	0,8370	0,8363	0,9930	0,9323	0,7415	0,9520	-0,7402	0,2530	0,9093	1,0000				
REP	-0,3342	-0,7076	-0,5583	-0,7591	-0,3968	-0,1903	-0,7095	-0,8077	-0,7772	-0,7465	-0,8032	-0,5073	-0,6032	0,2926	-0,2451	-0,6651	-0,6916	1,0000			
NDMI	-0,2143	0,3143	0,0076	0,0685	-0,6624	-0,8016	0,1406	0,2416	0,1540	0,5598	0,4210	0,7122	0,6272	-0,8848	0,5912	0,7474	0,5807	-0,3256	1,0000		
PRODUTIVIDADE	-0,2060	-0,1107	-0,2120	-0,0297	-0,2308	-0,2952	0,0137	-0,1023	-0,0334	0,0007	-0,0455	0,1091	0,0614	0,0240	0,0079	0,0887	0,0269	0,2649	0,0519	1,0000	

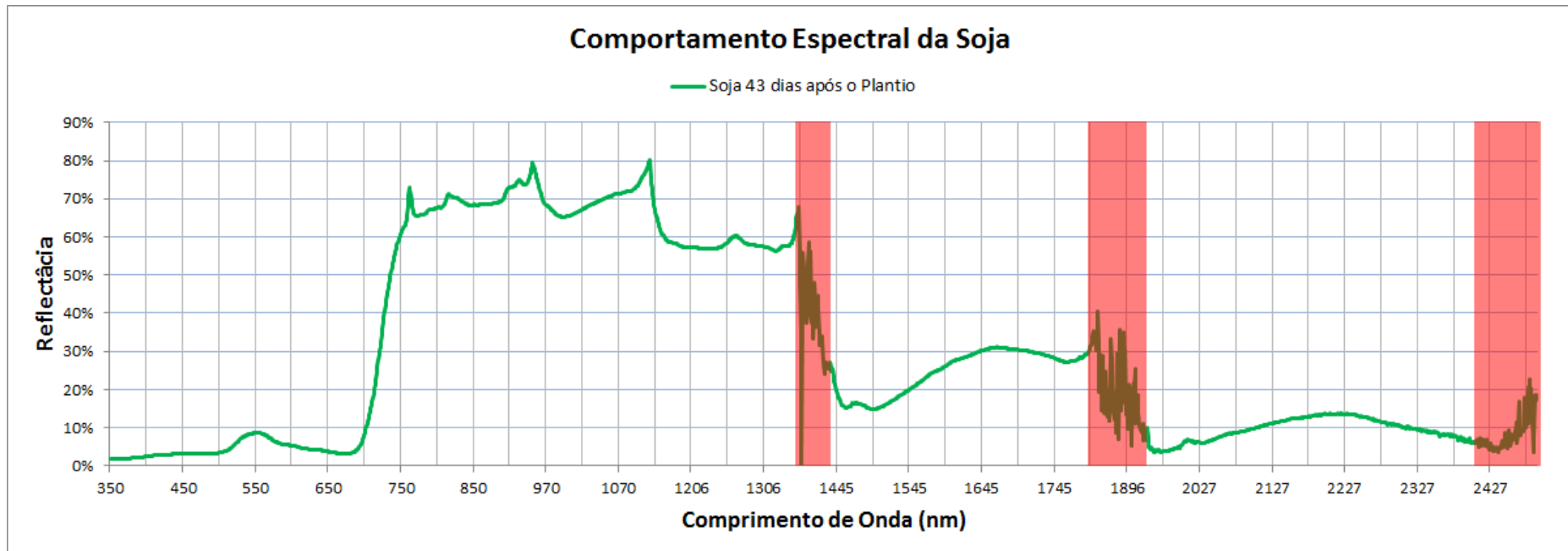
Apêndice 11 – Assinatura espectral da Soja com idade de 85 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 04 de Abril de 2009.



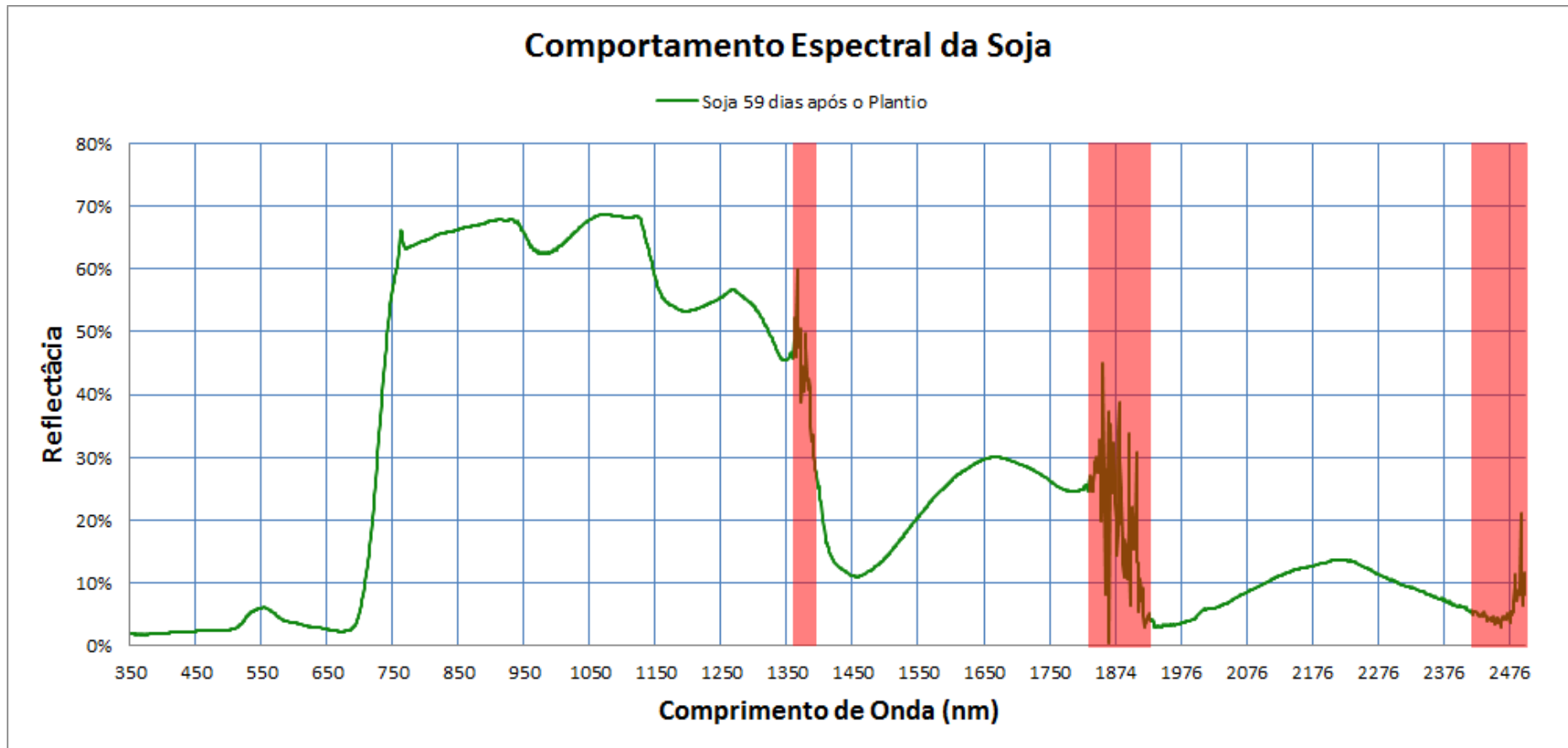
Apêndice 12 – Assinatura espectral da Soja com idade de 17 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 15 de janeiro de 2010.



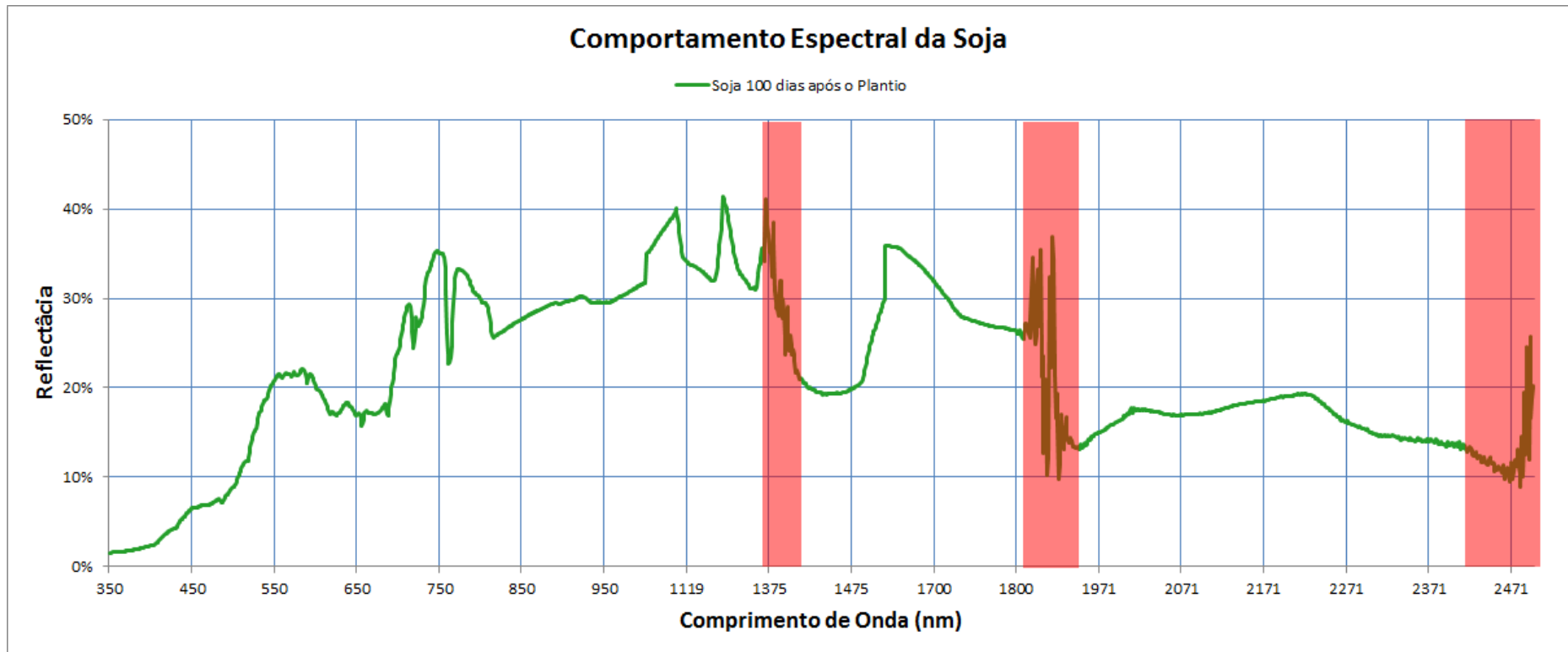
Apêndice 13 – Assinatura espectral da Soja com idade de 43 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 10 de fevereiro de 2010.



Apêndice 14– Assinatura espectral da Soja com idade de 59 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 26 de fevereiro de 2010.



Apêndice 15 – Assinatura espectral da Soja com idade de 100 dias após o plantio, com dados coletados com Espectrorradiômetro em campo no dia 08 de Abril de 2010.



Apêndice 16 – Valores dos Índices de Vegetação (NDVI, RS, SAVI, TVI e VARI) calculados utilizando as imagens do LANDSAT 5 TM das datas 24/01/2010, 09/02/2010 e 14/04/2010 da Soja com 26, 42 e 106 dias após o plantio respectivamente.

DADOS DAS IMAGENS DO LANDSAT 5 TM 24/01/2010										
Ponto	E (m)	N (m)	NDVI	RS	SAVI	TVI	VARI	NDMI	DADE	PRODUTIVI- (Kg/ha)
2	233.687	6.708.851	0,5391	2,571	0,219	4180	0,0781	0,7266		3081,0
3	233.787	6.708.851	0,5625	2,704	0,229	4300	0,0938	0,7266		6533,3
4	233.887	6.708.851	0,5078	2,393	0,204	4020	0,1250	0,6875		6513,4
5	233.987	6.708.851	0,5391	2,556	0,218	4200	0,1484	0,6953		5040,9
6	233.574	6.708.765	0,5078	2,367	0,202	3720	-0,0391	0,7031		4870,9
7	233.687	6.708.751	0,5234	2,483	0,212	4260	0,1250	0,7031		5065,0
8	233.787	6.708.751	0,4922	2,290	0,195	3660	-0,0547	0,6797		5882,1
9	233.887	6.708.751	0,5078	2,393	0,204	4020	0,1250	0,6406		5036,0
10	233.987	6.708.751	0,5313	2,536	0,216	3980	0,0234	0,7188		4473,8
11	233.687	6.708.651	0,4258	2,000	0,166	3620	-0,0742	0,6523		7406,5
12	233.787	6.708.651	0,5586	2,672	0,226	4660	0,1328	0,7031		7248,3
13	233.887	6.708.651	0,5547	2,667	0,226	4460	0,0938	0,7070		5779,2
14	233.687	6.708.551	0,4063	1,914	0,156	3320	-0,0547	0,6406		4273,9
15	233.787	6.708.551	0,3828	1,821	0,145	3180	-0,1328	0,6797		7610,3
16	233.730	6.708.476	0,5156	2,438	0,208	4020	-0,0781	0,7266		5270,7

DADOS DAS IMAGENS DO LANDSAT 5 TM 09/02/2010										
Ponto	E (m)	N (m)	NDVILS 0209	RSLS 0209	SAVILS 0209	TVILS 0209	VARILS 0209	NDMILS 0209	DADE	PRODUTIVI- (Kg/ha)
2	233.687	6.708.851	0,8672	5,929	0,373	6860	0,2500	0,8203		3081,0
3	233.787	6.708.851	0,8750	7,214	0,378	7100	0,2500	0,8281		6533,3
4	233.887	6.708.851	0,7891	5,313	0,338	5620	0,0625	0,7969		6513,4
5	233.987	6.708.851	0,7813	5,235	0,335	5740	0,0469	0,8047		5040,9
6	233.574	6.708.765	0,6484	4,000	0,272	4580	-0,1016	0,7734		4870,9
7	233.687	6.708.751	0,8359	5,867	0,358	6300	0,1641	0,8281		5065,0
8	233.787	6.708.751	0,8516	6,571	0,365	6440	0,2344	0,8125		5882,1
9	233.887	6.708.751	0,6953	4,632	0,292	4920	0,0547	0,7734		5036,0
10	233.987	6.708.751	0,8672	6,571	0,374	6920	0,2500	0,8359		4473,8
11	233.687	6.708.651	0,7969	5,452	0,341	5730	0,1250	0,7930		7406,5
12	233.787	6.708.651	0,8203	5,333	0,351	5860	0,0938	0,8008		7248,3
13	233.887	6.708.651	0,8555	6,633	0,369	6490	0,0273	0,8359		5779,2
14	233.687	6.708.551	0,7891	4,533	0,337	5320	0,0859	0,7813		4273,9
15	233.787	6.708.551	0,6797	4,095	0,286	4820	-0,0859	0,7813		7610,3
16	233.730	6.708.476	0,6250	3,091	0,259	4560	-0,0078	0,7422		5270,7

DADOS DAS IMAGENS DO LANDSAT 5 TM 14/04/2010										
Ponto	E (m)	N (m)	NDVILS 0414	RSLS 0414	SAVILS 0414	TVILS 0414	VARILS 0414	NDMILS 0414	DADE	PRODUTIVI- (Kg/ha)
2	233.687	6.708.851	0,2734	1,290	0,063	540	-0,6563	0,5938		3081,0
3	233.787	6.708.851	0,3047	1,375	0,078	1000	-0,5078	0,6172		6533,3
4	233.887	6.708.851	0,3516	1,484	0,097	1180	-0,5000	0,6641		6513,4
5	233.987	6.708.851	0,2344	1,207	0,047	780	-0,4141	0,5469		5040,9
6	233.574	6.708.765	0,3516	1,500	0,099	1480	-0,2344	0,6484		4870,9
7	233.687	6.708.751	0,2891	1,333	0,071	880	-0,5000	0,6250		5065,0
8	233.787	6.708.751	0,3438	1,467	0,094	1400	-0,3438	0,6484		5882,1
9	233.887	6.708.751	0,3594	1,520	0,102	1620	-0,1484	0,5703		5036,0
10	233.987	6.708.751	0,5469	2,190	0,185	2620	0,0859	0,6953		4473,8
11	233.687	6.708.651	0,3242	1,419	0,086	1130	-0,4648	0,6523		7406,5
12	233.787	6.708.651	0,2891	1,339	0,072	1270	-0,2578	0,6016		7248,3
13	233.887	6.708.651	0,3281	1,436	0,088	1210	-0,3633	0,6016		5779,2
14	233.687	6.708.551	0,2656	1,276	0,06	900	-0,4219	0,6016		4273,9
15	233.787	6.708.551	0,3828	1,577	0,111	1600	-0,2422	0,6641		7610,3
16	233.730	6.708.476	0,4453	1,778	0,139	1960	-0,2500	0,7031		5270,7

ANEXOS

Anexo 1 – Tabela de interpretação espectrorradiométrica entre os comprimentos de onda 490 a 985 nm.

N° da Banda	Nome	Centro de λ (nm)	Largura da λ (nm)	Descrição ou significado
1	Azul	490	30	Razão mínima de reflectância de cobertura de solo para faixas azul e verde. Sensível à perda de clorofila, de maturação, senescência, e de efeitos de superfície do solo (Thenkabail et al. 1999). Muito sensível às taxas senescência e é geralmente um excelente estimador do rendimento de grãos. Também sensível aos pigmentos carotenóides (Blackburn, 1998; Tucker, 1977). O uso da banda azul entretanto, é questionável devido aos efeitos atmosféricos e ao pequeno contraste na reflectância do solo e da vegetação.
2	Verde I	520	15	Alteração positiva na reflectância com a variação no comprimento de onda deste espectro visível atingindo a máxima reflectância em torno do comprimento do verde. O plot da derivada de primeira ordem do espectro poderá mostrar a cobertura (por exemplo, Thenkabail et al. 1999, Elvidge e Chen, 1995). Nichol et al. (2000) encontraram para essa banda, sensibilidade para conteúdo de pigmento.
3	Verde II	550	25	Pico na banda do verde (ou ponto de máxima reflectância) no espectro visível. Está fortemente relacionado ao total de clorofila (Schepers et al. 1996).
4	Verde III	575	15	A alteração negativa na reflectância pela variação no comprimento de onda do espectro visível é máxima em torno desta faixa do verde. O plot da derivada de primeira ordem do espectro mostrará a cobertura (por exemplo, Thenkabail et al. 1999, Elvidge e Chen, 1995). Sensível ao índice de pigmento (Nichol et al. 2000).
5	Vermelho I	660	20	Pré-máxima de absorção de clorofila (ou mínimo da reflectância 1). A absorção na faixa do Vermelho (600-700 nm) varia significativamente devido às mudanças nos fatores tais como biomassa, o LAI, a superfície de solo exposto, os tipos de cultivares, a estrutura do dossel, o teor de nitrogênio, a umidade, e o stress nas plantas (Elvidge e Chen, 1995; Carter, 1997; Blackburn, 1998).
6	Vermelho II	675	15	Máximo de absorção da Clorofila em qualquer ponto da escala 350 à 1050 nm do espectro (ou de mínima reflectância). O maior contraste da cobertura de solo está em torno do centro desta faixa para a maioria de coberturas em fase de crescimento. (Thenkabail et al. 2000). Fortes correlações com clorofila A e clorofila B (Blackburn 1998 e 1999).
7	Vermelho Borda I	700	5	Absorção de clorofila pós-máxima (ou de mínima reflectância 2). Este é um ponto de mudança repentina na reflectância de absorção do vermelho próximo-máximo ao início do aumento significativo na reflectância ao longo do limite (borda) do vermelho. Encontrado o mais sensível ao stress de planta e foi encontrado a faixa VERMELHA mais sensível por Carter (1994)
8	Vermelho Borda II	720	15	Ponto crítico em torno do limite do vermelho em que há uma mudança máxima na inclinação do espectro de reflectância pela variação no comprimento de onda entre 350 e 1050 nm. O plot da derivada de primeira ordem mostrará a coleta do espectro (por exemplo, Thenkabail et al. 1999, Elvidge e Chen, 1995). Sensível às variações temporais no crescimento e na condição de colheita, resulta no deslocamento para o limite do vermelho. É sensível ao stress da fegetação e, fornece a informação adicional sobre o status de clorofila e do nitrogênio das plantas (Clevers, 1999, Shaw et al. 1998, Elvidge e Chen, 1995)
9	NIR	845	120	Centro da "curva do NIR". Para muitas coletas, uma faixa-larga ou uma faixa estreita, fornecerão o mesmo resultado devido à reflectância uniforme próxima durante toda a curva de NIR. Em tais exemplos, outras faixas ao longo da curva de NIR serão redundantes devido à informação similar neste comprimento de banda. Possui relação forte com clorofila total (Schepers et al. 1996).
10	NIR Pico I	905	15	Região de pico ou de máxima reflectância do espectro de NIR para determinados tipos e/ou estágios do crescimento da vegetação ou das culturas. As culturas tais como o algodão e o milho ou quando estas estiverem sob o stress ou senescência ocorrerá mudança significativa na reflectância ao longo da curva "ombro NIR" (740-940 nm). (Thenkabail et al. 2000, Thenkabail et al. 1999). Útil para determinar o índice de umidade da cultura (Peñuelas et al. 1993).
11	NIR Pico II	920	15	Região de pico de máxima da reflectância do espectro de NIR para determinados outros tipos e/ou estágios do crescimento da vegetação ou das culturas. As culturas tais como o algodão e o milho ou ainda quando estiverem sob o stress ou senescência, ocorrerá mudança significativa na reflectância ao longo da curva "ombro NIR" (740-940 nm). (Thenkabail et al. 2000, Thenkabail et al. 1999).
12	NIR sensível a umidade	975	10	Centro de depressão da curva sensível a umidade no NIR. A parte da depressão varia em 940 a 1040 nm, e tem tipicamente a reflectância mínima em torno de 975 nm (ou ponto do "mergulho máximo" na parte da depressão desta curva). Faixa sensível de umidade da planta (Peñuelas et al. 1995, Thenkabail et al. 2000). São praticáveis as medidas diretas do vapor de água e sobre os dosséis da vegetação. (Richey et al. 1989)

Compilação:

Rudiney Soares Pereira
Novembro de 2007

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Departamento de Engenharia Rural
Sensoriamento Remoto – Espectroradiometria