

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E  
METEOROLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E RADIOMETRIA  
APLICADAS A VINHEDOS EM DUAS REGIÕES DO RIO  
GRANDE DO SUL, BRASIL**

PATRÍCIA RODRIGUES DA SILVA

Porto Alegre, Agosto de 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E  
METEOROLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E RADIOMETRIA  
APLICADAS A VINHEDOS EM DUAS REGIÕES DO RIO  
GRANDE DO SUL, BRASIL**

PATRÍCIA RODRIGUES DA SILVA  
Bacharel em Física

Orientador: Professor Dr. Jorge Ricardo Ducati

Dissertação apresentada como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto,  
na área de concentração de Desenvolvimento de Novas  
Metodologias.

Porto Alegre, Agosto de 2006.

## AGRADECIMENTOS

- Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, e ao Programa de Pós Graduação pelo apoio e infra – estrutura.
- Ao projeto JRD da NASA, onde as imagens utilizadas neste trabalho, foram obtidas sem custos.
- Aos proprietários das vinícolas que gentilmente abriram suas propriedades para nossos trabalhos de campo : Vinícola Almadèn, Vinícola Miolo, Vinícola Don Laurindo, Vinícola Larentis.
- A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo empréstimo do espectroradiometro.
- Aos pesquisadores Rosemary Hoff e Henrique Pessoa da EMBRAPA, por suas participações.
- A colega Ana Paula, sempre disposta a ajudar.
- Ao professor Jorge Ducati, pela orientação, dedicação, apoio e paciência ao longo do desenvolvimento deste trabalho.
- Aos meus pais pela compreensão e carinho, só cheguei até aqui com o apoio de vocês.
- Ao meu amado Alessandro, por todo seu amor, companheirismo, amizade e paciência sempre dedicados a mim em todos os momentos.

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E RADIOMETRIA  
APLICADAS A VINHEDOS EM DUAS REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL,  
BRASIL**

**Patrícia Rodrigues da Silva**

**ORIENTADOR: Jorge Ricardo Ducati**

**SINOPSE**

A observação da Terra por satélites tem demonstrado a possibilidade de estabelecer diferenças entre espécies de plantas através do estudo de suas feições espectrais. O espectro de reflectância das videiras segue esta tendência, demonstrando a viabilidade de identificar vinhedos em imagens de satélite entre outros tipos de vegetação. Entretanto a distinção entre cultivares de videira, ainda é investigada. Tal estudo foi conduzido neste trabalho, utilizando imagens de satélite multiespectral de dois diferentes “terroirs” no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Informações espectrais de 13 cultivares de videiras (Cabernet Sauvignon, Merlot, Semillon, e outras), foram extraídas de imagens coletadas pelo sensor ASTER a bordo do satélite Terra, com 9 bandas e resoluções de 15m no visível e 30m no infravermelho. Medidas radiométricas em campo foram realizadas, provendo informações espectrais adicionais. Para o “terroir” com videiras em espaldeira (cultivo em fileiras), espectros de nove pontos foram construídos, sendo cada um a média de três medidas, para cada uma das variedades estudadas. Estes espectros foram obtidos a partir das intensidades normalizadas para as 9 bandas, apresentando comportamento polinomial. O outro “terroir”, distante 500km, apresenta vinhedos pequenos cultivados no estilo tradicional de latada (horizontal). Alguns pontos observados são: Medidas de campo são compatíveis com os dados orbitais; Espectro de uma variedade medido em três diferentes áreas, são mutuamente consistentes; É possível através de imagens de satélite, identificar as variedades a partir de suas respectivas equações; A informação espectral é coerente entre ambos “terroirs”. Conclui-se que imagens de satélite com resolução média (pixel 15-30m), especialmente no infravermelho, são ferramentas valiosas para medidas de superfície e identificação de cultivares de uva, levando a múltiplas aplicações, entre elas a viticultura de precisão.

**REMOTE SENSING AND RADIOMETRIC TECHNIQUES APPLIED TO  
VINEYARDS IN TWO REGIONS OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL**

**Patrícia Rodrigues da Silva**

**ADVISOR: Jorge Ricardo Ducati**

**ABSTRACT**

The observation of Earth by satellites has demonstrated the feasibility of establishing differences between plant species, from their spectral features. The reflectance spectrum of vine plants follows this trend, being possible to identify vineyards in satellite images, among other species. However, identification at grape variety level is still to be investigated. This was presently addressed, using satellite multi-spectral images of two “terroirs” at Rio Grande do Sul State, Brazil. Spectral informations for 13 grape varieties (Cabernet Sauvignon, Merlot, Semillon, and others) were extracted from images collected by the ASTER sensor aboard Terra satellite, at 9 bands, with resolutions of 15 m at visible and 30 m at infrared. Field, radiometric measurements provided additional spectra. For one terroir, with vines in rows, 9-points spectra were constructed, each being the average of three plots of a given variety. These spectra are either polynomials, or sets of normalized intensities for the 9 bands. The other terroir, 500 km apart, has smaller plots in the traditional pergola style. Results point that: field measurements are compatible with orbital data; spectra for one variety, taken from three different plots, are mutually consistent; it is possible, from satellite images, to identify varieties, from their respective equations; the spectral information is coherent between both terroirs. It is concluded that middle resolution satellite images (pixel 15-30m), specially at infrared, are a valuable tool for surface measurements and grape variety identification, leading to multiple applications, including precision viticulture.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1. Vitivinicultura .....	11
1.2. Objetivo do Trabalho .....	12
<b>CAPÍTULO 2 - JUSTIFICATIVA E DESCRIÇÃO DA ÁREA .....</b>	<b>14</b>
2.1. Justificativa para o Trabalho .....	14
2.2. Descrição das Áreas de Estudo .....	15
<b>CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
3.1. Viticultura de Precisão .....	18
3.2. Terroir .....	19
3.3. Sistemas de Condução .....	20
3.4. Radiometria .....	22
3.4.1. Radiação Eletromagnética .....	22
3.4.2. Espectro Eletromagnético .....	23
3.5. Conceitos de Radiometria .....	25
3.6. Comportamento espectral da vegetação .....	26
3.6.1. Propriedades espectrais da vegetação .....	27
3.6.2. Comportamento espectral de uma comunidade vegetal .....	29
3.7. Sistemas Sensores .....	31
3.7.1. Radiômetros .....	32
3.7.2. Domínios de resolução dos sensores .....	33
3.8. Sensor ASTER .....	34
3.8.1. Características do Sensor ASTER .....	34
3.8.2. Produtos ASTER L1 .....	36
3.8.3. Parâmetros radiométricos .....	38
3.9. Tratamento de imagens digitais .....	39
3.9.1. Processamento de imagens digitais .....	39
3.9.2. Correções e Registro de imagens digitais .....	40
3.10. Classificação de imagens digitais .....	42
3.10.1. Método de Máxima Verossimilhança Gaussiana .....	44
3.10.2. Avaliação da Classificação .....	45
3.10.2. Avaliação da Classificação .....	45
<b>CAPÍTULO 4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>48</b>
4.1. Parreirais no Vale dos Vinhedos .....	48
4.1.1. Espectroradiometria de campo .....	50
4.1.2. Processamento e análise dos dados a partir da imagem ASTER L1A .....	52
4.2. Estudo dos parreirais na Campanha .....	54
4.2.1. Classificação Supervisionada .....	56
4.2.1.1. Pré-processamento .....	56
4.2.1.2. Classificação .....	57
4.2.2 Análise estatística da classificação digital nas diferentes bandas .....	58
4.2.3 Estudo das curvas de reflectância para a região da Campanha .....	67
4.2.3.1 Preparação da imagem para aplicação do modelo .....	68
4.2.3.2 Extração dos espectros de reflectância .....	69

<b>CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
5.1 Resultados da classificação MAXVER na região da Campanha.....	70
5.2 Curvas espectrais das videiras na região da Campanha e Serra Gaúcha .....	75
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>83</b>
<b>CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Características dos subsistemas ASTER.....	35
Tabela 2. Métodos de reamostragem e projeções disponíveis para produtos L1B. Adaptado de Abrams, 1999. ....	37
Tabela 3: Qualidade da classificação associada aos valores de índice Kappa.....	47
Tabela 4: Chave de símbolos da matriz de confusão.....	70
Tabela 5. Matriz de confusão derivada da classificação no subsistema VNIR, valores em %.....	71
Tabela 6. Matriz de confusão derivada da classificação no subsistema SWIR, valores em %.....	71
Tabela 7. Matriz de confusão derivada da classificação no subsistema VNIR+SWIR, valores em %.....	72
Tabela 8. Resultados da diagonal Principal da matriz de confusão nos subsistemas VNIR, SWIR e VNIR+SWIR.....	72
Tabela 9. Acurácia total e índice kappa para as diferentes classificações.....	73
Tabela 10. Reflectâncias, em ordem decrescente, das cepas em comum entre o presente trabalho, medidas em Palomas, e aquelas medidas por Luz e Fonseca (2003) na EMBRAPA/CNPUV. ....	79



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Regiões produtoras de uvas no Estado do Rio Grande do Sul .....	17
Figura 2. Sistemas de condução; à esquerda, latada; à direita, espaldeira. Fonte: Embrapa Semi-Árido. ....	21
Figura 3. Ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda e frequências .....	23
Figura 4. Espectro Eletromagnético.....	24
Figura 5. Curva de reflectância ( $\rho$ ) típica de uma folha verde (Fonte: Novo, 1989, p. 191). ....	27
Figura 6. Espectro de absorção para clorofila a, b e $\beta$ -caroteno (Fonte: Moreira 1997, p.162). ....	28
Figura 7. Espectroradiometria de variedades de uvas, por Luz e Fonseca (2003). ....	31
Figura 8. Componentes de um sistema sensor (Fonte: Moreira, 2001, p.101) .....	32
Figura 9. Efeito do registro sobre a imagem.....	41
Figura 10. Representação de uma banda em imagem multiespectral. (Fonte: CCRS, Fundamentals of Remote Sensing, 2001). ....	42
Figura 11. Cena ASTER L1A da região da Serra Gaúcha, de 24/11/2004. Composição RGB: 3N,2,1. A área de estudo está localizada no canto inferior direito da imagem ....	49
Figura 12. Espectroradiômetro Li-1800 (acima), esfera integradora (abaixo); Fonte: manual LI-COR, 1989. ....	50
Figura 13. Cena ASTER L1B da região de Palomas, 01/12/2004; em destaque, a área de estudo. ....	55
Figura 14. Região Campanha. Imagem recortada da cena ASTER L1B, subsistema VNIR.....	60
Figura 15. Região Campanha, imagem recortada da cena ASTER L1B, subsistema SWIR (bandas redimensionadas).....	60
Figura 16. Região Campanha, imagem recortada da cena ASTER L1B, subsistema (VNIR+SWIR).....	61
Figura 17. Região Campanha. Mapa dos vinhedos e detalhe da imagem. ....	62
Figura 18. Região Campanha. Detalhe da região, e fotografias dos vinhedos Almadén. ....	62
Figura 19: Classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança gaussiana no subsistema VNIR. ....	64
Figura 20. Classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança Gaussiana no subsistema SWIR. ....	65
Figura 21. Classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança Gaussiana nos subsistemas VNIR+SWIR. ....	66
Figura 22. Mapa das videiras na região de estudo, gerado pela classificação VNIR+SWIR. As áreas de videiras estão apresentadas em verde. ....	74
Figura 23. Curvas para 13 variedades de parreiras, terroir Campanha.....	76
Figura 24. Curvas de reflectância, região do VNIR, terroir Campanha. ....	76
Figura 25. Curvas de reflectância região do SWIR, terroir Campanha. ....	77
Figura 26. Curvas de reflectância terroir da Campanha, sobre outra perspectiva. ....	77

Figura 27. Curvas de reflectância das folhas para variedade Cabernet Sauvignon, terroir Serra Gaúcha.....	80
Figura 28. Curvas de reflectância para os dosséis da variedade Cabernet Sauvignon, terroir Serra Gaúcha.....	80
Figura 29. Curvas de radiância para quatro variedades cultivadas em latada, terroir Serra Gaúcha. ....	81
Figura 30. Curvas de radiância para quatro variedades cultivadas em espaldeira, terroir Campanha. ....	82

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1. Vitivinicultura

A produção de vinhos no Brasil teve considerável aumento a partir do século XIX, com a chegada dos imigrantes italianos no Estado do Rio Grande do Sul. O Rio Grande, atualmente, é responsável por 90% da produção vinícola do País, vindo a maior parte da chamada “Serra Gaúcha”, região de montanhas situada ao Nordeste do Estado. Nesta região destacam-se as cidades de Bento Gonçalves, Garibaldi, Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha, onde se localiza a maior parte das vinícolas brasileiras. Mais recentemente, também vem crescendo a produção vinícola no Sul do Estado, destacando-se os municípios de Bagé, Encruzilhada do Sul e Santana do Livramento.

A vitivinicultura brasileira tem evoluído de maneira extraordinária nas duas últimas décadas, com um considerável aumento da área plantada com viníferas, dando ao Brasil uma visibilidade internacional como um país produtor de vinhos finos. Neste contexto, o atual panorama vinícola brasileiro é bastante animador, destacando-se que, a partir de 1995, o País tornou-se membro da OIV (Organização Internacional do Vinho), organismo que regula as normas internacionais da produção de vinhos.

O mundo dos vinhos caracteriza-se por sua extrema complexidade. Alguns dos fatores mais relevantes desta diversidade provêm das diferenças nas características ambientais e climáticas nas regiões de plantio de uvas, influenciando diretamente a qualidade dos frutos. De fato, a fruta é muito sensível às características de solo e clima em que se desenvolve, e estes fatores influenciam de forma direta a variação de sabor, acidez, doçura, forma, coloração, e tamanho dos cachos, entre outros tantos descritores de qualidade. A ligação entre fatores diversos, alguns naturais, como solo, clima, e variedade de uva, e outros humanos, como manejo e modo de vinificação, dão ao vinho a sua diversidade, e configuram, no âmbito de um grande debate, o conceito de “terroir”, o qual será tratado, mais extensamente, no Capítulo 3.

## 1.2. Objetivo do Trabalho

O estudo das videiras beneficia-se, recentemente, de novos recursos, que são os ligados à observação dos parreirais por técnicas de Sensoriamento Remoto.

Neste trabalho foi proposto a utilização de dados e métodos de Sensoriamento Remoto e espectroradiometria para estudar áreas de cultivo de videiras, localizadas no Estado do Rio Grande do Sul. Pretendeu-se assim explorar o potencial destas técnicas, para aplicação a estudos ligados à vitivinicultura e à agricultura de precisão, a partir do comportamento espectral de cultivares de *Vitis vinifera*.

As áreas a serem estudadas, localizam-se em duas regiões do Rio Grande. Ao Nordeste do Estado, na Serra Gaúcha, na região denominada “Vale dos Vinhedos”, que abrange parte dos municípios de Bento Gonçalves, Garibaldi e Monte Belo do Sul. Ao Oeste do Estado, na região da Campanha, no distrito de Palomas, localizado no município de Santana do Livramento.

Até o presente momento, há poucos dados no Brasil de espectroradiometria e sensoriamento remoto de vegetação do tipo videira, mesmo sendo esta uma espécie muito representativa economicamente, tanto para o Estado do Rio Grande do Sul quanto para o País. Além de sensores/imageadores já tradicionais, como o Landsat ou mesmo o CBERS, uma nova geração de instrumentos tem entrado em serviço nos últimos anos. Visando quantificar o ganho na classificação de espécies vegetais com o aumento da resolução espectral, foram escolhidas imagens do sensor multiespectral ASTER, equipamento instalado a bordo do satélite TERRA.

Os procedimentos para a coleta e análise de dados foram das técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e trabalhos de campo.

As fases do trabalho compreenderam:

- Realização de saídas de campo, visando a caracterização espectral das folhas individuais e do dossel de *Vitis vinifera*, cultivar Cabernet Sauvignon, buscando a identificação de possíveis variações na reflectância das mesmas; tais variações

podem ser devidas a fatores como diferenças no solo, variações na quantidade de iluminação recebida pela planta, ataques de pragas ou moléstias, numa mesma região. Também foi investigada a existência ou não de uma relação linear entre medidas de reflectância de folhas e de dossel.

- Aquisição e pré-processamento de imagens de satélite do sensor ASTER, produto L1B, das áreas estudadas.
  
- Classificação, utilizando o método Máxima Verossimilhança, em três grupos de bandas ASTER, a saber, VNIR, VNIR+SWIR e SWIR, visando determinar a possibilidade de distinguir as características espectrais entre variedades de uvas, tintas e brancas, e também a melhor combinação de bandas para tal.
  
- Busca de correlações entre características espectrais e parâmetros descritores de parreirais (região, tipo de manejo).

## **CAPÍTULO 2-JUSTIFICATIVA E DESCRIÇÃO DA ÁREA**

### **2.1. Justificativa para o Trabalho**

A agroindústria do vinho nacional, centrada no Rio Grande do Sul, vem desde a década de 70 e principalmente nos últimos anos, passando por um processo de evolução qualitativa e de modernização tecnológica. Tal fato pode ser justificado pelo potencial do mercado interno para consumo de produtos de melhor qualidade e maior preço, os vinhos finos. O País tem sido reconhecido, nos cenários interno e externo, como produtor de vinhos finos de qualidade.

A melhoria da matéria prima e a racionalização de custos, são fatores importantes para o aumento da competitividade dos vinhos nacionais. Muitos são os fatores que influenciam a qualidade da uva e conseqüentemente, a qualidade do vinho produzido a partir da mesma. Entre eles, citam-se:

O modo como as videiras são plantadas, conduzidas, podadas e tratadas, caracterizando o manejo;

- As condições de drenagem e fertilidade do solo e subsolo;
- A inclinação e a altitude do terreno;
- A localização específica da videira e suas condições físicas;
- O clima da região e as condições meteorológicas;
- A quantidade de luz solar que a videira recebe durante o ciclo.

Neste quadro, visando aumentos de qualidade e rentabilidade, tornam-se necessários esforços para a implementação de técnicas avançadas de manejo, configurando o melhor uso do território de um vinhedo, mesmo em áreas de extensão pequena, ou muito pequena. Tal objetivo aproxima-se da chamada agricultura ou, no caso, viticultura de precisão, e depende fundamentalmente da obtenção de informações em pequena escala de vinhedos e mesmo de plantas individuais. É exigida portanto, a viabilidade de monitoramento e mapeamento através de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, incluindo o uso de equipamentos conectados ao Sistema de Posicionamento Global (GPS). Neste aspecto, o processamento de imagens orbitais, aliado à coleta georreferenciada de dados em campo com auxílio de GPS e técnicas de espectroradiometria, são ferramentas poderosas para o estudo de fatores tais como os citados acima, tendo repercussões de importância estratégica para o setor vitivinícola do País.

## 2.2. Descrição das Áreas de Estudo

As regiões estudadas, (Fig. 1) situam-se próximas da zona planetária que contém as condições geo-climáticas ideais para o melhor desenvolvimento dos vinhedos, a faixa ao norte e ao sul do planeta.

Situada nas montanhas do nordeste do Estado, a **região da Serra Gaúcha** é a grande estrela da vitivinicultura brasileira, destacando-se os municípios de Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Garibaldi pelo volume e pela qualidade dos vinhos que produzem. Esta área de estudo localiza-se no Vale dos Vinhedos, município de Bento Gonçalves, com coordenadas aproximadas de 29° 15' S e 51° 32' W. A região é o principal pólo produtor de uvas para vinhos finos no Brasil, com 30.373 hectares de vinhedos (Luz e Fonseca, 2003). Coexistem na região dois modos de condução de parreiras: a espaldeira (fileiras com dossel vertical), e a latada (dossel contínuo horizontal a aprox. 1,8m do solo). Este setor produtivo é caracterizado pela existência de pequenas propriedades (15 hectares em média), que empregam mão de obra familiar, onde se cultivam vinhedos de 2.5 hectares em média, em áreas de relevo bastante

acidentado e de difícil mecanização (Protas et. al., 2002). A altitude média na região é de 650 m, e o solo é caracterizado por composição química e reserva hídrica pobre (Miele e Rizzon, 2006). Existe na região um grande número de vinícolas, geralmente de propriedade familiar. Este estudo colhe informações das vinícolas Don Laurindo, Larentis e Miolo.

Na **região da Campanha** situa-se o município de Santana do Livramento, local de implantação, nas últimas décadas, de diversos empreendimentos vitivinícolas. A área de parreirais de interesse, situa-se em torno da latitude 30° 53' Sul e da longitude 55° 31' Oeste. A região é caracterizada por parreirais extensos e este trabalho, coleta informações na Vinícola Almadén, com uma área aproximada de 600 hectares, e 22 variedades de *Vitis vinifera* plantadas. Do ponto de vista de solos, a região está assentada sobre duas regiões geológicas distintas: a primeira, ocidental, abrange o derramamento basáltico que, mais ao norte, é conhecido com o nome Serra Geral; a segunda, a dos sedimentos, é decorrente da decomposição do escudo rio-grandense, em virtude da ação de antiquíssimas geleiras, resultando, finalmente, em rochas de arenito.

A temperatura média anual é próxima aos 24° C, sendo o clima do tipo temperado. Fundada sobre a Coxilha Grande, sua paisagem está salpicada de cerros, sendo os de maior elevação o do Itaquiatiá (395m), da Cruz (392m) e da Vigia (338m). Citam-se, também, cerros de menor tamanho, como o Cerro de Palomas, o Registro e o do Marco (linha divisória com o Uruguai, em Rivera), entre outros. A vegetação nativa é composta por várias espécies de gramíneas e árvores de médio porte. As matas existentes, ou remanescentes, circundam as margens de rios e arroios.



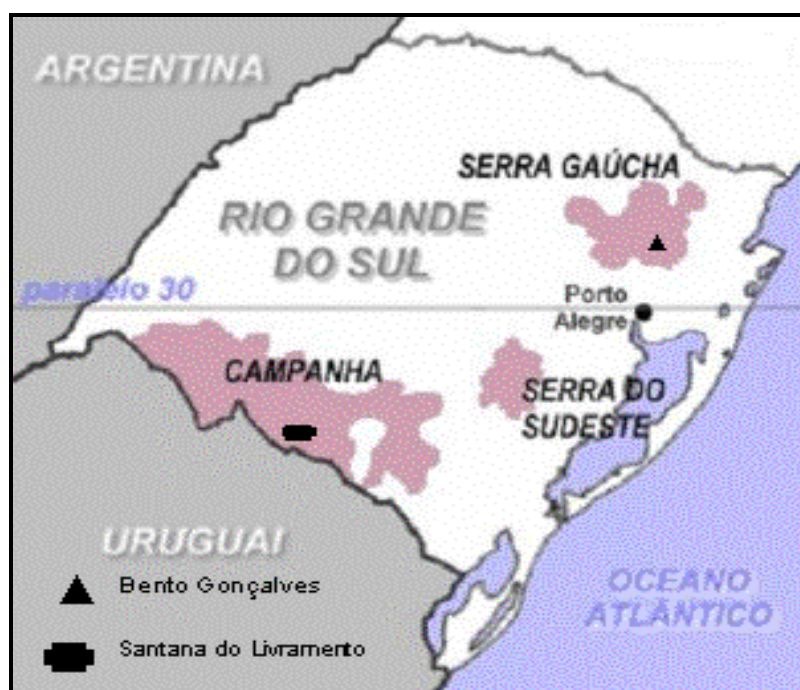


Figura 1. Regiões produtoras de uvas no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

## CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. Viticultura de Precisão

Segundo Bramley (2001), o conceito de agricultura de precisão não é novo e tampouco complicado. O benefício da utilização de imagens espaciais na agricultura para manejo de safras é conhecido desde 1929, quando fotografias aéreas começaram a ser empregadas para mapear recursos de solo (Seelan et al., 2003). Na Austrália e Estados Unidos, a indústria de grãos foi a que primeiramente teve interesse na agricultura de precisão. Em contraste, a utilização de viticultura de precisão, ou seja, a aplicação de tecnologias como o sensoriamento remoto com objetivo de monitorar a produção das videiras, é relativamente nova.

Contudo, a utilização do sensoriamento remoto aliado a outras ferramentas como GPS e Sistemas de Informação Geográfica (GIS), possibilita aos produtores de uva e vinho adquirir informações georreferenciadas detalhadas sobre o desempenho dos vinhedos. Sendo assim, a utilização de tais informações na produção de uvas e vinhos, de acordo com a expectativa de desempenho dos vinhedos, permite alcançar metas desejadas e planejadas, em termos de produção, qualidade e desenvolvimento (Bramley e Proffit, 1999).

A produtividade e saúde das videiras são influenciadas por vários fatores químicos, físicos e biológicos, incluindo variações espaciais na topografia, condições climáticas, características químicas e físicas dos solos, e a incidência de pragas e moléstias. A variação espacial destes fatores em uma mesma área de vinhedos é responsável pela variação no desenvolvimento dos dosséis (Lamb, 2004). Em um trabalho recente (Bramley, 2001) demonstrou que uma variação espacial destes fatores em um vinhedo pode ser associado a indicadores de qualidade nos vinhos resultantes, como cor e total de taninos presentes. Em termos de produção, significa que tais variações podem representar uma redução global na qualidade dos vinhos ou, se

convenientemente gerenciadas, em uma diferenciação de preços e uma maior rentabilidade final.

### 3.2. “Terroir”

“Terroir” é um termo que engloba uma série de fatores, tornado recentemente mais conhecido por sua repercussão na mídia e no público, através de produções cinematográficas como “MondoVino” (2004) e “Sideways” (2004). Ambos os filmes têm como enredo temas ligados de alguma forma ao vinho, e como consequência, ao “terroir”. Este capítulo tem como objetivo esclarecer um pouco mais o significado deste termo tão importante na produção vinícola.

Em seu trabalho, Taylor (2004), afirma que “terroir” é uma palavra francesa que não possui tradução correspondente em inglês. A tradução para o português, mais aproximada, seria solo, terreno. Entretanto terroir engloba muito mais que essas definições, e não pode ser explicada somente com base em condições físicas. É também definida como “situação em crescimento” (Johnson e Robinson, 2001) ou em relação à viticultura, como “a totalidade dos elementos do vinhedo” (Wilson, 1998). Esta definição foi expandida por Martin (2000), definindo “terroir” como o conjunto de todos os atributos, históricos, geográficos, humanos, biológicos de uma dada (delimitada) região, que contribuem para a individualidade dos vinhos produzidos nesta dada região.

É importante, dado o assunto deste trabalho, situar a palavra “terroir”. Este termo é de tradução difícil, e sua utilização pode envolver intenções de cunho político e econômico, percepção que se tornou clara durante os debates no encerramento do VI<sup>o</sup> Congrès International des Terroirs Viticoles, em Montpellier, França, em 7 de julho de 2006. Na ocasião, foi apresentada a seguinte noção de “terroir viticole”:

O “terroir” vitícola, é uma agro-ecossistema no qual a vinha interage com fatores do ambiente natural (solo, clima), e onde o resultado é o vinho. A qualidade e a

tipicidade do vinho dependem fortemente da interação entre a vinha (cepa, porta-enxerto), o clima e o solo. O fator humano deve igualmente ser tomado em consideração, pois as técnicas vitícolas e enológicas permitem evidenciar as interações dos diferentes fatores que compõem o “terroir”.

Esta inclusão de atributos sociais implica em uma reverência à terra, o que torna o conceito de “terroir” tão difícil de ser quantificado. Muitos “experts” no campo da viticultura e enologia referem-se ao aspecto “mental” do “terroir”, que relaciona a perspectiva viticulturista do vinhedo, com a percepção do consumidor a respeito do vinho e sua localidade de origem (Wilson, 1998). Portanto, quando um consumidor compra uma garrafa de vinho francês, ela ou ele não estão comprando apenas uma garrafa de bebida tipo vinho, mas também a memória ou sensação do local onde foi produzido.

As implicações destas considerações são muito amplas e, não sendo o objetivo deste trabalho, não serão aqui tratadas. Um dos fatores que tipifica um “terroir” é o sistema de condução das parreiras, sobre o que, a seguir, se discorre.

### **3.3. Sistemas de Condução**

Esta seção tem como objetivo explicar melhor os sistemas de condução, latada e espaldeira, utilizados no cultivo de videiras no Rio Grande do Sul. Os dados apresentados são baseados nas informações obtidas na página Internet da EMBRAPA Semi-Árido (EMBRAPA, 2004).

A videira, a não ser em casos especiais, não pode ser cultivada satisfatoriamente sem alguma forma de suporte. É uma planta que apresenta uma grande variedade na arquitetura de seu dossel. A distribuição espacial desse dossel, do tronco e dos braços, juntamente com o sistema de sustentação, constitui o sistema de condução da videira.

Há vários fatores que influenciam a escolha de um sistema de condução: o objetivo da produção (qualidade x quantidade); a variedade; tamanho do cacho; vigor da planta,

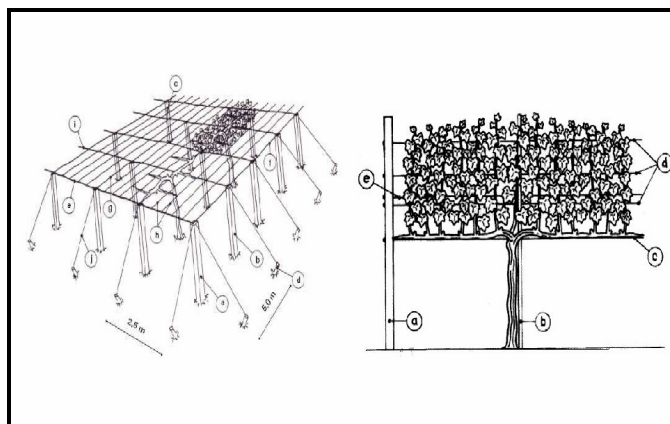
que pode requerer altura e/ou largura maiores para uma melhor exposição ao sol; as condições do solo e do clima; a topografia do terreno; o método de colheita, manual ou mecânico; o custo de instalação e de manutenção dos postes e fios; a conjuntura econômica do viticultor.

Há uma diversidade muito grande de sistemas de condução da videira utilizados nas diferentes regiões vitícolas do mundo. No Sistema de Produção de Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado (EMBRAPA 2004), são abordados os sistemas de condução latada e espaldeira (Fig.2).

O sistema de condução latada é também chamado de pérgola. É o sistema mais utilizado na Serra Gaúcha, RS e no Vale do Rio do Peixe, SC. Na América do Sul tem alguma expressão na Argentina, Chile e Uruguai. Na Europa, aparece em determinadas regiões vitícolas, especialmente na Itália, com denominações e formas diferenciadas.

Neste sistema, o dossel é horizontal.

O sistema de condução espaldeira é um dos mais utilizados pelos viticultores nos principais países vitivinícolas. No Rio Grande do Sul, é adotado especialmente na Campanha e na Serra do Sudeste e por algumas vinícolas da Serra Gaúcha. As videiras conduzidas em espaldeira, apresentam dossel vertical. Ambos sistemas são ilustrados na Figura 2.



**Figura 2. Sistemas de condução; à esquerda, latada; à direita, espaldeira. Fonte: Embrapa Semi-Árido.**

### 3.4. Radiometria

#### 3.4.1. Radiação Eletromagnética

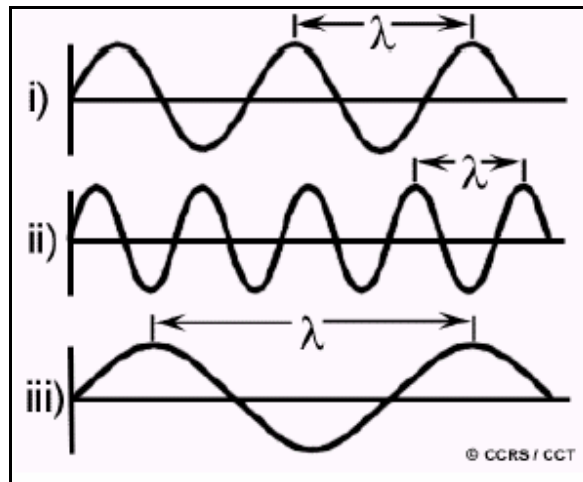
Quase toda a energia disponível na Terra tem sua origem no Sol, de onde se propaga para todo o espaço na forma de radiação eletromagnética (REM). O Sol é a principal fonte de energia eletromagnética disponível para fins de sensoriamento remoto na superfície terrestre. Toda REM se propaga através do espaço em forma de ondas, mais especificamente ondas eletromagnéticas, na velocidade da luz,  $c$ . Pode-se definir uma onda eletromagnética de acordo com as formulações de Maxwell, onde o campo elétrico  $\mathbf{E}$  e o campo magnético  $\mathbf{B}$  **oscilam** perpendiculares um ao outro segundo um padrão harmônico de ondas. Duas características da REM são particularmente importantes para melhor entender os princípios do sensoriamento remoto: o comprimento de onda  $\lambda$ , em metros, e a frequência  $\nu$ , em Hertz (ciclos por segundo), essas quantidades se relacionam com a velocidade de propagação, em m/s, por:

$$C = \lambda\nu$$

Equação (1)

Observando a equação 1, percebe-se que para um dado  $C$ , o comprimento de onda e frequência estão relacionadas de forma inversa, ou seja, quando  $\lambda$  cresce,  $\nu$  decresce, e vice versa, o que pode ser melhor observado na Figura 3.

Como em alguns casos os comprimentos de onda têm dimensões muito pequenas, é comum a utilização de submúltiplos do metro como o nanômetro,  $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ , e o micrometro (ou mícron),  $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$ .



**Figura 3. Ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda e frequências.**

É importante observar que quando a energia eletromagnética é interceptada pela matéria, o resultado que se observa desta interação dependerá das propriedades eletromagnéticas deste material (Novo,1989). Sendo assim, o conhecimento das características da REM em termos de seu comprimento de onda e frequência, é muito importante para a compreensão da informação extraída dos dados obtidos do sensoriamento remoto.

### **3.4.2. Espectro Eletromagnético**

O espectro eletromagnético (Fig. 4) representa de forma organizada os diversos tipos de radiação eletromagnética. Seus limites, vão dos comprimentos de onda curtos incluindo radiação gama e raios X, aos grandes comprimentos de onda, que abrangem as microondas e ondas de rádio. Os limites das diferentes regiões ou bandas espectrais e suas denominações, são de natureza histórica ou decorrentes dos processos utilizados na sua produção ou detecção.

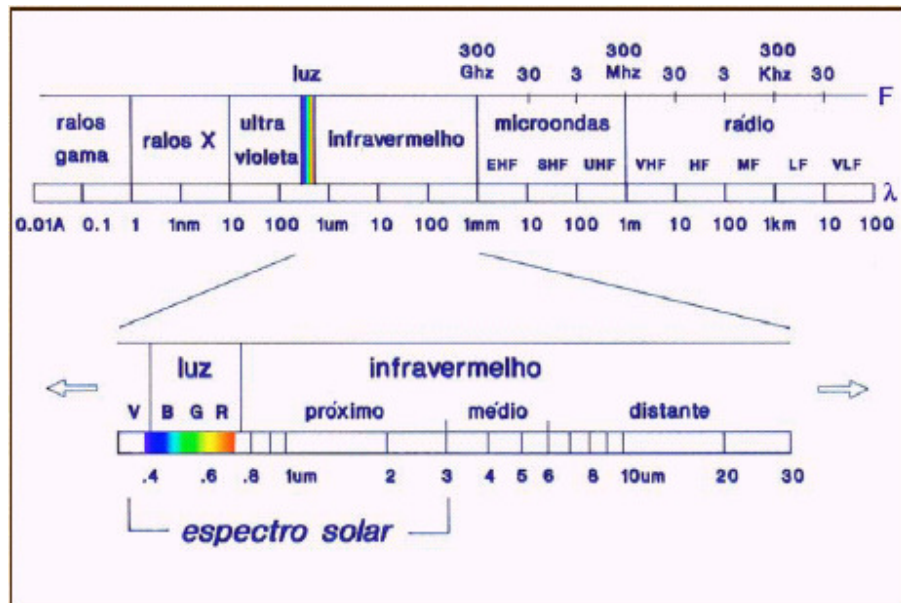


Figura 4. Espectro Eletromagnético.

Algumas bandas do espectro eletromagnético apresentam denominações especiais relacionadas com suas características, como:

**espectro óptico:** região do espectro que compreende as radiações ultravioleta, visível e infravermelho.

**espectro visível:** conjunto das radiações percebidas pelo sistema visual humano.

**espectro solar:** região espectral que abrange a radiação eletromagnética emitida pelo Sol e responsável por cerca de 99% da energia solar que atinge a Terra; concentra-se na faixa de 0,28 a 4 μm.

**espectro termal:** conjunto das radiações eletromagnéticas emitidas pelos objetos terrestres. Encontram-se nos intervalos espectrais do infravermelho médio ao distante.



O Sol é fonte de energia e iluminação, portanto os sensores remotos detectam a fração desta energia que é refletida pelos objetos terrestres; sendo assim, o sensoriamento remoto tende a ser realizado na faixa do espectro solar (Moraes, 1989). Quando a Terra atua como fonte de radiação eletromagnética (energia solar reciclada) os sensores detectam a energia que é emitida pelos corpos terrestres, e neste caso os sensores remotos captam a energia na faixa do espectro termal.

### **3.5. Conceitos de Radiometria**

Segundo Steffen (1996) a radiometria pode ser definida como um conjunto de técnicas utilizadas para medir quantitativamente a energia radiante, e os sistemas utilizados para a medição desta energia são os radiômetros.

Pode-se pensar na radiometria como a área mais fundamental do conhecimento em sensoriamento remoto, pois é por meio das medidas radiométricas de laboratório e de campo, que é possível descobrir com qual intensidade cada material reflete a energia eletromagnética nos diferentes comprimentos de onda do espectro, o que permite explicar e entender como cada um desses objetos irá aparecer nas imagens.

Sabe-se que, pelo princípio da conservação da energia, a energia eletromagnética incidente na superfície de um determinado material terá parte desta energia refletida por essa superfície, parte absorvida pelos átomos ou moléculas que compõem este material, e parte transmitida caso o material apresente algum tipo de transparência (Meneses, 2001).

A soma destas três componentes deve ser igual à intensidade da energia incidente. Para os sensores remotos que operam nas faixas do visível ao infravermelho próximo, mede-se ou detecta-se apenas a intensidade da radiação eletromagnética refletida, ou seja, a reflectância ( $\rho$ ), que é função das propriedades espectrais que definem a absorptância ( $\alpha$ ) e a transmitância ( $\tau$ ) do objeto. Porém, não se pode desconsiderar o fato

de que a reflectância é também dependente de propriedades espaciais do objeto como forma, textura e estrutura de sua superfície.

Somando-se esses atributos, é possível determinar as características do objeto registradas pelo sensor. Tais características são codificadas nas imagens por meio de níveis de cinza ou valores digitais dos pixels e representam os correspondentes valores da intensidade de reflectância do objeto em estudo.

### **3.6. Comportamento espectral da vegetação**

A cobertura vegetal tem sido estudada ao longo dos séculos, segundo os mais variados níveis de abordagem. Desde o momento em que se descobriu que os vegetais extraem da radiação eletromagnética emitida pelo sol parte da energia que necessitam para viver, a interação entre esta energia e a vegetação passou a ser estudada detalhadamente. Uma das tecnologias que mais contribui e motiva os avanços no entendimento de como a vegetação processa a energia eletromagnética, é o sensoriamento remoto. Essa tecnologia viabilizou diversos estudos da fisiologia vegetal (Ponzoni, 2001).

O aprimoramento do conhecimento da interação entre a REM e a vegetação tem ocorrido através de estudos dentro do que tem sido caracterizado como o *comportamento espectral da vegetação*. Tal termo é utilizado com frequência para representar as características da refletância da REM pelas folhas e dosséis (conjuntos de plantas).

Ao termo “comportamento espectral”, estão associados os conceitos de refletância, transmitância e absortância, ou seja, para caracterizar o comportamento espectral da vegetação bem como de outros materiais, é preciso conhecer como se dá o processo de interação da REM em termos destes três fenômenos físicos. Contudo, na

maioria dos casos que envolvem o uso do sensoriamento remoto em estudos de vegetação, a reflectância é o fenômeno mais analisado.

### 3.6.1. Propriedades espectrais da vegetação

As folhas quando saudáveis apresentam comportamento espectral característico, conforme ilustra a Fig. 5. Entretanto, fatores como deficiência de nutrientes, idade, e moléstias de um modo geral, podem afetar suas propriedades espectrais. Um dos principais sintomas fisiológicos é o amarelecimento das folhas; que não pode ser considerado como sendo o único ou o primeiro a ser detectável (Ponzoni e Gonçalves 1997). Observando a Fig. 5, é possível verificar que a região espectral em questão está compreendida entre  $0.4\mu\text{m}$  e  $2.5\mu\text{m}$ , e pode ser dividida em três regiões (Kumar, 1974).

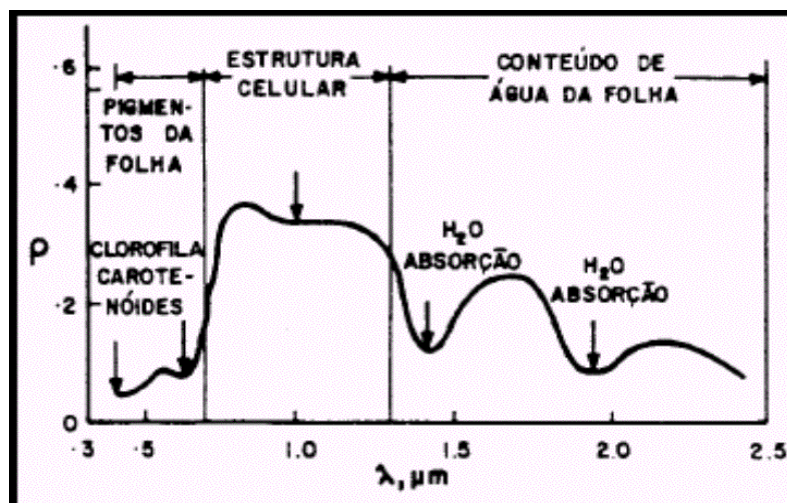


Figura 5. Curva de reflectância ( $\rho$ ) típica de uma folha verde (Fonte: Novo, 1989, p. 191).

**Região do visível ( $0.4\mu\text{m}$  a  $0.7\mu\text{m}$ ):** nesta região a reflectância espectral é dominada pelos pigmentos existentes nas folhas. Estes pigmentos encontrados no mesófilo são: clorofila “a” e “b” (65%), xantofilas (29%) e carotenos (6%). Os valores percentuais destes pigmentos existentes nas folhas podem variar de espécie para espécie. Em função das características dos pigmentos, a absorção de energia é maior nos

comprimentos de onda em torno de  $0.48\mu\text{m}$  para clorofila “b” e  $0.68\mu\text{m}$  para clorofila “a”, sendo menos intensamente absorvida entre  $0.54$  a  $0.62\mu\text{m}$ , (Fig. 6) .

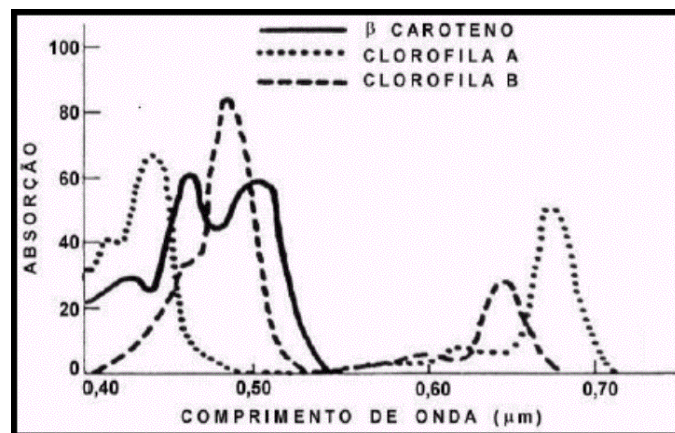


Figura 6. Espectro de absorção para clorofila a, b e  $\beta$ -caroteno (Fonte: Moreira 1997, p.162) .

Observa-se que todos os pigmentos predominantes na folha absorvem a radiação na região do espectro próximo a  $0.45\mu\text{m}$ , que é a região do azul, e somente as clorofilas absorvem na região do vermelho  $0.65\mu\text{m}$ , ou seja, as clorofilas “a” e “b” absorvem energia tanto na região do azul quanto na região do vermelho. Alterações nas concentrações destas clorofilas podem alterar a absorção de energia e como consequência modificar a forma da curva de reflectância.

**Região do infravermelho próximo ( $0.7$  a  $1.3\mu\text{m}$ ):** nesta região observa-se uma pequena absorção de radiação eletromagnética e considerável espalhamento interno na folha. A absorção de água presente no interior da folha é geralmente baixa e a reflectância espectral é quase constante. Segundo Gates (1965) a reflectância espectral das plantas nesta região do espectro é resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Fatores externos como baixa disponibilidade de água, podem causar alterações na relação água/ar no mesófilo, podendo alterar a reflectância de uma folha nesta região. A reflectância nesta região é fortemente afetada pela estrutura

anatômica da folha, dependente do número de camadas celulares, do tamanho das células e da relativa espessura do mesófilo.

**Região do infravermelho médio (1.3 a 2.6 $\mu\text{m}$ ):** nessa região a absorção devido à água presente no interior da folha é o fator predominante na reflectância espectral. A água absorve predominantemente na região correspondente aos comprimentos de onda de 1.3 a 2.5 $\mu\text{m}$ , principalmente nas faixas de absorção próximas a 1.4, 1.9 e 2.7 $\mu\text{m}$ . Já os picos de reflectância, nesta mesma região, ocorrem entre as regiões de absorção de água, entre 1.6 e 2.2 $\mu\text{m}$  (Assunção et al., 1989).

### **3.6.2. Comportamento espectral de uma comunidade vegetal**

Em uma comunidade vegetal (dossel), a reflectância é diferente da reflectância de uma única folha. Isto acontece porque em um dossel a resposta espectral sofre a influência da superfície de fundo (solo), alterações na própria vegetação e fatores externos como iluminação da cena. Sendo assim, a análise do comportamento espectral da vegetação em imagens de satélite é complexa, pois são vários os fatores que influenciam a resposta espectral do dossel. Entre eles citam-se:

- Estágios de desenvolvimento e incidência de pragas;
- Tipos de solos, textura, umidade, manejo e práticas agrícolas;
- Relevo e ângulo de elevação solar;
- Fenômenos meteorológicos como seca e geada;
- Bruma e poluição;

A soma destes fatores é responsável pela alteração na quantidade de energia que chega até o dossel, e conseqüentemente, na energia refletida pelo mesmo, captada pelo sensor. Cabe destacar que a influência espectral do solo é maior nas primeiras fases do desenvolvimento do dossel. Porém quando a vegetação atinge seu total

desenvolvimento, a contribuição do solo torna-se irrelevante e a resposta espectral do dossel passa a depender mais de suas próprias características como: pigmentos, estrutura das folhas e quantidades de água.

Segundo Assunção e Formaggio (1989), durante o crescimento vegetal ocorre um aumento na reflectância no Infravermelho (IV) próximo devido ao efeito de reflectância aditiva, e simultaneamente um decréscimo de reflectância na região do visível em função do aumento na densidade de pigmentos associado ao maior número de folhas existentes. Portanto, plantas jovens, com um número menor de folhas absorvem menos o azul e o vermelho do que as plantas adultas que, possuem um número maior de pigmentos. Já na região do IV próximo, as plantas adultas apresentam reflectância maior que as plantas jovens, devido ao processo de reflectância aditiva causado pela sobreposição de camadas de folhas.

Em seu trabalho, Luz e Fonseca (2003) estudaram o comportamento espectral das folhas de 14 variedades de *Vitis vinifera*, cultivadas em área da EMBRAPA Uva e Vinho, situada em Bento Gonçalves. O estudo foi conduzido utilizando um espectroradiômetro portátil e esfera integradora. Seu trabalho (Fig. 7) demonstrou a existência de diferenças na resposta espectral das folhas de diferentes cepas estudadas, principalmente na região do infravermelho próximo, apontando para a viabilidade da utilização de sensores remotos neste tipo de estudo.

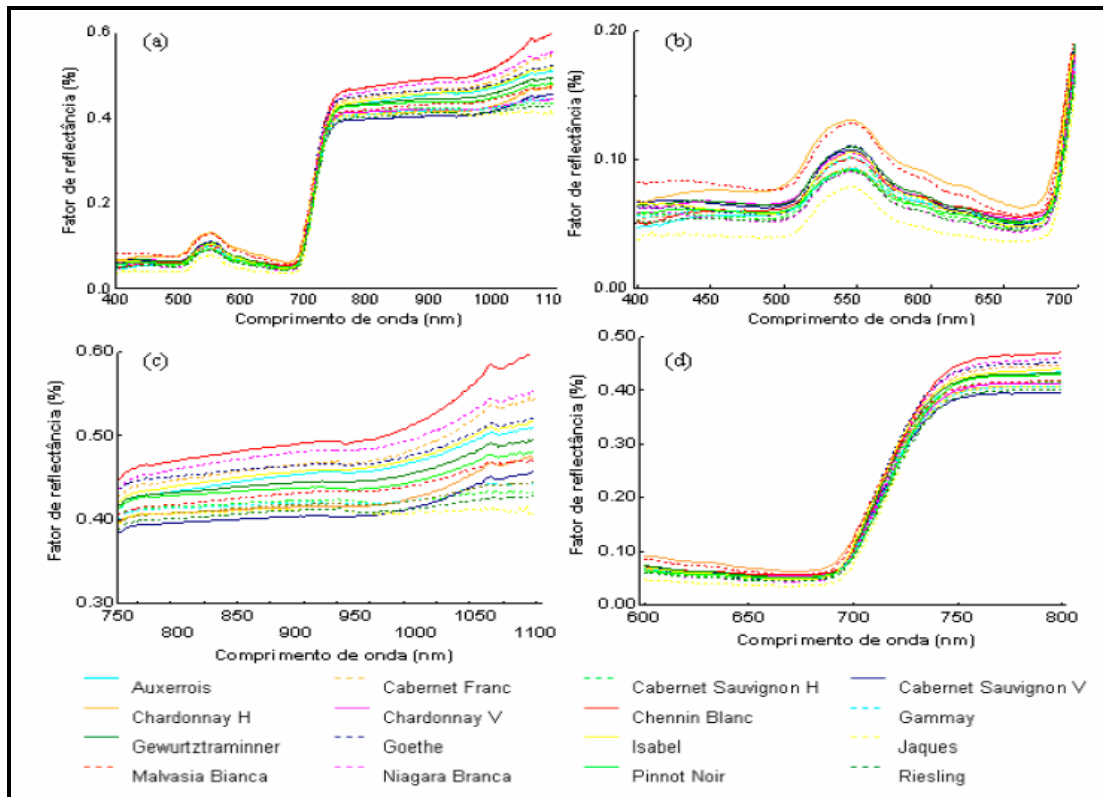


Figura 7. Espectroradiometria de variedades de uvas, por Luz e Fonseca (2003).

### 3.7. Sistemas Sensores

Um sistema sensor pode ser definido como um dispositivo capaz de detectar e registrar a energia eletromagnética em uma determinada faixa do espectro, e transformar esta em um sinal capaz de ser convertido em informações que possam ser produtos passíveis de interpretação, seja na forma de imagem, seja na forma gráfica ou tabelas (Novo, 1989). Basicamente, um sistema sensor é constituído por um coletor, que pode ser um conjunto de lentes espelhos ou antenas, um detector (sistema de registro) que pode ser um filme, e um processador (Fig. 8). As quantidades relacionadas com a energia radiante que podem ser medidas pelos sensores são denominadas grandezas radiométricas.

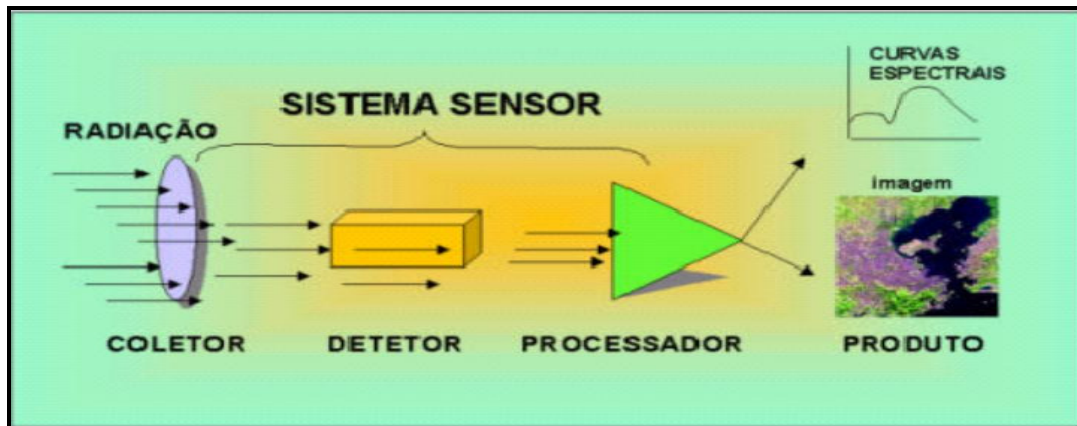


Figura 8. Componentes de um sistema sensor (Fonte: Moreira, 2001, p.101)

Os sistemas sensores podem ser classificados em relação à fonte de energia, sendo divididos em *sensores passivos* e *sensores ativos*.

Os *sensores passivos* detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos objetos da superfície terrestre. Dependem por tanto de uma fonte de radiação externa para que possam operar.

Os *sensores ativos* são aqueles que produzem sua própria radiação; como exemplo, podemos citar os radares, pois produzem a energia radiante que irá interagir com os objetos da superfície.

### 3.7.1. Radiômetros

Radiômetros são sistemas passivos que medem a intensidade da energia radiante (radiância), proveniente de todos os pontos de uma superfície dentro de um campo de visada (FOV – *field of view*) em determinadas zonas do espectro eletromagnético. Essas zonas são selecionadas através de um filtro que transmite a radiação associada a um determinado intervalo de comprimento de onda incidente no sistema. Os radiômetros podem ser classificados como *não imageadores* e *imageadores* (Moreira, 2001).



Os radiômetros não imageadores medem a radiância do objeto de estudo e apresentam os dados em forma de gráficos, ou numérica. Estes radiômetros podem ainda ser classificados em *radiômetros de banda* e *espectroradiômetros*. Os radiômetros de banda produzem informação referente à resposta espectral do alvo em faixas largas do espectro. O valor da radiância gerado em uma determinada faixa espectral corresponde a um valor médio da radiância correspondente aos comprimentos de onda contidos neste intervalo.

Os espectroradiômetros distinguem-se dos radiômetros de banda por operarem em faixas espectrais estreitas, ou seja, o sistema é capaz de registrar valores de radiância incidente em pequenos intervalos espectrais dentro da faixa de comprimentos de onda na qual opera o sistema, sendo possível, assim, medir a resposta do alvo quase de maneira contínua.

Os radiômetros imageadores, como por exemplo os sensores orbitais, são sistemas cujo produto final é apresentado em forma de imagem de uma área (cena). As características destes sistemas sensores imageadores em geral são expressas em função de seus domínios de resolução.

### **3.7.2. Domínios de resolução dos sensores**

Através dos domínios de resolução de um sistema sensor, é possível ter-se uma idéia da qualidade do mesmo. Tais domínios são quatro, a saber: *espacial ou geométrico, espectral, radiométrico e temporal*.

A **resolução espacial** representa a capacidade do sensor em distinguir objetos na superfície terrestre. Ela indica o tamanho (físico, métrico) do menor elemento ou área da superfície que o sensor é capaz de individualizar; este elemento é conhecido como pixel. A resolução espacial depende principalmente de características intrínsecas do detector, e da altura ou distância em que o sensor encontra-se em relação ao objeto estudado.

A *resolução espectral* refere-se à faixa espectral em que opera o sensor, ou seja, é uma medida do poder de resolução que um sensor tem para discriminar diferentes alvos sobre a superfície terrestre, com respeito à sua cor. Quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda melhor será a resolução espectral do sensor em questão. É importante citar que um único sistema sensor pode apresentar diferentes resoluções espectrais.

A *resolução radiométrica* refere-se à eficiência do sistema em detectar pequenas variações em um sinal. Está associada à maior ou menor capacidade do sensor em detectar e registrar diferenças na energia refletida ou emitida pelos objetos terrestres que compõem a cena.

A *resolução temporal* está relacionada às características da plataforma na qual o sensor está associado. No caso de sistemas sensores orbitais a resolução temporal indica o intervalo de tempo que o satélite leva para voltar a imagear a área de interesse. Isto depende da largura da faixa imageada no solo, e de características orbitais do satélite.

### **3.8. Sensor ASTER**

#### **3.8.1. Características do Sensor ASTER**

O sensor ASTER (Advanced Spaceborne Emission and Reflection Radiometer) é um sensor multiespectral a bordo do satélite TERRA, lançado pela NASA em 1999, e cobre uma extensa região espectral desde o visível ao infravermelho termal, composta por 14 bandas de alta resolução espectral, espacial e radiométrica.

A região espectral do visível ao infravermelho termal é coberta por três telescópios: VNIR (Visible and Near Infrared Radiometer) com três bandas de 15 m de resolução espacial cada; o SWIR (Short Wave Infrared Radiometer) composto por seis bandas de 30 m de resolução espacial; e o TIR (Thermal Infrared Radiometer) com

cinco bandas e resolução espacial de 90 m. As características resumidas dos três subsistemas ASTER encontram-se na Tabela 1.

O subsistema VNIR apresenta ainda um telescópio adicional que fornece visão estereoscópica, já que este apresenta diferente ângulo de visada (*backward*) em relação a uma imagem em nadir. Cada cena ASTER tem dimensão de 60 por 60 quilômetros quadrados.

O satélite Terra desloca-se em uma órbita polar a uma altitude de 705 km, encontrando-se, portanto, em uma órbita síncrono-solar, posicionado 30 minutos atrás do satélite Landsat 7ETM+, e obtendo medidas da superfície às 10h:30min da manhã, hora solar local, retornando à mesma órbita com frequência de 16 dias. Logo, o ASTER apresenta parâmetros de órbita similares ao Landsat 7, com exceção da hora local, com inclinação de 98,2 graus, período orbital de 98,88 minutos, e hora de cruzamento na descendente. Sua velocidade com relação ao solo é de 6.7 km/s, apresenta distância entre órbitas adjacentes de 172 km, e ciclo de recorrência de 233 órbitas.

**Tabela 1. Características dos subsistemas ASTER.**

Subsistema	Banda Nº	Alcance Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Comprimento de onda médio ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica (bits)
VNIR	1	0.52-0.60	0.5560	15	8
	2	0.63-0.69	0.6610		
	3N, B	0.78-0.86	0.8070		
SWIR	4	1.60-1.70	1.6560	30	8
	5	2.145-2.185	2.1670		
	6	2.185-2.225	2.2090		
	7	2.235-2.285	2.2620		
	8	2.295-2.365	2.3360		
	9	2.360-2.430	2.4000		
TIR	10	8.125-8.475	8.2910	90	12
	11	8.475-8.825	8.6340		
	12	8.925-9.275	9.0750		
	13	10.25-10.95	10.6570		
	14	10.95-11.65	11.3180		

O sensor ASTER adquire por dia o equivalente a 650 cenas, que são processadas a nível L1A, sem aplicação das correções radiométricas e geométricas. Destas, aproximadamente 150 cenas são processadas a nível L1B, com aplicação das correções radiométricas e geométricas. As cenas são transferidas ao arquivo EOSDIS e ao EDCDAAC (EROS Data Center Distributed Active Archive Center), para arquivo, estocagem, distribuição e processamento em dados de alto nível. Todos os produtos são armazenados no formato HDF - Hierarchical Data Format.

### 3.8.2. Produtos ASTER L1

O instrumento ASTER fornece dois tipos de produto nível L1, a saber: Nível 1A (L1A) e nível 1B (L1B).

Os dados L1A são definidos formalmente como dados instrumentais não processados, reconstruídos e de resolução completa. O conjunto de dados ASTER L1A consiste em: dados da imagem, coeficientes radiométricos, coeficientes geométricos e outros dados auxiliares. Estes coeficientes não estão aplicados na imagem, mantendo os valores originais. Os coeficientes para calibração radiométrica e reamostragem geométrica, são aplicados nos dados ASTER L1B.

Todas as imagens adquiridas a nível 0 são processadas ao nível L1A; devido à limitação de armazenamento destes dados a bordo do satélite, apenas 650 cenas por dia são adquiridas pelo instrumento ASTER. Uma máxima de 310 cenas por dia é processada ao nível L1B, usando como critério dados de cobertura de nuvens.

O produto ASTER L1A tem os coeficientes de correção geométrica e calibração radiométrica anexados, mas não calibrados. Estes coeficientes incluem correção da paralaxe SWIR bem como os registros entre e dentro dos telescópios. O erro de paralaxe SWIR é causado pelo *offset* no alinhamento do detector ao longo do caminho e depende

da distância entre o satélite e a superfície da Terra observada. Para as bandas do SWIR, a correção da paralaxe é, feita na imagem através de técnicas de combinação (*matching*) ou dados de modelos numéricos de terreno (dependendo da cobertura de nuvens). Os coeficientes de calibração radiométrica consistem em informações de *offset* e sensibilidade, são gerados a partir de uma base de dados para todos os detectores, e atualizados periodicamente. A correção geométrica é uma transformação de coordenadas realizadas em cada uma das bandas.

O produto ASTER L1B é derivado dos dados L1A, onde os coeficientes radiométricos e geométricos são aplicados. Estes dados são todos armazenados em um arquivo metadata, junto ao arquivo HDF que inclui também os registros dos subsistemas VNIR, SWIR e TIR. Além disso, para o subsistema SWIR, o erro de paralaxe devido à posição espacial do sensor é corrigido. A imagem L1B é projetada sobre um mapa rotacionado em todas as resoluções do instrumento. Este nível define o centro de cena como o centro geodésico da cena obtida dos atributos L1A. A definição do centro de cena em L1B é o centro verdadeiro em um sistema de coordenadas, ou seja, não é o mesmo do L1A.

Os dados L1B são gerados através de um sistema de projeção e método de reamostragem. A base de projeção é sempre UTM (Universal Transverse Mercator) em termos de orientação, usando convolução cúbica como reamostragem. Existem outros métodos de projeção e reamostragem disponíveis que podem ser requeridos (Tabela 2).

**Tabela 2. Métodos de reamostragem e projeções disponíveis para produtos L1B. Adaptado de Abrams, 1999.**

<b>Método de Reamostragem</b>	<b>Sistema de Projeção</b>
Nearest Neighbor (NN)	Geographic (EQRECT)
Cubic Convolution (CC)	Lambert Conformal Conic (LAMCC)
Bi Linear (BL)	Space Oblique Mercator (SOM)
	Polar Stereographic (PS)
	Universal Transverse Mercator (UTM)

### 3.8.3. Parâmetros radiométricos

Os dados de nível L1B estão em termos de escala de radiância. Para converter de contador digital para radiância do sensor, o coeficiente de unidade de conversão, definido como radiância por 1 contador digital – DN, é usado. A radiância é expressa em unidades de  $W/(m^2 \text{ sr } \mu\text{m})$ . A relação entre os valores digitais e a radiância é:

- O valor de DN=0 é alocado a um pixel fictício.
- O valor de DN=1 é alocado à radiância nula.
- O valor de DN=254 é alocado ao máximo de radiância para as bandas do VNIR e SWIR.
- O valor de DN=4094 é alocado ao máximo de radiância para as bandas do subsistema TIR.
- O valor de DN=255 é alocado aos pixels saturados nas bandas dos subsistemas VNIR e SWIR.
- O valor de DN=4095 é alocado aos pixels saturados da banda do TIR.

O máximo de radiância depende das posições espectrais das bandas e dos ganhos (valores tabelados). A radiância pode ser obtida dos valores de contador digital (DN) através da relação:

$$\text{Radiância} = (\text{DN} - 1) \times \text{coeficiente de unidade de conversão} \quad (2)$$

### **3.9. Tratamento de imagens digitais**

#### **3.9.1. Processamento de imagens digitais**

Segundo Pachêco e Ribas (1998), o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados multiespectrais que usualmente compõem essas imagens.

O conceito múltiplo é facilmente entendido quando ao analisar as imagens, observa-se que diferentes objetos ou materiais apresentam características próprias (tons de cinza, forma, padrão, etc.) que vão se modificando ou assumindo novas características, conforme sejam observadas em imagens de diferentes bandas espectrais (Meneses, 1988). No sensoriamento remoto, a identificação e distribuição dos objetos ou materiais são feitas pelas suas diversas características espectrais expressas nas várias bandas de um sensor. Por sua vez, quanto maior for o número de imagens e bandas, que a complementem, maior será o volume de dados, tornando-se necessário o uso de técnicas automáticas de análise, que pela versatilidade própria dos computadores, introduz múltiplas formas de abordagem de dados (Lillesand e Kiefer, 1987). Slater (1980) afirma que os sistemas sensores multiespectrais são idealizados para atender a uma multidisciplinaridade de aplicações. Ao especialista e usuário de sensoriamento remoto é exigido um mínimo de conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas dos diferentes materiais que compõem a superfície do terreno, pois a informação espectral que estará contida em cada elemento de resolução do terreno (pixel) será uma integração do conjunto de propriedades destes materiais (normalmente vegetação, solo, rocha e água).

### 3.9.2. Correções e Registro de imagens digitais

Os produtos de sensores remotos podem apresentar uma série de distorções espaciais, não possuindo, desta forma, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Segundo Richards (1986), os erros geométricos resultam dos seguintes fatores:

- Rotação e curvatura da Terra;
- Movimento do espelho de imageamento e abertura de visada do sensor, no caso dos satélites eletro-óptico-mecânicos, como os da série Landsat;
- Variações da altitude, posição e velocidade da plataforma;
- Distorção de panorama;
- Distorção topográfica.

Em geral, as informações extraídas das imagens de Sensoriamento Remoto precisam ser integradas com vários outros dados, resultando posteriormente em mapas temáticos. Quando se trabalha com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), nos quais as imagens de Sensoriamento Remoto são uma das principais fontes de dados, se torna necessário fazer o registro para a integração dos dados.

O registro é feito pelo ajuste de uma imagem a um espaço definido por um sistema de coordenadas de referência. Uma forma comum de registro de imagem é feita pela indicação do sistema referência, por exemplo, latitude/longitude, nos sistemas de projeção, como por exemplo, UTM (Richards, 1986). Este procedimento pode ser realizado por uma equação de modelo polinomial. Para tanto, são utilizados pontos de



controle, sendo estes bem distribuídos em toda a imagem (Richards, 1986; Mather, 1999). A equação estabelece uma relação entre as coordenadas da imagem (linha, coluna) e do sistema de referência cartográfico definido. Na Figura 9 observa-se a alteração ocorrida na imagem após o registro.

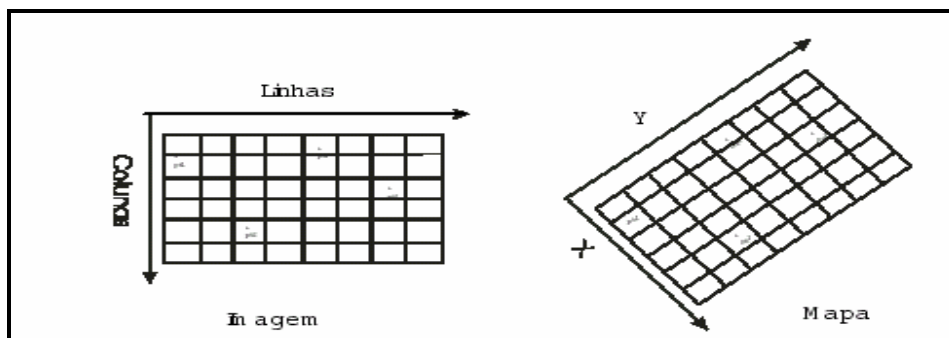


Figura 9. Efeito do registro sobre a imagem .

Ao aplicar uma função polinomial para transpor a imagem para um sistema de coordenadas planas e/ou geográficas, podem ser gerados erros. Os erros são mensurados através da seguinte equação:

$$EMQ = \sqrt{\frac{pt_1^2 + pt_2^2 + \dots + pt_n^2}{n}}$$

(3)

onde:

EMQ= erro médio quadrado

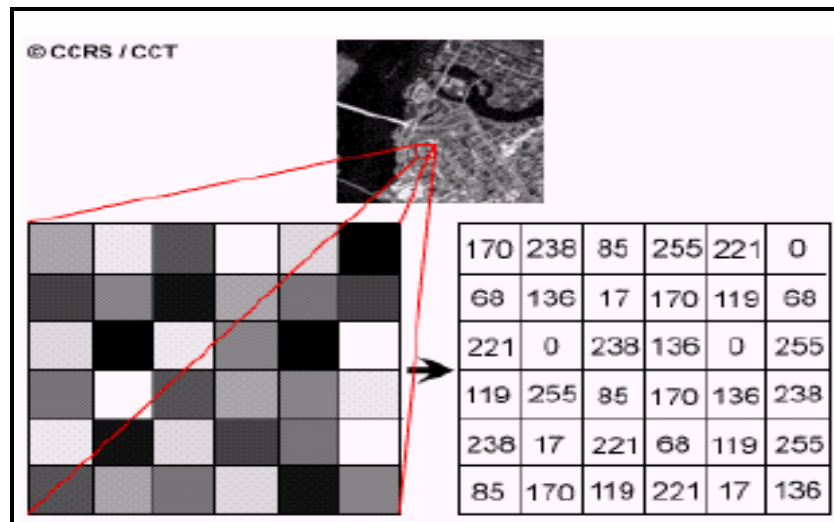
pt = diferença entre as posições do ponto de controle de referencia e os pontos na imagem após a transformação.

Os subscritos 1, 2, ..., n denotam os pontos de controle.

### 3.10. Classificação de imagens digitais

Antes de introduzir o conceito de classificação de imagens multiespectrais, são apresentados abaixo uma breve descrição destas imagens e como são adquiridas.

As imagens multiespectrais podem ser obtidas através de sensores a bordo de satélites ou aeronaves. Cada sensor da plataforma adquire uma imagem da superfície terrestre em determinadas faixas do espectro eletromagnético, em geral entre a região do visível e de microondas. Desta forma, cada sensor produz para uma mesma área varrida, uma imagem (Fig. 10) denominada banda (Jensen ,1986).



**Figura 10.** Representação de uma banda em imagem multiespectral. (Fonte: CCRS, *Fundamentals of Remote Sensing*, 2001).

Conforme a Figura 10 observa-se que uma banda é composta por um arranjo de elementos denominados pixels, dispostos em linhas e colunas. Os pixels são caracterizados pela resolução espacial e pelo atributo que possuem. A resolução espacial está relacionada à área da superfície terrestre que o pixel representa. Já o atributo do pixel, também dito contador digital ou nível de cinza, refere-se à intensidade de radiação eletromagnética refletida ou emitida pela Terra, captada pelo sensor referente à área da superfície terrestre que corresponde à resolução do pixel.

Classificar uma imagem espectral significa atribuir a cada pixel de uma imagem a uma determinada classe em função de seus atributos espectrais. Entende-se como atributo espectral o valor de contador digital que cada pixel recebe em cada uma das bandas que estão sendo utilizadas na classificação. As técnicas de classificação podem ser divididas em dois grupos: técnicas de classificação não-supervisionada e técnicas de classificação supervisionada (Crosta, 1992).

A classificação não-supervisionada é utilizada quando não se tem conhecimento das possíveis classes existentes na imagem, sendo que neste caso o próprio algoritmo de classificação define as classes e atribui cada um dos pixels a uma delas.

A classificação supervisionada é o método mais utilizado para análises quantitativas de imagens em sensoriamento remoto. Na classificação supervisionada as classes são definidas “a priori”, e cada pixel na imagem é atribuído a uma determinada classe, conforme uma função discriminante pré-estabelecida. Desta forma os parâmetros que descrevem esta função são retirados de um conjunto de amostras, denominado “amostras de treinamento”, que deve ser previamente selecionado. Como a função discriminante depende dos parâmetros extraídos, a escolha das amostras de treinamento torna-se decisiva para a obtenção de resultados satisfatórios na classificação. Desta forma, é necessário cuidado durante a etapa de coleta de amostras: o conjunto de treinamento deve ser formado por um número suficiente de pixels representativos, no mínimo dez vezes o número de bandas que estão sendo utilizadas para a classificação (Eastman, 1986). Para auxiliar no processo de coleta de amostras, Richards (1986) sugere, sempre que possível, o uso de mapas topográficos, fotografias aéreas da época de aquisição da imagem e idas a campo.

Entre os métodos de classificação supervisionada existentes, destaca-se a Máxima Verossimilhança Gaussiana, utilizado neste trabalho.

### 3.10.1. Método de Máxima Verossimilhança Gaussiana

No método de Máxima Verossimilhança Gaussiana, cada classe é descrita por uma distribuição normal de probabilidade. Tal distribuição descreve a probabilidade de encontrar um pixel de uma determinada classe em uma certa posição do espaço multiespectral. Para tanto é necessária a extração de amostras representativas de cada classe, para obtenção dos parâmetros estatísticos da distribuição normal. É possível descrever o método de Máxima Verossimilhança Gaussiana em três etapas (Richards, 1986):

- Seleção de amostras representativas e em quantidade suficiente para cada classe pré-definida. Estas amostras formam o conjunto de treinamento. É importante que tais amostras sejam representativas, pois a obtenção dos parâmetros estatísticos depende disso.
- A extração dos parâmetros estatísticos (média e matriz de covariância) para cada classe. Estes parâmetros permitem a criação de uma regra de decisão que decide a qual classe pertencerá cada pixel na imagem.
- A classificação da imagem inteira, onde é calculada a probabilidade de cada pixel pertencer a cada classe. Os pixels são atribuídos às classes cuja probabilidade de pertinência é maior.

Mather (1999) salienta que o classificador Máxima Verossimilhança pode apresentar resultados impróprios, devido à hipótese adotada, na qual os alvos possuem distribuição Gaussiana. Segundo o autor, na prática poucos dados apresentam esta distribuição. Entretanto, assume-se a normalidade dos dados, pois essa suposição mostra-se razoavelmente boa. Não obstante, a distribuição de frequência de cada classe deve ser unimodal.

### 3.10.2. Avaliação da Classificação

Segundo Gong e Howarth (1990), a avaliação de exatidão do mapeamento é a última etapa do procedimento de classificação de dados obtidos a partir de imagens de satélite. Maling (1989) destaca que um mapa temático é um modelo que tenta representar os distintos alvos da superfície terrestre e que a sua exatidão depende dos métodos e do cuidado com que foi produzido. A exatidão do mapeamento encontra-se limitada por vários fatores, como o esquema de classificação, qualidade das imagens utilizadas e a experiência do analista encarregado de produzir o mapa.

O procedimento de quantificação dos erros de mapeamento requer a utilização de técnicas e unidades de amostragem adequadas aos fins do estudo, a comparação dos dados amostrados com os dados de um mapa temático ou com os dados do levantamento de campo e, por último, a utilização de estatísticas para a determinação da exatidão.

Para avaliar a exatidão de mapeamento, segundo Smits *et al.* (1999) são necessários:

- Dados de verdade terrestre;
- Esquema de classificação e semântica da categoria;
- Esquema e tamanho da amostragem.

Ippoliti-Ramilo (1999) afirma que para quantificar os erros de mapeamento é necessário utilizar técnicas e unidades de amostragem, comparar os dados coletados no campo com os gerados pelo mapeamento e utilizar estatísticas para avaliar a exatidão do mapeamento. São várias as técnicas empregadas para avaliar a exatidão do mapeamento, Smits *et al.* (1999) apresentam essas técnicas em quatro categorias:

- Baseadas em matriz de confusão;
- Técnicas “fuzzy”;
- Características do operador receptor;
- Demais técnicas.

A técnica baseada em matriz de confusão apresenta os dados referentes à distribuição de percentuais de *pixels* classificados de forma correta e incorreta (Smits *et al.*, 1999). Os objetivos dessa técnica, segundo Hay (1988), citado por Dainese (2001), são:

- Oferecer dados que permitam o ajuste das áreas das classes obtidas por algum tipo de classificação;
- Cálculo de parâmetros de exatidão geral da classificação;
- Identificação de erros específicos que afetem cada uma das categorias.

Ippoliti-Ramilo (1999), descreve que a estatística mais simples derivada da matriz de erro é a exatidão geral (P0) que é calculada segundo a equação:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ii}}{N}$$

(4)

onde N é o número total de unidades amostrais contempladas pela matriz;  $n_{ii}$  são os elementos da diagonal principal (número de *pixels* corretamente classificados), e m é o número de categorias presentes na matriz de erro.

Os *pixels* classificados erroneamente são divididos em erros de omissão ou comissão. Os erros de comissão ocorrem quando um ponto é classificado como sendo de uma classe A, quando na verdade pertence a outra. Um erro de omissão é exatamente o contrário, isto é, o ponto pertencente à classe A, é classificado como pertencente a uma outra classe (Ippoliti-Ramilo, 1999; Smits *et al.*, 1999).

A estatística *Kappa* é um método muito utilizado para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático (Smits, 1999; Dainese, 2001). A grande vantagem da estatística *Kappa* é que no cálculo do seu coeficiente incluem-se todos os elementos

da matriz de erro, e não somente os elementos da diagonal principal, como no caso da exatidão geral. Para a determinação do valor *Kappa* emprega-se a equação 5 (Congalton e Green, 1998; Ippoliti-Ramilo, 1999; Smits *et al.*, 1999):

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{ir})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{ir})} \quad (5)$$

Onde: *K* é o estimador do coeficiente *Kappa*; *r* é o número de linhas da matriz quadrada,  $x_{ii}$  é o número de observações na linha *i* e da coluna *i* respectivamente e *N* representa o número total de observações.

O valor da estatística *Kappa*, determinado através da equação 5, é comparado aos valores contidos na Tabela 3, desenvolvidos por Landis & Koch (1977) citados por Ippoliti-Ramilo (1999). A autora ressalta que algumas restrições a esta Tabela são feitas pelo fato de ser arbitrária e ter sido criada para fins de diagnóstico clínico.

**Tabela 3: Qualidade da classificação associada aos valores de índice Kappa.**

Valor de Kappa	Qualidade do Mapa Temático
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

**Fonte: adaptada de Landis e Koch (1997) por Ippoliti-Ramilo (1999).**

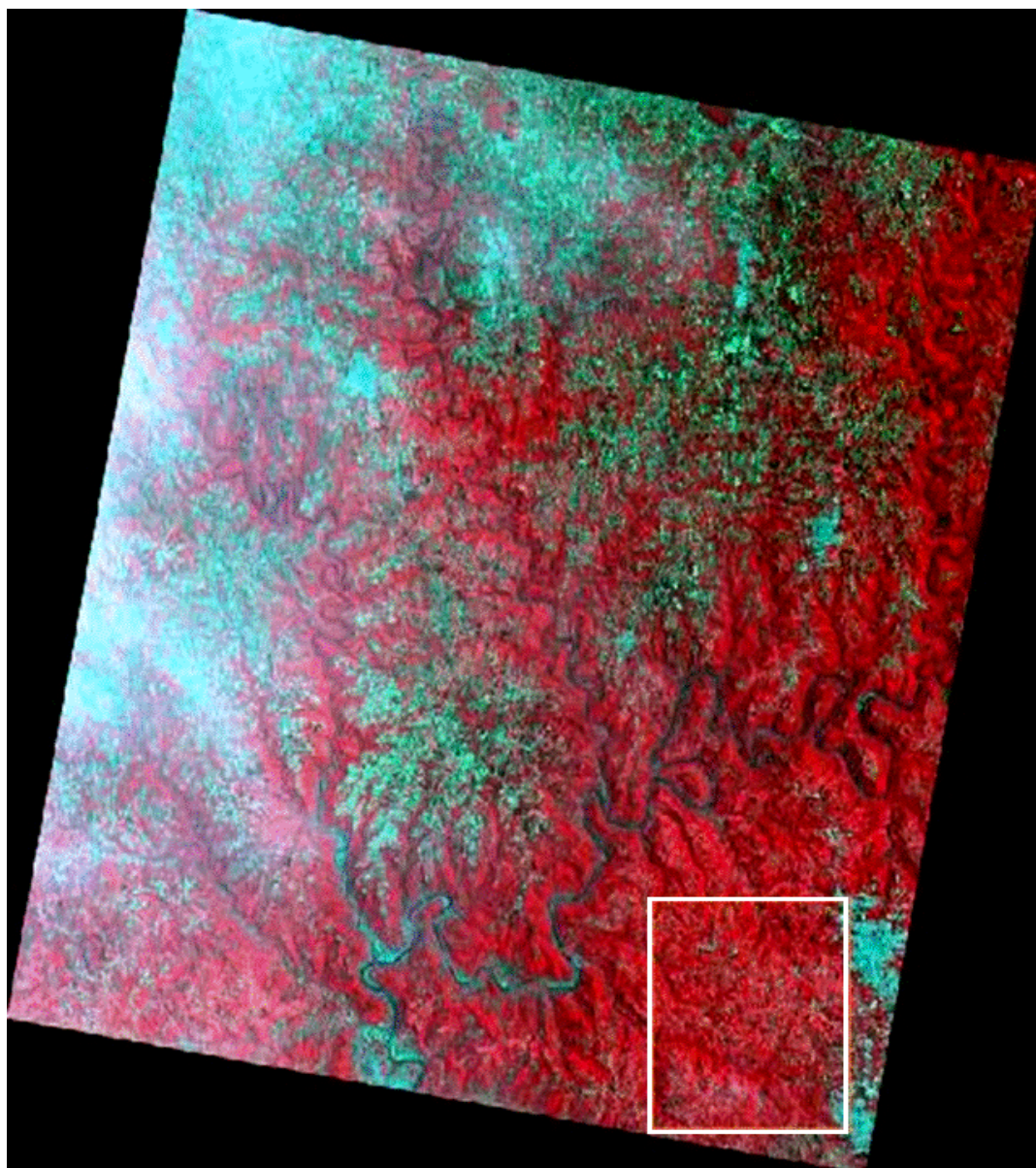
## CAPÍTULO 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Parreirais no Vale dos Vinhedos

A área de estudo está situada no Vale dos Vinhedos, que ocupa 82 km<sup>2</sup> a leste de Bento Gonçalves (-29°08'54"S, -51°32'11"W), distante 130 km de Porto Alegre. Esta região delimitada está contida nos municípios de Bento Gonçalves, Garibaldi e Monte Belo do Sul, sendo caracterizada pela presença de inúmeras vinícolas e parreirais cultivados em pequenas propriedades. A pesquisa concentrou-se nos parreirais de três vinícolas: Miolo, Don Laurindo e Larentis. As cepas estudadas foram Cabernet Sauvignon, Merlot, Tannat e Pinot Noir.

Foram realizadas medidas de espectroradiometria e estudo das curvas de radiância características, extraídas a partir de imagem do sensor ASTER, a fim de caracterizar o comportamento espectral das cepas. Foi necessária apenas uma imagem do sensor ASTER para cobrir a área alvo, correspondendo à data de 24 de novembro de 2004. O produto escolhido foi uma imagem ASTER L1A, sobre a qual há a necessidade de aplicação dos coeficientes radiométricos e geométricos, que estão anexados, porém não aplicados na imagem (figura 11). A escolha deste produto foi feita em função da ausência de produtos L1B correspondente à região do Vale dos Vinhedos na época de verão. Neste produto foram utilizadas as bandas (1,2,3N,4,5,6,7,8,9), pertencentes aos subsistemas VNIR e SWIR. A metodologia que foi utilizada nesta etapa do trabalho é descrita a seguir.





**Figura 11. Cena ASTER L1A da região da Serra Gaúcha, de 24/11/2004. Composição RGB: 3N,2,1. A área de estudo está localizada no canto inferior direito da imagem.**

#### 4.1.1. Espectroradiometria de campo

Esta primeira etapa corresponde à realização de mensuração da reflectância espectral das folhas e do dossel de *Vitis vinifera*, variedade Cabernet Sauvignon, realizadas em área de aproximadamente 1 hectare da Vinícola Miolo, localizada no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves. As medidas foram feitas no dia 7 de janeiro de 2005, quando foi realizada a mensuração de folhas, e posteriormente no dia 17 de fevereiro de 2005, para a mensuração de dossel.

A mensuração da reflectância espectral das folhas, para caracterização do comportamento espectral, foi realizada com um espectroradiômetro portátil da marca Li-Cor, modelo Li-1800 (Fig. 12), acoplado a uma esfera integradora externa de mesma marca, modelo 1800-12S. O equipamento opera entre os comprimentos de onda de 300 a 1100nm, em faixas de 2nm de amplitude.



Figura 12. Espectroradiômetro Li-1800 (acima), esfera integradora (abaixo); Fonte: manual LI-COR, 1989.

A área estudada foi dividida em quatro regiões diferentes, em termos de iluminação recebida pelas plantas e da topografia. Em cada região foram escolhidas dez plantas representativas, num total de 40. Para cada planta mensurada (dez unidades amostrais por região), foram escolhidas duas folhas totalmente desenvolvidas, e tomadas duas medidas consecutivas para cada folha, e a média destas duas medidas armazenadas. Todas as medidas foram realizadas “in situ” e “in vivo” em horário entre 11 horas da manhã e 15 horas da tarde, a fim de evitar a perda de água e de atividade fotossintética da folha, caso fosse destacada da planta e submetida a fontes de iluminação artificiais em laboratório. A placa de referência (sulfato de bário) foi mensurada duas vezes para cada região. A média dos dois valores armazenados foi utilizada como referência para os dados coletados (por região). Os dados brutos foram divididos pelos valores da placa de referência, gerando o fator de reflectância bidirecional para cada planta (equação 6). Vale lembrar que todas as operações foram realizadas utilizando o *software* Origin 6.0.

$$\rho = L_a/L_r$$

(6).

Onde,  $L_a$  é a reflectância média da amostra e  $L_r$  a reflectância média da placa de referência de sulfato de bário.

Para as medidas de dossel o procedimento adotado foi semelhante. Para cada planta foram tomadas duas medidas com o mesmo equipamento, desta vez acoplado à um telescópio de visada do mesmo fabricante modelo 1800-6. Para tomar as medidas o equipamento foi posicionado acima do dossel; medidas de placa de referência também foram tomadas, em número de duas por região, como no caso anterior.

Desta forma, foram geradas assinaturas espectrais de folhas e dossel para cada uma das diferentes regiões na área estudada.

#### 4.1.2. Processamento e análise dos dados a partir da imagem ASTER L1A

Para que sejam possíveis a interpretação e a análise de dados a partir de uma imagem L1A, o primeiro passo é a aplicação dos coeficientes radiométricos e geométricos calculados, porém não aplicados na imagem. Estes dados estão anexados em um “metadata”, no arquivo HDF da imagem. A aplicação dos coeficientes radiométricos converte os valores de contador digital para valores de radiância através da aplicação da equação 6 às bandas do VNIR e SWIR.

$$L_{VNIR, SWIR} = AV/G + D \quad (7)$$

Onde:

**L** é a radiância escalar em ( $w/m^2/sr/\mu m$ );

**A** é o coeficiente linear relacionado com a inclinação do sensor;

**G** é o ganho;

**D** é o offset;

**V** é o valor de contador digital (DN).

A correção geométrica é realizada através de um sistema de projeção e métodos de reamostragem. A base de projeção é sempre em UTM (*Universal Transverse Mercator*), em termos de orientação, usando a Convolução Cúbica como reamostragem.

A correção radiométrica e geométrica da imagem L1A, foi realizada utilizando a rotina ASTER DTM (*Digital Terrain Model*) do software ENVI versão 4.2 (<http://www.envi.com.br>). Esta rotina é utilizada para geração de modelos digitais de elevação, tendo como entrada imagens ASTER L1A ou L1B. Para a extração do modelo a partir de uma imagem L1A, é necessário, como primeiro passo, aplicar as correções radiométricas e geométricas desta imagem, ou seja, transformar a imagem L1A em uma equivalente L1B georreferenciada e em valores de radiância. Sendo assim, foi utilizada

tal ferramenta para a correção da imagem utilizada no estudo das videiras do Vale dos Vinhedos. Após a transformação da imagem L1A para L1B, procedeu-se à redimensionalização das bandas 1, 2, 3N do VNIR, utilizando o método do vizinho mais próximo para adquirirem a mesma resolução espacial do subsistema SWIR. A seguir foi feito o agrupamento (*stacking*) das bandas VNIR e SWIR, formando o grupo VNIR+SWIR correspondente às bandas 1,2,3N,4,5,6,7,8,9 com resolução espacial de 30 m, seguido do registro da mesma. O registro da imagem agrupada realizou-se com o auxílio de imagem georreferenciada LANDSAT da região com pixel de 14 m , (<http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>). Foram identificados pontos de controle (entroncamentos de estradas, junção de drenagem, etc.) na carta imagem, que puderam ser também identificados na imagem ASTER VNIR+SWIR. Nestes pontos de controle obtiveram-se as coordenadas geográficas associadas aos pixels identificados na imagem. Para gerar o registro da imagem, foi aplicado o modelo polinomial de 1º grau, com reamostragem pelo método do vizinho mais próximo.

Em trabalho de campo (08/11/2005), foram coletadas com auxílio de GPS diferencial de alta precisão as coordenadas geográficas referentes aos parreirais (cada um destes com áreas de aproximadamente dois hectares) de Cabernet Sauvignon, Merlot, Tannat e Pinot Noir, para possibilitar a identificação na imagem de satélite destas variedades, e a obtenção de informações radiométricas orbitais das mesmas.

A partir da identificação destes parreirais na imagem VNIR+SWIR (nove bandas), selecionaram-se para cada variedade pixels representativos dos quais foram extraídas curvas médias de radiância para cada uma das variedades estudadas nesta região. A obtenção dos valores médios de radiância foi realizada no software ENVI 4.2, e os gráficos resultantes destes valores médios (nove pontos ao todo, correspondendo cada valor médio de radiância a uma respectiva banda), foram traçados no aplicativo ORIGIN 6.0.

## 4.2. Estudo dos parreirais na Campanha

A segunda área de estudo corresponde à região de Palomas, distante aproximadamente 40 km de Santana do Livramento (30°55'S, 55°30'W), e localizada na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, na chamada região da Campanha. A Campanha Gaúcha fica quase na fronteira com o Uruguai, bem próxima do início da faixa considerada ideal para a vitivinicultura, entre os paralelos trinta e cinquenta. As condições climáticas são consideradas melhores que as da Serra Gaúcha, para a viticultura, e tem-se avançado na produção de uvas européias e vinhos de qualidade. Com o bom clima local, o investimento em tecnologia e a vontade das empresas, a região hoje já produz vinhos de grande qualidade. Em Palomas localizam-se os vinhedos da vinícola Almadén, onde foram conduzidos estes estudos. A área dos vinhedos Almadén possui mais de 400 hectares (há) cultivados, com vinte e dois diferentes tipos de uvas.

Para cobrir a área de estudo foi obtida uma imagem ASTER, coletada em 1º de dezembro de 2004, de nível L1B (Fig. 13), já georreferenciada no sistema de projeção UTM, com datum WGS e correção radiométrica aplicada. No desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas as 9 primeiras bandas (1,2,3N,4,5,6,7,8,9), correspondentes aos subsistemas VNIR e SWIR.

Nesta área, o estudo dos vinhedos foi abordado de duas formas: através da classificação supervisionada, e pelos espectros de reflectância de 13 diferentes cultivares: Cabernet Sauvignon, Tannat, Pinotage, Gewurztraminer, Merlot, Chardonnay, Riesling Renano, Riesling Itálico, Gamay, Chenin Blanc, Sauvignon Blanc, Trebiano, Semillon, gerados a partir das 9 bandas do sensor ASTER. A metodologia utilizada para conduzir estes estudos é descrita a seguir.

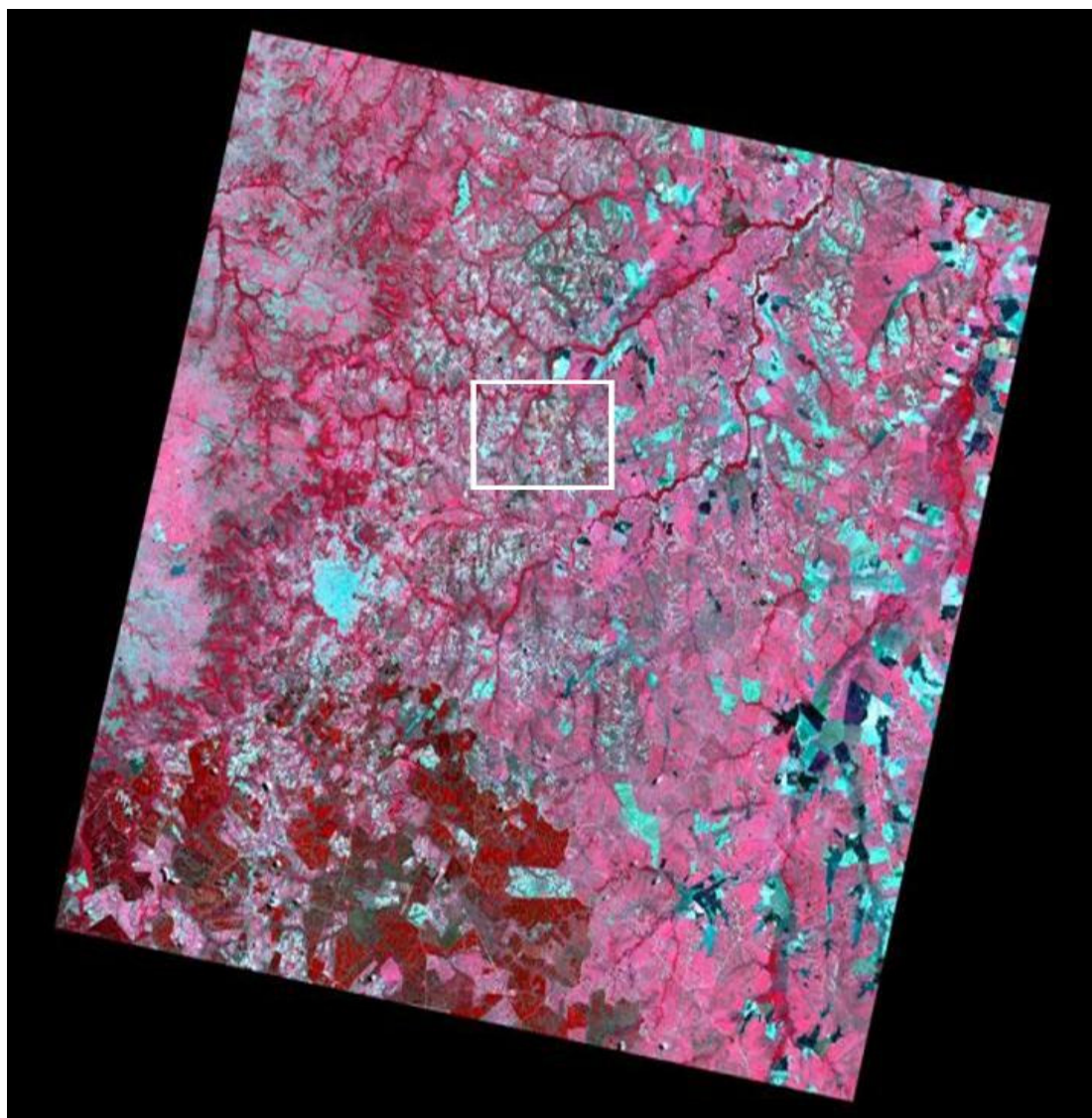


Figura 13. Cena ASTER LIB da região de Palomas, 01/12/2004; em destaque, a área de estudo. Composição colorida: R: 3N; G: 2; B: 1.

## 4.2.1. Classificação Supervisionada

### 4.2.1.1. Pré-processamento

A primeira etapa realizada foi a leitura da imagem no aplicativo ENVI 4.2, com o objetivo de transformar os valores de contador digital (que no caso de imagem L1B já estão em escala de radiância) para valores de radiância efetivamente. Para isso, é preciso levar em conta os valores de ganho e *offset* em cada banda (a tabela com esses valores encontra-se em anexo). O produto ASTER L1B tem um arquivo metadata que contém todas as informações referentes à calibração e dados do telescópio, entre outras. Assim, aplicando a equação (2) em cada banda, obtém-se a imagem em valores de radiância. Observe-se que o aplicativo ENVI 4.2 realiza este procedimento automaticamente nos produtos L1B: ao carregar a imagem no formato HDF o aplicativo automaticamente lê do arquivo metadata os valores de ganho e *offset* que foram gerados para cada banda, e os aplica à imagem, transformando assim diretamente os valores de contador digital para radiância.

A partir da imagem já em valores de radiância, as bandas do SWIR foram redimensionadas para 15m (a fim de identificar melhor as áreas de parrerais) utilizando interpolação pelo método do vizinho mais próximo (Lima, 2003), ficando assim com a mesma resolução espacial das bandas do visível (VNIR). Obteve-se, assim, o subsistema VNIR+SWIR com resolução espacial de 15m.

O próximo passo foi proceder ao registro da imagem, realizado a partir de imagem georreferenciada LANDSAT, com resolução espacial de 14.25 m, projeção UTM e datum WGS84. Esta imagem e outras informações são encontradas em <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl> . Foram identificados pontos de controle na imagem LANDSAT (junções de drenagem, entroncamentos de estradas), que puderam também ser identificados no subsistema VNIR+SWIR da imagem ASTER L1B. Para



gerar o registro, foi aplicado o modelo polinomial de 1º grau, com reamostragem pelo método do vizinho mais próximo. Obteve-se precisão de correção inferior a um pixel.

Foi então realizado o recorte da imagem através de um retângulo envolvente da área de estudo. Este procedimento teve como objetivo reduzir o tamanho dos arquivos que seriam utilizados no processo de classificação, tornando os processamentos mais rápidos, e também para eliminar áreas na imagem cujas classes não seriam amostradas. A região de interesse da pesquisa ficou então com área total mapeada de 46.162 km<sup>2</sup>.

#### **4.2.1.2. Classificação**

A classificação supervisionada foi realizada pelo Método de Máxima Verossimilhança Gaussiana (MAXVER), que foi utilizado em três grupos, todos com resolução espacial de 15 metros:

- **VNIR:** 3 bandas (1,2,3N);
- **SWIR:** 6 bandas (4,5,6,7,8,9)
- **(VNIR+SWIR):** 9 bandas (1,2,3N,4,5,6,7,8,9)

As amostras de treinamento para a classificação supervisionada MAXVER foram coletadas através da visualização da imagem da área de estudo no aplicativo ENVI 4.2. No processo de coleta também contamos com auxílio de um mapa dos vinhedos da propriedade Almáden, e um cadastro com os lotes, numerados em correspondência a cada variedade cultivada, facilitando muito a visualização dos vinhedos na imagem. Este material foi obtido no trabalho de campo realizado nos vinhedos da Vinícola Almáden e arredores, em 8 de novembro de 2005, trabalho que também propiciou a confirmação dos alvos reconhecidos na imagem, através de visualização direta dos mesmos.

#### 4.2.2 Análise estatística da classificação digital nas diferentes bandas

O conhecimento da área de estudo proporcionou a definição de sete classes para classificação da área de interesse, que são:

- a) ***banhado*** (área ocupada por água e vegetação);
- b) ***açude*** (superfície coberta por água);
- c) ***solo exposto*** (área com o solo desnudo);
- d) ***campos*** (áreas de campo extenso, típicas da região);
- e) ***floresta nativa/exótica*** (área ocupada por mata nativa ou espécies exóticas, em qualquer estágio de formação);
- f) ***uva tinta*** (áreas onde são cultivadas *Vitis vinifera* do tipo tinta);
- g) ***uva branca*** (áreas onde são cultivadas *Vitis vinifera* do tipo branca).

Após a definição das classes temáticas, foi realizada a interpretação visual. A classificação MAXVER foi totalmente realizada no aplicativo ENVI 4.2, onde as amostras de treinamento são trabalhadas com facilidade, visto que o programa permite a gravação das áreas das amostras denominadas regiões de interesse (ROI, *Region Of Interest*), na imagem. As regiões de interesse podem ser aplicadas em diferentes classificadores, e em diferentes conjuntos a serem classificados, permitindo assim a possibilidade dos classificadores supervisionados utilizarem sempre as mesmas áreas de imagem de treinamento.

O método MAXVER foi aplicado nos três conjuntos de bandas VNIR, SWIR e VNIR+SWIR. As classes foram definidas com igual probabilidade de ocorrência. As imagens, geradas a partir da classificação supervisionada, são mostradas nas Figuras 14, 15 e 16. A Figura 17 mostra imagem da área de vinhedos da Almadén, juntamente com um mapa da distribuição das parcelas, fornecido pela empresa. A Figura 18 mostra a mesma imagem e fotografias dos parreirais coletadas quando do trabalho de campo.

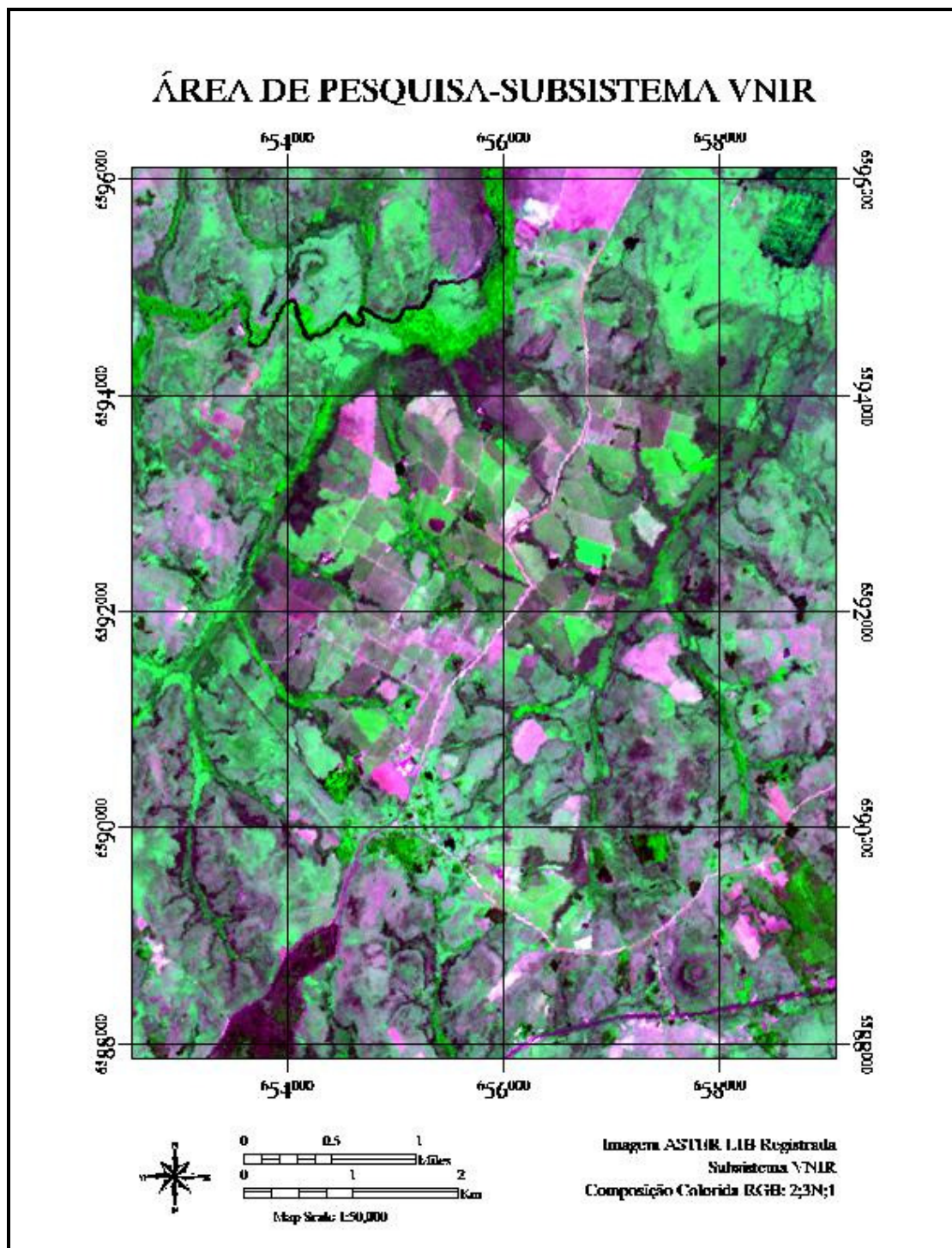


Figura 14. Região Campanha. Imagem recortada da cena ASTER L1B, subsistema VNIR.

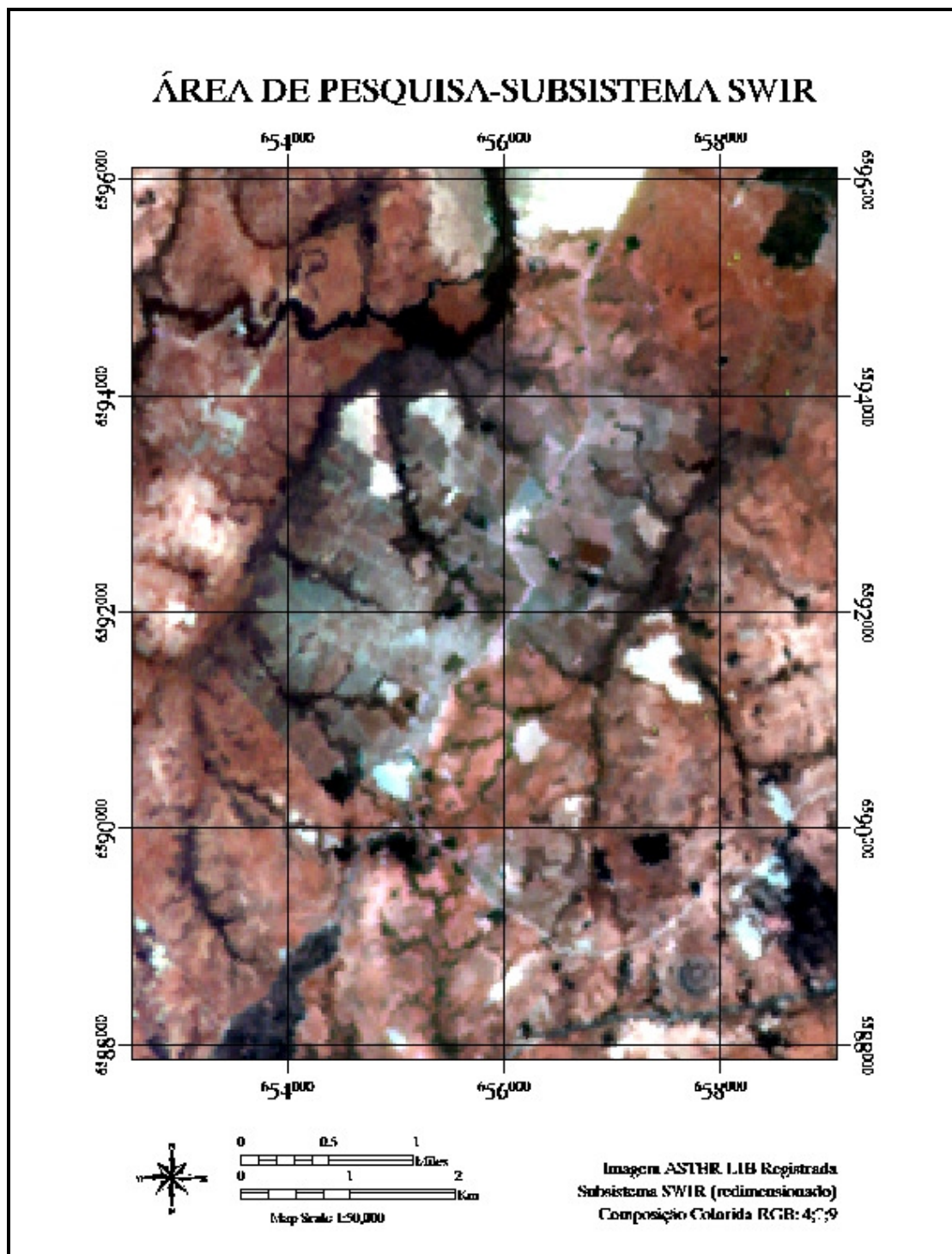


Figura 15. Região Campanha, imagem recortada da cena ASTER L1B, subsistema SWIR (bandas redimensionadas).

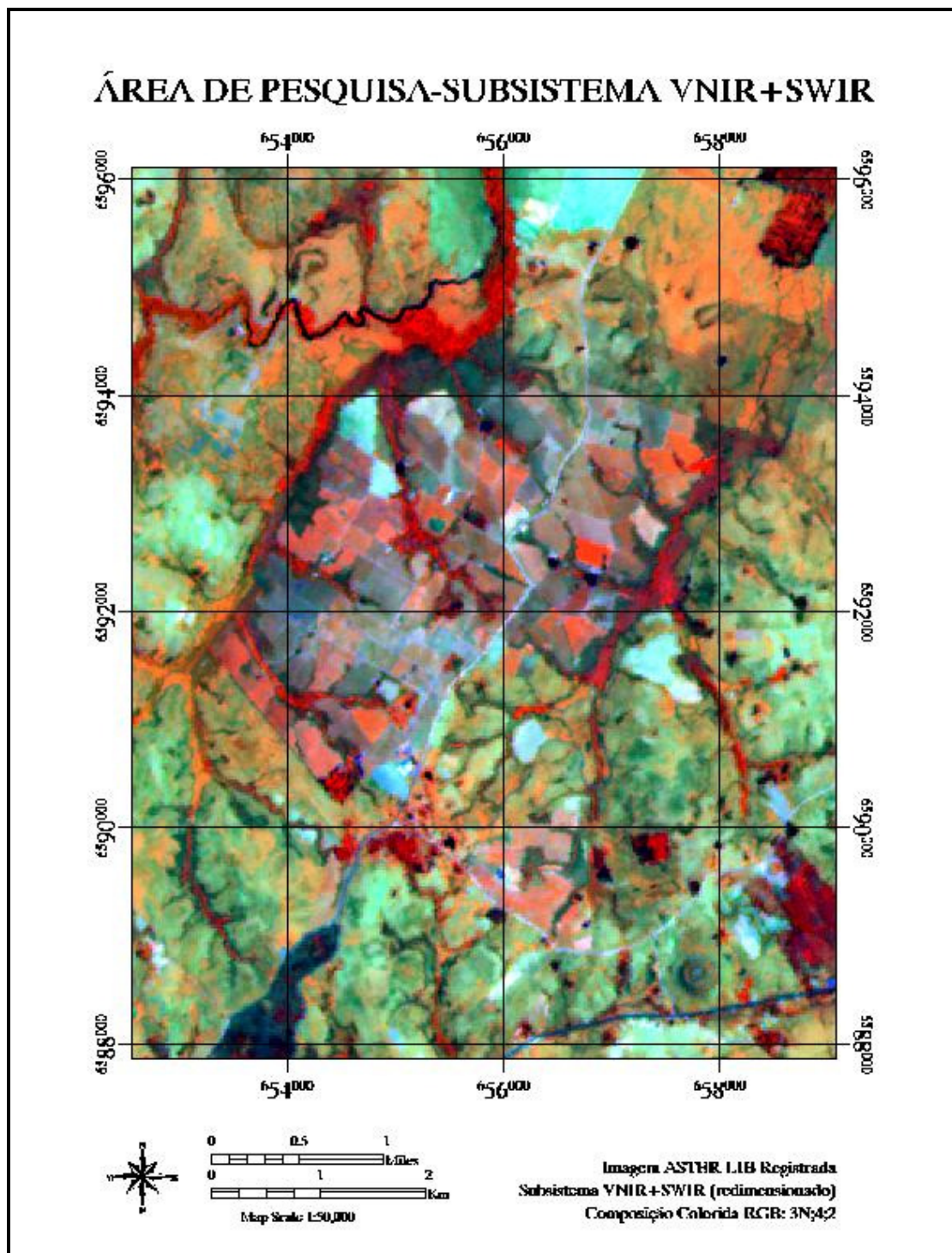


Figura 16. Região Campanha, imagem recortada da cena ASTER L1B, subsistema (VNIR+SWIR).

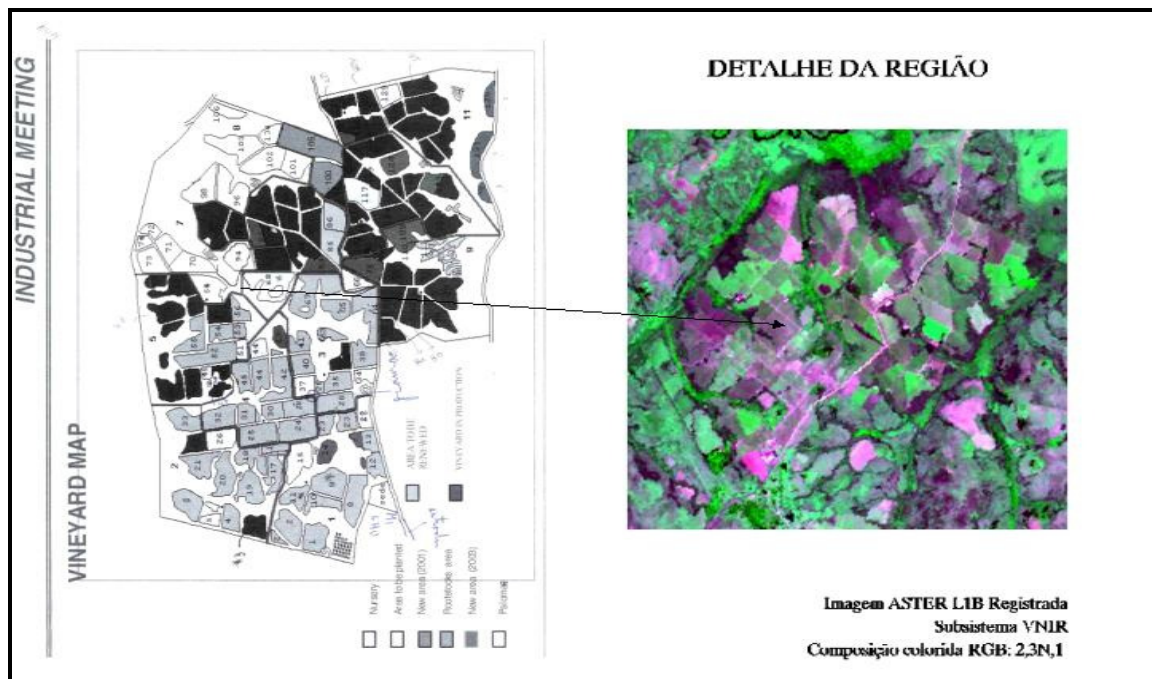


Figura 17. Região Campanha. Mapa dos vinhedos e detalhe da imagem.

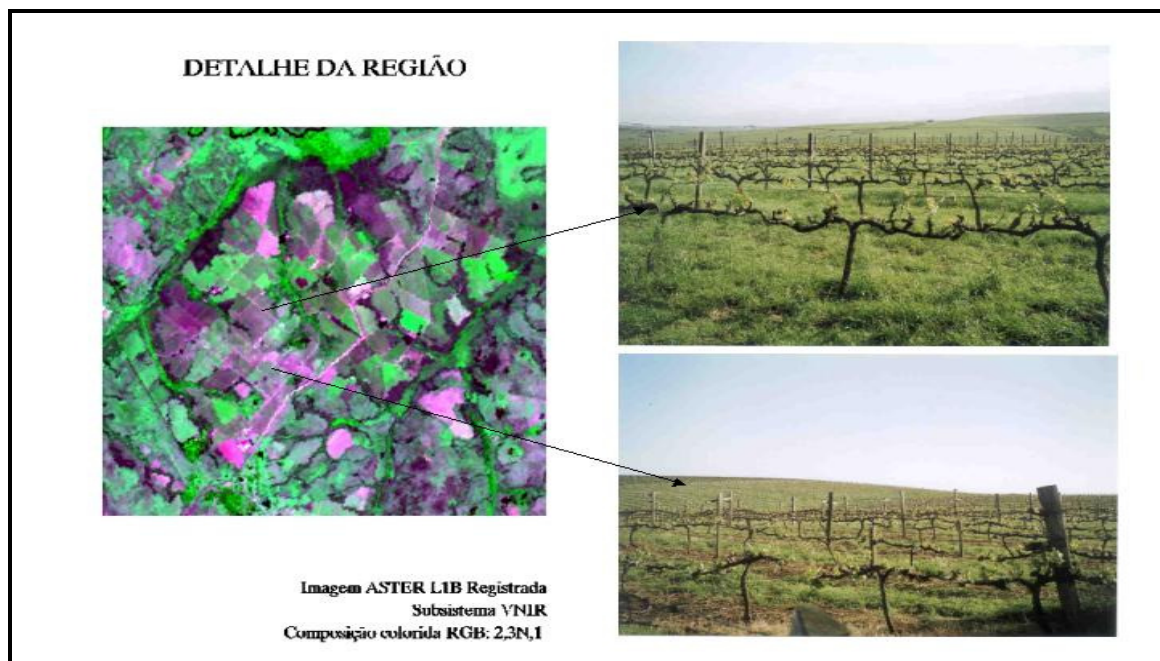
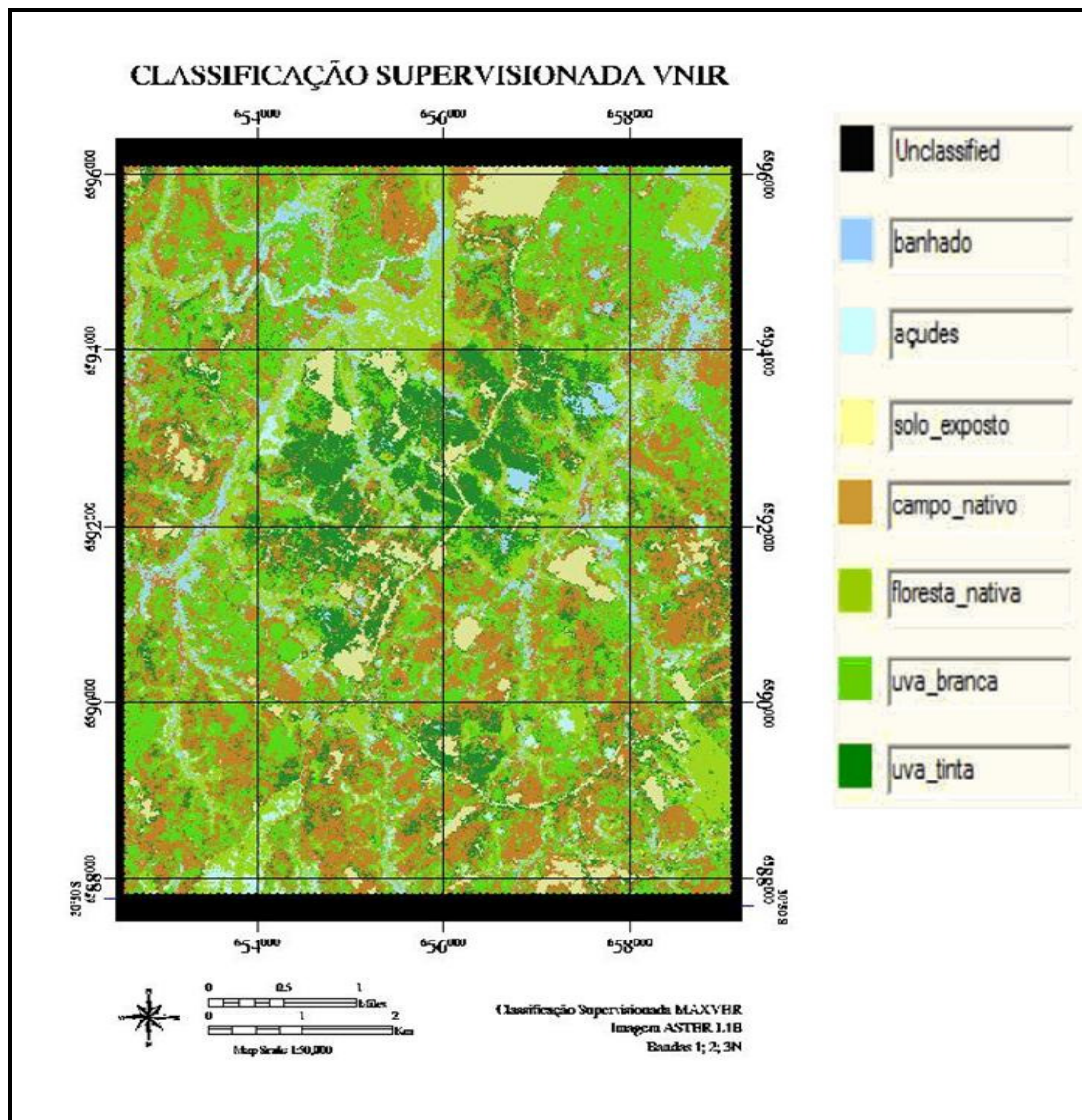


Figura 18. Região Campanha. Detalhe da região, e fotografias dos vinhedos Almadén.

Após a definição das classes temáticas foi realizada a interpretação visual. A classificação MAXVER foi totalmente realizada no aplicativo ENVI 4.2. Neste aplicativo as amostras de treinamento são trabalhadas com facilidade, visto que o programa permite a gravação da área das amostras na imagem, denominadas regiões de interesse (ROIs). As regiões de interesse podem ser aplicadas em diferentes classificadores e diferentes conjuntos de bandas a serem classificadas, permitindo assim que os classificadores supervisionados utilizem sempre as mesmas áreas da imagem de treinamento.

O método MAXVER foi aplicado nos três conjuntos de bandas VNIR, SWIR e VNIR+SWIR. As classes foram definidas com igual probabilidade de ocorrência. As imagens geradas a partir da classificação supervisionada são observadas nas Figuras 19, 20 e 21.



**Figura 19: Classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança Gaussiana no subsistema VNIR.**



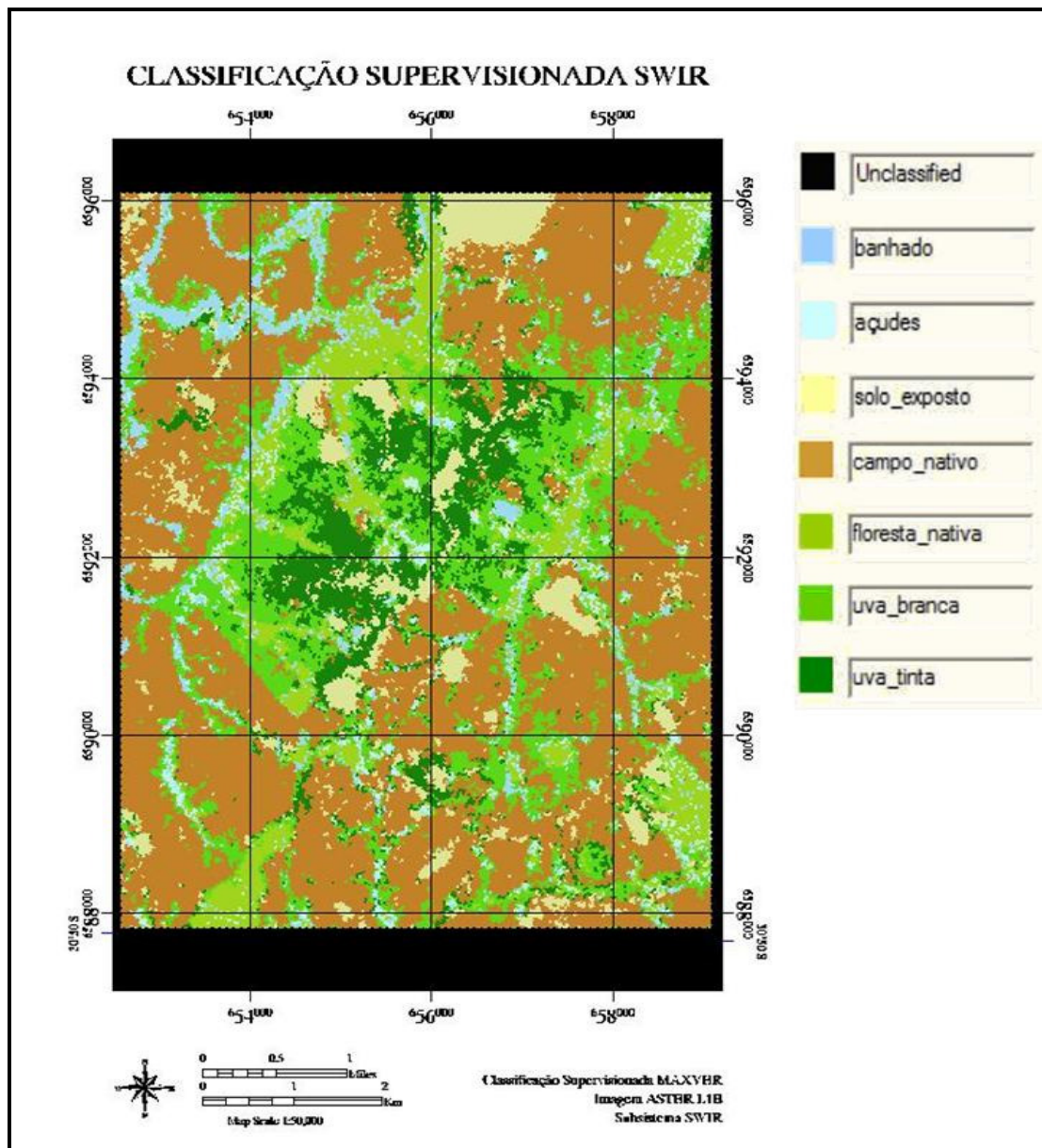


Figura 20. Classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança Gaussiana no subsistema SWIR.

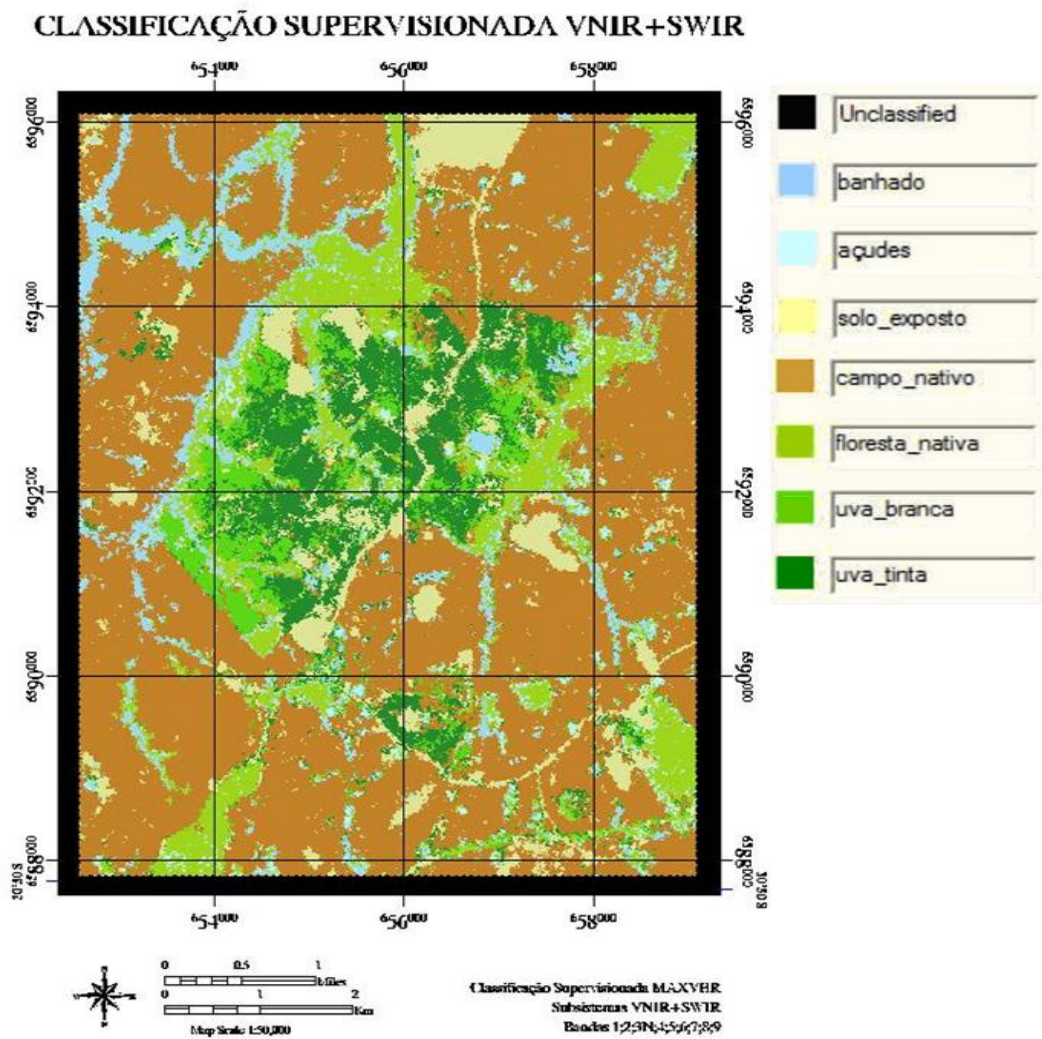


Figura 21. Classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança Gaussiana nos subsistemas VNIR+SWIR.

### 4.2.3 Estudo das curvas de reflectância para a região da Campanha

Para gerar as curvas de reflectância representativas das 13 variedades estudadas a partir da cena ASTER L1B, foi utilizada a rotina de correção atmosférica FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes). O FLAASH é uma rotina do ENVI 4.2, para correção atmosférica de imagens de sensores hiperspectrais e multiespectrais; o modelo de correção atmosférica empregado pelo FLAASH é o MODTRAN (Moderate Resolution Transmittance).

Diferente dos programas de correção atmosférica que usam métodos estatísticos, e por essa razão necessitam previamente de uma base de informações anexa ao sensor, o módulo FLAASH baseia-se em modelos físicos e incorpora o código de transferência de radiação MODTRAN4+ para caracterizar a atmosfera e eliminar efeitos causados por partículas de vapor d'água, aerossol e gases (ozônio dióxido de carbono, etc.) O FLAASH realiza o processamento pixel a pixel, ou seja, proporciona a vantagem de fornecer uma única assinatura espectral para cada pixel. A equação para a correção utilizada é a seguinte:

$$L = \left( \frac{A\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left( \frac{B\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (8)$$

onde:

$\rho$  é a reflectância do pixel

$\rho_e$  é a reflectância média do pixel e seus adjacentes

$S$  é o valor de albedo esférico da atmosfera

$L_a$  é a radiância espalhada pela atmosfera

$A$  e  $B$  são coeficientes que dependem de condições atmosféricas e geométricas mas não da superfície. Todas as variáveis são dependentes do comprimento de onda.

O primeiro termo da equação corresponde à radiância que é refletida pela superfície e viaja direto em direção ao sensor, enquanto o segundo termo corresponde à radiância que é refletida pela superfície e é espalhada pela atmosfera até atingir o sensor. Após cálculos efetuados pelo modelo a equação (8) é resolvida para as reflectâncias superficiais dos pixels em todos os canais do sensor. O método de solução envolve o cálculo da radiância média da imagem  $L_e$  de onde a reflectância média  $\rho_e$  é estimada usando a equação aproximada:

$$L_e \approx \left( \frac{(A + B)\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (9).$$

#### 4.2.3.1 Preparação da imagem para aplicação do modelo

O primeiro passo para aplicação do modelo a cena ASTER L1B é que a imagem esteja em valores de radiância. O FLAASH exige que o arquivo de entrada apresente-se no formato numérico de ponto flutuante, e que a calibração em radiância apresente-se nas unidades de  $\text{mW}/(\text{cm}^2/\text{nm}/\text{sr})$ ; portanto, é necessário aplicar um fator de escala para ajustar a unidade em radiância do arquivo de entrada no momento do processamento dentro do módulo FLAASH. No caso da imagem corrigida ASTER, o fator de escala a ser aplicado é 10.

A seguir, o conjunto de dados VNIR e SWIR foram combinados para o processamento; primeiro os dados SWIR foram redimensionados para 15m pelo método do vizinho mais próximo; depois, combinados com os dados VNIR (layer stacking), gerando um único arquivo VNIR+SWIR. É necessário também alterar o formato de gravação da imagem para BIL ou BIP.

Os parâmetros de entrada do modelo, e as informações do sensor incluem a coordenada central da cena, a elevação média contida na cena, o tipo de sensor, a altitude do sensor e a data do imageamento. Estes dados possibilitam que o programa

determine a posição solar e sua incidência na superfície. Também são necessárias a escolha de um modelo atmosférico e um modelo de aerossol; dos fornecidos pelo padrão MODTRAN, para a época e latitude de nossa cena, o modelo atmosférico mais adequado é o Mid Latitude Summer (MLS), e o de aerossol é Rural. A visibilidade inicial da cena também é necessária, e o valor utilizado foi 70 km.

#### **4.2.3.2 Extração dos espectros de reflectância**

Após a obtenção da imagem em reflectância procedeu-se à obtenção dos espectros a partir da mesma. Foram gerados espectros para as 13 variedades estudadas, para o que foram escolhidos aleatoriamente para cada variedade três lotes (amostras) representativos na imagem, usando a ferramenta de seleção de área (ROIs), num total de 39 arquivos.

Para cada região, um conjunto de 9 pontos define um espectro, onde cada ponto é o valor da reflectância em uma dada banda, expresso em unidades de contagem. Este valor não é absoluto, mas depende de condições locais e instantâneas que podem variar de uma região para outra vizinha. Operações envolvendo os três espectros de uma mesma variedade, só foram realizadas após a aplicação de um procedimento de normalização dos espectros, uma condição quando todos os espectros são transformados de forma a ter o mesmo valor de integral. Isto é feito tomando um dos três espectros como referência, e multiplicando os outros dois por um fator que vem da divisão da integral de referência pelo valor das outras integrais individuais calculadas. Depois de normalizar todos os espectros para que tenham níveis de informação semelhantes, os espectros médios para as variedades foram determinados calculando os valores médios de reflectância para cada banda.

## CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Resultados da classificação MAXVER na região da Campanha

Após a realização da classificação supervisionada nas diferentes combinações de bandas do sensor ASTER, os dados resultantes foram analisados com base no método de matriz de confusão e seus índices associados. Para tanto, foram realizadas novas medidas de regiões de interesse sobre os grupos de imagem (VNIR, SWIR e VNIR+SWIR). Os símbolos das matrizes correspondem à Tabela 4, e as matrizes de confusão que qualificam as classificações são apresentadas nas Tabelas 5, 6 e 7.

**Tabela 4: Chave de símbolos da matriz de confusão.**

CLASSE	SÍMBOLO
banhado	b
açude	a
solo_exposto	s_e
campos	c
Floresta/nativa_exótica	f_n_e
uva_branca	u_b
uva_tinta	u_t



Tabela 7. Matriz de confusão derivada da classificação no subsistema VNIR+SWIR, valores em %.

Classes	b	a	s_e	c	f_n_e	u_b	u_t
<b>b</b>	<b>52,38</b>	6,02	0,00	0,00	5,63	0,00	0,00
<b>a</b>	3,81	<b>66,27</b>	0,00	0,00	2,11	0,00	0,00
<b>s_e</b>	1,43	1,20	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,85	0,00
<b>c</b>	0,95	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00
<b>f_n_e</b>	39,05	26,51	0,00	0,00	<b>91,90</b>	0,00	0,00
<b>u_b</b>	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>91,53</b>	150,00
<b>u_t</b>	1,43	0,00	0,00	0,00	0,35	7,63	<b>85,00</b>
<b>TOTAL</b>	100	100	100	100	100	100	100

Por classes amostradas, os melhores resultados da matriz de confusão são mostradas na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados da diagonal Principal da matriz de confusão nos subsistemas VNIR, SWIR e VNIR+SWIR.

CLASSES	VNIR (%)	SWIR (%)	VNIR+SWIR (%)
<b>Banhado</b>	36,21	71,60	52,38
<b>Açude</b>	81,67	83,33	66,27
<b>solo_exposto</b>	<b>89,23</b>	<b>92,50</b>	<b>100,00</b>
<b>Campos</b>	43,84	<b>89,51</b>	<b>100,00</b>
<b>Floresta_nativa_exótica</b>	75,47	<b>91,78</b>	<b>91,90</b>
<b>uva_branca</b>	78,52	82,99	<b>91,53</b>
<b>uva_finta</b>	<b>89,94</b>	83,68	85,00



Com base nos dados, nota-se que é possível a diferenciação de vinhedos das demais classes. Ainda é possível notar que parece existir uma diferença significativa entre uvas tintas e brancas evidenciadas nos três casos VNIR, SWIR, VNIR+SWIR. A razão para esse comportamento ainda não está bem clara e merece mais estudos.

Outro resultado importante derivado da matriz de confusão é a acurácia total, que mede a relação dos pixels classificados corretamente dado o total de pixels selecionados para treinamento. Também o índice Kappa informa a respeito da qualidade do mapa temático (Tabela 9).

**Tabela 9. Acurácia total e índice kappa para as diferentes classificações.**

<b>Subsistema</b>	<b>Acurácia Total</b>	<b>Índice Kappa</b>
<b>VNIR</b>	<b>63,7481%</b>	<b>0,5542</b>
<b>SWIR</b>	<b>87,7676%</b>	<b>0,8397</b>
<b>VNIR+SWIR</b>	<b>92,0347%</b>	<b>0,8902</b>

Comparando os resultados da tabela 16 para os valores de índices kappa, observa-se que a classificação no subsistema VNIR enquadra-se como boa, enquanto que para SWIR e VNIR+SWIR é excelente. Em termos de acurácia total, a classificação em VNIR+SWIR é superior as demais, seguida pela classificação em SWIR, e com VNIR apresentando o pior resultado.

Estes resultados somados aos valores obtidos na matriz de confusão VNIR+SWIR para as classes de interesse uvas brancas e uvas tintas, apontam para a importância das bandas do infravermelho em estudos de videiras.

A Figura 22 apresenta as áreas de videiras da imagem da Campanha. Os vinhedos da Almadén podem ser observados; além disto, os vinhedos de outra empresa (Vitivinícola Cordilheira de Santana) também aparecem, dois quilômetros ao Sul; sua área é de 24 hectares e há predominância de uvas tintas. Este resultado, vindo de forma acidental (descrita pela palavra *serendipity* em inglês), vem reforçar o resultado da classificação e a validade da técnica.

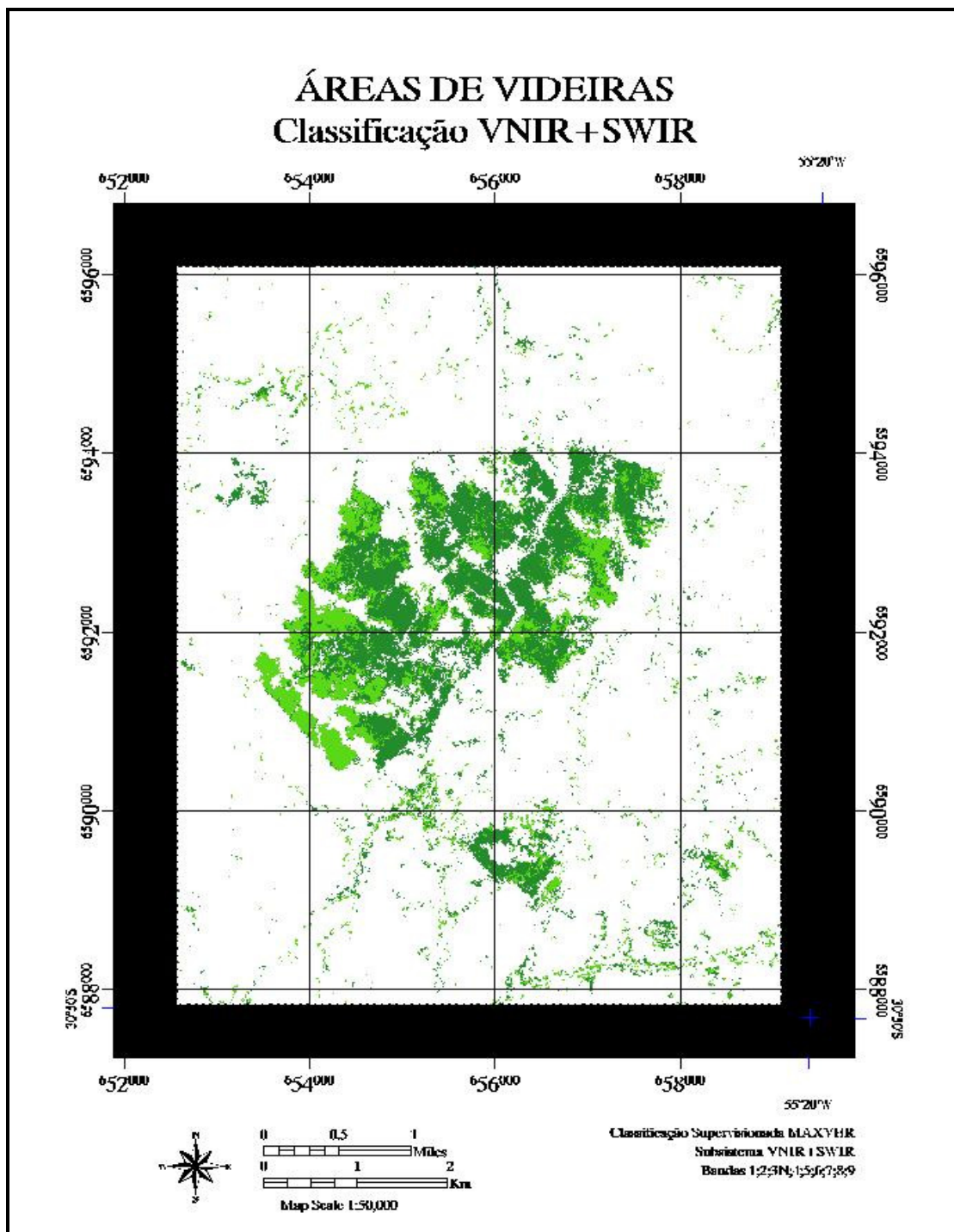


Figura 22. Mapa das videiras na região de estudo, gerado pela classificação VNIR+SWIR. As áreas de videiras estão apresentadas em verde.

## **5.2 Curvas espectrais das videiras na região da Campanha e Serra Gaúcha**

Nesta seção são apresentadas as curvas espectrais obtidas na região da Campanha, obtidas a partir da imagem ASTER L1B da região, bem como os resultados da espectroradiometria de campo, e os resultados de radiância obtidos a partir da imagem ASTER L1A para a região da Serra.

Há uma questão relativa à mistura espectral entre as assinaturas espectrais das videiras e da grama. De fato, todos os vinhedos na propriedade da vinícola Almadén estudados, apresentam videiras cultivadas em espaldeira, e o solo entre as fileiras permanece coberto por vegetação nativa. A distância entre as fileiras é aproximadamente constante ao longo das regiões cultivadas, assim como a densidade de vinhedos. Não foi possível encontrar um campo aberto próximo, que apresentasse as mesmas características da vegetação encontrada entre as fileiras, e que permitisse a aplicação de técnicas de pixel mistura. Por esta razão, a informação espectral referente à vegetação nativa é pouca, uma condição que será tratada neste trabalho como sendo um ruído branco agindo de forma uniforme em toda a informação espectral derivada dos vinhedos da Campanha. As figuras 23, 24, 25 e 26 apresentam as curvas de reflectância para as 13 variedades estudadas na Campanha.

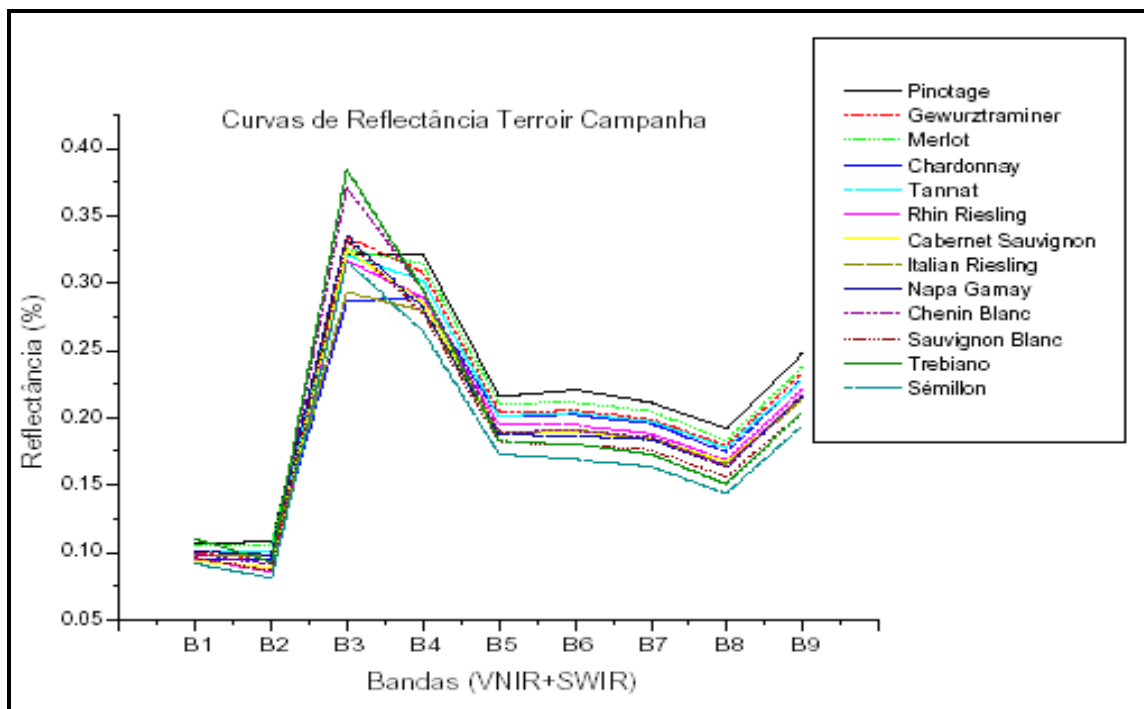


Figura 23. Curvas para 13 variedades de parreiras, terroir Campanha.

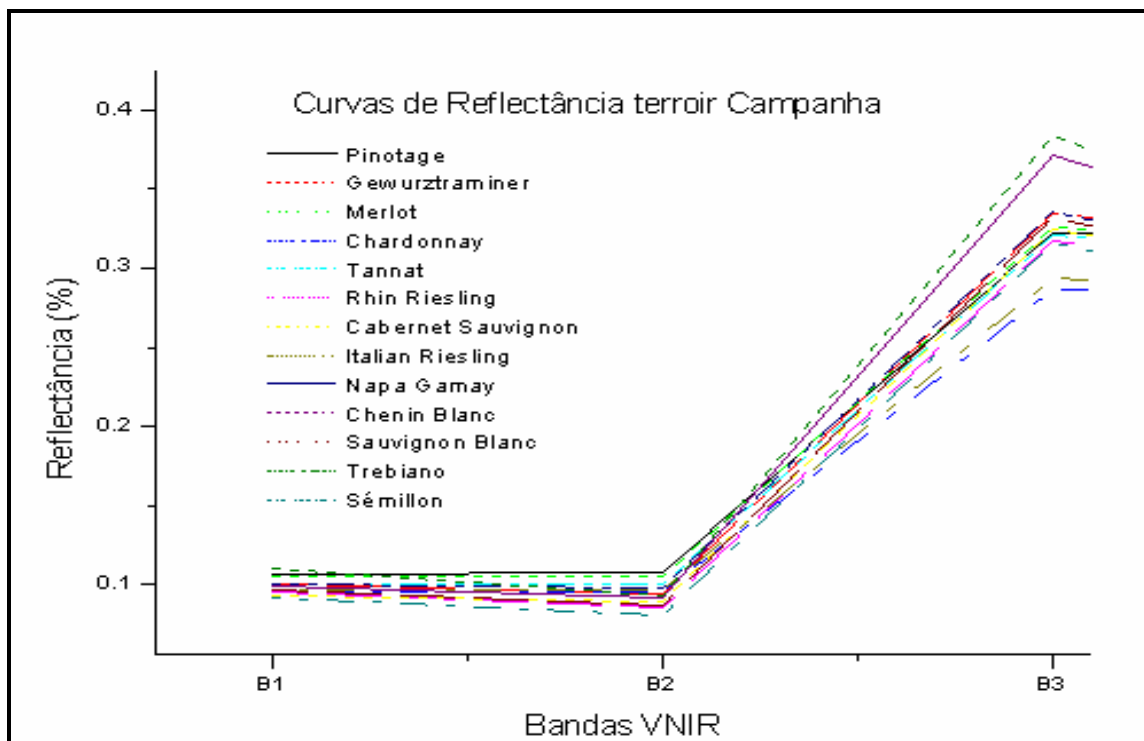


Figura 24. Curvas de reflectância, região do VNIR, terroir Campanha.

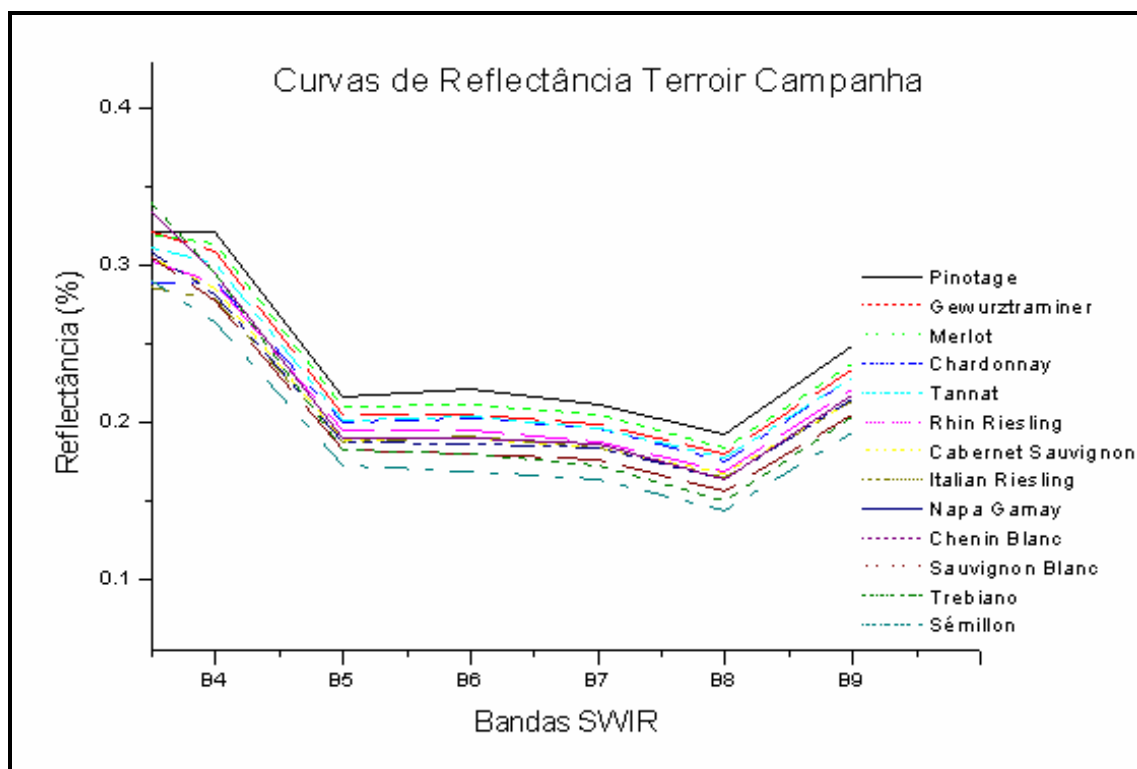


Figura 25. Curvas de reflectância região do SWIR, terroir Campanha.

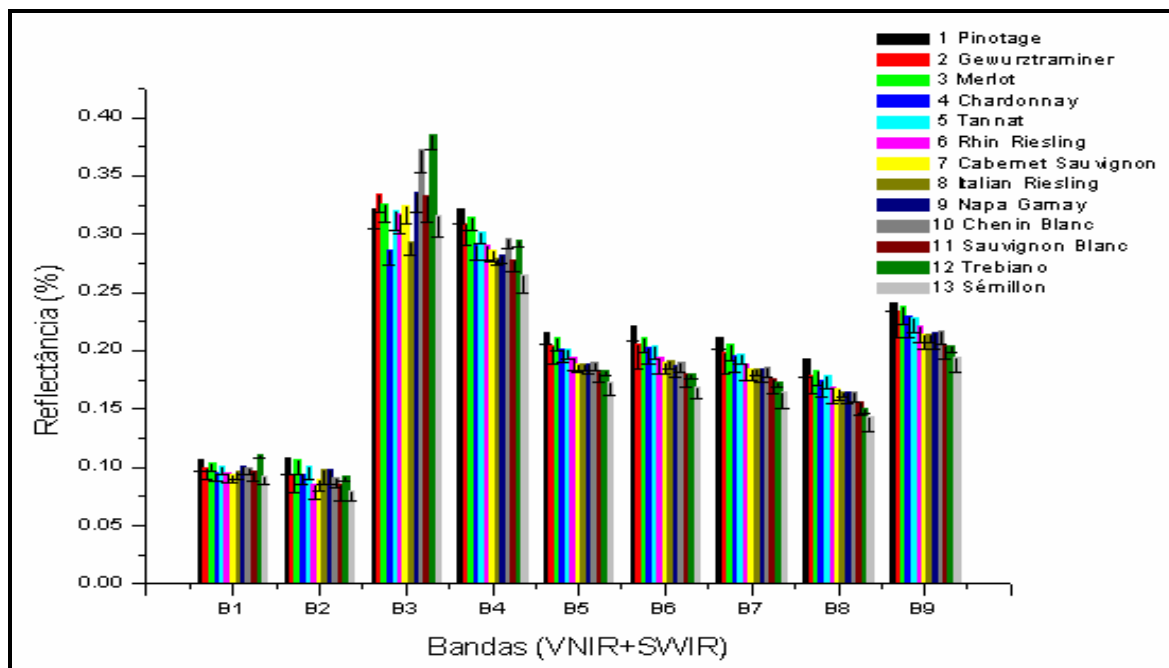


Figura 26. Curvas de reflectância terroir da Campanha, sobre outra perspectiva.

As figuras 23, 24 e 25 mostram os espectros para as 13 variedades estudadas na região da Campanha. É possível observar que em geral cada variedade possui seu espectro característico. É interessante lembrar que cada espectro é derivado da observação de três regiões cobrindo aproximadamente 200 pixels de 15m de resolução cada um.

O espectro obtido da observação a partir do espaço (Fig. 23) é passível de comparação com o espectro obtido *in situ* por Luz e Fonseca (2003), reproduzido na Figura 7. A comparação pode ser feita no comprimento de onda de 800 nm, ou seja, na banda 3 do ASTER, única banda compreendida no domínio espectral do espectroradiômetro LiCor da EMBRAPA/CNPUV utilizado por Luz & Fonseca. A comparação é dificultada pela baixa resolução da figura que está na publicação de Luz e Fonseca (2003); dados de melhor qualidade não estão disponíveis. No entanto, há seis cepas em comum entre os dois espectros (Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Chenin Blanc, Gewurztraminer, Riesling). Em Luz e Fonseca (2003) não há informação se a cepa Riesling refere-se a Riesling Itálico ou Riesling Renano; ambas variedades estão presentes no espectro montado a partir das observações em Palomas, na Campanha. Da mesma maneira, o trabalho feito no CNPUV refere dados para Cabernet Sauvignon “H” e “V”, e o mesmo para Chardonnay. No caso “H” refere-se ao sistema de condução latada ou pérgola e “V” ao sistema de condução em lira, que é próximo da espaldeira. A comparação foi feita estabelecendo-se uma ordem decrescente de reflectâncias nos dois espectros, no comprimento de onda de 800 nm. A Tabela 10 mostra esta comparação.

**Tabela 10. Reflectâncias, em ordem decrescente, das cepas em comum entre o presente trabalho, medidas em Palomas, e aquelas medidas por Luz e Fonseca (2003) na EMBRAPA/CNPUV.**

<b>Palomas</b>	<b>CNPUV</b>
Chenin Blanc	Chenin Blanc
Gamay	Gamay
Gewurztraminer	Gewurztraminer
Cabernet Sauvignon	Cabernet Sauvignon H
Riesling Itálico (R. Renano próximo)	Chardonnay H
Chardonnay	Riesling
-----	Cabernet Sauvignon V

A figura 26 mostra esta informação espectral de outra perspectiva, incluindo o desvio padrão de cada banda para cada uma das variedades. Estas figuras indicam que o espectro tende, ao longo dos valores de comprimento de onda, a ser consistentemente diferente, tanto em termos da magnitude da reflectância, quanto em termos de variação na sua forma. A razão da separação entre tintas e brancas, visível nos dados derivados da classificação MAXVER, não é clara; isto pode ocorrer devido ao fato da ferramenta de classificação aplicada ser bem mais complexa, extraindo informações que não foram reveladas nos espectros.

No “terroir” da Serra Gaúcha, as medidas radiométricas de campo, realizadas em folhas de Cabernet Sauvignon, produziram os espectros mostrados na figura 27. Mesmo sendo o alcance espectral limitado, quando comparado ao domínio de comprimento de onda que o ASTER cobre, em geral observa-se uma concordância entre o comportamento dos pontos em ambos. Entretanto, a radiometria de campo dos dosséis apresentou resultados muito diferentes (figura 28). Estes espectros apresentam feições características dos solos, sugerindo uma contaminação nas medidas, possivelmente produzida pela luz proveniente da superfície, apontando para a necessidade de uma nova coleta de dados para os dosséis.

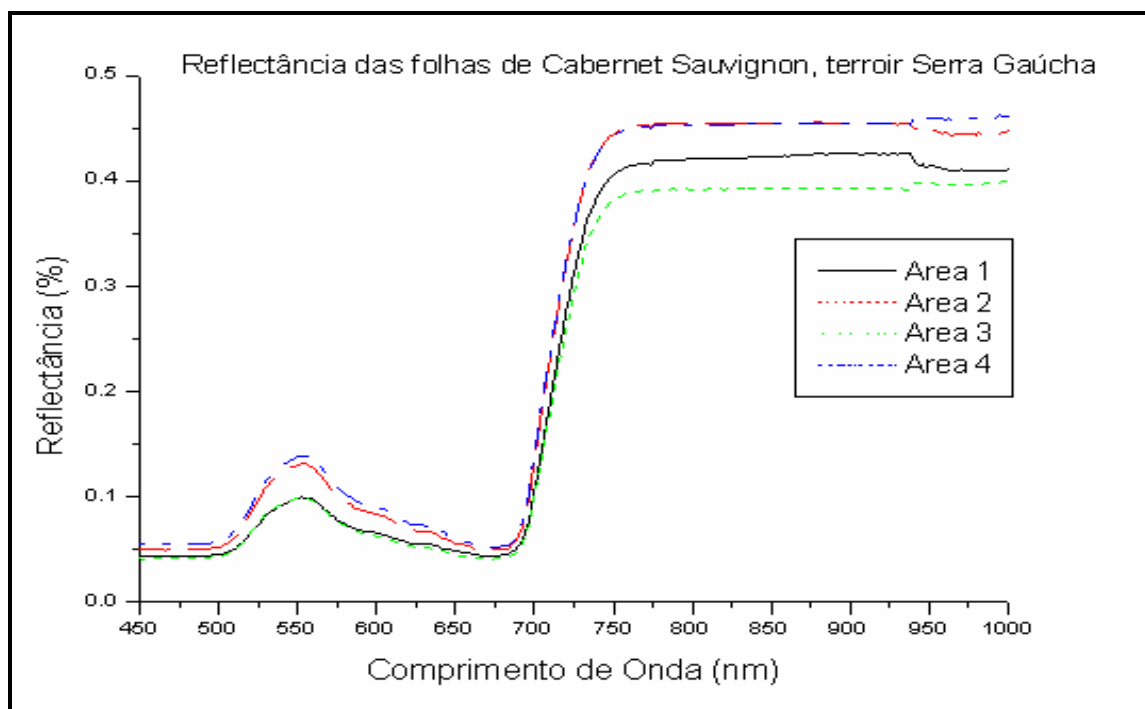


Figura 27. Curvas de reflectância das folhas para variedade Cabernet Sauvignon, terroir Serra Gaúcha.

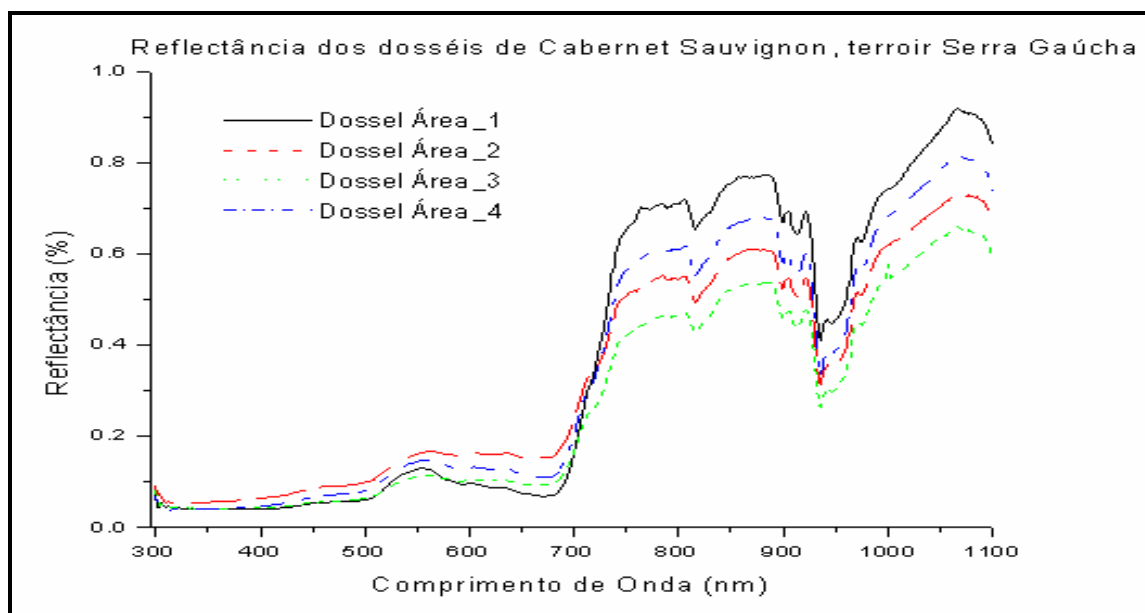


Figura 28. Curvas de reflectância para os dosséis da variedade Cabernet Sauvignon, terroir Serra Gaúcha.



Os dados da imagem ASTER referente ao “terroir” Serra Gaúcha apresentaram algumas dificuldades, desde que regiões de cultivo de videira no sistema de latada, tendem a ser pequenos e, portanto, representam poucos pixels na imagem. Os espectros das variedades Cabernet Sauvignon, Merlot, Tannat e Pinot Noir (esta cepa em espaldeira), do terroir na Serra Gaúcha são apresentados na figura 29, e os espectros das mesmas variedades provenientes do terroir na Campanha, na Figura 30. Observa-se que há uma diferença significativa entre as magnitudes de radiância entre as variedades dos dois “terroirs” sendo as variações na forma dos espectros não tão significativas. Destaque-se que o espectro de Pinot Noir, na Serra, mesmo sendo de um parreiral em espaldeira, tende a acompanhar a radiância dos espectros das outras cepas, que são de latadas, o que pode sugerir a influência de “terroir” nesta informação.

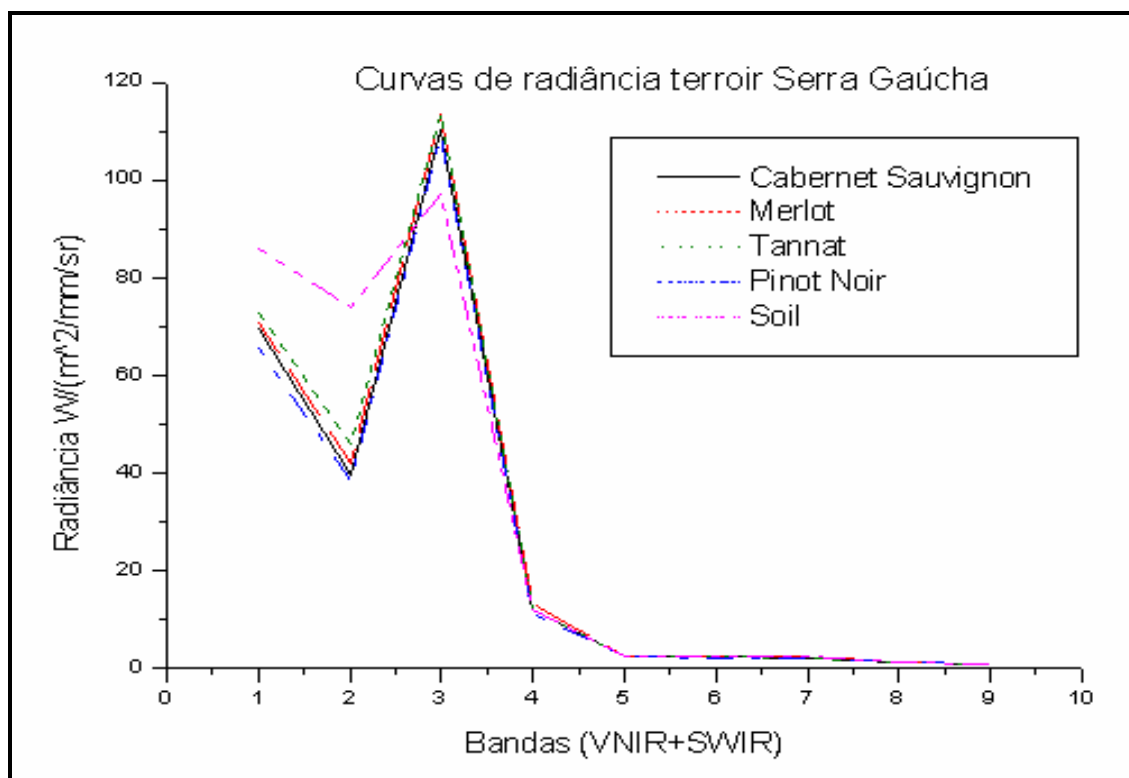
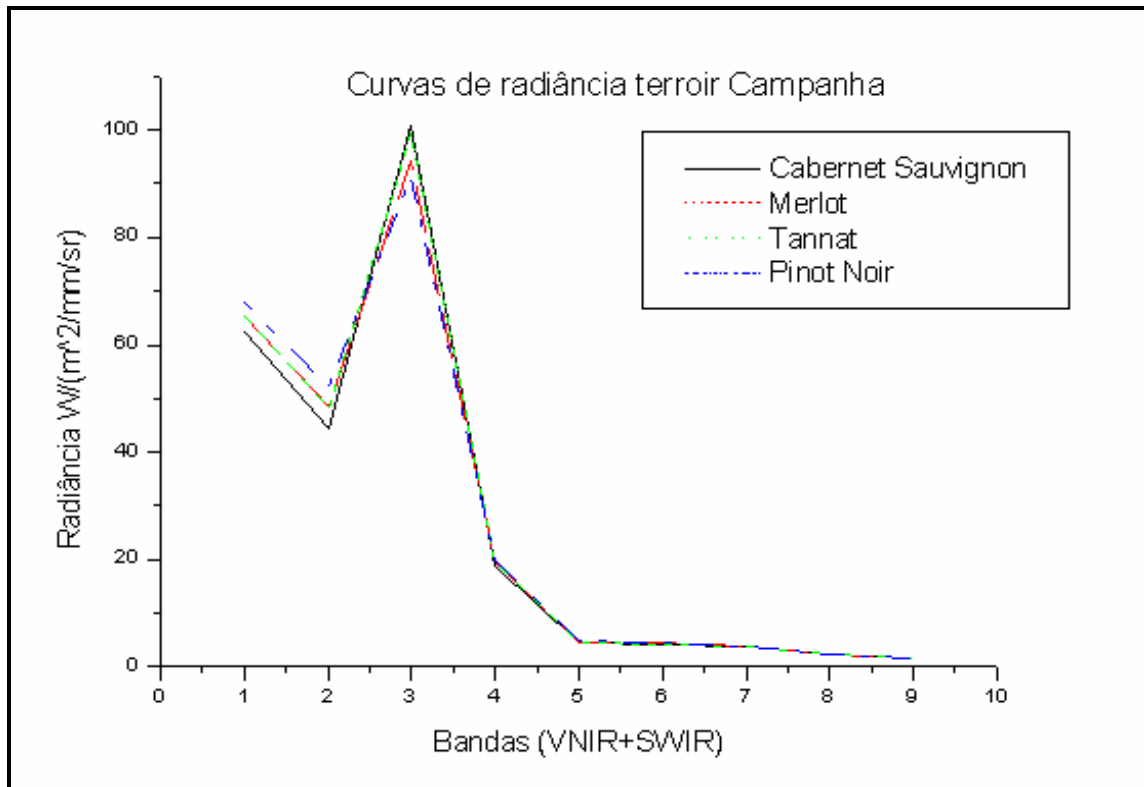


Figura 29. Curvas de radiância para quatro variedades cultivadas em latada, terroir Serra Gaúcha.



**Figura 30.** Curvas de radiância para quatro variedades cultivadas em espaldeira, terroir Campanha.

Na Figura 29 ainda é possível observar a diferença entre a curva espectral do solo em relação à curva espectral das quatro variedades apresentadas.

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

Os resultados indicam fortemente que os dados ASTER contribuem de forma consistente para a classificação e análise espectral de videiras. Isso é resultado da melhor resolução espacial (15m) no visível e no infravermelho. É também resultado da introdução de bandas adicionais no infravermelho, que trazem um ganho relevante na resolução espectral, crucial em estudos de vegetação. A extensão dos vinhedos é freqüentemente de tamanhos críticos no que se refere à resolução espacial das imagens de satélite, e a redução no tamanho do pixel pode levar a ganhos consideráveis.

A capacidade para estabelecer diferenças entre as variedades a partir de imagens de satélite parece existir. Também uma indicação da diferença espectral entre uvas tintas e brancas é apontada na classificação.

A diferença entre “terroirs”, parece influenciar as respostas espectrais, bem como o sistema de condução em que os parreirais são cultivados.

Este estudo é exploratório, e por isso mesmo é ponto de partida para muitos outros desenvolvimentos. Enfim, os resultados encorajam a utilização de sensores de melhor resolução espacial/espectral em trabalhos futuros, diminuindo a distância entre os recursos do sensoriamento remoto e as necessidades da agricultura de precisão.

## CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMS, M; **Aster User Handbook**. V.1, JPL, NASA, 2000.

ANDERSON, G.P., PUKALL, B., ALLRED, C.L., JEONG, L.S., HOKE, M., CHETWYND, J.H., ADLER-GOLDEN, S.M., BERK, A., BERSTEIN, L.S., RICHTSMEIER, S.C., ACHARYA, P.K., MATTHEW, M.W. 1999. **FLAASH and MODTRAN 4: State-of-the-art Atmospheric correction for hyperspectral data**. In: IEEE Aerospace Conference 1999, vol.4, p. 177-181.

ASSUNÇÃO, G. V. et al. **O sensoriamento remoto na agricultura**. São José dos Campos: INPE, 1989. 217 p. (INPE-4806-MD/39).

BRAMLEY, R.G.V. and PROFFITT, A.P.B. **Managing variability in viticultural production**. Grapegrower and Winemaker, 1999. vol. 427 p. 11-16.

BRAMLEY, R.G.V. **Progress in the development of precision viticulture - Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards**. In: Currie, L.D. and Loganathan, P (Eds). Precision tools for improving land management. Occasional report No. 14. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, 2001. p.25-43

BRAMLEY, R. G. V.; HAMILTON, R. P. ; **Understanding variability in winegrape production systems**. Australian Journal of Grape and Wine Research 2004, vol. 10, p. 32 – 45.

CRÓSTA, A. P.; **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG-UNICAMP, 1992.

CONGALTON, R. G.; GRENN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and pratics**. New York 1998. 137 p.

DAINESE, R. C. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não- supervisionada e análise visual**. Botucatu, SP. 211 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) FCA. UNESP, 2001.

EASTMAN, J. R. **Exercícios Tutoriais - IDRISI for Windows**. Porto Alegre: Centro de Recursos Idrisi, 1996. 109p.

FONTANA, D.C., WEBER, E., DUCATI, J.R., FIGUEIREDO, D.C., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. 2000. **A case study of crop monitoring and harvest forecasting in Brazil**, In: International Symposium on Remote Sensing of Environment. Cape Town, South Africa. University of Cape Town, p. 91-94.

GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; SCHELETER, J. C.; WEDNER, V. R. **Spectral properties of plants**. Applied Optics, v. 4, n. 1, p. 11-20, Jan. 1965.

GONG,PENG; HOWARTH, PHILIPJ. **The use of structural information for improving land-cover classification accuracies at the rural-urban fringe**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 56, pp. 67-73. Jan. 1990.

HALL, A., LAMB, D.W., HOLZAPFEL, B., LOUIS, J. 2002. **Optical remote sensing applications in viticulture—a review**. Australian Journal of Grape and Wine Research, vol. 8, p.36 – 47.

HALL, A., LOUIS, J., LAMB, D. 2003. **Characterizing and mapping vineyard canopy using high – spatial – resolution aerial multispectral images**. Computers and Geosciences, vol 29, p. 813 – 822.

IPOLLITI – RAMILO, G. **Imagens TM/Landsat 5 da época de pré plantio para previsão da área de culturas de verão. São José dos Campos**. 183 p. (INPE – 7116 – TDI/668). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Institut Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

JENSEN, J.R., **Introductory Digital Image Processing**. New Jersey: Prentice-Hall, 1986. 379p.

JOHNSTON, H. AND ROBINSON, J. (2001) **The World Atlas of Wine** (5th edition) Mitchell Beasley: London.

KUMAR, R. **Radiation from plants-reflection and emission: a review**. Lafayette. Purdue Research Foundation, 1974. 88 p. (Research Project n°:5543).

LAMB, D.W., HALL, A. and LOUIS, J.P., 2001, **Airborne/spaceborne remote sensing for the grape and wine industry**, Proceedings. National Conference on Geospatial Information & Agriculture, Incorporating Precision Agriculture in Australasia, 5th Annual Symposium, Sydney, 600-608.

LANDIS, J. R. ; KOCH, G. ; **An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers**. Biometrics, Vol. 33, No. 2 (Jun., 1977), pp. 363-374

LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York. John Wiley & Sons, 2º ed. 1987

LUZ, N.B., FONSECA, D.L. 2003. **Viabilidade na Identificação de Variedades de Videira pelas Diferenças Observadas na Resposta Espectral das Folhas**. In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, Brasil. Ed. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 1-12

MIELE, A.; RIZZON, L. A. ; **Efeito de elevadas produtividades do vinhedo nas características físico-químicas e sensoriais do vinho Merlot**. Ciência Rural 2006, vol 36. p. 271-278 .

MORAES, E. C. ; **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Inpe, 2002.

MENESES, P. R. , NETTO, J. S. M. ; **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Ed. UnB, 2001. 261 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento remoto e Metodologias de Aplicação**. São José dos Campos, 2001. INPE. 208 p.

MATHER, P. M. **Computer Processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2º ed. John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

NOVO, E. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 308p.

PROTAS, J. F. S.; CAMARGO, U. A.; MELO, L. M. R. **A viticultura brasileira: realidade e perspectivas**. In: 1º Simpósio Mineiro de Viticultura e Enologia, 16 a 19 abril, Andradás, MG. Viticultura e Enologia-Atualizando Conceitos. Andradás: Epamig, p. 17-32, 2002.

PONZONI, F. J.; GONÇALVES, J. L. M. **Spectral features associated with nitrogen, phosphorus and potassium deficiencies in *Eucalyptus saligna* seedling leaves**. International Journal of Remote Sensing, v. 20, n. 11, p. 2249-2264, 1999.

PONZONI, F. J.; GONÇALVES, J. L. M. **Caracterização espectral de sintomas relacionados às deficiências de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e de Potássio (K) em mudas de *Eucalipyptus saligna***. São José dos Campos: INPE, 1997. 48 p. (INPE – 6136-PRP/199).

PACHÊCO, A. P.; RIBAS, N. S. **Sensoriamento Remoto Aplicado ao Uso da Terra**. Geodésia on-line, vol 4. 1998

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis - An Introduction**. New York: Springer-Verlag, 1986.

SEELAN, S. K.; LAGUETTE, S.; CASADY, G. M.; SEIELSTAD, G. A. 2003. **Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach.** Remote Sensing of Environment 88 (1-2): 157-169.

SMITS, P. C.; DELLEPIANE, S. G.; SCHOWENGERT, R. A. **Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost based approach.** International Journal of Remote Sensing, v. 20, n.8, p. 1461-86, 1999.

STEFFEN, C. A. **Radiometria óptica espectral. Tutorial.** VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 1996.

SLATER, P. N. ; **Remote Sensing . Optica and Optical Systems Reading.** Addison – Wesley, 1980.

TAYLOR, J. A.; **Digital Terroirs and Precision Viticulture.** Australian Centre for Precision Agriculture, Faculty of Agriculture, Food and Natural Resources. The University of Sydney, New South Wales, Australia. Tese de doutorado, 2004. 233 p.

TODT, V. et al. **Uma comparação entre o Método de Máxima Verossimilhança Gaussiana e uma Rede Neural Artificial Multinível com BackPropagation na Classificação de Espécies Vegetais.** In: WORKSHOP SOBRE ASPECTOS TEORICOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL, 3er, 1996, San Luis. Anais San Luis: [s.n.], 1996. p. 657-669.

WAGNER, A. P. L. **Aplicação de Imagens Aster para Estudos Territoriais no Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado. CEPSSRM-UFRGS, 2004.

WILSON, J.E. (1998) **Terroir - The role of geology, climate and culture in the making of French wines.** Mitchell Beazley. London