

Unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

DISSERTAÇÃO

**DETECCÃO DA DOENÇA “mela-das-sementes da
braquiária” EM GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS
ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

José Carlos Rosatti
Mestrando

Prof. Dr. Eivaldo Antonio da Silva
Orientador

**Presidente Prudente
2006**

Unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

JOSÉ CARLOS ROSATTI

**DETECÇÃO DA DOENÇA “mela-das-sementes da braquiária” EM
GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP para obtenção do título de Mestre em Ciências Cartográficas.

Orientador:
Prof. Dr. Erivaldo Antonio da Silva

**Presidente Prudente
Estado de São Paulo - Brasil
2006**

TERMO DE APROVAÇÃO

JOSÉ CARLOS ROSATTI

DETECÇÃO DA DOENÇA “mela-das-sementes da braquiária” EM GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre em Ciências Cartográficas, Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas da UNESP de Presidente Prudente, área de concentração: “Aquisição, Análise e Representação de Informações Espaciais”, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Erivaldo Antonio da Silva

Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP
Presidente e Orientador

Prof. Dr. Hélio Ricardo Silva

Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – Ilha Solteira
2º Examinador

Prof. Dr. Rubens Augusto Camargo Lamparelli

CEPAGRI/UNICAMP
3º Examinador

Presidente Prudente, ____ de _____ 2006.

DEDICATÓRIA

À minha querida mãe, eternamente viva em meu coração, ofereço.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por ter me dado coragem, resistência e perseverança para enfrentar as dificuldades, que não foram poucas, à minha família que sempre me ajudou na realização de meus projetos, ao meu orientador, Prof. Erivaldo Antonio da Silva, por ter acreditado e aceitado me orientar e também por sua competência, sinceridade e calma ao conduzir-me durante a orientação, ao Prof. Flávio Jorge Ponzoni, pelo conhecimento, atenção e ajuda em organizar minhas idéias, ao Prof. Paulo de Oliveira Camargo pela colaboração e amizade, aos Profs. Julio Kiyoshi Hasegawa, Arlete Aparecida Correia Meneguette, Maria de Lourdes B. Trindade Galo, Vilma Mayumi Tashibana, pela ajuda e incentivo, aos professores do Departamento de Cartografia e Pós Graduação da UNESP de Presidente Prudente pelos ensinamentos, aos colegas Marcelo Leandro Holzschuh, Zaqueu de Jesus Rodrigues, Edgar Nogueira Demarqui, Lauriana Rúbio Sartori, Willian Dal Poz e Roberto Ruy, pela disponibilidade e boa vontade com quem sempre me atenderam, aos amigos do mestrado e à Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - UNESP pelo acolhimento.

Agradeço também o apoio indispensável dos pesquisadores Pedro Carlos Kruppa do Instituto Biológico de São Paulo e Gustavo D'angiolella da Universidade de Brasília, do engenheiro agrônomo Luciano Aurélio Lara e do técnico agrícola Gilson da Silva Oliveira, da Matsuda Sementes e Nutrição Animal, do Sr. Antonio Bravo, produtor de sementes, dos alunos Cristina Ayumi Aono, Marcos Paulo da S. Albuquerque e Tiago Palma e do colega de trabalho Mariano Queiróz Barbosa, pelo seu companheirismo.

E todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para a realização deste estudo e torceram para que meus objetivos fossem atingidos, fica expressa minha gratidão.

Muito obrigado.

EPÍGRAFE

“Descobri como é bom chegar quando se tem paciência. E para se chegar, onde quer que seja, aprendi que não é preciso dominar a força, mas a razão. É preciso, antes de mais nada, querer. (AMYR KLINK)”.

RESUMO

Imagens CCD/CBERS 2 nas bandas B2, B3 e B4, dos anos de 2004 e 2005, de Mirante do Paranapanema, SP (Brasil), foram transformadas em reflectância de superfície usando o modelo 5S de correção atmosférica e normalizadas radiometricamente tendo como base o trabalho desenvolvido por Hall *et al.* (1991). O objetivo foi caracterizar espectralmente áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* (Hoschst ex A. Rich) Stapf, em fase de florescimento, isentas e infectadas com a doença “mela-das-sementes da braquiária”, no sentido de possibilitar a sua detecção através da comparação entre os valores de FRBS – Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície. Ao mesmo tempo, objetivou-se também, avaliar a eficácia das imagens CCD/CBERS-2 para a obtenção de respostas espectrais de pastagens. Os valores de reflectância de superfície foram comparados e analisados através da variação espectral existente entre as áreas sadias e doentes e os resultados indicaram que as principais diferenças foram a diminuição da reflectância na banda B3 e o aumento da reflectância na banda B4 nas áreas doentes. Diferenças significativas também foram constatadas pela comparação entre dados obtidos de imagens índices de vegetação NDVI e RVI. A metodologia empregada com o uso de imagens CCD/CBERS-2 mostrou-se eficaz para discriminar áreas infectadas com a doença.

Palavras-chave: caracterização espectral. doença. pastagens. imagens CCD.

ABSTRACT

CCD/CBERS 2 images in the spectral bands B2, B3 and B4 of the years 2004 and 2005, from Mirante do Paranapanema, SP (Brazil), were transformed in surface reflectance images using the model 5S of atmospheric correction and radiometrically normalized tends as base the work developed by Hall *et al.* (1991). The objective was characterize spectrally areas of pastures of *Brachiaria brizantha* (Hoschst ex A. Rich) Stapf, in your flowering phase, exempt and infected with the disease “mela-das-sementes da braquiária”, in the sense of making possible your detection through the comparison among the FRBS - Surface of Bidirectional Reflectance Factor values. At the same time, it was aimed at to evaluate the effectiveness of the CCD/CBERS-2 images for the obtaining of spectral response of pastures. The surface of reflectance values were compared and analyzed through the existent spectral variation between the healthy and diseased areas and the results they indicated that the main differences were the decrease of the reflectance in the band B3 and the increase of the reflectance in the band B4 in the diseased areas. Significant differences were also verified by the comparison among obtained of vegetation indexes NDVI and RVI data. The methodology used with the use of CCD/CBERS-2 images it was shown effective for discrimination the areas infected with the disease.

Keywords: spectral characterization. disease. pastures. CCD images.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Brachiaria brizantha</i>	24
Figura 2 - a) Panícula de sorgo com sintoma da “mela” 1º Estádio: conidial “gota-de-mel”. b) Início da formação dos esclerócios na panícula 2º Estádio: esclerocial.	29
Figura 3 - <i>Sphacelia</i> sp em sementes de sorgo halepense.	30
Figura 4 - Curva de resposta espectral de um alvo.	34
Figura 5 - Caminhos do feixe de radiação numa folha. (corte transversal).....	35
Figura 6 - Interações da radiação eletromagnética com a folha.	37
Figura 7 - Interação das bandas espectrais com a estrutura celular de uma folha demonstrando os processos de reflexão especular, absorção e reflexão difusa.	38
Figura 8 - Reflectância do trigo na região espectral do vermelho em função do ângulo zenital (hora do dia)	41
Figura 9 - Esquema de mensuração do fator de reflectância.....	46
Figura 10 - Ângulos de visada e de iluminação que determinam o fator de reflectância bidirecional.....	47
Figura 11 - Albedo das principais superfícies.	50
Figura 12 - Escala de cores e valores de NDVI.....	57
Figura 13 - Correção geométrica das imagens.	67
Figura 14 - Esquema ilustrativo do processo de relacionamento entre a reflectância direcional de superfície e o ND apresentado nas imagens orbitais.	69
Figura 15 - Localização da área de estudo.	79
Figura 16 - Dados pluviométricos da área de estudo (2004 e 2005).	80
Figura 17 - Área de estudo na imagem de maio de 2005, em composição 4R3G2B.....	82
Figura 18 - (A1) Área cultivada com <i>Brachiaria brizantha</i> cv MG-5 (plântio de ano), no estágio vegetativo inicial. (A2) Detalhe da planta. Dia 17/02/2005.....	82
Figura 19 - (B1) Área cultivada com <i>Brachiaria brizantha</i> cv MG-5 (rebrotada), no estágio vegetativo inicial. (B2) Detalhe das plantas. Dia 17/02/2005.....	83
Figura 20 - Cartas topográficas de Mirante do Paranapanema e Presidente Bernardes.....	88
Figura 21 - Carta topográfica editada e georreferenciada (em RGB) da área de estudo.....	89
Figura 22 - Fluxograma da correção atmosférica da imagem “referência”.....	91
Figura 23 - Programa Scordis.....	92
Figura 24 - Fluxograma de normalização radiométrica das imagens “ajuste”.....	95

Figura 25 - Procedimento de normalização	96
Figura 26 - Dossel da área A no período de florescimento da pastagem. Dia 26/06/05.	104
Figura 27 - Dossel da área B no período de florescimento da pastagem. Dia 23/05/05.....	104
Figura 28 - Gráfico do Balanço Hídrico de Mirante do Paranapanema de 2005	110
Figura 29 - Gráfico da variação do teor de umidade do solo de Mirante do Paranapanema em 2005.	110
Figura 30 - Obtenção de imagens “reflectância aparente”	112
Figura 31 - Imagem CCD na banda 3, da área de estudo, com correção atmosférica (Maio 2005).....	113
Figura 32 - Comparação entre dados da imagem original e da imagem com correção atmosférica	114
Figura 33 - Resultados das normalizações.	115
Figura 34 - Comparação entre as respostas espectrais da área sadia de Maio de 2005 e as áreas doentes em Junho de 2004.	117
Figura 35 – Curvas espectrais das áreas doentes e sadias (JUN_04 e JUL_05).....	119
Figura 36 - Comparação entre as respostas espectrais da área sadia (B) de Maio de 2005 e as áreas sadias (A,B).....	121
Figura 37 - 1) Imagem NDVI Jun_2004. 2) Imagem NDVI Mai_2005.	124
Figura 38 -1) Imagem RVI Jun_2004. 2) Imagem RVI Mai_2005.	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado comparativo de três cultivares de <i>Brachiaria brizantha</i>	25
Tabela 2 - Condições para cultura em função do índice de estresse hídrico (CWS).....	44
Tabela 3 – Condições para a cultura em função do estresse hídrico acumulado.....	45
Tabela 4 - Variáveis que interferem na função distribuição bidirecional.....	52
Tabela 5 - Características do satélite CBERS 2/CCD	63
Tabela 6 - Dados do sensor CCD	63
Tabela 7 - Fases do estudo.....	78
Tabela 8 - Dados das imagens obtidas.....	85
Tabela 9 - Valores de coeficientes para as componentes “Greeness e Brightness”	97
Tabela 10 - Plantio e florescimento das áreas A e B em 2004 e 2005.	105
Tabela 11 - Balanço Hídrico de 2004 – Mirante do Paranapanema.....	107
Tabela 12 - Balanço Hídrico de 2005 – Mirante do Paranapanema.....	109
Tabela 13 – Condições para desenvolvimento vegetal acumulativa	111
Tabela 14 - Valores médios de FRBS das áreas A e B em Junho 2004 e Maio 2005.....	116
Tabela 15 - Valores médios de FRBS das áreas A e B em junho 2004 e julho 2005.....	119
Tabela 16 - Valores médios de FRBS das áreas sadias A e B em Maio 2005 e Julho 2005 .	120
Tabela 17 - Comparação entre valores médios de FRBS das áreas B de Junho 2004.....	122
Tabela 18 - Comparação entre valores médios de FRBS das áreas B de Junho 2004.....	122
Tabela 19 - Comparação entre valores médios de FRBS entre as áreas A de Junho 2004	123
Tabela 20 - Parâmetros estatísticos das imagens de NDVI	125
Tabela 21 - Parâmetros estatísticos das imagens de RVI.	126
Tabela 22 - Comparação entre os valores de NDVI das áreas B de Maio 2005 (sadia).....	128
Tabela 23 - Comparação entre os valores de NDVI das áreas B de Maio 2005 (sadia) e.....	129
Tabela 24 - Comparação entre os valores de RVI das áreas B de Maio 2005(sadia).....	130
Tabela 25 - Comparação entre os valores de RVI das áreas B de Maio 2005(sadia) e.....	130

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivos Gerais	19
2.2	Objetivos específicos.....	19
3	REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1	Características das gramíneas do gênero <i>Brachiaria</i>	22
3.1.1	A espécie <i>Brachiaria brizantha</i>	23
3.1.2	A cultivar <i>Brachiaria brizantha</i> cv MG-5.....	25
3.2	Produção de sementes de gramíneas forrageiras no Brasil	26
3.3	Doenças em gramíneas forrageiras	27
3.3.1	O agente causal e sintomas da doença “mela”	29
3.3.2	Deteção e controle da doença “mela”	31
3.4	Sensoriamento Remoto	32
3.4.1	Interação da radiação eletromagnética com a planta.....	33
3.4.1.1	Reflectância da folha	36
3.4.1.2	Fator de Reflectância Bidirecional	45
3.4.2	Interação da radiação eletromagnética com dosséis de vegetação	47
3.4.2.1	Interação da REM com os dosséis de culturas agrícolas.....	51
3.4.2.2	Comportamento espectral das gramíneas	53
3.4.3	Índices de vegetação	54
3.4.3.1	Índice da Diferença Normalizada da Vegetação - NDVI.....	56
3.4.3.2	Índice de Razão Simples - RVI	60
3.4.4	Imagens do satélite CCD/CBERS-2	62
3.4.5	Processamento de imagens	64
3.4.6	Pré-processamento de imagens temporais.....	65
3.4.6.1	Correção geométrica e registro de imagens.....	66
3.4.6.2	Transformação de NDs para Reflectância aparente	68
3.4.6.3	Correção atmosférica das imagens CCD/CBERS-2.....	70
3.4.6.4	Aplicativos computacionais para a correção atmosférica.....	72
3.4.6.5	Normalização radiométrica das imagens temporais	73

4	MATERIAL E MÉTODOS	78
4.1	Material	78
4.1.1	Área de estudo	78
4.1.1.1	Clima da área de estudo	80
4.1.2	Seleção das regiões de interesse	81
4.1.3	Recursos	83
4.2	Métodos	84
4.2.1	Caracterização espectral das pastagens	84
4.2.2	Obtenção dos dados orbitais	85
4.2.3	Análise dos parâmetros biofísicos	85
4.2.4	Processamento das imagens CCD/CBERS-2	86
4.2.4.1	Georreferenciamento das Imagens CCD/CBERS-2	87
4.2.4.2	Correção topográfica das imagens do CCD/CBERS-2	90
4.2.4.3	Correção atmosférica das imagens do CCD/CBERS-2	90
4.2.4.4	Transformação de NDs em imagem reflectância	93
4.2.4.5	Normalização radiométrica das imagens CCD/CBERS-2	94
4.2.5	Obtenção dos dados estatísticos de imagem por polígono	99
4.2.6	Obtenção dos índices de vegetação	101
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	103
5.1	Índice de Área Foliar	103
5.2	Períodos de florescimento e de incidência da doença	104
5.3	Efeito do estresse hídrico	106
5.4	Transformação dos NDs em FRBA	112
5.5	Correção atmosférica	112
5.6	Normalização radiométrica	114
5.7	Análise dos valores de FRBS	116
5.7.1	Comparação entre áreas doentes e sadias (JUN_04 e MAI_05)	116
5.7.2	Comparação entre áreas doentes e sadias (JUN_04 e JUL_05)	118
5.7.3	Comparação entre áreas sadias (MAI_05 e JUL_05)	120
5.8	Análise estatística dos valores de FRBS	121
5.9	Obtenção dos valores de NDVI e RVI	123
5.9.1	Análise dos dados do NDVI e RVI	125
5.9.2	Análise estatística dos índices NDVI e RVI	127
5.9.2.1	Análise estatística do NDVI	128

5.9.2.2	Análise estatística do RVI	129
5.9.3	Comparação entre NDVI e RVI	130
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	132
7	REFERÊNCIAS	136
8	ANEXOS	155

1 INTRODUÇÃO

A base da alimentação animal nos trópicos são as pastagens e no Brasil elas representam uma área estimada de 197 milhões de hectares (FAO, 2005) compondo dois importantes segmentos do agro negócio brasileiro; a produção de carne e a produção de sementes de forrageiras, que juntos ocupam boa parcela das exportações de produtos agropecuários do país.

As pastagens tropicais são formadas principalmente por gramíneas (capins) devido a sua boa adaptabilidade as diferentes condições climáticas, à tolerância aos solos fracos e ácidos e à resistência que as mesmas têm ao manejo inadequado dos sistemas de produção extensivos praticados no Brasil.

Por isso, nestas duas últimas décadas tem sido considerável o aumento das áreas de pastagens formadas com espécies do gênero *Brachiaria*, seguido de um proporcional aumento na produção e na comercialização de suas sementes, crescimento este que tornou o Brasil o maior exportador de sementes de forrageiras tropicais do mundo. Todavia, a baixa variabilidade genética das duas principais espécies cultivadas (*B. brizantha* e *B. decumbens*) e o seu modo de reprodução apomítico (assexuado) resultaram em uma grande homogeneidade na população de gramíneas das pastagens implantadas, constituindo extensos monocultivos, facilitando o aparecimento e a propagação de pragas e doenças, principalmente quando da ocorrência de desequilíbrios climáticos, ocasionando perdas consideráveis à produção de forragem e de sementes.

Devido a intensificação da atividade pecuária, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, resultado da grande expansão das pastagens, surgiram várias doenças em gramíneas, que aos poucos foram adquirindo importância significativa, ocasionando perdas na qualidade e na produtividade destas forrageiras. As poucas

informações referentes aos agentes causais dessas doenças tanto em pastagens como em campos de produção de sementes, não permitiram ainda delimitar a influência das mesmas na capacidade de suporte e na produção das gramíneas.

Dentre as doenças mais importantes, destaca-se a “mela-das-sementes da braquiária”, causada pelo fungo *Claviceps sulcata* Langdon (forma teleomórfica de *Sphacelia* sp.), que afeta os ovários das flores de plantas de *B. brizantha* (Hoschst ex A. Rich) Stapf, causando infertilidade do pólen, sendo sua epidemiologia ainda desconhecida, acreditando-se que a disseminação do patógeno seja efetuada principalmente por insetos e por gotas de chuva (VERZIGNASSI; FERNANDES, 2001) e por isso favorecido em épocas onde o clima é mais chuvoso ou nublado.

Sua incidência se dá, portanto, na fase reprodutiva das gramíneas, que vai do florescimento até a colheita das sementes. As características desta doença podem ser descritas a partir de sua fase inicial quando ela é reconhecida pela presença de gotas de líquido pegajoso, contendo conídios do fungo, de coloração inicialmente rosada, e mais tarde parda (REIS *et al.* 2000) que exsudam dos ovários infectados e ao se depositarem nas folhas das plantas, tornam-nas brancas devido à presença de açúcares.

Por tratar-se de uma doença de incidência recente nas áreas de pastagens e em campos de produção de sementes de forrageiras do país, poucos trabalhos de pesquisa foram realizados sobre a mesma, tornando escassas as informações disponibilizadas sobre o seu comportamento e o controle do patógeno.

Por outro lado, o Sensoriamento Remoto é uma ferramenta que possibilita a extração, à distância, de informações de alvos de interesse na superfície da terra. Isto é, permite correlacionar os dados radiométricos presentes em imagens orbitais, com parâmetros biofísicos da vegetação, através da detecção, quantificação e análise da energia eletromagnética refletida, absorvida, transmitida e/ou emitida pelos alvos. Assim sendo, a

imagem de satélite pode ser utilizada para gerar informações, que são obtidas através do comportamento espectral da cultura. As diferenças espectrais são registradas na imagem na forma de variações tonais, de cores ou de densidade (VIEIRA; ALVES; LACERDA, 2003). E devido à característica sinótica dos dados de sensoriamento remoto, especialmente aqueles obtidos por sensores a bordo de satélites, são possíveis observar sintomas de doenças ou pragas, no conjunto do dossel, que se manifestam em função da quantidade de radiação refletida ou emitida pela cultura agrícola e captada pelo sensor em diferentes faixas de comprimento de onda do espectro eletromagnético.

As plantas emitem e refletem radiação eletromagnética, que pode ser captada por sensores especiais sensíveis a determinados comprimentos de onda. Essa radiação fornece informações sobre desenvolvimento e sanidade das culturas e permite acompanhamento (LAMPARELLI; ROCHA; JAIME, 2004).

Segundo Ponzoni *et al.* (2002), a predição e a compreensão da aparência assumida por um dossel vegetal ou de um dado radiométrico proveniente desse mesmo dossel, presentes em uma imagem orbital, não podem ser feitas única e exclusivamente tomando-se como base a reflectância espectral de alguns elementos da vegetação, como por exemplo, as folhas e flores, e sim considerando outros fatores que exercem influência sobre a reflectância espectral da vegetação. Isto é, além do comportamento espectral da folha, a obtenção da resposta espectral do dossel de uma cultura pode ser influenciada por diversos parâmetros, tais como: a geometria de iluminação e visada (parâmetros geométricos que caracterizam a bidirecionalidade da radiação medida pelos sensores remotamente situados); a umidade, vigor vegetativo, cobertura vegetal do substrato, tipo de solo, topografia, espaçamento da cultura, variedade, idade da planta, entre outros.

Deve-se ainda considerar que os sinais eletromagnéticos da radiação coletados pelos sensores remotos a bordo de satélites, no espectro solar, são modificados,

dispersos e absorvidos por gases e aerossóis através de sua passagem pela atmosfera no caminho entre a superfície da terra e o sensor (SONG *et al.*, 2001). Portanto, a variabilidade existente nas diferentes condições atmosféricas deve ser considerada para se obter valores de reflectância e radiância de superfícies vegetais mais precisos (MACHADO *et al.*, 2003). Para a caracterização espectral de culturas agrícolas, tais como as pastagens, através do sensoriamento orbital, há que se atentar então, para as variáveis e parâmetros culturais que influenciam a resposta espectral do alvo.

Com base neste contexto, ou seja, que a caracterização espectral de alvos agrícolas por meio de dados coletados de sensores a bordo de satélites orbitais apresenta erros amostrais devido a complexidade do comportamento espectral do dossel agrícola, é que se propõe o presente estudo, assumindo-se em primeiro, a hipótese da possibilidade de extração de valores reais de FRBS (Fatores de Reflectância Bidirecional de Superfície) dos alvos estudados levando em consideração a minimização destes erros através da aplicação de técnicas de correção atmosférica e de normalização radiométrica e com isso, assumindo a segunda hipótese de que é possível obter diferenças significativas destes valores que permitam a identificação das áreas doentes em relação as áreas saudas.

Deste forma, o objetivo principal deste trabalho foi estabelecer uma metodologia que, levando em conta as limitações intrínsecas dos dados remotamente coletados, permitisse a caracterização espectral de dosséis de pastagens *B. brizantha* cv MG-5 saudas e infectadas pela doença “mela-das-sementes da braquiária”, utilizando-se de imagens temporais, adquiridas pelo sensor CCD colocado a bordo do satélite CBERS-2. A obtenção das respostas espectrais destes alvos tornou possível a comparação entre os valores de FRBS (Fatores de Reflectância Bidirecional de Superfície) correspondentes às áreas estudadas e a confirmação das diferenças existentes entre estes valores possibilitou a identificação das áreas doentes. Ao mesmo tempo, este trabalho objetivou também avaliar o potencial de emprego de

imagens CCD/CBERS-2 para o levantamento preciso de áreas de pastagens e consequentemente para a detecção da doença “mela-das-sementes da braquiária”.

As justificativas deste trabalho estão baseadas na possibilidade de que a metodologia adotada possa ser diretamente utilizada pelas empresas e produtores de sementes para a detecção da doença e com isso a aquisição de sementes sadias e que os resultados obtidos possam fornecer subsídios à geração de novos produtos ou posteriormente serem submetidos a novos processamentos que visem auxiliar em estudos complementares sobre a disseminação e a distribuição espacial da doença. Além disso, poderá também, permitir o mapeamento das regiões mais susceptíveis ao desenvolvimento do fungo *Claviceps sulcata*, tornando-se um importante instrumento de apoio às decisões sobre manejo da doença, facilitando a seleção das regiões do país mais aptas à produção de sementes de forrageiras livres do patógeno.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

- Desenvolver uma metodologia para a caracterização espectral da doença “mela-das-ementes da braquiária”;
- Avaliar o potencial do emprego de imagens CCD/CBERS-2 na obtenção de dados radiométricos orbitais de áreas de pastagens;
- Detecção da doença “mela-das-ementes da braquiária” a partir da sua caracterização espectral.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos propostos neste trabalho são:

- Obter os valores de FRBS (Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície) dos dosséis de pastagem, de áreas sadias e de áreas infectadas com a doença “mela-das-ementes da braquiária”, através de dados do sensor CCD;
- Estabelecer comparações estatísticas entre os valores obtidos de FRBS;

- Avaliar o emprego dos índices de vegetação NDVI e RVI, obtidos nas duas áreas de pastagens, a partir das imagens de reflectância da superfície, visando a diferenciação destes dois alvos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

O embasamento teórico deste trabalho foi realizado tendo como origem a definição dos objetivos formulados, que por sua vez envolveu a pesquisa e o conhecimento da existência de publicações com respostas às questões neles levantadas. Isso possibilitou decidir da pertinência de repetir uma investigação com objetivos idênticos e foi importante para conhecer quais os métodos utilizados em investigações similares permitindo escolher sobre qual a melhor metodologia a utilizar.

Na proposta de pesquisa, o interesse foi investigar as características gerais das gramíneas, a sua importância dentro do contexto de produção de sementes no Brasil, a doença e o patógeno, sua sintomatologia, condições climáticas favoráveis e o período de sua incidência. Sobre os aspectos da área de sensoriamento remoto, a determinação da caracterização espectral das pastagens gerada pelos dados obtidos via imagens orbitais do sensor CCD/CBERS-2 exigiu principalmente o conhecimento da interação da energia de radiação eletromagnética com a vegetação, com a planta e folha; a interação com os dosséis de culturas agrícolas, em especial, o comportamento espectral das gramíneas e o conhecimento dos índices de vegetação proporcionado pelos diversos tipos de vegetação que visam melhorar a relação desses dados com os parâmetros da vegetação estudada. Além disso, o processamento digital como forma de manusear as imagens CCD/CBERS-2 e também o domínio da utilização dos aplicativos envolvidos nos processos, foram essenciais para o desenvolvimento do trabalho e possibilitaram a obtenção dos dados necessários ao conhecimento da resposta espectral da *doença* “mela-das-sementes da braquiária” quando de sua incidência sobre áreas de gramíneas forrageiras.

3.1 Características das gramíneas do gênero *Brachiaria*

Intensamente cultivadas no Brasil e na América tropical, as pastagens de braquiárias pertencem à família das *Gramineae*, tribo *Paniceae* e ao gênero *Brachiaria* e segundo Monteiro, Lucas e Souto (1974), a *Brachiaria* é um gênero de plantas de regiões tropicais, principalmente as savanas africanas, abrangendo cerca de 80 espécies, formando pastagens que se adaptam às mais variadas condições de solos, desenvolvendo-se em solos úmidos e férteis, e dentre estas, 7 espécies perenes africanas – *B. arrecta*, *B. brizantha*, *B. decumbens*, *B. dictyoneura*, *B. humidicola*, *B. mutica*, *B. ruziziensis* - são utilizadas como plantas forrageiras, especialmente na América tropical (ARGEL *et al.* 1998; PIZARRO *et al.* 1998, apud DETOMINI, 2004).

As gramíneas do gênero *Brachiaria* são conhecidas no Brasil desde a década de 50. A verdadeira expansão desse gênero ocorreu nas áreas de Cerrado nas décadas de 70 e 80, principalmente nas regiões de fronteira agrícola, e hoje, os capins derivados do gênero *Brachiaria* podem ser cultivados em clima tropical úmido bem como nos Cerrados com estação de seca de 4 a 5 meses. Isso fez com que esta gramínea, provavelmente já ocupe mais de 50% das áreas de pastagens plantadas no Brasil Tropical (ZIMMER; EUCLIDES; MACEDO, 1988).

Tendo em vista o crescimento desta gramínea e a sua importância dentro do sistema produtivo pecuário, os órgãos de pesquisa governamentais, as empresas privadas, técnicos e produtores, têm buscado com sucesso, o desenvolvimento de novos sistemas de produção animal, que por sua vez, tem gerado cada vez mais a necessidade de novas espécies ou cultivares forrageiros que se adaptem as diferentes condições de clima, solo e manejo.

Segundo Pereira, Sobrinho e Souza (2003), com base na experiência da produção comercial de cultivares australianos, a Embrapa realizou a introdução de grandes coleções de germoplasma de *Brachiaria* e *Panicum* e outras dando início a um programa de melhoramento de forrageiras tropicais. Estas coleções possibilitaram a seleção de materiais genotípicos propagados por sementes, com elevado potencial produtivo de forragem, maior distribuição estacional da produção, adaptação às áreas de baixa fertilidade, principalmente na região dos Cerrados e resistência ou tolerância às pragas.

Os materiais genotípicos selecionados possibilitaram a liberação de cultivares da espécie *Brachiaria brizantha* (cvs. Marandu, Xaraés), *Panicum maximum* (cvs. Tanzânia, Mombaça, Tobiata, Massai, Vencedor), *Andropogon gayanus* (cvs. Baeti, Planaltina), as quais representam, atualmente, a maior parte do total das áreas de pastagens cultivadas (VALLE *et al.* 2001, apud PEREIRA; SOBRINHO; SOUZA, 2003).

Os resultados da implantação destas gramíneas têm demonstrado a presença de características importantes dentro da espécie *Brachiaria brizantha*, especialmente sobre o aspecto da produtividade, tornando as suas cultivares, as forrageiras mais cultivadas no país, ocupando grandes extensões de terras, desde a região Sudeste até a Amazônia.

3.1.1 A espécie *Brachiaria brizantha*

A espécie *Brachiaria brizantha* (Figura 1) tem origem na África tropical, onde se desenvolve numa precipitação anual acima de 800 mm. Esta espécie tem sido cultivada experimentalmente com moderado sucesso, no leste e oeste da África, Madagascar, Sri-Lanka, Austrália, Fiji e Suriname. É propagada por sementes.

Foi liberada comercialmente no Brasil pela EMBRAPA e sua origem foi o germoplasma introduzido na região de Ibirarema-SP, proveniente da Estação Experimental de Pastagem de Zimbabwe, em Marondera - África.

Esta gramínea se desenvolve bem em condições tropicais (Figura 1), desde o nível do mar até 2.000 m de altitude, em regiões com boa precipitação pluvial anual, superior a 700 mm e cerca de 5 meses de seca. Adapta-se bem a solos de média a alta fertilidade, com textura média ou arenosa, não tolerando solos argilosos. Apresenta média proteção ao solo, podendo ser indicada para áreas de relevo plano a ondulado (MATSUDA, 2005).



Figura 1 - *Brachiaria brizantha*.
Fonte: MATSUDA, (2005).

Souza, Santana e Shimoya, (2002), em experimento desenvolvido em Campos dos Goytacazes - RJ, com objetivo de obter informações básicas sobre o comportamento das gramíneas *Andropogon gayanus* Kunth, *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. (quicuí da Amazônia), *Setaria anceps* Stapf. ex Massey, *Cynodon plectostachyus* Pilger (capim estrela) e o híbrido Tangola,

isolados e em associação com as leguminosas *Centrosema pubescens* Benth, *Glycine wightii* (Wight e Arn.) Verdc. (soja perene) e *Macroptilium atropurpureum* Urb. (siratro), concluiu que a *Brachiaria brizantha*, seguida da *Setaria anceps*, foram as mais indicadas para formação de pastagens na região estudada.

Na Tabela 1 são mostrados as principais diferenças entre as características dos diferentes cultivares de *Brachiaria brizantha*.

Tabela 1 - Resultado comparativo de três cultivares de *Brachiaria brizantha* realizado pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT.

Características	MG-5 Vitória	Marandu	MG-4
Tolerância à seca	Muito boa	Boa	Boa
Tolerância à umidade do solo	Boa	Péssima	Regular
Tolerância a fungos (folhas e raiz)	Muito boa	Péssima	Regular
Tolerância à cigarrinha	Média baixa	Resistente	Média baixa
Recuperação após o partejo	Muito rápida	Lenta	Rápida
Fertilidade do solo	Média/alta	Média/alta	Média/baixa

Fonte: MATSUDA, (2005).

3.1.2 A cultivar *Brachiaria brizantha* cv MG-5

Este material foi coletado por Keller-Grein do Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, em convênio com a ISABU (Instituição Nacional de Pesquisa de Burundi) da África, entre as cidades de Bubanza e Bukinanyama, no estado de Cibitoke / Burundi, nas coordenadas 03^o 22' S e 29^o 55' E, na África. Este local está localizado a 1510m acima do nível do mar, com uma precipitação média anual de 1710 mm de chuvas.

Foi liberado para pesquisa no Brasil, a partir do ano de 2000, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA.

O cultivar é uma gramínea perene, poliplóide de reprodução apomítica, com trabalhos realizados citando ser pentaplóide, isto é, com cinco conjuntos de cromossomos,

diferente do Marandu e MG-4 que são tetraplóides. Este conjunto a mais de cromossomo, pode conferir a este cultivar, excelente vigor vegetativo e alta produtividade (Figura 1).

O seu crescimento é entouceirado, com talos prostrados que podem se enraizar quando em maior contato com o solo, podendo atingir até 1,60m de altura, as folhas são lanceoladas com pouca pubescência, com inflorescência em forma de panícula que mede de 40 a 50 cm e geralmente com 4 ráceros (MATSUDA, 2005).

Na região oeste do Estado de São Paulo, em anos de condições climáticas consideradas normais, o florescimento da cultivar ocorre no mês de maio para as áreas de rebrota e no mês de junho em áreas de plantio do ano anterior.

Em função de todas estas características favoráveis, o seu estudo e cultivo tem despertado interesse de grande parte de pesquisadores e produtores, proporcionando assim condições de aumento do plantio nas regiões produtoras de sementes e de forrageiras do Brasil.

3.2 Produção de sementes de gramíneas forrageiras no Brasil

Com o êxito obtido com os novos gêneros de gramíneas forrageiras, principalmente as braquiárias, o sistema de produção de sementes no Brasil acompanhou esta evolução e se desenvolveu a tal ponto de se tornar auto-suficiente, começando pela produção de sementes de *B. decumbens*, que dominava o mercado de sementes de forrageiras na época, e posteriormente das outras espécies de braquiária.

Inicialmente a produção era baseada em colheitas manuais oportunistas por meio do corte de inflorescências ou varreduras de sementes caídas ao solo nas margens de

estradas ou em áreas de pastagens. Num período de 30 anos, esse setor experimentou forte profissionalização e atualmente tem como características, produtores especializados com áreas estabelecidas exclusivamente para produção de sementes e o uso intensivo de tecnologia (ANDRADE *et al.* 2004), tornando o país no maior exportador de sementes de forrageiras tropicais do mundo, com um volume aproximado de 5 mil toneladas de sementes, suprindo principalmente os mercados da América do Sul e Central.

3.3 Doenças em gramíneas forrageiras

O intenso plantio de gramíneas forrageiras verificado nos últimos anos no Brasil, principalmente no centro oeste e nas regiões amazônicas do norte brasileiro, onde grande parte das florestas destinou-se à implantação de pastagens para criação de gado de corte, foi predominantemente realizado com sementes de *Brachiaria*, especialmente *B. decumbens* e *B. brizantha*, e a sua motivação teve principalmente dois direcionamentos; a produção de carne e a produção de sementes.

Pastagens cultivadas nas regiões tropicais, no entanto, compõem-se perigosamente de poucas variedades e no caso das gramíneas, de ecótipos apomíticos, que, para propósitos práticos se reproduzem através de sementes, criando, assim, estes poucos genótipos, monoculturas. Esta falta de biodiversidade expõe o ecossistema, ao exercer grandes pressões sobre pragas e/ou doenças que podem eliminar uma variedade suscetível, como ocorreu com a *B. decumbens* na Região Amazônica (SEIFFERT, 1984).

Algumas doenças têm se destacado nas áreas de pastagens, sendo elas: o carvão da braquiária, provocado pelo fungo *Ustilago operta*, que afeta a produção de

sementes em pelo menos um tipo de *B. brizantha*; o fungo *Tilletia ayresii* Berkerley, afetando produção de sementes de *Panicum maximum*; os fungos *Puccinia* sp. e *Cercospora fuscimaculans*, relatados em *Paspalum atratum* e *P. guenoarum*; o fungo *Rhizoctonia solani* em áreas de *Brachiaria*; a antracnose em áreas de leguminosas forrageiras *Stylosanthes* spp e principalmente, a “mela-das-sementes da braquiária”, causada pelo fungo *Claviceps sulcata* (forma teleomórfica de *Sphacelia* sp.) que afeta as sementes das braquiárias.

A doença “mela” foi inicialmente constatada no Brasil provavelmente em 1990 por Fernandes, Fernandes e Bezerra (1992) ocorrendo em braquiária, no município Campo Grande, MS, e o agente causal foi identificado como sendo *Claviceps*, forma teleomórfica de *Sphacelia* sp. Segundo os autores, até então, na literatura, não se encontrava registro desse fungo nas Américas. Esse fungo infecta os ovários das flores de sorgo, sendo considerado um patógeno exclusivo dos órgãos reprodutivos (PINTO, 2003). Tempos depois a doença foi constatada nas gramíneas forrageiras, principalmente na espécie *B. brizantha* e na cultivar MG-5, sendo novamente seu patógeno reclassificado, na EMBRAPA Gado de Corte de Campo Grande – MS, para *Claviceps sulcata* (forma teleomórfica de *Sphacelia* sp).

Acredita-se que a doença “mela”, cuja epidemiologia ainda é desconhecida, esteja presente em todas as regiões de produção de sementes de gramíneas forrageiras do Brasil, e que a disseminação do seu agente etiológico, seja efetuada principalmente por sementes contaminadas, insetos e gotas de chuvas.

3.3.1 O agente causal e sintomas da doença “mela”

O agente causal da doença "mela das sementes da braquiária" é um fungo que apresenta sistema vegetativo filamentosso (hifas) considerado patogênico em certas gramíneas. Possui frutificações de duas naturezas: a da forma teleomórfica, antigamente denominada "forma perfeita" ou sexuada e a de frutificações assexuadas ou clonais, antigamente denominadas "forma imperfeita" e hoje anamórfica. O nome *Claviceps sulcata* corresponde à forma teleomórfica nome pelo qual o fungo é conhecido, enquanto que *Sphacelia*, a mais freqüente na natureza, corresponde a forma anamórfica.

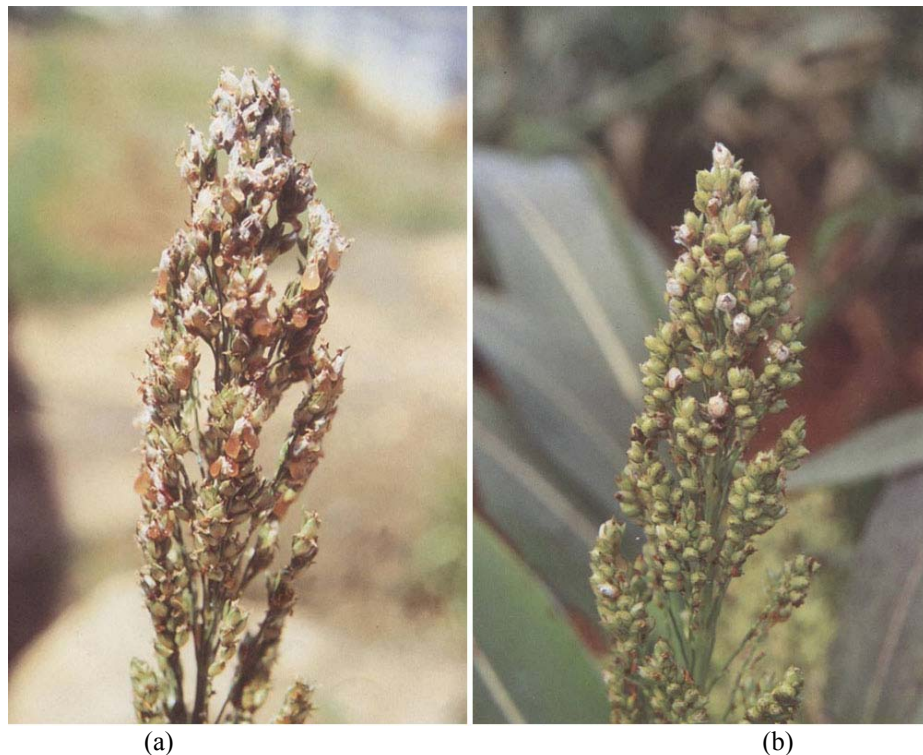


Figura 2 - a) Panícula de sorgo com sintoma da “mela” 1º Estádio: conidial “gota-de-mel”. b) Início da formação dos esclerócios na panícula 2º Estádio: esclerocial.
Fonte: Pinto, Ferreira e Casela, (1997).

Aparentemente, a infestação deste fungo ocorre de forma parecida com a do *Sphacella sorghi* que ocorre principalmente no sorgo (Figura 2a), onde recebe o nome de “ergot, ou doença açucarada”. A deposição de conídios se dá sobre o estigma da flor da

planta, onde estes germinam através do tubo germinativo, penetrando no estigma, se desenvolvendo no estilo e colonizando o ovário das flores. Em seguida há a formação de uma massa fúngica denominada estroma, da qual a gota-de-mel é exsudada (Figura 2b) contendo inicialmente dois tipos de conídios: os macroconídios e os microconídios (PINTO; FERREIRA; CASELA, 1997).

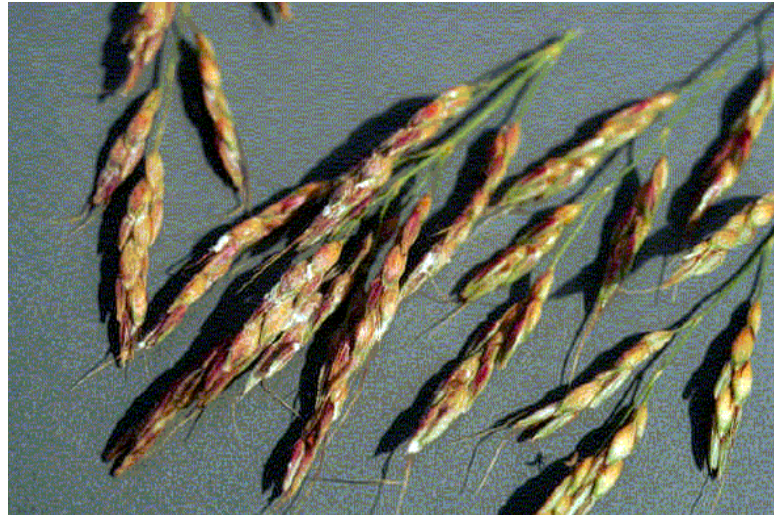


Figura 3 - *Sphacelia* sp em sementes de sorgo halepense.
Foto: Gary Odvody, cedida por Pedro C. Kruppa - Instituto Biológico - SP.

Portanto, a incidência da doença inicia-se na fase reprodutiva das gramíneas, período este que vai do florescimento até a colheita das sementes e os sintomas característicos da “Mela” podem ser descritos a partir de sua fase inicial quando ela é reconhecida pela presença de gotas de líquido pegajoso, contendo conídios do fungo causal, de coloração inicialmente rosada, e mais tarde parda (REIS *et al.*, 2000) que exsudam os ovários infectados e ao se depositarem nas folhas das plantas, tornam-nas brancas devido à presença de açúcares (Figura 3).

3.3.2 Detecção e controle da doença “mela” nas gramíneas

Poucos estudos até agora tratam do controle da doença “mela”. É visto que ela ocorre a partir do estágio de florescimento das gramíneas, quando as condições climáticas, tais como a temperatura amena e alta umidade com nebulosidade, são favoráveis ao seu desenvolvimento.

Desta forma, a incidência da doença, além dos fatores climáticos, também é influenciada pelas épocas de plantios das gramíneas forrageiras. Nos campos de produção de sementes de *B. brizantha* cv MG-5, o florescimento depende da época de semeadura da cultura, ou seja, em plantios de 1º ano, o florescimento é tido como normal, ocorrendo do mês de junho até o mês de julho. Já em áreas de rebrota das plantas, também conhecida como área de 2º ano, o florescimento é antecipado e ocorre durante o mês de maio. Na região sudeste do Brasil o mês de maio é caracterizado por temperaturas ainda elevadas e por isso, as áreas de rebrota para a produção de sementes desta região estão menos sujeitas à doença “mela”.

Os trabalhos de pesquisa que vêm sendo desenvolvidos com objetivo de controlar a doença estarão com os resultados, em pouco tempo, disponíveis aos produtores de sementes do país, porém ainda não existem fungicidas recomendados para o controle da “mela” (VERZIGNASSI; FERNANDES, 2001). Por outro lado, observações de campo já permitem evidenciar que é possível ter razoável manejo e controle da doença com o uso de alternância de áreas de plantio de primeiro ano e de segundo ano, embora este sistema resulte em baixa produtividade nas áreas de produção de sementes. Com inexistência de recomendações oficiais adequadas aos tratamentos fitossanitários da “mela”, parte dos produtores de sementes da região sudeste do país vem adotando este sistema em função do seu baixo custo.

De qualquer forma, a ausência de maiores informações que possibilitem delimitar as manifestações da “mela” nas regiões produtoras, torna ainda mais difícil o seu controle e por isso o uso do Sensoriamento Remoto pode ser tornar uma importante ferramenta para a detecção e o monitoramento da doença, visto que, em condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento, os sintomas que resultam da sua incidência em áreas de pastagens, tornam-se muito visíveis, sendo estas características possivelmente sensíveis aos sensores dos satélites.

3.4 Sensoriamento Remoto

Segundo Lillesand e Kiefer (1994), Sensoriamento Remoto é definido como "... a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno".

O meio utilizado para a obtenção dos dados dos alvos da superfície terrestre é a intensidade da radiação eletromagnética que chega a um sensor, e que posteriormente é transformado em um sinal passível de interpretação.

Nestes últimos anos tem sido grande o avanço dos conhecimentos na área da ciência da computação, desenvolvimento tecnológico este que tem proporcionado o aperfeiçoamento da tecnologia do hardware dos sensores dos satélites.

O presente estudo baseia-se na contribuição que os sensores multiespectrais podem oferecer no registro, em grandes detalhes, do comportamento e da resposta espectral de um alvo agrícola. Este detalhamento mais aguçado das características espectrais dos alvos

terrestres proporciona maiores oportunidades na identificação de situações onde somente o reconhecimento terrestre não é suficiente e que servem para caracterizar melhor as propriedades próprias e exclusivas destes alvos.

Segundo Andrade (1997), as medidas das curvas de respostas espectrais (espectro de reflectância) ou do comportamento espectral (radiância ao longo do espectro), de objetos terrestres são muito importantes para a previsão de sua aparência e o entendimento do seu significado nas imagens de satélite. A reflectância espectral desses objetos terrestres, naturais ou artificiais, está fortemente associada às suas propriedades de natureza física, química ou biológica, e é determinante na aparência que vão apresentar nas imagens dos sensores remotos.

Entretanto, para extrair informações dos alvos de vegetação, a partir do uso de técnicas de Sensoriamento Remoto, é fundamental o conhecimento e o entendimento de vários conceitos que regem a interação da energia radiante com os alvos terrestres e com os sensores que vão adquirir dados da energia refletida.

3.4.1 Interação da radiação eletromagnética com a planta

O estudo da utilização de técnicas de sensoriamento remoto em vegetação é baseado no conhecimento e na necessidade de entender o processo de interação entre a radiação eletromagnética (REM) com a planta e com os vários tipos de dosséis que as mais diferentes formas de vegetação constituem na natureza, tais como as culturas agrícolas, os cerrados, pastagens, florestas, etc.

O estudo desta interação é baseado no entendimento da “curva de resposta espectral” que uma determinada cobertura vegetal tem, resultado de um processo de obtenção de dados diferenciados e complexos que envolvem os parâmetros intrínsecos da planta, dos fatores ambientais, e as das características dos sensores, tais como: tipo, categoria (varredura e não varredura), número de bandas, comprimento de onda das bandas, etc.

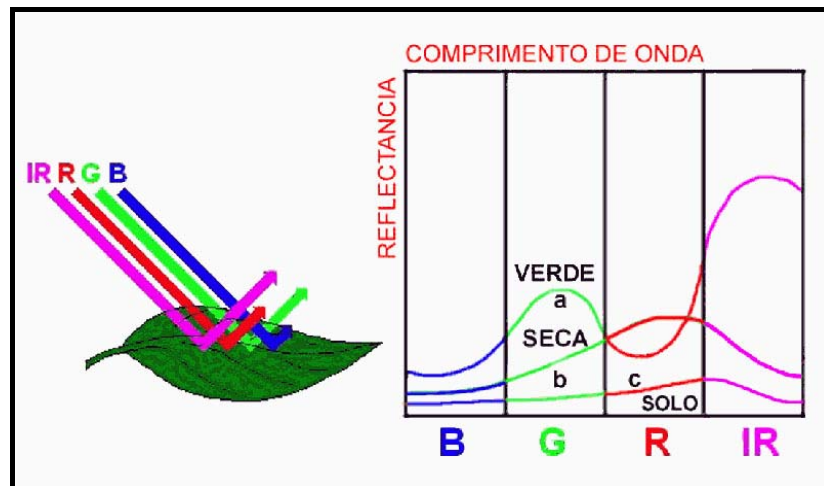


Figura 4 - Curva de resposta espectral de um alvo.
Fonte: Adaptado de Moraes (2005).

Por exemplo, para obter uma curva de uma determinada vegetação verde (Figura 4), nas bandas espectrais correspondentes as radiações do visível: azul, verde, vermelho além do infravermelho próximo, é necessário os valores médios da reflectância espectral da vegetação nas respectivas bandas.

Dos elementos que formam a planta e, por conseguinte, de um dado dossel vegetal, a folha é o principal constituinte do sistema, pois é basicamente nela que ocorrem as interações da energia solar com a planta. Ponzoni (2001) escreveu que é inegável que as propriedades espectrais das folhas que constituem um dossel são os fatores mais influentes na sua reflectância, por ser a folha o principal elemento da planta sob ponto de vista da interação da Radiação Eletromagnética (REM) com a vegetação.

O processo de interação da energia de radiação com a folha, tem início quando a REM atinge o dossel e por conseqüência, a planta e os elementos que a compõe, tais

como folhas, galhos, frutos, flores, etc. Daí em diante, o fluxo de energia está sujeito a dois processos físicos: de espalhamento e absorção.

O processo de espalhamento, por sua vez, pode ser dividido em dois sub-processos: reflexão e transmissão, através do elemento, no caso a folha.

Quando se dá esse processo de interação, o traçado do fluxo radiante incidente, que sofre o espalhamento dentro do elemento folha, dependerá das características implícitas deste fluxo, tais como; comprimentos de onda, ângulo de incidência e polarização e das características implícitas da própria folha, ou seja, de sua composição química, principalmente dos tipos e das quantidades de pigmentos fotossintetizantes, e da sua morfologia interna. Portanto em face da multiplicidade de trajetetos do fluxo e de valores de reflectância, há “aparências” diferentes entre plantas de grupos distintos.

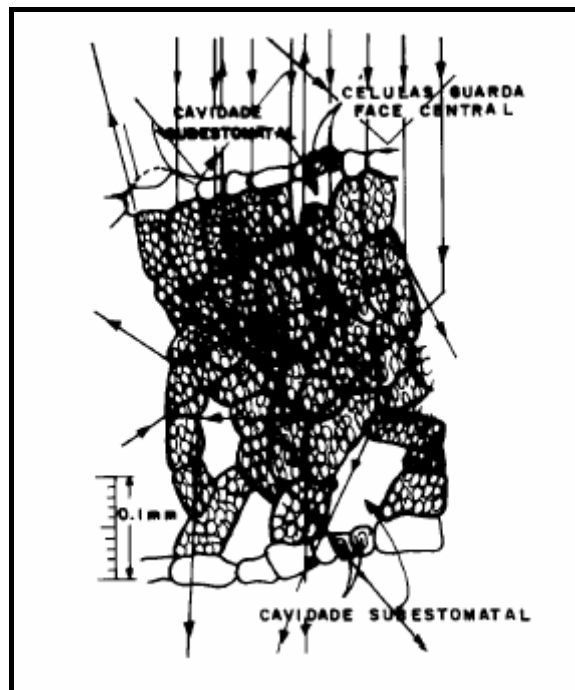


Figura 5 - Caminhos do feixe de radiação numa folha. (corte transversal)
Fonte: Gates *et al.* (1965).

Willstatter e Stoll (1918 apud PONZONI, 2001), desenvolveram uma teoria sobre a trajetória da REM dentro de uma folha (Figura 5), com base no conceito de reflectância interna da folha e dos conhecimentos de absorção de pigmentos fotossintéticos,

onde a trajetória da REM se daria por vários meios, sendo estes, a água, o ar, membranas celulares, etc. Assim sendo, um mesmo feixe de radiação poderia passar, por exemplo, através de uma camada de água, que possui um índice de refração de 1,33 e em seguida atravessar um espaço preenchido com ar, que possui um índice de refração igual a 1. Haveria então variações de índices de refração devido aos diferentes meios que o feixe atravessa, e considerando que as células dos tecidos foliares, principalmente do mesófilo esponjoso, possuem uma estrutura irregular, haveria também diferentes caminhos do feixe de radiação dentro da folha. Os autores então imaginaram essas possíveis trajetórias da REM dentro de uma folha, como visto na Figura 5.

3.4.1.1 Reflectância da folha

Conforme Valeriano (1988), a radiação eletromagnética que chega a superfície terrestre e incide numa folha (Figura 6), pode sofrer um dos seguintes processos:

- 1- Ser refletida especularmente pela cutícula;
- 2- Ser espalhada pelos pêlos;
- 3- Penetrar no interior da folha de modo difuso a partir da primeira camada da célula e retornar por este mesmo lado;
- 4- Penetrar na folha e, também difusamente, atravessá-la e emergir pelo lado oposto; e,
- 5- Ser absorvida pela folha.

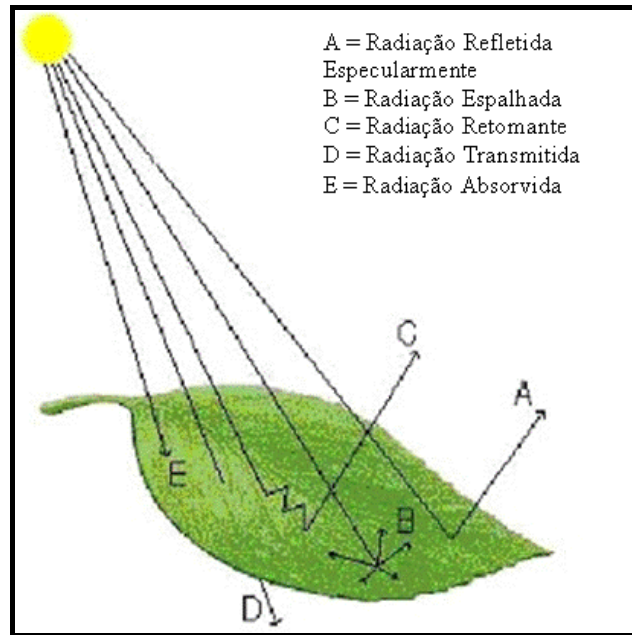


Figura 6 - Interações da radiação eletromagnética com a folha.
 Fonte: Modificado de Thomas apud Silva (2003).

O processo pelo qual a energia penetra na folha e sai pelo mesmo lado, trata da reflexão difusa pela folha, objeto principal do estudo do comportamento espectral da vegetação, pois uma vez que esta radiação retornante sofre espalhamentos múltiplos no interior da célula (Figura 7), ela carrega consigo informações sobre a estrutura e o estado da folha (VALERIANO, 1988).

A razão da reflexão difusa, da transmissão difusa e da absorção pela irradiância, resulta em índices denominados respectivamente de reflectância, transmitância e absortância (VALERIANO, 1988).

Quanto à estrutura anatômica, Valeriano (1988) diz que o mesófilo compacto favorece a transmitância, uma vez que ele apresenta pouca superfície de contato entre o ar dos espaços intercelulares e a parede celular, o que resulta em uma menor frequência de mudança de trajetória da luz. Porém, o mesófilo com predominância do parênquima lacunoso tende a refletir mais do que transmitir a radiação incidente. Isto é decorrente do grande número de superfícies de contato célula x ar presente no parênquima lacunoso. Estas superfícies estão dispostas de modo a promover o espalhamento múltiplo da

radiação, o que implica uma maior taxa de mudança de trajetória e, conseqüentemente, de energia retornante.

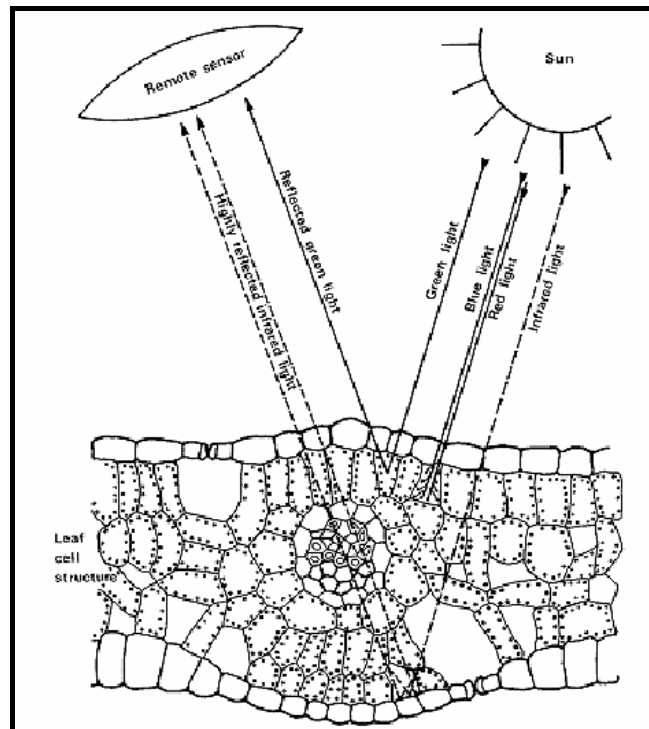


Figura 7 - Interação das bandas espectrais com a estrutura celular de uma folha demonstrando os processos de reflexão especular, absorção e reflexão difusa.

Fonte: Committee on Earth Observation Satellites (CEOS), apud Silva (2003).

Conforme Gates *et al.* (1965), conhecendo-se a curva espectral média da vegetação fotossinteticamente ativa é possível verificar três regiões distintas, que compreendem o visível (até 740 nm), onde se observa uma reflectância baixa em virtude da absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta, como as clorofilas a e b e carotenóides, uma segunda região que compreende a faixa do infravermelho próximo, dominado pela estrutura celular das folhas provocando alta reflectância. E por fim, a faixa que compreende o infravermelho médio dominado pelo teor de água contido nas folhas, o qual provoca bandas de absorção em 1400 e 1950 nm e diminuição na reflectância na curva espectral da cultura.

Quando se trata de análise de uma curva espectral de vegetação, é possível diferenciar solo de vegetação na faixa de 400 nm a 500 nm do visível, ou seja, no azul. No

vermelho, que vai de 600 nm a 700 nm, pode-se diferenciar estágios de maturidade fisiológica da vegetação, diferenciar áreas entre vegetação e erosões e ainda identificar áreas agrícolas.

No infravermelho próximo, que vai da faixa de 700 nm a 1300 nm, já é alcançada a diferenciação da atividade fotossintética da vegetação, desflorestamentos e caracterização de áreas agrícolas. E por fim, no infravermelho médio, que vai de 1300 nm a 3000 nm, continua sendo possível obter a diferenciação da atividade fotossintética da planta e seu estresse hídrico.

Gates *et al.* (1965) determinou que a reflectância espectral das folhas na região do infravermelho próximo é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Fatores externos à folha, como disponibilidade de água, por exemplo, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, podendo alterar a reflectância de uma folha nesta região. De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maior será também a reflectância.

Conforme Rangel *et al.* (2001), na região espectral do visível (400 – 700 nm), as folhas têm uma baixa reflectância (menos de 10%). A maior parte da radiação incidente é absorvida por pigmentos como clorofila, xantofilas e carotenos. O principal pigmento responsável pela absorção é a clorofila, a qual provoca duas bandas de absorção, uma no azul e outra no vermelho. Com isso, as folhas têm uma reflectância máxima (pico) em 550 nm, na região do amarelo-verde. Na região do Infravermelho-Próximo (700 – 1.300 nm), os pigmentos e as células das paredes das folhas são transparentes. Assim, a absorção da folha é muito baixa, (menos de 10%), e a reflectância no “platô do infravermelho” fica ao redor dos 50% dependendo da estrutura interna da folha. O aumento deste nível está relacionado com o número de camadas de células, com o tamanho das células e a orientação das paredes da folha. Na região do infravermelho-médio (1.300 – 2.500 nm), as propriedades

ópticas das folhas são afetadas principalmente pelo seu conteúdo de água. Após 1.300 nm ocorrem fortes bandas de absorção pela água (1.450, 1.950, e 2.500 nm), originando reflectâncias mínimas na folha. Mas, entre estas bandas a absorção pela água ainda existe e afeta as propriedades ópticas das folhas. Desta forma, o nível de dois máximos, relativos no 1.650 e 2.200 nm, varia de acordo com o conteúdo de água da folha.

Segundo Moreira (2001), os fatores que estão diretamente envolvidos nos processos de interceptação e de absorção da radiação fotossinteticamente ativa são os fatores que tratam da organização espacial dos elementos envolvidos na captação da luz, principalmente das folhas, sendo os mesmos denominados de fatores morfológicos e os fatores de caráter fisiológicos.

E entre os fatores morfológicos, os mais importantes estão relacionados à organização espacial das folhas, ou seja:

- Densidade de cobertura vegetal;
- Distribuição horizontal e vertical de folhas;
- Ângulo de inserção foliar.

O melhor parâmetro morfológico que tem sido usado para estimar a cobertura vegetal é o índice de área foliar (IAF), que é dado pela área foliar existente em relação à superfície do solo ocupada pela planta.

Dentre os fatores fisiológicos, os principais são:

- Idade da planta
- Déficit Hídrico (estresse hídrico)
- Tipo e espessura das folhas
- Nutrientes
- Conteúdo de água na folha

Ainda segundo Moreira (2001), quando se trata da idade das plantas, tem-se que a capacidade destas em realizar fotossíntese aumenta até a sua maturação fisiológica, a partir de onde declina fortemente até a completa maturação. A atividade fotossintética, por sua vez, está fortemente relacionada à quantidade de radiação absorvida na região espectral do azul e do vermelho, ou seja, menor absorção significa maior reflectância na região do visível em folhas senescentes.

O fator déficit hídrico é importante porque quando sua incidência ocorre em períodos prolongados provoca o estresse nas culturas. E este, segundo Moreira (2003), ocasiona nas plantas alterações bioquímicas que visam protegê-la do estresse a que esta sendo submetida, ou seja, as plantas produzem menos atividade fotossintética e com isso, uma menor absorção da radiação eletromagnética, que proporciona maior reflectância na faixa espectral do vermelho (600 a 700 nm) em relação as plantas que não sofreram estresse hídrico (Figura 8).

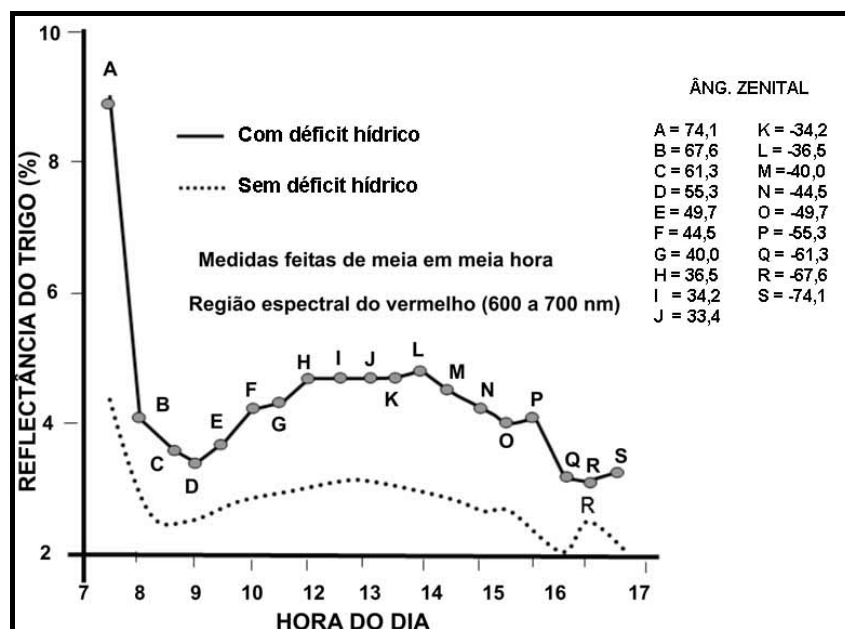


Figura 8 - Reflectância do trigo na região espectral do vermelho em função do ângulo zenital (hora do dia)
Fonte: Moreira (2003)

Moreira (2003) avaliou o efeito do déficit hídrico prolongado na reflectância da cultura do trigo, na região do vermelho (600 a 700 nm), em função da medição do ângulo

zenital (hora do dia) e verificou que a absorção da radiação foi mais acentuada nas plantas irrigadas do que nas com déficit de água (Figura 8), o que resultou em maior reflectância nas plantas com déficit hídrico.

A uma temperatura mais baixa as folhas transpiram menos, conseqüentemente, estão mais túrgidas, fazendo com que haja pouca variação no índice de área foliar (IAF), ao passo que entre 10h00min e 14h00min horas as folhas das plantas estressadas entram no estágio de murcha muito mais acentuado do que as não estressadas, gerando com isto, uma diferença no IAF entre as duas condições de umidade (Figura 8).

Ainda conforme Moreira (2003), alguns autores como Bauer *et al.* (1980), Ripple (1986) e Horler *et al.* (1983), afirmam que a reflectância no infravermelho próximo também aumenta em plantas com estresse hídrico. Para comprovar este fato, o autor desenvolveu trabalho onde mostra que quando o estresse hídrico foi aplicado em plantas de trigo já desenvolvidas (estádios de espigamento, enchimento e maturação), a reflectância da região do infravermelho próximo do dossel das áreas com déficit de água foi maior do que aquela observada na testemunha; entretanto, quando a suspensão da irrigação foi no início do desenvolvimento da cultura, a reflectância nessa mesma região foi menor do que a testemunha, durante todo o ciclo da cultura.

Em estudo realizado na cultura do trigo, Guyot, (1990) verificou que o estresse hídrico durante o enchimento de grãos teve um efeito significativo na reflectância da banda TM3, promovendo um aumento em relação à testemunha, o que pode ser atribuído ao fechamento estomatal e senescência precoce de folhas.

A cultura do trigo submetida ao estresse hídrico durante a maturação fisiológica apresentou um aumento da reflectância na banda TM3 decorrente da senescência das folhas, degeneração da clorofila e interferência da resposta espectral do solo (ASRAR *et al.*, 1989; GUYOT, 1990).

Uma forma encontrada para a verificação da ocorrência de estresse hídrico nas plantas, sem a utilização do sensoriamento remoto, foi desenvolvido pelo Centro Integrado de Informações Meteorológicas - CIIAGRO que adotou o conceito de estresse hídrico baseado na relação ETR/ETP (evapotranspiração real e potencial), desenvolvido em função dos trabalhos de Mota; Moscoro Segóvia; Brunini; Brown; Baier; Denmead e Shaw, Brunini; Camargo e Hubbard (1979, 1982, 1992, 1978, 1977, 1968, 1981 e 1987, 1990, apud CIIAGRO, 2005) na qual a penalização para produtividade ou desenvolvimento é baseado na somatória e produtório de (ETR/ETP) no período.

Portanto, o índice de estresse hídrico da cultura ou Crop Water Stress Index (CWSI) é baseado na relação entre a evapotranspiração real e a potencial e a água disponível no solo, que neste caso, são valores estimados para culturas generalizadas, nos quais o coeficiente de cultura K_c não é empregado. Porém análises são feitas envolvendo culturas por grupos definidos pelas profundidades do sistema radicular Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 e (CIIAGRO, 2005):

- Z_1 (25 cm) = batata, cebola, alho, arroz, hortaliças, feijoeiro.
- Z_2 (50 cm) = feijoeiro, amendoim, milho, sorgo.
- Z_3 (75 cm) = soja, citrus, cafeeiro, cana-de-açúcar, algodão.
- Z_4 (100 cm) = cafeeiro, citrus, cana-de-açúcar.

Esta diversidade de profundidades procura diferenciar as culturas, assim como as diferentes capacidades de retenção de água no solo, que podem ser refletidas por um maior ou menor volume de exploração das raízes (CIIAGRO, 2005).

Como é analisado só a resposta da cultura, o valor de (ETR/ETP) médio no período indica esta situação. Esta variável fica definido como Z , ou seja, $Z = ETR/ETP$.

Temos assim, uma combinação de Z , para cada valor de DAAS, ou seja:

$$CWDF = \frac{DAAS}{DISPMAX}$$

$$e$$

$$Z = f\left(CWDF \frac{ETR}{ETP}\right)$$
(1)

Onde:

CWDF = Fator de estresse hídrico da cultura

DAAS = Disponibilidade atual de água no solo;

DISPMAX = Disponibilidade máxima de água no solo

Sendo assim, o índice de estresse hídrico da cultura (crop water stress)

(CWS) fica definido por:

a) No período de análise

- $CWS = 1 - Z$, ou seja,
- para $CWS = 0$ $Z = 1$ e $DAAS = DISPMAX$
- para $CWS = 1$ $Z = 0$ e $DAAS = 0$

Para a obtenção da condição de satisfação ou de estresse hídrico da planta foi desenvolvida uma tabela de 2 entradas (Tabela 2), pois são necessários:

- % Água Disponível
- Valor de ETP no período (média)

Tabela 2 - Condições para cultura em função do índice de estresse hídrico (CWS)

ÍNDICE DE UMIDADE DO SOLO	CONDIÇÕES DE SATISFAÇÃO HÍDRICA DA CULTURA
0 = CWS < 0,1	Ótimas
0,1 <= CWS <= 0,2	Favoráveis
0,2 <= CWS < 0,4	Adequadas
0,4 <= CWS < 0,6	Razoáveis
0,6 <= CWS < 0,8	Desfavoráveis
0,8 <= CWS <= 1,0	Críticas

Fonte: Centro Integrado de Informações Meteorológicas – CIIAGRO (2005).

- b) Desde uma data pré referenciada, ou seja, desde o início do mês ou da data mais próxima exigida, até a data final (Tabela 3):

$$ACWS = \frac{\left(\sum_{j=1}^n (CWS) \right)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (CWS)}{n} \quad (2)$$

Tabela 3 – Condições para a cultura em função do estresse hídrico acumulado.

ESTRESSE HÍDRICO ACUMULATIVO RELATIVO	CONDIÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO VEGETAL ACUMULATIVA
$0,8 \leq ACWS \leq 1$	Críticas
$0,6 \leq ACWS < 0,8$	Desfavoráveis
$0,4 \leq ACWS < 0,6$	Razoáveis
$0,2 \leq ACWS < 0,4$	Adequadas
$0,1 \leq ACWS < 0,2$	Favoráveis
$ACWS < 0,1$	Ótimas

Fonte: Centro Integrado de Informações Meteorológicas – CIIAGRO (2005).

3.4.1.2 Fator de Reflectância Bidirecional

Segundo Steffen e Moraes (1993), para uma melhor caracterização do comportamento espectral de alvos deve-se obter as medições de reflectância em campo, preferencialmente sob mesmas condições atmosféricas e de iluminação em que estes seriam imageados pelos sensores. Entretanto, devido a dificuldade de se obter tais condições técnicas para as medidas da reflectância espectral, utiliza-se uma grandeza equivalente denominada fator de reflectância espectral (FRE). Assim como a reflectância, o fator de reflectância espectral (FRE) depende das propriedades da amostra, da geometria de iluminação e de observação e da faixa espectral de medição.

Deste modo, o Fator de Reflectância Espectral (FRE) é uma medida capaz de caracterizar o comportamento espectral dos objetos em condições de imageamento similares às dos sensores remotos, ou seja, é um estimador da reflectância. Essa medida, quanto a um objeto, é a razão entre a radiância (L_a) da amostra e a radiância de uma superfície lambertiana ideal (L_r) nas mesmas condições de iluminação e observação como mostrado na Figura 9.

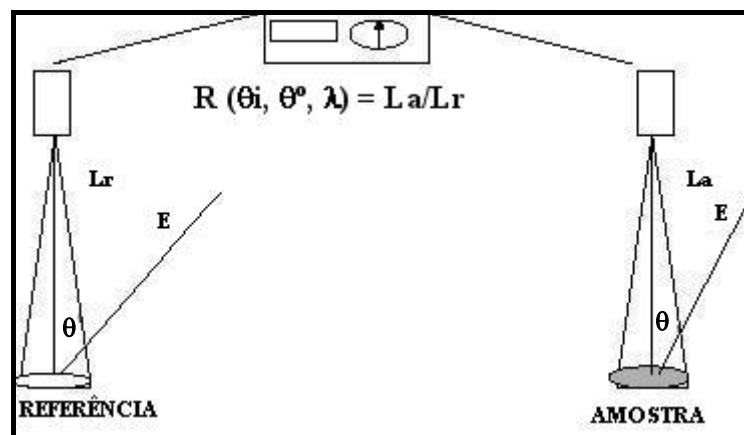


Figura 9 - Esquema de mensuração do fator de reflectância.
Fonte: Adaptado de Croce (2005).

Na prática, a superfície de referência é uma placa plana, recoberta com sulfato de bário ($BaSO_4$) ou óxido de magnésio (MgO) e calibrada com um padrão de laboratório cujo espectro de reflectância seja conhecido. Como o campo de visada do sensor é utilizado para a aquisição das medidas de radiância ($< 15^\circ$) e a irradiância é produzida predominantemente pelo fluxo solar direto (e direcional), pode-se considerar que a medida obtida é o fator de reflectância bidirecional, ou seja, as medidas são especificadas para as direções do fluxo incidente e do fluxo refletido em um dado comprimento de onda. Em dias nublados, quando o campo de irradiação é predominantemente difuso, apenas o fluxo refletido pode ser considerado direcional (STEFFEN; MORAES, 1993).

O termo fator de reflectância bidirecional espectral (FRBE) é utilizado então para as condições de obtenção da reflectância para distintos ângulos de visada e de iluminação

(Figura 9); ou seja, os ângulos da fonte de REM (irradiância) e do radiômetro (que mede a radiância) variam com relação ao zênite e ao azimute, tomando a amostra em estudo como centro de referência, ou seja, o caráter *bidirecional* está associado basicamente às direções de observação e de iluminação (Figura 10).

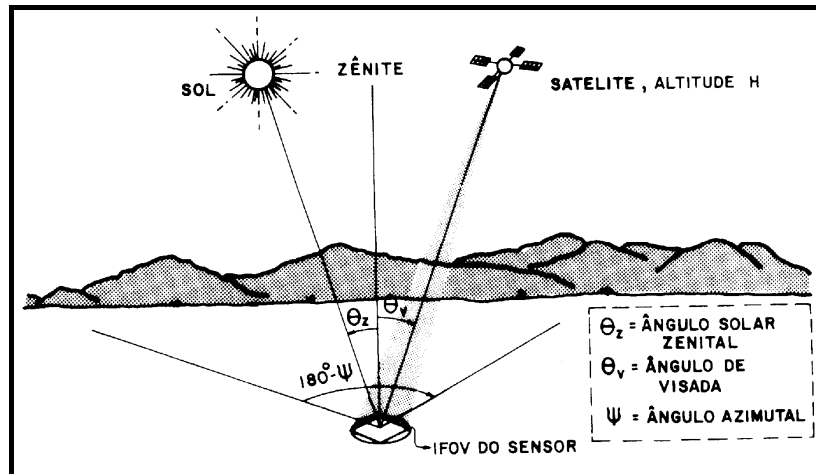


Figura 10 - Ângulos de visada e de iluminação que determinam o fator de reflectância bidirecional.
Fonte: Adaptado de Bowker *et al.* (1985).

Assim, a partir da obtenção dos valores de fator de reflectância bidirecional de um alvo, por exemplo, é possível elaborar gráficos que exprimem o seu comportamento espectral. (ALVARENGA *et al.*, 2003).

3.4.2 Interação da radiação eletromagnética com dosséis de vegetação

O dossel vegetativo ou da vegetação pode ser definido como sendo tudo aquilo que compõe a parte aérea de um aglomerado de plantas.

O estudo da vegetação, através de técnicas de sensoriamento remoto, envolve duas abordagens principais, sendo uma relacionada ao estudo de dosséis e outra ao

estudo de folhas isoladas. Nos dosséis são observados seus parâmetros biofísicos, relacionados às geometrias de iluminação e visada, e os parâmetros espectrais dos constituintes da vegetação. Quanto às folhas isoladas, realizam-se coletas de dados nos níveis de laboratório e de campo, como forma de se buscar a caracterização espectral de fenômenos relacionados à fisiologia e à morfologia da planta (SOUSA *et al.*, 1996 apud RANGEL *et al.*, 2001).

Segundo Moreira (2003), quando se pretende utilizar o sensoriamento remoto para obter informações a respeito da cobertura vegetal de uma região da superfície terrestre, é preciso levar em consideração a interação da energia solar com a comunidade de plantas.

O processo de interação da REM com dosséis de vegetações segue os mesmos princípios da reflectância da folha, isto é, a interação da radiação solar com dosséis vegetativos, no visível, se dá principalmente por meio dos pigmentos contidos nas folhas, pois este é o elemento que está presente em maior quantidade no dossel, sendo, porém, necessário considerar a distribuição espacial dos elementos da vegetação, bem como suas densidades e orientações, que definem a arquitetura da vegetação.

Os dosséis podem ser classificados como homogêneos, quando a densidade dos elementos é uniforme, como, por exemplo, as culturas agrícolas, característica esta fornecida pelo Índice de Área Foliar (IAF), ou seja, a razão da área com vegetação e a área do terreno. Em áreas agrícolas podem-se encontrar outros tipos de vegetação tais como as ervas daninhas, que ocupam o extrato inferior do solo e que disputam com as plantas predominantes em certas fases do ciclo de crescimento e desenvolvimento, a água e os nutrientes do solo. Quando não há uniformidade, evidentemente que o dossel não será homogêneo, como por exemplo, as florestas naturais.

Os dosséis podem ser avaliados também pelo parâmetro denominado de Distribuição Angular Foliar (DAF) que é caracterizado por uma função de densidade de

distribuição $f(\theta_L, \psi_L)$, onde θ_L e ψ_L são a inclinação e o azimute da folha, respectivamente. Por conseguinte $f(\theta_L, \psi_L)d\theta_L d\psi_L$ é a fração de área foliar sujeita aos ângulos de inclinação θ_L e $\theta_L + d\theta_L$ e os ângulos azimutais ψ_L e $\psi_L + d\psi_L$. A DAF varia consideravelmente entre os tipos de vegetação. Os dosséis são normalmente descritos por um dos seguintes seis tipos de distribuições: planófila, erectófila, plagiófila, extremófila, uniforme e esférica (PONZONI, 2001).

Segundo Ponzoni (2001), a utilização destes parâmetros pode ser observada em trabalhos que envolvem o cálculo da reflectância de vegetação. Quando o número de folhas aumenta em um dossel, conseqüentemente aumentará o valor do IAF. Isto sem dúvida acarretará maior absorção da energia pela vegetação, porém esse aumento da absorção da energia estará limitado a um determinado valor de saturação do IAF, aproximadamente 2 a 3 para a região do visível e 6 a 8 para a região do infravermelho próximo, onde mesmo aumentando o índice, não haverá mais influência sobre a reflectância, que por sua vez decrescerá até próximo de 0.

Na região do infravermelho próximo, uma vez que a absorção da energia é mínima, o aumento do IAF implica no aumento do espalhamento e no conseqüente aumento da reflectância da vegetação, até que o IAF atinja os valores de saturação.

Em muitos casos, quando o dossel não se apresenta de forma uniforme, ou seja, ele não é homogêneo, as folhas podem estar agrupadas em determinados pontos da área, e isto acarretaria um aumento da probabilidade de ocorrência de espaços vazios dentro do dossel, aumentando com isso, o espalhamento nos elementos da planta que estão localizados abaixo da camada superior do dossel. Neste caso ele é considerado incompleto porque apresenta baixa porcentagem de cobertura do solo, tendo como exemplo uma cultura agrícola no início do ciclo vegetativo. Nesta fase de crescimento da cultura, a energia

refletida da área é composta de uma parte proveniente das plantas e outra do solo onde foi implantada (PONZONI, 2001).

Dentro deste aspecto deve ser também considerado a incidência da energia no dossel como sendo a mesma que ocorre com a planta ou as folhas, descrita na seção anterior, onde ocorrem os processos de espalhamento e absorção da energia pelo dossel. Segundo Moreira (2003), o primeiro é o espalhamento na copa e o segundo a absorção pela copa. A razão entre o fluxo espalhado e o fluxo total incidente é chamada de albedo.

Na natureza temos diferentes valores de albedo como pode ser observado na Figura 11.

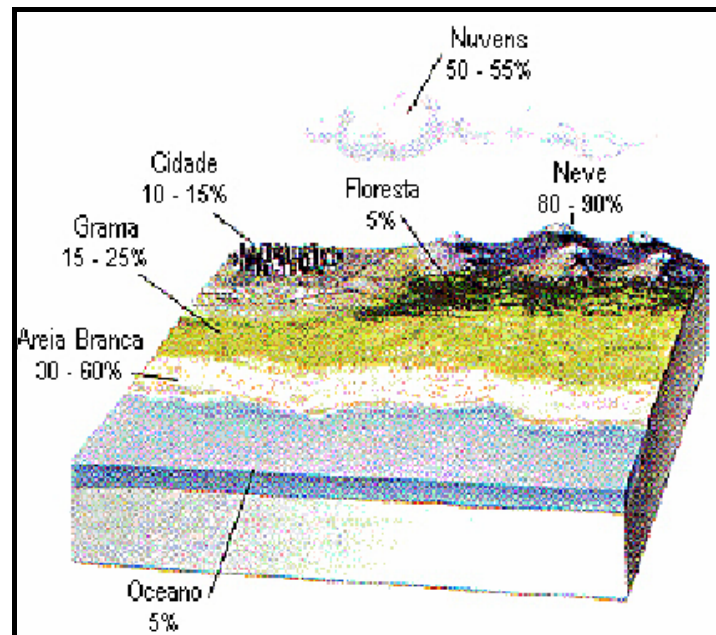


Figura 11 - Albedo das principais superfícies.
Fonte: Adaptado de Lithgow-Bertelloni apud Silva, (2003).

3.4.2.1 Interação da REM com os dosséis de culturas agrícolas

Segundo Kollenkark *et al.* (1982), dosséis de culturas agrícolas exibem, no campo de visada do sensor, quatro componentes com diferentes propriedades de reflectância óptica:

- 1- Vegetação iluminada;
- 2- Solo iluminado;
- 3- Vegetação sombreada;
- 4- Solo sombreado.

E explicam que a magnitude de cada um destes componentes varia com a cobertura vegetal, orientação e espaçamento das fileiras, morfologia do dossel, estrutura interna dos elementos que compõem o dossel, diâmetro da copa da planta, altura da planta, teor de água na planta e no solo, condição fitossanitária, ângulo zenital e azimutal do sol, latitude e tamanho do elemento de resolução do equipamento utilizado.

Ponzoni (2001), explica que as geometrias de iluminação e visada (parâmetros geométricos que caracterizam a bidirecionalidade da radiância medida pelos sensores remotamente situados), a densidade destes elementos da vegetação (muitas vezes expressa pelo Índice de Área Foliar - IAF), suas orientações espaciais e as características espectrais do solo no qual a vegetação se desenvolve são outros fatores que exercem influência sobre a reflectância espectral da vegetação.

Isso justifica porque a composição dos dados para os cálculos da reflectância real ou de superfície, depende do tipo e condições de planta, seu sistema de plantio, o espaçamento, o número de plantas por metro linear, a altura das plantas (em caso de culturas cultivadas) e dos estágios de desenvolvimento desta vegetação, ou seja, de sua

fenologia.. Além disso, deve-se ainda considerar os vários subdosséis que a variabilidade vegetativa pode produzir.

Desta maneira, para a obtenção da “reflectância de superfície” de um dado alvo, devem ser consideradas diferentes variáveis (Tabela 4).

Tabela 4 - Variáveis que interferem na função distribuição bidirecional da reflectância de uma cobertura vegetal

Iluminação	Geometria: ângulo de incidência do Sol (ou sinal emitido do Radar); azimute
Sensor	Características Espectrais (λ) Geometria: ângulo de visada; direção do azimute (0 - 360°); Sensitividade Espectral (X); IFOV (miliradianos).
Vegetação	Cobertura: tipo (planta); fechamento (%); orientação sistemática (fileiras); não sistemática (aleatória). Copa: forma (circular, cônica); diâmetro (m). Folha: índice de área foliar (LAI); distribuição do ângulo da folha (LAD).
Solo	Textura; Cor; Teor de umidade

Fonte: Adaptado de Jensen (2000).

Pinter Jr. *et al.* (1985 apud MOREIRA, 2003) mediram a reflectância em dosséis e em folhas isoladas de diferentes cultivares de trigo que tinham a mesma fitomassa e índice de área foliar verde. Os autores verificaram que, independentemente do cultivar, não houve diferença na reflectância quando medida em folhas isoladas. Entretanto, nesses mesmos cultivares, as reflectâncias foram diferentes quando medidas sobre os diferentes dosséis, indicando que a morfologia das folhas que compõem o dossel vegetativo exerce forte influência na reflectância. E também verificaram que na região do visível, o dossel vegetativo apresenta valores de reflectância relativamente baixos devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a REM para a realização da fotossíntese.

Na região do visível (400 a 700 nm), a presença de pigmentos clorofilados é responsável pela maior absorção da radiação nas porções azul e vermelho, sendo menos absorvida na porção do verde (KNIPLING, 1970), ou seja, plantas verdes e sadias refletem

pouca energia nos comprimentos de onda correspondentes ao azul e vermelho. No infravermelho próximo (760 a 1300 nm), a estrutura interna das folhas exerce grande influência sobre o espectro, nessa faixa a radiação fortemente espalhada sofrendo múltiplas reflexões transmissões ao incidir na vegetação, de tal forma que quanto maior for o índice de área foliar maior será a energia refletida (MYERS, 1970; AMARAL *et al.*, 1990).

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 (HOLBEN, TUCKER e FAN, 1980; DAUGHTRY *et al.*, 1984).

Porém, as plantas afetadas por doenças geralmente apresentam crescimento reduzido e sintomas de amarelecimento, que proporcionam contraste na resposta espectral em relação às saudáveis (BRENCHLEY, 1968).

3.4.2.2 Comportamento espectral das gramíneas

O estudo de assinatura espectral de forrageiras permite também a diferenciação de espécies que apresentam arquiteturas e comportamentos fisiológicos diferentes (GIRARD, 1982). Assim sendo, Batista (1990), notou que é possível reconhecer áreas cobertas de pastagens, bem como identificar algumas de suas características pela análise de produtos TM/LANDSAT (CUNHA, 2004).

Alguns tipos de fungos e insetos podem ainda influenciar a assinatura espectral de folhas infestadas por estes. Em relação aos fungos, Colwell; Kumar (1956, 1972 apud MORAES, 1996) verificaram para a região do visível, que a reflectância nas folhas

doentes era maior do que aquela observada na folhas saudias, o que poderia ser explicado pela perda da clorofila em virtude da proliferação de microorganismos (CUNHA, 2004).

Fonseca, Rosa e Fontana (2002), em experimento desenvolvido em campo com o objetivo de caracterizar a reflectância da grama forquilha (*Paspalum notatum* Flugge var. *Notatum*) sob três níveis de adubações nitrogenadas (0, 200 e 400 kg N.ha⁻¹), e sob a influência da irrigação por aspersão, perceberam a existência de uma relação quase linear entre os níveis de N e a produção de fitomassa. Quanto à reflectância na região do visível (370 a 700 nm), os menores valores foram encontrados para parcelas com maior produção de fitomassa (devido as maiores quantidades de pigmentos fotossintetizantes presentes na folhas). Na região compreendida entre 700 e 950 nm (IVP), o comportamento da reflectância foi oposto daquele observado no visível, ou seja, maiores valores de reflectancia foram observados para parcelas com maior nível de adubação nitrogenada e conseqüentemente, com maior produção de matéria seca.

Silva e Martins (2005) usaram imagens CBERS-2 para quantificar e qualificar áreas degradadas no Projeto Rio Formoso no município de Formoso do Araguaia – TO, e conseguiram mapear as diversas vegetações existentes dentro da área de estudo, inclusive pastagens degradadas.

3.4.3 Índices de vegetação

Os índices de vegetação são definidos como uma combinação de dados de duas ou mais bandas espectrais, selecionadas com o objetivo de melhorar a relação desses dados com os parâmetros da vegetação. Para isso, podem ser utilizados os valores de dados

espectrais de: voltagem de saída do sensor; radiância, número digital e reflectância. Empregam-se mais comumente valores de reflectância, devido às dificuldades em interpretar e obter os resultados das medidas calibradas com valores de voltagem de saída, número digital e radiância. (FERRI, 2002).

Os índices de vegetação derivados de dados obtidos de imagens multiespectrais reduzem a dimensionalidade desses dados e aumentam a eficiência da extração das informações sendo por isso uma das principais fontes de informação para o monitoramento das condições da vegetação e mapeamento de cobertura da superfície terrestre. Nesse sentido eles são utilizados para ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo ou outros alvos da superfície como, por exemplo, ao caracterizar parâmetros biofísicos das culturas agrícolas tais como índice de área foliar, fitomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida e produtividade (MOREIRA, 2003).

O índice de vegetação é uma técnica de realce da vegetação através de operações matemáticas simples, usada em processamento digital de imagens de sensoriamento remoto (CRÓSTA, 1993).

Embora existam mais de 50 índices de vegetação na literatura, os mais utilizados são: Razão Simples (RVI) e o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI). As razões entre bandas de imagens multiespectrais ou hiperespectrais é uma das maneiras de se estudar a variabilidade da cobertura vegetal em imagens. Além disso, um outro motivo para usar razões com índice de vegetação, é que as medições feitas em campo podem ser usadas diretamente, sem que haja necessidade de sua conversão para dados de reflectância, que consideram os valores de radiância obtidos através de uma placa de reflectância padrão.

A razão ou o índice de vegetação que mais tem sido empregado é o NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, que emprega as bandas referentes ao vermelho e ao infravermelho próximo.

3.4.3.1 Índice da Diferença Normalizada da Vegetação - NDVI

O índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI) pode ser considerado o principal dos índices comumente usados, sendo uma ferramenta direta, porém, fornecendo uma informação aproximada das propriedades da vegetação. É um índice que também é usado para caracterizar a vegetação através de seu estado fitossanitário e da sua produtividade.

O NDVI é o resultado da composição matemática entre a banda do vermelho e do infravermelho próximo e tem a seguinte expressão:

$$\text{NDVI} = \frac{(\rho \text{ IVP} - \rho \text{ V})}{(\rho \text{ IVP} + \rho \text{ V})} \quad (3)$$

onde $\rho \text{ IVP}$ e $\rho \text{ V}$ representam respectivamente, os valores da reflectância na região do infravermelho próximo e do vermelho, do espectro eletromagnético.

NDVI é adimensional, sendo que os seus valores oscilam entre -1 e +1, que correspondem às características de estresse hídrico (próximo a -1) a uma vegetação exuberante (próximo de +1). A água tem reflectância na banda do vermelho maior que na banda do infravermelho próximo, portanto valores negativos de NDVI. As nuvens refletem de forma semelhante no visível e no infravermelho próximo. Espera-se que o valor do pixel seja em torno de zero. O solo nu e com vegetação rala apresenta valores positivos, mas não muito elevados. Vegetação densa, úmida e bem desenvolvida apresenta os maiores valores de NDVI (CPTEC, 2005).

Foi escolhida uma escala típica de cores para representar diferentes tipos de superfície, variando de -1 a 1, conforme é apresentado na barra de cores da Figura 12.. Ressalta-se que os valores próximos à -1 foram classificados como água e os brancos como nuvens (quando houver).



Figura 12 - Escala de cores e valores de NDVI.
Fonte: Adaptado de CPTEC (2005).

Moreira *et al.* (2005), em trabalho desenvolvido tendo por objetivo analisar e comparar a variação espectral de seis alvos da superfície terrestre observados por imagens adquiridas em datas muito próximas pelos sensores CCD e TM (Thematic Mapper) a bordo dos satélites CBERS-2 e Landsat-5, respectivamente, concluíram que para análises quantitativas que envolvem o uso do NDVI é necessário fazer o ajuste dos dados para que os valores do NDVI dos dois sensores sejam equivalentes. De modo geral, os valores de reflectância nas imagens do CCD foram maiores do que os observados nas imagens do TM.

Galvão, Vitorrello e Almeida Filho (1999) estudaram o uso de três diferentes comprimentos de onda para o cálculo da NDVI, usando imagens LANDSAT-5 e AVIRIS, em uma região de cerrado no estado de Goiás. As imagens foram obtidas em duas estações: seca e chuvosa. Concluíram que o maior contraste entre a vegetação verde e a seca foi obtido quando o índice de vegetação foi calculado usando a banda do vermelho e do infravermelho próxima ao redor dos comprimentos de onda de 690 nm e 756 nm, respectivamente.

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) não se constitui em uma medida apropriada para avaliação de culturas que cobrem totalmente o terreno, pois ele é extremamente sensível à vegetação esparsa, enquanto que o índice de vegetação razão simples (RVI) é muito mais sensível às culturas "fechadas". Para Jackson e Huete, (1991); Moreira, (2003) também o NDVI é o mais sensível à vegetação esparsa do que o RVI (IMAI *et al.* 2003).

Moreira (1997), ao empregar o NDVI para detectar os efeitos do estresse de água na cultura do trigo, concluiu que este índice foi mais consistente do que a análise das informações espectrais de bandas individuais simuladas do sensor TM do LANDSAT-5;

utilizando o NDVI foi possível também perceber as diferenças nos valores do FR tanto na banda TM3, quanto na banda TM4, ocorridas em datas diferentes. Outros pesquisadores como Turner; Seastedt; Dyer (1992), Rudorff *et al.* (1997), Cunha (2000), fizeram a mesma notação.

Asrar *et al.* (1984) em estudo da cultura do trigo, perceberam que mudanças no valor do NDVI estavam principalmente relacionadas ao IAF da cultura. Para valores de IAF menores que 3, o NDVI foi influenciado principalmente pela reflectância do solo; mas para valores de IAF maiores que 3, o NDVI tornou-se mais dependente da reflectância da vegetação no IVP; isto é, cresceu quase que proporcionalmente aos valores observados do IAF, até o momento em que este apresentou valores próximos de 6, onde então ocorreu a estabilização da curva. Segundo ainda os autores, neste platô assintótico, para valores altos do IAF ocorrem mudanças muito pequenas do NDVI, em razão da ocorrência de mudanças ainda menores no FRB obtido no dossel.

A combinação de índice de vegetação mais utilizada tem sido a diferença normalizada (NDVI), porém essa operação tem se mostrado muito sensível às condições da atmosfera (JACKSON; SLATER; PINTER, 1983), demonstrando a necessidade da aplicação do processamento de correção atmosférica, em especial para estudos que utilizam imagens multitemporais ((VOLPATO; PINTO; ZULLO Jr., 2001).

Neste mesmo trabalho foi observado na imagem obtida no dia 24/06/1999 um aumento de 202% do NDVI corrigido, comparado ao sem correção. No dia 30/09/1999 o NDVI corrigido foi 125% maior. Na média das duas datas a correção atmosférica resultou em aumento de 164%, considerado alto. Comparando o NDVI corrigido e o obtido no campo observaram-se valores bastante similares, com diferenças de 12% e 21%, respectivamente nas datas de 24/06 e 30/09, com média aproximada de 17%. Esses resultados demonstram que as imagens corrigidas foram mais próximas dos valores obtidos no campo, indicando a

importância da correção atmosférica quando se utiliza o NDVI e comprovando a sensibilidade desse índice aos efeitos da atmosfera (VOLPATO; PINTO; ZULLO Jr., 2001).

Conforme Rosembach, França e Florenzano (2005), para a geração das Imagens Índice de Vegetação (NDVI), é necessário a aplicação da fórmula:

$$\text{NDVI} = [(\text{banda4} - \text{banda3}) * \text{ganho} / (\text{banda4} + \text{banda 3})] + \text{offset} \quad (4)$$

Ou seja, a geração das Imagens Índice de Vegetação (NDVI), estará embasada na seguinte equação: $\text{NDVI} = (\text{Infravermelho} - \text{Vermelho}) / (\text{Infravermelho} + \text{Vermelho})$. Esta equação gera uma imagem com valores que vão de -1 a +1. Para que estes possam ser visualizados em 256 níveis de cinza (entre 0 e 255), estas imagens serão transformadas, utilizando-se um valor de ganho equivalente a 127 e offset de 128 (NOGUEIRA; FERREIRA, 2003).

E quando se obtém as imagens NDVI, os níveis de cinza mais claros ou mais próximos de 255 expressam valores que representam altos índices ou maior densidade de vegetação, (com valores próximos de +1), enquanto os níveis de cinza mais escuros representam baixos índices de vegetação (com níveis de cinza próximo a zero). Estes valores baixos correspondem a menor quantidade de vegetação, ou à alvos urbanos como área construída, ou à maior quantidade de solo exposto e água.

Em estudos realizados utilizando-se sensoriamento remoto na agricultura, tem sido comum a adoção do Índice Vegetativo com Diferença Normalizada (NDVI – Normalised Difference Vegetation Index). Taylor, Thomas e Wood (1997) utilizando-se desse parâmetro na estimativa de produtividade em lavouras de milho (*Zea mays* L.), constataram boas correlações com o peso de grãos por unidade de área. Qi *et al.* (1994), testaram diversos índices obtidos com sensoriamento remoto não orbital, quanto a caracterização da variação temporal e espacial da vegetação, visando restringir as influências do solo. Nesse sentido, em

condição de cobertura vegetal total, o NDVI, em relação a outros índices, apresentou melhor desempenho, minimizando comparativamente efeitos da influência do solo (SANTOS JUNIOR. *et al.*, 2002).

3.4.3.2 Índice de Razão Simples - RVI

O índice de Razão Simples (RVI) é a relação entre valores de radiação ou de reflectância de duas bandas, ou seja, é obtido pela razão do valores das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, onde em uma das bandas (IVP), o valor do dado cresce, como por exemplo, o aumento da vegetação, e na outra banda(V), o valor diminui em função do mesmo aumento da vegetação.

Esse índice, quando utilizado em termos de reflectância, pode ser escrito assim:

$$RVI = \frac{\rho_{IVP}}{\rho_V} \quad (5)$$

onde ρ_{IVP} e ρ_V representam respectivamente, os valores da reflectância na região do infravermelho próximo e do vermelho do espectro eletromagnético.

Conforme Formaggio e Epiphonio (1990), o índice Razão Simples (IV/V) foi utilizado pela primeira vez como um estimador espectral da vegetação e a sua sensibilidade à vegetação é explicada pelas propriedades de reflexão das plantas, isto é, em uma vegetação verde a luz vermelha (630-670 nm) é absorvida pela clorofila, com pouca transmissão e pouca reflexão, ao passo que no infravermelho próximo (700-1300 nm), a absorção é quase zero e a reflectância e a transmitância são altas (KNIPLING, 1970) devido à estrutura interna das folhas.

Assim sendo, conforme aumenta a quantidade de vegetação, a reflexão na banda do infravermelho próximo (IVP) aumenta e a reflexão na banda do vermelho (V) diminui, fazendo com que o aumento da Razão IVP/V seja potencializado, proporcionando o realce da vegetação.

Segundo os mesmos autores, quando várias camadas de folhas vão sendo sobrepostas num dossel em desenvolvimento, ao mesmo tempo vão ocorrendo aumentos nos níveis de reflectância nas porções espectrais do IV, em função do efeito das "reflectâncias múltiplas" até que se atinja um valor estável máximo, denominado de "reflectância limite" (simbolizada por R) por aqueles autores.

Jackson, Slater e Pinter (1983) estudaram o comportamento de vários índices de vegetação derivados da informação do sensor Landsat MSS tentando avaliar, entre outras coisas, a sua capacidade de discriminar o solo nu e o solo coberto com baixa percentagem de vegetação. Observaram que o RVI apresentou-se pouco sensível à presença de vegetação quando a cobertura foi menor que 50% e o NDVI apresentou-se mais sensível às pequenas percentagens de recobrimento por vegetação do que o RVI, mostrando que provavelmente nas fases iniciais de desenvolvimento das culturas o NDVI seja mais adequado para o seu monitoramento (JACKSON; HUETE, 1991).

Tucker *et al.* (1981) avaliaram os índices de vegetação razão simples (RVI) e da diferença normalizada (NDVI), na estimativa da matéria seca acumulada acima do solo na cultura do trigo, e concluíram que fatores adversos que afetam o crescimento e o desenvolvimento da cultura são evidentes no comportamento desses índices, se eles afetam tanto o conteúdo de clorofila quanto a fitomassa foliar verde. Períodos de estresse hídrico, nesses casos, são expressos espectralmente devido à redução na densidade de clorofila nas folhas. Os resultados obtidos pelo autor relatam a resposta de ambos os índices à ocorrência da precipitação, que finalizava períodos de estresse hídrico na cultura.

Rudorff *et al.* (1989) avaliaram as relações entre os índices de vegetação razão simples (RVI) e da diferença normalizada (NDVI) e alguns parâmetros biofísicos a partir de medidas radiométricas, obtidas ao longo do ciclo da cultura, na região de Assis, São Paulo. Os resultados indicaram que o índice de vegetação obtido no estágio de emborrachamento e início do espigamento (pouco mais de 60 dias após o plantio) melhor se relaciona com a produtividade final, porém foram observadas também boas relações desde o estágio em que a cultura se encontrava em 30 a 40 dias após o plantio.

3.4.4 Imagens do satélite CCD/CBERS-2

O satélite CBERS, faz parte do programa desenvolvido entre o Brasil e a China, recebendo a denominação de Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), parceria iniciada em 1988, envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial), visando estabelecer um sistema de sensoriamento remoto competitivo e compatível com as necessidades internacionais, ocupando espaço no competitivo mercado de imagens.

O satélite CBERS possui um conjunto de sensores ou instrumentos – WFI - Wide Field Imager ou Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada, CCD - Charge Coupled Device ou Câmera Imageadora de Alta Resolução, IRMSS - InfraRed MultiSpectral Scanner ou Imageador por Varredura de Média Resolução, com alto potencial de atender a múltiplos requisitos de aplicações. Porém, cada um desses sensores tem características

próprias que os tornam mais adequados a determinadas categorias de aplicações (INPE, 2005).

Tabela 5 - Características do satélite CBERS 2/CCD

Órbita	Altitude	Inclinação	Período do ciclo	Período da órbita	Órbitas por dia
hélio-síncrona	778 km	98,5 graus	26 dias	100,26 min	14 + 9/26

Fonte - INPE (2005).

O imageador CCD (Tabela 5) ou câmera CCD, é de alta resolução, e fornece imagens numa faixa de 113 km de largura com resolução espacial de 20 m, operando em cinco faixas espectrais (Tabela 6), sendo duas do WFI para permitir a combinação dos dados obtidos pelas duas câmeras e uma pancromática.

Tabela 6 - Dados do sensor CCD

Bandas	Faixas espectrais (nm)	Região do espectro	Resolução espacial (mxm)
B1	450 – 520	Azul	20
B2	520 – 590	Verde	20
B3	630 – 690	Vermelho	20
B4	770 – 890	IV próximo	20
B5 (pan)	510 – 730	VIS – IV próximo	20

Fonte: INPE (2005).

Dentre as principais aplicações do satélite CBERS, destacam-se o monitoramento do impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente, de fenômenos naturais e do uso agrícola das terras, entre outros.

3.4.5 Processamento de imagens

O processamento digital de imagens é a sua manipulação através de técnicas desenvolvidas em computadores de modo que a entrada e a saída do processo também sejam imagens, permitindo a análise de dados multiespectrais registrados em diferentes tipos de sensores e tendo como objetivos, melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 2005).

As técnicas de processamento de imagens digitais podem ser classificadas em três conjuntos: técnicas de pré-processamento (preparação de imagens), técnicas de realce e técnicas de classificação (NOVO, 2002).

Sendo assim, após adquirida uma imagem digital, originada de um sensor de imageamento com capacidade de digitalizar o sinal produzido, é necessário o pré-processamento desta imagem, ou seja: o processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído, o que consiste na maior parte de transformações lineares e não-lineares aplicadas à imagem.

Posteriormente pode ser aplicado às imagens as técnicas de realce, que por sua vez visam melhorar a qualidade "visual" da imagem. As imagens realçadas podem, posteriormente, ser submetidas à interpretação visual ou podem integrar um conjunto de canais a serem utilizados num processo de classificação (NOVO, 2002).

As técnicas de classificação visam o reconhecimento automático de objetos da cena a partir da análise quantitativa dos níveis de cinza. Os objetos são classificados em diferentes categorias em função de algum critério de decisão objetivo (NOVO, 2002).

3.4.6 Pré-processamento de imagens temporais

Em aplicações com a utilização de dados obtidos de imagens orbitais, os fatores que mais influenciam as modificações sofridas pela radiância originadas do alvo e registrada pelo sensor, são as características do sistema sensor e a variações relacionadas com a cena, isto é, os efeitos atmosféricos, geometria de visada e geometria de irradiação solar ou a variação na iluminação da cena.

Segundo ZULLO Jr. *et al.* (1996), a relação entre os valores digitais das imagens de satélite e a radiância ou a reflectância das superfícies observadas é afetada pelas perturbações próprias do sensor, incluindo a resolução radiométrica e dinâmica dos dados, pelos efeitos devidos a presença da atmosfera e, também, pelo perfil do relevo terrestre.

Por isso, as aplicações em sensoriamento remoto utilizando dados multitemporais requerem processamentos que ajustem a geometria e a radiometria de alvos semelhantes a fim de torná-los comparáveis. As imagens obtidas em datas distintas apresentam-se sob diferentes condições atmosféricas e de iluminação e a fim de amenizar a diferença entre as respostas comuns de diferentes alvos presentes nas cenas, procedimentos de correção atmosférica e de normalização relativa têm sido recomendados por alguns autores (CHAVEZ, 1988; HALL *et al.* 1991, VERMOTE *et al.*, 1997 apud SILVA *et al.* 2003).

Como os sensores remotos medem a radiância espectral aparente proveniente do alvo, com as correções de efeitos atmosféricos e a normalização dos efeitos de geometria de aquisição podem-se obter medidas de radiância inerente, as quais transformadas em reflectância de superfície ou real descreverão o comportamento espectral de alvos agrícolas.

Para Luiz *et al.* (2003), os valores digitais devem ser convertidos para valores de reflectância quando se deseja estudar o comportamento espectral dos alvos e quando se pretende comparar imagens obtidas por diferentes sensores ou em variadas datas ou épocas do ano.

3.4.6.1 Correção geométrica e registro de imagens

A utilização de técnicas de correção geométrica possibilita registrar uma imagem em relação a um sistema de coordenadas de um mapa ou sistema de projeção cartográfica e, conseqüentemente, ter seus pixels endereçados em termos de coordenadas de mapa (latitude e longitude; UTM etc.), para o pixel e número da linha.

Quando se expressa o endereço de um pixel na imagem em termos de coordenadas de um mapa base, define-se o geocódigo, ou seja, os dados de Sensoriamento Remoto Geocodificados, que tem suas posições expressas em coordenadas relativas a um mapa base. A correção geométrica se faz necessária para corrigir as distorções aleatórias e as distorções sistemáticas residuais e pode ser obtida através de técnicas de reamostragem dos "pixels" de uma dada cena (Figura 13). A reamostragem implica na reformatação da cena em um mapa base cartográfica, sendo necessários pontos de controle no terreno (PC), bem-distribuídos e identificáveis nas imagens (NOVO, 2002)

Como no caso de fotografias aéreas e de imagens de satélites, os pontos de controle são feições com localização conhecida, e que podem ser acuradamente identificados na imagem digital. Algumas feições que constituem bons pontos de controle referem-se a cruzamentos de estradas, pontes etc. No processo de correção geométrica, numerosos pontos

de controles (PCs) são localizados em termos de suas coordenadas x e y na imagem, em termos de coordenadas de terreno (medidas em campo, ou a partir de um mapa - coordenadas UTM ou latitude e longitude).

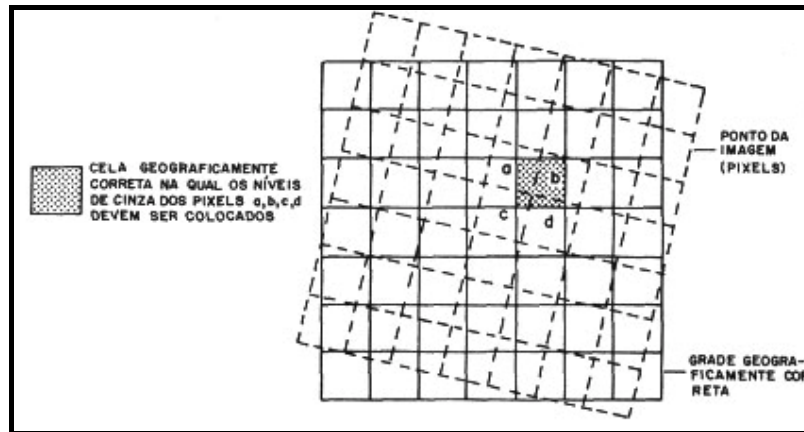


Figura 13 - Correção geométrica das imagens.
Fonte: Curran (1985).

Estes valores são, então, submetidos a uma análise de regressão pelo método dos mínimos quadrados para determinar, os coeficientes de duas equações de transformação que relacionem as coordenadas geometricamente corretas (medidas no terreno ou mapa) e as coordenadas da imagem distorcida. Uma vez determinados os coeficientes dessas equações, as coordenadas da imagem distorcida, para qualquer posição, podem ser precisamente estimadas (dentro de um intervalo de erro).

A transformação espacial que combina duas imagens diferentes de uma mesma área de modo que sejam perfeitamente coincidentes no espaço é conhecido como registro. O registro facilita a superposição de imagens distintas, de modo que as características geométricas comuns às duas imagens estejam na mesma localização geográfica/imagem, corrigindo assim as diferenças de deslocamentos nas direções horizontais e verticais (IWAI, 2003).

Desta maneira é necessário estabelecer uma diferenciação entre o registro (georreferenciamento) e correção geométrica. O processo de correção geométrica de imagens elimina as distorções geométricas sistemáticas introduzidas na etapa de formação das

imagens, enquanto o registro apenas usa transformações geométricas simples (usualmente transformações polinomiais de 1º e 2º graus) para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas. O registro é o ajuste da imagem à um sistema de coordenadas, ou seja, é uma operação necessária para se fazer a integração de uma imagem à base de dados existente, o que pode ser entendido também como um processo de georreferenciamento da imagem.

3.4.6.2 Transformação de NDs para Reflectância aparente

A transformação das imagens de níveis de cinza (NC) para reflectância, conforme Tanajura, Antunes e Uberti (2005), consiste na obtenção de valores de radiância aparente e reflectância planetária aparente (reflectância da superfície mais atmosfera a nível de satélite) e escalonada em níveis de cinza de acordo com o número de bits da imagem. Para tanto, deve-se inicialmente realizar a transformação de níveis de cinza em radiância para uma dada banda (L_λ) de uma imagem de 8 bits e depois transformar estes valores de radiância em reflectância aparente. Sendo assim tem-se:

$$L_\lambda = NC \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} + L_{\min} \quad (6)$$

onde L_{\max} e L_{\min} são a radiância espectral máxima e mínima expressas em $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ para o sensor e banda em questão e que são fornecidas pelo fabricante do satélite.

Para o cálculo da reflectância a partir da radiância utiliza-se da seguinte fórmula:

$$\rho_\lambda = \frac{\pi L_\lambda d^2}{ESol_\lambda \cos \theta_s} \quad (7)$$

Onde:

$\rho_\lambda = \rho_{\text{apa}}$ = Reflectância planetária aparente ao nível do satélite;

π = Ângulo sólido do hemisfério projetado (sr);

L_λ = Radiância espectral aparente na abertura do sensor em $\text{W sr}^{-1}\text{m}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$;

d = Distância do sol à terra em unidades astronômicas;

$ESol_\lambda$ = Irradiância solar média espectral fora da atmosfera em $\text{W m}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$;

θ_s = Zênite solar em graus no pixel da imagem em questão. Para simplificação em geral utiliza-se o zênite solar do centro da imagem.

É importante salientar que a Reflectância planetária aparente contém toda a interferência atmosférica, não servindo, portanto, para caracterizar espectralmente um objeto mediante sua avaliação. Para viabilizar tal caracterização, faz-se necessário a determinação de valores de Reflectância de Superfície (FRBS) mediante a aplicação de algum modelo de correção atmosférica, seja ele fundamentado na transferência radiativa ou não. Esta transformação, segundo Epiphanyo e Formaggio (1988), representa melhor as propriedades físicas do alvo superficial terrestre, pois eliminam a interferência a influencia da atmosfera na imagem.

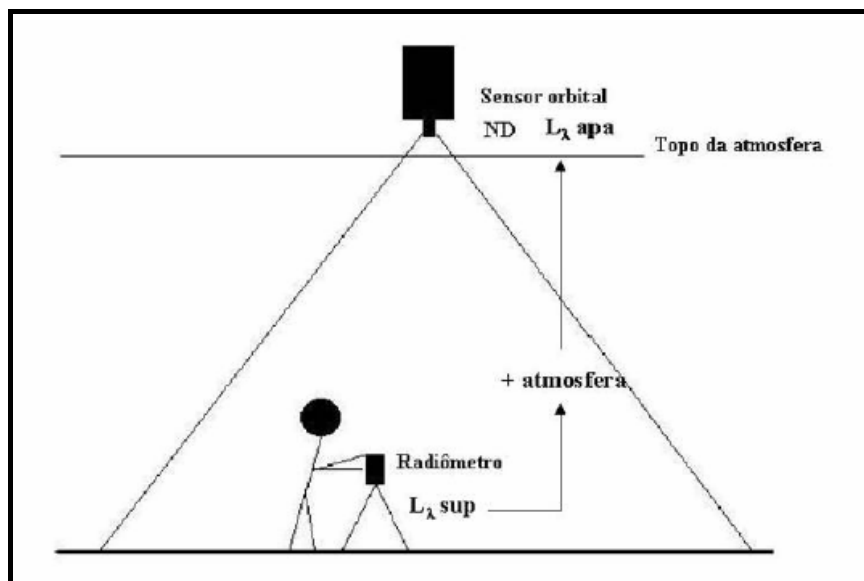


Figura 14 - Esquema ilustrativo do processo de relacionamento entre a reflectância direcional de superfície e o ND apresentado nas imagens orbitais.

Fonte: Ponzoni, Zullo Jr.e Lamparelli (2005).

A transformação dos números digitais em reflectância aparente (FRBA) pode ser feita através de uma rotina escrita em Linguagem LEGAL, próprio do ambiente SPRING e para esta tarefa são utilizados os ângulos de elevação solar e os índices de calibração máximos e mínimos correspondentes a cada banda espectral. Também são utilizados os valores de irradiância solar estimados no topo da atmosfera, correspondentes a cada banda espectral do sensor CCD (Figura 14).

A conversão dos NDs para reflectância aparente minimiza a variabilidade provocada por diferentes condições de iluminação no comportamento espectral dos alvos (BENTZ, 1990). A análise dos parâmetros físicos, através da conversão de número digital para valores de reflectância, permite medições mais absolutas do alvo, além de permitir realizar, com maior rigor, a razão entre bandas, a definição espectral de classes temáticas e a relação entre imagens de diferentes datas e sensores (ROBINOVE, 1982).

3.4.6.3 Correção atmosférica das imagens CCD/CBERS-2

Segundo Song *et al.* (2001), os sinais eletromagnéticos da radiação coletados pelos sensores remotos a bordo de satélites no espectro solar são modificados, dispersos e absorvidos por gases e aerossóis através de sua passagem pela atmosfera no caminho entre a superfície da terra e o sensor.

Os principais efeitos observados nas imagens de satélite, devido à presença real da atmosfera entre o satélite e a superfície terrestre, são as diminuições da faixa de valores digitais possíveis registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de cada ponto da imagem. Os gases (vapor d'água, oxigênio e

dióxido de carbono) e os aerossóis refletem, refratam, absorvem e espalham a radiação desde quando ela atinge a atmosfera até quando a deixa, depois de refletida pelo solo (ZULLO Jr. 1994).

A correção dos efeitos causados pelos componentes atmosféricos é essencial para análises quantitativas de imagens de sensores orbitais ou aerotransportados, pois possibilita estimar as características biofísicas da superfície imageada, e torna-se extremamente importante, quando se necessita dos valores absolutos da radiância do alvo no solo ou quando as pequenas diferenças da superfície são sobrepostas por uma atmosfera densa (ROLLIN, 2000 apud SOUZA, 2003).

Para Luiz *et al.* (2003), algumas aplicações, tais como as que utilizam a razão entre bandas como, por exemplo, o cálculo de NDVI, requerem, além dos valores de reflectância dos pixels da imagem, que estes valores estejam corrigidos em relação aos efeitos atmosféricos, já que estes atuam de maneira desigual ao longo do espectro, sendo maior nos comprimentos de onda menores.

Os modelos de transferência radiativa foram criados para modelar a radiação refletida pelo sistema atmosfera-superfície terrestre da forma como ela é vista por um sensor orbital. Os modelos “diretos” simulam o sinal ao nível do satélite, baseados em métodos de Monte Carlo, esferas harmônicas, etc. Geralmente o tempo de processamento é longo e seus modelos não fornecem uma solução de fácil compreensão e aplicação (VERMOTE, 1990 apud GU, 1991).

Em busca de uma solução que unisse a precisão com a facilidade de interpretação dos resultados, o *Laboratoire d’Optique Atmosphérique* (LOA) da Universidade de Lille (França) desenvolveu o algoritmo 5S (*Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solaire*), que permite tanto simular o sinal ao nível do satélite com uma boa precisão como também corrigir os efeitos atmosféricos das imagens orbitais (GU, 1991).

As imagens de sensores remotos sofrem perturbações do fluxo de energia emitida pelo Sol e de dois processos atmosféricos: a absorção gasosa e o espalhamento causado por moléculas e aerossóis (SLATER, 1987). Ao inserir a reflectância de superfície no programa (5S), este estima a reflectância aparente do *pixel* observado, levando em consideração os processos atmosféricos citados anteriormente (TANRÉ *et al.*, 1990).

Esta transformação, segundo Epiphany e Formaggio (1988), representa melhor as propriedades físicas do alvo superficial terrestre, pois eliminam a interferência a influencia da atmosfera na imagem.

3.4.6.4 Aplicativos computacionais para a correção atmosférica

Atualmente, já existem programas computacionais desenvolvidos especificamente para a remoção dos efeitos atmosféricos nas imagens de satélite.

Um sistema que utiliza o modelo de transferência radiativa 5S de correção atmosférica (TANRE *et al.*, 1990) é o aplicativo SCORADIS (Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélites), desenvolvido por Zullo Jr. (1994) no Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (CEPAGRI/UNICAMP), a partir de trabalhos experimentais realizados nas condições brasileiras de atmosfera, clima e disponibilidade de dados.

Galvão, Formaggio e Tisot (2005), converteram os dados de radiância para valores de reflectância de superfície, portanto corrigidos dos efeitos de espalhamento e absorção atmosférica, com o uso do aplicativo ACORN (Atmospheric Correction Now), que tem como base o modelo de transferência radiativa MODTRAN4 (IMSPEC, 2001).

3.4.6.5 Normalização radiométrica das imagens temporais

Em aplicações de sensoriamento remoto utilizando-se de dados multitemporais requerem-se processamentos que ajustem a radiometria de alvos semelhantes a fim de torná-los comparáveis, pois se sabe que imagens obtidas em datas distintas apresentam-se sob diferentes condições atmosféricas e de iluminação. A fim de amenizar a diferença entre as respostas comuns de diferentes alvos presentes nas cenas, procedimento de correção atmosférica e de normalização relativa tem sido recomendado por alguns autores (CHAVEZ, 1988; SCHOT; SALVAGGIO; VOLCHOK, 1988; HALL *et al.* 1991; VERMOTE *et al.* 1997 apud SILVA *et al.* 2003).

Segundo Hall *et al.* (1991) a normalização radiométrica é utilizada para amenizar as distorções radiométricas das imagens multitemporais independentemente do conhecimento de propriedades atmosféricas e de calibração do sensor.

Para Leonardi, Souza e Fonseca (2003), normalizar radiometricamente duas imagens de datas distintas, tem como objetivo compatibilizar as amplitudes dos níveis de cinza dos elementos de imagem em cada banda espectral de uma série multitemporal de imagens. Este processo é denominado de retificação radiométrica, o qual inicia com a eleição de uma das imagens temporais como imagem de referência e as outras imagens como imagem de ajuste. Geralmente, essa técnica consiste em determinar os coeficientes de uma transformação linear, que aplicada à imagem de ajuste, efetua a retificação desejada.

Assim uma imagem radiometricamente corrigida em relação a uma imagem de referência deve parecer como se estivesse sido adquirida pelo mesmo sensor e nas mesmas condições atmosféricas da imagem de referência. Eliminando-se assim a diferença de

atmosfera e de iluminação entre as imagens, apenas permanecendo as variações decorrentes das respostas dos alvos (SILVA *et al.* 2003).

Além da correção atmosférica, métodos alternativos também são utilizados para normalizar radiometricamente as imagens. Técnicas propostas por Schott; Salvaggio; Hall *et al.* (1991) e outros, foram formuladas em virtude da indisponibilidade de dados referentes às propriedades atmosféricas e de calibração do sensor no momento do registro do sinal emitido ou refletido pelo alvo. A normalização desenvolvida por Schott, Salvaggio e Volchok (1988) e Hall *et al.* (1991) baseiam-se em feições pseudo-invariantes, a diferença é que o primeiro utiliza feições basicamente urbanas, enquanto que o segundo faz uso de médias de objetos claros e escuros presentes na cena (SILVA *et al.* 2003).

Hall *et al.* (1991) utilizaram a transformação de Tasseled Cap para facilitar a localização de áreas pseudo-invariantes para o processo de retificação radiométrica.

A correção radiométrica, ou seja, a uniformização de imagens pode ser realizada a partir de alvos pseudo-invariantes claros e escuros que são usados para encontrar o relacionamento entre cada imagem e uma imagem referência (HILL; STURM, 1991). Segundo Casselles e Lopez Garcia (1989) imagens de diferentes datas de aquisição podem ser comparadas ajustando uma função de regressão entre alvos referência claros e escuros e assumindo reflectância estável. (GÜRTLER; LUIZ; EPIPHANIO, 2003).

O objetivo do método de Hall *et al.* (1991) é normalizar radiometricamente as imagens compensando as diferenças de calibração do sensor, da atmosfera e de iluminação entre as imagens. Hall *et al.* (1991) usaram as imagens de reflectância, porém, Leonardi, Souza e Fonseca (2003), utilizaram-se de imagens digitais em trabalho desenvolvido no sentido de comparar alguns métodos. Nesse trabalho, concluiriam que para as imagens do Landsat-TM5 e Landsat ETM+, tanto visualmente como os resultados experimentais, os

melhores resultados foram para o método de Hall e o método de Uniformização das Médias e Variâncias (UMV).

As técnicas de normalização asseguram a comparabilidade entre cenas, no entanto, se a imagem de referência não for corrigida atmosféricamente, a imagem normalizada por ela, também não representará a resposta real do alvo.

Moreira *et al.* (2005), utilizaram o PCI Geomatics (PCI, 1997), para restituir as imagens Landsat-5/TM, tendo como base os dados do sensor CCD/CBERS-2. Esse procedimento visou homogeneizar os dados dos dois satélites/sensores para condições atmosféricas semelhantes (HALL *et al.* 1991).

Ponzoni (1998), utilizou-se de um programa computacional especialmente elaborado com o objetivo de determinar os valores de reflectância aparente para cada pixel, das imagens que utilizou, resultando nas chamadas imagens-reflectância. Essa transformação levou em consideração o ângulo de elevação solar de cada uma das passagens e valores pré-estabelecidos de calibração dos detectores de cada uma das bandas consideradas, bem como de irradiância solar no topo da atmosfera. Em seguida, foi adotado o método de retificação radiométrica desenvolvido por Hall *et al.* (1991), com o objetivo de minimizar as diferenças radiométricas entre as imagens das passagens, salientando que este procedimento foi adotado para cada um dos conjuntos de imagens individualmente.

Todavia, o que se percebe nos trabalhos que tratam deste assunto, é que o termo “normalização radiométrica” nem sempre é utilizado pelos autores. Segundo Gürtler, Luiz e Epiphanyo, (2003), ao tratar deste tema, muitos artigos adotam os termos retificação radiométrica (Hall *et al.* 1991), normalização (DU *et al.* 2001; YUAN; ELVIDGE, 1996) ou até calibração (FURBY; CAMPBELL, 2001; TOKOLA; LÖFMAN; ERKKILÄ, 1999). No entanto, não se pode garantir que as imagens transformadas terão um comportamento “normal” ou que seus valores serão “normalizados”, no sentido estatístico do termo. O que se

consegue ao final do procedimento aqui apresentado é um comportamento uniforme no que diz respeito à resposta espectral de alvos considerados invariantes com o tempo.

Segundo Leonardi, Souza e Fonseca, (2003), o algoritmo proposto por Hall *et al.* (1991) para a normalização radiométrica consiste em :

- 1) Identificar conjuntos de pontos que tenham pouca ou nenhuma variação de nível de cinza entre as imagens. Os extremos do diagrama de dispersão de KT (KAUTH-THOMAS, 1976) sempre correspondem aos elementos da paisagem que têm esta característica.
- 2) Normalizar radiometricamente a imagem usando uma transformação linear cujos coeficientes são calculados baseados nas médias dos conjuntos de pontos encontrados no passo anterior, para cada imagem.

Para normalizar radiometricamente imagens temporais, Silva *et al.* (2003) utilizou a metodologia desenvolvida por Hall *et al.*, (1991), onde as faixas de pontos claros e escuros foram definidas através da visualização simultânea das componentes “*Brightness e Greenness*” referentes as imagens das duas datas. As feições que visualmente estavam claras e escuras nas quatro datas foram escolhidas respectivamente como feições pseudo - invariantes, claras e escuras. A partir das faixas de claros e escuros, máscaras temáticas foram geradas a fim de encontrar a média das imagens de reflectância das duas datas. As médias das máscaras de cruzamento dos pontos claros e escuros foram calculadas para as imagens de referência e para a imagem a ser normalizada. Estas médias foram utilizadas como dado de entrada no programa de normalização.

Conforme Silva *et al.* (2003), o cálculo feito pelo algoritmo de normalização é dada pela equação, como segue:

$$m_i = (B_{ri} - D_{ri}) / (B_{si} - D_{si}), \quad (12)$$

$$b_i = (D_{ri} * B_{si} - D_{si} * B_{ri}) / (B_{si} - D_{si}) \quad (13)$$

onde:

- D_{si} , D_{ri} , B_{si} e B_{ri} são respectivamente, as médias dos conjuntos de controle radiométricos escuros e claros para cada banda da imagem que foi normalizada e da imagem de referência;
- D_{si} : médias dos pontos escuros da imagem “ajuste”;
- D_{ri} : médias dos pontos escuros da imagem “referência”
- B_{si} : médias dos pontos claros da imagem “ajuste”
- B_{ri} : médias dos pontos claros da imagem “referência”
- m_i e b_i são coeficientes definidos equiparando as médias transformadas dos conjuntos de radiométricos da imagem que será normalizada a partir da imagem de referência;

Com a extração dos coeficientes m_i e b_i , a imagem normalizada é obtida a

partir da seguinte fórmula:

- $I_{mi} = I_{ma} * m_i + b_i$;

Onde:

- I_{mi} = Imagem retificada para i bandas
- I_{ma} = Imagem “ajuste”

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a extração das informações e processamento dos dados foi importante a definição da disponibilidade de recursos materiais necessários ao desenvolvimento do projeto, e baseado nisso, a aplicação da metodologia a ser descrita, foi feita em três fases distintas (Tabela 7), sendo a primeira com a obtenção de dados orbitais do sensor CCD para as áreas sadias e para áreas infectadas com a doença “mela”; a segunda, com o processamento digital das imagens e finalmente a terceira fase, com a análise estatística dos dados orbitais.

Tabela 7 - Fases do estudo

Fase	Ano	Dados utilizados
1ª Fase	2004/05	Obtenção Imagens CCD
2ª Fase	2005	Processamento das imagens
3ª Fase	2005	Análise estatística

4.1 Material

4.1.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Mirante do Paranapanema, a 56 km de Presidente Prudente-SP, na região oeste do estado de São Paulo, numa área situada dentro do quadrilátero limitado pelas coordenadas geográficas: latitude 22° 10' S com longitude 51° 52' W; latitude 22° 10' S com longitude 51° 45' W; latitude 22° 17' S com longitude 51° 52' W; latitude 22° 17' S com longitude 51° 45' W, conforme mostrado na Figura 15.

O relevo da região é classificado como suavemente ondulado, solo de cerrado, de média e baixa fertilidade, com solos Latossolos (EMBRAPA, 1999), com a cobertura vegetal ocupada predominantemente por pastagens artificiais, culturas anuais de algodão, milho, feijão de inverno e com poucos e pequenos fragmentos de matas nativas.

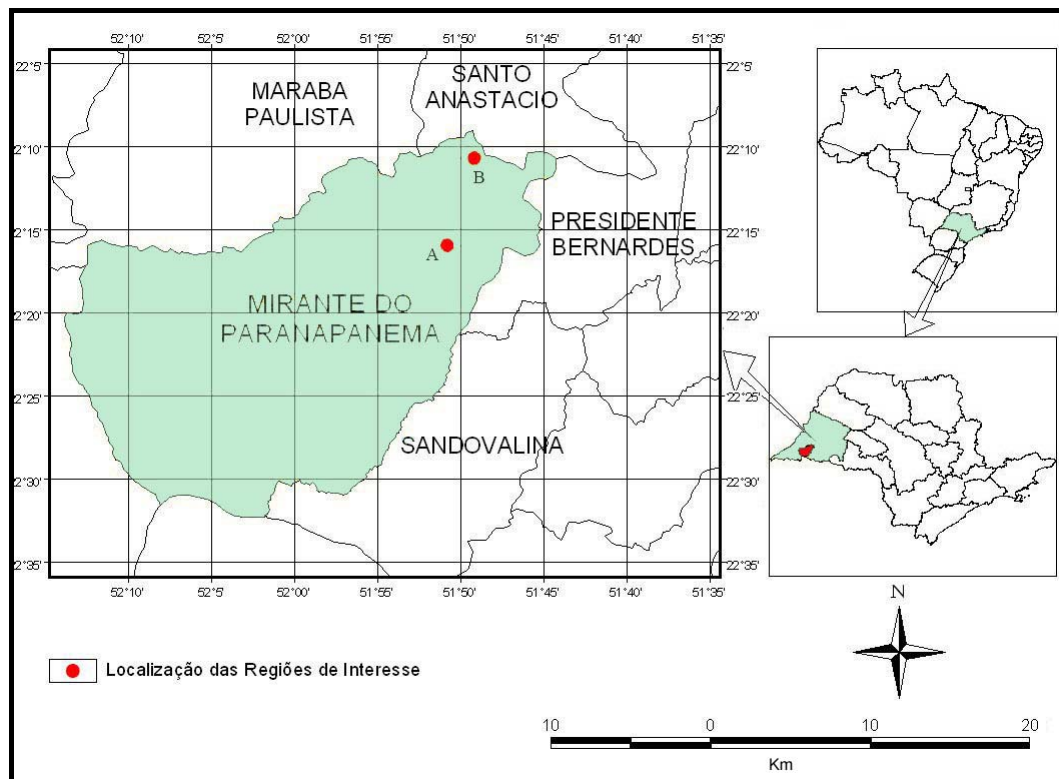


Figura 15 - Localização da área de estudo.

A escolha da área de estudo fundamentou-se na disponibilidade de informações que possibilitassem a visualização e a obtenção de componentes da superfície, ou seja, das áreas de pastagens *B. brizantha* cv MG-5, e foi facilitada devido a região ter uma grande concentração de plantio de gramíneas forrageiras destinadas à produção de sementes, e por consequência, com histórico de surgimento e danos causados pela doença “mela-das-sementes da braquiária”.

4.1.1.1 Clima da área de estudo

O clima é tropical de altitude (Cwa – Mesotérmico), de inverno seco e verão úmido, sendo caracterizado por chuvas típicas de clima tropical, com maior ocorrência no verão e temperaturas médias anuais ligeiramente inferiores a 22°C. Assim, o clima apresenta uma alternância entre período secos e frios (15° – 20° C) no inverno, e quentes e úmidos (chegando a 40°C), no verão. A maior ocorrência de chuvas ocorre entre os meses de setembro e março/abril, com maiores concentrações de dezembro a fevereiro, com a precipitação média anual variando entre 1.100 e 1.700mm (SÃO PAULO, 1999; DITT, 2002). A evapotranspiração é mais acentuada entre agosto e outubro, mas déficits hídricos ocorrem a partir de maio ou junho (Figura 16). A umidade é relativamente estável ao longo do ano, variando entre 70 e 80%. Observa-se uma ligeira redução da umidade nos meses de agosto e setembro, quando chega a 60%, acompanhando o balanço hídrico e a baixa precipitação desta época do ano (SÃO PAULO, 1999).

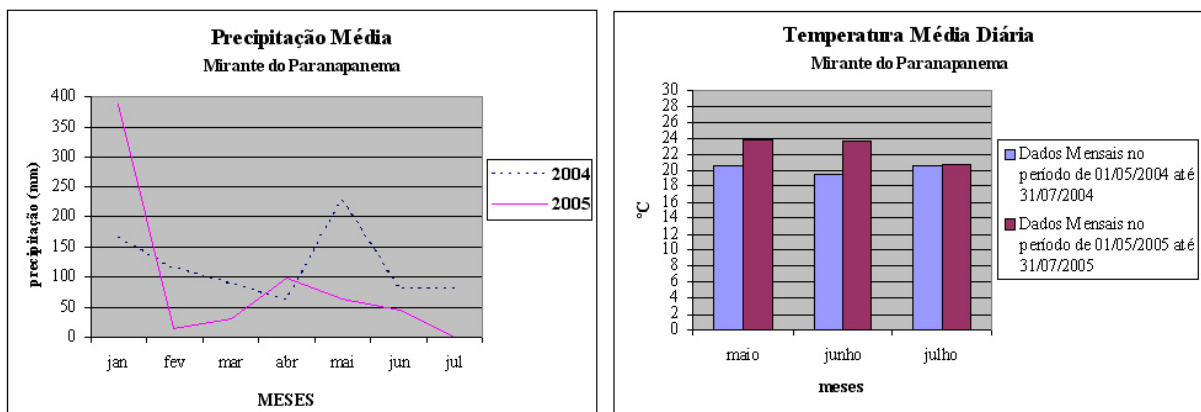


Figura 16 - Dados pluviométricos da área de estudo (2004 e 2005).

Fonte: Elaborado a partir de dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - CIIAGRO - SP.(2005).

O conhecimento do fator climático foi de fundamental importância para o desenvolvimento do presente estudo e para melhor entendimento de sua influência foi elaborado o Balanço Hídrico Climatológico semanal dos anos de 2004 e 2005, da região a que

pertence a área de estudo, através do programa computacional desenvolvido por D'Angiolella e Vasconcellos (2001), que por sua vez, está de acordo com a metodologia preconizada por Thornthwaite e Mather (1955).

O balanço hídrico é a contabilização da água em um volume de solo vegetado com uma planta qualquer. As quantidades de água que entram e saem do perfil do solo, num dado intervalo de tempo, indicam a quantidade de água que permanece no perfil, ou seja, a real umidade do solo. Para tanto, o perfil de solo deve coincidir com a profundidade do sistema radicular, pois o que interessa é a quantidade de água disponível para a vegetação natural ou para as culturas agrícolas.

4.1.2 Seleção das regiões de interesse

Levando em consideração o conhecimento prévio do local e a disposição dos elementos que compõem a cobertura superficial da cena, foram selecionadas duas regiões de interesse para a pesquisa, localizadas dentro da área de estudo e formadas com pastagens. As duas áreas estudadas foram: A) uma área de 55,66 ha, localizada nas coordenadas geográficas: longitude 51°50'46" W e latitude 22°15'50" S; (B) uma área de 16,94 ha, localizada nas coordenadas geográficas: longitude 51°49'10" W e latitude 22°10'43" S, ambas cultivadas com *B. brizantha* cv MG-5 e distantes entre si por aproximadamente 10 km.

Na Figura 17 é mostrada a área de estudo e as regiões de interesse (A e B) a partir do recorte feito na imagem original do sensor CCD/CBERS-2.

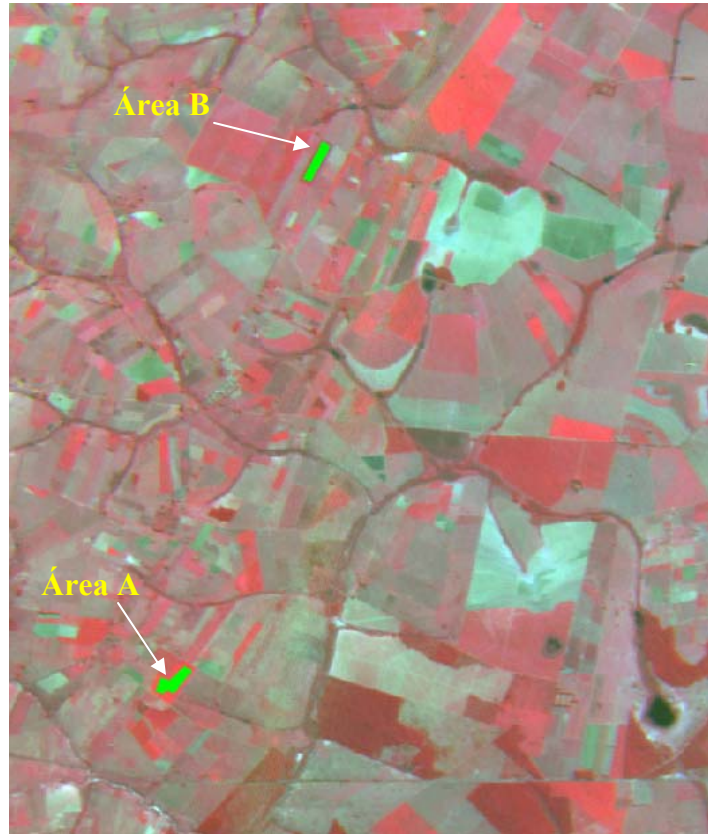


Figura 17 - Área de estudo na imagem de maio de 2005, em composição 4R3G2B com a localização das áreas A e B.



Figura 18 - (A1) Área cultivada com *Brachiaria brizantha* cv MG-5 (plantio de ano), no estágio vegetativo inicial. (A2) Detalhe da planta. Dia 17/02/2005.

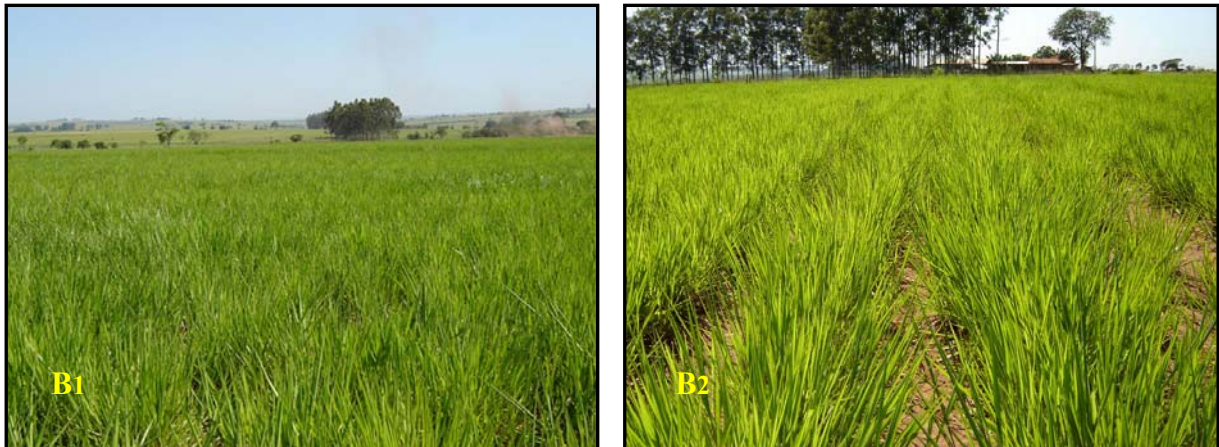


Figura 19 - (B1) Área cultivada com *Brachiaria brizantha* cv MG-5 (rebrotada), no estágio vegetativo inicial. (B2) Detalhe das plantas. Dia 17/02/2005.

Assim sendo, as áreas selecionadas encontram-se em uma mesma região, mesmo tipo de solo e mesmo relevo (Figuras 18 e 19), evitando-se assim, a maior parte da interferência da variação topográfica, e, por conseguinte, as variações de intensidade de energia detectadas pelos sensores e causadas pelas mudanças dos ângulos de visada.

4.1.3 Recursos

- 3 Imagens CCD/CBERS-2;
- Microcomputador Pentium III, 2,4 MHZ, 512 de memória RAM, HD de 60 GB;
- Scanner A0
- Software SPRING 4.1.1.e IMPIMA 4.1.1;
- GPS dupla frequência ASHTECH Z-XII, e o receptor GPS de simples frequência RELIANCE;
- Câmera Fotográfica Digital. Sony P73.

4.2 Métodos

4.2.1 Caracterização espectral das pastagens

Este trabalho está baseado na caracterização espectral das áreas A e B de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv MG-5, nos anos de 2004 e 2005, realizada através de medidas de reflectância de superfície, ou seja, de valores de FRBS – Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície dos alvos. Para tanto, levou-se em consideração que os dados orbitais temporais são influenciados por variáveis, como os parâmetros atmosféricos, parâmetros geométricos, isto é, geometria de iluminação e visada, e os parâmetros biofísicos das plantas, que por sua vez, estão correlacionados com suas orientações espaciais, tipo e condições de planta, seu sistema de plantio, o espaçamento, o número de plantas por metro, fenofase e ainda, a influência das características espectrais do solo, principalmente em função da sua textura, cor e teor de umidade.

Sendo assim, a metodologia aplicada neste trabalho foi desenvolvida no sentido de minimizar os efeitos que as referidas variáveis causam na distribuição e na intensidade dos valores reais de reflectância. Para tanto, no processamento digital das imagens, foram utilizados, principalmente, procedimentos de correção atmosférica e de normalização relativa, para o ajuste da geometria e da radiometria dos alvos semelhantes, a fim de possibilitar a comparação entre eles, tendo em vista que as imagens foram obtidas em datas diferentes e apresentam-se sob diferentes condições atmosféricas e de iluminação.

4.2.2 Obtenção dos dados orbitais

Foram adquiridas as imagens do sensor CCD/CBERS-2, em formato GEOTIFF, nível 2, cedidas pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (disponíveis em <http://www.inpe.br>). A Tabela 8 apresenta alguns dados considerados relevantes referentes às imagens utilizadas.

Tabela 8 - Dados das imagens obtidas

Dados	CBERS-2/CCD (1)	CBERS-2/CCD (2)	CBERS-2/CCD (3)
Órbita/ ponto	160/125	160/125	160/125
Data da Imagem	13/06/04	17/05/05	08/07/05
Bandas espectrais	B2, B3 e B4	B2, B3 e B4	B2, B3 e B4
Elevação solar	37.2346°	40.8178°	36.9504°
Azimute solar	31.9683°	34.1132°	34.1837°

4.2.3 Análise dos parâmetros biofísicos

Os parâmetros biofísicos relativos à cultura estudada foram analisados com o objetivo de se verificar as suas interferências nas respostas espectrais dos alvos ou o grau de intensidade de suas influências sobre os valores de reflectância de superfície das áreas A e B. Os parâmetros biofísicos considerados importantes foram relacionados como:

- a) o IAF - Índice de Área Foliar, que caracteriza a arquitetura do dossel e é definido como sendo a área foliar total projetada por unidade de área de terreno (m^2/m^2);
- b) os períodos de florescimento e de incidência da doença; e
- c) o efeito do estresse hídrico nas plantas.

4.2.4 Processamento das imagens CCD/CBERS-2

Após a obtenção das imagens, foi gerado um banco de dados de imagens em meio digital para as bandas B2, B3 e B4 do sensor CCD/CBERS 2 de cada uma das imagens. Sobre as imagens inseridas no banco de dados foram aplicados, inicialmente, os procedimentos de pré processamento, ou seja, recorte da área de estudo e registro. Na seqüência foram aplicados sobre as mesmas os processos: correção atmosférica, conversão dos NDs das imagens para Fatores de Reflectância Bidirecional Aparente (FRBA) e normalização radiométrica.

O processo de correção atmosférica foi feito conforme descrito em Tanré *et al.* (1992), utilizando-se do programa SCORADIS (Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélites).

O procedimento de normalização das imagens teve como base o trabalho desenvolvido por Hall *et al.* (1991) utilizando para tanto de imagens reflectância. Assim, as imagens para serem normalizadas tiveram antes os seus valores de NDs convertidos para Fator de Reflectância Bidirecional Aparente (FRBA) através de uma rotina escrita em linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), própria do aplicativo SPRING 4.1.1.

Ao final deste procedimento, foram efetuados a visualização e a avaliação da qualidade da normalização das imagens através da comparação entre as médias dos valores de FRBS dos pontos claros e escuros da imagem “referência” e das imagens “ajuste”, antes e depois da normalização. Vale salientar que após os procedimentos de normalização, os valores de FRBA passaram a ser considerados como FRBS devido à promoção da compatibilidade radiométrica.

Posteriormente foram obtidas as médias dos valores de FRBS para as duas áreas, ou seja, área (A): área de pastagens de *B. brizantha* cv MG-5 com e sem a doença, e área (B): área pastagens de *B. brizantha* cv MG-5 com e sem a doença. Essa etapa do trabalho foi feita através da geração de categoria temática com planos de informação para cada um dos alvos, onde foram inseridos polígonos de maneira a obter os valores médios de reflectância de superfície (FRBS) por banda e para cada área de interesse. Estes valores foram posteriormente analisados estatisticamente.

O processamento das imagens está mais detalhado nos itens que seguem.

4.2.4.1 Georreferenciamento das Imagens CCD/CBERS-2

As imagens originais obtidas do sensor CCD, foram inicialmente importadas ao módulo IMPIMA do software SPRING 4.1.1, transformadas do formato GEOTIFF ao formato GRIB e armazenadas em arquivo.

Posteriormente, para o registro das imagens foi necessário o georreferenciamento de duas cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000, folhas SF-22-Y-B-II-3 de Mirante do Paranapanema e SF-22-Y-B-II-2 de Presidente Bernardes, ambas no sistema de projeção UTM e datum horizontal Córrego Alegre.

As cartas foram previamente digitalizadas no *scanner* A0 pelo sistema de conversão analógico-digital utilizando uma resolução espacial de 300 dpi (300 pontos por polegada), ou seja, 300 pixels em 2,54 cm, o que faz com que 1 pixel corresponda a 4,233 m no terreno na escala de 1:50.000 (Figura 20).

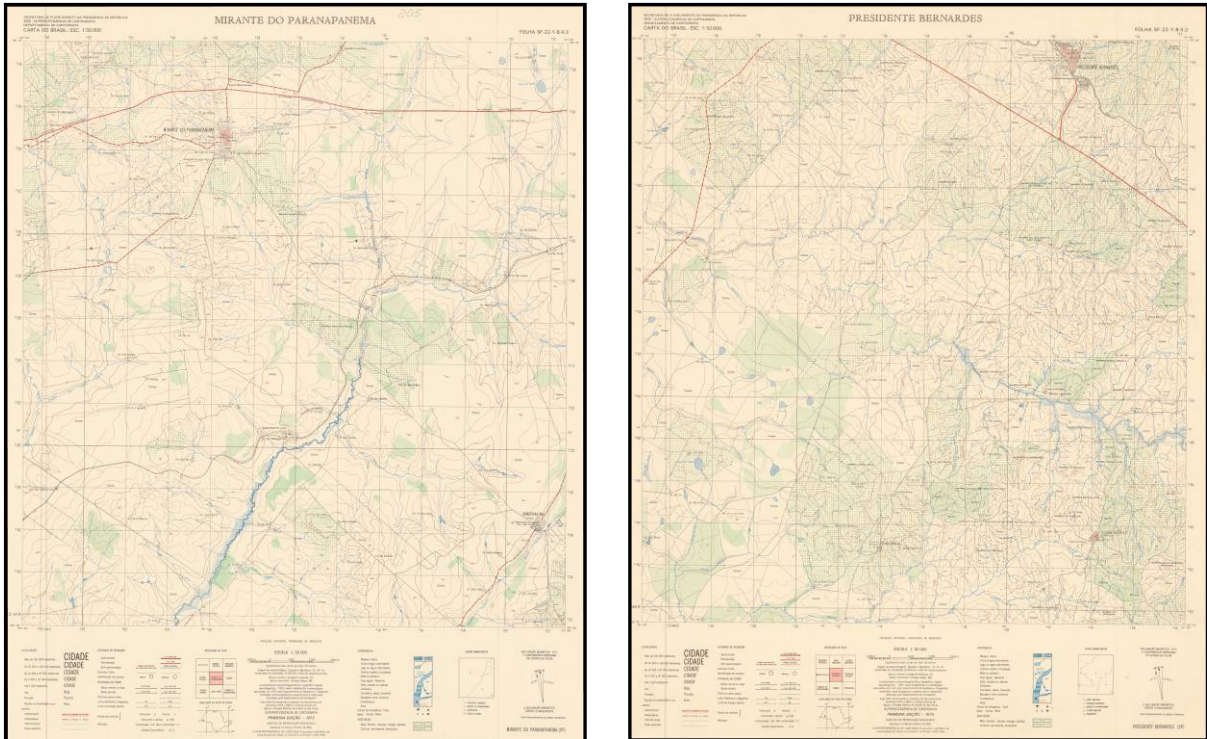


Figura 20 - Cartas topográficas de Mirante do Paranapanema e Presidente Bernardes

Na seqüência, estas cartas foram editadas e recortadas no software Adobe Photoshop C5, formando uma única carta da área de estudo conforme mostrado na Figura 21, sendo após convertidas da extensão TIF para o formato GRIB no módulo IMPIMA. Depois disso, a carta foi importada e registrada no SPRING, onde foram desenhadas as três bandas em R, G e B transformando-se em um projeto do banco de dados.

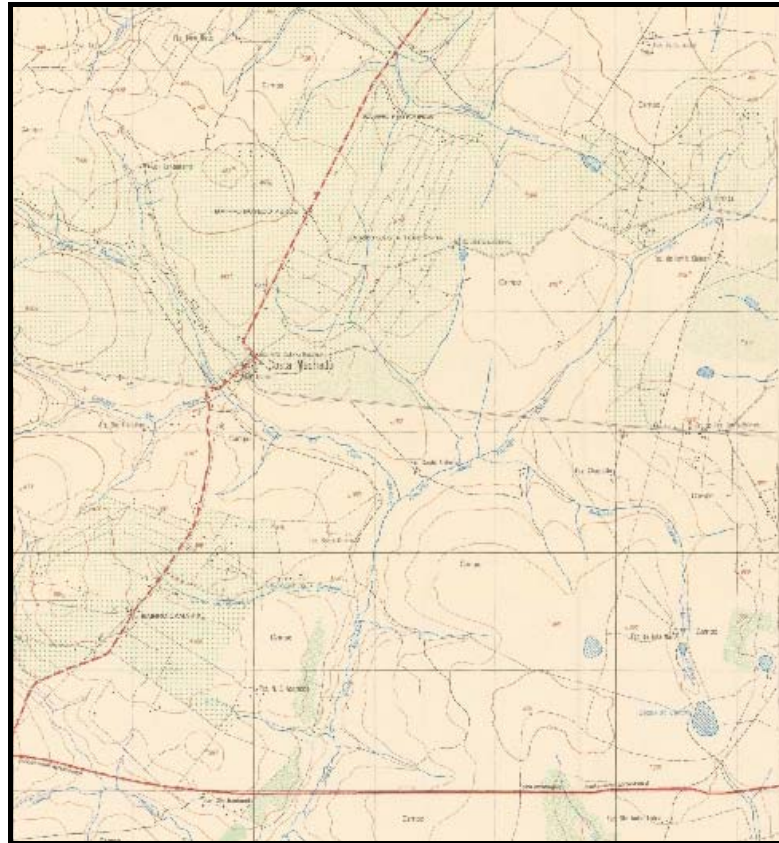


Figura 21 - Carta topográfica editada e georreferenciada (em RGB) da área de estudo.

A técnica de registro utilizada para o georreferenciamento da imagem da carta topográfica do IBGE baseou-se no modelo de correção polinomial de 1º grau, efetuada através da aquisição, pelo modo teclado, de 11 pontos de controle, bem distribuídos, sendo que três pontos foram separados para que o modelo estimasse os erros de teste.

Após o registro da carta do IBGE que cobre a área de estudo, alguns pontos comuns entre as imagens foram selecionados e as suas coordenadas foram anotadas visando realizar o registro pelo modo teclado das imagens CCD/CBERS, sendo que para tanto, foi adotado o mesmo procedimento anterior, tendo com base, a carta do IBGE georreferenciada (registrada).

4.2.4.2 Correção topográfica das imagens do CCD/CBERS-2

As correções radiométricas dos efeitos topográficos nas imagens são importantes sob o ponto de vista da qualidade nos valores obtidos, todavia, segundo Cunha (2001), elas são caras e as vezes impossíveis de serem realizadas, por dependerem de informações muitas vezes não disponíveis. Além disso, o efeito da atenuação topográfica é importante quando se utiliza imagens de regiões montanhosas.

Portanto, apesar de ser uma variável que pode representar alterações nos valores de FRBS, ou seja, na caracterização espectral dos alvos, neste trabalho, estes efeitos foram desconsiderados em virtude das áreas se encontrarem numa região plana, com declividade em torno de 5% e também devido ao processo de normalização radiométrica aplicado às imagens utilizadas.

4.2.4.3 Correção atmosférica da imagem “referência”

O processo de correção atmosférica foi realizado na imagem 2, adquirida no dia 17 maio de 2005, foi selecionada como “referência” (SILVA et al. 2003) para o posterior processo de normalização das imagens “ajuste” 1 e 3, devido ter sido obtida em melhores condições de visibilidade. A correção foi efetuada de acordo com o procedimento do fluxograma da Figura 22. Como resultado, a imagem “referência” teve os valores de NDs convertidos diretamente para Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície (FRBS).

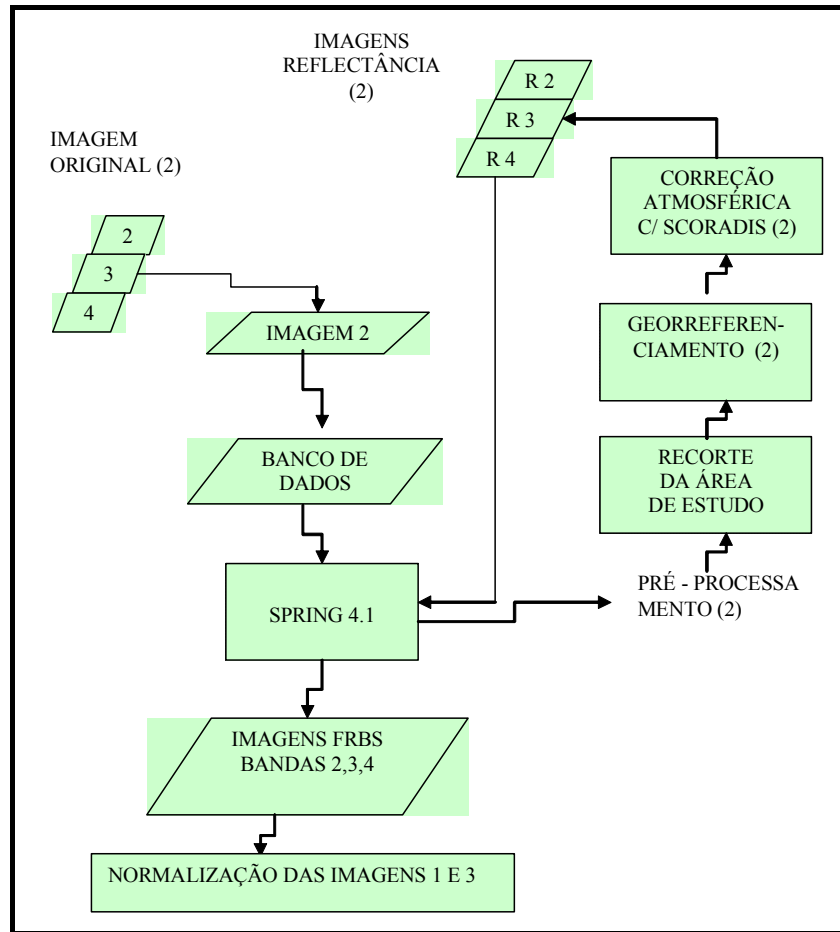


Figura 22 - Fluxograma da correção atmosférica da imagem “referência”

O programa SCORADIS - Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Sensoriamento Remoto, utilizado para a correção atmosférica, foi desenvolvido pelo CEPAGRI/UNICAMP (ZULLO JR; BEZERRA, 1993), e tem como base o modelo de transferência radiativa 5S (Simulação do Sinal do Satélite dentro do Espectro Solar) do Laboratório de Stica Atmosférica (TANRÉ *et al.* 1990). Este aplicativo foi desenvolvido a partir de trabalhos experimentais realizados nas condições brasileiras de atmosfera, clima e disponibilidade de dados. A tela constante na Figura 23 ilustra a idéia do programa.

Para tanto, a imagem “referência”, nas bandas B2, B3 e B4, originalmente em formato GEOTIFF, foi importada para o banco de dados pelo SPRING 4.1.1. Após, a área de estudo ter sido recortada, ela foi georreferenciada e exportada, em formato RAW, ao diretório do programa SCORADIS.

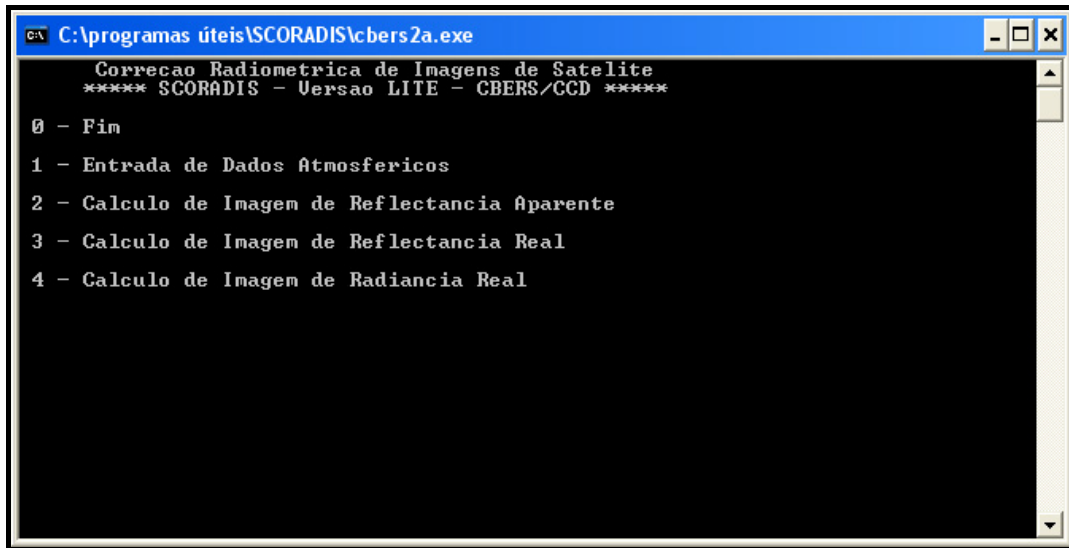


Figura 23 - Programa Scoradis.

Assim, em cada uma das bandas da imagem, os efeitos da atmosfera foram corrigidos e a imagem original transformada em imagem reflectância de superfície, onde é possível a obtenção dos valores de FRBS.

Os parâmetros necessários à correção atmosférica realizada através do programa SCORADIS (ZULLO JR.;BEZERRA, 1993; ZULLO JR., 1994) e utilizados para a imagem de referência foram os seguintes:

- Dia da aquisição da imagem
- Mês da aquisição da imagem
- Hora decimal universal
- Longitude e Latitude do centro da cena
- Modelo atmosférico: tropical;
- Modelo de aerossol: continental;
- Concentração de aerossóis: a partir da visibilidade;
- Visibilidade: 30km;
- Seleção de bandas: B2, B3 e B4.

4.2.4.4 Transformação de NDs em imagem reflectância

Nas demais imagens, isto é, nas imagens “ajuste” 1 e 3, foram feitas as conversões dos NDs para Fatores de Reflectância Bidirecional Aparente (FRBA), ou seja, reflectância planetária aparente (reflectância da superfície mais atmosfera a nível de satélite) e escalonada em níveis de cinza de acordo com o número de bits da imagem pelo aplicativo REFLETE, processo este desenvolvido através de uma rotina escrita em linguagem do módulo LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), próprio do ambiente SPRING conforme algoritmo visto no Anexo 1. Neste programa foram utilizados os ângulos de elevação solar e os índices de calibração máximos e mínimos e os valores de irradiância solar estimados no topo da atmosfera, correspondentes a cada banda espectral das imagens do sensor CCD/CBERS-2 na obtenção dos FRBA. Após este procedimento, as imagens resultantes estavam prontas para o processo de normalização.

Com o processo de conversão em imagens reflectância aparente, o nível de cinza 0 (zero), presente na imagem originais, passa a corresponder a reflectância 0% e o nível de cinza 255 corresponderá à reflectância 100% na imagem reflectância. Para extrair os verdadeiros valores de FRBA (Fator de Reflectância Bidirecional) os NDs das imagens resultantes foram divididos por 255.

4.2.4.5 Normalização radiométrica das imagens CCD/CBERS-2

Segundo Silva *et al.* (2003), quando as imagens são adquiridas em datas distintas, elas apresentam-se sob diferentes condições atmosféricas e de iluminação. A fim de amenizar a diferença entre as respostas comuns de diferentes alvos presentes nas cenas, procedimentos de correção atmosférica e de normalização relativa têm sido recomendados por alguns autores (CHAVEZ, 1988; SCHOTT; SALVAGGIO; VOLCHOK, 1988; HALL *et al.* 1991; VERMOTE *et al.* 1997).

O processo de normalização radiométrica das imagens foi feito tendo como base o trabalho desenvolvido por Hall *et al.* (1991), utiliza-se das imagens de reflectância e se fundamenta no estabelecimento de regressões lineares estabelecidas mediante a identificação de uma série de controle radiométrico constituída por valores de FRBS oriundos de objetos invariantes claros e escuros. Por isso, inicialmente, as imagens tiveram os valores de NDs convertidos para Fatores de Reflectância Bidirecional Aparente (FRBA) para depois serem normalizadas no sentido de se obter os fatores de Reflectância Bidirecional de Superfície (FRBS) conforme o fluxograma da Figura 24.

Sendo assim, as imagens “ajuste”1 e 3, nas bandas B2, B3 e B4 obtidas respectivamente nos meses junho de 2004 e julho de 2005 foram normalizadas tendo como referência a imagem 1 do dia 17 de maio de 2005.

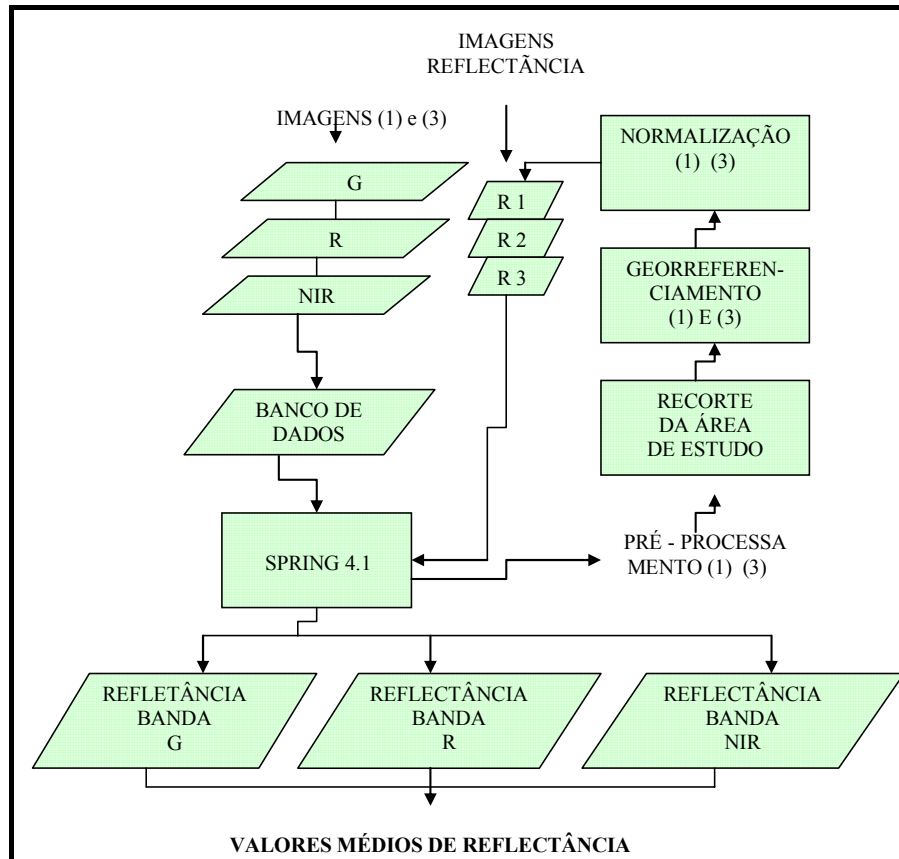


Figura 24 - Fluxograma de normalização radiométrica das imagens “ajuste”

Neste procedimento, utilizou-se das médias de alvos claros e escuros pseudo invariantes presentes na cena (SILVA *et al.* 2003), e que foram usados para encontrar a relação entre cada imagem “ajuste” e a imagem referência (HILL; STURM, 1991). Conforme Casselles e Lopez Garcia (1989), imagens de diferentes datas de aquisição podem ser comparadas ajustando uma função de regressão entre alvos referência claros e escuros e assumindo reflectância estável.

Desta maneira, as imagens “ajuste” foram reexportadas para o SPRING 4.2, onde o procedimento de normalização das imagens foi realizado conforme o fluxograma da Figura 25.

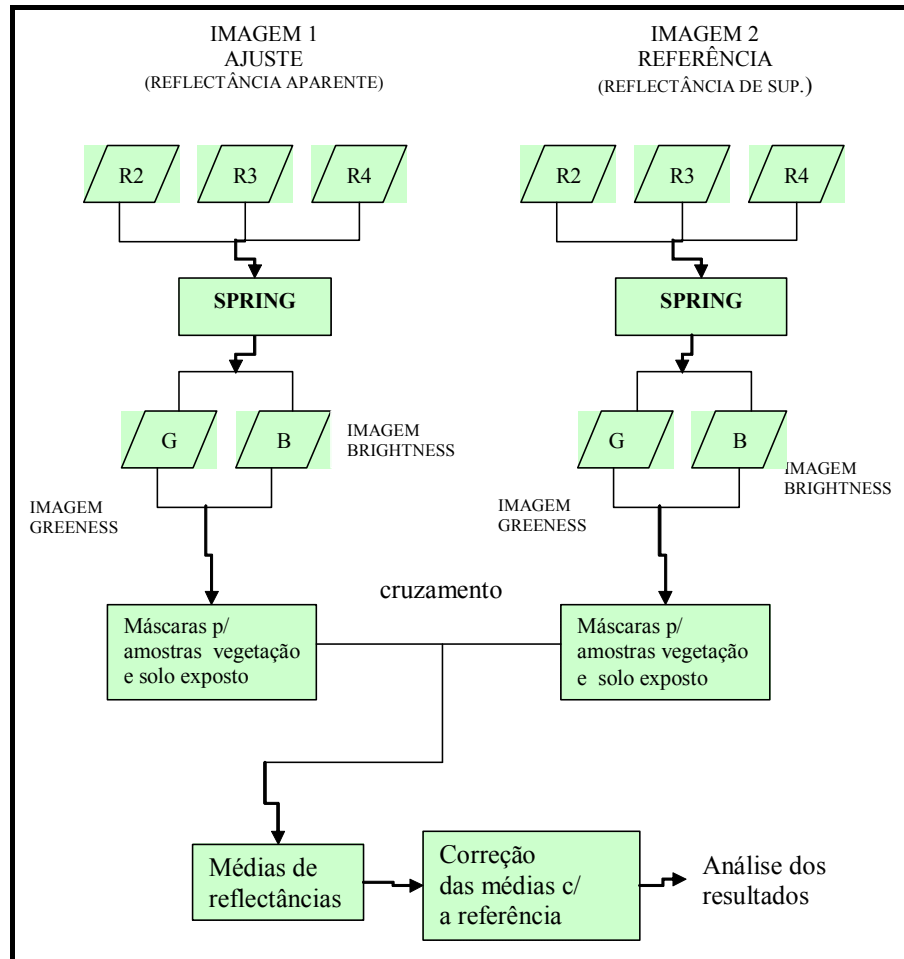


Figura 25 - Procedimento de normalização

Portanto, para normalizar radiometricamente as imagens de ajuste 1 e 3, foram utilizados os algoritmos baseado na média de valores de reflectância de pontos de controle radiométricos, pseudo-invariantes, claros e escuros, entre as cenas. Para a escolha dos alvos pseudo invariantes foram originadas as duas primeiras componentes da transformação “Tasseled Cap”, ou seja, “Brightness e Greenness” (KAUTH; THOMAS, 1976), que fornecem os dados de entrada do modelo de retificação radiométrica, sendo que para tanto foram utilizados os coeficientes apresentados por Crist e Cicone (1984b) apresentados na Tabela 9, específicos para o sensor TM/Landsat 5.

Os coeficientes de “greenness” e “brightness” têm sido publicados para o sensor MSS, TM, ETM+, todavia, justifica-se a utilização os coeficientes de “greenness” e “brightness” na normalização de imagens do sensor CCD tais como foi feito neste trabalho devido a inexistência de dados publicados para este sensor.

Tabela 9 - Valores de coeficientes para as componentes “Greenness e Brightness”

Trabalho	Sensor	“Brightness”					
		Banda					
		1	2	3	4	5	7
Crist e Cicone (1984a)	TM(simulado)	0,3318	0,3312	0,5518	0,4251	0,4809	0,2525
Crist e Cicone (1984b)	TM	0.3037	0.2793*	0.4743*	0.5585*	0.5082	0.1863
Huang et al. (2002)	ETM+	0.3561	0.3972	0.3904	0.6966	0.2286	0.1596
Trabalho	Sensor	“Greenness”					
		Banda					
		1	2	3	4	5	7
Crist e Cicone (1984a)	TM (simulado)	-0,2472	-0,1626	-0,4064	0,8549	0,0549	0,1175
Crist e Cicone (1984b)	TM	-0,2848	-0,2435*	-0,5436*	0,7243*	0,0840	-0,1800
Huang et al. (2002)	ETM+	-0,3344	-0,3544	-0,4556	0,6966	-0,0242	-0,2630

* valores utilizados

Fonte: Gleriani, Antunes e Epiphanyo, (2003).

Com isto, um novo sistema de coordenadas foi definido para representar as linhas de solo e as regiões de água ou vegetação contidas nas imagens.

O procedimento de normalização foi efetuado em modelo de linguagem do módulo LEGAL do aplicativo SPRING 4.1.1, e teve a seguinte seqüência:

- 1- Obtenção das imagens verdor (Greenness) e brilho (Brightness) por meio do programa GRBR (Anexo 2), a partir das imagens reflectância das bandas B2, B3 e B4 dos sensores CCD (KAUTH; THOMAS, 1976; HALL *et al.*,1991);
- 2- Obtenção de máscaras de alvos claros e escuros nas imagens Greenness e Brightness, através da ferramenta “fatiamento”, ou seja, geração de imagens temáticas a partir de uma grade numérica retangular, correspondendo a intervalos de valores de reflectância. As faixas de pontos claros e escuros (Anexo 3) foram definidas através da visualização simultânea das componentes “Brightness e Greenness” referentes às imagens das três datas;

- 3- Cruzamento entre as máscaras dos pontos claros das imagens Greenness e Brightness e cruzamento entre os pontos escuros das imagens Greenness e Brightness (Anexo 4);
- 4- Determinação das médias das máscaras sobre as imagens resultantes do cruzamento dos alvos claros e escuros, respectivamente das imagens Greenness e Brightness (Anexo 5), As médias das máscaras de cruzamento dos pontos claros e escuros foram calculadas para as imagens de referência e para as imagens a serem normalizadas (1 e 3). Estas médias foram utilizadas como dados de entrada no programa de normalização;
- 5- Restituição (normalização) das médias das imagens ajuste, obtidas na etapa anterior através das imagens Greenness e Brightness em função da média da imagem de referência de 17/05/2005 (Anexo 6);
- 6- Obtenção das médias retificadas dos pontos claros e escuros nas imagens ajuste (Anexo 7);
- 7- Análise dos resultados, consistindo na sobreposição dos gráficos dos resultados da retificação das imagens “ajuste” sobre o gráfico dos valores de FRBS da imagem referência para verificar a qualidade da retificação. Este procedimento foi realizado por meio do programa EXCEL.

Vale dizer que ao final do procedimento de normalização radiométrica os valores de FRBA das imagens “ajuste” passaram a ser considerados como FRBS devido à promoção da compatibilidade radiométrica.

Com o processo de conversão em imagens reflectância de superfície, o nível de cinza 0 (zero), presente na imagem originais, passa a corresponder a reflectância 0% e o nível de cinza 255 corresponderá à reflectância 100% na imagem reflectância. Para extrair os

verdadeiros valores de FRBS (Fator de Reflectância Bidirecional) os NDs das imagens resultantes foram divididos por 255.

4.2.5 Obtenção dos dados estatísticos de imagem por polígono

Os dados foram obtidos após o pré-processamento das imagens, no aplicativo SPRING 4.1.1, da seguinte forma:

- 1- Geração de categoria temática contendo quatro classes, duas para cultura sadia das áreas A e B, e duas para a cultura doente das áreas A e B. Após foram editados os planos de informação para cada uma das classes definidas;
- 2- Dentro dos Planos de Informação (PIs), através de edição vetorial, foram inseridos os polígonos referente classe associada.
- 3- Ao conjunto aplicou-se a estatística de imagem por polígono, obtendo-se um relatório de dados contendo informações estatísticas para cada banda das imagens;
- 4- Os valores médios da reflectância obtidos foram exportados para uma planilha no EXCEL para a sua análise estatística.

O valor médio de FRBS do dossel da cultura, em cada área corresponde a média dos valores dos pixels de cada polígono em cada banda da imagem (BLACKMER; WHITE, 1996) ao nível da superfície. Os dados obtidos foram inicialmente analisados quanto a sua condição de distribuição normal ou não, em cada banda, utilizando-se para tanto do teste estatístico de ANDERSON-DARLING. Com isso foi possível definir o tipo de teste a ser aplicado na análise estatística, ou seja, teste paramétrico para amostras com distribuição normal e não paramétrico para amostras sem distribuição normal.

Para a análise estatística, as amostras da área B de Junho de 2004 e Maio de 2005 foram consideradas amostras “dependentes” pois se referem a mesma área e com os mesmos elementos componentes.

Nas amostras com distribuição normal foi feito uma comparação entre duas médias de populações, sendo aplicado o teste *t pareado* (para pares de observação) a partir de amostras dependentes, com as seguintes hipóteses:

- $H_0: \mu_i = \mu_j \quad i = 1, \dots, n$
- $H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad j = 1, \dots, n$

onde “i” é o valor médio do FRBS do polígono da área doente obtido para cada banda da imagem CCD, e “j” é o valor FRBS do polígono da área sadia (Área_B_MAI_05) obtido para cada banda da imagem CCD.

Nas amostras que não apresentaram distribuição normal, foi feito a comparação entre duas médias de populações (dependentes), sendo aplicado o teste de WILCOXON para dados pareados (teste não paramétrico) para verificar se há diferença entre a área B de Junho de 2004 e de Maio de 2005. O teste teve como base as seguintes hipóteses:

- $H_0: \mu_i = \mu_j \quad i = 1, \dots, n$
- $H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad j = 1, \dots, n$

onde “i” é o valor médio do FRBS do polígono da área doente obtido para cada banda da imagem CCD, e “j” é o valor FRBS do polígono da área sadia (Área_B_MAI_05) obtido para cada banda da imagem CCD.

Na seqüência foram comparadas as amostras das áreas A e B, que por tratar-se amostras independentes foi aplicado o teste de MANN WHITNEY (não paramétrico), onde se comparou duas médias de populações, para cada par de observação, com as seguintes hipóteses:

- $H_0: \mu_i = \mu_j \quad i = 1, \dots, n$

- H1: $\mu_i \neq \mu_j$ $j = 1, \dots, n$

onde “i” é o valor médio do FRBS do polígono da área doente obtido para cada banda da imagem CCD, e “j” é o valor FRBS do polígono da área sadia (Área_B_MAI_05) obtido para cada banda da imagem CCD.

O procedimento posterior foi obter imagens representativas do NDVI e RVI, que foram geradas através do software SPRING 4.1.1 a partir das bandas individuais das imagens georreferenciadas e normalizadas de cada área. Os objetivos foram a obtenção dos valores dos índices, a comparação e a avaliação dos mesmos para as duas áreas estudadas da gramínea *B. brizantha*, submetida ou não, as alterações causadas pela incidência da doença “mela”.

4.2.6 Obtenção dos índices de vegetação

Os índices de vegetação NDVI e RVI e os seus valores foram calculados através de programas em linguagem LEGAL, no SPRING 4.1.1, tendo como base as imagens “reflectância de superfície” da área de estudo, de Junho de 2004 (1) e de Maio de 2005 (2), obtidas nas etapas do processamento digital anterior.

As imagens nas bandas B3 e B4, contendo as áreas A e B, que estavam armazenadas em seus respectivos projetos, categoria e PIs (Planos de Informação), foram transformadas em NDVI e RVI e armazenadas novamente, nos respectivos projetos de cada imagem, em uma categoria numérica denominada de “Índices”. Após este procedimento, à cada imagem foi aplicado a ferramenta “Estatística de imagem por polígono”, de onde se extraiu os dados estatísticos necessários a análise comparativa das área A e B.

Nas imagens obtidas, os níveis de cinza NC(NDVI) das imagens de diferença normalizada (NDVI) foram definidos como sendo tais que $NC(NDVI) = 0$ quando $NDVI = -1$ e $NC(NDVI) = 255$ para $NDVI = +1$. Os níveis de cinza NC(RVI) das imagens de razão simples foram definidos como sendo tais que $NC(RVI) = 0$ quando $RVI = 0$ e $NC(RVI) = 255$ para $RVI = 15$.

Nas imagens NDVI e RVI, os níveis de cinza mais claros expressam valores que representam altos índices de vegetação, enquanto os níveis de cinza mais escuros representam baixos índices de vegetação com níveis de cinza próximo a zero. Estes valores baixos correspondem a alvos urbanos como área construída, solo exposto e água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Índice de Área Foliar

O estudo foi realizado nos períodos de florescimentos das pastagens das duas áreas de interesse, nos anos de 2004 e 2005. O sistema de plantio adotado utilizou a mesma tecnologia agronômica para ambas as áreas e ambos os períodos de estudo, onde se incluiu a adubação de plantio, adubação de cobertura, espaçamento e número de plantas por metro linear (3 plantas/m linear). Além disso, as pastagens foram implantadas em um mesmo tipo de solo, mesma topografia e em mesmas condições climáticas. Desta maneira, as alturas médias das plantas obtidas nos períodos de florescimento das áreas A e B tiveram pouca variação entre si, situando-se em torno de 1,63 metros. Além disso, a distribuição espacial dos elementos da vegetação e as orientações das plantas nos dosséis foram praticamente iguais para as duas áreas e em ambos os períodos de estudo.

Assim sendo, considerando que no período de florescimento, as coberturas vegetais nas pastagens das áreas analisadas estavam próximas a 100%, resultando em dosséis homogêneos, conforme pode ser visto pelas Figuras 26 e 27, e ainda, considerando as características de semelhança entre os dosséis, assumiu-se que não houve variação significativa nas produções de biomassas durante os ciclos das culturas e que as densidades dos elementos da vegetação foram uniformes, ou seja, os Índices de Área Foliar (IAF) das duas áreas estudadas foram semelhantes, nos dois períodos agrícolas, não havendo portanto, alterações substanciais nos valores de FRBS, devido a este parâmetro, nas áreas estudadas.

$$\text{IAF A} \cong \text{IAF B}$$

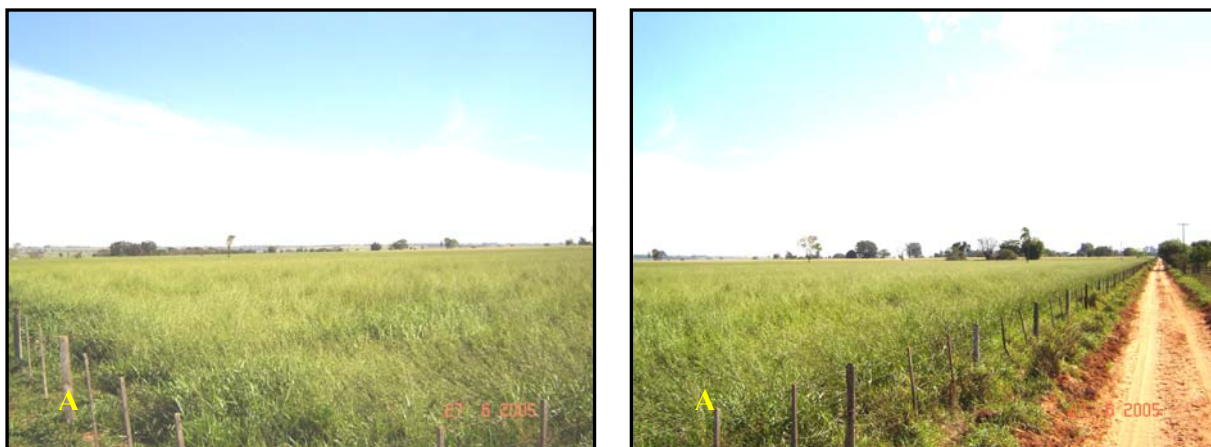


Figura 26 - Dossel da área A no período de florescimento da pastagem. Dia 26/06/05.

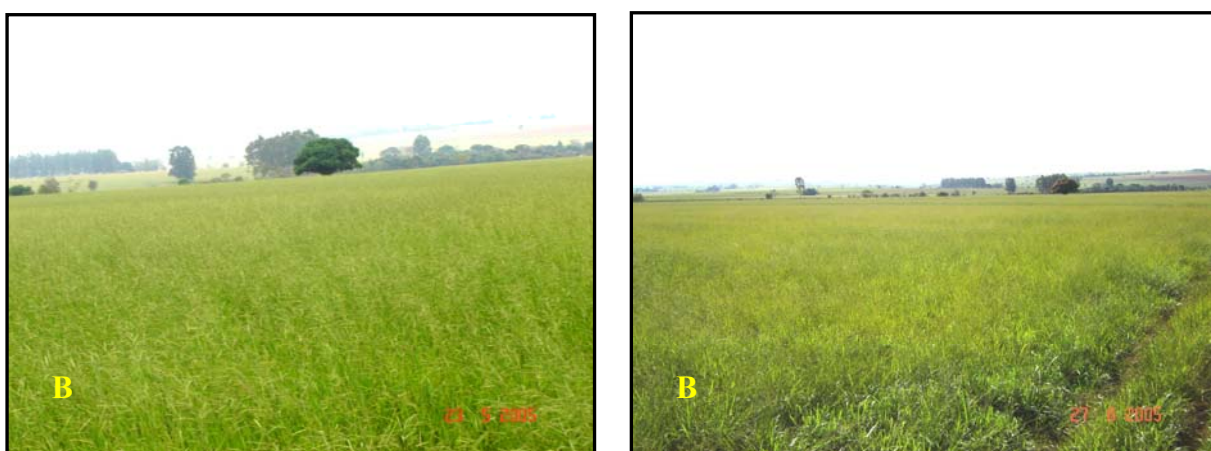


Figura 27 - Dossel da área B no período de florescimento da pastagem. Dia 23/05/05.

5.2 Períodos de florescimento e de incidência da doença

O processo de obtenção das imagens levou em consideração os períodos de máximo florescimento das plantas e de incidência da doença “mela-das-sementes da braquiária” e a disponibilidade das imagens pelo INPE. Como pode ser visto pela Tabela 10, na imagem 1, as áreas A e B tiveram florescimento na mesma época (Junho de 2004), pois ambas foram semeadas em outubro de 2003.

Tabela 10 - Plantio e florescimento das áreas A e B em 2004 e 2005.

Imagem	Área	Plantio*	Florescimento	Doença	Data da imagem
1	A, B	10/03	Jun/04	Sim	13/6/04
2	A	10/04	Jun/05	Não	17/5/05
2	B	10/03	Mai/05	Não	17/5/05
3	A	10/04	Jun/05	Não	08/7/05
3	B	10/03	Mai/05	Não	08/7/05

* mês e ano

Nas imagens 2 e 3, os florescimentos das áreas A e B estão diferenciados, pois as épocas de plantio foram distintas, sendo que área A é uma pastagem de plantio de 1º ano e a área B de plantio de 2º ano, ou seja, a pastagem estabelecida era uma rebrota.

Por outro lado, a obtenção das imagens do presente trabalho foi baseada na influência dos dois principais condicionantes climáticos, temperatura e a precipitação, sobre a incidência da doença “mela”. Pode ser visto pelo Balanço hídrico da região que nos meses de maio e junho do ano de 2004 as precipitações médias da região foram superiores as precipitações do mesmo período de 2005. Ao contrário disso, as temperaturas médias do ano de 2004 foram visivelmente inferiores as temperaturas do ano de 2005. Essas diferenças climáticas contribuíram para explicar a incidência da doença no ano de 2004 e a não incidência no ano de 2005.

Portanto, o conhecimento desses períodos mostrou a correlação das condições climáticas (temperatura amena e chuva) com a incidência da doença e explicou a obtenção da imagem em junho de 2004, ano este que em virtude das condições climáticas terem sido ideais, houve incidência da mesma sobre as duas áreas (A e B). No mês de maio de 2005, a pastagem da área B (plantio em 10/2003) estava em pleno florescimento porém o período não foi propício ao desenvolvimento da doença, possibilitando a obtenção da imagem de área sadia. Na área A, a pastagem floresceu no mês de junho e também não a houve a incidência da doença devido à ausência de condições climáticas ideais para o

desenvolvimento do fungo patogênico. Porém não foi possível obter a imagem (do dia 12/06/2005) da área sadia por problemas técnicos no INPE.

Desta forma, foi possível a obtenção de dados orbitais de duas áreas infectadas em 2004 (A e B) e de uma área sadia em 2005 (B), respectivamente, através das imagens 1 (JUN_04) e 2 (MAI_05). A imagem 3, de JUL_05 foi utilizada apenas como parâmetro para os procedimentos de correção e normalização radiométrica, pois não foi possível utilizar os seus valores de FRBS na comparação com os dados das outras áreas, em virtude da data de sua aquisição não corresponder ao período de máximo florescimento das pastagens (Tabela 10).

5.3 Efeito do estresse hídrico

Considerado um dos fatores diretamente envolvido na interceptação e absorção da energia fotossinteticamente ativa das plantas, o estresse hídrico ocorre quando uma planta é submetida por certo período a um déficit de água, podendo assim causar alterações na curva de reflectância do dossel estudado devido a sua influência sobre o IAF (Índice de Área Foliar) e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) da cultura.

Neste trabalho, a verificação da ocorrência do estresse hídrico é fundamental e foi estudada através da utilização do Índice de Estresse Hídrico da Cultura ou o Crop Water Stress Index (CWSI), modificado para ACWSI (índice de estresse hídrico acumulativo relativo), baseado na relação entre a evapotranspiração real e a potencial e a água disponível no solo (CIIAGRO, 2005). O Balanço Hídrico Climatológico semanal de 2004 e 2005 da área de estudo foi elaborado através do programa computacional desenvolvido por

D'Angiolella e Vasconcellos (2001) com dados obtidos pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO (Figuras 11 e 12). A partir do balanço hídrico foi elaborado o gráfico da variação do teor de umidade do solo.

Tabela 11 - Balanço Hídrico de 2004 – Mirante do Paranapanema

Balanço Hídrico Mirante do Paranapanema 2004											
Período	T C°	P mm	ETP mm	P- ETP	NEG- AC	ARM mm	ALT	ETR mm	DEF mm	EXC mm	DH
05/01/2004 a 11/01/2004	22.9	160.0	23.6	136.4	0.0	100.0	0.0	23.6	0.0	136.4	1.00
12/01/2004 a 18/01/2004	25.1	0.0	30.2	-30.2	-30.2	73.9	-	26.1	4.1	0.0	0.86
19/01/2004 a 25/01/2004	23.8	2.0	26.0	-24.0	-54.1	58.2	-	17.8	8.2	0.0	0.68
26/01/2004 a 01/02/2004	25.1	2.0	29.8	-27.8	-81.9	44.1	-	16.1	13.7	0.0	0.54
02/02/2004 a 08/02/2004	24.6	0.0	28.0	-28.0	-109.9	33.3	-	10.8	17.2	0.0	0.38
09/02/2004 a 15/02/2004	22.6	15.0	22.0	-7.0	-116.9	31.1	-2.2	17.2	4.7	0.0	0.78
16/02/2004 a 22/02/2004	22.4	84.0	21.2	62.8	-6.3	93.9	62.8	21.2	0.0	0.0	1.00
23/02/2004 a 29/02/2004	23.6	14.0	24.2	-10.2	-16.5	84.7	-9.1	23.1	1.1	0.0	0.95
01/03/2004 a 07/03/2004	24.9	19.0	27.7	-8.7	-25.2	77.7	-7.1	26.1	1.6	0.0	0.94
08/03/2004 a 14/03/2004	28.8	15.0	40.7	-25.7	-50.9	60.1	-	32.6	8.1	0.0	0.80
15/03/2004 a 21/03/2004	21.9	54.0	19.0	35.0	-5.0	95.1	35.0	19.0	0.0	0.0	1.00
22/03/2004 a 28/03/2004	21.4	0.0	17.6	-17.6	-22.7	79.7	-	15.4	2.3	0.0	0.87
29/03/2004 a 04/04/2004	24	27.0	23.8	3.2	-18.7	82.9	3.2	23.8	0.0	0.0	1.00
05/04/2004 a 11/04/2004	23.4	2.0	21.9	-19.9	-38.7	67.9	-	17.0	4.9	0.0	0.77
12/04/2004 a 18/04/2004	21.6	19.0	17.4	1.6	-36.3	69.5	1.6	17.4	0.0	0.0	1.00
19/04/2004 a 25/04/2004	21.1	11.0	16.1	-5.1	-41.4	66.1	-3.5	14.5	1.6	0.0	0.90
26/04/2004 a 02/05/2004	19.9	1.0	13.6	-12.6	-54.0	58.3	-7.8	8.8	4.8	0.0	0.65
03/05/2004 a 09/05/2004	21.1	59.0	15.7	43.3	0.0	100.0	41.7	15.7	0.0	1.5	1.00
10/05/2004 a 16/05/2004	16.8	47.0	8.4	38.6	0.0	100.0	0.0	8.4	0.0	38.6	1.00
17/05/2004 a 23/05/2004	15.6	18.0	6.8	11.2	0.0	100.0	0.0	6.8	0.0	11.2	1.00
24/05/2004 a 30/05/2004	15.2	105.0	6.2	98.8	0.0	100.0	0.0	6.2	0.0	98.8	1.00
31/05/2004 a 06/06/2004	15.3	24.0	6.3	17.7	0.0	100.0	0.0	6.3	0.0	17.7	1.00
07/06/2004 a 13/06/2004	13.9	33.0	4.8	28.2	0.0	100.0	0.0	4.8	0.0	28.2	1.00
14/06/2004 a 20/06/2004	16.9	3.0	8.2	-5.2	-5.2	94.9	-5.1	8.1	0.1	0.0	0.98
21/06/2004 a 27/06/2004	17.8	19.0	9.5	9.5	0.0	100.0	5.1	9.5	0.0	4.4	1.00
28/06/2004 a 04/07/2004	18.5	6.0	10.5	-4.5	-4.5	95.6	-4.4	10.4	0.1	0.0	0.99
05/07/2004 a 11/07/2004	18.6	57.0	10.7	46.3	0.0	100.0	4.4	10.7	0.0	41.9	1.00
12/07/2004 a 18/07/2004	23	6.0	19.2	-13.2	-13.2	87.6	-	18.4	0.8	0.0	0.96
19/07/2004 a 25/07/2004	18.9	10.0	11.3	-1.3	-14.6	86.4	-1.2	11.2	0.2	0.0	0.98
26/07/2004 a 01/08/2004	18.5	0.0	10.8	-10.8	-25.4	77.6	-8.8	8.8	1.9	0.0	0.82
02/08/2004 a 08/08/2004	19.2	0.0	12.1	-12.1	-37.4	68.8	-8.8	8.8	3.2	0.0	0.73
09/08/2004 a 15/08/2004	19.6	0.0	12.9	-12.9	-50.3	60.5	-8.3	8.3	4.6	0.0	0.65
16/08/2004 a 22/08/2004	20.7	0.0	15.1	-15.1	-65.5	52.0	-8.5	8.5	6.6	0.0	0.56
23/08/2004 a 29/08/2004	21.6	0.0	17.2	-17.2	-82.7	43.7	-8.2	8.2	9.0	0.0	0.48
30/08/2004 a 05/09/2004	24.6	0.0	24.9	-24.9	-107.5	34.1	-9.6	9.6	15.2	0.0	0.39
06/09/2004 a 12/09/2004	24.9	0.0	26.0	-26.0	-133.6	26.3	-7.8	7.8	18.2	0.0	0.30
20/09/2004 a 26/09/2004	18.1	12.0	11.1	0.9	-130.1	27.2	0.9	11.1	0.0	0.0	1.00
27/09/2004 a 03/10/2004	24.6	0.0	25.9	-25.9	-155.9	21.0	-6.2	6.2	19.7	0.0	0.24
04/10/2004 a 10/10/2004	22.4	14.0	20.3	-6.3	-162.2	19.7	-1.3	15.3	5.0	0.0	0.75
11/10/2004 a 17/10/2004	19	2.0	13.1	-11.1	-173.3	17.7	-2.1	4.1	9.0	0.0	0.31
18/10/2004 a 24/10/2004	20.1	63.0	15.5	47.5	-42.8	65.2	47.5	15.5	0.0	0.0	1.00
25/10/2004 a 31/10/2004	19.5	131.0	14.4	116.6	0.0	100.0	34.8	14.4	0.0	81.8	1.00
01/11/2004 a 07/11/2004	19.8	25.0	15.2	9.8	0.0	100.0	0.0	15.2	0.0	9.8	1.00
08/11/2004 a 14/11/2004	21.7	133.0	19.7	113.3	0.0	100.0	0.0	19.7	0.0	113.3	1.00
15/11/2004 a 21/11/2004	21.6	25.0	19.6	5.4	0.0	100.0	0.0	19.6	0.0	5.4	1.00
22/11/2004 a 28/11/2004	20.5	32.0	17.2	14.8	0.0	100.0	0.0	17.2	0.0	14.8	1.00
29/11/2004 a 05/12/2004	26.1	0.0	33.4	-33.4	-33.4	71.6	-	28.4	5.0	0.0	0.85
06/12/2004 a 12/12/2004	25.1	36.0	30.2	5.8	-25.6	77.4	5.8	30.2	0.0	0.0	1.00
13/12/2004 a 19/12/2004	22.1	51.0	21.4	29.6	0.0	100.0	22.6	21.4	0.0	6.9	1.00
20/12/2004 a 26/12/2004	26.2	21.0	34.2	-13.2	-13.2	87.6	-	33.4	0.8	0.0	0.98
27/12/2004 a 02/01/2005	22.0	32.0	21.2	10.8	-1.6	98.4	10.8	21.2	0.0	0.0	1.00
TOTAIS	21.1	1249.0	844.9	404.1	-	-	-	673.7	462.2	603.7	-

Fonte: Elaborado a partir de dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - CIIAGRO – SP

O Balanço Hídrico do ano de 2004 da região de Mirante do Paranapanema (Tabela 11) mostra que as condições de suprimento da água no solo neste ano foi amplamente satisfeita, ou seja, praticamente não ocorreu deficiência hídrica durante o período estudado, exceto na primeira semana de fevereiro, não chegando a representar risco para o bom desenvolvimento da gramínea.

De qualquer forma, a existência ou não de estresse hídrico à pastagem, foi constatada calculando primeiro a Disponibilidade Hídrica - DH, mediante a razão entre a ETR e a ETo ($DH = ETR / ETo$). É visto pela Tabela 11, que no ano de 2004, no mês de junho, os valores de DH se situaram em torno de 1,0, o que demonstra alta disponibilidade de água do solo às plantas. Neste ano não houve estresse hídrico.

Porém em 2005 a situação foi contrária. Os déficits hídricos foram constantes, o que, mesmos não sendo de grande magnitude, reduziram o teor de água dos solos. Os valores de DH, que podem ser visto na Tabela 12, foram menores e em alguns períodos estiveram bem abaixo de 0,4, o que representou baixa disponibilidade de água para as plantas.

Tabela 12 - Balanço Hídrico de 2005 – Mirante do Paranapanema

Balanço Hídrico Mirante do Paranapanema 2005											
Período	T C°	P mm	ETP mm	P- ETP	NEG- AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm	DH
03/01/2005 a 09/01/2005	26.9	75.0	36.6	38.4	0.0	100.0	1.6	36.6	0.0	36.8	1.00
10/01/2005 a 16/01/2005	26.9	70.0	36.5	33.5	0.0	100.0	0.0	36.5	0.0	33.5	1.00
17/01/2005 a 23/01/2005	25.1	203.0	30.0	173.0	0.0	100.0	0.0	30.0	0.0	173.0	1.00
24/01/2005 a 30/01/2005	23.7	40.0	25.5	14.5	0.0	100.0	0.0	25.5	0.0	14.5	1.00
31/01/2005 a 06/02/2005	25.3	13.0	30.2	-17.2	-17.2	84.2	-	28.8	1.4	0.0	0.95
07/02/2005 a 13/02/2005	25.2	0.0	29.6	-29.6	-46.8	62.7	-	21.6	8.0	0.0	0.73
14/02/2005 a 20/02/2005	26.2	0.0	32.5	-32.5	-79.3	45.2	-	17.4	15.1	0.0	0.53
21/02/2005 a 27/02/2005	27.9	0.0	38.2	-38.2	-117.5	30.9	-	14.4	23.8	0.0	0.38
28/02/2005 a 06/03/2005	27.5	0.0	36.3	-36.3	-153.8	21.5	-9.4	9.4	26.9	0.0	0.26
07/03/2005 a 13/03/2005	29.6	0.0	43.8	-43.8	-197.6	13.9	-7.6	7.6	36.2	0.0	0.17
14/03/2005 a 20/03/2005	26.9	19.0	33.3	-14.3	-212.0	12.0	-1.9	20.9	12.5	0.0	0.63
21/03/2005 a 27/03/2005	26.0	11.0	30.0	-19.0	-231.0	9.9	-2.1	13.1	16.9	0.0	0.44
28/03/2005 a 03/04/2005	27.1	0.0	33.1	-33.1	-264.1	7.1	-2.8	2.8	30.3	0.0	0.08
04/04/2005 a 10/04/2005	26.9	14.0	32.1	-18.1	-282.2	6.0	-1.2	15.2	16.9	0.0	0.47
11/04/2005 a 17/04/2005	27.7	0.0	34.3	-34.3	-316.4	4.2	-1.7	1.7	32.6	0.0	0.05
18/04/2005 a 24/04/2005	26.1	59.0	28.8	30.2	-106.6	34.4	30.2	28.8	0.0	0.0	1.00
25/04/2005 a 01/05/2005	21.1	24.0	15.9	8.1	-85.5	42.5	8.1	15.9	0.0	0.0	1.00
02/05/2005 a 08/05/2005	22.1	0.0	17.8	-17.8	-103.3	35.6	-7.0	7.0	10.9	0.0	0.39
09/05/2005 a 15/05/2005	24.7	0.0	23.9	-23.9	-127.3	28.0	-7.6	7.6	16.3	0.0	0.32
16/05/2005 a 22/05/2005	26.4	0.0	28.4	-28.4	-155.6	21.1	-6.9	6.9	21.5	0.0	0.24
23/05/2005 a 29/05/2005	22.6	63.0	18.4	44.6	-42.1	65.7	44.6	18.4	0.0	0.0	1.00
30/05/2005 a 05/06/2005	25.2	0.0	24.6	-24.6	-66.7	51.3	-	14.3	10.3	0.0	0.58
06/06/2005 a 12/06/2005	24.5	0.0	22.7	-22.7	-89.4	40.9	-	10.4	12.3	0.0	0.46
13/06/2005 a 19/06/2005	23.8	8.0	20.9	-12.9	-102.3	35.9	-5.0	13.0	8.0	0.0	0.62
20/06/2005 a 26/06/2005	21.8	37.0	16.4	20.6	-57.1	56.5	20.6	16.4	0.0	0.0	1.00
27/06/2005 a 03/07/2005	24.3	0.0	22.1	-22.1	-79.3	45.3	-	11.2	10.9	0.0	0.51
04/07/2005 a 10/07/2005	21.5	0.0	15.9	-15.9	-95.2	38.6	-6.7	6.7	9.3	0.0	0.42
11/07/2005 a 17/07/2005	19.4	0.0	12.1	-12.1	-107.3	34.2	-4.4	4.4	7.7	0.0	0.36
18/07/2005 a 24/07/2005	17.7	0.0	9.5	-9.5	-116.7	31.1	-3.1	3.1	6.4	0.0	0.33
25/07/2005 a 31/07/2005	22.3	0.0	18.0	-18.0	-134.7	26.0	-5.1	5.1	12.8	0.0	0.28
08/08/2005 a 14/08/2005	20.0	0.0	13.5	-13.5	-148.2	22.7	-3.3	3.3	10.2	0.0	0.24
15/08/2005 a 21/08/2005	23.3	18.8	20.7	-1.9	-150.0	22.3	-0.4	19.2	1.4	0.0	0.93
22/08/2005 a 28/08/2005	24.1	22.5	22.9	-0.4	-150.5	22.2	-0.1	22.6	0.3	0.0	0.99
29/08/2005 a 04/09/2005	24.7	0.0	24.8	-24.8	-175.3	17.3	-4.9	4.9	19.9	0.0	0.20
05/09/2005 a 11/09/2005	24.3	2.2	24.1	-21.9	-197.1	13.9	-3.4	5.6	18.4	0.0	0.23
12/09/2005 a 18/09/2005	21.4	12.5	17.2	-4.7	-201.9	13.3	-0.6	13.1	4.1	0.0	0.76
19/09/2005 a 25/09/2005	21.4	109.8	17.5	92.3	0.0	100.0	86.7	17.5	0.0	5.6	1.00
26/09/2005 a 02/10/2005	22.9	0.0	21.3	-21.3	-21.3	80.8	-	19.2	2.1	0.0	0.90
03/10/2005 a 09/10/2005	25.1	3.0	27.7	-24.7	-46.0	63.2	-	20.7	7.0	0.0	0.75
10/10/2005 a 16/10/2005	26.1	24.8	31.2	-6.4	-52.3	59.3	-3.9	28.7	2.5	0.0	0.92
17/10/2005 a 23/10/2005	23.3	37.3	23.2	14.1	-30.9	73.4	14.1	23.2	0.0	0.0	1.00
24/10/2005 a 30/10/2005	26.1	61.0	31.9	29.1	0.0	100.0	26.6	31.9	0.0	2.5	1.00
31/10/2005 a 06/11/2005	24.4	0.0	26.9	-26.9	-26.9	76.4	-	23.6	3.3	0.0	0.88
07/11/2005 a 13/11/2005	26.2	0.0	33.0	-33.0	-59.8	55.0	-	21.5	11.5	0.0	0.65
14/11/2005 a 20/11/2005	28.9	0.0	43.5	-43.5	-103.3	35.6	-	19.4	24.1	0.0	0.45
21/11/2005 a 27/11/2005	26.7	20.0	35.3	-15.3	-118.6	30.5	-5.1	25.1	10.3	0.0	0.71
28/11/2005 a 04/12/2005	26.0	40.0	33.1	6.9	-98.2	37.5	6.9	33.1	0.0	0.0	1.00
TOTAIS	24.6	987.9	1245.1	-	-	-	-	782.9	-	265.9	-

Fonte: Elaborado a partir de dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
 CIAGRO – SP (2005).

O Balanço Hídrico de 2005 está resumido no gráfico da Figura 28, onde são vistos os períodos de déficit hídrico neste ano. Verifica-se que os períodos foram curtos e por isso não suficientes para afetar o desenvolvimento vegetativo das pastagens.

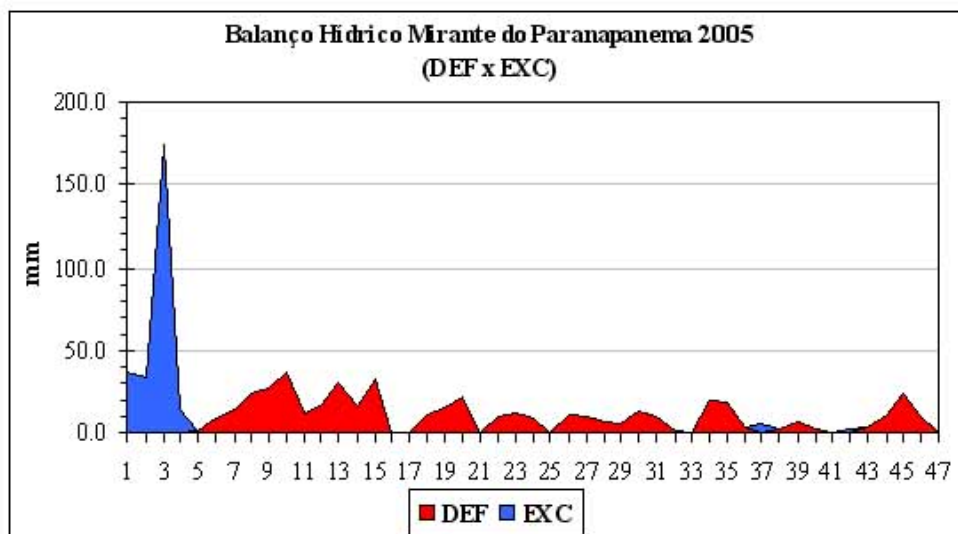


Figura 28 - Gráfico do Balanço Hídrico de Mirante do Paranapanema de 2005
Baseado em D'angiolella e Vasconcellos (2001).

Foi possível também estabelecer o gráfico da variação da umidade do solo, onde, considerando-se o limite de 60% ou 0,60 de disponibilidade hídrica, é mostrado o armazenamento de água no solo, conforme Figura 29.

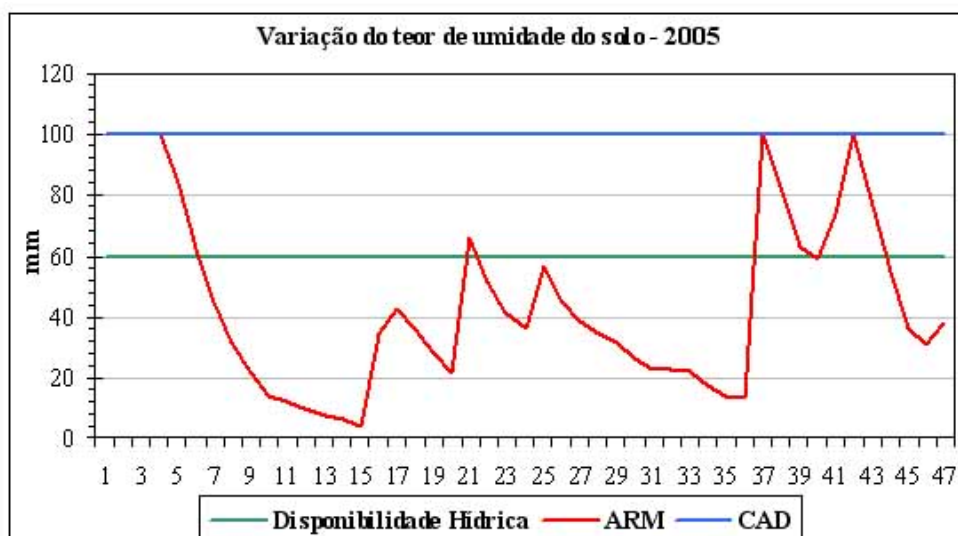


Figura 29 - Gráfico da variação do teor de umidade do solo de Mirante do Paranapanema em 2005.
Baseado em D'angiolella e Vasconcellos (2001).

Posteriormente, a partir da DH foi calculado o valor de ACWS (índice de estresse hídrico acumulativo relativo) para o período que vai do dia 15/05/2005 ao dia 18/05/2005, pois a obtenção da imagem “2” foi no dia 17/05/2005. Assim sendo, foi possível obter as condições para desenvolvimento vegetal acumulativa na área de estudo (Tabela 13)

para este período. Deve ser considerado que as pastagens de *Brachiaria Brizantha* MG-5, originadas de regiões de baixa pluviosidade da África, tem boa tolerância às condições de déficit hídrico, sendo que por isso considerou-se a profundidade de 75 cm na extração da informação na Tabela 13.

Tabela 13 – Condições para desenvolvimento vegetal acumulativa

Condições Médias de Estresse Hídrico da Cultura: 15/05/2005 – 18/05/2005			
Local	Profundidade	ACWS	Condições
Mirante do Paranapanema	25	1,00	Criticas
Mirante do Paranapanema	50	0,85	Criticas
Mirante do Paranapanema	75	0,85	Criticas
Mirante do Paranapanema	100	0,85	Criticas

Exemplos de Culturas por profundidade:

25 cm: batata, cebola, alho, arroz, hortaliças, feijoeiro

50 cm: feijoeiro, amendoim, milho, sorgo

75 cm: soja, citrus, cafeeiro, cana-de-açúcar, algodão, pastagens

100 cm: cafeeiro, citrus, cana-de-açúcar

Fonte: Adaptado de INFOSECA-CIIAGRO (2006)

Devido o período de máximo florescimento corresponder ao período de maior demanda de água pelas plantas pode-se constatar que houve condições para o estresse hídrico na pastagem da área B neste período. Desta forma, duas observações ficaram evidentes. Primeiro, que não houve o efeito interativo entre o estresse hídrico e a densidade de plantio nos parâmetros estudados, o que não afetou o IAF – Índice de Área Foliar nas pastagens das áreas A e B, durante o decorrer de seus ciclos. E em segundo, que a ocorrência de baixa disponibilidade hídrica no solo no dia 17 de maio de 2005, data da imagem, possibilitou a condição de ocorrência de estresse hídrico na região de estudo e pode ter influenciado, neste ano, com aumento nos valores de reflectância na banda do vermelho (B3) e do infravermelho próximo da pastagem da área B.

5.4 Transformação dos NDs em FRBA

A transformação de imagens em NDs para imagens em FRBA – Fator de Reflectância Bidirecional Aparente foi feita nas imagens “ajuste” 1, de JUN_04 e 3, de JUL_05. Os números digitais, originais da imagem, foram transformados em valores de reflectância aparente através do programa REFLETE.

Os resultados podem ser vistos na Figura 30 e mostram a transformação nas três bandas, de um alvo escuro qualquer da área de estudo, com a maior alteração dos valores ocorrendo na banda B2 do visível.

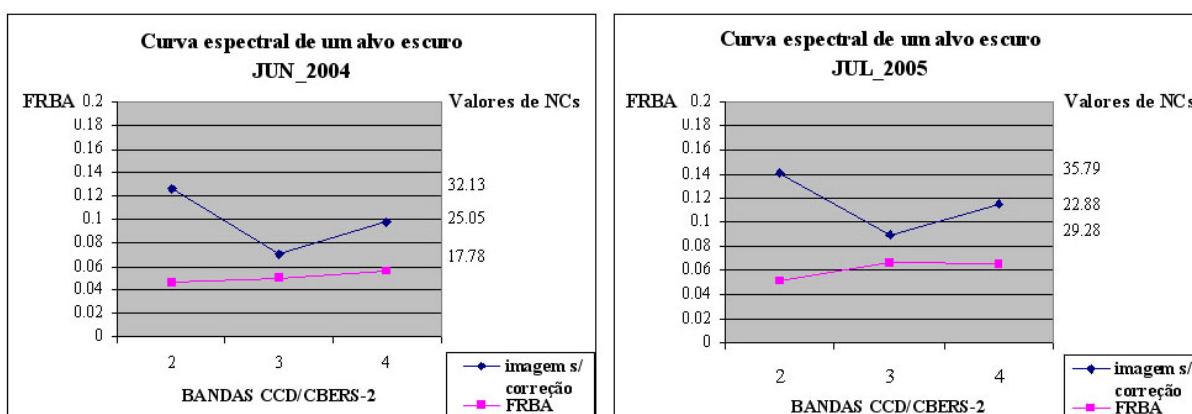


Figura 30 - Obtenção de imagens “reflectância aparente”

5.5 Correção atmosférica

A imagem de “referência” (2) foi transformada em imagem “reflectância de superfície” com a aplicação do procedimento de correção atmosférica, realizada através do aplicativo SCORADIS, de onde se obteve os valores de FRBS – Fator de Reflectância

Bidirecional de Superfície. O resultado da correção atmosférica da imagem 2 (MAI_05) é mostrado na Figura 31.



Figura 31 - Imagem CCD na banda 3, da área de estudo, com correção atmosférica (Maio 2005).

A correção da interferência atmosférica realizada na imagem “referência” transformou diretamente a imagem de seu formato original em NCs para a imagem em valores de FRBS. O processo apresentou resultados satisfatórios nas três bandas, ou seja, B2, B3 e B4, como pode ser observado pela análise do gráfico apresentado na Figura 32, onde são apresentados as curvas dos valores de NCs e de FRBS de um alvo pseudo invariante escuro. Observa-se que a curva resultante da correção atmosférica apresenta forma típica de um solo desprovido de cobertura vegetal.

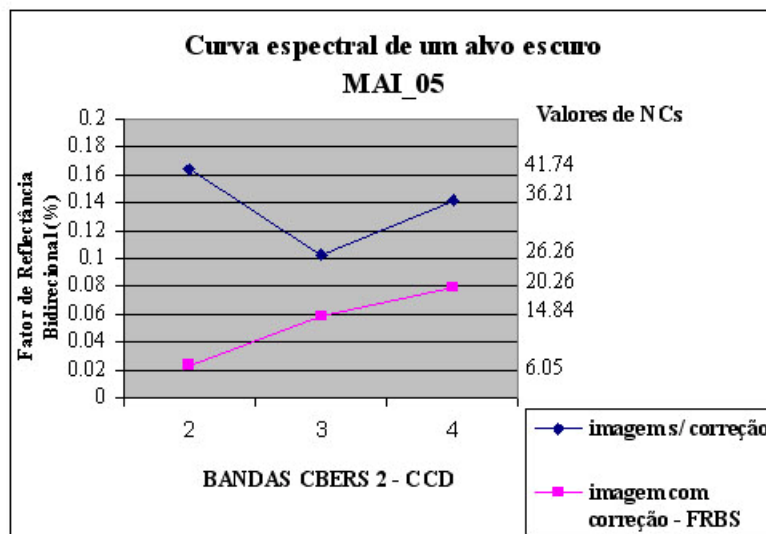


Figura 32 - Comparação entre dados da imagem original e da imagem com correção atmosférica

Observa-se também que a maior correção se deu na Banda B2 em função provavelmente do efeito do espalhamento atmosférico. Na banda B3 do vermelho e B4 do infravermelho próximo, é visto que a correção atmosférica foi uniforme.

Os valores de reflectância de superfície (com correção atmosférica), são menores que os de reflectância aparente. Este resultado é característico de imagens com correção atmosférica.

5.6 Normalização radiométrica

Os resultados da aplicação da normalização radiométrica são mostrados na Figura 33 onde são comparadas as médias de valores de FRBS, dos pontos claros e escuros pseudo invariantes da imagem “referência”, com as médias das imagens normalizadas de junho de 2004 e julho de 2005.

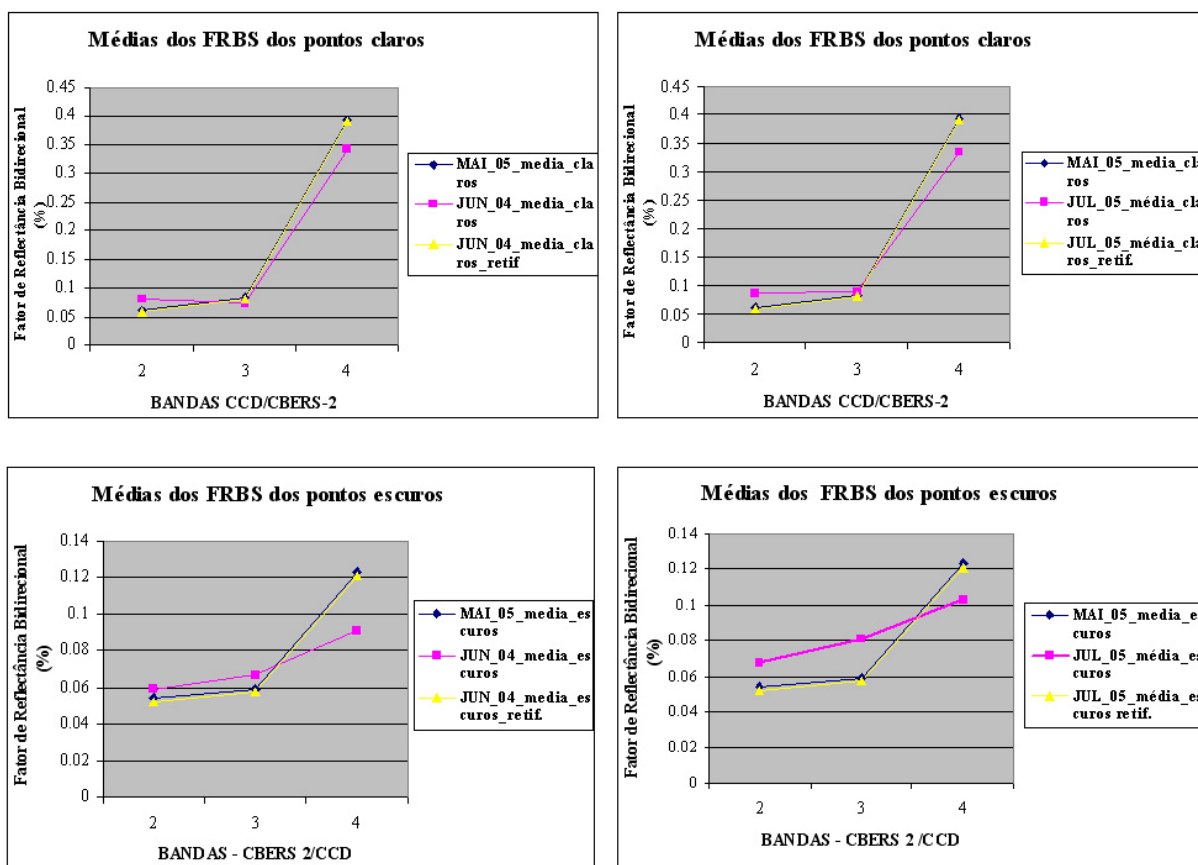


Figura 33 - Resultados das normalizações.

Pelos gráficos da Figura 33, é possível verificar que as médias dos pontos claros e as médias dos pontos escuros, das imagens MAI_05 (referência), JUN_04 e JUL_05 (ajuste), apresentavam diferenças significativas nos valores de FRB antes do processo normalização (retificação). Após este processo, a diferença diminuiu significativamente, ficando os valores das médias bem próximos, indicando que a normalização foi correta.

Com o processo de normalização radiométrica encerrado, foram extraídos os valores médios de FRBS correspondentes a toda extensão de cada uma das duas áreas de interesse. Desta forma, para cada banda espectral, um único valor médio de FRBS passou a representar a resposta espectral de toda a área de pastagem estudada, obtendo-se com isso a caracterização espectral das áreas A e B.

5.7 Análise dos valores de FRBS

5.7.1 Comparação entre áreas doentes e sadias (JUN_04 e MAI_05)

A partir da caracterização da área sadia e das áreas doentes, foi possível comparar os seus valores de FRBS, como mostrados na Tabela 14. Com a elaboração desta tabela foi desenhado o gráfico da Figura 34.

Tabela 14 - Valores médios de FRBS das áreas A e B em Junho 2004 e Maio 2005

Bandas CCD	Valores Médios de FRBS	
	Área_A	Área_B
	JUN_04 Doente	MAI_05 Sadia
B2	0.055	0.054
B3	0.061	0.076
B4	0.317	0.296
Bandas CCD	Valores Médios de FRBS	
	Área_B	Área_B
	JUN_04 Doente	MAI_05 Sadia
B2	0.058	0.054
B3	0.069	0.076
B4	0.325	0.296

Pelos dados, pode-se observar a similaridade existente entre as respostas espectrais das áreas doentes A e B de JUN_04. Porém, quando a comparação é feita as entre áreas doentes A e B de JUN_04 e área sadia B de MAI_05, as curvas descrevem diferenças espectrais significativas. Essas diferenças são maiores nas bandas B3 e B4, ou seja, no vermelho e infravermelho próximo, respectivamente.

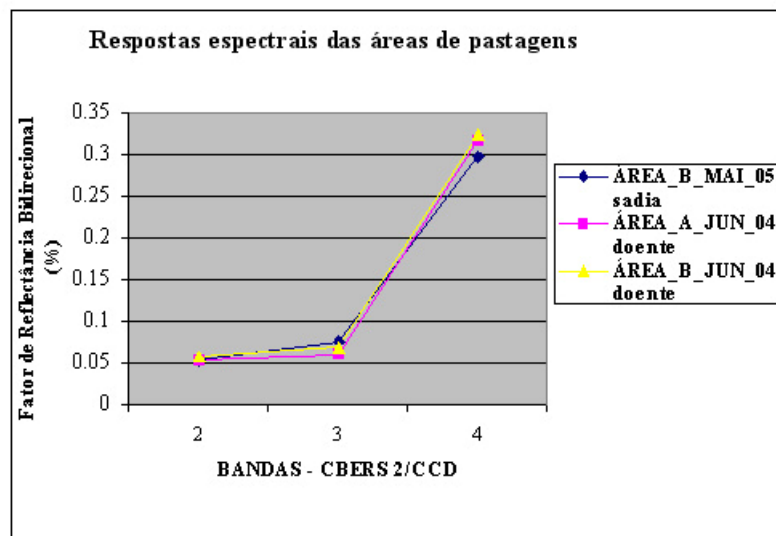


Figura 34 - Comparação entre as respostas espectrais da área sadia de Maio de 2005 e as áreas doentes em Junho de 2004.

Na banda B3, região do vermelho, é visto que o valor de FRBS na área de pastagem sadia é maior que o verificado na área doente (Figura 34), o que pode ser explicado pela ocorrência do estresse hídrico na pastagem da área B na imagem de 17 maio de 2005, que ocasionou menor atividade fotossintética nas plantas e/ou também porque as plantas estressadas entraram no estágio de murcha muito mais acentuado do que as plantas não estressadas no horário de aquisição da imagem (Tempo Central – GMT: 13:35:42), tendo conseqüentemente como resultado maior refletividade na referida banda (MOREIRA 2003).

Estes resultados também concordam com os estudos de Holben, Tucker e Fan (1980); Daughtry *et al.* (1984), que indicam que a quantidade de energia refletida pelo dossel da cultura, nos comprimentos de onda correspondentes as regiões do vermelho e infravermelho próximo, é significativamente correlacionada com a atividade fotossintética das plantas.

De maneira contrária, os dados obtidos mostraram maiores valores de FRBS na banda B4 das áreas doentes em relação aos valores a área sadia, efeito este que pode ser ocasionado pela incidência da “mela” nas áreas A e B em 2004, e possivelmente justificado

pela influência causada pela doença à estrutura interna da planta, proporcionando assim, um aumento da refletividade nesta banda.

A ocorrência de estresse hídrico na pastagem da área B em 2005 (sadia) também pode ter provocado aumento da reflectância na banda B4 da imagem desta área (MOREIRA, 2003). Portanto, estes resultados indicam que a diferença entre o valor de reflectância, da banda 4 das áreas sadias e doentes, provavelmente seria maior caso não houvesse ocorrido efeito do estresse hídrico na área sadia.

5.7.2 Comparação entre áreas doentes e sadias (JUN_04 e JUL_05)

Quando a comparação é feita entre as áreas doentes A e B de JUN_04 e a áreas sadias A e B de JUL_05, é possível verificar mudanças nas respostas espectrais das pastagens em relação a imagem de MAI_05, alterando significativamente a comparação feita anteriormente. Como pode ser visto na Tabela 15, os valores de FRBS das áreas sadias da imagem JUL_05 das bandas B2 e B3 apresentam-se superiores aos valores de FRBS das áreas doentes da imagem de JUN_04, exceto na banda B4 da área B, onde o valor da área doente se apresenta superior ao da área sadia (Figura 35). Isso é explicado devido ao fato de que na data da aquisição da imagem, o florescimento da pastagem da área A de JUL_05 estava em sua fase final, ou seja, as plantas estavam na fenofase de maturação fisiológica, o que por sua vez implicou em alteração nos parâmetros biofísicos das pastagens, pois segundo Moreira (2003), a radiação refletida pela folha em senescência, na região do visível, é maior do que as de plantas mais jovens, explicado pela menor absorção de energia devido a degradação de pigmentos fotossintéticos (clorofilas).

Tabela 15 - Valores médios de FRBS das áreas A e B em junho 2004 e julho 2005.

Bandas CCD	Valores Médios de FRBS	
	Área_A JUN_04 Doente	Área_A JUL_05 Sadia
B2	0.055	0.057
B3	0.061	0.084
B4	0.317	0.348

Bandas CCD	Valores Médios de FRBS	
	Área_B JUN_04 Doente	Área_B JUL_05 Sadia
B2	0.058	0.059
B3	0.069	0.093
B4	0.325	0.268

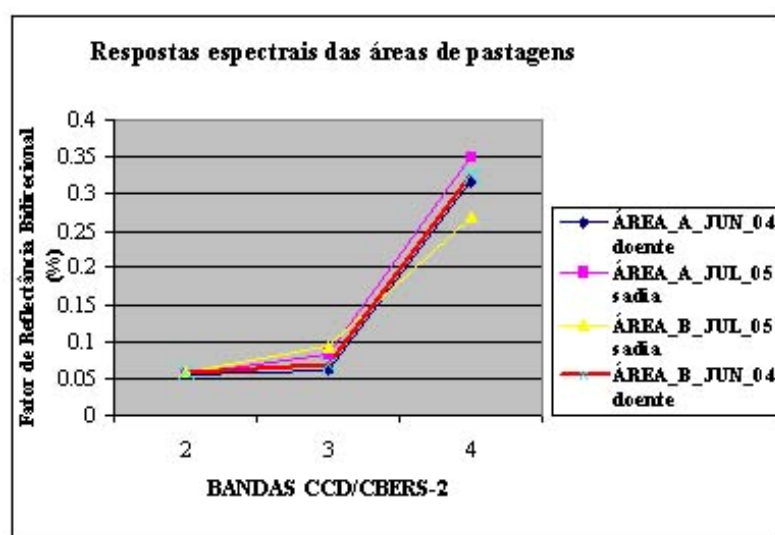


Figura 35 – Curvas espectrais das áreas doentes e sadias (JUN_04 e JUL_05)

Desta maneira, a imagem de JUL_05 não foi adquirida em data correspondente a mesma fenofase (florescimento) das culturas que na imagem de JUN_05, não sendo possível em virtude disso, estabelecer correlações entre os valores FRBS das imagens de JUN_04 e JUL_05.

5.7.3 Comparação entre áreas sadias (MAI_05 e JUL_05)

Para a comparação entre a área sadia B de MAI_05 e a áreas sadias A e B de JUL_05 foi necessário levar em conta as seguintes considerações:

- 1- Os valores de FRBS da área B de MAI_05 foram extraídos em pleno florescimento;
- 2- Os valores de FRBS da área B de JUL_05 foram extraídos após o florescimento;
- 3- Os valores de FRBS da área A de JUL_05 foram extraídos ao final do florescimento.

Pelos resultados apresentados na Tabela 16, nota-se que houve um aumento da reflectância em todas as bandas (B2, B3, B4) da área A de JUL_05 em relação a área B de MAI_05, ou seja, houve um aumento considerável da reflectância a partir do meio para o final do florescimento da cultura.

Tabela 16 - Valores médios de FRBS das áreas sadias A e B em Maio 2005 e Julho 2005.

Bandas CCD	Valores Médios de FRBS	
	Área_B MAI_05 Sadia	Área_A JUL_05 Sadia
B2	0.054	0.057
B3	0.076	0.084
B4	0.296	0.348
Bandas CCD	Valores Médios de FRBS	
	Área_B MAI_05 Sadia	Área_B JUL_05 Sadia
B2	0.054	0.059
B3	0.076	0.093
B4	0.296	0.268

Na comparação feita entre os valores das áreas B (MAI_05) com relação aos valores da área B (JUL_05) observa-se um aumento da reflectância nas bandas B2 e B3 (visível) desta última, provavelmente devido a menor atividade fotossintética que ocorre com

a senescência das plantas (MOREIRA, 2003). Ao mesmo tempo, ocorre uma diminuição da reflectância na banda B4 (infravermelho próximo), possivelmente devido a interferência do solo na resposta espectral (Tabela 16).

Na imagem da Figura 36 é possível visualizar as curvas de respostas espectrais das áreas em seus respectivos períodos.

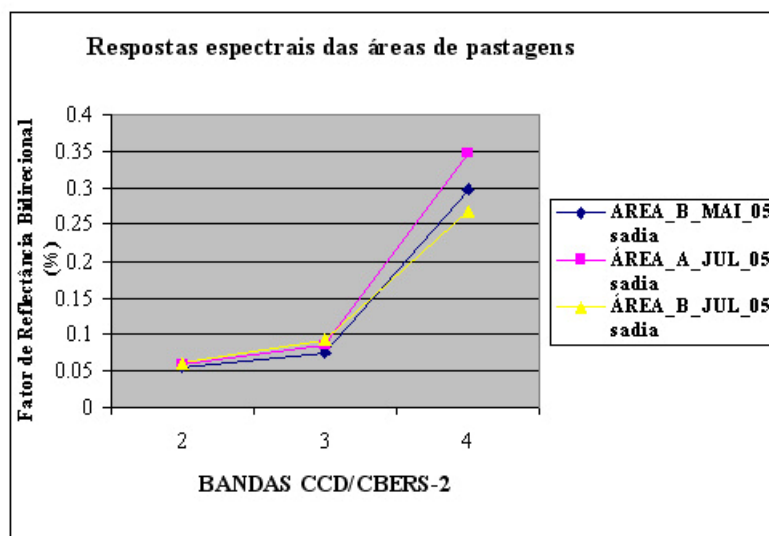


Figura 36 - Comparação entre as respostas espectrais da área sadia (B) de Maio de 2005 e as áreas sadias (A,B) de Julho de 2005.

5.8 Análise estatística dos valores de FRBS

Foi testada a normalidade presente nos valores de FRBS em cada área nas três bandas utilizando-se do teste estatístico de ANDERSON-DARLING, onde se verificou que, com exceção da banda 4 na área B, todas as outras bandas não apresentaram valores com distribuição normal.

Devido a isso, na comparação entre a área B de junho de 2004 (doente) e área B de maio de 2005 (sadia), foram utilizados o teste paramétrico (para amostras

dependentes) *t* pareado (para pares de observação) para comparar a igualdade entre a banda B4 da área B de 2005 com a banda B4 da área B de 2004 e o teste não-paramétrico de WILCOXON (para dados pareados) para testar a igualdade entre as bandas B2 de 2004 e B2 de 2005 e as bandas B3 de 2004 e B3 de 2005 da Área B.

Pela análise da aplicação da distribuição *t* de STUDENT, visto na Tabela 17, observa-se que na comparação entre valores médios de FRBS da banda B4 da área B de junho 2004 e maio 2005, os valores de FRBS foram significativamente diferentes pela comparação das médias das áreas doentes e da área sadia.

Tabela 17 - Comparação entre valores médios de FRBS das áreas B de Junho 2004 e Maio 2005 (B4).

Bandas CCD	Valores Médios de FRBS		Valor de t STUDENT
	Área_B JUN_04 Doente	Área_B MAI_05 Sadia	
B4	0.325	0.296	30.40*

- Diferença significativa ao nível de 0.1%

A análise dos resultados obtidos com a aplicação do teste de WILCOXON (Tabela 18) para verificar se há diferença entre as bandas B2 de 2004 e B2 de 2005 e entre B3 de 2004 e B3 de 2005 da área B os resultados mostram que foi rejeitada a hipótese nula de igualdade ($p\text{-valor} < 0,001$) e observa-se que na comparação entre valores médios de FRBS os níveis de reflectância diferem para épocas diferentes nas bandas B2 e B3.

Tabela 18 - Comparação entre valores médios de FRBS das áreas B de Junho 2004 e de Maio 2005 (B2 e B3).

Bandas CCD	Valores Médios de FRBS		p-valor
	Área_B JUN_04 Doente	Área_B MAI_05 Sadia	
B2	0.058	0.054	< 0.001
B3	0.069	0.076	< 0.001

- * Diferença significativa ao nível de 0.1%

Para a comparação entre a área A de junho de 2004 (doente) e área B de maio de 2005 (sadia), foi aplicado o teste de MANN WHITNEY (não paramétrico para

amostras independentes). Neste caso foram observados os pares das três bandas (B2, B3 e B4) de ambas as imagens (Tabela 19).

Tabela 19 - Comparação entre valores médios de FRBS entre as áreas A de Junho 2004 e área B de Maio 2005.

Bandas CCD	Valores Médios de FRBS		p-valor
	Área_A JUN_04 Doente	Área_B MAI_05 Sadia	
B2	0.055	0.054	< 0.0001
B3	0.061	0.076	< 0.0001
B4	0.317	0.296	< 0.0001

* Diferença significativa ao nível de 0.1%

De acordo com o resultado do teste verificou-se que há diferença nos valores de reflectância nas três bandas (p-valor < 0,0001).

Observa-se que não foram incluídos a análise estatística dos valores correspondentes aos FRBS da imagem 3, de JUL_05, (áreas A e B) e dos valores obtidos na imagem 2 MAI_05 da área A, pois estes valores não representaram corretamente os períodos de florescimento das pastagens e de maior incidência da doença.

5.9 Obtenção dos valores de NDVI e RVI

Os conjuntos de dados obtidos são os parâmetros estatísticos da área A e da área B, extraídos das imagens 1 e 2, referentes a junho de 2004 e maio de 2005. Estas duas imagens foram anteriormente corrigidas e normalizadas, conforme os procedimentos demonstrados, sendo transformadas em imagens reflectância de superfície, ou seja, em imagens reflectância real.

A partir das imagens reflectância foram obtidas as imagens índices de vegetação NDVI e RVI (Figura 37 e 38), sendo depois extraídos os dados estatísticos necessários às comparações entre as áreas sadias e áreas doentes.

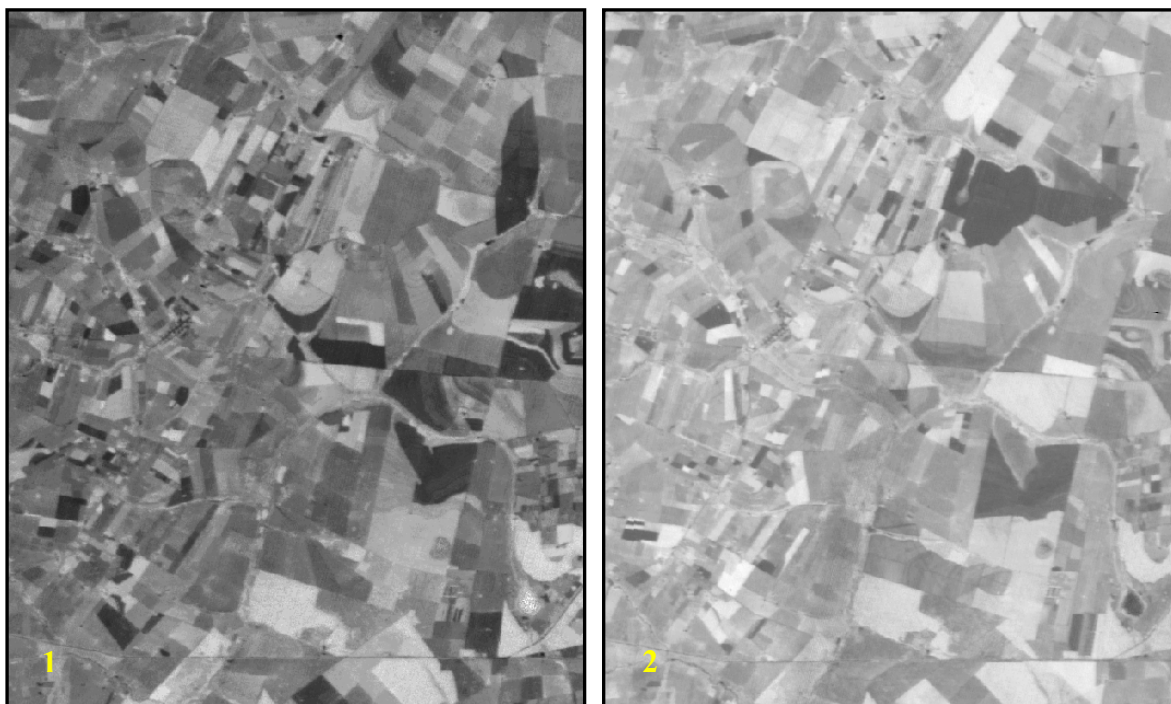


Figura 37 - 1) Imagem NDVI Jun_2004. 2) Imagem NDVI Mai_2005.

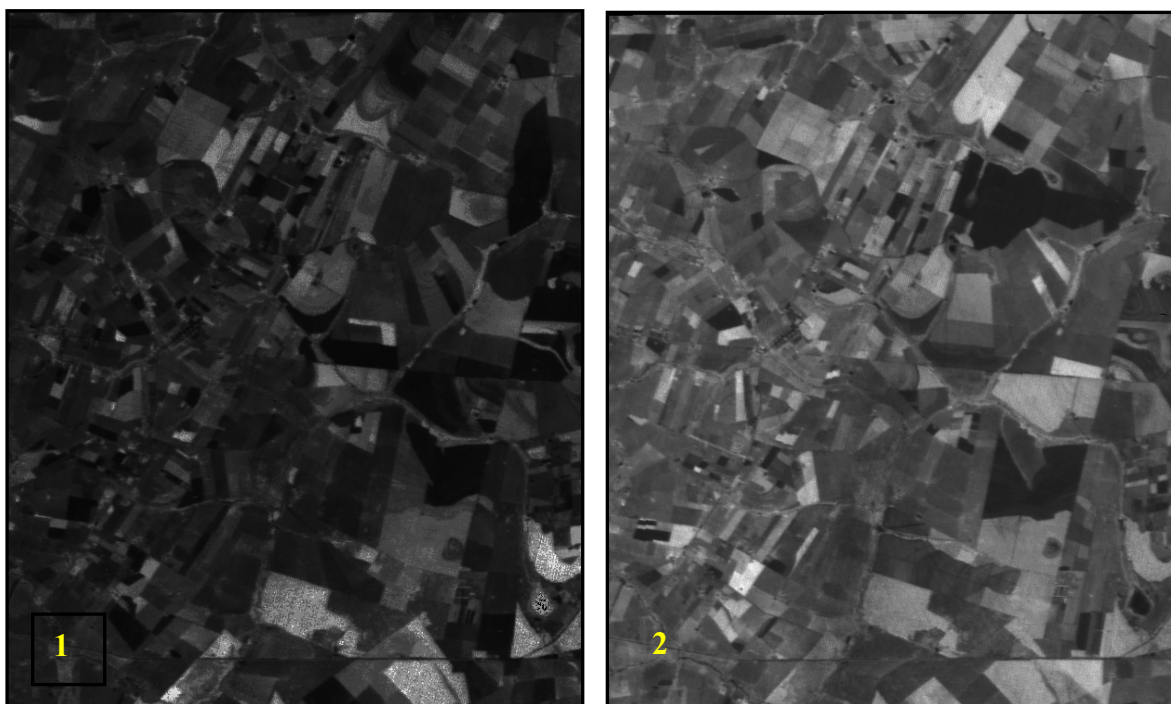


Figura 38 -1} Imagem RVI Jun_2004. 2) Imagem RVI Mai_2005.

Sabendo-se que nas imagens índices, os níveis de cinza mais claros expressam valores que representam altos índices de vegetação e os níveis de cinza mais escuros expressam baixos índices de vegetação, é possível, pela análise visual das mesmas, identificar os alvos onde não houve diferenças significativas entre as reflectância das bandas do visível (B3) e a banda do infravermelho próximo (B4) e também identificar os alvos onde as diferenças foram bem perceptíveis. Estes alvos em geral, foram os solos expostos.

5.9.1 Análise dos dados do NDVI e RVI

Nas imagens NDVI, os níveis de cinza mais claros ou mais próximos de 255 expressam valores que representam altos índices ou maior densidade de vegetação, (com valores próximos de 1), enquanto os níveis de cinza mais escuros ou mais próximos de zero, representam baixos índices de vegetação com valores no mínimo de -1. Estes valores baixos correspondem a menor quantidade de vegetação, ou a alvos urbanos como área construída, ou a maior quantidade de solo exposto e água.

Os resultados apresentados pelos valores dos índices NDVI, vistos na Tabela 20, mostram que a média destes índices referentes a área sadia estão em níveis inferiores aos apresentados pelos índices das áreas doentes, que por sua vez, apresentam entre si, boa similaridade.

Tabela 20 - Parâmetros estatísticos das imagens de NDVI.

Imagem (<i>ρ de sup.</i>)	Índice de vegetação (-1 a +1)					
	Média	Var.	DP	CV	Amplitude	Pixels
Área_B_MAI_05 (sadia)	0.592	0.0006	0.025	4.227	0.145	320
Área_A_JUN_04(doente)	0.679	0.0004	0.020	2.954	0.155	139
Área_B_JUN_04(doente)	0.650	0.0012	0.035	5.442	0.205	320

ρ de sup.: reflectância de superfície

Nos valores do índice RVI, que são vistos na Tabela 21, as médias dos seus valores referentes a área sadia, tal como o índice NDVI, estão em níveis inferiores aos apresentados pelos índices das áreas doentes, que por sua vez, apresentam entre si, boa similaridade.

Tabela 21 - Parâmetros estatísticos das imagens de RVI.

Imagem (ρ)	Índice de vegetação (0 a 15)					
	Média	Var.	DP	CV	Ampl.	Pixels
Área_B_MAI_05 (sadia)	3.915	0.091	0.300	7.684	1.733	320
Área_A_JUN_04(doente)	5.255	0.127	0.356	6.772	2.857	139
Área_B_JUN_04(doente)	4.780	0.347	0.589	12.326	3.667	320

ρ de sup.: reflectância de superfície

Nas imagens RVI, os níveis de cinza mais claros ou mais próximos de 255 expressam valores que representam altos índices ou maior densidade de vegetação, (com valores próximos de 15), enquanto os níveis de cinza mais escuros ou mais próximos de zero, representam baixos índices de vegetação (com valores no mínimo de 0 (zero)). Estes valores baixos correspondem a menor quantidade de vegetação, ou a alvos urbanos como área construída, ou a maior quantidade de solo exposto e água.

Segundo Brenchley (1968), plantas afetadas por doenças geralmente apresentam crescimento reduzido e sintomas de amarelecimento, que proporcionam contraste na resposta espectral em relação as saudáveis.

De acordo com Kazmierczak, (1996), à medida que aumenta a quantidade de vegetação, aumenta a reflexão na banda do infravermelho próximo e diminui a reflexão na banda do vermelho, fazendo com que o aumento da razão (índice) seja potencializado, realçando a vegetação.

E ainda segundo Moreira (2003), a assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível, especificamente no vermelho, e do infravermelho próximo, e quanto maior for esse contraste, haverá maior vigor da vegetação.

Todavia, este trabalho trata de uma comparação entre dosséis homogêneos de pastagens que pouco diferem entre si, principalmente em termos de fitomassa, indicando que não houve interferência da doença na formação vegetativa das pastagens, pois esta teve a sua incidência somente a partir da fenofase do florescimento das plantas, quando as pastagens já estavam formadas.

Assim sendo, a razão de maiores valores dos índices NDVI e RVI das áreas doentes em relação a área sadia, foi ocasionada pelo contraste da resposta espectral, resultado da incidência da doença “mela” que aumentou a reflectância da banda B4 das área doentes e pela ocorrência de estresse hídrico na área B de MAI_05 (sadia) no período de florescimento das pastagens, que causou uma modificação no comportamento espectral do dossel resultando em aumento no valor de FRBS na banda B3 desta área.

Estes resultados concordam com os estudos de Oviedo e Rudorff (2000), em trigo, que indicaram que o estresse hídrico teve um efeito significativo no NDVI, reduzindo o seu valor em relação a área testemunha e coincidem com a análise feita anteriormente nos valores de FRBS, onde foi visto que na região da banda B3, vermelho do visível, o valor de FRBS na área B de pastagem sadia é maior do que o verificado na área doente e na banda B4, do infravermelho próximo, o valor de FRBS é menor na pastagem sadia em relação a área com incidência da doença.

5.9.2 Análise estatística dos índices NDVI e RVI

Foi testada a normalidade presente nos valores dos índices NDVI e RVI das área B sadia (maio de 2005) e as áreas A e B doentes (junho de 2004), utilizando-se do teste

de ANDERSON-DARLING, onde se verificou a ausência de normalidade para as áreas A e B, sadias e doentes, em ambas variáveis de interesse. Assim sendo, foram utilizados testes não-paramétricos para testar a igualdade entre as áreas.

5.9.2.1 Análise estatística do NDVI

Na análise dos valores obtidos neste índice, foi utilizado o teste de WILCOXON para dados pareados de áreas dependentes, para comparar a área B de junho de 2004 (doente) e a área B de maio de 2005 (sadia). Já para comparar os dados das áreas independentes A de junho de 2004 (doente) e B de maio de 2005 (sadia), foi utilizado o teste de MANN-WHITNEY.

Pela análise da aplicação do teste de WILCOXON (Tabela 22) para comparar a área B de junho de 2004 (doente) e a área B de maio de 2005 (sadia), os resultados mostram a rejeição da hipótese nula de igualdade (p -valor $< 0,001$), e verifica-se que os valores médios de NDVI diferem nas épocas diferentes. Também foi observado que os valores do índice da área doente foram significativamente superiores aos da área sadia.

Tabela 22 - Comparação entre os valores de NDVI das áreas B de Maio 2005 (sadia) e Junho 2004 (doente).

Imagem (<i>ρ de sup.</i>)	Índice de vegetação NDVI		
	Média	Pixels	p (Wilcoxon)
Área_B_MAI_05 (sadia)	0.592	320	p-valor $< 0,001$
Área_B_JUN_04(doente)	0.650	320	

* Diferença significativa ao nível de 0.1%

Para comparação entre a área B de maio de 2005 (sadia) e área A de junho de 2004 (doente), foi aplicado o teste de MANN WHITNEY (não paramétrico para amostras

independentes). Neste caso foi observado que os valores do índice da área doente foram diferentes e superiores aos da área sadia (Tabela 23).

Tabela 23 - Comparação entre os valores de NDVI das áreas B de Maio 2005 (sadia) e A de Junho 2004 (doente).

Imagem (<i>p de sup.</i>)	Índice de vegetação NDVI		
	Média	Pixels	p (Mann Whitney)
Área_B_MAI_05 (sadia)	0.592	320	p-valor < 0,001
Área_A_JUN_04(doente)	0.679	139	

* Diferença significativa ao nível de 0.1%

De acordo com o resultado do teste verificou-se que há diferença significativa ao nível de 0.1% nos valores do índice RVI (p-valor < 0,001).

5.9.2.2 Análise estatística do RVI

Na análise dos valores obtidos neste índice, foi utilizado o teste de WILCOXON para dados pareados de áreas dependentes, para comparar a área B de junho de 2004 (doente) e a área B de maio de 2005 (sadia). Já para comparar os dados das áreas independentes A de junho de 2004 (doente) e B de maio de 2005 (sadia), foi utilizado o teste de MANN-WHITNEY.

Pela análise da aplicação do teste de WILCOXON (Tabela 24) para comparar a área B de junho de 2004 (doente) e a área B de maio de 2005 (sadia), os resultados mostram a rejeição da hipótese nula de igualdade (p-valor < 0,001), e verifica-se que os valores médios de RVI diferem nas épocas diferentes. Também foi observado que os valores do índice da área doente foram significativamente superiores aos da área sadia.

Tabela 24 - Comparação entre os valores de RVI das áreas B de Maio 2005(sadia) e Junho 2004 (doente).

Imagem (<i>p de sup.</i>).	Índice de vegetação RVI		
	Média	Pixels	p (Wilcoxon)
Área_B_MAI_05 (sadia)	3.915	320	p-valor < 0,001
Área_B_JUN_04(doente)	4.780	320	

* Diferença significativa ao nível de 0.1%

Para comparação entre a área B de maio de 2005 (sadia) e área A de junho de 2004 (doente), foi aplicado o teste de MANN WHITNEY (não paramétrico para amostras independentes). Neste caso foi observado que os valores do índice da área doente foram diferentes e superiores aos da área sadia (Tabela 25).

Tabela 25 - Comparação entre os valores de RVI das áreas B de Maio 2005(sadia) e A de Junho 2004 (doente).

Imagem (<i>p de sup.</i>).	Índice de vegetação RVI		
	Média	Pixels	p (Mann Whitney)
Área_B_MAI_05 (sadia)	3.915	320	p-valor < 0,001
Área_A_JUN_04(doente)	5.255	139	

* Diferença significativa ao nível de 0.1%

De acordo com o resultado do teste verificou-se que há diferença significativa ao nível de 0.1% nos valores do índice RVI (p-valor < 0,001).

5.9.3 Comparação entre NDVI e RVI

A análise comparativa feita entre os dois índices, extraídos de imagens das áreas sadias e doentes, foi realizada através da observação dos seus dados estatísticos e indica que as diferenças entre os valores das médias obtidas da área_B_MAI_05 sadia e as áreas doentes A_JUN_04 e B_JUN_04 são mais acentuadas nos valores obtidos do índice RVI, o que sugere maior sensibilidade deste índice as variações de reflectância dos dosséis na

fenofase de florescimento e início de emborrachamento, das áreas A e B. Estes mesmos resultados foram observados em trabalhos desenvolvidos por Jackson e Huete, (1991).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Analisando os resultados obtidos, é possível concluir que a metodologia adotada foi capaz de transformar os dados originais das imagens do sensor CCD em imagem “reflectância de superfície” e com isso obter a caracterização espectral de áreas de pastagens de *B. brizantha* cv MG-5 sadias e infectadas com a doença “mela-das-sementes da braquiária”.

No processamento das imagens temporais, a normalização radiométrica das imagens “ajuste” realizada através de algoritmos baseados no método de Hall *et al.* (1991), utilizando as médias dos valores de reflectância de pontos de controle radiométricos pseudo-invariantes claros e escuros existentes entre as cenas e determinados pelos coeficientes de transformação espectral “greenness” e “brightness” apresentados por Crist e Cicone (1984b), específicos para o sensor TM/Landsat 5, se mostrou, aparentemente, suficiente para o sensor CCD.

Todavia, considerando que os coeficientes de transformação espectral têm sido publicados para o sensor MSS, TM, ETM+ sempre a partir de cenas agrícolas da América do Norte, é recomendado que, em novos estudos de caracterização espectral, a geração dos coeficientes de “greenness” e “brightness” próprios para a imagem da órbita ponto específica da área estudada e para o sensor do qual as imagens foram obtidas.

Nas comparações feitas entre os valores de FRBS obtidos nas áreas de pastagens estudadas, as diferenciações mais importantes foram obtidas nas bandas B3 do visível e B4 do infravermelho próximo, onde os valores diferiram significativamente entre si segundo as análises estatísticas aplicadas para pares de observações dos alvos estudados.

Essas diferenciações permitiram distinguir as áreas com a incidência da doença “mela” da área sadia.

A constatação de que os valores de reflectância nas bandas B3 nas pastagens doentes (2004) foram menores que o valor da área sadia (2005) pode ser explicado pela ocorrência de estresse hídrico na pastagem da área B da imagem 2 (MAI_05), que segundo Moreira (2003), ocasionaria maior reflectância na banda B3 do vermelho, na área estressada.

Por sua vez, a incidência da doença ocasionou maiores valores de FRBS na banda B4, do infravermelho próximo, em relação à área sadia, possivelmente justificada pela influência causada à estrutura interna da planta, que proporcionou um aumento da refletividade nesta banda.

Pela análise dos valores de FRBS das áreas sadias e doentes das imagens 1 e 2 comparativamente com as áreas da imagem 3, de JUL_2005, foi possível verificar que há mudanças significativas da reflectância no final do período de florescimento das pastagens, a partir do qual as plantas diminuem a capacidade de realizar a fotossíntese em virtude da idade, ou seja, da senescência das folhas.

Com os dados obtidos a partir da aplicação dos índices de vegetação NDVI e RVI, face às diferenças apresentadas pelos seus valores, ficou confirmada a detecção da doença “Mela” nas pastagens de *B. brizantha* cv MG-5. Com isso pode-se concluir que emprego dos índices de vegetação NDVI e RVI é válido para a diferenciação de pastagens infectadas com a referida doença de pastagens sadias, a partir das imagens de reflectância da superfície.

O índice de vegetação RVI mostrou-se superior ao índice NDVI quanto às diferenciações entre as áreas doentes e sadias das pastagens, pois caracterizou e quantificou melhor as variações de reflectância dos dosséis estudados demonstrando que o índice de vegetação razão simples (RVI) é mais sensível às culturas "fechadas".

Embora na proposta deste trabalho esteja explícito que a detecção da doença seria feita de forma orbital, não envolvendo, portanto, coleta de amostras em campo, é conclusivo que, para trabalhos experimentais que envolvam caracterização espectral de culturas agrícolas afetadas com doenças, a realização de um delineamento amostral poderá melhor quantificar os parâmetros biofísicos da cultura, principalmente o índice de área foliar e o índice de incidência da doença na pastagem, no momento da aquisição das imagens pelo satélite.

No sentido de melhorar a análise dos dados e fornecer maior consistência aos conjuntos de resultados obtidos, recomenda-se que um maior número de amostras de áreas doentes e sadias de pastagens sejam coletadas.

Por outro lado, foi possível avaliar que para a seleção de áreas e para a caracterização espectral de áreas de pastagens, as imagens do sensor CCD corresponderam satisfatoriamente, com a vantagem da facilidade de obtenção das mesmas e pelo custo zero de sua utilização. Todavia verificou-se que o georreferenciamento apresentado pelas imagens CCD/CBERS-2 apresentou erros na ordem de quilômetros, inviabilizando o uso dos dados de georreferenciamento originais, necessitando que as imagens sejam cuidadosamente registradas.

O software SPRING 4.1.1 foi eficiente para o processamento das imagens, sendo seu uso de fácil manejo e rapidez, tornando o mesmo fundamental para a obtenção dos resultados apresentados.

Assim sendo, embora considerando a complexidade existente na caracterização de dosséis agrícolas devido as diversas variáveis que interferem na obtenção do FRBS e as dificuldades para a avaliação das mesmas quanto ao seu grau de interferência, conclui-se que os resultados apresentados indicam que os objetivos propostos neste trabalho

foram atingidos, tornando possível detectar a presença da doença “mela-das-sementes da braquiária” em áreas de pastagens através da metodologia apresentada.

7 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, B.S. *et al.* O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais ...**. Belo Horizonte: INPE, 2003, p. 739-747.

AMARAL, S., *et al.* Comportamento espectral de mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden em diferentes percentagens de cobertura. INPE, São José dos Campos. 1990.

ANDRADE, N. S. O. **Calibração absoluta de espectrorradiômetros Ger Mark V e de esfera integradora Unisource 1200**. São José dos Campos: 1997. 40p. (CTA/IEAv-ESR/RP-004/99)

ANDRADE, R.P. *et al.* **A parceria Embrapa-Unipastos e seu impacto na pesquisa e desenvolvimento de pastagens tropicais do Brasil**. ABRASEM, Planaltina, DF, 2004. Disponível em:

< http://www.abrasem.com.br/materia_tecnica/2004/0008_parceria_embrapa_unipastos.htm >
Acesso em: 19 de maio de 2005.

ARAÚJO J. C. **Determinação de zonas de manejo e estimativa da produtividade de culturas de grãos por meio de videografia aérea digital multiespectral**. 2004. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ASRAR, G.; MYNENI, R.B.; KANEMASU, E.T. Estimation of plant canopy attributes from spectral reflectance measurements. In: ASRAR, G. **Theory and Applications of Optical Remote Sensing**. John Wiley & Sons: New York, 1989. p. 252-296.

ASRAR, G. *et al.* Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, v. 76, p. 300-306, Jun. 1984.

BATISTA, G.T. Avaliação de produtos HRV/SPOT e TM/LANDSAT na discriminação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.3, p.379-386, 1990.

BENTZ, C.R. **Avaliação da transformação radiométrica dos dados TM/Landsat-5 em reflectâncias**. 1990. 172 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

BERGAMIN, F.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**. Ceres, São Paulo, 1995.

BLACKMER, A.M.; WHITE, S.E. Remote sensing to identify spatial patterns in optimal rates of nitrogen fertilization. **Proceedings of the 3rd International Conference Mineapolis**, Minnesota, ASA/CSSA/SSSA. June 23-26, 1996.

BRENCHLEY, G.H. Aerial photography for the study of plant diseases. **Annual Review of Phytopathology** 6:1-23. 1968.

CAETANO, M. **Burned vegetation mapping in mountainous areas with satellite remote sensing**, MA thesis, University of California, Santa Barbara. 328 p.1995.

CAMPAGNOLO, M. L.; CAETANO, M. **Abordagens multiestratégicas para classificação de imagens de satélite - aplicação numa zona florestal**. 2002. 68 f. Relatório Técnico, Instituto Superior de Agronomia Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002.

CASSELLES, V.; LOPEZ GARCIA, M.J. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, p. 1127-1134, 1989.

CHAVEZ Jr., P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.55, p.459-470, 1988.

CHEN, CS.; TARDIN, A .T.; BATISTA, G.T. **Índice de vegetação e sua aplicação na agricultura**. São José dos Campos: INPE, 1986. 24p.

CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/Ciiagro/>>. Acesso em 07 de Dezembro de 2005.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **NDVI**, Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/htmldocs/ndvi/ndvi_fram.htm>. Acesso em: 19 de outubro de 2005.

CRIST, E. P.; CICONE, R. C. Application of the tasseled cap concept to simulated Thematic Mapper data, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.50, n.3, p. 343-352, 1984a.

CRIST, E. P.; CICONE, R. C. A physically-based transformation of Thematic Mapper data . the TM tasseled cap. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. GE-22, n.3, p. 256-263, 1984b.

CROCE, R. Sensoriamento Remoto: Federation of American Scientist, Disponível em: <<http://www.croce.ggf.br/sr/sr.htm>>. Acesso em: 26 de maio de 2005.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP:IG/UNICAMP, 1993. 170p.

CUNHA, C. A. H. da. **Comportamento espectral e características agronômicas da cultura do feijão irrigada com diferentes lâminas de água**. Piracicaba, 2000. 120p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CUNHA, C. A. H. da. **Relação entre o comportamento espectral, índices de área foliar e produção de matéria seca em capim Tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e doses de nitrogênio**. Piracicaba, 2004. 154p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CUNHA, J. C. **O uso do modelo digital de elevação como alternativa para correção dos efeitos de iluminação diferenciada em imagens de satélite**. 2001. 45 p. Monografia (Especialização) - UFMG.

CURRAN, P.J. **Principles of Remote Sensing**. Longman, London, 1985.

CURRAN, P.J.; MILTON, E.J. The relationships between the chlorophyll concentration, LAI and reflectance of a simple vegetation canopy. **International Journal of Remote Sensing**, v.4, n.2, p.247-255, 1983.

D'ANGIOLELLA, G.L.B.; VASCONCELLOS, V. L. D. Planilhas excel para cálculo de balanço hídrico climatológico com diferentes metodologias para estimativa da evapotranspiração potencial.. In: ENCUESTRO DE LAS AGUAS: AGUA, VIDA Y DESARROLLO, 3, 2001, Santiago do Chile. **Anais do III Encuentro de las águas**; Santiago do Chile: 2001.

DAUGHTRY, C.S.T., *et al.* Spectral estimatives of agronomic characteristics of crops. In: Machine Processing of Remote Sensed Data Symposium. Purddue University, W. Lafayette, 1984.

DEERING, D.W. Field measurements of bidirectional reflectance. In: ASRAR, G.(coord). **Theory and applications of optical remote sensing**, New York: John Wiley & Sons, p. 14-61, 1980.

DEGASPARI, S. D.; VANALLI, T. R.; MOREIRA, M. R. **Manual de normalização documentária para apresentação do trabalho acadêmico**. 2003. 48 p. FCT – UNESP, Presidente Prudente.

DETOMINI, E. R. **Modelagem de produtividade potencial de brachiaria brizantha (variedades cultivadas marandu e xaraés)**. 2004. 135f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004, 135 p.

DISPERATI, A. A; DRAGO, D. Videografia aplicada à engenharia florestal. In: GIS BRASIL, 2, 1996, Curitiba, Anais do 2º GIS BRASIL, Curitiba: 1996, p. 252-258.

DITT, E. H. 2002. Fragmentos Florestais no Pontal do Paranapanema. São Paulo: Annablume/IPÊ/IEEB. 140 p.

DU, Y. *et al.* Radiometric normalization, composition, and quality control for satellite high resolution image mosaics over large areas. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, p. 623-634, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília. 1999. 412 p.

EPIPHANIO, J.C.N. Metodologia de aquisição de dados ao nível terrestre. In: ASSUNÇÃO, G.V.(ed.) **Sensoriamento remoto na agricultura: conceitos básicos, metodologia e aplicações**. São José dos Campos, INPE, 1989. p.53-73.

EPIPHANÍO, J.C.N; FORMAGGIO, A.R. Abordagens de uso do número digital e de reflectancia em Sensoriamento Remoto. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, 1988, Natal. **Anais....** São José dos Campos: INPE, 1988, vol. 2, p. 400 – 405.

EPIPHANÍO, J.C.N; FORMAGGIO, A.R. Sensoriamento remoto de três parâmetros agrônômicos de trigo e de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,v. 26, n. 10, p. 1615-1624, out. 1991.

ERBERT, M. **Introdução ao Sensoriamento remoto**. 2001. 32 p.. Capítulo 1 da Dissertação de Mestrado – CEPSSRM, UFRGS, Porto Alegre, 2001.

FAO. **Statistical databases: Faostat**. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 10 de junho de 2005.

FELICÍSSIMO, A. M.; GARCIA-MANTECA, P. Corrección del efecto topográfico en las imagenes Landsat mediante el uso de un modelo digital de elevaciones. In: Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección, 3., 1989, España. **Anais...** Madrid: Asociación Española de Teledetección, 1989. p. 209-216.

FERNANDES, C.D.; FERNANDES, A.T.F.; BEZERRA, J.L. Mela das sementes de brachiaria: uma doença nova para o Brasil. *Fitopatologia Brasileira*: vol.17, p.218, ago,1992. (resumo).

FERNÁNDEZ, S. *et al.* Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* cv. Astral under water and nitrogen stress. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n.9, p.1867-1884, 1994.

FERREIRA, M. E. *et al.* Uso do modelo linear de mistura espectral para o mapeamento sistemático e operacional do bioma cerrado: possibilidades, implicações e procedimentos metodológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais**Belo Horizonte, INPE, 2003. p.657-664.

FERREIRA, A. S.; CASELA, C. R. Ocorrência de *Claviceps sorghi* agente causal da doença ergot no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 302, ago. 1995. Suplemento.

FERRI, C. P. **Utilização da reflectância espectral para a estimativa de pigmentos fotossintéticos em dosséis de soja [*glycine max* (l.), merril]**. 2002, 173 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

FONSECA, E.L., ROSA, L.M.G., FONTANA, D.C. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* (grama forquilha) em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 365-371, mar. 2002.

FONSECA, E. L. e GLERIANI, J. M., Avaliação do efeito da correção atmosférica e retificação radiométrica no cálculo da transformação Tasseled Cap. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2003, Goiânia. **Anais...** p. 513-519.

FORMAGGIO, A.R. **Características agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão**. Piracicaba, 1989. 161p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FORMAGGIO, A.R.; EIPHANIO, J. C. N. **Características espectrais de culturas e rendimento agrícola**. 1990. 154 f. Relatório final de atividade, INPE, São José dos Campos, 1990.

FRANCO, J. B. S.; ROSA, R. Metodologia de coleta de dados radiométricos em pastagens do gênero "*brachiaria*" com diferentes estágios de degradação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte, **Anais XI SBSR**, INPE, 2003. p. 2483 – 2491.

FURBY, S.L.; CAMPBELL, N.A. Calibrating images from different dates to 'like-value' digital counts. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, p. 186-196, 2001.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D.A. Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor hyperion/eo-1, **Revista Brasileira de Cartografia**, Presidente Prudente, n.57, p. 7-14, 2005.

GALVÃO, L.S.; I. VITORRELLO; R. ALMEIDA FILHO. Effects of band positioning and bandwidth on NDVI measurements of tropical savannas. **Remote Sensing of Environment**, 67:181-193, 1999.

GATES, D.M. *et al.* Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v.4, p.11-20, 1965.

GATES, D.M. **Biophysical ecology**. New York: Springer-Verlag, 1980. 61 lp.

GAUSMAN, H.W.; ESCOBAR, D.E.; BOWEN, R.L. A video system to demonstrate interactions of near infrared radiation with plant leaves. **Remote Sensing of Environment**, v.13, p.363-366, 1983.

GERDES, L. *et al.* Avaliação de características agronômicas e morfológicas das gramíneas forrageiras marandu, setária e tanzânia aos 35 dias de crescimento nas estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.4, p.947-954, 2000.

GIRARD, C.M. Estimation of phenological stages and physiological states of grassland from remote sensing data. **Vegetation**, v.48, p.219-226, 1982.

GLERIANI, J. M. **Influência do solo de fundo e da geometria da radiação na resposta espectral da cultura do feijão**. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994.

GLERIANI, J. M.; ANTUNES, M. A. H.; EPIPHANIO, J. C. N. Coeficientes da transformação espectral tasseled cap para uma cena com predomínio de latossolo roxo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais** Belo Horizonte, INPE, p. 101-107

GOEL, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, New York, v. 4, n. 1, p. 1-21, 1988.

GONZALEZ, R.C.; WINTZ,P. **Digital image processing**. 2 ed. Addison-Wesley. 503p.

GONZÁLEZ, C. R. *et al.* Un método sencillo para la corrección topográfica de imágenes de satélite. Aplicación a imágenes Landsat-TM de los concejos de Mieres y San Martín del Rey Aurelio (Asturias) para obtener mapas de vegetación. **Mapping Interactivo**, España, 2001. Disponível em: < <http://www.mappinginteractivo.com/> >. Acesso em 27 jan 2003.

GU, X.F. Étalonage et intercomparaison des données satellitaires en utilisant le site test de la Crau. Tese de Doutorado, Université Paris VII, 260p, 1991.

GU, X.F., GUYOT, G., CLASTRE, P., GUINOT, J.P. estimation de la fonction de transfert de modulation du capteur NOAA11-AVHRR dans les domaines du visible et du proche-infrarouge. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON PHYSICAL MEASUREMENTS AND SIGNATURES IN REMOTE SENSING, 6, 1994, Val d'Isère (França) 1994, pp.65-73.

Guia do ENVI 3.5 - **Conceitos básicos do sensoriamento remoto**. 29p

GÜRTLER, S. *et al.* Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens Tm e Etm+ Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, Presidente Prudente, junho 2005.

GÜRTLER, S.; LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. Uniformização de imagens Landsat para previsão de safras agrícolas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, INPE, p. 109-116.

GUYOT, G. Optical properties of vegetation canopies. In: STEVEN, M.D.; CLARK, J.A., (Ed.). **Applications of remote sensing in agriculture**. London: Butterworths, 1990. p. 19-43.

HAIR, J.F. **Multivariate data analysis**. 4ed.. Washington: Library of Congress, 1998. 519p.

HALL, F. G. *et al.* Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v.35 n.1 p. 11-27, 1991.

HART, W.G., *et. al* Comparing imaging systems for assessment of diverse conditions of agricultural resources. In: WORKSHOP ON VIDEOGRAPHY, 1., Falls Church, 1998. **Proceedings**. Falls Church: ASPRS, 1988. p.160-165.

HILL, J. E.; STURM, B. Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data for use in agricultural landcover classification and vegetation monitoring. **International Journal of Remote Sensing**, v. 12, p. 1471-1491, 1991.

HENDERSON, K. E.; G.D. BADHWAR. 1984. An initial model for estimating soybean development stages from spectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.21,n,14, p.55-63, 1984.

HOLBEN, R.; JUSTICE, C. O. An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. **International Journal of Remote Sensing** ; 2(1): p. 115- 133, 1981.

HOLBEN, B.N.; TUCKER, C.J.; FAN, C.J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 46, p.651-656, 1980.

HUETE,A.R.; JACKSON, R.D. Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies. **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.1, p.89-105, 1988.

IMAI, N. N. I.; *et al.* Espectroradiometria de campo no visível e infravermelho próximo: um estudo da resposta espectral da soja. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS. 3, 2003, Curitiba.

IMSPEC. **ACORNTM user's guide**. Boulder, CO, Analytical Imaging and Geophysics. Boulder, CO, 2001. 64p.

INFOSECA-CIIAGRO. Centro de monitoramento e mitigação de seca e adversidades hidrometeorológicas. Disponível em: <<http://www.infoseca.sp.gov.br/>>. Acesso em: 04 de janeiro de 2006

INPE - INSTITUTO NACIONAL PESQUISAS ESPACIAIS. Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) versão 4.1.1) [on line] Disponível em: <www.dpi.inpe.br/spring> Acesso em: 10 Junho 2005.

IWAI, O. K. **Mapeamento do uso do solo urbano no município de São Bernardo do Campo, através de imagens de satélite**. 2003. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indexes. **Journal of Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n.2, p.185-200, 1991

JACKSON, R. D.; SLATER, P. N.; PINTER, P. J. JR. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. **Remote Sensing of Environment**, v.13, p.187-208, 1983.

JENSEN, A.; LORENZEN, B.; ESTERGARD, H.S. *et al.* Radiometric estimation of biomass and nitrogen content of barley grown at different nitrogen levels. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11, n. 10, p. 1809-1820, 1990.

JENSEN, J. R. **Introductory digital imaging processing, a remote sensing perspective**. Prentice Hall: Englewood Cliffs, 1986. 379 p.

JENSEN, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. 544p.

KAZMIERCZAK, M.L. Proposta metodológica para geração de imagens NDVI derivadas do AVHRR/NOAA-14 na FUNCEME. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Imagem Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnicos-Científicas.

KAUTH, R. J.; THOMAS, G. S. The tasseled cap - A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA. , Purdue. 1976. **Proceedings**. Purdue: Purdue University, 1976. p. 4B41-4B51.

KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment** 3:155-159. 1970.

KOLLENKARK, J.C. *et al.* Effect of cultural practices on agronomic: reflectance characteristics of soybean canopy. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 4, p. 751-758, 1982.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; JAIME, A. L. G. Correção radiométrica de imagens digitais aéreas para o efeito vinhete. **Revista Brasileira de Cartografia** n. 56/01, p. 65-74, 2004.

LAW, B.E.; WARING, R.H. Remote sensing of leaf area index and radiation intercepted by under story vegetation. **Ecological Applications**, v.4, n.2, p.272-279, 1994.

LEONARDI, S. S.; SOUZA, S. M.; FONSECA, L. M. G. Comparação do desempenho de algoritmos de normalização radiométrica de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte, **Anais XI SBSR**, INPE, p. 2063 - 2069

LI-COR. **LAI-2000 plant canopy analyzer**: manual. Nebraska, 1992. 166p.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley e Sons Inc.,1994.

LUIZ, A. J. *et al.* Comportamento espectral associado a parâmetros agrônômicos de soja (*Glycine max*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, **Anais XI SBSR**, Foz do Iguaçu, INPE, p. 103–110, Sessão Pôster.

LUIZ, A. J. B.; *et al.* Reflectância a partir do número digital de imagens Etm+ . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte, **Anais XI SBSR**, INPE, p. 2071 – 2078.

MACHADO, H. M.; *et al.* Estudo da variação de parâmetros atmosféricos necessários para correção atmosférica de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2537 – 2539.

MATSUDA. Sementes e Nutrição Animal. Disponível em: <<http://www.matsuda.com.br>>. Acesso em: 05 maio de 2005.

MAZZI, A. L. Processamento de imagens orbitais para o Sistema de Informações Geográficas do Pontal do Paranapanema, **Relatório final de projeto de pesquisa IC apresentado à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)**. Unesp – Campus de Presidente Prudente.

MINNAERT, The reciprocity principle on lunar photometry. **Astrophysical Journal**, v. 93, p.403-410, 1941.

MONTEIRO, M.C.C.; LUCAS, E.D.; SOUTO, S.M. Estudo de seis espécies forrageiras do gênero *Brachiaria*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, ser.zootec.**, v. 9 (3), p.17-20, 1974.

MORAES, E.C. Radiometria óptica espectral: comportamento espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 1996. **Anais**. Salvador, 1996. p.1-22.

MORAES, E. C., **Fundamentos do sensoriamento remoto**. São José dos Campos:INPE , ano.Disponível em:
<http://www.dsr.inpe.br/vcsr/html/APOSTILA_PDF/CAP1_ECMoraes.pdf> acesso em 23 de setembro de 2005.

MOREIRA, M.A. **Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agrônômicos**. Piracicaba,1997. 142p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MOREIRA, M.A.; AULICINO, L.C.M.; SHIMABUKURO, Y. Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Santos. CD ROM.1998.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001, 250p.

_____. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. UFV, Viçosa, 2003, 307p.

MOREIRA, M.A. *et al.* Comparação da resposta espectral de alvos em imagens CBERS-2/CCD e LANDSAT-5/TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia, **Anais XII**, INPE, p.1027-1034.

MYERS, V.I. Soil, water and plant relations. In: National Academy of Sciences. Remote Sensing with special reference to agricultural and forestry. Washington. 1970.

NANNI, M. R., DEMATTÊ, J. A. M., FIORIO, P. R. Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre.In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia . **Anais...**, Goiânia: INPE . 2005, p. 407-414.

NOGUEIRA, J.L.M *et al.* Reflectância de uma superfície vegetada em função da geometria de aquisição. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. **Anais do VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, Salvador: INPE, 1996, p. 941-949.

NOGUEIRA, S. A. J., FERREIRA, L. G., Avaliação de métodos de detecção de mudanças para monitoramento contínuo e sistemático do cerrado goiano, utilizando dados orbitais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2003, Rio de Janeiro. **Anais do**, Rio de Janeiro: 2003. v. único. p. 576 a 584.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308 p.

_____ **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 308p.

OVIEDO, A. ; RUDORFF, B. F. T. . Índice de área foliar e resposta espectral da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) submetida ao estresse hídrico. **Revista Biociências**, Taubaté, SP, v. 6, n. 2, p. 39-47, 2000.

PATEL, N.K.*et al.* Spectral response of rice crop and its relation to yield and yield attributes. **International Journal of Remote Sensing**, cidade,v.6, n.5,p.657-664, 1985.

PCI – Remote Sensing Crop. **Image Works**. Ontário, Canadá, Richmond Hill, 1997. Cap. 2, 57p.

PEARSON, R.L.; MILLER, R.D. Remote mapping of starting crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, 1972. **Proceedings**. 1972. v.2, p.1355-1373.

PEREIRA, A.V.; SOBRINHO, F. S.; SOUZA, F. H. D.Tendências do melhoramento genético e produção de sementes de forrageiras no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFL, 2003.

PINTO, N. F. J. A. Controle químico da “ergot” (*claviceps africana* frederickson, mantle & de milliano) ou doença-açucarada e das principais doenças foliares do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Ciênc. Agrotec.**, Lavras. v.27, n.4, p.939-944, jul./ago., 2003

PINTO, N. F. J. A; FERREIRA, A. S.; CASELA, C. R. Ergot (*Claviceps africana*) ou doença açucarada do sorgo. **Circular Técnica**, Sete Lagoas, EMBRAPA, n. 23, 24p. 1997.

PONZONI, F. J. Dados TM/Landsat na identificação do ataque da Vespa-da-madeira em plantios de *Pinus* sp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador, BA.

PONZONI, F. J.; GONÇALVES, J. L. de M. **Caracterização espectral de sintomas relacionados às deficiências de nitrogênio (N), fósforo (P) e de potássio (K) em mudas de *Eucalyptus saligna***. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

PONZONI, F. J. Avaliação de imagens-índice e imagens-proporção na identificação de plantios florestais desfolhados por geadas e pelo ataque de insetos. **Scientia Forestalis** n. 54, p. 107-118, 1998

PONZONI, F.J. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001. 68p.

PONZONI, F. J. *et al.* Comparação entre o fator de reflectância bidirecional de um dossel de mudas de *eucalyptus grandis* e o fator de reflectância direcional hemisférico de suas folhas isoladas. **CERNE**,v. 8, n.1, p. 59-68, jun. 2002.

PONZONI, F. J., REZENDE, A.C.P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA) através de dados orbitais.. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 535-545, 2004.

PONZONI, F. J.; ZULLO JR, J.; LAMPARELLI, R. A. C. Calibração absoluta da câmera CCD/CBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO.12, 2005, Goiânia, **Anais...** INPE, p. 1067-1074.

QI, J., *et al.* A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing Enviromental** 48:119-126. 1994.

RANGEL. M. E., *et al.* Relação entre o Fator de Reflectância Hemisférica e o Fator de Reflectância Hemisférica Bidirecional de Folhas Isoladas da *Tibouchina granulosa* cogn. In:

SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu, **Anais X SBSR**. Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1461-1467.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; BLUM, M.M.C. Doença açucarada do sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, p. 479-490, 2000.

RICHTER, R.; Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 5, p. 1099-1111, 1997.

ROBINOVE, C.J. Computation of physical values for Landsat digital data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 48, n. 5, p. 781-784, 1982.

ROSEMBACK, R.; FRANÇA, A. M.; FLORENZANO, T. G. Análise comparativa dos dados ndvi obtidos de imagens ccd/cbers-2 e tm/landsat-5 em área urbana. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais do XII-SBSR**. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1075-1082.

RUDORFF, B.T.F. *et al.* **Relatório da campanha de medidas radiométricas do trigo na região de Assis** – safra 1988. São José dos Campos, INPE, 1989.

RUDORFF, B.F.T. *et al.* Efeito do nitrogênio e do déficit hídrico na resposta espectral de cultivares de trigo. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA. 1997, Mérida, **Anais...** Mérida: Venezuela, 1997. CD-ROM.

SANTOS JUNIOR., R.F., *et al.* Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. **Fitopatologia Brasileira**, 27:355-360. 2002.

SÃO, PAULO 1999. **Pontal do Paranapanema. Zoneamento Ecológico-Econômico**. São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 1999, 110 p.

SCHOTT, J. R.; SALVAGGIO, C.; VOLCHOK, W. Radiometric Scene normalization using pseudoinvariant features. **Remote Sensing of Environment**, v.26 p. 1-6, 1988.

SCHOWENGERDT, R.A. **Remote sensing, models and methods for image processing**. 2nd ed. London: Academic Press, 1997. 522 p.

SEIFFERT, N.F. Metodologia de coleta de dados radiométricos em pastagens do gênero “brachiaria” com diferentes estágios de degradação. Campo Grande, **Circular Técnica**, n.1. 1984.

SHIMABUKURO, Y.E.; NOVO, E.M.; PONZONI, F.J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,DF.,v.33, n. especial, p. 1729-1737, 1998.

SILVA, B. S.; VALERIANO, D. M. Correção atmosférica e topográfica de imagens de satélite em terrenos montanhosos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais....**Goiânia: INPE, 2005. p. 3587-3594.

SILVA, R. B da. **Interações da Radiação Eletromagnética com o Dossel Vegetativo e sua aplicação na Ciência Florestal**. Cuiabá, 2003, 120p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Mato Grosso.

SILVA, P.G., *et al.* Avaliação da correção atmosférica e retificação radiométrica em estudos multitemporais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte, **Anais...** INPE, p. 2135 – 2142.

SILVA, R.C. C., MARTINS, A. K. E., O uso de imagens CBERS-2 para quantificar e qualificar áreas degradadas no Projeto Rio Formoso no município de Formoso do Araguaia – In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia, **Anais...** INPE, p. 1083 – 1089.

SIMÕES, M. S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte, **Anais XI SBSR**, INPE, Belo Horizonte, p. 2367 – 2374.

SLATER, P.N. *et al.* Reflectance and radiance-based methods for the in-flight absolute calibration of multispectral sensors, **Remote Sensing of Environment**, n.22, 1987, pp.11-37.

SONG, C. *et al.* Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? **Remote Sensing of Environment**, v.75, p. 230-244, 2001.

SOUZA, O.C.; ARAÚJO, M. R. Proposição para o monitoramento de ciganinha, invasora de pastagens, usando sensoriamento remoto. **Documento 118**, Campo Grande: Embrapa, 2001.16p.

SOUZA, S. O.; SANTANA, J.; SHIMOYA, A. Comportamento de gramíneas forrageiras tropicais Isoladas e em associação com leguminosas na Região norte-fluminense **Ciênc. agrotec.**, Lavras. Edição Especial, p.1554-1561, dez., 2002

SOUZA, P. E. U. **Calibração radiométrica da câmera CCD/CBERS-1**. São José dos Campos. 2003. 160 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

SPRING 4.1.1 – **Processamento de imagens e suas técnicas**. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/pdi_con.htm>. Acesso em: 0/09/2005

STEFFEN, CA. Fundamentos de radiometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. p.1-17.

_____. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/home.htm>>. Acesso em: 01 Fevereiro de 2005.

_____.; MORAES, E.C. Tutorial de radiometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993, Curitiba, **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993, p. 2-12.

TANAJURA, E. L. X.; ANTUNES, M. A. H.; UBERTI, M. S. Avaliação de índices de vegetação para a discriminação de alvos agrícolas em imagens de satélites. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, **Anais XI SBSR**, Goiânia, INPE, p. 301 - 307.

TANRÉ, D. *et al.* Description of a Computer Code to Simulate the Satellite Signal in the Solar Spectrum: The 5S Code, **International Journal of Remote Sensing**, v.11, n.4, p.659-680, 1990.

TANRÉ, D.; HOLBEN, B.N.; KAUFMAN, Y.J. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. **IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing**, v.30, p. 231-248. 1992.

TAYLOR, J.C., THOMAS, G. & WOOD, G.A. Mapping yield potential with remote sensing. **Anais. Precision Agriculture'97**, 2:713-72. 1997.

THOMAS, J.R. *et al.* Estimating leaf water content by reflectance measurements. **Agronomy Journal**, cidade, v.63, n.6, p.845-847, 1971.

TOKOLA, T.; LÖFMAN, S.; ERKKILÄ, A. Relative calibration of multitemporal Landsat data for forest cover change detection. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, p. 1-11, 1999.

TOMINI, E. R. **Modelagem da produtividade potencial da *brachiaria brizantha* – (variedades cultivadas marandu e xaraés)**. Piracicaba, 2004, 135f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in climatology. Laboratory of Climatology, New Jersey, v.8, 1955, 104p.

TUCKER, C.J. *et al.* Remote sensing of total dry matter accumulation in winter wheat. **Remote Sensing of Environment**, n.11, p.171-189, 1981.

TURNER, CL.; SEASTEDT, T.R.; DYER, M.I. Effects of management and topography on the radiometric response of a tallgrass prairie. **Journal of Geophysical Research**, v.97, n.17, p.18855-18866, 1992.

TURNER, D.P. *et al.* Relationships between Leaf area index and Landsat TM Spectral Vegetation indices across three temperate zone sites. **Remote Sensing of Environment**, v.70, p.52-68, 1999.

TURNER, N.C; BEGG, J.E. Responses of pasture plants to water deficits. In: WILSON, J.E(ed.) **Plant relations in pastures**. Melbourne: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1978. p. 50-66.

VALERIANO, D. M. **Interações da radiação solar com a vegetação**. São José dos Campos: INPE, 1988. 36 p.

VALLE, C.B.; Recursos genéticos de forrageiras para áreas tropicais. In: CONFERÊNCIA VIRTUAL GLOBAL SOBRE PRODUÇÃO ORGÂNICA DE BOVINOS DE CORTE, 1, 2002, Campo Grande, Embrapa Gado de Corte.

VANE, G.; GOETZ, A.F.H. Terrestrial imaging spectrometry. **Remote Sensing of Environment**, v.24, p.1-29, 1988.

VARELLA, C. A. A.; KHOURY, J.K.; PINTO, F.A.C., et al. Estimativa da deficiência de nitrogênio na cultura do milho utilizando características de imagens digitais para uso em sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2003, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003, p. 2391 - 2398.

VERMOTE, F. *et al.* Second Simulation of the Stellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview. **IEEE transactions on Geoscience and Remote sensing**, v.35 n. 3 p. 675-232, 1997.

VERZIGNASSI, J.R.; FERNANDES, C. D. Doenças em forrageiras: **Gado de corte divulga**, Campo Grande, Embrapa, v. 50, 3p. 2001.

VICENTE, J., **Estudo comparativo de métodos geoestatísticos aplicados em agricultura de precisão**. Presidente Prudente, 2004, 163p. Dissertação (Mestrado em Ciência Cartográficas) – Faculdade de Ciências Tecnológicas - UNESP.

VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; LACERDA, M. P. C. Parâmetros culturais para avaliação do comportamento espectral da cultura do café(*coffea arábica*) em Minas Gerais, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte: INPE, p. 247 – 254.

VILLA, A.R.; SORIA, L.G.T. Utilização da termometria a infravermelho na determinação do índice de estresse hídrico em capim Tanzânia irrigado (compact disc). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 10, 2002, **Resumos**. Piracicaba: ESALQ, 2002.

VOLPATO, M. M. L.; PINTO, H. S.; ZULLO JR. J. Utilização de correção atmosférica em imagens noaa-14 visando a determinação do ndvi em pastagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu, **Anais.....**Foz do Iguaçu: INPE, p. 1367 – 1369.

WALTER-SHEA, E.A. *et al.* Leaf reflectance and transmittance in soybean and corn. **Agronomy Journal**, v.83, p.631-636, 1991.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; MADRUGA, P.R. A. Avaliação e classificação digital em imagens de vídeo multiespectral utilizando matriz confusão. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Irati, v. 5, n.1, 2003.

WELLES, J.M Some indirect methods of estimating canopy structure. In: GOEL, N.S.; NORMAN, J.M. **Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions**. London: Harwood Academy, 1990, p.31-43.

WENKERT, W., LEMON, E. R., SINCLAIR, T. R. Leaf elongation and turgor pressure in field-grow soybean. **Agronomy Journal**, v.70, p.761-769, 1978.

XAVIER, A.C. **Estimativa da dinâmica do índice de área foliar em uma microbacia hidrográfica por meio de técnicas de sensoriamento remoto**. Piracicaba, 2002, 111f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

YUAN, D. E ELVIDGE, C.D. Comparison of relative radiometric normalization techniques. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 51, p. 117-126, 1996.

ZIMMER, A. H.; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M.C. M. Manejo de plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*, 1988. In: **PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P.; (eds.). IV Simpósio sobre manejo de pastagens**. Piracicaba - SP: FEALQ. p. 141 - 183.

ZULLO, JR. J.; BEZERRA, P.C. Correção Atmosférica de imagens de satélite utilizando o 5S. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993, Curitiba, **Anais ...**, Curitiba: INPE, p. 1.

ZULLO Jr., J. **Correção atmosférica das imagens de satélite e aplicações**. 191p. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica), DCA/FEE/UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

ZULLO Jr., J. *et al.* Pré-processamentos das imagens de satélites. CIG – Caderno de Informações Georeferenciadas, 1(1), 1996, Disponível em:
<<http://www.cpa.unicamp.br/revista/cigv1n1a7.html>>. Acesso em 20 de abril de 2005.

8 ANEXOS

ANEXO 1 - Programa em Linguagem Legal para transformação de imagens em NDs em Fator de Reflectância Bidirecional Aparente (FRBA).

```

{
Imagem Im2, Im3, Im4, Im8, Im9, Im10 ("CBERS");
Digital Im5, Im6, Im7 ("Grade");

Im2=Recupere (Nome="2");
Im3=Recupere (Nome="3");
Im4=Recupere (Nome="4");

Im5=Novo (Nome="ccd_2_apa_gr", ResX=20, ResY=20, Escala=50000, Min=0, Max=255);
Im6=Novo (Nome="ccd_3_apa_gr", ResX=20, ResY=20, Escala=50000, Min=0, Max=255);
Im7=Novo (Nome="ccd_4_apa_gr", ResX=20, ResY=20, Escala=50000, Min=0, Max=255);

Im8=Novo (Nome="ccd_2_apa", ResX=20, ResY=20, Nbits=8);
Im9=Novo (Nome="ccd_3_apa", ResX=20, ResY=20, Nbits=8);
Im10=Novo (Nome="ccd_4_apa", ResX=20, ResY=20, Nbits=8);

elev=37/57.2957795130; // <=====
zen=90/57.2957795130 - elev;
pi=3.141592654;
dist=1;

Cc1=1.009;
Cc2=1.930;
Cc3=1.154;
Cc4=2.127;
Cc5=1.483;

esun1=1934.03;
esun2=1787.10;
esun3=1548.97;
esun4=1069.21;
esun5=1664.33;

Im5= ((pi*(Digital(Im2/Cc2))*dist^2)/(esun2*cos(zen)))*255;
Im5= Im5 <= 0 ? 0 : Im5;
Im8= Imagem (Im5);
Im6= ((pi*(Digital(Im3/Cc3))*dist^2)/(esun3*cos(zen)))*255;
Im6= Im6 <= 0 ? 0 : Im6;
Im9= Imagem (Im6);
Im7= ((pi*(Digital(Im4/Cc4))*dist^2)/(esun4*cos(zen)))*255;
Im7= Im7 <= 0 ? 0 : Im7;
Im10= Imagem (Im7);

}

```

**ANEXO 2 - Programa GRBR em Linguagem Legal para obtenção de imagens
GREENNESS e BRIGHTNESS**

```
{  
Image Im1, Im2, Im3, Im4, Im5 ("CBERS");  
  
Im1=Recupere (Nome="banda_2_reflreal");  
Im2=Recupere (Nome="banda_3_reflreal");  
Im3=Recupere (Nome="banda_4_reflreal");  
  
Im4=Novo (Nome="GREENNESS_05_", ResX=20, ResY=20);  
Im5=Novo (Nome="BRIGHTNESS_05_", ResX=20, ResY=20);  
  
Im4=((Im1*-0.2435) + (Im2*-0.5436) + (Im3*0.7243) + 100.5);  
Im5=((Im1*0.2793) + (Im2*0.4743) + (Im3*0.5585) + 0.5);  
}
```

ANEXO 3 - Programa em Linguagem Legal para obtenção de máscaras. Exemplo do fatiamento da imagem BRIGHTNESS_05

```
{
Image Im1 ("CBERS");
Tematico tem1, tem2 ("tem_GRBR");

Tabela fatia1 (Fatiamento);
Tabela fatia2 (Fatiamento);

fatia1=Novo(CategoriaFim="tem_GRBR", [66,86]:"claros_brightness");
fatia2=Novo(CategoriaFim="tem_GRBR", [5,42]:"escuros_brightness");

Im1=Recupere(Nome="BRIGHTNESS_05");

tem1=Novo(Nome="MAI_05_BRclaros", ResX=20, ResY=20, Escala=50000);
tem2=Novo(Nome="MAI_05_BRescuros", ResX=20, ResY=20, Escala=50000);

tem1=Fatie(Numerico(Im1), fatia1);
tem2=Fatie(Numerico(Im1), fatia2);
}
```

ANEXO 4 - Programa em Linguagem Legal para o cruzamento entre as imagens GREENNESS e BRIGHTNESS

```
{  
  Tematico tem1, tem2, cross ("tem_GRBR");  
  
  tem1=Recupere (Nome="MAI_05_BRclaros");  
  tem2=Recupere (Nome="MAI_05_GRclaros");  
  
  cross=Novo (Nome="MAI_05_CRUZA_CLAROS", ResX=20, ResY=20, Escala=50000);  
  cross=Atribua (CategoriaFim="tem_GRBR")  
    {  
      "claros":(tem1.Classe == "claros_brightness" && tem2.Classe == "claros_greenness")  
    };  
}
```


ANEXO 5 - Programa em Linguagem Legal para a obtenção das médias das máscaras

```
{
Image Im1, Im2, Im3, Im4, Im5, Im7 ("CBERS");
Tematico temCL ("tem_GRBR");
Numerico NumCL1, NumCL2, NumCL3, NumCL4, NumCL5, NumCL7 ("MEDIAS");

Im2=Recupere (Nome="banda_2_reflreal");
Im3=Recupere (Nome="banda_3_reflreal");
Im4=Recupere (Nome="banda_4_reflreal");

temCL=Recupere (Nome="MAI_05_CRUZA_CLAROS");

NumCL2=Novo (Nome="MAI_05_Media-claros-2", ResX=20, ResY=20, Escala=50000, Min=0, Max=255);
NumCL3=Novo (Nome="MAI_05_Media-claros-3", ResX=20, ResY=20, Escala=50000, Min=0, Max=255);
NumCL4=Novo (Nome="MAI_05_Media-claros-4", ResX=20, ResY=20, Escala=50000, Min=0, Max=255);

NumCL2=MedZ (Im2, temCL.Classe == "claros");
NumCL3=MedZ (Im3, temCL.Classe == "claros");
NumCL4=MedZ (Im4, temCL.Classe == "claros");
}
```

ANEXO 6 - Programa em Linguagem Legal para a restituição das imagens através das suas médias

```

{
Image Im1, Im2, Im3, Im4, Im5, Im7 ("CBERS");
Image Im8, Im9, Im10, Im11, Im12, Im14 ("IMG_RETIFICADA");

Im2=Recupere (Nome="ccd_2_apa");
Im3=Recupere (Nome="ccd_3_apa");
Im4=Recupere (Nome="ccd_4_apa");

Im8=Novo (Nome="JUN_04_ccd_2_retif", ResX=20, ResY=20);
Im9=Novo (Nome="JUN_04_ccd_3_retif", ResX=20, ResY=20);
Im10=Novo (Nome="JUN_04_ccd_4_retif", ResX=20, ResY=20);

clref2=15.6;
clref3=21.20;
clref4=100.40;

climg2=20.80;
climg3=18.90;
climg4=87.40;

escref2=13.90;
escref3=15.10;
escref4=31.50;

escimg2=15.10;
escimg3=16.90;
escimg4=23.30 ;

m2=(clref2-escref2)/(climg2-escimg2);
b2=(escref2*climg2-escimg2*clref2)/(climg2-escimg2);
Im8=Im2*m2+b2;

m3=(clref3-escref3)/(climg3-escimg3);
b3=(escref3*climg3-escimg3*clref3)/(climg3-escimg3);
Im9=Im3*m3+b3;

m4=(clref4-escref4)/(climg4-escimg4);
b4=(escref4*climg4-escimg4*clref4)/(climg4-escimg4);
Im10=Im4*m4+b4;

}

```

ANEXO 7 - Programa em Linguagem Legal para obtenção de médias retificadas dos pontos claros e escuros

```
{
Image Im1, Im2, Im3, Im4, Im5, Im7 ("IMG_RETIFICADA");
Tematico temCL ("tem_GRBR");
Numerico NumCL1, NumCL2, NumCL3, NumCL4, NumCL5, NumCL7 ("MEDIAS_retif");

Im2=Recupere (Nome="JUN_04_ccd_2_retif");
Im3=Recupere (Nome="JUN_04_ccd_3_retif");
Im4=Recupere (Nome="JUN_04_ccd_4_retif");

temCL=Recupere (Nome="JUN_04_CRUZA_CLAROS");
NumCL2=Novo (Nome="JUN_04_RETIF_Media-claros-2", ResX=20, ResY=20, Escala=50000, Min=0,
Max=255);
NumCL3=Novo (Nome="JUN_04_RETIF_Media-claros-3", ResX=20, ResY=20, Escala=50000, Min=0,
Max=255);
NumCL4=Novo (Nome="JUN_04_RETIF_Media-claros-4", ResX=20, ResY=20, Escala=50000, Min=0,
Max=255);

NumCL2=MedZ (Im2, temCL.Classe == "claros");
NumCL3=MedZ (Im3, temCL.Classe == "claros");
NumCL4=MedZ (Im4, temCL.Classe == "claros");
}
```