

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

**UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA A  
CARACTERIZAÇÃO E DISCRIMINAÇÃO ESPECTRAL DE  
VINHEDOS EM DIFERENTES *TERROIRS***

**GISELE CEMIN**

Porto Alegre, maio de 2009.

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

**UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA A  
CARACTERIZAÇÃO E DISCRIMINAÇÃO ESPECTRAL DE  
VINHEDOS EM DIFERENTES *TERROIRS***

**Gisele Cemin**

**Orientador:** Jorge Ricardo Ducati

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Sensoriamento Remoto, área de concentração em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicado aos Recursos Naturais e Meio Ambiente.

**Banca examinadora:**

Dra. Silvia Beatriz Alves Rolim - UFRGS

Dr. Gilmar Arduino Bettio Marodin - UFRGS

Dr. Jorge Tonietto - EMBRAPA

Porto Alegre, maio de 2009.

*Se um dia tudo lhe parecer perdido, lembre-se de que você nasceu sem nada, e que tudo que conseguiu foi através de esforços e os esforços nunca se perdem, somente dignificam as pessoas.*

Charles Chaplin

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, que se revela a todo instante, sendo a fonte de inspiração, perseverança e força, a quem sempre recorro espiritualmente nos momentos difíceis da longa jornada da vida.

Meus sinceros e profundos agradecimentos ao Prof. Dr. Jorge Ricardo Ducati, pela orientação, confiança depositada em mim, apoio e ensinamentos ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

À professora Dra. Jandyra Fachel pelo tempo disponibilizado para esclarecer minhas dúvidas na estatística multivariada e ao professor Dr. Carlos Eduardo Cunha Pinent pelos primeiros ensinamentos no SPSS.

Às professoras Dra. Silvia Beatriz Alves Rolim e Dra. Denise Cybis Fontana pelas valiosas contribuições na defesa do projeto.

Aos meus colegas do PPGSR/UFRGS em 2007 (Agostinho Bombassaro Junior, Thiago Veloso dos Santos, Luiz Felipe Velho, Rafaela Andreola, Marilei Bender Xavier, Gilca Marques Alves, Andrea Cury Marques) pelas longas e agradáveis conversas, pelas cuias de chimarrão antes, durante e após as aulas.

À secretária do PPGSR/UFRGS Magdalena Assaf, a qual sempre esteve prontamente disponível para agilizar e ajudar nos trâmites administrativos, inclusive à distância.

Aos proprietários dos vinhedos do Château Giscours e Château Duhart Milon na região de Bordeaux; em Champagne, Louis Roederer; à Vinícola Errázuriz, no Vale do Aconcagua; à Vinícola Viña Viu Manent, no Vale do Colchagua; à Vinícola Lídio Carraro, em Encruzilhada do Sul, os quais gentilmente forneceram mapas e abriram suas propriedades para o desenvolvimento deste estudo.

À Universidade de Caxias do Sul-UCS, por permitir que este estudo fosse realizando concomitantemente com o trabalho na Universidade, em especial as professoras Dra. Alexandra Rodrigues Finotti e Dra. Vania Elisabete Schneider, grandes incentivadoras, que sempre acreditaram no meu potencial.

Ao Marcio Bigolin, um grande profissional, o programador da nossa equipe da UCS, o qual elaborou um pequeno *script*, mas de grande valia, para a leitura dos meus dados.

À minha mãe Naldina, um exemplo de mulher, que move montanhas pelo bem de seus filhos, pelo que fez, faz e fará por mim.

Ao meu pai que sempre se orgulhou de mim.

Aos meus irmãos, Cilene, Valdi, Sidão, Tito, André e Michi, pelo incentivo e orgulho do “Giselão”, em especial ao Lairton (Tito), que prontamente me recebeu e acolheu em sua casa, e a Michele, que sempre me socorreu nos momentos difíceis da minha estada em Porto Alegre.

Ao meu esposo Alex, pelo apoio, compreensão e incentivo, pelas palavras sempre cheias de otimismo e pelo amor incondicional, em mais esta etapa da nossa caminhada.

A todos àqueles que de alguma forma estiveram presentes e contribuíram para o desenvolvimento e concretização deste trabalho.

# UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA A CARACTERIZAÇÃO E DISCRIMINAÇÃO ESPECTRAL DE VINHEDOS EM DIFERENTES *TERROIRS*

Gisele Cemin

Orientador: Jorge Ricardo Ducati

## RESUMO

A utilização de dados gerados por sensores remotos e aerotransportados para o monitoramento das condições biofísicas de vinhedos já é conhecida. No entanto, poucos estudos têm aplicado esta ferramenta para a caracterização e discriminação espectral de diferentes variedades e em diferentes *terroirs*, principalmente no que se refere a sensores de média resolução espacial. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo principal avaliar dados espectrais de vinhedos, buscando verificar o potencial de uso das imagens geradas pelo sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer*) na caracterização e discriminação das variedades Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Merlot e Pinot Noir, em cinco diferentes *terroir*, sendo dois no Chile, um no Brasil e dois da França. O estudo foi conduzido utilizando três imagens de cada um dos *terroir* estudados que abrangiam diferentes fases de desenvolvimento do dossel. Correção do efeito de *crossstalk* e correção atmosférica foram aplicadas em todas as cenas. Através de mapas fornecidos pelos proprietários dos vinhedos com a indicação das cepas, foi possível a localização dos lotes nas imagens e a coleta das informações espectrais. No Chile, foram coletadas amostras de Cabernet Sauvignon e Merlot para o Vale do Aconcagua e de Cabernet Sauvignon e Chardonnay para o Vale do Colchagua. Na França, na região de Bordeaux, foram coletadas amostras de Cabernet Sauvignon e Merlot de dois Châteaux, Giscours e Duhart Milon, e de Chardonnay e Pinot Noir para a região do Champagne. Em Encruzilhada do Sul, as quatro variedades foram avaliadas. De posse dos dados espectrais, foi verificada a existência de diferenças significativas entre as médias de reflectância levando em consideração as variedades que ocorriam em uma mesma região e a mesma variedade que ocorria em duas ou mais regiões através da aplicação de teste *t* para amostras independentes e Análise de Variância. Além disso, foi avaliada a similaridade das regiões e das variedades, através de análise de *cluster*. A Análise Discriminante (AD) foi aplicada para todas as datas avaliadas. Através da análise do centróide gerado pela AD e dos valores de NDVI das amostras das variedades, foi escolhida uma imagem para verificar a habilidade das funções discriminantes em diferenciar as variedades de uva. Através do cálculo da distância mínima entre o centróide para os valores discriminantes calculados para cada pixel, a imagem foi classificada. A validação final foi realizada através da comparação da imagem classificada com as informações contidas nos mapas de localização das cepas. Os resultados obtidos mostraram ser factível a discriminação espectral das variedades estudadas através da aplicação de AD. Os espectros de reflectância indicaram haver similaridades entre as regiões avaliadas, principalmente para Cabernet Sauvignon. Na análise de *cluster*, verificou-se uma tendência dos agrupamentos, sendo um formado pelas datas mais precoces e outro formado pelas datas mais tardias. Desta forma, conclui-se que as imagens geradas pelo sensor ASTER apresentam potencial para serem utilizadas em estudos que visem a identificação e caracterização de vinhedos e discriminação espectral de diferentes variedades.

# **USE OF REMOTE SENSING FOR THE CHARACTERIZATION AND SPECTRAL DISCRIMINATION OF VINEYARDS IN DIFFERENT TERROIRS**

**Gisele Cemin**

**Advisor: Jorge Ricardo Ducati**

## **ABSTRACT**

Applications of remote sensing data to the monitoring of biophysical conditions of vineyards are well known. However, few studies have applied this resource to spectrally discriminate between vine varieties or to detect variations caused by changing terroirs; this is especially true with sensors of medium spatial resolution. This work aimed to obtain and analyze spectral data of vineyards, to assess the potential of ASTER (Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer) images to characterize and discriminate the vine varieties Cabernet Sauvignon, Merlot, Pinot Noir and Chardonnay in five different terroirs, being two in Chile, one in Brazil, and two in France. Three images from each terroir were used, capturing different stages of canopy development. Corrections from the crosstalk effect and atmospheric influence were applied. Maps provided by owners informed on the place of each variety, making possible to locate the corresponding parcels on images, thus leading to the extraction of the spectrum of each variety. In Chile, samples of Cabernet Sauvignon and Merlot were collected for the Aconcagua Valley, and of Cabernet Sauvignon and Chardonnay for the Colchagua Valley. In France, at Bordeaux region, samples of Cabernet Sauvignon and Merlot were collected for the Chateaux of Giscours and Duhart Milon, and at Champagne, for Pinot Noir and Chardonnay. In Brazil, all four varieties were studied at the Encruzilhada do Sul region. The spectral data was analyzed from two perspectives: looking for significant differences in the mean reflectance between varieties at the same region; and considering the same variety in several regions. The *t* test and Analysis of Variance were applied. Similarities between varieties and regions were also estimated through cluster analysis. Discriminant analysis (DA) was applied for all dates. The centroids generated from DA, together with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of variety samples, were used to select an image to assess the potential of the discriminant functions to separate grape varieties. Image classification was performed by calculating the smallest distance between the centroids, for the discriminant values for each pixel. The final validation was done by comparing the classified image with the maps provided by owners, informing the varieties locations. The results show that it is possible to spectrally discriminate these four grape varieties, through DA. The reflectance spectra show that, at variety level, there are similarities between the regions, especially for Cabernet Sauvignon. In the cluster analysis, a tendency showed up, revealing two groups formed by the early and late image dates. It is concluded that images from the ASTER sensor have a significant potential to studies aiming to characterize vineyards and to spectrally discriminate grape varieties.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivo geral .....	14
1.2 Objetivos específicos .....	14
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>15</b>
2.1 Classificação botânica da videira .....	15
2.2 Variedades estudadas.....	17
2.2.1 Cabernet Sauvignon.....	17
2.2.2 Merlot .....	17
2.2.3 Pinot Noir .....	17
2.2.4 Chardonnay.....	17
2.3 Morfologia e ciclo fenológico da videira .....	17
2.3.1 Raiz.....	18
2.3.2 Caule e braços.....	18
2.3.3 Folha .....	19
2.3.4 Inflorescência e frutos .....	19
2.3.5 Ciclo fenológico .....	20
2.4 Sistema de condução .....	22
2.5 Orientação das fileiras .....	24
2.6 <i>Terroir</i> .....	25
2.7 Espectro eletromagnético .....	26
2.7.1 Interação da radiação eletromagnética com atmosfera.....	28
2.8 Sensoriamento remoto .....	30
2.8.1 Comportamento espectral da vegetação .....	32
2.8.1.1 Comportamento espectral de dosséis vegetais.....	35
2.8.1.2 Índices de vegetação .....	36
2.8.2 Comportamento espectral dos solos .....	38
2.9 Imagens do sensor ASTER.....	40
2.9.1 Efeito de <i>crosstalk</i> nas bandas do SWIR.....	43
2.10 Análise Discriminante .....	44
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>46</b>
3.1 Caracterização físico-climática das áreas de estudo.....	46



3.1.1 Bordeaux.....	46
3.1.2 Champagne .....	48
3.1.3 Chile .....	49
3.1.4 Encruzilhada do Sul.....	52
3.2 Materiais .....	54
3.1.1 Dados orbitais .....	54
3.1.2 Dados cartográficos .....	55
3.1.3 <i>Softwares</i> .....	55
3.3 Métodos .....	55
3.3.1 Processamento digital das imagens .....	55
3.3.2 Aquisição dos dados espectrais e análise estatística.....	56
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>
5.1 Correção do efeito de <i>crosstalk</i> .....	60
5.2 Comportamento espectral das variedades .....	60
5.2.1 Análise por variedade .....	60
5.2.2 Análise por região.....	70
5.2.3 Análise discriminante .....	75
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>85</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>86</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>95</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Divisão do gênero <i>Vitis</i> .....	15
<b>Figura 2.</b> Ciclo anual da videira no hemisfério Sul.....	21
<b>Figura 3.</b> Ciclo anual da videira no hemisfério Norte.....	21
<b>Figura 4.</b> Sistema de condução da videira em espaldeira.....	24
<b>Figura 5.</b> Espectro eletromagnético.....	27
<b>Figura 6.</b> Intensidade do fluxo radiante emitido pelo Sol.....	28
<b>Figura 7.</b> Comportamento espectral da vegetação.....	33
<b>Figura 8.</b> Efeito de diferentes pigmentos na reflectância da folha.....	34
<b>Figura 9.</b> Curva de reflectância de solo siltoso com vários teores de umidade.....	39
<b>Figura 10.</b> Curva de reflectância espectral ilustrando o efeito da remoção do óxido de ferro e da matéria orgânica do solo.....	40
<b>Figura 11.</b> Configuração espectral do sensor ASTER.....	41
<b>Figura 12.</b> Plano focal do ASTER/SWIR.....	43
<b>Figura 13.</b> Ilustração do fenômeno de <i>crosstalk</i> .....	44
<b>Figura 14.</b> Localização do Château Giscours.....	47
<b>Figura 15.</b> Localização do Château Duhart Milon.....	48
<b>Figura 16.</b> Localização da região do Champagne.....	49
<b>Figura 17.</b> Localização da área estudada no Vale do Aconcagua.....	51
<b>Figura 18.</b> Localização da área estudada no Vale do Colchagua.....	52
<b>Figura 19.</b> Localização da área estudada em Encruzilhada do Sul.....	54
<b>Figura 20.</b> Fluxograma da metodologia utilizada.....	59
<b>Figura 21.</b> Composição colorida RGB 985 da imagem do sensor ASTER com realce <i>decorrelation stretch</i> sem (A) e com (B) a correção do <i>crosstalk</i> .....	60
<b>Figura 22.</b> Comportamento espectral de Chardonnay.....	61
<b>Figura 23.</b> Comportamento espectral de Pinot Noir.....	61
<b>Figura 24.</b> Análise de <i>cluster</i> para Chardonnay.....	63
<b>Figura 25.</b> Análise de <i>cluster</i> para Pinot Noir.....	64
<b>Figura 26.</b> Comportamento espectral de Merlot.....	64
<b>Figura 27.</b> Comportamento espectral de Cabernet Sauvignon nas bandas do VNIR.....	65
<b>Figura 28.</b> Comportamento espectral de Cabernet Sauvignon nas bandas do SWIR.....	65
<b>Figura 29.</b> Análise de <i>cluster</i> para Merlot.....	67
<b>Figura 30.</b> Análise de <i>cluster</i> para Cabernet Sauvignon.....	68

<b>Figura 31.</b> Análise de <i>cluster</i> considerando todas as datas, regiões e variedades.....	69
<b>Figura 32.</b> (A) Distribuição espacial das variedades de uva do Vale do Aconcagua utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.	79
<b>Figura 33.</b> (A) Distribuição espacial das variedades de uva do Vale do Colchagua utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.	80
<b>Figura 34.</b> (A) Distribuição espacial das variedades de uva de Encruzilhada do Sul utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.	80
<b>Figura 35.</b> (A) Distribuição espacial das variedades de uva do Château Giscours utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.	82
<b>Figura 36.</b> (A) Distribuição espacial das variedades de uva do Château Duhart Milon utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante. ....	83
<b>Figura 37.</b> (A) Distribuição espacial da variedade Chardonnay da região do Champagne utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante. ....	84
<b>Figura 38.</b> (A) Distribuição espacial da variedade Pinot Noir da região do Champagne utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante. ....	84

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Características dos três subsistemas .....	42
<b>Tabela 2:</b> Datas das imagens do sensor ASTER selecionadas. ....	55
<b>Tabela 3:</b> Amostras coletadas de cada variedade, em cada região indicando o número de pixels e área. ....	56
<b>Tabela 4:</b> Análise estatística da reflectância média para as datas que apresentaram alguma diferença significativa para variedade Chardonnay.....	63
<b>Tabela 5:</b> Análise estatística da reflectância média para as datas que apresentaram alguma diferença significativa para Merlot.....	66
<b>Tabela 6:</b> Análise estatística da reflectância média para as datas que apresentaram alguma diferença significativa para Cabernet Sauvignon. ....	66
<b>Tabela 7:</b> Análise estatística dos resultados da reflectância média para as datas que apresentaram alguma diferença significativa para Cabernet Sauvignon. ....	67
<b>Tabela 8:</b> Médias e desvios padrões das variedades do Vale do Aconcagua. ....	71
<b>Tabela 9:</b> Médias e desvios padrões das variedades do Château Giscours. ....	71
<b>Tabela 10:</b> Médias e desvios padrões das variedades do Château Duhart Milon.....	72
<b>Tabela 11:</b> Médias e desvios padrões das variedades do Vale do Colchagua. ....	73
<b>Tabela 12:</b> Médias e desvios padrões das variedades do Champagne.....	74
<b>Tabela 13:</b> Médias e desvios padrões das variedades de Encruzilhada do Sul. ....	75
<b>Tabela 14:</b> Valores dos centróides e NDVI.....	76
<b>Tabela 15:</b> Funções discriminantes das regiões estudadas. ....	77
<b>Tabela 16:</b> Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Vale do Aconcagua.....	79
<b>Tabela 17:</b> Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Vale do Colchagua.....	80
<b>Tabela 18:</b> Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região de Encruzilhada do Sul.....	81
<b>Tabela 19:</b> Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Château Giscours. ....	82
<b>Tabela 20:</b> Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Château Duhart Milon. ....	83
<b>Tabela 21:</b> Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Champagne. ....	84

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, principalmente no final do século XX, observou-se o aparecimento de novos sensores de alta resolução espacial, espectral e radiométrica, havendo um incremento significativo nas possibilidades de utilização de dados gerados por sensores remotos orbitais e aerotransportados no estudo e monitoramento de áreas cultivadas. São exemplos, os satélites Quickbird e Ikonos, que apresentam alta resolução espacial, permitindo a avaliação de áreas agrícolas pequenas, da ordem de alguns hectares. Outros sensores, com resolução espacial menor, porém com maior resolução espectral, como o ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer*, a bordo do satélite Terra), possibilitam a realização de análises do comportamento espectral de cultivares, com um custo de aquisição das imagens bastante acessível. Neste aspecto, são pioneiras as pesquisas desenvolvidas no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (Silva, 2006).

A utilização do sensoriamento remoto e de outras ferramentas como os Sistemas de Posicionamento Global (*Global Positioning System - GPS*) e programas para o cruzamento e armazenamento de dados georreferenciados, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Blauth et al. 2007), podem vir a auxiliar o produtor no planejamento e gerenciamento das operações agrícolas e na discriminação de diferentes variedades cultivadas. Em vinhedos, estas são as ferramentas adotadas para a prática da Viticultura de Precisão. A Viticultura de Precisão é uma nova modalidade de controle e diagnóstico do vinhedo, a qual busca melhorar a produtividade e a qualidade, acompanhada de uma significativa redução de custos e um maior respeito ao meio ambiente (Togores, 2006). Segundo Bramley et al. (2003), o termo Viticultura de Precisão é utilizado para uma gama de informações tecnológicas que possibilitam ao viticultor a visualização e a compreensão da variabilidade do sistema de produção e a utilização deste entendimento para um melhor manejo da vinha, buscando alcançar uma produção desejada.

Em vinhedos, a sanidade e produtividade de videiras são influenciadas por numerosos fatores físicos, biológicos e químicos, incluindo variações espaciais na topografia, características físicas e químicas dos solos e a incidência de pragas e doenças. A variação espacial destes fatores influencia no rendimento e qualidade das uvas dentro de um mesmo vinhedo, levando a uma redução na produtividade e qualidade do vinho (Hall et al., 2001). Neste sentido, adoção da Viticultura de Precisão, torna-se de grande importância para o monitoramento do desempenho de um vinhedo, permitindo alcançar metas desejadas e planejadas em termos de qualidade e produtividade. Taylor (2000) comenta que o aparecimento do GPS possibilitou que fossem extraídas medidas *in situ* de parâmetros físicos, químicos e biológicos associados com a produtividade da videira, permitindo fazer uma ligação das medidas coletadas, com locais específicos dentro do vinhedo. Esta informação, quando utilizada em conjunto com um SIG, permite ao produtor processar e mapear as relações entre cada atributo, possibilitando a tomada de decisão com base na análise de vários planos de informação. Bramley e Proffitt (1999), através de mapas de variação de produtividade, mostraram que pode haver diferenças em uma única parcela dentro de um vinhedo. Em outro estudo, Bramley e Hamilton (2004) demonstraram que os padrões espaciais de variação de produtividade dentro de um vinhedo permanecem temporalmente estáveis, sendo um indicativo que os solos desempenham um papel significativo em tal variabilidade. Neste mesmo estudo, os autores afirmam que a relação entre produtividade *versus* qualidade é variável, pois baixa produtividade não necessariamente implica em alta qualidade.

Em relação à discriminação de diferentes variedades de uva, poucos estudos tem empregado dados de sensoriamento remoto. Segundo Lacar et al. (2001), tal discriminação é de considerável interesse para o setor vitícola, onde estatísticas precisas da área plantada com diferentes variedades são necessárias para estimar a produção regional. Segundo o mesmo autor, a detecção de diferenças espectrais representa uma tarefa difícil, uma vez que as folhas de diferentes variedades são estruturalmente e bioquimicamente semelhantes, além de existir variações dentro da mesma variedade atribuídas às práticas de cultivo, irrigação e solos. Para Hall et al. (2002) diferenças sutis na assinatura espectral da folha e fenologia, forma/tamanho da videira, sugerem que seja possível discriminar e mapear diferentes variedades utilizando sensoriamento remoto. No entanto, tais diferenças podem ser muito pequenas, o que provavelmente exigirá imagens de um sensor que apresente altíssima resolução espacial e com um grande número de bandas espectrais.

## **1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desta dissertação foi avaliar dados espectrais de vinhedos, buscando verificar o potencial de uso das imagens geradas pelo sensor ASTER na caracterização e discriminação das variedades Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Merlot e Pinot Noir, em cinco diferentes *terroir*, sendo dois no Chile, um no Brasil e três da França.

## **1.2 Objetivos específicos**

- a) Verificar se a mudança de *terroir* altera o comportamento espectral das quatro variedades estudadas;
- b) Caracterizar as variedades, buscando identificar as variáveis que mais contribuem para sua discriminação espectral.
- c) Elaborar e validar funções discriminantes com base nas informações geradas pelo sensor ASTER.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Classificação botânica da videira

A videira é uma planta originária de três continentes, europeu, americano e asiático. De acordo com a sistemática atual, as videiras cultivadas pertencem ao grupo das Cormófitas (plantas com raiz, caule e folha), divisão Phanerogamae (planta com flor e semente), subdivisão Angiospermae (planta com semente dentro de frutos), classe Dicotyledoneae (plantas com duas folhas embrionárias na base da plântula), ordem Rhamnales (plantas lenhosas com um ciclo de estames situados dentro das pétalas), família Vitaceae (flores com corola de pétalas soldadas na parte superior e de prefloração valvar, com cálice pouco desenvolvido, gineceu bicarpelar e bilocular, com fruto tipo baga) (Hidalgo, 2002). A família Vitaceae é composta por dezenove gêneros, dentre os quais o gênero *Vitis*, originário das regiões quentes e temperadas do hemisfério Norte (América, Europa e Ásia), é o que apresenta melhor qualidade para a obtenção de vinhos (Reynier, 2002; Kuhn et al., 1996). O gênero *Vitis* está dividido em dois subgêneros, o *Muscadina* e o *Euvtis* (Figura 1).

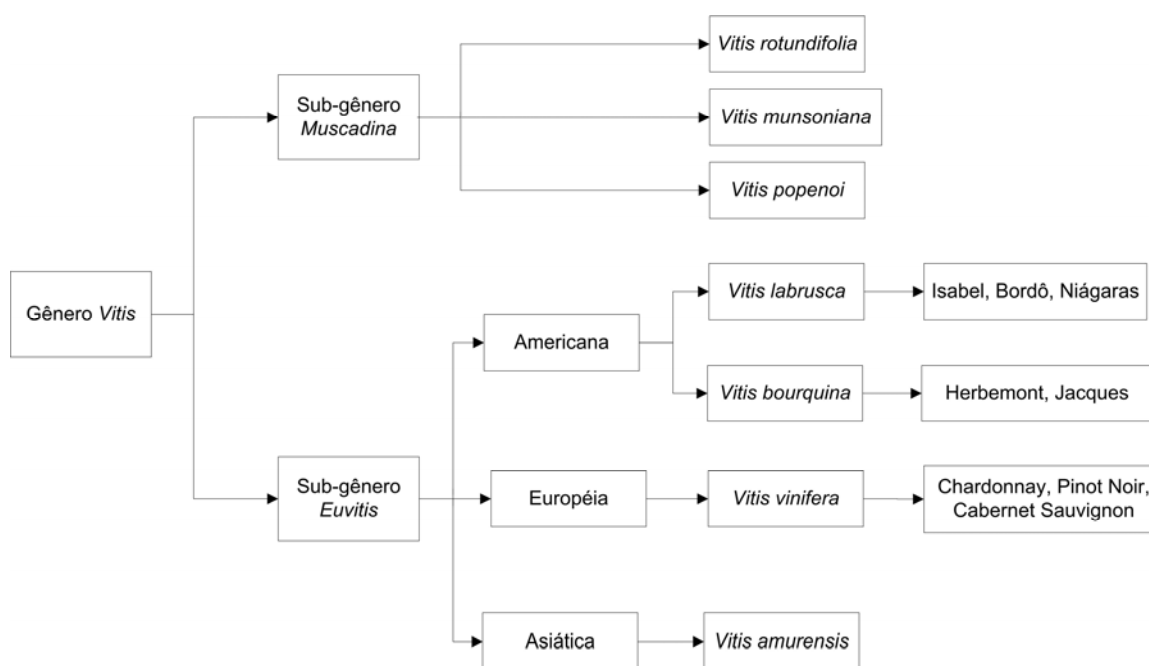


Figura 1. Divisão do gênero *Vitis*.



O subgênero *Muscadina* engloba três espécies, *Vitis rotundifolia* Michx, *Vitis munsoniana* Simpson e *Vitis popenoi* Fennell, originárias do sudeste dos Estados Unidos e México. Somente a espécie *V. rotundifolia* é cultivada nestas regiões. Diversas variedades tintas e brancas, de cachos pequenos, bagas pouco açucaradas, servem para consumo *in natura*, produção de sucos e vinhos, cujo gosto é muito particular, pouco apreciado pelos europeus (Reynier, 2002).

O subgênero *Euvitis* inclui várias espécies estabelecidas naturalmente em regiões temperadas e tropicais do hemisfério Norte, que podem ser agrupadas segundo sua distribuição geográfica natural em Americana, Euroasiática e Asiática (oriental) (Toda, 1991; Reynier, 2002). As uvas americanas, das espécies *Vitis labrusca* L. e *Vitis bourquina* L., por exemplo, produzem vinhos comuns com aroma pronunciado, sendo mais utilizadas na produção de sucos. São mais fáceis de cultivar porque apresentam maior rusticidade e resistência a doenças e pragas, tolerando melhores condições climáticas com alta umidade relativa (Kuhn et al., 1996). As cepas Isabel, Bordô e as Niágaras são exemplos de *V. labrusca*, enquanto Herbemont e Jacques são exemplos de *V. bourquina*. Estas espécies se tornaram mais importantes a partir de 1870, quando a filoxera destruiu muitos vinhedos na Europa. As espécies americanas se comportaram como resistentes a essa praga, e por isso, seu plantio foi expandido, principalmente como porta-enxerto de espécies européias.

A Europa e Ásia (ocidental) são representadas unicamente pela espécie *Vitis vinifera* L., a qual engloba diversas variedades de uvas designadas uvas de mesa, uvas passa ou uvas para vinho. Esta espécie é a que apresenta maior importância econômica, constituindo a base da vitivinicultura mundial. Segundo Kuhn et al. (1996), esta espécie produz vinho de melhor qualidade e sabor. As cepas Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Merlot e Pinot Noir, estudadas nesta dissertação, são exemplos de uvas viníferas cultivadas mundialmente.

A região da Ásia (oriental) apresenta numerosas espécies, mas a que unicamente se destaca é a *Vitis amurensis* Ruprecht. Esta espécie tem sido utilizada em alguns países como genitor para a obtenção de novas cepas devido a sua grande resistência ao frio (Reynier, 2002).

## **2.2 Variedades estudadas**

### **2.1.1 Cabernet Sauvignon**

Originária da região de Bordeaux é considerada a mais nobre cultivar francesa para a elaboração de vinhos tintos. Essa variedade de fruto pequeno, de película tinta e sabor herbáceo, é híbrido natural de Cabernet Franc e Sauvignon Blanc (Giovanini, 2005). Constitui a base dos famosos vinhos tintos da região de Bordeaux. Atualmente é plantada com sucesso em muitos países vitícolas (Pacheco, 2006).

### **2.2.2 Merlot**

Não há referência sobre a região de origem da Merlot, sabe-se, no entanto, que por volta de 1850 era cultivada na região de Bordeaux, na França (Pacheco, 2006). Expandiu-se para outras regiões do país e para outros países. Apresenta fruto pequeno, de película tinta e sabor herbáceo.

### **2.2.3 Pinot Noir**

O berço da Pinot Noir é na Borgonha, onde é utilizada para a elaboração de vinhos tintos que apresentam alto conceito internacional. Ocupa lugar de destaque também na região do Champagne (Pacheco, 2006). É uma variedade delicada, sensível a alterações ambientais, de maturação precoce, de fruto pequeno e de película tinta.

### **2.2.4 Chardonnay**

É uma videira da região da Borgonha. Estas uvas são utilizadas para a elaboração dos famosos vinhos da Borgonha e, juntamente com Pinot Noir, para a elaboração dos vinhos espumantes da região do Champagne. É também bastante cultivada nos Estados Unidos (Califórnia) e em outros países vitícolas. No Brasil, essa variedade foi introduzida há décadas, porém, comercialmente é de propagação recente (Pacheco, 2006). É resultado do cruzamento da uva Pinot Noir com Gouais Blanc, a Chardonnay é pequena, redonda, frágil, de película branca e sabor simples a aromático, dependendo do clone (Giovanini, 2005).

## **2.3 Morfologia e ciclo fenológico da videira**

A videira é um arbusto de caule herbáceo ou sarmentoso, possuindo gavinhas opostas às folhas, as quais possibilitam a fixação da planta a suportes naturais ou artificiais. A videira, como qualquer outra planta, desenvolve um sistema radicular e um sistema aéreo. O sistema radicular se desenvolve no solo e no subsolo durante toda a vida. O sistema aéreo é formado

por um tronco, braços, sarmentos, folhas, frutos e gavinhas, cuja vida útil não ultrapassa um ano (Hidalgo, 2002; Reynier, 2002).

### **2.3.1 Raiz**

A raiz compreende a parte subterrânea da videira, a qual tem a função de fixação, nutrição (água e sais minerais) e condução dos nutrientes (seiva bruta) para o sistema aéreo, o qual vai transformar em seiva elaborada, armazenamento de compostos sintetizados pelo sistema aéreo, essencialmente açúcares na forma de amido e metabolismo da raiz.

O sistema radicular é constituído por várias raízes principais mais ou menos profundas, de onde derivam raízes secundárias, terciárias e, nas extremidades, radículas (cabeleira), mais finas e jovens. Na extremidade das radículas, verifica-se a presença de coifa, a qual permite a exploração do solo, e de pelos, cuja função é de absorção de água e sais minerais (Hidalgo, 2002; Reynier, 2002).

O desenvolvimento do sistema radicular passa por três fases: 1) fase de colonização, que corresponde à expansão da raiz desde a plantação até encontrar, lateralmente ou em profundidade, algum obstáculo, sendo que a duração desta fase é de sete a dez anos; 2) fase adulta, em que o crescimento da raiz se fixa com a natureza físico-química do solo e com as suas reservas de água útil; 3) fase de envelhecimento, que coincide com o definhamento das radículas e das raízes, devido à redução da atividade biológica da planta, a compactação do solo, ataque de parasitas, asfixia radicular ou mutilação devido a outras práticas agrícolas (Branas e Vergnes, 1957 *apud* Reynier, 2002).

### **2.3.2 Caule e braços**

Compondo a parte aérea da videira, têm-se o caule, os braços, os sarmentos, que são ramos formados no ano anterior, os *pámpanos*, que, após adquirir consistência lenhosa, passam a ser chamados de sarmentos, nos quais se inserem as folhas, as gavinhas e os cachos (flor e mais tarde fruto).

O caule desempenha as seguintes funções: sustentação dos braços, dos sarmentos e *pámpanos*; condução da seiva bruta (xilema), que devido à pressão radicular, induzida por fenômenos osmóticos e pela transpiração das folhas, empurra a seiva para cima através de vasos lenhosos; condução da seiva elaborada (floema) através de vasos crivosos do líber a

partir das folhas; acumulação de reservas (compostos orgânicos sintetizados pelas folhas) (Hidalgo, 2002).

### **2.3.3 Folha**

A folha é composta pelo pecíolo, que liga o limbo ao ramo (*pámpano*), o qual consiste em um alargamento em lâmina, sulcado por nervuras de diferentes ordens. O limbo é a parte mais importante da folha, apresentando aspecto laminar pentalobulado, com cinco nervuras principais, cinco seios e cinco lóbulos dentados. As folhas podem ter formas variadas, podendo ser distinguidas pelo denteado da borda, dimensões e forma do limbo, abertura do seio peciolar, cor da folha e pelos na superfície (Borges, 2008).

As folhas desempenham três importantes funções: a fotossíntese, processo pelo qual a videira produz seus próprios compostos orgânicos utilizando para isso água, sais minerais, dióxido de carbono e energia luminosa; a transpiração, que corresponde à eliminação do excesso de água absorvido pelas raízes, na forma de vapor através dos estômatos (as flores e as partes verdes também estão em condições de realizar esta função); a respiração, que consiste na absorção do oxigênio do ar pelos estômatos e eliminação de dióxido de carbono. A respiração atua no sentido contrário da fotossíntese: a energia produzida é liberada, através de uma reação do oxigênio com moléculas orgânicas, resultando um desprendimento de energia e liberação de água e dióxido de carbono. Esta energia é utilizada pela planta para o crescimento, reprodução, formação de frutos, absorção de nutrientes, formação de diversas substâncias químicas, tais como açúcares, ácidos e proteínas. (Hidalgo, 2002; Borges, 2008).

### **2.3.4 Inflorescência e frutos**

As flores da videira se encontram dispostas como inflorescências em um cacho, sendo que sua conformação ocorre no interior das gemas férteis desenvolvidas durante o ano anterior. Desde a aparição destas gemas no sarmento, no interior delas, existe um grupo diferenciado de células que se multiplicam rapidamente ao mesmo tempo em que se desenvolve a gema e o *pámpano* que a sustenta, formando deste modo as inflorescências (Togores, 2006).

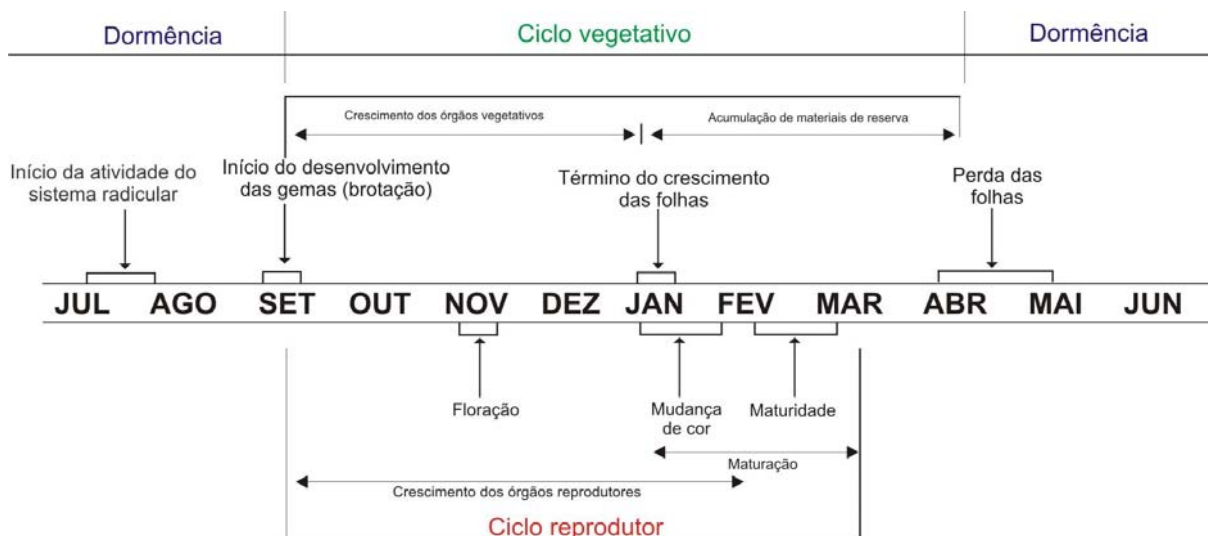
As flores das videiras cultivadas são geralmente hermafroditas, apresentando um androceu e um gineceu completos e funcionais. Segundo Togores (2006), a flor é formada essencialmente pelas seguintes partes: um pedúnculo (haste), que se prende ao *pámpano*, que apresenta os sistemas vasculares por onde é conduzida a seiva bruta e, principalmente a seiva

elaborada, necessária para o desenvolvimento e maturação da flor, um cálice, uma corola de pétalas soldadas superiormente com abertura inferior, cinco estames compostos por filamento e anteras duplas, que contém os grãos de pólen e por último, um pistilo, onde está a cavidade do ovário, a qual é fechada, contendo quatro óvulos. O colo do pistilo se chama estilo, terminando em um alargamento chamado estigma, que secreta um líquido açucarado espesso, com grande poder de atração dos insetos.

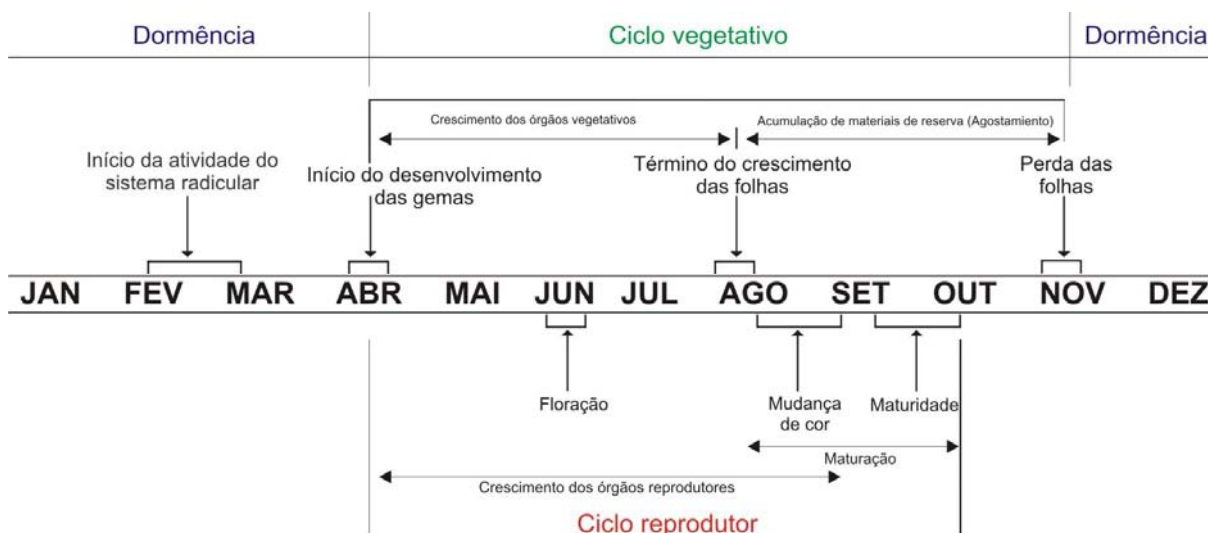
Depois da floração, a inflorescência recebe o nome de cacho, sendo formado por um eixo principal e eixos secundários, no qual, após a fecundação das flores, aparecem os frutos. Os frutos resultam do desenvolvimento do ovário da flor, apresentando tamanho e forma variada, dependendo da variedade cultivada. Os frutos se agrupam em infrutescências, constituídas por um caule que agrupa as bagas por seus pedicelos, constituindo então, o cacho (Hidalgo, 2002).

### **2.3.5 Ciclo fenológico**

A videira como uma planta perene apresenta uma sucessão de ciclos anuais interdependentes. Nas condições de clima temperado, apresenta a cada ano um ciclo completo, no qual forma os brotes e as folhas, que asseguram o desenvolvimento da cepa, do sistema radicular e o aumento em diâmetro do caule. Para assegurar uma nova brotação no ano seguinte, antes de entrar em dormência, deve obrigatoriamente ter uma fase de acumulação das reservas no interior dos tecidos das raízes, caule, braços e sarmentos. Por fim, o ciclo reprodutor compreende a formação e desenvolvimento das inflorescências, sua fecundação e crescimentos das bagas e sementes (Toda, 1991). As Figuras 2 e 3 ilustram o ciclo anual de uma videira em climas temperados no hemisfério Sul e no hemisfério Norte, respectivamente.



**Figura 2.** Ciclo anual da videira no hemisfério Sul (adaptada de Reynier, 2002).



**Figura 3.** Ciclo anual da videira no hemisfério Norte (adaptada de Reynier, 2002).

O ciclo anual da videira compreende quatro períodos: mobilização de substâncias de reservas, crescimento de todos os órgãos, acumulação de reservas e dormência (Hidalgo, 2002).

A mobilização de substâncias de reservas permite a nutrição dos tecidos dos órgãos que crescem e dos que irão se formar, até o desenvolvimento dos órgãos elaborados, principalmente as folhas, que irão cumprir esta função. Este fenômeno consiste em produzir substâncias solúveis de reserva, através de sua transformação, sob influência de secreções internas específicas da planta (enzimas). Esta fase inicia um pouco antes do *choro* (início da atividade do sistema radicular) e perdura até depois da brotação.

O período de crescimento de todos os órgãos, principalmente as raízes, *pâmpanos* e as folhas, distinguem-se em dois momentos. No primeiro, o crescimento se deve exclusivamente

à quantidade de reservas mobilizadas. No segundo momento, são os órgãos verdes (principalmente as folhas), que através da fotossíntese, disponibiliza a seiva elaborada para o desenvolvimento da videira. Esta fase de crescimento vai desde a brotação até um pouco antes da mudança de coloração da baga, período este em que cessa o crescimento da planta.

A acumulação de reservas vai desde o período de mudança de coloração do fruto até queda das folhas. Durante esta fase, a seiva que continua sendo elaborada pelas folhas, é utilizada para a nutrição das estruturas criadas e deposição nos grãos de uva. A acumulação de substâncias fotossintetizadas se situa nas partes perenes da videira (sarmento, braços, tronco e raízes).

O período de dormência corresponde à inatividade da planta, durando desde a queda das folhas no outono até um pouco antes de aparecer o *choro*. O início e o fim do repouso dependem tanto de fatores internos da própria planta, como de fatores externos, fundamentalmente o clima e, dentro deste, a temperatura (Alejandre, 2005). A videira permanece em período de repouso vegetativo, enquanto a temperatura média se mantém em 10°C. No entanto, este valor é variável, sendo menor (próximo a 8°C) em regiões frias e maiores, em regiões mais quentes.

Superposto ao ciclo vegetativo se dá o ciclo reprodutor. Segundo Reynier (2002), o desenvolvimento dos órgãos reprodutores começa pela iniciação da inflorescência nas gemas latentes do ano anterior e pela diferenciação das flores na primavera. Depois da floração, polinização e fecundação, ocorre a frutificação, onde as bagas de uva crescem e, após, amadurecem, mudando de cor. De maneira geral, as uvas brancas adquirem coloração amarelada (pigmentação dos flavonóides) e as uvas tintas adquirem coloração avermelhada (pigmentação das antocianinas).

## **2.4 Sistema de condução**

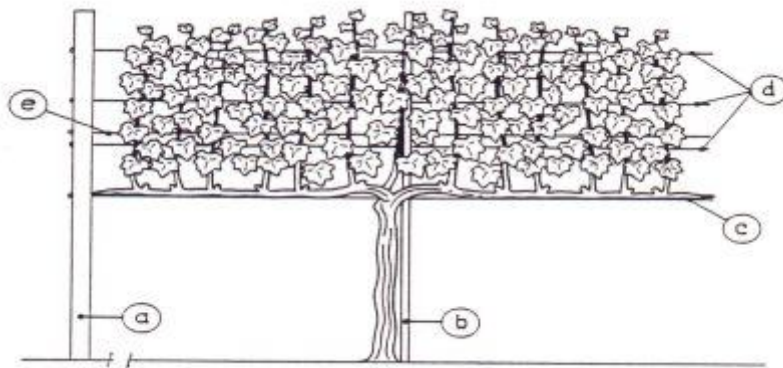
A videira se fixa espontaneamente a suportes naturais ou artificiais mediante suas gavinhas. A não existência de suportes não impede seu desenvolvimento, a qual cresce livremente, apresentando moderada elevação em relação ao solo (Hidalgo e Togores, 2001). A videira cultivada é domesticada pelo viticultor, visando uma maior facilidade no manejo e obtenção de uma melhor produção e qualidade dos frutos, sejam eles para consumo *in natura*, passas ou obtenção de matéria prima para a elaboração de vinhos e outros derivados.

É uma planta que pode apresentar uma grande diversidade de arquitetura de dossel vegetativo e das partes perenes. A distribuição espacial do dossel vegetativo, do caule e dos braços, juntamente com o sistema de sustentação, constituem o sistema de condução da videira. Plantas conduzidas permitem, para uma mesma cultivar e para um ambiente determinado, melhor regular os fatores ambientais e as respostas fisiológicas de cada cultivar para a obtenção de um produto desejado (Miele e Mandelli 2003).

Segundo os autores supra citados, o sistema de condução do vinhedo pode afetar significativamente o crescimento vegetativo da videira, a produtividade do vinhedo e a qualidade da uva e do vinho. Isso pode ocorrer em função do efeito do sistema de condução na parte aérea e subterrânea da videira. As características do sistema de sustentação e de condução da videira podem aumentar o desempenho produtivo das plantas e qualitativa dos frutos, em maior ou menor escala, através: a) do aumento da área do dossel vegetativo através da divisão em cortinas; b) da diminuição da densidade do dossel vegetativo, porque os ramos têm vigor mais fraco em função do maior número de gemas e porque há maior espaço entre os ramos; c) da maior possibilidade para a mecanização da despona, desfolha, colheita e poda de inverno; d) do aumento da qualidade da uva e da produtividade da videira e, por último, por poder melhorar a ação efetiva dos tratamentos fitossanitários, em função de dosséis vegetativos menos densos.

Os princípios básicos que diferenciam os sistemas de condução estão relacionados, principalmente, às formas de orientação dos ramos, que podem ser: vertical (espaldeira), horizontal (latada), oblíqua (lira) ou para baixo (tipo cortina ou GDC) (Regina et al., 1998). O sistema de condução mais utilizado pelos viticultores nos principais países vitivinícolas é espaldeira, sendo caracterizado por apresentar dossel vegetativo no sentido ascendente e vertical (Figura 4). Este sistema de condução não fornece maior produtividade, mas favorece a melhor penetração dos raios solares e aeração do vinhedo, trazendo benefícios na qualidade dos frutos, além de facilitar a execução dos tratamentos culturais e operações mecanizadas. Em algumas regiões, o sistema de latada é bastante difundido, tanto por manter o dossel bastante distanciado do solo, quanto por tradição, acabando por constituir neste último caso um verdadeiro traço cultural local (Oliveira e Ducati, 2008), como por exemplo, na Serra Gaúcha.





**Figura 4.** Sistema de condução da videira em espaladeira: a) poste externo; b) poste interno; c) fio da produção; d) fios fixos do dossel vegetativo; e) fio móvel do dossel vegetativo (Fonte: Miele e Mandelli, 2003).

## 2.5 Orientação das fileiras

A orientação das fileiras é um fator importante a ser considerado, visto que determina a quantidade de radiação solar a ser interceptada pelo dossel da videira. Conforme Ridomi e Moretti (1996), folhas mais expostas ao sol promovem a diferenciação das gemas, favorecem o acúmulo de reservas nas bagas e a salificação dos ácidos orgânicos. Na fase de maturação, a incidência de radiação na região do cacho tem efeito na composição do mosto, na acidez total, pH e antocianinas (Toda et al, 1991).

Segundo Scienza e Campostrini (2004), a orientação Norte-Sul permite, em efeito, uma melhor interceptação da energia luminosa pela manhã e pela tarde, sendo favorável em regiões que apresentam curso aparente do sol amplo e temperatura pela manhã mais elevada. As fileiras orientadas neste sentido apresentam o solo entre elas sombreado logo de manhã e totalmente iluminado por volta do meio-dia (Jackson et al., 1979a).

Nas regiões vitivinícolas do Brasil, a orientação Norte-Sul tende a ser a mais favorável, pois proporciona uma maior exposição solar de ambas as laterais das fileiras, principalmente nos horários do dia em que as temperaturas são mais amenas. Se o relevo permitir, pode-se ainda efetuar ajustes deste alinhamento, os quais tendem mais para orientações Noroeste-Sudeste, para que se possa proporcionar sombreamentos nos horários mais quentes do dia, principalmente durante o período de maturação (Santos, 2006).

A orientação Leste-Oeste garante uma menor interceptação da luz pela manhã e pela tarde. Por isso, é mais conveniente em latitudes mais altas, onde as condições térmicas pela manhã e pela tarde estão abaixo do limiar ótimo para a disponibilidade de carbono orgânico e,

portanto, mesmo com uma elevada disponibilidade de luz não permite um bom desempenho fotossintético pela manhã (Scienza e Campostrini, 2004). Nesta orientação, a fração de solo iluminado muda menos que para as fileiras orientadas Norte-Sul com elevação solar (depende do espaçamento da fileira e da altura da planta) (Jackson et al., 1979a).

No hemisfério Norte, Intrieri et al. (1996) demonstram que a orientação das fileiras influencia diretamente na resposta vegetativa e produtiva da videira. Em seu estudo evidenciaram que a orientação da fileira Leste-Oeste de Chardonnay apresentou menor crescimento, rendimento e biomassa seca por videira em comparação com as orientações Norte-Sul, Nordeste-Sudoeste e Noroeste-Sudeste. Hunter e Volschenk (2008) verificaram que as fileiras cultivadas com a cepa Shiraz na África do Sul orientadas no sentido Norte-Sul, apresentaram maior rendimento por hectare, seguido pelas orientações Nordeste-Sudoeste, Noroeste-Sudeste e Leste-Oeste. Os mesmos autores comentam que os melhores vinhos parecem ser obtidos de fileiras em que a orientação proporciona uma maior exposição solar dos frutos em maturação pela manhã e pela tarde (Norte-Sul, Nordeste-Sudoeste).

## **2.6 Terroir**

A palavra *terroir* é de origem francesa, não apresentando tradução para o inglês. Uma tradução mais aproximada seria solo ou terreno. Porém, *terroir* engloba muito mais do que isso e não pode ser explicado somente com base nas condições físicas (Taylor, 2004). Martin (2000) define *terroir* como uma combinação de todos os atributos, histórico, geográfico, humano, biológico ou ambiental, que contribuem para a individualidade dos vinhos produzidos em uma determinada região. Esta inclusão de atributos culturais e por reverenciar a terra, tornam conceito de *terroir* muito difícil de ser quantificado. Muitos especialistas do ramo 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 região de origem (Wilson, 1998). Assim, quando um consumidor compra uma garrafa de vinho francês, não está comprando apenas uma garrafa de bebida tipo vinho, mas também a lembrança ou a sensação do local onde foi produzido (Taylor, 2004).

Segundo Mouton (2006), *terroir* é o efeito combinado do solo, orientação do declive em relação ao sol, elevação (topografia), acrescido de características do clima, como chuva, velocidade do vento, frequência de nevoeiro, horas acumuladas de sol, temperatura mínima, média e máxima, em um local de vinhedo, atuando sobre a natureza e a qualidade das uvas cultivadas neste local. Tal definição, mais ancorada no meio físico, deve ser conectada com a

origem do autor (África do Sul), e, portanto, do Novo Mundo. Neste aspecto, é notável o trabalho que vem sendo desenvolvido no Chile pelo renomado enólogo Marcelo Retamal, caracterizando micro-regiões produtoras de vinhos diferenciados (de Martino, 2009). A inclusão na definição de *terroir* de elementos humanos e culturais é típica do Velho Mundo, como ficou evidenciada no texto proposto no VI Congresso Internacional de *Terroirs*, realizado em Bordeaux e Montpellier em 2006, e que é:

*« O terroir é um espaço geográfico delimitado, no qual uma comunidade humana constrói, no curso de sua história, um saber coletivo de produção, fundado sobre um sistema de interações entre um meio físico e biológico, e um conjunto de fatores humanos. Os caminhos técnicos assim envolvidos revelam uma originalidade, conferem uma tipicidade, e dão uma reputação a um bem originário deste espaço geográfico. »*

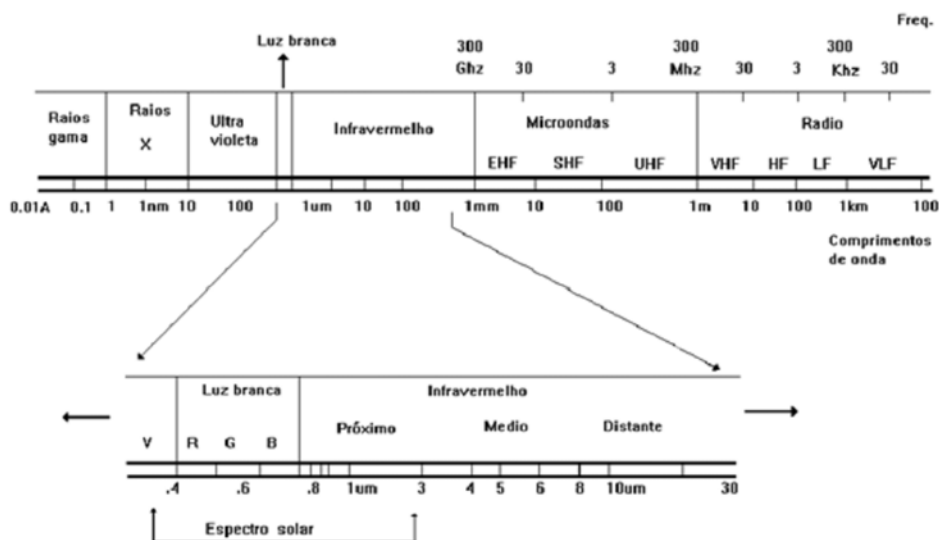
Devido à oposição dos participantes da América do Sul, para os quais esta definição excluiria a maioria dos jovens vinhedos latino-americanos, tal proposição acabou não sendo adotada como deliberação do Congresso.

A palavra *terroir* veio a ganhar conotação positiva nos últimos 60 anos, quando a valorização da delimitação dos vinhedos nas denominações de origem de vinhos na França veio a balizar critérios associados à qualidade de um vinho, incluindo o solo e a variedade, dentre outros (Tonietto, 2007). Por si só, a identificação de um vinho como sendo “de *terroir*” não é garantia de qualidade (Oliveira et al., 2007). Um dos aspectos essenciais do *terroir* é de não abranger somente aspectos do meio natural (clima, solo, relevo), mas também, de forma simultânea, os fatores humanos da produção, incluindo a escolha das variedades, aspectos agrônômicos e aspectos de elaboração dos produtos (Tonietto, 2007).

## **2.7 Espectro eletromagnético**

A radiação eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético. Este apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região. Cada subdivisão é função do tipo de processo físico que dá origem à energia eletromagnética, do tipo de interação que ocorre entre a radiação e o objeto sobre o qual esta incide, e da transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética (Moraes, 2002).

O espectro eletromagnético se estende desde comprimentos de onda muito curtos associados à radiação gama e raios X, até às ondas de rádio de baixa frequência e grandes comprimentos de onda, como mostra a Figura 5 (Fonseca, 2000).



**Figura 5.** Espectro eletromagnético (Fonte: INPE, s.d).

Segundo Moraes (2002), algumas bandas do espectro eletromagnético apresentam denominações especiais relacionadas com suas características, como:

- a) Espectro óptico: região do espectro que compreende as radiações ultravioleta, visível e infravermelho.
- b) Espectro solar: região espectral que abrange a radiação eletromagnética emitida pelo Sol; concentra-se na faixa de 0,28 a 4 $\mu$ m.
- c) Espectro visível: refere-se ao conjunto das energias eletromagnéticas percebido pelo sistema visual humano, também denominado de luz.
- d) Espectro termal: conjunto das radiações eletromagnéticas emitidas pelos objetos terrestres. Encontram-se nos intervalos espectrais do infravermelho médio ao distante.

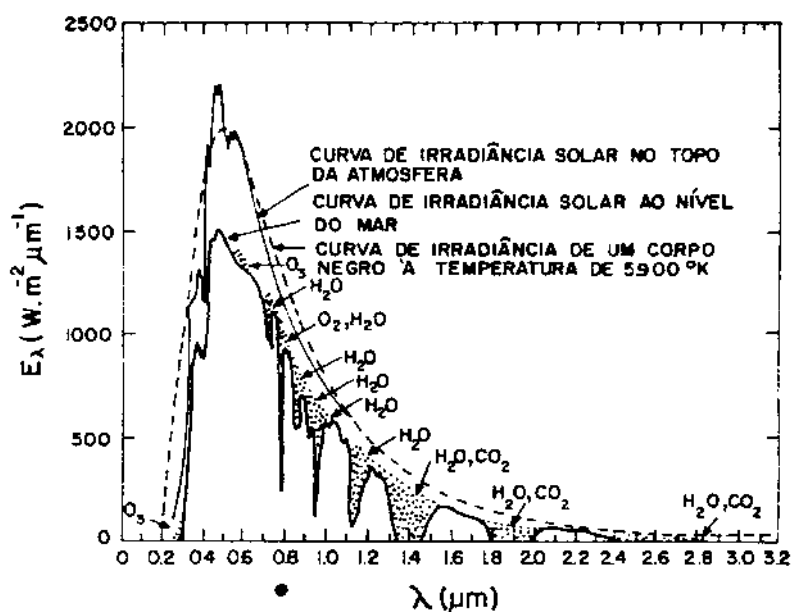
Os comprimentos de onda de grande interesse para o sensoriamento remoto são referentes ao espectro óptico, que se estende de 0,30 a 15 $\mu$ m. A região entre 0,38 a 3 $\mu$ m é normalmente chamada de porção reflectiva do espectro. Esta porção do espectro é dividida em visível e infravermelho refletido. A região entre 3,0 a 7,0 $\mu$ m apresenta forte influência da atmosfera, sendo de complicada interpretação, limitando o uso dos comprimentos de onda desta região em sensoriamento remoto. A energia eletromagnética entre 7,0 a 15 $\mu$ m é

chamada de infravermelho distante, correspondendo à porção emissiva do espectro (Silva, L., 1978).

Os objetos a serem captados pelos instrumentos imageadores de sensoriamento remoto podem ser parte da superfície da terra ou da atmosfera. Como as propriedades químicas e físicas dos objetos variam, estes objetos refletem ou emitem um único espectro de energia eletromagnética, apresentando assim, diferentes características espectrais. Desta forma, um objeto pode ser identificado por sua assinatura espectral, que é o conjunto de valores de refletância em uma parte específica do espectro eletromagnético (Fonseca, 2000).

### 2.7.1 Interação da radiação eletromagnética com atmosfera

Os componentes da atmosfera causam espalhamento e absorção da radiação eletromagnética, modificando diretamente a intensidade da energia que chega à superfície terrestre e no sensor (Silva, L., 1978). A Figura 6 ilustra a diferença entre a intensidade do fluxo radiante no topo da atmosfera e na superfície terrestre observada ao nível do mar.



**Figura 6.** Intensidade do fluxo radiante emitido pelo Sol (Fonte: adaptada de Swain e Davis, 1978).

A linha tracejada da Figura 6 representa a intensidade do fluxo radiante em cada comprimento de onda que seria determinado no topo da atmosfera. A linha cheia com descontinuidade representa a mesma intensidade, mas agora determinada na superfície terrestre. É possível observar que a intensidade da radiação eletromagnética emitida pelo Sol sofre atenuação devido à interferência dos diferentes componentes contidos na atmosfera (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Cerca de 70% da energia solar está concentrada na faixa espectral compreendida entre 0,3 e 0,7 $\mu m$  e como a atmosfera absorve muito pouco nesta

região, grande parte da energia solar atinge a superfície da Terra. Na região do visível, o principal gás absorvedor da energia eletromagnética solar é o ozônio ( $O_3$ ) e na região do infravermelho, os principais gases absorvedores são o vapor d'água ( $H_2O$ ) e o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) (Moraes, 2002).

A combinação do espalhamento e absorção é denominada atenuação atmosférica (Slater, 1980). As principais evidências desses efeitos sobre a imagem são a diminuição do brilho da superfície em regiões espectrais específicas e a presença de névoa, com perda de nitidez, nas regiões dos menores comprimentos de onda (Latorre, et al., 2002). Portanto, é necessário efetuar o tratamento da imagem a fim de minimizar esses efeitos, principalmente quando são realizadas operações entre bandas, relacionamentos entre dados obtidos por sensores remotos com parâmetros biofísicos e em estudos multitemporais (Chuvieco, 2002).

O espalhamento corresponde à mudança aleatória da direção de propagação da radiação solar devido à sua interação elástica com os componentes atmosféricos (moléculas e aerossóis). O espalhamento ocasiona uma mudança na trajetória de propagação da radiação, dispersando-a em todas as direções, sem que haja mudança no comprimento de onda, provocando, com isso, uma atenuação do sinal na direção principal de propagação da radiação e um aumento em todas as outras direções (Zullo Júnior, 1994; Latorre et al., 2002). O espalhamento atmosférico pode ser explicado por três modelos, de Rayleigh, Mie e não-seletivo.

O espalhamento de Rayleigh é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda, o que significa que os comprimentos de onda mais curtos do espectro eletromagnético sofrerão maior espalhamento que os comprimentos de onda mais longos (Slater, 1980). Este tipo de espalhamento é o responsável pela coloração azul do céu e pela coloração avermelhada a alaranjada do sol quando está no horizonte.

O espalhamento de Mie ocorre quando o comprimento de onda apresenta aproximadamente o mesmo tamanho da partícula, como partículas de fumaça ou de poeira em suspensão (Silva, L., 1978).

O espalhamento não seletivo ocorre quando o tamanho das partículas é bem maior que os comprimentos de onda da radiação que incide sobre elas, como gotas de água, cristais de gelo e grandes partículas de poeira (Silva, L., 1978). Afeta tanto os comprimentos de onda na faixa do visível quanto infravermelho próximo e médio. Portanto, a radiação de diferentes

comprimentos de onda será espalhada com igual intensidade. Esse tipo de espalhamento é causado por nevoeiro e nuvens, sendo que a aparência branca destes dois elementos é em virtude dos comprimentos de onda da região do visível serem espalhados em quantidades aproximadamente iguais (Moreira, 2001).

A absorção é um processo de transformação da energia de um feixe luminoso em outras formas de energia, principalmente em calor. Este processo depende dos componentes atmosféricos, principalmente gases (ozônio, vapor d'água, oxigênio e dióxido de carbono) e aerossóis, e das posições do sol e do satélite (Zullo Júnior, 1994). Quando a radiação de determinados comprimentos de onda é pouco absorvida pela atmosfera, ou seja, a atmosfera é transparente, define-se uma janela atmosférica. As janelas atmosféricas são muito importantes para o sensoriamento remoto, pois os sensores são construídos nestes intervalos de comprimento de onda, onde a radiação eletromagnética é pouco absorvida pela atmosfera (Moreira, 2001).

Na região do visível, o espalhamento é o principal efeito atmosférico que interfere na resposta espectral dos alvos, sendo causado por partículas moleculares e aerossóis, os quais atenuam de forma aditiva, fazendo com que as partes sombreadas apresentem um valor mais alto do que o esperado, provocando uma decorrelação da sombra entre as bandas (Novo, 1992; Crane, 1971). Nos comprimentos de onda maiores (infravermelho próximo e médio) o espalhamento pode ser desprezível, sendo o principal efeito atmosférico a absorção, causada principalmente por vapor d'água, CO<sub>2</sub>, metano e outros gases (Slater, 1980).

Dos modelos de correção atmosférica existentes, disponíveis em aplicativos de análise e tratamento de imagens de Sensoriamento Remoto, destaca-se o modelo MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Transmittance and Radiance Code*). O MODTRAN processa dados de sensores hiperespectrais e multiespectrais nas faixas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), visível e ultravioleta (UV), minimizando os efeitos do espalhamento e absorção atmosférica (Anderson et al., 1999).

## **2.8 Sensoriamento remoto**

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma técnica de se obter informações sobre um determinado objeto, área ou fenômeno, através de dados coletados por um equipamento, que não entra em contato direto com o objeto, área ou fenômeno estudado (Landgrebe, 1978; Lillesand e Kiefer, 1987). Para Novo (1992), o sensoriamento remoto

consiste na utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos para transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

O sensoriamento remoto parte do princípio de que cada objeto tem uma característica única de reflexão e emissão de energia eletromagnética. Com isso, pode-se identificar e entender o objeto ou condições ambientais através dessa unicidade de comportamento. Portanto, dois objetos diferentes irão interagir distintamente com a energia eletromagnética, pelo menos em alguns comprimentos de onda, permitindo assim sua identificação e diferenciação (Novo, 1992).

A aquisição de dados de sensoriamento remoto envolve quatro partes básicas: a fonte de energia eletromagnética, a atmosfera, o alvo e o sensor. Em sensoriamento remoto passivo, a principal fonte de energia eletromagnética é o Sol. A energia eletromagnética, ao se propagar pela atmosfera, sofre modificações em sua intensidade e em sua distribuição espectral. Ao atingir a superfície terrestre, a energia interage com os objetos, podendo ser refletida, transmitida e/ou absorvida. A porção da energia absorvida em uma região do espectro pode ser refletida ou transmitida em outra região do espectro (Silva, L., 1978). A fração transmitida e/ou emitida pelos objetos presentes na superfície terrestre, irá novamente atravessar a atmosfera, sofrendo novas modificações, atingindo o sensor, o qual registrará a energia que chegou (Silva, L., 1978; Lillesand e Kiefer, 1987). Segundo Novo (1992), para que o sistema de aquisição funcione é necessário preencher as seguintes condições: existência de fonte de radiação, propagação da radiação pela atmosfera, incidência da radiação sobre a superfície terrestre, ocorrência de interação entre a radiação e os objetos da superfície e radiação que retorna ao sensor após atravessar a atmosfera. A energia registrada pelo sensor é transformada em um sinal passível de interpretação e transmitida para uma estação receptora na Terra, onde os dados são gravados, podendo posteriormente ser convertidos em imagem.

As imagens geradas por sensores remotos captam de forma seqüencial a intensidade média da energia eletromagnética refletida por uma área do terreno, equivalente ao tamanho do pixel (*picture element*). Estas imagens são constituídas por um conjunto de pixels arranjados de forma matricial, onde cada um tem uma localização definida em um sistema de coordenadas (linha e coluna) representadas por “x” e “y” (Crósta, 1993). A análise das



imagens pode ser realizada visualmente e/ou digitalmente, tendo por finalidade extrair informações sobre o alvo (Richards, 1986). De acordo com Ponzoni e Shimabukuru (2007), a identificação de alvos em imagens produzidas por sensores remotos mediante interpretação visual é eficaz quando o interesse é acessar as características geométricas e a aparência geral desses objetos. Contudo, o uso do computador para o tratamento digital das imagens possibilita a análise de tantos pixels e de tantas bandas quanto forem necessárias.

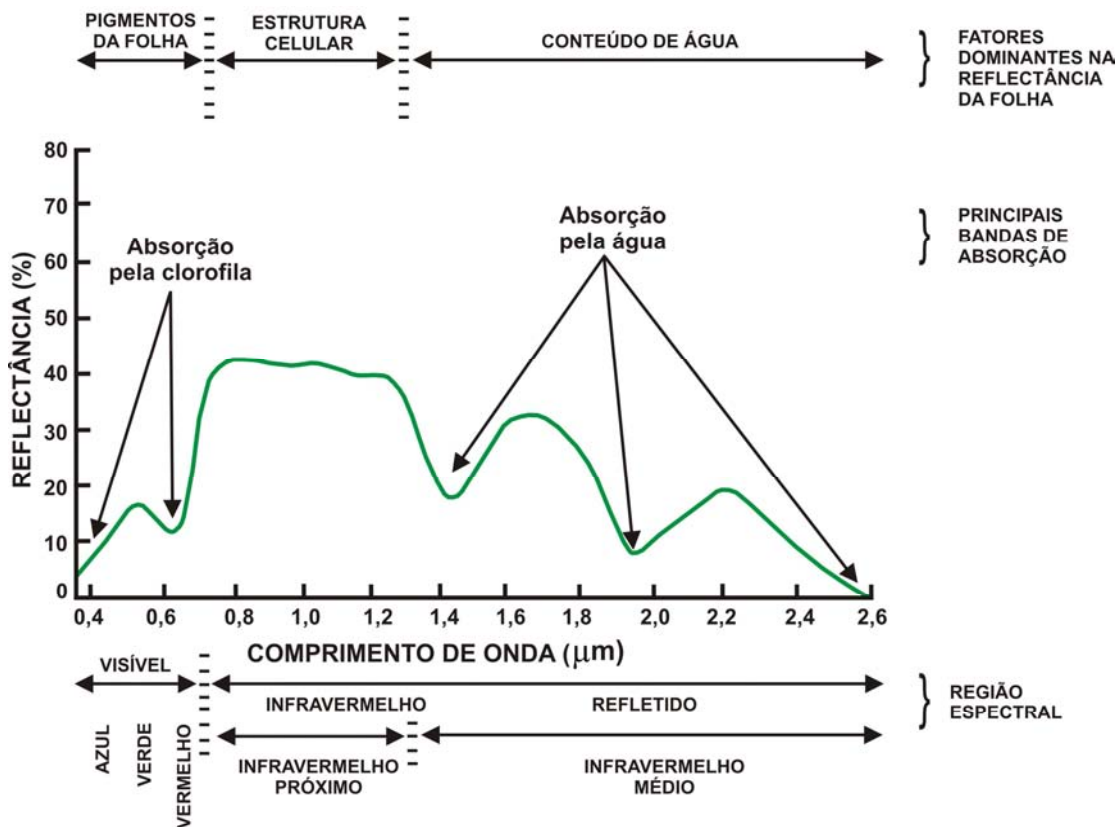
Implícita aos dados de sensoriamento remoto está a chamada resolução. Segundo Campbell (1996), em um sentido geral, a resolução refere-se à habilidade do sensor registrar e exibir detalhes finos. Para Swain e Davis (1978), resolução é uma medida da habilidade de um sistema óptico de distinguir sinais que são espacialmente próximos ou espectralmente similares. Em dados de sensoriamento remoto, têm-se quatro diferentes resoluções: espacial, espectral, radiométrica e temporal. A resolução espacial representa a capacidade do sensor de distinguir objetos. Indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor. A resolução espectral está relacionada à largura espectral em que opera o sensor, portanto, define o intervalo espectral no qual são realizadas as medidas, sendo que, quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda, melhor a resolução espectral. A resolução radiométrica define a eficiência do sistema em detectar pequenos sinais, ou seja, refere-se à maior ou menor capacidade do sistema sensor em detectar e registrar diferenças na energia refletida e/ou emitida pelos elementos que compõe a cena (rochas, solos, vegetações, águas, entre outros). A resolução temporal está relacionada com a repetitividade com que o sistema sensor pode adquirir informações referentes ao objeto (Moraes, 2002).

### **2.8.1 Comportamento espectral da vegetação**

A radiação solar que chega à superfície da Terra (radiação global), ao atingir a planta, interage com a mesma e resulta em três frações, em que parte dessa radiação é absorvida pelos pigmentos contidos na folha; parte é refletida pelas folhas; e parte sofre o processo de transmissão, realizado através das camadas de folhas que compõem a copa, adentrando os componentes que constituem a folha, tais como a cutícula, o parênquima lacunoso e o paliçádico. A parte mais importante do ponto de vista fisiológico e bioquímico para a produtividade da planta, é a parte absorvida, mas devido à complexidade de ser medida para a grande maioria dos sensores, a energia refletida pela vegetação têm sido a mais utilizada, pois

é nessa faixa do espectro que se dispõe da maior quantidade de sensores orbitais e sub-orbitais capazes de registrar informações da superfície terrestre (Moreira, 2001).

O comportamento espectral da vegetação consiste na medida dos valores de reflectância ao longo do espectro eletromagnético. Segundo Gates (1980), três são os principais mecanismos que influenciam a quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas: os pigmentos existentes, os espaços ocupados pela água e ar, e as estruturas celulares internas das folhas. Além disso, o estágio fenológico, os aspectos sanitários e as condições climáticas também são fatores que influenciam na energia eletromagnética refletida (Moreira, 2000). A Figura 7 mostra uma típica curva de reflectância da vegetação verde, identificando as regiões de resposta espectral de maior significância.

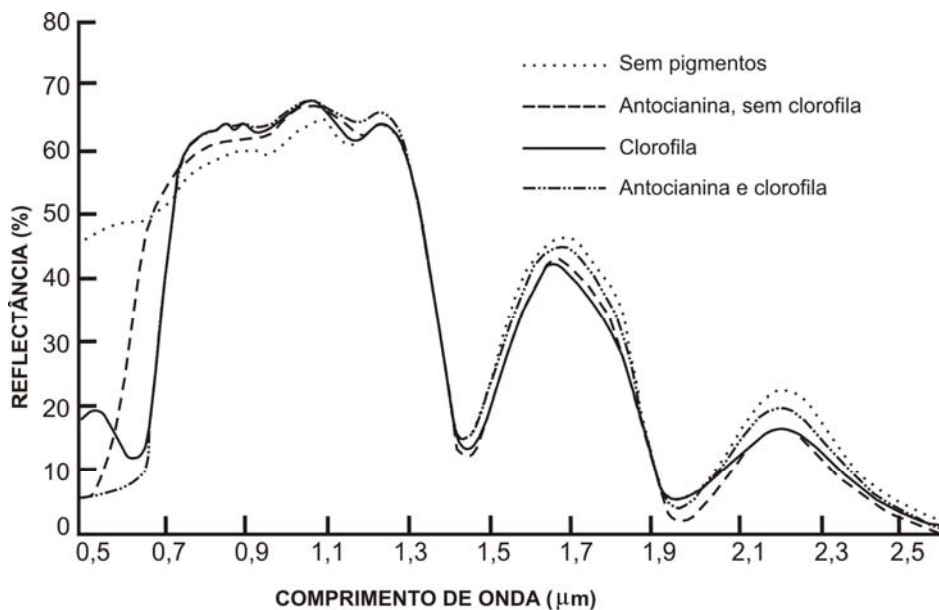


**Figura 7.** Comportamento espectral da vegetação (adaptada de Swain e Davis, 1978).

Na região do visível (0,4 a 0,7 $\mu\text{m}$ ) a resposta espectral da vegetação é dominada pela ação dos pigmentos fotossintetizantes (Hoffer, 1978). Estes pigmentos, geralmente encontrados nos cloroplastos, são: clorofila (verde), caroteno (amarelo), xantofila (amarelo) e antocianina (vermelho), sendo que as concentrações destes pigmentos podem variar intensamente de espécie para espécie (Hoffer, 1978; Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Na porção do espectro visível é possível observar que na região do azul, a energia é absorvida por todos os pigmentos (próximo a  $0,445\mu\text{m}$ ), mas somente a clorofila absorve na região do vermelho ( $0,645\mu\text{m}$ ). A maioria das plantas é moderadamente transparente na região do verde, apresentando um pico de reflectância em  $0,54\mu\text{m}$ , o que é responsável pela coloração verde da maioria das folhas (Hoffer, 1978; Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

A Figura 8 ilustra os efeitos dos diferentes pigmentos na curva de reflectância espectral da folha. A clorofila normalmente mascara os pigmentos amarelos (carotenos e xantofilas), porém, durante o processo de senescência ou de estresse, a clorofila geralmente desaparece, possibilitando a dominância destes dois pigmentos, sendo este o primeiro motivo para a coloração amarelada das folhas. As folhas na quais ocorre a predominância de antocianina apresentam uma baixa reflectância na região espectral do azul e do verde e um aumento marcante na região do vermelho. Nas folhas com clorofilas e antocianina, a reflectância é baixa em toda a faixa do visível em razão da absorção diferenciada destes dois pigmentos (Hoffer, 1978).



**Figura 8.** Efeito de diferentes pigmentos na reflectância da folha (adaptada de Swain e Davis, 1978).

No infravermelho próximo ( $0,7$  a  $1,3\mu\text{m}$ ) (Figuras 7 e 8), a reflectância aumenta notavelmente devido às folhas verdes absorverem pouca energia (Hoffer, 1978). Nesta região, a resposta espectral de uma folha saudável é dominada pela estrutura celular interna, sendo pouco afetada pelos pigmentos e pelo conteúdo de água (Hoffer, 1978; Richards, 1986). A região é caracterizada por uma alta reflectância, alta transmitância e baixa absorptância. Na maior parte das plantas, aproximadamente 45 a 50% da energia eletromagnética é refletida, 45

a 50% é transmitida e apenas 5% é absorvida. A radiação, ao incidir na estrutura foliar, é espalhada pela cutícula e epiderme para as células do mesófilo e cavidades de ar, onde sofre novo espalhamento seguido de reflexões e refrações múltiplas, o que justifica a maior reflectância nesta faixa espectral. Como as estruturas internas da folha variam de uma espécie vegetal para outra, ocorrem diferenças na reflectância, sendo então possível a identificação de diferentes tipos de culturas agrícolas (Silva, A., 1995). Hoffer (1978) demonstrou que folhas com o mesófilo lacunoso mais compacto, como as do milho, espalham menos a energia incidente, apresentando menores valores de reflectância no infravermelho próximo, quando comparadas com as folhas da soja. Luz e Fonseca (2003), utilizando informações da região do infravermelho próximo, demonstraram a viabilidade de discriminação de variedades de *Vitis vinífera* L..

Na região do infravermelho médio (1,3 a 2,6 $\mu$ m) (Figuras 7 e 8) ocorre uma forte absorção determinada pela água, principalmente em 1,4 $\mu$ m, 1,9 $\mu$ m e 2,7 $\mu$ m, nas chamadas bandas de absorção (Richards, 1986). Os picos de reflectância são em 1,6 e 2,2 $\mu$ m, entre as bandas de absorção da água. À medida que o conteúdo de água no interior das folhas diminui nesta região, a reflectância aumenta, sendo que mudanças no formato típico da curva espectral começam a ocorrer apenas quando o conteúdo de água é menor que 50% (Hoffer, 1978).

#### **2.8.1.1 Comportamento espectral de dosséis vegetais**

Em geral, a reflectância espectral de folhas isoladas é ligeiramente superior daquela dos dosséis dos quais fazem parte (Silva e Ponzoni, 1995). Isso ocorre em virtude das folhas superiores sombrearem as folhas inferiores, criando uma reflectância que é formada pela combinação de folhas e sombra (Campbell, 1996). Outros fatores que influenciam consideravelmente na reflectância de dosséis vegetais são: o efeito do brilho do solo, o ângulo de elevação solar e o ângulo de visada do sensor (Curran, 1986).

A influência do brilho do solo é inversamente proporcional ao Índice de Área Foliar (IAF). O IAF expressa a quantidade em área de folhas por área do terreno (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Assim, à medida que a planta avança no seu desenvolvimento, ocorre o aumento do IAF, diminuindo o efeito do brilho do solo sobre a reflectância do dossel vegetal. De maneira geral, é esperado que quanto maior o IAF, menor a reflectância da vegetação nas regiões do visível e infravermelho médio, ocasionado pela maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes e uma maior quantidade de água no interior da folha,

respectivamente, e uma maior reflectância no infravermelho próximo devido ao maior espalhamento múltiplo (Curran et al., 1992).

Richardson et al. (1975), Kollenkark et al. (1982), Jackson et al. (1979a) e Jackson et al. (1979b) comentam que os dosséis de culturas agrícolas apresentam no campo de visada do sensor, quatro componentes com diferentes propriedades de reflectância, sendo eles: vegetação iluminada, solo iluminado, vegetação sombreada, solo sombreado. A proporção de cada um destes componentes varia com o espaçamento e orientação das fileiras, altura das plantas, diâmetro da copa da planta, ângulos zenital e azimutal do sol (que variam com a hora do dia e dia do ano), latitude e resolução espacial do sensor.

No caso de vinhedos conduzidos em espaldeira, os quatro componentes citados acima estão presentes durante todo o período vegetativo da planta. Isso ocorre em virtude da videira conduzida neste sistema apresentar dossel de natureza descontínua, mesmo em condições de máximo desenvolvimento. Em consequência disso, a reflectância medida pelo sensor apresentará interferência do fundo e de sombras, em menor ou maior quantidade, dependendo principalmente da orientação e distância das fileiras, e ângulo zenital do sol. As fileiras orientadas no sentido Norte-Sul apresentam menor influência do fundo, quando comparadas com fileiras orientadas Leste-Oeste no momento da passagem de satélites como Landsat e Terra, dado o momento de captura de imagens por estes satélites é aproximadamente às 10h30 (hora local), correspondendo a uma iluminação solar (vinda do Leste) com uma distância zenital relativamente alta.

Jackson et al. (1979b) relatam que sob baixos ângulos azimutais e baixos ângulos de elevação solar, ocorre um maior sombreamento entre as linhas e uma melhor interação da radiação com o dossel. Segundo os mesmos autores, a orientação das fileiras exerce menor influência na região do infravermelho próximo do que na região do visível, devido ao menor efeito das sombras, uma vez que as folhas apresentam maior transmitância nesta região espectral, produzindo um efeito de sombreamento menor que no visível.

### **2.8.1.2 Índices de vegetação**

Os índices de vegetação podem ser definidos como medidas radiométricas normalmente envolvendo razão e/ou combinação linear das regiões espectrais do vermelho e infravermelho próximo (Huete, 1994). Segundo Ponzoni (2001), os índices de vegetação servem como indicadores do crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para

diagnosticar vários parâmetros biofísicos com os quais apresentam altas correlações, incluindo índice de área foliar, biomassa, percentagem de cobertura no solo, atividade fotossintética e produtividade.

Na literatura são encontrados diversos índices de vegetação, sendo os mais comumente usados os que utilizam a informação contida nas refletâncias de dosséis referentes aos comprimentos de onda das regiões do vermelho e do infravermelho próximo. De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007), a fundamentação e proposição de índices nestas duas regiões espectrais residem no seu comportamento antagônico da reflectância da vegetação. Na região do visível, quanto maior for a densidade da cobertura vegetal em uma determinada área, menor será a reflectância, devido à maior oferta de pigmentos fotossintetizantes. Por outro lado, maior será a reflectância no infravermelho próximo, devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética nas diferentes camadas de folhas. Os índices de vegetação exploram este dinamismo, caracterizado por contrastes nos valores de reflectância destas duas regiões (Jackson e Huete, 1991; Myneni et al., 1995).

Devido à sua extensa aplicabilidade e simples implementação, vários índices de vegetação foram elaborados e modificados ao longo dos últimos anos. Dentre os mais conhecidos e disponíveis na literatura, pode-se citar: SR (*Simple Ratio*), NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), PVI (*Perpendicular Vegetation Index*), SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*), ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*), GEMI (*Global Environment Monitoring Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Apesar da existência de diversos índices de vegetação, o mais conhecido e utilizado nos estudos de caracterização e monitoramento da vegetação é o NDVI (Guyot e Gu, 1994; Myneni e Asrar, 1994). Este índice foi proposto por Rouse et al. (1973) consiste em uma razão entre o infravermelho próximo e o vermelho, conforme seguinte equação:

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

Onde:

*IVP*: reflectância na banda do infravermelho próximo;

*V* : reflectância na banda referente ao vermelho.

O NDVI é um índice que normaliza os efeitos da topografia, sendo sensível à radiação fotossinteticamente ativa, constituindo uma técnica simples e confiável de mensurar o vigor da vegetação (Thenkabail et al., 2002). Em regiões de vinhedos, o NDVI pode fornecer informações sobre as zonas de uma determinada parcela com maior e menor vigor vegetativo, permitindo, por exemplo, analisar a persistência e evolução de anomalias no desenvolvimento da vinha em nível de parcela (Casterad e López-Lozano, 2007). Este índice tem demonstrado correlações significativas entre o vigor das videiras com o rendimento e qualidade dos frutos. Lamb et al. (2001), utilizando imagens NDVI de três diferentes estádios de desenvolvimento do dossel, verificaram a existência de correlação entre vigor da videira no início do amadurecimento e rendimento. Jonhson et al. (1998) demonstraram ser factível a separação de 3ha de vinhedos em baixo, médio e alto vigor através do uso de imagens NDVI. Esta variação espacial de vigor pode ser associada a indicadores de qualidade dos 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 rentabilidade final maior (Bramley, 2001).

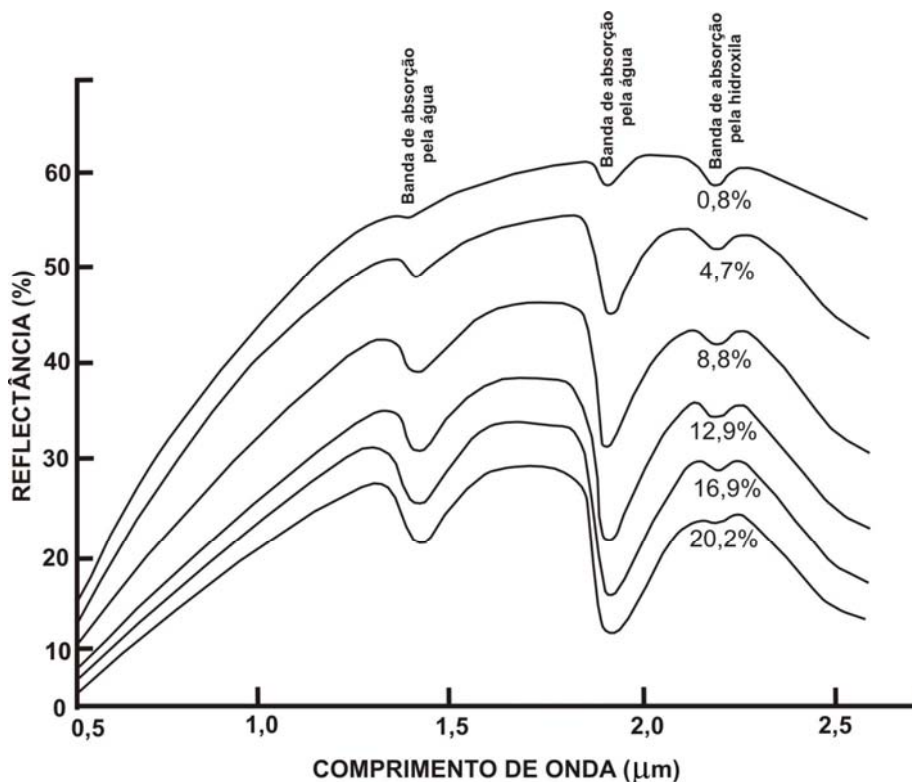
### **2.8.2 Comportamento espectral dos solos**

O solo é uma mistura complexa de materiais com várias propriedades físicas e químicas que podem afetar as características de reflectância e absorvância. Em geral, diferentes tipos de solos apresentam curvas com formato semelhante, mas com diferenças na amplitude, devido à quantidade de matéria orgânica e óxido de ferro, porcentagem de areia, silte e argila, e rugosidade da superfície (Hoffer, 1978, Lillesand e Kiefer, 1987) Estes fatores são variáveis e interrelacionados, influenciando significativamente na reflectância dos solos, o que torna sua interpretação bastante complexa.

A textura do solo é determinada pela proporção de areia, silte e argila, sendo que a quantidade presente de cada um destes materiais é responsável pela sua nomenclatura. Solos argilosos são compostos por partículas muito pequenas, apresentando poucos espaços livres. Já os solos arenosos, apresentam partículas maiores, ocorrendo grandes espaços vazios, permitindo um maior movimento de ar ou de água. A água presente no solo está localizada nestes espaços entre as partículas e também aderida a elas (fina camada). Nos solos mais argilosos, por estes espaços serem menores, a água não é drenada nem evaporada rapidamente, quando comparado com solos mais arenosos, que apresentam partículas maiores e, conseqüentemente, espaços maiores entre as partículas. Esta relação entre o tamanho da

partícula de solo e o teor de umidade tem um impacto significativo na resposta espectral dos solos (Hoffer, 1978). Solos mais arenosos são normalmente bem drenados, resultando em baixa umidade e relativamente alta reflectância (Lillesand e Kiefer, 1987). Assim, quanto maior o tamanho da partícula, menor a quantidade de água retida, conseqüentemente, maior a reflectância.

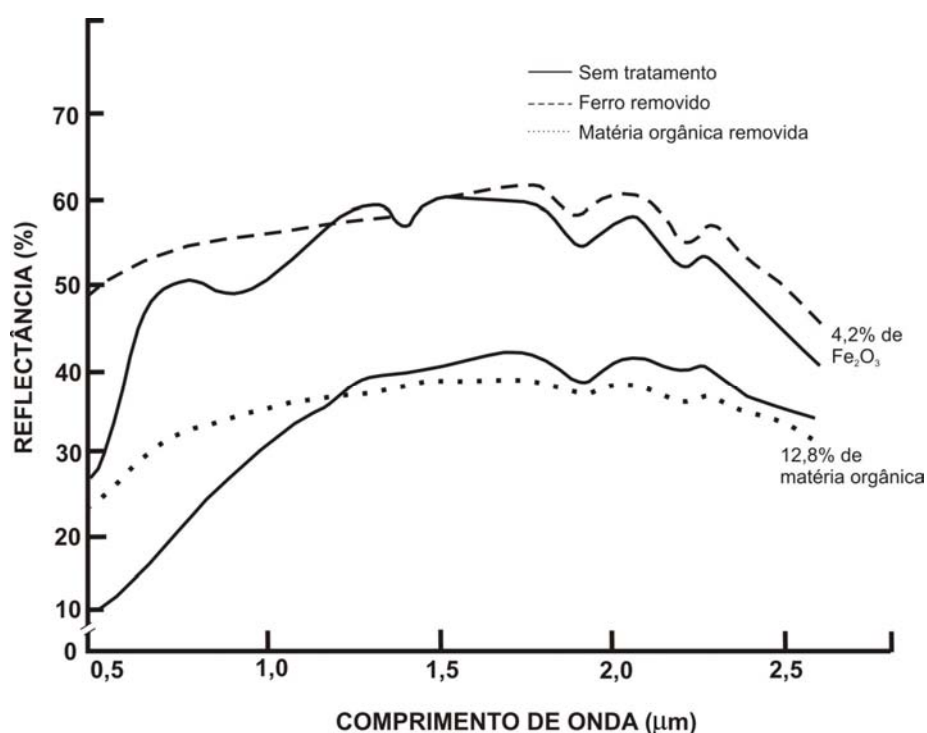
Na porção visível do espectro ocorre um decréscimo na reflectância de solos mais úmidos, em virtude de ficarem mais escuros com o aumento do teor de umidade, conseqüentemente, absorvem uma maior quantidade de radiação eletromagnética quando comparados com solos mais secos. Na região do infravermelho, com o aumento da umidade, passam a ser observadas as bandas de absorção do solo, situadas em 1, 4, 1,9 e 2,7 $\mu\text{m}$  (as mesmas da vegetação). Os solos apresentam também duas bandas de absorção por hidroxilas, situadas em 1,4 e 2,2 $\mu\text{m}$ , presentes nos solos argilosos (Richards, 1986). Solos arenosos somente apresentam bandas de absorção quando úmidos, diferentemente de solos siltsos e argilosos, que mesmo aparentemente secos, apresentam todas as bandas de absorção da água (Lillesand e Kiefer, 1987). A Figura 9 mostra a curva de reflectância de um solo siltsoso com vários teores de umidade.



**Figura 9.** Curva de reflectância de solo siltsoso com vários teores de umidade (adaptada de Swain e Davis, 1978).



Outros dois fatores que reduzem a reflectância dos solos são o conteúdo de matéria orgânica e a presença de óxido de ferro (Hoffer, 1978; Lillesand e Kiefer, 1987). O conteúdo de matéria orgânica é muito importante na agricultura, pois sua presença indica a forma e a quantidade de nitrogênio disponível no solo. O nível de matéria orgânica pode variar de 0,5 a 5%, sendo um solo com 5% de matéria orgânica apresenta coloração marrom mais escuro, ocasionando uma diminuição na reflectância na região do visível (Hoffer, 1978). A presença de óxido de ferro diminui a reflectância no visível (Lillesand e Kiefer, 1987). Solos mais argilosos apresentam maior reflectância no vermelho em virtude do maior conteúdo de óxido de ferro. A Figura 10 ilustra que a remoção do óxido de ferro causa um aumento na reflectância na região entre 0,5 e 1,1 $\mu\text{m}$ , e acima de 1,1 $\mu\text{m}$  a reflectância praticamente não é afetada. Esta figura mostra também o efeito da remoção da matéria orgânica do solo. Assim como o óxido de ferro, a remoção da matéria orgânica aumenta a reflectância na região entre 0,5 e 1,1 $\mu\text{m}$ .



**Figura 10.** Curva de reflectância espectral ilustrando o efeito da remoção do óxido de ferro e da matéria orgânica do solo (adaptada de Swain e Davis, 1978).

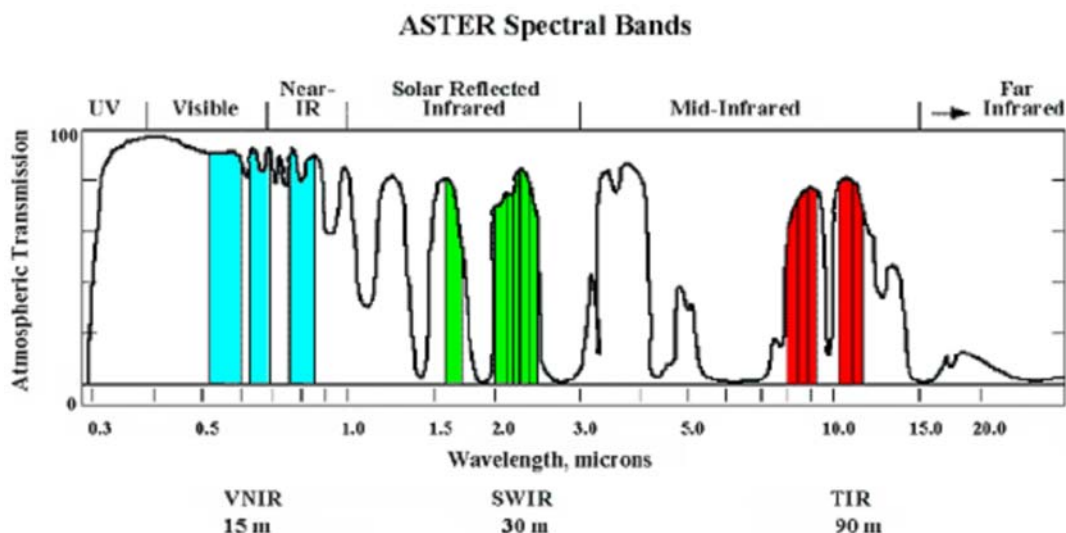
## 2.9 Imagens do sensor ASTER

O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer*) é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite Terra (inicialmente denominado EOS AM-1 –

*Earth Observing System, Ante-Meridian*), lançado em dezembro de 1999; a partir de novembro de 2000 os dados foram disponibilizados ao público.

O satélite Terra gira em órbita circular, quase polar, síncrono-solar, a uma altitude de 705 km, 30 minutos atrás do satélite Landsat ETM<sup>+</sup>. Cruza o equador às 10h30min da manhã, hora solar local, em órbita descendente, voltando à mesma órbita a cada 16 dias. Os parâmetros de órbita são os mesmos do satélite Landsat, mudando apenas o horário de passagem pelo Equador (entre 10:00 e 10:15 - hora local) (Abrams e Hook, 2002).

O sensor ASTER cobre uma larga região espectral com 14 bandas que vai do visível ao infravermelho termal, com alta resolução espacial, espectral e radiométrica. Este sensor apresenta três subsistemas de telescópios diferentes: VNIR (*Visible and Near Infrared Radiometer*) com três bandas de 15 metros de resolução espacial; o SWIR (*Short Wave Infrared Radiometer*) composto por seis bandas de 30 metros de resolução espacial; e o TIR (*Thermal Infrared Radiometer*) com cinco bandas e resolução espacial de 90 metros. Um telescópio extra, imageando para trás, possibilita a cobertura estereoscópica da banda do infravermelho próximo (3B), já que este apresenta diferente ângulo de visada (*backward*) em relação a uma imagem em nadir. Cada cena do ASTER cobre uma área de 60 x 60 km (Abrams e Hook, 2002). A Figura 11 ilustra a configuração espectral do ASTER e a Tabela 1 apresenta as características dos três subsistemas.



**Figura 11.** Configuração espectral do sensor ASTER (Fonte: JPL, 2008).

**Tabela 1:** Características dos três subsistemas

Subsistema	Banda	Faixa espectral ( $\mu\text{m}$ )	Comprimento de onda médio ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)	Resolução radiométrica (bits)
VNIR	1	0,52 – 0,60	0,556	15	8
	2	0,63 – 0,69	0,661		
	3N	0,78 – 0,86	0,807		
	3B	0,78 – 0,86	0,807		
SWIR	4	1,60 – 1,70	1,656	30	8
	5	2,145 – 2,185	2,167		
	6	2,185 – 2,225	2,209		
	7	2,235 – 2,285	2,262		
	8	2,295 – 2,365	2,336		
	9	2,360 – 2,430	2,4		
TIR	10	8,125 – 8,475	8,291	90	12
	11	8,475 – 8,825	8,634		
	12	8,925 – 9,275	9,075		
	13	10,25 – 10,95	10,657		
	14	10,95 – 11,65	11,318		

O sensor ASTER opera por um período limitado em cada órbita adquirindo em média 650 cenas por dia. Esse período reduzido de imageamento se deve a limitação de memória para armazenamento e capacidade de transmissão de dados. Estas 650 cenas adquiridas por dia a nível 0 são processadas a nível 1A, e um máximo de 310 cenas por dia são processadas a nível 1B, a partir de critério de cobertura de nuvens. Estes produtos são armazenados em arquivos no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) (Abrams e Hook, 2002).

Os produtos L1A não apresentam a calibração dos coeficientes de correção geométrica, os coeficientes de calibração radiométrica e os coeficientes para correção do erro de paralaxe do SWIR. O erro de paralaxe do SWIR ocorre devido a um deslocamento no alinhamento do detector (*offset*), na direção do deslocamento da plataforma, o qual depende da distância entre a plataforma e a superfície observada na Terra (Abrams e Hook, 2002). A correção da paralaxe é feita através de técnicas de combinação (*matching*) ou de dados de modelos numéricos de terreno (dependendo da cobertura de nuvens). Os coeficientes de calibração radiométrica consistem em informações de *offset* e sensibilidade, e são gerados a partir de uma base de dados para todos os detectores e atualizados periodicamente (Abrams e Hook, 2002). A correção geométrica é uma transformação de coordenadas realizadas em cada uma das bandas.

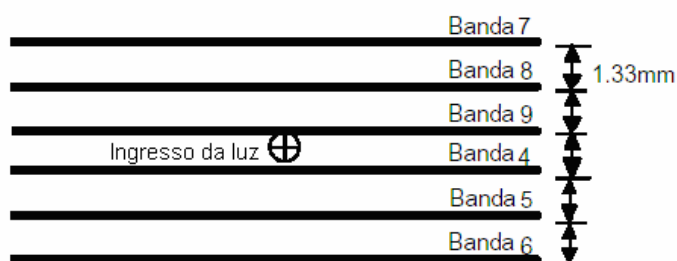
Os produtos L1B apresentam os coeficientes de correção geométrica e radiométrica aplicados, e estes dados são armazenados em um arquivo metadata, junto ao arquivo HDF. As

bandas do SWIR e do TIR são registradas em relação ao VNIR e o erro de paralaxe do SWIR é corrigido. Os dados L1B padrão são gerados na projeção UTM e reamostrados por convolução cúbica. Os dois tipos de imagens do nível 1 são fornecidos em valores de DN (*Digital Number*, contagens digitais). Apesar das imagens L1B estarem corrigidas radiometricamente, são fornecidas em valores de DN para diminuir o tamanho do arquivo.

O estudo realizado por Silva e Ducati (2009) nas regiões de Palomas e de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, indicaram que os dados gerados pelo sensor ASTER contribuem de forma consistente para a classificação e análise espectral de videiras. Segundo os autores, esse resultado está associado à melhor resolução espacial (15m) no visível e no infravermelho próximo, e também pela introdução de bandas adicionais no infravermelho, as quais trazem um ganho relevante na resolução espectral, crucial em estudos de vegetação. Tal ganho já havia sido detectado por Wagner (2004), em estudo com imagens ASTER aplicado a florestas de *Pinus elliotti* no Nordeste do Rio Grande do Sul.

### 2.9.1 Efeito de *crosstalk* nas bandas do SWIR

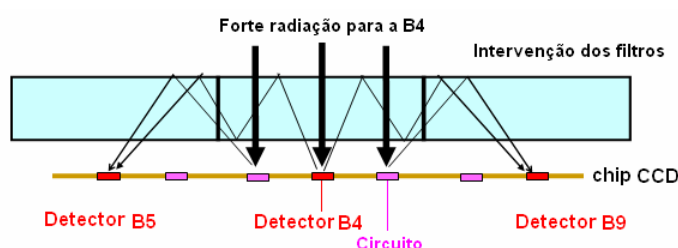
O *crosstalk* é um efeito ocasionado pela dispersão da luz incidente na superfície dos detectores do SWIR, ocorrendo o “vazamento” da energia refletida de um dado detector para outros detectores, especialmente do detector da banda 4 para os detectores das bandas 5 e 9, acarretando uma resposta maior do que a esperada nas bandas do SWIR. As bandas 5 e 9 são as mais afetadas, devido à sua proximidade do detector da banda 4, como pode ser observado na Figura 12 (Iwasaki et al., 2001). Nas imagens é observado um efeito de iluminação na transição entre superfícies de maior contraste, como, por exemplo, entre vegetação e água, e entre vegetação e solo descoberto (Iwasaki e Tonooka, 2005).



**Figura 12.** Plano focal do ASTER/SWIR (adaptada de Iwasaki et al., 2001).

A banda 4 apresenta duas características que a diferenciam das demais bandas do SWIR: o domínio espectral desta banda está entre 1,6 e 1,7  $\mu\text{m}$  (a largura da banda é de 0,092 $\mu\text{m}$ ),

sendo a banda mais larga do SWIR (a largura média das bandas 5 a 9 é 0,052  $\mu\text{m}$ ) e também é a que apresenta a maior reflectância. Conseqüentemente, a radiação incidente no detector da banda 4 é aproximadamente 4 a 5 vezes mais forte do que nos detectores das outras bandas. Esta forte radiação incidente no detector desta banda é refletida pela sua superfície e nos circuitos elétricos adjacentes, e esta energia em excesso gera reflexões múltiplas no plano focal das outras bandas do SWIR (Figura 13). O tratamento deste problema é feito através de uma correção, que constitui o aplicativo *Crosstalk Correction* (ERSDAC, 2003).



**Figura 13.** Ilustração do fenômeno de *crosstalk* (adaptada de Iwasaki et al., 2001).

## 2.10 Análise Discriminante

A análise discriminante consiste em uma técnica multivariada que discrimina e classifica um dado objeto ou indivíduo em grupos, com base em observações feitas sobre suas características. Segundo Hair et al. (2005), é uma técnica estatística apropriada para o caso em que se dispõem uma variável dependente categórica (nominal ou não métrica) e um conjunto de variáveis independentes (métricas). É uma técnica que pode ser utilizada para a classificação de elementos de uma amostra ou população (Mingoti, 2007). Para a sua aplicação é necessário que os grupos para os quais cada elemento amostral pode ser classificado sejam predefinidos, ou seja, conhecidos *a priori* considerando-se suas características gerais.

Segundo Pestana e Gageiro (2005), a análise discriminante tem por objetivo escolher as variáveis que distinguem determinados grupos, de modo que conhecendo as características de um novo caso, possa se prever a que grupo pertencem. Para Maroco (2003), a análise discriminante apresenta como objetivo a identificação de variáveis que melhor discriminam entre dois ou mais grupos de indivíduos estruturalmente diferentes e mutuamente exclusivos. Essa discriminação se dá através da utilização das variáveis para criar funções discriminantes que representem as diferenças entre os grupos e, além disso, utilizar a função gerada para classificar *a priori* novos indivíduos.

A discriminação é atingida com o estabelecimento de pesos para as variáveis independentes visando maximizar a variância entre os grupos e minimizar a variância dentro dos grupos. Se a variância entre os grupos é grande em relação à variância dentro dos grupos, a função discriminante separa bem os grupos. Essa combinação gera uma função discriminante, determinada por uma equação que assume a seguinte forma:

$$Z_{jk} = a + W_i X_{ik} + W_2 X_{2k} + \dots + W_n X_{nk}$$

Onde:

$Z_{jk}$  = valor Z discriminante da função discriminante j para os objetos;

$a$  = constante;

$W_i$  = peso discriminante para a variável independente i;

$X_{ik}$  = variável independente i para o objeto.

O resultado desta equação é um Z discriminante composto para cada indivíduo na análise. Calculando a média dos valores discriminantes para todos os indivíduos em um grupo, tem-se a média do grupo, chamada de centróide. Os centróides indicam o local mais típico de qualquer indivíduo de um grupo particular, sendo que uma comparação com os centróides de grupos mostra o quão afastado estão os grupos ao longo da dimensão testada. A verificação da significância da função discriminante consiste em uma medida generalizada da distância entre os centróides dos grupos. Assim, se a distribuição dos escores discriminantes de cada grupo apresentar uma sobreposição pequena, a função discriminante separa bem os grupos (Hair et al., 2005).

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização físico-climática das áreas de estudo

#### 3.1.1 Bordeaux

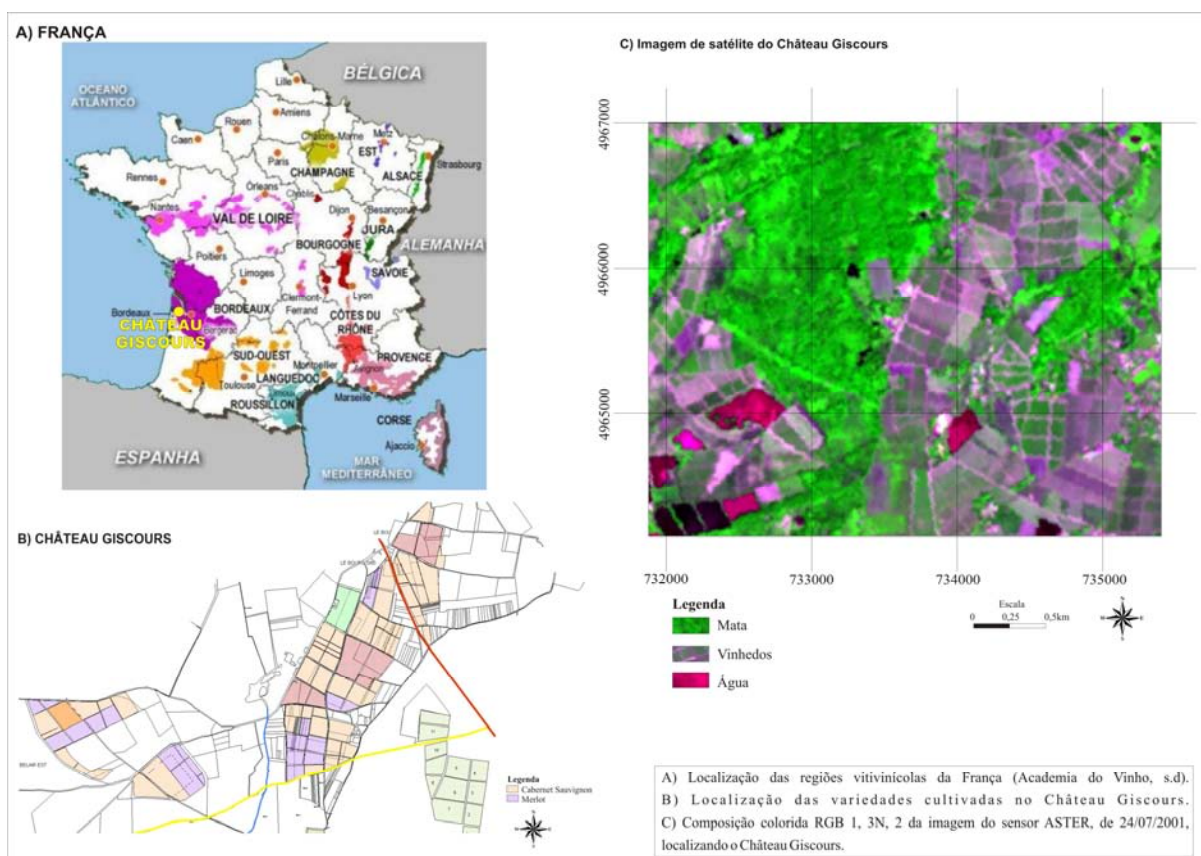
A região de Bordeaux está localizada no sudoeste da França, próxima ao oceano Atlântico, ocupando uma área de vinhedos de 118 mil hectares, representando aproximadamente 13% da superfície vitícola do país. Apresenta-se dividida em três grandes zonas geográficas, a zona do Médoc e de Graves, a zona de Libournais e a zona Central. A zona de Médoc e de Graves é conhecida como “margem esquerda” por estar situada na margem esquerda do estuário de Gironde e do seu tributário Garonne. A zona de Libournais é chamada de “margem direita” por estar localizada na margem direita dos rios Gironde e Dordogne. A zona Central está inserida entre os rios Garonne e Dordogne, e é também chamada de “Entre Deux Mers” (Amarante, 2005).

O clima é oceânico, com forte influência do oceano Atlântico e dos rios que perpassam a região. A temperatura máxima atingida na região é no mês de julho (acima de 25°C) e, no mês de janeiro, ocorre a menor temperatura (inferior a 5°C). Os meses de dezembro e janeiro são os de maior precipitação, com aproximadamente 100mm mensais, enquanto que nos meses de junho, julho e agosto, a precipitação mensal não ultrapassa os 60mm (Allmetsat, s.d).

As uvas tintas permitidas na região são: Merlot, Cabernet Sauvignon e Cabernet Franc, completadas por Petit Verdot (dá cor, taninos e alta acidez aos vinhos), e Malbec (cor e corpo). Dentre as brancas cultivadas, podem ser citadas Sémillon (a de maior expressividade), Sauvignon Blanc e Muscadelle. Os vinhos tintos representam 85% da produção, pelos quais a região é mais conhecida.

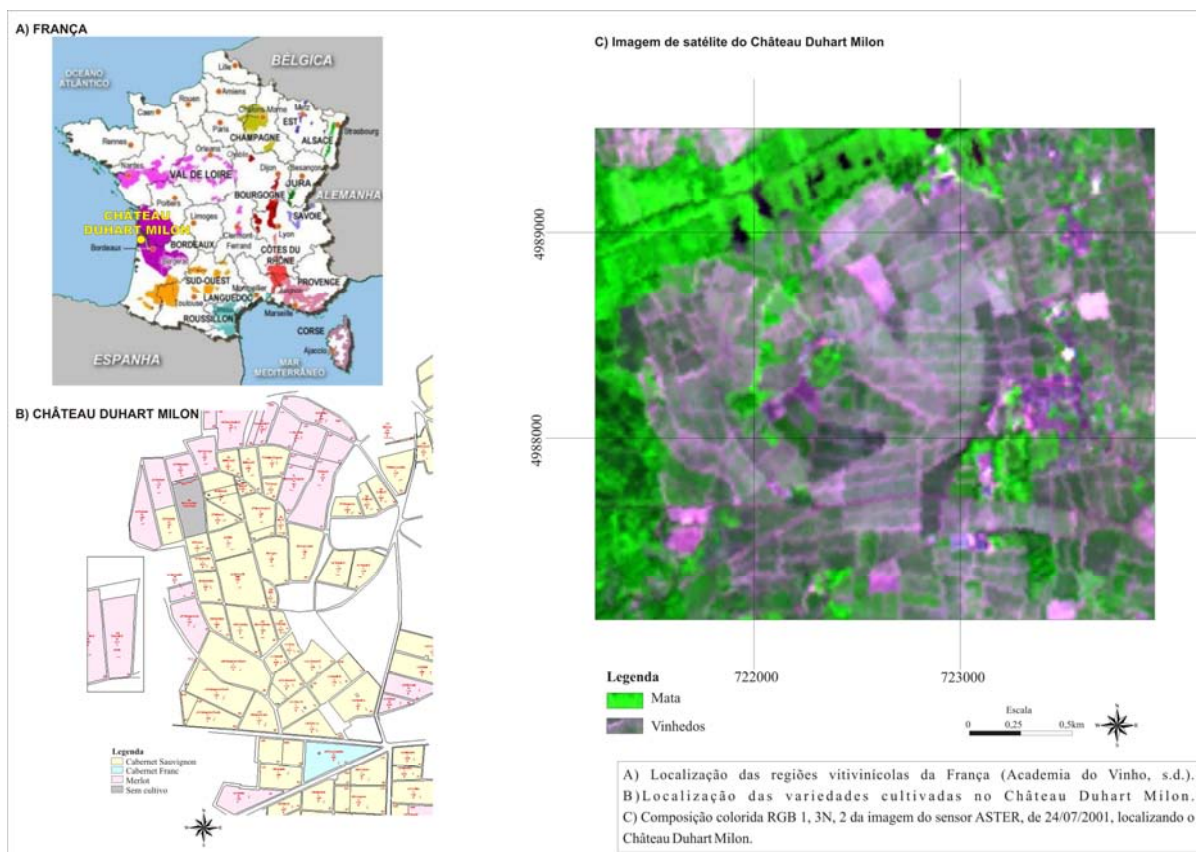
Os Châteaux de Giscours (40°00'39''N e 0°38'40''W) (Figura 14) e Duhart Milon (45°12'34''N e 0°47'15''W) (Figura 15), estudados nesta dissertação, estão localizados na margem esquerda, na sub-região de Médoc, nos *terroir* de Margaux e Pauillac,

respectivamente. Na região do Château Giscours, o solo é de cascalho e areia, sendo uma planície drenada. Já o Château Duhart Milon apresenta solo de cascalhos finos misturados a areias eólicas sob um subsolo de calcário terciário. As cepas estudadas foram Cabernet Sauvignon e Merlot. O sistema de condução é espaldeira, com orientação Noroeste-Sudeste para os lotes selecionados de Cabernet Sauvignon e Nordeste-Sudoeste para os lotes selecionados de Merlot no Château Giscours e Noroeste-Sudeste para os lotes de Cabernet Sauvignon e Merlot no Château Duhart Milon. A densidade média de plantas por hectare é de aproximadamente 10.000 para Giscours e um pouco menos para Duhart Milon. A distância entre as fileiras e entre cada planta é de 1m x 1m para Giscours e de 1,5m x 1m para Duhart Milon. O solo entre as fileiras é geralmente nu.



**Figura 14.** Localização do Château Giscours.

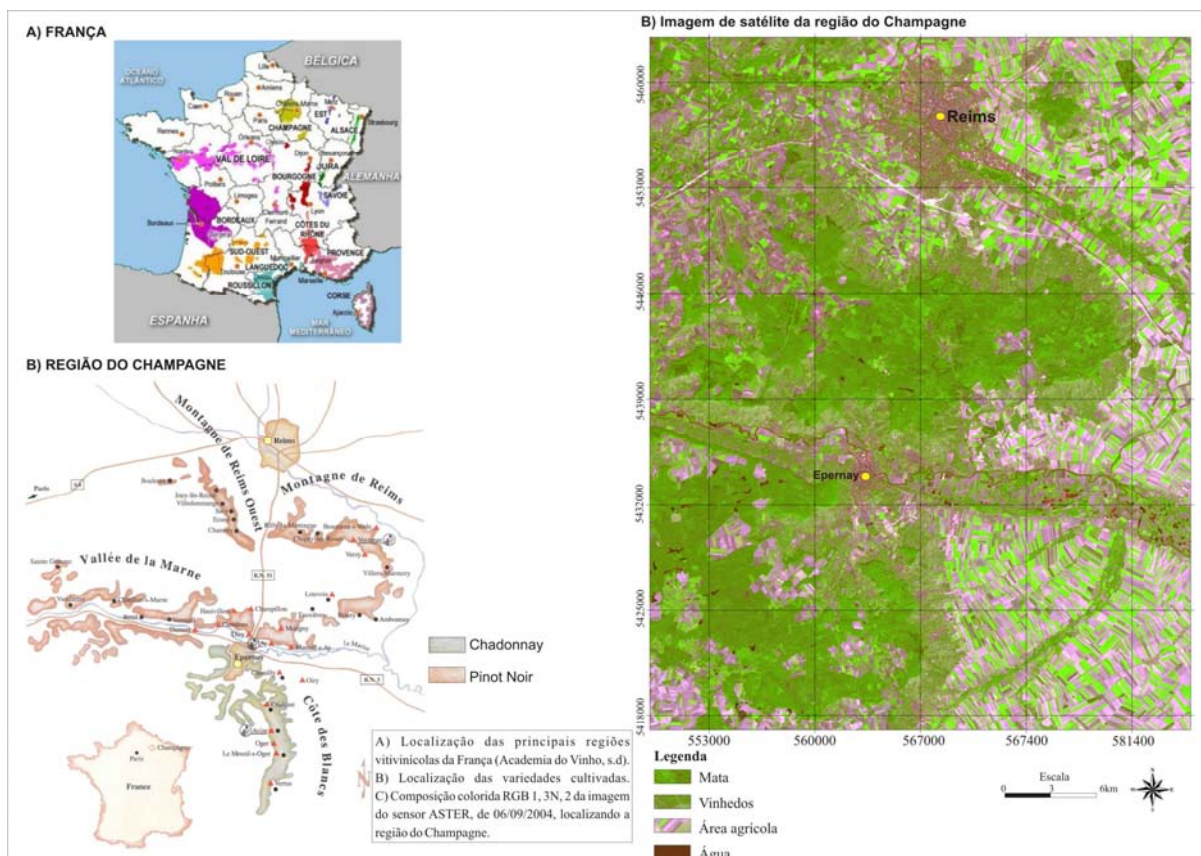




**Figura 15.** Localização do Château Duhart Milon.

### 3.1.2 Champagne

A região do Champagne está localizada a Leste de Paris, sendo famosa pela produção de espumantes, em geral, os melhores do mundo (Figura 16). É a região de qualidade mais setentrional do país, perfazendo 34 mil hectares. O clima é oceânico, com verões temperados. As temperaturas são inferiores a Bordeaux, com máxima não ultrapassando os 25°C no mês de julho e mínima inferior a 3°C no mês de janeiro (Allmetsat, s.d.). Os índices pluviométricos estão ente 650 a 700 mm anuais. Os solos são calcários, ajudando a irradiar os fracos raios solares incidentes na região (Amarante, 2005).



**Figura 16.** Localização da região do Champagne.

O Champagne é produzido com as uvas Pinot Noir, Chardonnay e Pinot Meunier. Como está localizado muito ao norte da França, apresenta temperaturas mais baixas, fazendo com que as uvas amadureçam menos, ficando com bastante acidez, o que é ideal para a produção de espumantes (Lilla, 2005). As cidades de Reims ( $49^{\circ}15'13''N$  e  $4^{\circ}02'01''E$ ) e Épernay ( $49^{\circ}02'03''N$  e  $3^{\circ}57'27''E$ ) abrigam a maioria das casas produtoras de espumantes.

O sistema de condução desenvolvido na região é espaldeira, com orientação predominantemente NW-SE (Noroeste-Sudeste) apresentando uma densidade geralmente alta, da ordem de 10.000 plantas por hectare. As cepas estudadas foram Pinot Noir e Chardonnay.

### 3.1.3 Chile

O clima da zona vitícola chilena é mediterrâneo, com temperaturas médias anuais de  $14,0^{\circ}C - 14,4^{\circ}C$ . Sofre influência da Cordilheira dos Andes e do Oceano Pacífico. A proximidade dos Andes faz que no verão a massa de ar frio desça à noite. Logo, ocorrem temperaturas de  $30^{\circ}C-35^{\circ}C$  durante o dia, caindo à noite para  $10^{\circ}C-15^{\circ}C$ . Esse elevado gradiente térmico, de  $15^{\circ}C$  a  $20^{\circ}C$ , favorece a produção de uvas maduras de alta qualidade. O ar frio da corrente de Humboldt, proveniente do Pacífico, entra pelos vales e diminui o calor

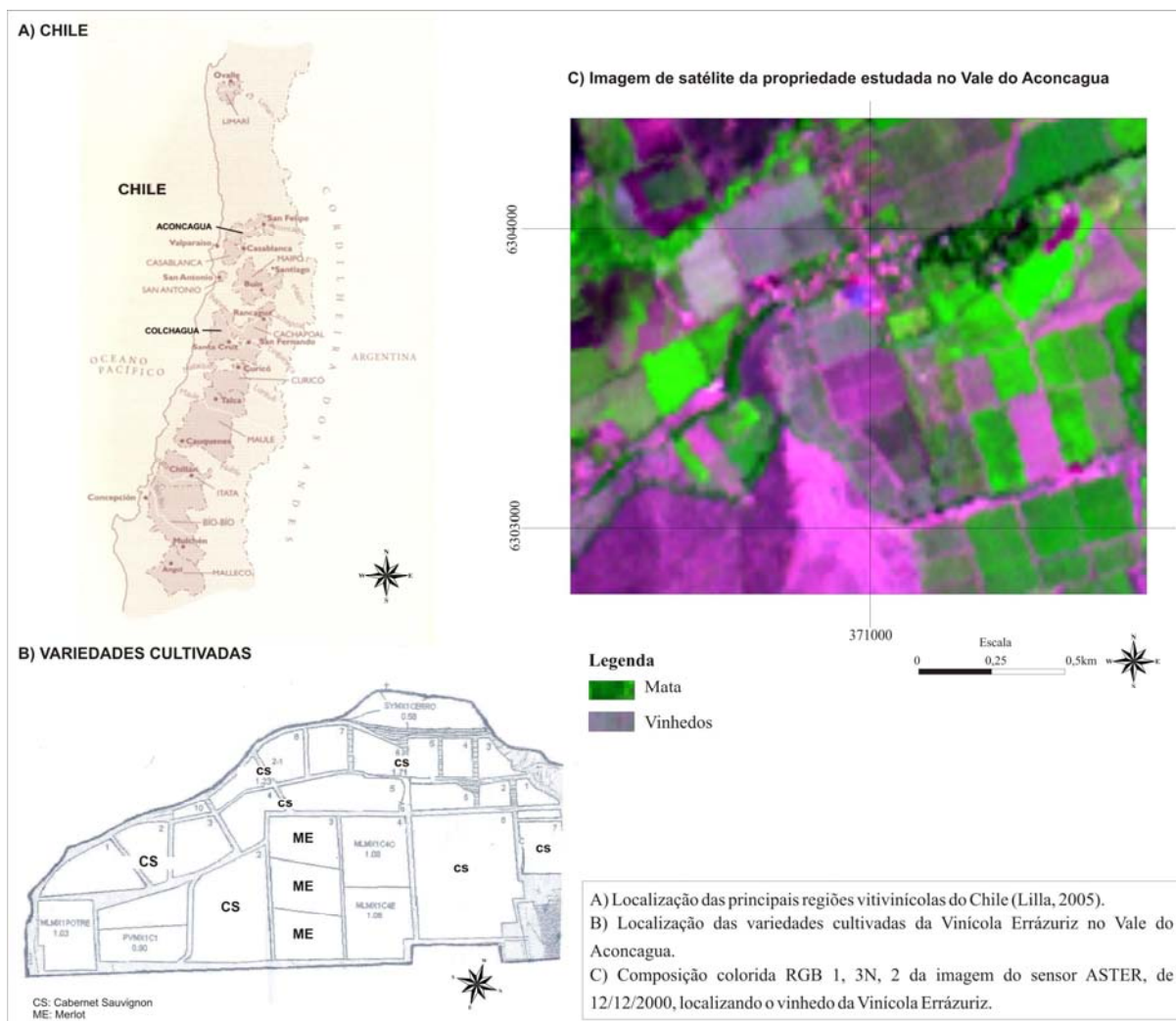
do verão, sobretudo na zona Sul, onde a Cordilheira da Costa (cordilheira costeira) é mais baixa. As chuvas concentram-se no inverno e em metade da primavera, aumentando nos sentidos Norte-Sul e Leste-Oeste. Em razão dos baixos índices pluviométricos na maioria das regiões vinícolas chilenas, a irrigação é permitida, sendo realizada com água dos rios e canais provenientes do degelo dos Andes na primavera e no verão (Amarante, 2005).

O Chile é dividido em três grandes regiões vitivinícolas, Norte, Centro e Sul. A região mais importante é a central, com comprimento de aproximadamente 400km, entre San Felipe (Aconcagua) e Linares (Maule), e largura média de 180km. É a mais extensa e melhor terra, onde se produz a maioria dos melhores vinhos finos.

As duas propriedades avaliadas nesta dissertação estão localizadas na região central do Chile, no Vale do Aconcagua (Figura 17) e Vale do Colchagua (Figura 18). O Vale do Aconcagua está localizado no limite entre as zonas central e o norte, compreendendo três sub-regiões: Aconcagua, Casablanca e San Antonio.

A vinícola Errázuriz ( $32^{\circ}47'55''S$  e  $70^{\circ}49'41''W$ ), avaliada neste trabalho, está inserida na sub-região do Aconcagua. A região é caracterizada por apresentar clima mediterrâneo, com verões quentes e secos, sendo a irrigação obrigatória, realizada com as águas do rio Aconcagua. A precipitação se concentra no inverno, apresentando ao menos sete meses com quantidades inferiores a 40mm. Na região de San Felipe, próxima à Errázuriz, a precipitação gira em torno dos 230mm anuais. A temperatura média é cerca de  $15^{\circ}C$ , com ligeiras variações dependendo da localização (DGAC, s.d).

Os solos da região são pobres e pedregosos. Na região de encosta são compostos de granito com um alto nível de cascalho e areia, enquanto que os solos na região dos vales apresentam textura franco argilosa. Estas características do solo permitem a obtenção de vinhos mais concentrados e estruturados. São cultivadas sobretudo uvas tintas, principalmente as cepas Cabernet Sauvignon, Shiraz, Carménère e Merlot (Errázuriz, s.d). O sistema de condução desenvolvido nesta propriedade é espaldeira, com orientação NW-SE (Noroeste-Sudeste) apresentando uma densidade média em torno de 7.000 plantas por hectare, em uma área de 30 hectares. As cepas estudadas foram Cabernet Sauvignon e Merlot.



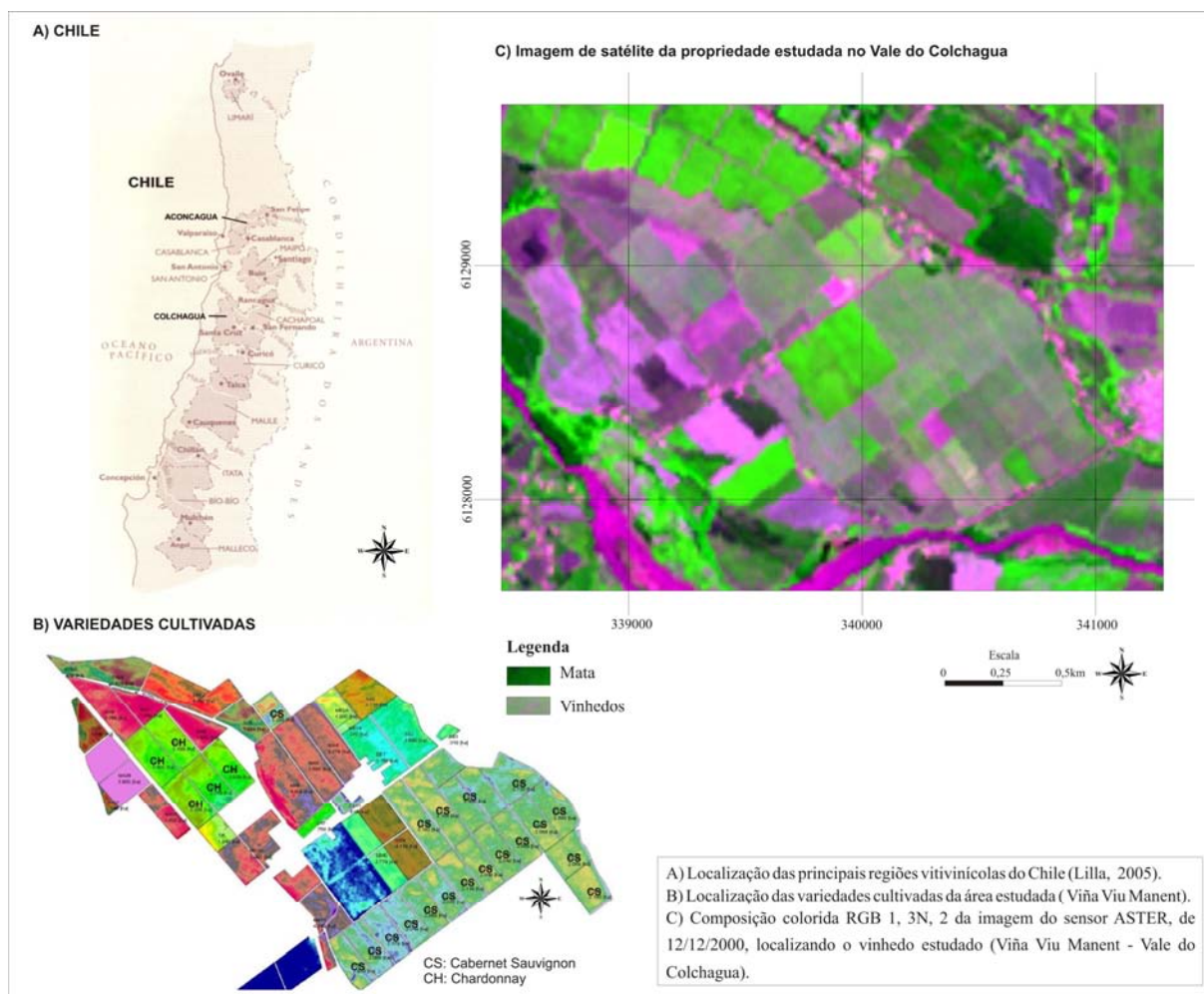
**Figura 17.** Localização da área estudada no Vale do Aconcagua.

O Vale do Colchagua situa-se a Sul do Vale do Aconcagua. O regime de chuvas é de 450 a 560mm anuais, sendo que a suplementação de água vem do sistema fluvial Tinguiririca-Rapel. Os verões são quentes e secos e os invernos chuvosos (DGAC, s.d). Os solos são de rasos a profundos, com textura argilosa e bem drenados (Baglietto, 2003). Apresenta em torno de 20.000 hectares plantados, sendo mais de 90% de uvas tintas. O destaque é para Cabernet Sauvignon, com cerca da metade de todas as plantações. Das uvas brancas, apenas Chardonnay tem alguma significância.

A propriedade estudada pertence à Viña Viu Manent (34°39'04"S e 71°18'36"W), que nesta área tem 210 hectares, com o cultivo das uvas tintas Cabernet Sauvignon, Merlot, Malbec e Shiraz, e uvas brancas Chardonnay e Sauvignon Blanc. Neste estudo foram avaliadas as variedades Cabernet Sauvignon e Chardonnay. O sistema de condução é espaldeira, com orientação no sentido NE-SW (Nordeste-Sudoeste). A distância média entre



as fileiras e a distância entre as plantas é de 1,5 metros e 0,80 metros, respectivamente, com uma densidade média de 8.300 plantas por hectare.



**Figura 18.** Localização da área estudada no Vale do Colchagua.

### 3.1.4 Encruzilhada do Sul

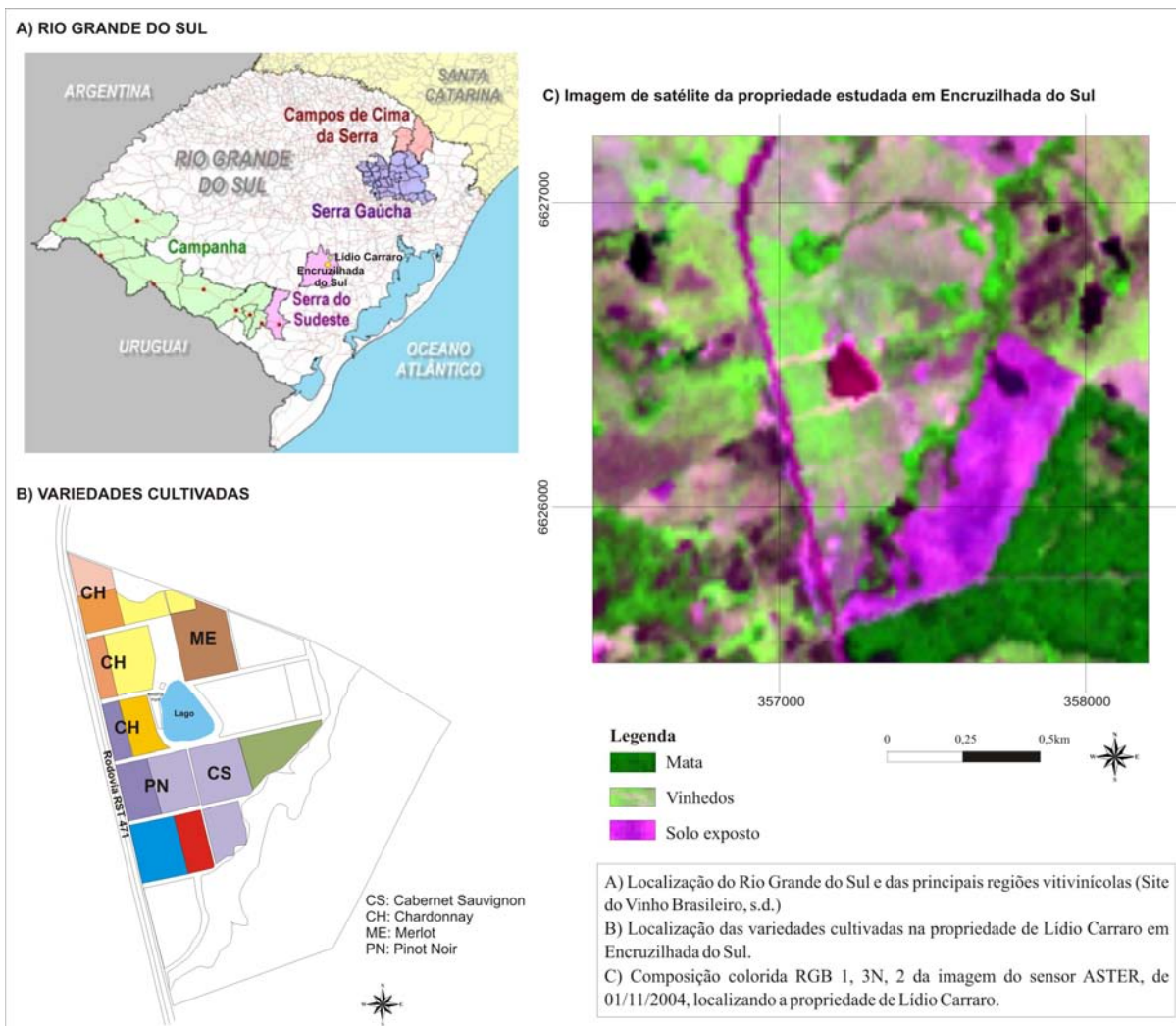
A viticultura é uma atividade econômica recente no Brasil, quando comparada aos tradicionais países produtores da Europa, especialmente no que se refere a vinhos finos. A área cultivada é de aproximadamente 77 mil hectares, com vinhedos estabelecidos desde o extremo sul do país, até regiões situadas muito próximas ao Equador (Ibravin, s.d). O Rio Grande do Sul é o principal produtor de uvas, apresentando 53,89% da superfície vitícola do país (Mello, 2007).

O município de Encruzilhada do Sul está inserido na Serra do Sudeste do Rio Grande do Sul, uma das quatro regiões de maior expressividade na produção de uvas do Estado. A produção na região é exclusivamente voltada para cultivares viníferas (*Vitis vinifera* L.), com

predominância das uvas tintas Cabernet Sauvignon, Merlot, Tannat, Cabernet Franc, Pinot Noir, Touriga Nacional, Tempranillo e, entre as uvas brancas, destacam-se Chardonnay, Sauvignon Blanc, Pinot Griogio e Ugni Blan (Trebiano) (Ibravin, s.d). É uma região do Estado em que a vitivinicultura veio ganhar maior importância econômica a partir de investimentos de vinícolas situadas na Serra Gaúcha, em virtude de suas condições climáticas serem mais favoráveis à produção de uvas viníferas.

Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é subtropical, apresentando verão quente, com chuvas em todos os meses, com mais de 30mm de chuva no mês mais seco. Em Encruzilhada do Sul, a temperatura média anual é de 17,1°C, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais quentes do ano, com temperaturas médias superiores a 21°C. A precipitação anual é de 1.541mm, sendo o mês de julho o de maior precipitação (157mm) e o mês de abril o de menor precipitação (97mm) (Embrapa, 2003). A região está localizada na província geomorfológica conhecida como Escudo Sul-Rio-Grandense, com relevo formado predominantemente por colinas suaves, apresentando solo de origem granítica, com baixos teores de matéria orgânica e boa drenabilidade (Site do Vinho Brasileiro, s.d). Apresenta altitude variando de 200m a 400m, não ultrapassando os 600m. Os dias ensolarados e noites frias, principalmente no período de maturação das uvas, é uma das aptidões dessa região que contribui para um maior índice de polifenóis, importante para a coloração, estrutura e potencial de envelhecimento dos vinhos (Site do Vinho Brasileiro, s.d).

A área estudada no município de Encruzilhada do Sul é de propriedade da Vinícola Lídio Carraro (30°58'3"S e 52°20'21"W), cultivada com as uvas Pinot Noir, Cabernet Sauvignon, Merlot e Chardonnay, todas avaliadas neste estudo (Figura 19). O sistema de condução adotado é espaldeira com orientação Noroeste-Sudeste, apresentando distância média entre as fileiras de 2,0 metros e entre cada planta, 1,2 metros, com uma densidade de 4.000 plantas por hectare. O solo entre as fileiras não é totalmente vegetado, sendo caracterizado por uma mistura de solo nu e gramíneas.



**Figura 19.** Localização da área estudada em Encruzilhada do Sul.

## 3.2 Materiais

### 3.1.1 Dados orbitais

As imagens do sensor ASTER utilizadas neste trabalho foram obtidas junto à NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) através do LPDAAC (*Land Processes Distributed Active Archive Center*), com as datas listadas na Tabela 2. Todas as imagens adquiridas foram de nível 1B, ou seja, fornecidas aos usuários com correção geométrica e calibração radiométrica. Graças ao projeto submetido pelo CEPSRM à NASA e aprovado por esta, o custo destes dados foi nulo.

**Tabela 2:** Datas das imagens do sensor ASTER selecionadas.

País	Região/Terroir	Data		
		(dd/mm/aaaa)	(dd/mm/aaaa)	(dd/mm/aaaa)
Brasil	Encruzilhada do Sul	01/11/2004	17/11/2004	06/03/2004
Chile	Vale do Aconcagua	12/12/2000	08/02/2002	24/02/2002
	Vale de Colchagua	12/12/2000	29/01/2001	24/02/2002
França	Bordeaux	24/07/2001	11/08/2001	26/08/2007
	Champagne	08/06/2006	17/07/2006	06/09/2004

Os critérios adotados para a seleção das datas das imagens foram a ausência de nuvens sobre as áreas de interesse e período do ciclo fenológico em que a videira apresentava folhas. Buscou-se selecionar imagens em três diferentes períodos de desenvolvimento do dossel. Entretanto, devido à indisponibilidade de dados, não foi possível a aquisição de imagens do mesmo ciclo anual.

### 3.1.2 Dados cartográficos

Mapas ilustrativos dos vinhedos de cada uma das regiões estudadas foram fornecidos pelos proprietários, com indicativo da localização geográfica de cada variedade. Como dado auxiliar, foram utilizadas imagens do serviço *Google Earth*.

### 3.1.3 Softwares

Para manipulação e processamento das imagens do sensor ASTER foi empregado o *software* Envi, versão 4.3 e o módulo FLAASH, além do *software Crosstalk Correction*. Para a análise estatística dos dados gerados foram utilizados os *softwares* Excel e SPSS versão 11.5 *for Windows*.

## 3.3 Métodos

### 3.3.1 Processamento digital das imagens

As cenas referentes ao subsistema SWIR (bandas 4 a 9) foram submetidas à correção do efeito *crosstalk* utilizando o aplicativo *Crosstalk Correction*. Após correção do efeito de *crosstalk*, as bandas do SWIR foram reamostradas para 15 metros de resolução espacial, visando igualar-se às bandas do VNIR para que fosse possível a combinação dos dois subsistemas (VNIR e SWIR) em um único arquivo. O método utilizado para a reamostragem foi vizinho mais próximo, para que não houvesse modificação nos valores originais dos pixels. Os arquivos resultantes foram convertidos para o formato BIL, para que pudessem ser processados pelo FLAASH.



As imagens que foram utilizadas nesta pesquisa estão originalmente calibradas em números digitais, sendo necessária à conversão para valores em radiância para que se possa efetuar a correção atmosférica. Os valores em números digitais (ND) registrados em cada banda não representam diretamente a radiação refletida ou emitida pelos alvos e nem estão numa mesma escala. Assim estes valores não podem ser comparados entre si, não sendo possível o traçado de curvas espectrais sem que seja feita a conversão de ND para valores em radiância. Como na versão 4.3 do ENVI-FLAASH, as imagens ASTER são lidas automaticamente em valores de radiância, não foi necessária esta conversão.

Para a correção atmosférica das imagens foi utilizado o modelo MODTRAN 4 (*Moderate Atmospheric Radiance and Transmittance*) através do módulo FLAASH. Foram necessários alguns parâmetros de entrada, como a localização geográfica do centro da imagem (latitude e longitude), altitude média do terreno (km), tamanho do pixel (m), data e hora de aquisição da imagem, modelo atmosférico, modelo de aerossol. Estes dados possibilitaram que o aplicativo determinasse a posição solar e a sua incidência na superfície. Detalhes dos parâmetros utilizados neste procedimento são mostrados no Anexo 1. Após a correção dos efeitos de espalhamento e absorção atmosférica, obteve-se uma imagem de reflectância de superfície.

### 3.3.2 Aquisição dos dados espectrais e análise estatística

Para a caracterização espectral das quatro variedades de uva estudadas, foram coletadas amostras de cada variedade, em cada região, com um determinado número de pixels, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3:** Amostras coletadas de cada variedade, em cada região indicando o número de pixels e área.

Região/Terroir	Variedade							
	Cabernet Sauvignon		Merlot		Chardonnay		Pinot Noir	
	Nº pixels	Área (ha)	Nº pixels	Área (ha)	Nº pixels	Área (ha)	Nº pixels	Área (ha)
Aconcagua	50	1,125	50	1,125	-	-	-	-
C. Giscours	68	1,53	60	1,35	-	-	-	-
C Duhart Milon	80	1,8	70	1,57	-	-	-	-
Champagne	-	-	-	-	198	4,45	207	4,65
Colchagua	100	2,25	-	-	100	2,25	-	-
Encruzilhada do Sul	50	1,125	41	0,92	50	1,125	36	0,81

Para a seleção das amostras, foram analisadas as imagens de satélite, os mapas fornecidos pelos proprietários dos vinhedos e imagens do *Google Earth*, visando identificar os lotes que melhor representassem as variedades. As regiões de interesse (ROI's) foram delimitadas através da digitalização de polígonos no entorno de cada área na imagem ASTER, tomando o cuidado para selecionar pixels que realmente indicassem a variedade de interesse. Pixels de borda foram desconsiderados. As ROI's geradas em uma imagem podem ser visualizadas em outra, desde que ambas estejam georreferenciadas. Assim, foi necessária a digitalização dos lotes de cada variedade em apenas uma das imagens.

Após a definição das regiões de interesse, foi possível a geração das estatísticas de cada banda, para cada uma das amostras, como a reflectância média e o desvio padrão. Além disso, foi possível visualizar detalhadamente o valor de reflectância em cada um dos pixels pertencentes à amostra. Estas estatísticas foram exportadas em \*.txt, editadas no *software* Excel para subsequente análise no SPSS.

No SPSS foi verificada a existência de diferença entre os valores médios de reflectância amostrais levando em consideração dois aspectos: a) as variedades que ocorriam em uma mesma região; b) a mesma variedade que ocorria em duas ou mais regiões. Para isso, utilizou-se teste *t* para amostras independentes e ANOVA (*Analysis of Variance*), ao nível de significância de 5%. Segundo Hair et al. (2005), o teste *t* é utilizado para avaliar a significância estatística da diferença entre duas médias amostrais para uma única variável dependente. O teste *t* é um caso especial de ANOVA para dois grupos de uma variável de tratamento. Identificada diferença significativa entre as médias dos grupos pela aplicação da ANOVA, utilizou-se o teste *post hoc* de *Tukey* ao nível de significância de 5% para identificar as médias de quais grupos que diferiam entre si. A ANOVA é uma técnica estatística usada para determinar se as amostras de três ou mais grupos surgem de populações com médias iguais (Hair et al., 2005). Além disso, foi verificada a similaridade existente de uma mesma variedade que ocorria em mais de uma região, nas três diferentes datas através da aplicação de análise multivariada de agrupamentos, também chamada de análise de *cluster*. A análise de agrupamentos tem por objetivo dividir os elementos da amostra em grupos de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com respeito às variáveis (características) que neles foram medidas, e os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação às mesmas características (Mingoti, 2007). Desta forma, se a classificação for bem sucedida, os elementos dentro dos agrupamentos estarão próximos quando representados graficamente e diferentes agrupamentos estarão distantes (Hair et al.,

2005). A medida de similaridade adotada foi a Distância Euclidiana e a técnica empregada para a formação dos agrupamentos foi a de ligação completa, também chamada de vizinho mais distante.

Para a análise discriminante foram extraídos 50 pixels da amostra original de cada variedade para as regiões de Champagne, Bordeaux e Vale do Colchagua, toda a amostra do Vale do Aconcagua (50 pixels para cada variedade) e para a região de Encruzilhada do Sul, todos os pixels da amostra, sendo 50 pixels para Cabernet Sauvignon e Chardonnay, 41 pixels para Merlot e 36 pixels para Pinot Noir. Segundo Hair et al. (2005), a amostra deve no mínimo exceder o número de variáveis independentes, e portanto, devem ter tamanho maior que 10 pixels, visto que as 9 bandas do sensor ASTER foram utilizadas na análise. Na prática, a orientação é de que a amostra apresente mais de 20 observações. Além disso, os grupos não devem ter tamanhos relativamente diferentes, pois pode causar impacto na estimação da função discriminante e na classificação das observações (grupos maiores têm maior chance de classificação). O método escolhido para determinar as funções discriminantes foi o simultâneo (direto). Este método envolve a computação da função discriminante de modo que todas as variáveis independentes são consideradas juntas. Assim, a função discriminante é computada com base no conjunto inteiro de variáveis independentes, sem considerar o poder discriminatório de cada variável independente (Hair et al, 2005). A significância estatística de 5% foi utilizada para testar a função discriminante, obtida pelo coeficiente *Lambda de Wilks*.

Para verificar a habilidade das funções discriminantes em diferenciar as variedades de uva, seus coeficientes não padronizados foram utilizados para calcular o valor discriminante para cada pixel na imagem. Uma máscara foi aplicada sobre a imagem, isolando os lotes das variedades presentes em cada região. Esta máscara foi elaborada através da digitalização de polígonos no entorno destes lotes com base nos mapas fornecidos pelos proprietários dos vinhedos. Através do cálculo da distância mínima entre o centróide para os valores discriminantes dos pixels isolados pela máscara, a imagem foi classificada. Assim, os pixels foram rotulados na classe (variedades de uva) em que a distância resultou num valor mínimo em relação ao centróide. A validação final foi realizada através da comparação da imagem classificada com as informações contidas nos mapas. As datas das imagens selecionadas para testar a função discriminante foram baseadas na avaliação do NDVI e do centróide da amostra das variedades estudadas.

A Figura 20 apresenta o fluxograma metodológico utilizado para a caracterização e discriminação espectral dos vinhedos nas áreas estudadas.

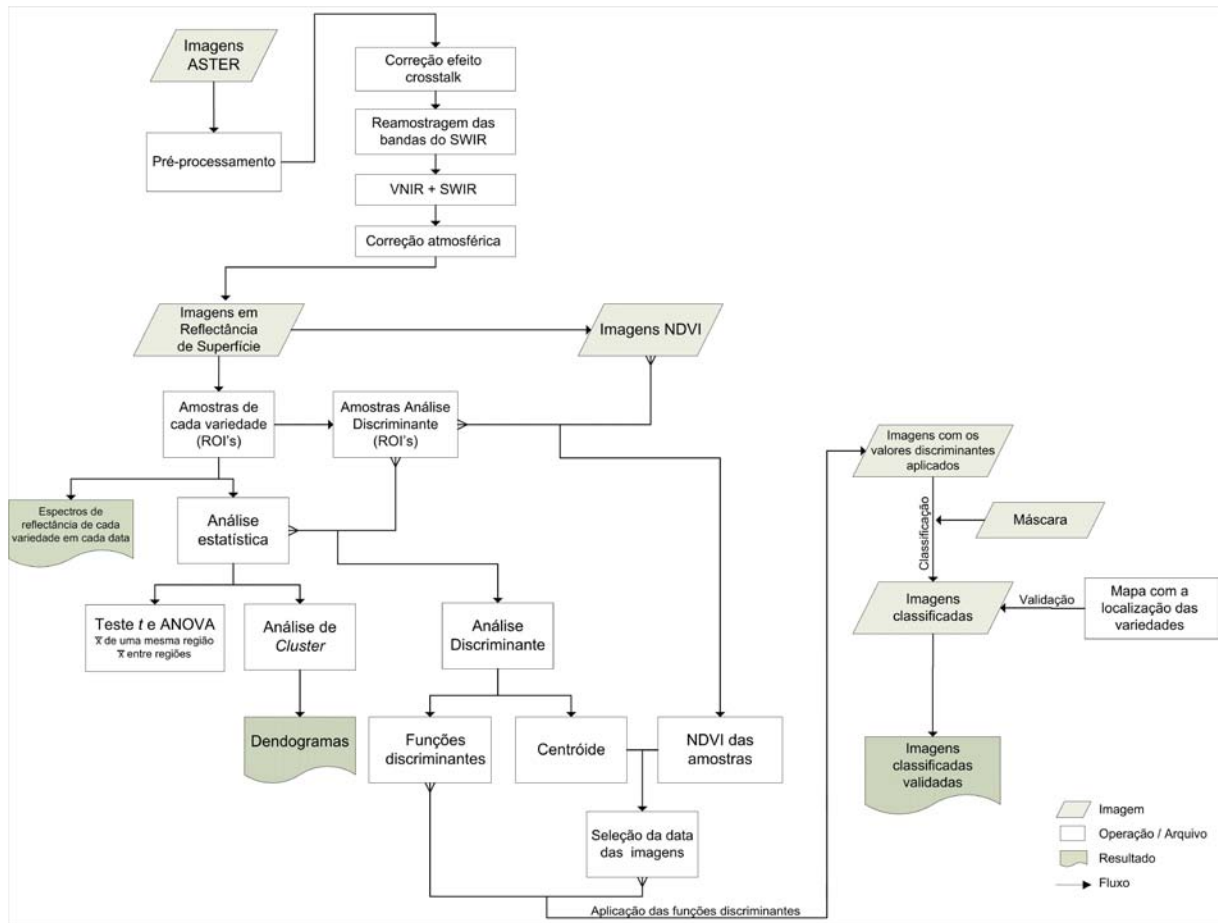
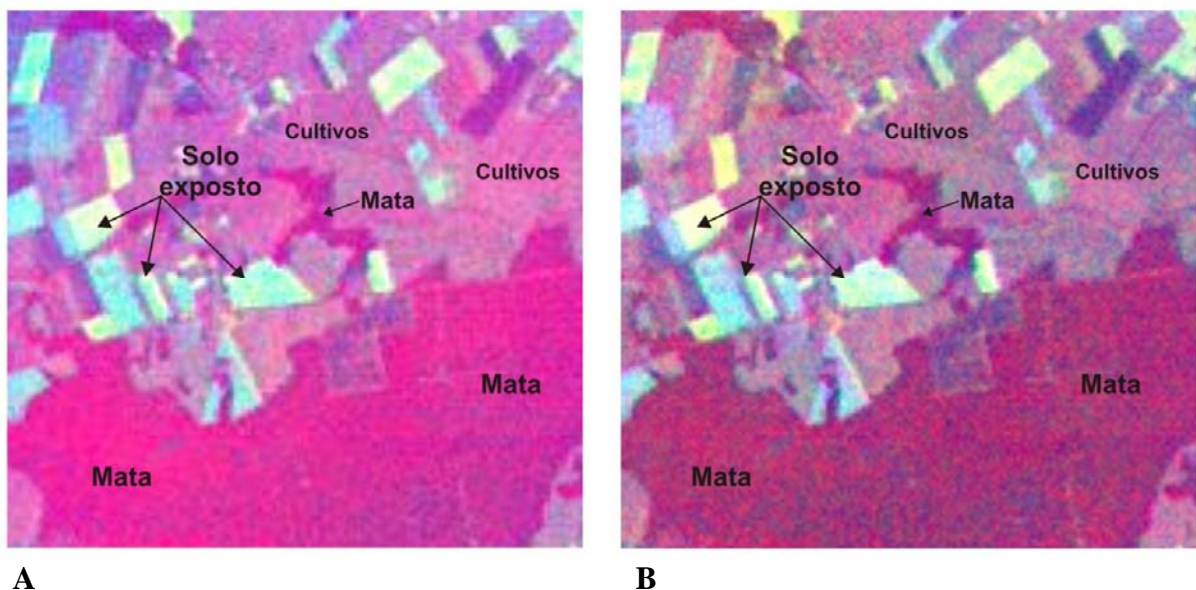


Figura 20. Fluxograma da metodologia utilizada.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Correção do efeito de *crosstalk*

A Figura 21 ilustra o efeito da correção de *crosstalk* na imagem do sensor ASTER da região Champagne. É possível observar que a imagem “A” apresenta um brilho maior em relação a imagem “B”, principalmente na região de transição entre vegetação densa e áreas agrícolas e solo exposto.

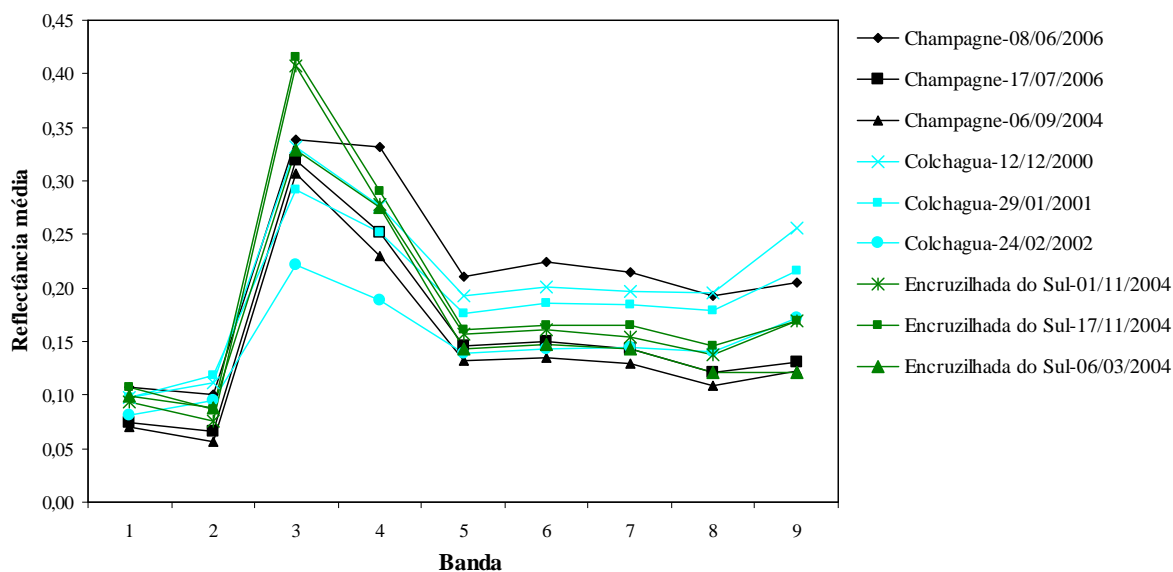


**Figura 21.** Composição colorida RGB 985 da imagem do sensor ASTER com realce *decorrelation stretch* sem (A) e com (B) a correção do *crosstalk*

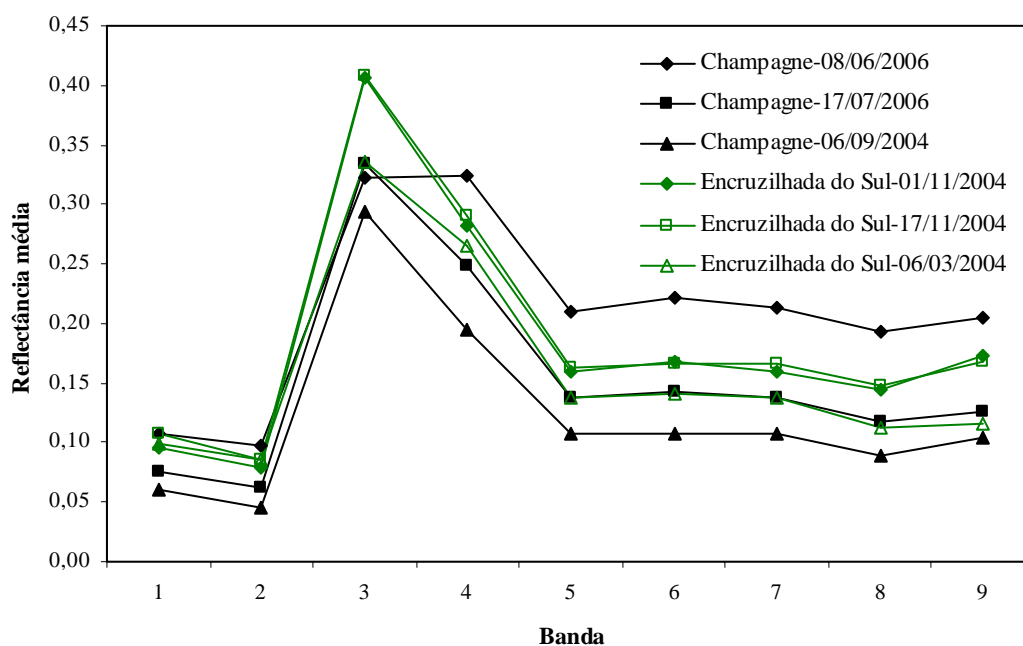
### 5.2 Comportamento espectral das variedades

#### 5.2.1 Análise por variedade

As Figuras 22 e 23 mostram o comportamento espectral da variedade branca Chardonnay e da tinta Pinot Noir, respectivamente nas regiões em que ocorrem.



**Figura 22.** Comportamento espectral de Chardonnay.



**Figura 23.** Comportamento espectral de Pinot Noir.

De maneira geral, as Figuras 22 e 23 mostram que à medida que o ciclo fenológico avança, a reflectância nas bandas do VNIR e do SWIR tende a diminuir. Na região do visível isto é ocasionado pela maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes devido à maior quantidade de folhas, o que acarreta uma maior absorção, principalmente na região do vermelho (banda 2). Já no infravermelho próximo (banda 3), a estrutura celular interna da folha passa a dominar a resposta espectral nessa região. De acordo com Ponzoni (2001) em folhas maduras, os espaços intercelulares são reduzidos, assim como o ar presente no interior desses espaços, o que leva a uma diminuição na reflectância principalmente na região do

infravermelho próximo. Na região do infravermelho médio (bandas 4 a 9) a diminuição da reflectância está relacionada com a absorção da radiação pela água contida nas folhas, já que em folhas mais maduras, o conteúdo de água no seu interior tende a ser maior (Patakas et al., 1997). Outro fator que pode estar influenciando na diminuição da reflectância é a fase do ciclo fenológico em que a videira se encontra. As datas em que cobrem a fase do ciclo após o início do amadurecimento tendem a apresentar uma diminuição da reflectância, em virtude da diminuição da taxa de desenvolvimento do dossel, raiz e tronco, em favor de um significativo incremento na taxa de desenvolvimento da uva (Jackson, 1994), o que é observado principalmente na região do Champagne para ambas as variedades (Chardonnay e Pinot Noir) em 06/09/2004.

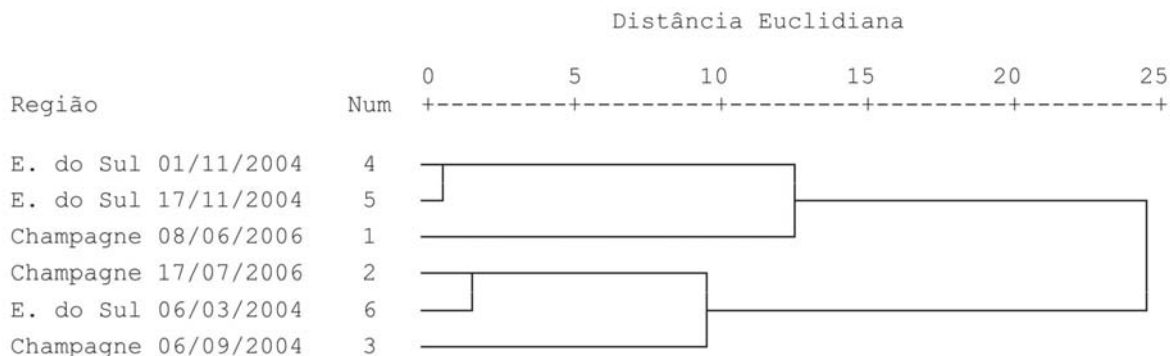
A região de Encruzilhada do Sul apresenta os maiores valores de reflectância na banda 3 ( $0,807\mu\text{m}$ ) para ambas as variedades nas datas de 01/11/2004 e 17/11/2004, diminuindo a reflectância no estágio mais avançado do ciclo (06/03/2004). Observa-se também que o comportamento espectral das duas variedades (Chardonnay e Pinot Noir) para esta região, ao longo das nove bandas do sensor ASTER nas três datas avaliadas é muito semelhante, o que pode dificultar a discriminação espectral destas duas variedades. No Vale do Colchagua observaram-se os menores valores de reflectância para a banda 3 nas datas 29/01/2001 e 24/02/2002 para Chardonnay. Para Pinot Noir, a região do Champagne apresenta o menor valor para a data de 06/09/2004. Na região do Champagne na data de 08/06/2006, as bandas do SWIR de Chardonnay (exceto a banda 9) e de Pinot Noir apresentam o maior valor de reflectância. Este comportamento pode estar associado com a contribuição do solo na resposta espectral dos lotes avaliados, o que fica evidenciado, principalmente, pela alta reflectância na banda 4 ( $1,656\mu\text{m}$ ) quando comparado com a banda 3 ( $0,807\mu\text{m}$ ), nas quais observa-se praticamente os mesmos valores. De forma geral, na banda 4, a vegetação apresenta reflectância menor que na banda 3, e o solo apresenta alta reflectância na banda 4.

Para verificar se a cepa Chardonnay apresentava comportamento espectral semelhante nas três regiões, os dados das imagens foram agrupados em datas em que supostamente compreendiam a mesma fase do ciclo fenológico. Foram feitos dois agrupamentos, sendo um com as datas que indicavam uma fase mais recente (08/06/2006, 12/12/200 e 17/11/2004) e outro que indicava uma fase mais tardia de desenvolvimento do dossel (06/09/2004, 24/02/2002 e 06/03/2004). Na Tabela 4 é apresentado os resultados do agrupamento feito com as datas mais tardias. Na datas mais recentes de desenvolvimento do dossel, as médias de





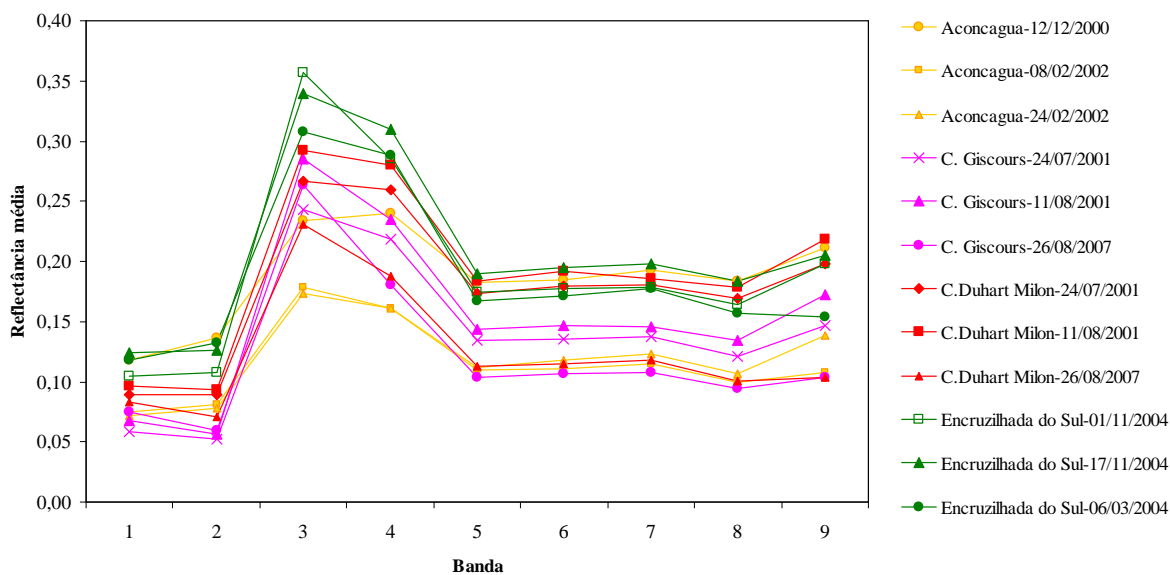
médias de reflectância para as regiões do Champagne e Encruzilhada do Sul apresentavam em ambos os grupos e em todas as bandas diferenças significativas. A figura 25 ilustra a análise de *cluster*.



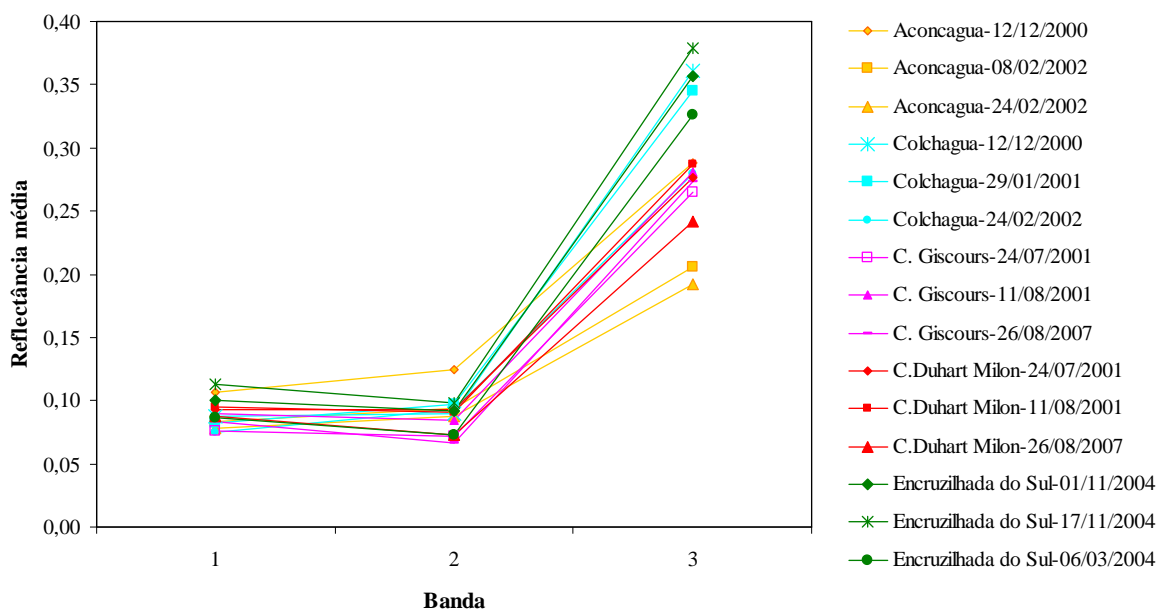
**Figura 25.** Análise de *cluster* para Pinot Noir.

Na análise de *cluster* (Figura 25), detectou similaridade entre os dois grupos, sendo que para as datas mais adiantadas do ciclo, a similaridade foi maior, a qual pode ser evidenciada pela menor distância euclidiana para estas datas quando comparado com as datas mais precoces. A maior similaridade entre regiões foi observada entre Encruzilhada do Sul (06/03) e Champagne (17/07), sendo esta última data, não contemplada na ANOVA.

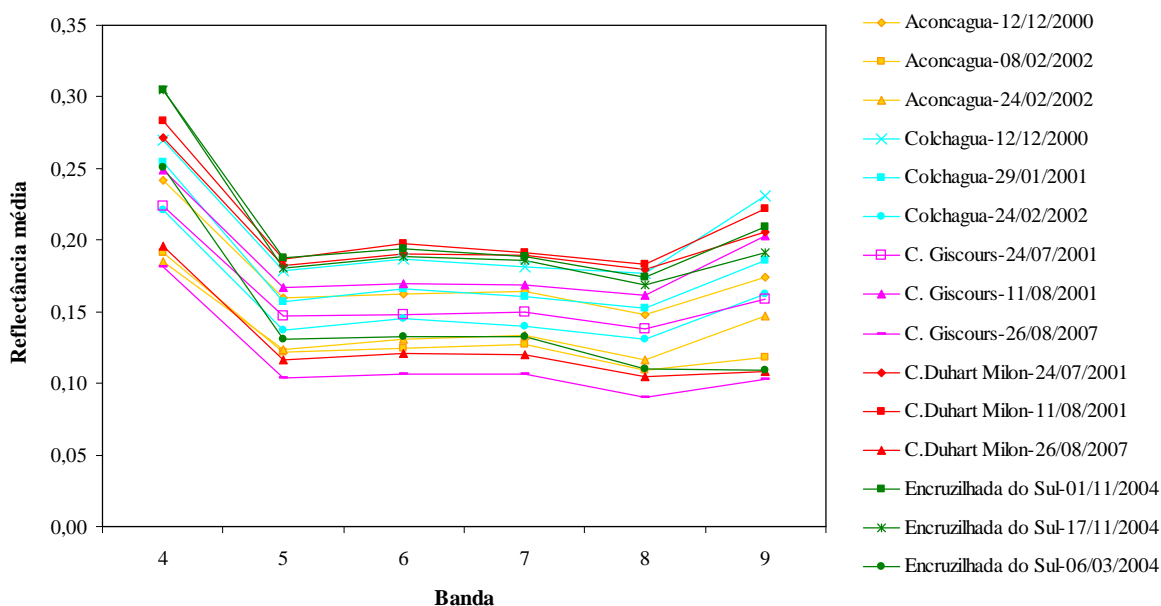
As Figuras 26, 27 e 28 apresentam os valores de reflectância média para as variedades tintas Merlot e Cabernet Sauvignon.



**Figura 26.** Comportamento espectral de Merlot.



**Figura 27.** Comportamento espectral de Cabernet Sauvignon nas bandas do VNIR.



**Figura 28.** Comportamento espectral de Cabernet Sauvignon nas bandas do SWIR.

Observa-se que para Merlot e Cabernet Sauvignon ocorre um comportamento semelhante ao ocorrido com Chardonnay e Pinot Noir na região de Encruzilhada do Sul. Para Merlot, as bandas 3 e 4 apresentam reflectâncias superiores nas três datas avaliadas. Para Cabernet Sauvignon, a data de 17/11/2004 apresenta a maior reflectância na banda 3 e na banda 4. Na banda 3, para ambas as variedades, a região chilena do Vale Aconcagua, assim como ocorreu na região do Vale Colchagua, apresenta as menores reflectâncias para as datas de 08/02/2002 e 24/02/2002. Essa reflectância mais baixa pode estar relacionada com sombreamento múltiplo ocasionado pela presença de uma maior quantidade de folhas na

planta. Para Cabernet Sauvignon, a região do Château Giscours na data de 26/08/2007 apresenta as menores reflectâncias nas bandas do SWIR, sendo um indicador de uma maior quantidade de água no interior das folhas.

Para verificar se as cepas Merlot e Cabernet Sauvignon apresentam diferenças significativas com a mudança de *terroir*, analisaram-se as imagens da mesma forma que para Chardonnay e Pinot Noir. Para Merlot e Cabernet Sauvignon, os dois grupos avaliados corresponderam as seguintes datas: grupo 1 (24/07/2002, 12/12/2000 e 17/11/2004); grupo 2 (26/08/2007, 24/02/2002 e 06/03/2004). A Tabela 5 mostra os resultados obtidos para Merlot e as Tabelas 6 e 7 os resultados encontrados para Cabernet Sauvignon. Foram apresentadas somente as datas em que se verificou diferença significativa em alguma banda espectral. As Figuras 29 e 30 ilustram a análise de *cluster* para estas duas variedades nas regiões em que ocorrem.

**Tabela 5:** Análise estatística da reflectância média para as datas que apresentaram alguma diferença significativa para Merlot.

Região	Data	Banda								
		1 (0,556 $\mu$ m)	2 (0,661 $\mu$ m)	3 (0,807 $\mu$ m)	4 (1,656 $\mu$ m)	5 (2,167 $\mu$ m)	6 (2,209 $\mu$ m)	7 (2,262 $\mu$ m)	8 (2,336 $\mu$ m)	9 (2,4 $\mu$ m)
C. Giscours	26/8/2007	0,0751 C	0,0594 D	0,2632 B	0,1807 C	0,1038 C	0,1063 C	0,1073 D	0,0944 D	0,1039 C
C. Duhart Milon	26/8/2007	0,0828 A	0,0704 C	0,2310 C	0,1879 B	0,1125 B	0,1152 B	0,1179 C	0,1008 C	0,1034 C
Aconcagua	24/2/2002	0,0719 C	0,0778 B	0,1734 D	0,1612 D	0,1117 B	0,1175 B	0,1229 B	0,1071 B	0,1388 B
Encruzilhada do Sul	6/3/2004	0,1177 B	0,1323 A	0,3079 A	0,2885 A	0,1669 A	0,1711 A	0,1771 A	0,1567 A	0,1538 A

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância.

**Tabela 6:** Análise estatística da reflectância média para as datas que apresentaram alguma diferença significativa para Cabernet Sauvignon.

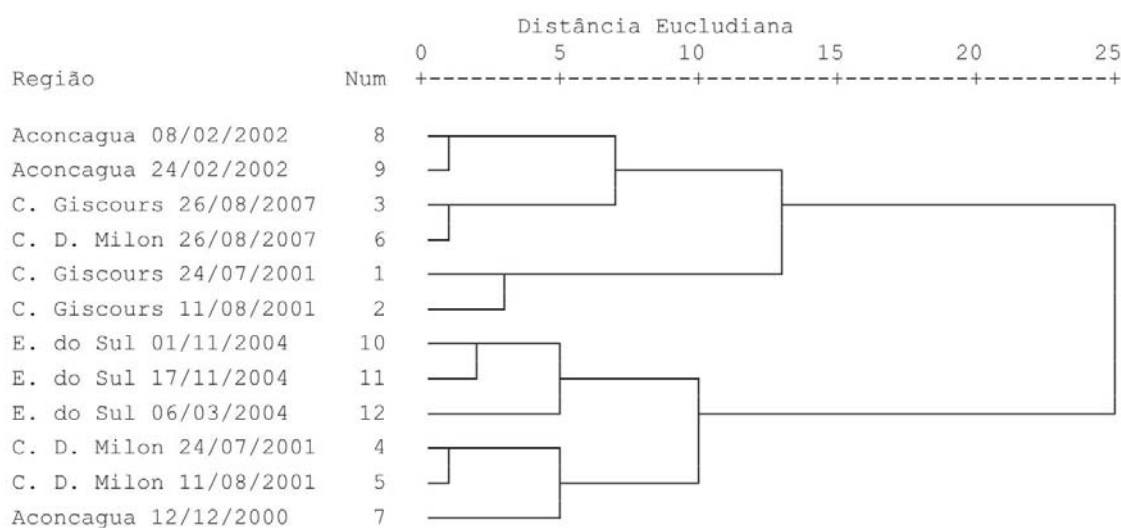
Região	Data	Banda								
		1 (0,556 $\mu$ m)	2 (0,661 $\mu$ m)	3 (0,807 $\mu$ m)	4 (1,656 $\mu$ m)	5 (2,167 $\mu$ m)	6 (2,209 $\mu$ m)	7 (2,262 $\mu$ m)	8 (2,336 $\mu$ m)	9 (2,4 $\mu$ m)
C. Giscours	24/7/2001	0,0759 C	0,0722 D	0,2653 E	0,2241 D	0,1471 C	0,1482 C	0,1497 D	0,1381 D	0,1589 E
C. Duhart Milon	24/7/2001	0,0925 B	0,0928 B C	0,2766 D	0,2717 B	0,1822 A	0,1900 A	0,1894 A	0,1798 A	0,2053 B
Aconcagua	12/12/2000	0,1065 A	0,1247 A	0,2885 C	0,2418 C	0,1597 B	0,1627 B	0,1642 C	0,1479 C	0,1740 D
Colchagua	12/12/2000	0,0874 B	0,0892 C	0,3609 B	0,2696 B	0,1787 A	0,1866 A	0,1817 B	0,1772 A	0,2306 A
Encruzilhada do Sul	17/11/2004	0,1132 A	0,0980 B	0,3789 A	0,3053 A	0,1803 A	0,1881 A	0,1859 A B	0,1687 B	0,1911 C

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância.

**Tabela 7:** Análise estatística dos resultados da reflectância média para as datas que apresentaram alguma diferença significativa para Cabernet Sauvignon.

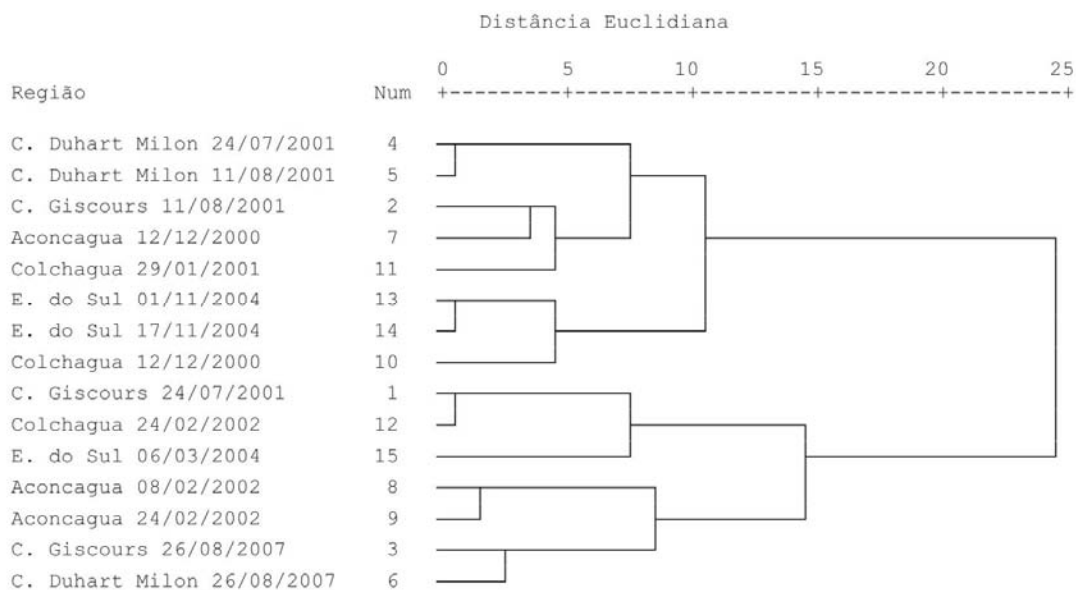
Região	Data	Banda								
		1 (0,556µm)	2 (0,661µm)	3 (0,807µm)	4 (1,656µm)	5 (2,167µm)	6 (2,209µm)	7 (2,262µm)	8 (2,336µm)	9 (2,4µm)
C. Giscours	26/8/2007	0,0832 B	0,0660 D	0,2731 C	0,1811 C	0,1037 E	0,1061 D	0,1066 D	0,0906 E	0,1027 D
C. Duhart Milon	26/8/2007	0,0874 A	0,0731 C	0,2422 D	0,1954 A	0,1162 D	0,1206 C	0,1199 C	0,1047 D	0,1082 C
Aconcagua	24/2/2002	0,0783 C	0,0875 B	0,1925 E	0,1850 C	0,1232 C	0,1304 B	0,1338 B	0,1166 B	0,1468 B
Colchagua	24/2/2002	0,0750 C	0,0926 A	0,2795 B	0,2211 B	0,1371 A	0,1450 A	0,1398 A	0,1309 A	0,1621 A
Encruzilhada do Sul	6/3/2004	0,0864 A B	0,0726 C	0,3259 A	0,2509 A	0,1307 B	0,1323 B	0,1327 B	0,1099 C	0,1092 C

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância.



**Figura 29.** Análise de *cluster* para Merlot.

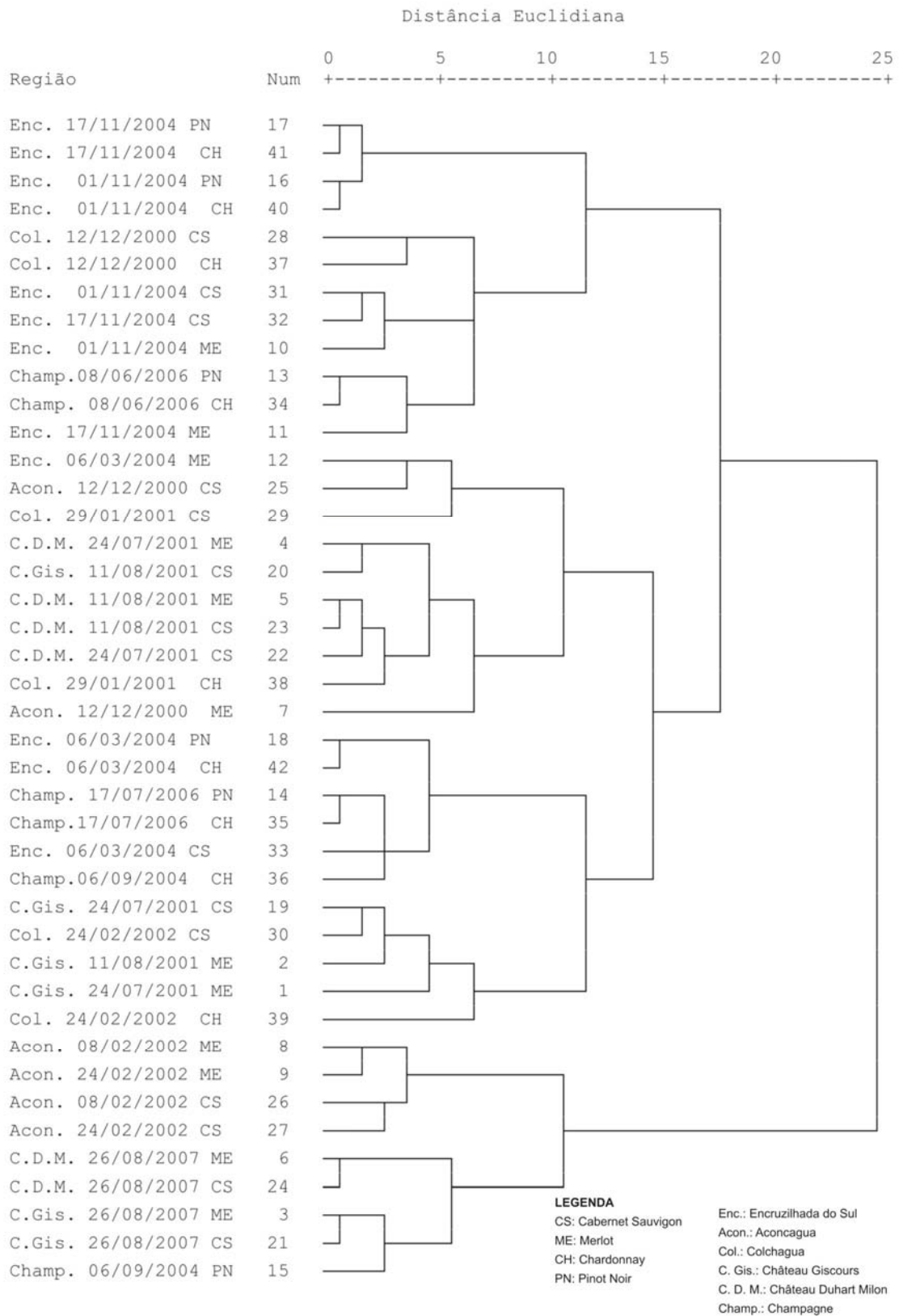
Para Merlot, as datas do grupo 2 (Tabela 5), que representam um estágio mais avançado de desenvolvimento do dossel, foram onde as quatro regiões avaliadas apresentaram maior similaridade. Na banda 1, a média de reflectância do Château Giscours não difere significativamente da média de reflectância do Vale Aconcagua. Para as bandas 5 e 6, o Château Duhart Milon e o Vale Aconcagua não apresentam diferenças entre as médias. Somente na banda 9, as duas regiões de Bordeaux (Château Giscours e Château Duhart Milon) apresentam médias que não diferem entre si. Este resultado corrobora a Figura 29, a qual mostra que Duhart Milon, Giscours e Aconcagua para as datas mais tardias são similares entre si. Além disso, é possível notar que as regiões de Duhart Milon e Aconcagua em 24/07/2001 e 12/12/2000, respectivamente, também são similares e as duas regiões de Bordeaux em 26/08/2007 apresentam alta similaridade.



**Figura 30.** Análise de *cluster* para Cabernet Sauvignon.

Já para Cabernet Sauvignon, os dois grupos de datas avaliadas, apresentaram as menores diferenças entre as médias de reflectância, sendo a cepa que mais apresentou similaridade entre as cinco regiões avaliadas. As maiores igualdades foram observadas nas datas do grupo 1, onde as bandas 1, 2, 4, 5, 6, 7 e 8, apresentam regiões com médias estatisticamente iguais. Analisando a banda 1, verifica-se que para o grupo 1, Encruzilhada do Sul e Aconcagua não apresentam diferenças entre as médias, o que não ocorre no grupo 2, onde as médias de reflectância destas duas regiões são diferentes. Nas datas do grupo 2, Encruzilhada do Sul apresenta sua média similar com Duhart Milon e Giscours e os valores das médias dos Vales do Aconcagua e Colchagua também não apresentam diferença significativa. Nas datas do grupo 1, a região do Vale Colchagua e C. Duhart Milon nas bandas 1, 2, 4, 5, 6 e 8 apresentam médias estatisticamente iguais. Além disso, nas bandas 5 e 6, estas duas regiões não apresentam diferença em relação a Encruzilhada do Sul e na banda 2, Giscours apresenta média de reflectância igual a Encruzilhada do Sul. O mesmo não ocorre com as datas do grupo 2, onde as médias de reflectância de Duhart Milon, nas bandas 2, 4, e 9 é igual as médias de Encruzilhada do Sul. Nas bandas 6 e 7, Aconcagua e Encruzilhada do Sul apresentam médias estatisticamente iguais para as datas mais tardias. Analisando a Figura 30, observa-se que as regiões mais similares são: Château Giscours (11/08) e Aconcagua (12/12); Château Giscours (24/07) e Colchagua (24/02); Château Giscours (26/08) e Château Duhart Milon (26/08). A análise de *cluster* detectou semelhanças que não foram detectadas na ANOVA, como é o caso de Giscours.

A figura 31 apresenta a análise de *cluster* considerando todas as regiões, datas e variedades.



**Figura 31.** Análise de *cluster* considerando todas as datas, regiões e variedades.

De forma geral, as figuras 24, 25, 29 e 30 referentes à análise de cluster, mostram uma forte tendência dos resultados estarem divididos em dois grupos, separados por datas (grupo mais precoce, grupo mais tardio). No interior de cada grupo, há uma tendência menos pronunciada, mas perfeitamente perceptível, de agrupamento por região. Ou seja, a análise de *cluster* confirma que, longe de haver confusão das informações sobre reflectâncias, há um ordenamento bastante relevante, primeiro por data, e depois, por região.

Já na figura 31, nota-se que, considerados os dois grupos principais, os dados de cepas tintas, datas mais tardias, para Aconcagua, Bordeaux (C. Gicours e C. Duhart Milon) e Champagne estão agrupados. A tinta tardia de Colchagua desvia-se deste comportamento, pois está no outro grupo, mais distante mesmo que a branca tardia de Colchagua. O caso de Encruzilhada do Sul é interessante. Todos seus dados estão no grupo maior. Do interior deste grupo, uma das tintas tardias, Cabernet Sauvignon, está mais próxima às tintas tardias do grupo menor. Para Cabernet Sauvignon e Merlot, as datas mais precoces estão nas partes superiores do dendograma, seguindo-se, mais abaixo, as datas tardias. Igualmente, Pinot Noir e Chardonnay apresentam uma forte separabilidade por data, pois os dados para as datas precoces encontram-se na parte superior do dendograma.

A evolução de Pinot Noir é notável. No dendograma da Figura 31, os dois dados mais distantes são justamente para Pinot Noir (Encruzilhada do Sul em 17/11/2004, Champagne em 6/09/2004). Passados três meses e meio em Encruzilhada do Sul, seus dados já percorreram mais de metade do caminho no dendograma, em direção a Champagne tardia. Os mesmo tempo, Champagne precoce situa-se mais próxima de Encruzilhada do Sul precoce.

### **5.2.2 Análise por região**

Na análise por região foram comparadas as médias de reflectância amostrais para as variedades presentes. As médias que não apresentaram diferença significativa foram destacadas.

Nas Tabelas 8, 9 e 10 são mostradas as médias e os desvios padrões das variedades Cabernet Sauvignon e Merlot para as regiões do Vale do Aconcagua, Château Giscours e Château Duhart Milon.

**Tabela 8:** Médias e desvios padrões das variedades do Vale do Aconcagua.

Comprimento de onda médio (µm)	Data	Variedade			
		Cabernet Sauvignon		Merlot	
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
0,556 (banda 1)	12/12/2000	0,1065	0,0097	0,1175	0,0039
	08/02/2002	0,0833	0,0047	0,0749	0,0061
	24/02/2002	0,0783	0,0049	0,0719	0,0063
0,661 (banda 2)	12/12/2000	0,1247	0,0163	0,1362	0,0053
	08/02/2002	0,0944	0,0048	0,0811	0,0086
	24/02/2002	0,0875	0,0061	0,0778	0,0094
0,807 (banda 3N)	12/12/2000	0,2885	0,0302	0,2340	0,0036
	08/02/2002	0,2062	0,0149	0,1786	0,0063
	24/02/2002	0,1925	0,0125	0,1734	0,0079
1,656 (banda 4)	12/12/2000	0,2418*	0,0223	0,2405*	0,0059
	08/02/2002	0,1911	0,0046	0,1608	0,0071
	24/02/2002	0,1850	0,0053	0,1612	0,0087
2,167 (banda 5)	12/12/2000	0,1597	0,0088	0,1826	0,0034
	08/02/2002	0,1214	0,0041	0,1100	0,0064
	24/02/2002	0,1232	0,0075	0,1117	0,0081
2,209 (banda 6)	12/12/2000	0,1627	0,0105	0,1851	0,0043
	08/02/2002	0,1249	0,0040	0,1106	0,0068
	24/02/2002	0,1304	0,0068	0,1175	0,0062
2,262 (banda 7)	12/12/2000	0,1642	0,0077	0,1931	0,0051
	08/02/2002	0,1268	0,0033	0,1152	0,0051
	24/02/2002	0,1338	0,0077	0,1229	0,0059
2,336 (banda 8)	12/12/2000	0,1479	0,0084	0,1835	0,0050
	08/02/2002	0,1092	0,0044	0,0995	0,0061
	24/02/2002	0,1166	0,0076	0,1071	0,0054
2,4 (banda 9)	12/12/2000	0,1740	0,0103	0,2109	0,0048
	08/02/2002	0,1182	0,0041	0,1080	0,0071
	24/02/2002	0,1468	0,0054	0,1388	0,0049

\*não apresentam diferença significativa ao nível de 5%

**Tabela 9:** Médias e desvios padrões das variedades do Château Giscours.

Comprimento de onda médio (µm)	Data	Variedade			
		Cabernet Sauvignon		Merlot	
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
0,556 (banda 1)	24/07/2001	0,0759	0,0060	0,0586	0,0054
	11/08/2001	0,0900	0,0076	0,0679	0,0058
	26/08/2007	0,0832	0,0073	0,0751	0,0064
0,661 (banda 2)	24/07/2001	0,0722	0,0074	0,0524	0,0063
	11/08/2001	0,0846	0,0093	0,0563	0,0063
	26/08/2007	0,0660	0,0081	0,0594	0,0067
0,807 (banda 3N)	24/07/2001	0,2653	0,0079	0,2434	0,0170
	11/08/2001	0,2802	0,0070	0,2856	0,0142
	26/08/2007	0,2731	0,0155	0,2632	0,0193
1,656 (banda 4)	24/07/2001	0,2241	0,0133	0,2181	0,0111
	11/08/2001	0,2493	0,0158	0,2346	0,0123
	26/08/2007	0,1811*	0,0092	0,1807*	0,0068
2,167 (banda 5)	24/07/2001	0,1471	0,0074	0,1342	0,0096
	11/08/2001	0,1665	0,0101	0,1437	0,0131
	26/08/2007	0,1037*	0,0070	0,1038*	0,0081
2,209 (banda 6)	24/07/2001	0,1482	0,0081	0,1349	0,0083
	11/08/2001	0,1697	0,0125	0,1469	0,0122
	26/08/2007	0,1061*	0,0075	0,1063*	0,0085
2,262 (banda 7)	24/07/2001	0,1497	0,0085	0,1374	0,0103
	11/08/2001	0,1683	0,0107	0,1459	0,0128
	26/08/2007	0,1066*	0,0077	0,1073*	0,0086
2,336 (banda 8)	24/07/2001	0,1381	0,0095	0,1206	0,0120
	11/08/2001	0,1612	0,0153	0,1339	0,0165
	26/08/2007	0,0906	0,0084	0,0944	0,0100
2,4 (banda 9)	24/07/2001	0,1589	0,0108	0,1465	0,0117
	11/08/2001	0,2030	0,0160	0,1726	0,0204
	26/08/2007	0,1027*	0,0071	0,1039*	0,0101

\*não apresentam diferença significativa ao nível de 5%



**Tabela 10:** Médias e desvios padrões das variedades do Château Duhart Milon.

Comprimento de onda médio (µm)	Data	Variedade			
		Cabernet Sauvignon		Merlot	
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
0,556 (banda 1)	24/07/2001	0,0925*	0,0231	0,0897*	0,0172
	11/08/2001	0,0952*	0,0144	0,0960*	0,0113
	26/08/2007	0,0874	0,0105	0,0828	0,0077
0,661 (banda 2)	24/07/2001	0,0928*	0,0267	0,0894*	0,0166
	11/08/2001	0,0906*	0,0176	0,0929*	0,0130
	26/08/2007	0,0731*	0,0117	0,0704*	0,0078
0,807 (banda 3N)	24/07/2001	0,2766	0,0139	0,2664	0,0282
	11/08/2001	0,2874*	0,0105	0,2924*	0,0190
	26/08/2007	0,2422	0,0159	0,2310	0,0119
1,656 (banda 4)	24/07/2001	0,2717	0,0297	0,2591	0,0172
	11/08/2001	0,2831*	0,0119	0,2799*	0,0170
	26/08/2007	0,1954	0,0164	0,1879	0,0098
2,167 (banda 5)	24/07/2001	0,1822	0,0252	0,1738	0,0065
	11/08/2001	0,1866*	0,0137	0,1834*	0,0136
	26/08/2007	0,1162	0,0087	0,1125	0,0055
2,209 (banda 6)	24/07/2001	0,1900	0,0260	0,1798	0,0089
	11/08/2001	0,1977	0,0145	0,1913	0,0147
	26/08/2007	0,1206	0,0094	0,1152	0,0058
2,262 (banda 7)	24/07/2001	0,1894	0,0295	0,1806	0,0083
	11/08/2001	0,1914	0,0139	0,1854	0,0144
	26/08/2007	0,1199*	0,0108	0,1179*	0,0065
2,336 (banda 8)	24/07/2001	0,1798	0,0307	0,1695	0,0081
	11/08/2001	0,1832*	0,0157	0,1789*	0,0192
	26/08/2007	0,1047	0,0093	0,1008	0,0072
2,4 (banda 9)	24/07/2001	0,2053*	0,0318	0,1977*	0,0093
	11/08/2001	0,2220*	0,0192	0,2186*	0,0202
	26/08/2007	0,1082	0,0070	0,1034	0,0064

\*não apresentam diferença significativa ao nível de 5%

Para a região do Vale do Aconcagua, as variedades são estatisticamente diferentes, apresentando similaridade apenas em 12/12/2000 para a banda 4, diferentemente do Château Duhart Milon, que apresenta em todas as datas alguma banda que estatisticamente não diferencia as variedades. O Château Giscours, na data mais adiantada do ciclo fenológico (26/08/2007), as variedades não apresenta diferença significativa nas bandas 4, 5, 6, 7 e 9.

A Tabela 11 ilustra os dados da região do Vale do Colchagua para Cabernet Sauvignon e Chardonnay.

**Tabela 11:** Médias e desvios padrões das variedades do Vale do Colchagua.

Comprimento de onda médio ( $\mu\text{m}$ )	Data	Variedade			
		Cabernet Sauvignon		Chardonnay	
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
0,556 (banda 1)	12/12/2000	0,0874	0,0041	0,0972	0,0073
	29/01/2001	0,0823	0,0054	0,0974	0,0092
	24/02/2002	0,0750	0,0059	0,0807	0,0070
0,661 (banda 2)	12/12/2000	0,0892	0,0066	0,1115	0,0094
	29/01/2001	0,0966	0,0095	0,1178	0,0111
	24/02/2002	0,0926	0,0085	0,0955	0,0086
0,807 (banda 3N)	12/12/2000	0,3609	0,0138	0,3312	0,0156
	29/01/2001	0,3447	0,0108	0,2922	0,0072
	24/02/2002	0,2795	0,0090	0,2222	0,0105
1,656 (banda 4)	12/12/2000	0,2696	0,0111	0,2760	0,0062
	29/01/2001	0,2546	0,0069	0,2518	0,0065
	24/02/2002	0,2211	0,0077	0,1890	0,0063
2,167 (banda 5)	12/12/2000	0,1787	0,0076	0,1920	0,0067
	29/01/2001	0,1568	0,0047	0,1757	0,0066
	24/02/2002	0,1371*	0,0062	0,1387*	0,0070
2,209 (banda 6)	12/12/2000	0,1866	0,0081	0,2008	0,0064
	29/01/2001	0,1656	0,0056	0,1855	0,0053
	24/02/2002	0,1450*	0,0075	0,1435*	0,0073
2,262 (banda 7)	12/12/2000	0,1817	0,0085	0,1974	0,0071
	29/01/2001	0,1609	0,0050	0,1845	0,0073
	24/02/2002	0,1398	0,0070	0,1442	0,0067
2,336 (banda 8)	12/12/2000	0,1772	0,0087	0,1960	0,0100
	29/01/2001	0,1525	0,0058	0,1785	0,0088
	24/02/2002	0,1309	0,0084	0,1407	0,0083
2,4 (banda 9)	12/12/2000	0,2306	0,0119	0,2556	0,0123
	29/01/2001	0,1856	0,0086	0,2156	0,0084
	24/02/2002	0,1621	0,0089	0,1717	0,0101

\*não apresentam diferença significativa ao nível de 5%

A análise da Tabela 11 mostra que, para a data mais tardia (24/02/2002), as diferenças de reflectância entre Cabernet Sauvignon e Chardonnay diminuem. Este comportamento deve ser analisado à luz do que se sabe do manejo de videiras na região de Colchagua (e também em Aconcagua). Ali, a irrigação por gotejo é comum, o que faz com que durante o ciclo o estresse hídrico não seja muito pronunciado. A permanente oferta de água tende a deixar as folhas com um maior conteúdo de água, o que influi tanto nas reflectâncias das bandas 4 a 9, quanto nas diferenciações entre cepas, pois como a água é sempre ofertada, o ciclo natural (como foi descrito, em termos de datas, por Mandelli et al., (2003)) não é obrigatoriamente seguido; pode-se esperar que as diferenciações são atenuadas, pelo menos durante as fases do ciclo em que as folhas ainda têm pleno funcionamento. Ver-se-á, nos dados da Tabela 13, que para Encruzilhada do Sul, onde é seguido o ciclo natural, sem irrigação, o comportamento entre Cabernet Sauvignon e Chardonnay é diferente.

Na Tabela 12 estão apresentados as médias e os desvios padrões para a região do Champagne. Verifica-se que as duas variedades estudadas apresentam todas as médias estatisticamente diferentes apenas para a data referente à 06/09/2004. Em 08/06/2006, nas bandas 2, 3, 4 e 6 as variedades não apresentam diferença significativa. O mesmo ocorreu em 17/07/2006, onde nas bandas 2, 3, 5, 6, 7 e 9 as médias das variedades estudadas são estatisticamente iguais.

**Tabela 12:** Médias e desvios padrões das variedades do Champagne.

Comprimento de onda médio ( $\mu\text{m}$ )	Data	Variedade			
		Chardonnay		Pinot Noir	
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
0,556 (banda 1)	8/6/2006	0,1077	0,0076	0,1075	0,0091
	17/7/2006	0,0749	0,0061	0,0750	0,0117
	6/9/2004	0,0701	0,0126	0,0610	0,0049
0,661 (banda 2)	8/6/2006	0,1002*	0,0080	0,0978*	0,0100
	17/7/2006	0,0667*	0,0082	0,0620*	0,0143
	6/9/2004	0,0560	0,0176	0,0446	0,0058
0,807 (banda 3N)	8/6/2006	0,3379*	0,0181	0,3216*	0,0119
	17/7/2006	0,3199*	0,0100	0,3337*	0,0272
	6/9/2004	0,3071	0,0172	0,2939	0,0158
1,656 (banda 4)	8/6/2006	0,3314*	0,0112	0,3235*	0,0161
	17/7/2006	0,2513	0,0196	0,2481	0,0301
	6/9/2004	0,2296	0,0420	0,1954	0,0102
2,167 (banda 5)	8/6/2006	0,2107	0,0073	0,2100	0,0098
	17/7/2006	0,1452*	0,0127	0,1369*	0,0203
	6/9/2004	0,1316	0,0263	0,1081	0,0064
2,209 (banda 6)	8/6/2006	0,2245*	0,0075	0,2213*	0,0116
	17/7/2006	0,1499*	0,0144	0,1422*	0,0221
	6/9/2004	0,1350	0,0305	0,1075	0,0069
2,262 (banda 7)	8/6/2006	0,2145	0,0084	0,2130	0,0100
	17/7/2006	0,1437*	0,0130	0,1375*	0,0207
	6/9/2004	0,1292	0,0272	0,1079	0,0067
2,336 (banda 8)	8/6/2006	0,1925	0,0070	0,1925	0,0110
	17/7/2006	0,1205	0,0138	0,1177	0,0203
	6/9/2004	0,1093	0,0283	0,0887	0,0074
2,4 (banda 9)	8/6/2006	0,2053	0,0079	0,2044	0,0120
	17/7/2006	0,1309*	0,0119	0,1252*	0,0175
	6/9/2004	0,1220	0,0253	0,1034	0,0080

\*não apresentam diferença significativa ao nível de 5%.

As médias e os desvios padrões para as quatro variedades avaliadas na região de Encruzilhada do Sul são apresentadas na Tabela 13. Verifica-se que nesta região as médias das quatro variedades apresentam valores estatisticamente iguais, em pelo menos uma data. Chardonnay e Pinot Noir são as variedades com as menores diferenças nas médias em grande parte das bandas nas datas de 01/11/2004 e 17/11/2004. A maior diferença observada para estas duas variedades é em 06/03/2004, onde somente nas bandas 1 e 2 as médias não diferem. Em 01/11/2004, Cabernet Sauvignon e Merlot apresentam médias estatisticamente

iguais na banda 3, e na mesma data, porém, na banda 4, Merlot e Pinot Noir apresentam médias que não diferem estatisticamente. Cabernet Sauvignon em 06/03/2004 não difere estatisticamente de Pinot Noir (banda 8) e Chardonnay (banda 3). Esta alta similaridade entre as variedades verificada, principalmente em 01/11/2004 dificulta a discriminação das variedades.

**Tabela 13:** Médias e desvios padrões das variedades de Encruzilhada do Sul.

Comprimento de onda médio (µm)	Data	Variedade							
		Cabernet Sauvignon		Merlot		Chardonnay		Pinot Noir	
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
0,556 (banda 1)	01/11/2004	0,1007	0,0060	0,1046	0,0050	0,0939*	0,0035	0,0961*	0,0025
	17/11/2004	0,1132	0,0052	0,1240	0,0060	0,1080*	0,0022	0,1081*	0,0021
	06/03/2004	0,0864	0,0051	0,1177	0,0049	0,0990*	0,0038	0,0984*	0,0020
0,661 (banda 2)	01/11/2004	0,0915	0,0100	0,1080	0,0085	0,0760*	0,0065	0,0781*	0,0033
	17/11/2004	0,0980	0,0076	0,1265	0,0069	0,0862*	0,0039	0,0855*	0,0026
	06/03/2004	0,0726	0,0078	0,1323	0,0097	0,0888*	0,0054	0,0850*	0,0028
0,807 (banda 3N)	01/11/2004	0,3567**	0,0124	0,3568**	0,0108	0,4071*	0,0100	0,4057*	0,0108
	17/11/2004	0,3789	0,0104	0,3391	0,0126	0,4163	0,0104	0,4082	0,0106
	06/03/2004	0,3259*****	0,0063	0,3079	0,0071	0,3295*****	0,0131	0,3355	0,0050
1,656 (banda 4)	01/11/2004	0,3046	0,0109	***0,2856	0,0036	0,2780*	0,0043	***0,2817*	0,0052
	17/11/2004	0,3053	0,0094	0,3097	0,0068	0,2898*	0,0028	0,2911*	0,0046
	06/03/2004	0,2509	0,0108	0,2885	0,0101	0,2752	0,0085	0,2661	0,0077
2,167 (banda 5)	01/11/2004	0,1874	0,0115	0,1742	0,0043	0,1563*	0,0047	0,1590*	0,0058
	17/11/2004	0,1803	0,0076	0,1902	0,0049	0,1609*	0,0039	0,1624*	0,0056
	06/03/2004	0,1307	0,0071	0,1669	0,0095	0,1436	0,0041	0,1382	0,0080
2,209 (banda 6)	01/11/2004	0,1943	0,0111	0,1770	0,0047	0,1610	0,0043	0,1672	0,0041
	17/11/2004	0,1881	0,0096	0,1953	0,0056	0,1656*	0,0044	0,1664*	0,0049
	06/03/2004	0,1323	0,0098	0,1711	0,0112	0,1474	0,0052	0,1411	0,0076
2,262 (banda 7)	01/11/2004	0,1883	0,0102	0,1788	0,0051	0,1546	0,0058	0,1594	0,0066
	17/11/2004	0,1859	0,0086	0,1983	0,0041	0,1658*	0,0038	0,1663*	0,0077
	06/03/2004	0,1327	0,0082	0,1771	0,0106	0,1436	0,0052	0,1378	0,0079
2,336 (banda 8)	01/11/2004	0,1745	0,0120	0,1644	0,0052	0,1382	0,0042	0,1447	0,0057
	17/11/2004	0,1687	0,0093	0,1841	0,0061	0,1452*	0,0034	0,1478*	0,0083
	06/03/2004	0,1099*****	0,0078	0,1567	0,0124	0,1208	0,0059	0,1132*****	0,0084
2,4 (banda 9)	01/11/2004	0,2089	0,0159	0,1975	0,0071	0,1700*	0,0088	0,1722*	0,0082
	17/11/2004	0,1911	0,0102	0,2054	0,0064	0,1686*	0,0052	0,1686*	0,0073
	06/03/2004	0,1092	0,0068	0,1538	0,0108	0,1216	0,0080	0,1164	0,0081

\*não apresentam diferença significativa ao nível de 5%

### 5.2.3 Análise discriminante

A Tabela 14 mostra valores dos centróides e do NDVI das variedades estudadas nas seis regiões avaliadas.

**Tabela 14:** Valores dos centróides e NDVI.

<b>Região/Terroir</b>	<b>Datas</b>	<b>Variedade</b>	<b>Centróide</b>	<b>NDVI</b>
Aconcagua	12/12/2000	Cabernet Sauvignon	-11,334	0,39
		Merlot	11,334	0,26
	08/02/2002	Cabernet Sauvignon	-4,511	0,37
		Merlot	4,511	0,37
	24/02/2002	Cabernet Sauvignon	-3,345	0,37
		Merlot	3,345	0,38
Colchagua	12/12/2000	Cabernet Sauvignon	8,303	0,61
		Chardonnay	-8,303	0,48
	29/01/2001	Cabernet Sauvignon	16,116	0,55
		Chardonnay	-16,116	0,41
	24/02/2002	Cabernet Sauvignon	18,318	0,50
		Chardonnay	-18,318	0,38
Encruzilhada do Sul	01/11/2004	Cabernet Sauvignon	-10,614	0,59
		Merlot	-14,920	0,53
		Chardonnay	13,960	0,68
		Pinot Noir	12,345	0,67
	17/11/2004	Cabernet Sauvignon	0,828	0,65
		Merlot	25,589	0,45
		Chardonnay	-13,283	0,58
		Pinot Noir	-11,844	0,65
	06/03/2004	Cabernet Sauvignon	-10,614	0,63
		Merlot	-14,920	0,49
		Chardonnay	13,960	0,57
		Pinot Noir	12,345	0,59
C. Giscours	24/07/2001	Cabernet Sauvignon	3,612	0,58
		Merlot	-3,612	0,64
	11/08/2001	Cabernet Sauvignon	5,101	0,54
		Merlot	-5,101	0,67
	26/08/2001	Cabernet Sauvignon	1,855	0,61
		Merlot	-1,855	0,63
C. Duhart Milon	24/07/2001	Cabernet Sauvignon	1,812	0,46
		Merlot	-1,812	0,54
	11/08/2001	Cabernet Sauvignon	2,037	0,49
		Merlot	-2,037	0,58
	26/08/2007	Cabernet Sauvignon	1,345	0,52
		Merlot	-1,345	0,52
Champagne	08/06/2006	Chardonnay	2,399	0,51
		Pinot Noir	-2,399	0,50
	17/07/2006	Chardonnay	3,341	0,67
		Pinot Noir	-3,341	0,62
	06/09/2004	Chardonnay	2,255	0,72
		Pinot Noir	-2,255	0,69

Os resultados mostrados na Tabela 14 indicam que há uma tendência de correlação entre as maiores diferenças entre os valores de NDVI (para uma mesma data) e a maior separabilidade (expressa pelo maior valor de centróide). Este resultado não é totalmente inesperado, dado que o NDVI é também, de certa forma, um índice espectral. De qualquer forma, esta correlação é relevante porque o NDVI é um parâmetro muito usado para monitoramento de vinhedos, dado a praticidade de sua determinação e sua relação com fases do ciclo fenológico e com parâmetros como o índice de vigor. Também é interessante observar que a correlação entre maiores diferenças em NDVI *versus* maiores centróides pode ocorrer para diferentes etapas do ciclo fenológico, dado, por exemplo, que em Aconcagua isto se verifica para a cena mais precoce, enquanto que no C. Duhart Milon a maior diferença ocorre para uma fase mais intermediária. No C. Giscours e em Champagne, as diferenças dos NDVI entre as cenas são pouco significativas.

A Tabela 15 mostra as funções discriminantes utilizadas para verificar o potencial da função em discriminar as variedades de uva.

**Tabela 15:** Funções discriminantes das regiões estudadas.

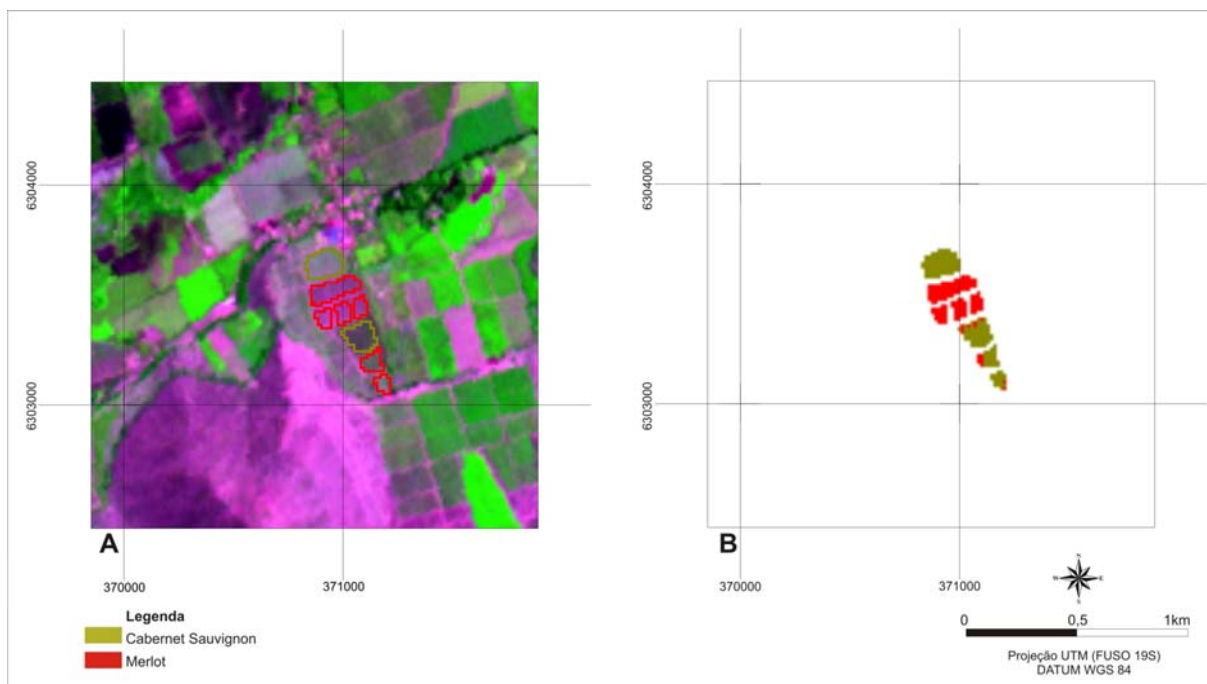
Região/Terroir	Função
Aconcagua (12/12/2000)	$Z = -42,817 + (-0,065*b1) + 0,022*b2 + (-0,013*b3) + 0,001*b4 + 0,035*b5 + (-0,004*b6) + (-0,006*b7) + 0,012*b8 + 0,030*b9$
Colchagua (24/02/2002)	$Z = -70,932 + (-0,003*b1) + (-0,005*b2) + 0,041*b3 + 0,025*b4 + 0,011*b6 + (-0,021*b7) + (-0,003*b8) + (-0,018*b8) + (-0,018*b9)$
Encruzilhada do Sul (17/11/2004)	$Z = 64,127 + (-0,004*b1) + 0,048*b2 + (-0,023*b3) + (-0,012*b4) + 0,008*b5 + (-0,029*b6) + 0,012*b7 + 0,003*b8 + 0,016*b9$
C. Giscours (11/08/2001)	$Z = 33,223 + 0,00*b1 + 0,027*b2 + (-0,014*b3) + (-0,019*b4) + 0,002*b5 + 0,011*b6 + 0,021*b7 + 0,004*b8 + (-0,013*b9)$
C. Duhart Milon (11/08/2001)	$Z = 14,790 + (-0,01*b1) + 0,002*b2 + (-0,017*b3) + 0,003*b4 + 0,017*b5 + 0,001*b6 + 0,003*b7 + 0,008*b8 + (-0,013*b9)$
Champagne (17/07/2006)	$Z = -37,640 + (0,016*b1) + (-0,046*b2) + (0,012*b3) + (0,023*b4) + (-0,042*b5) + (0,003*b6) + (-0,013*b7) + (0,025*b8) + (0,001*b9)$

Na região do Vale do Aconcagua, a banda que mais contribui para a diferenciação das duas variedades é a 1 (valor absoluto), seguido pelas bandas 5, 9, 2 e 3. As bandas 8, 7, 6 e 4, nesta ordem, apresentam a menor contribuição para a discriminação das variedades (Cabernet Sauvignon e Merlot). Já no Vale do Colchagua, a banda de maior importância para diferenciar as duas variedades é a 3. A banda 4 é a segunda variável para maior importância para a diferenciação.

Em Encruzilhada do Sul, por terem sido avaliadas quatro variedades de uva, foram geradas três funções discriminantes ( $k-1$ , sendo  $k$  o número de grupos). As funções obtidas são independentes, não sendo registrada sobreposição da sua contribuição para a discriminação entre os grupos. A primeira função discriminante contribuiu com 97,1% para o total da variância entre grupos, sendo efetivamente a que apresenta maior poder de separação das quatro variedades avaliadas. A segunda e a terceira função discriminante contribuem com 2,8% e 0,1% da variância entre os grupos, respectivamente. Desta forma, somente foi utilizada a primeira função discriminante por permitir diferenciar os grupos de forma substancial. A primeira função discriminante é apresentada na Tabela 15. A banda 2 apresenta maior importância na diferenciação das variedades, seguido pelas 6, 3, 9, 4 e 7, 5 e 8, 1. No Château Giscours, assim como Encruzilhada do Sul, a banda 2 é a que mais contribui para a diferenciação, seguido pelas bandas 7, 4, 3, 9, 6, 1 e 8. A banda 1, neste caso, não apresenta importância para a diferenciação das variedades. Na região do Champagne, a banda 2 apresenta o maior valor para a discriminação das variedades, seguido pelas bandas 5, 8, 4, 1, 7, 3, 6 e 9.

As Figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38 ilustram a distribuição espacial das variedades estudadas, sendo em “A” os lotes selecionado para verificar o potencial da função discriminante em diferenciar as variedades de uva e em “B”, a imagem classificada derivada da análise discriminante.

No Vale do Aconcagua (Figura 32), verifica-se que a classificação das cepas Cabernet Sauvignon e Merlot foi bem sucedida. De maneira geral, todos os lotes foram classificados corretamente, havendo confusão de alguns pixels de Cabernet Sauvignon estarem sendo classificados como Merlot. Esta afirmação se confirma através da matriz de confusão, mostrada na Tabela 16, onde 100% dos pixels de Merlot e 95,24% dos pixels de Cabernet Sauvignon foram classificados corretamente.



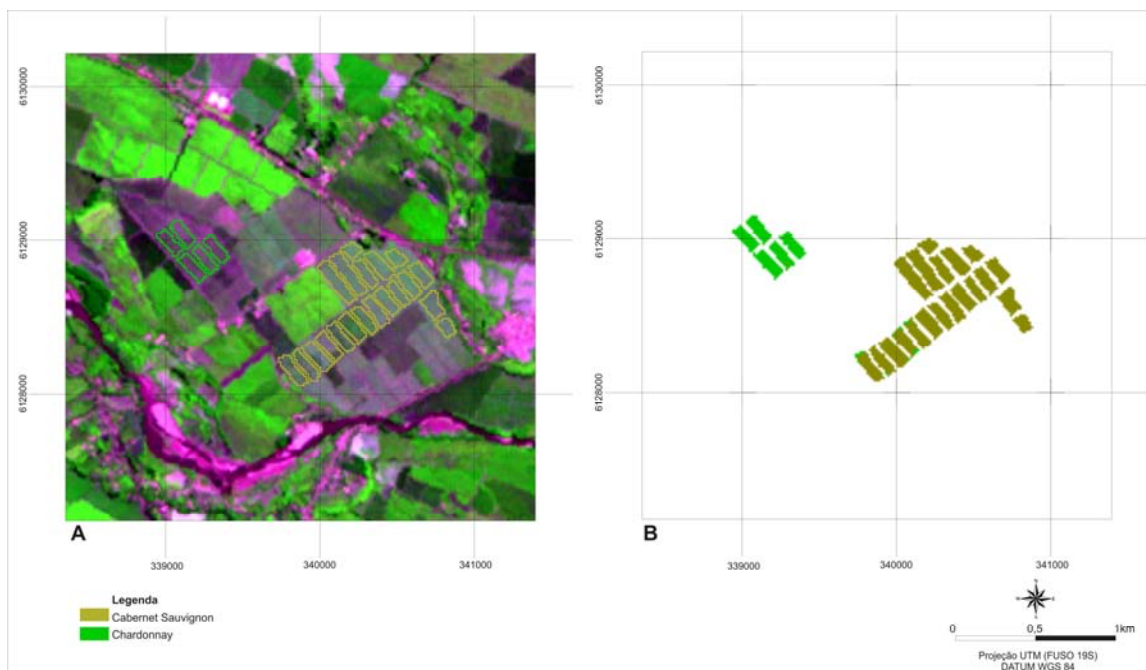
**Figura 32.** (A) Distribuição espacial das variedades de uva do Vale do Aconcagua utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.

**Tabela 16:** Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Vale do Aconcagua.

<b>Classe</b>	<b>Cabernet Sauvignon</b>	<b>Merlot</b>
Cabernet Sauvignon	<b>95,24</b>	0,00
Merlot	4,36	<b>100</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Na Figura 33 e na Tabela 17 estão os dados referentes ao Vale do Colchagua. Houve uma pequena confusão entre as duas variedades avaliadas, sendo de 1,34% dos pixels de Cabernet Sauvignon classificados como Chardonnay e 0,60% dos pixels de Chardonnay sendo classificados como Cabernet Sauvignon. Este bom resultado está associado ao valor do centróide (Tabela 14). Esta região foi a que apresentou a maior distância entre os centróides das duas variedades avaliadas.



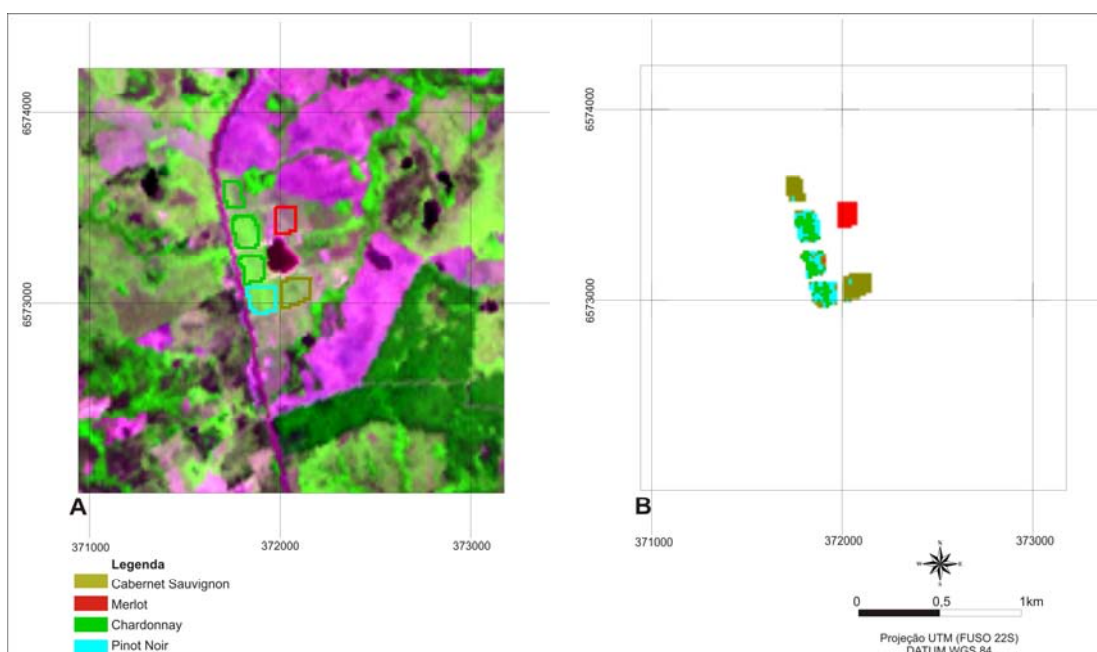


**Figura 33.** (A) Distribuição espacial das variedades de uva do Vale do Colchagua utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.

**Tabela 17:** Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Vale do Colchagua.

Classe	Cabernet Sauvignon	Chardonnay
Cabernet Sauvignon	<b>98,66</b>	0,60
Chardonnay	1,34	<b>99,4</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

A Figura 34 mostra os dados de Encruzilhada do Sul e a Tabela 18 os resultados da classificação.



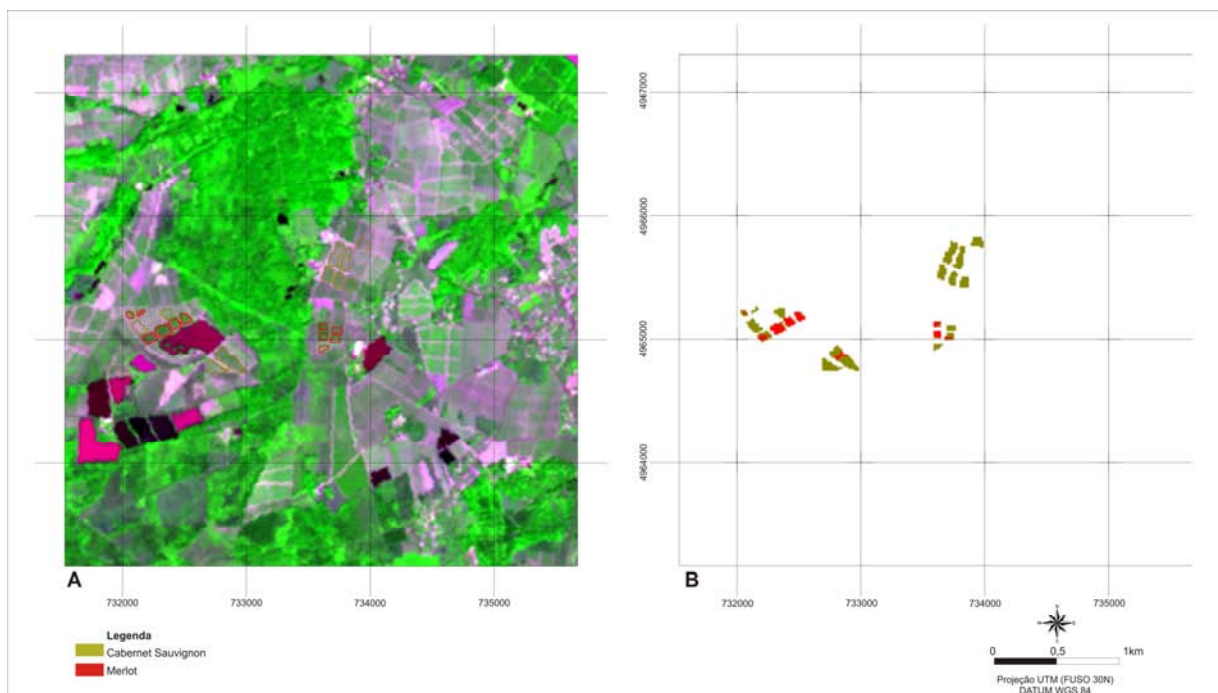
**Figura 34.** (A) Distribuição espacial das variedades de uva de Encruzilhada do Sul utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.

**Tabela 18:** Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região de Encruzilhada do Sul.

<b>Classe</b>	<b>Cabernet Sauvignon</b>	<b>Merlot</b>	<b>Chardonnay</b>	<b>Pinot Noir</b>
Cabernet Sauvignon	<b>96,47</b>	0,00	32,23	12,82
Merlot	0,00	<b>100</b>	0,47	0,00
Chardonnay	0,00	0,00	<b>36,02</b>	34,62
Pinot Noir	3,53	0,00	31,28	<b>52,56</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Verifica-se que houve uma maior confusão na classificação das variedades de uva, quando comparado com a região dos Vales Aconcagua e Colchagua. Este resultado já era esperado para Chardonnay e Pinot Noir, visto que na ANOVA, as médias das variedades foram estatisticamente iguais em praticamente todas as bandas. Analisando a matriz de confusão, verifica-se que o todo o lote de Merlot foi classificado corretamente, diferentemente dos lotes de Chardonnay e do lote de Pinot Noir. Os lotes de Chardonnay tiveram apenas 36% dos seus pixels classificados corretamente, havendo confusão com Cabernet Sauvignon (32,23%), Merlot (0,47%) e Pinot Noir (31,28%). Praticamente um lote de Chardonnay foi classificado como Cabernet Sauvignon. Esta confusão entre Chardonnay e Cabernet Sauvignon é a princípio inesperada, e merece alguma análise mais aprofundada. As diferenciações entre cepas, buscadas ao longo deste trabalho, devem-se a uma soma de fatores, como já discutido em Silva e Ducati (2009), incluindo a presença ou não de pigmentos para a região do visível (bandas 1 e 2), à estrutura celular (banda 3), e ao conteúdo de água para as outras bandas. Reconhecendo que as causas profundas das diferenças aqui evidenciadas devem ser buscadas junto a especialistas em viticultura e/ou biologia da videira, é relevante apontar que cepa Cabernet Sauvignon resulta de um cruzamento natural entre a cepa tinta Cabernet Franc e a cepa branca Sauvignon Blanc, ocorrido no início do século XIX, e descoberto por meio de análises de DNA (Bowers e Meredith, 1997). Esta origem pode explicar, ao menos em parte, uma confusão entre Cabernet Sauvignon e algumas cepas brancas. O lote de Pinot Noir apresentou 52,56% dos seus pixels classificados corretamente, havendo confusão com Cabernet Sauvignon e Chardonnay. Apesar de Pinot Noir e Cabernet Sauvignon apresentarem médias estatisticamente diferentes para a data utilizada na análise discriminante, houve confusão entre ambas, sendo que 3,53% dos pixels de Cabernet Sauvignon foram classificados como Pinot Noir e 12,82% dos pixels de Pinot Noir foram classificados como Cabernet Sauvignon.

Na Figura 35 e na Tabela 19 mostram os resultados da AD para o Château Giscours.



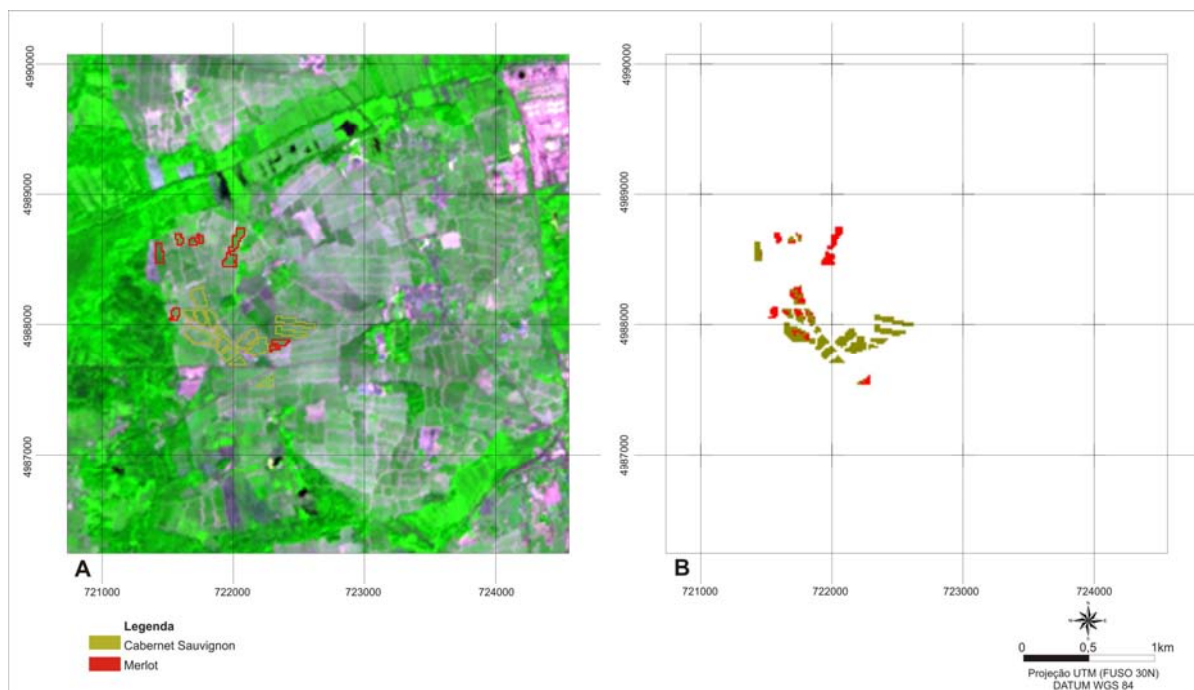
**Figura 35.** (A) Distribuição espacial das variedades de uva do Château Giscours utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.

**Tabela 19:** Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Château Giscours.

Classe	Cabernet Sauvignon	Merlot
Cabernet Sauvignon	100	31,71
Merlot	0,00	68,29
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Os lotes de Cabernet Sauvignon foram 100% classificados corretamente. O mesmo resultado não foi alcançado para Merlot, a qual teve 31,71% de seus pixels classificados como Cabernet Sauvignon. Este resultado não concorda com o obtido pela ANOVA, onde para esta data, ambas as variedades apresentaram diferenças significativas na suas médias. Esta confusão observada entre os pixels de Merlot e Cabernet Sauvignon está relacionada com os valores de reflectância dos lotes de Merlot. Os lotes classificados incorretamente apresentam uma reflectância maior que os pixels utilizados para gerar a função discriminante, o que favoreceu a classificação errônea. Neste caso, seria ideal coletar uma amostra maior para gerar a função discriminante, contemplando estes pixels que apresentam maior reflectância.

A Figura 36 e a Tabela 20 mostram os dados para o Château Duhart Milon.



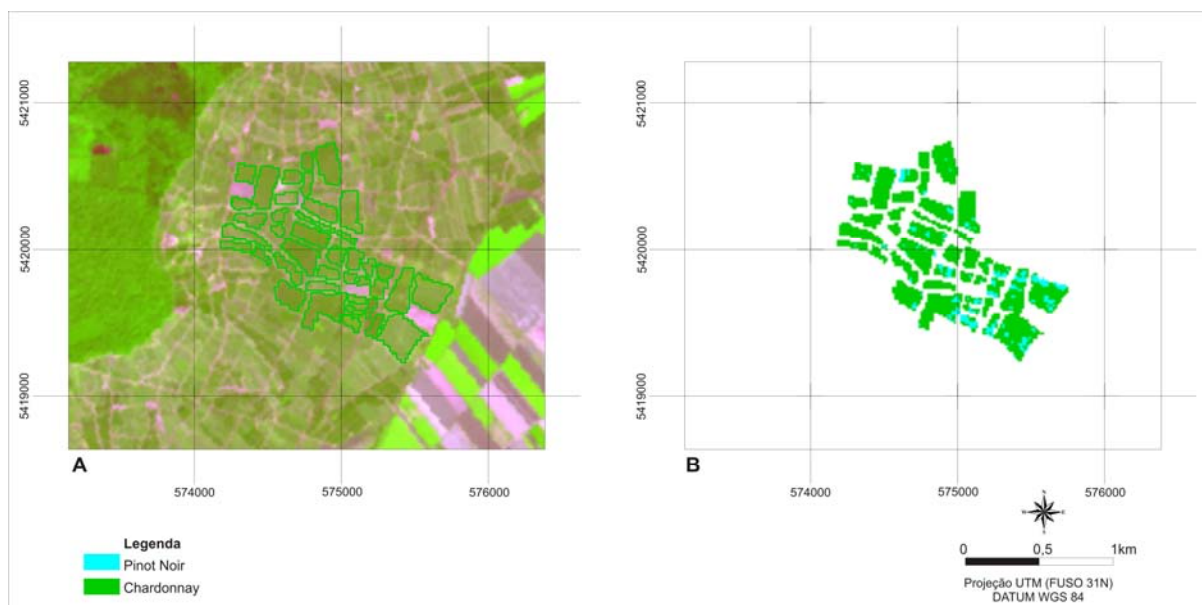
**Figura 36.** (A) Distribuição espacial das variedades de uva do Château Duhart Milon utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.

**Tabela 20:** Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Château Duhart Milon.

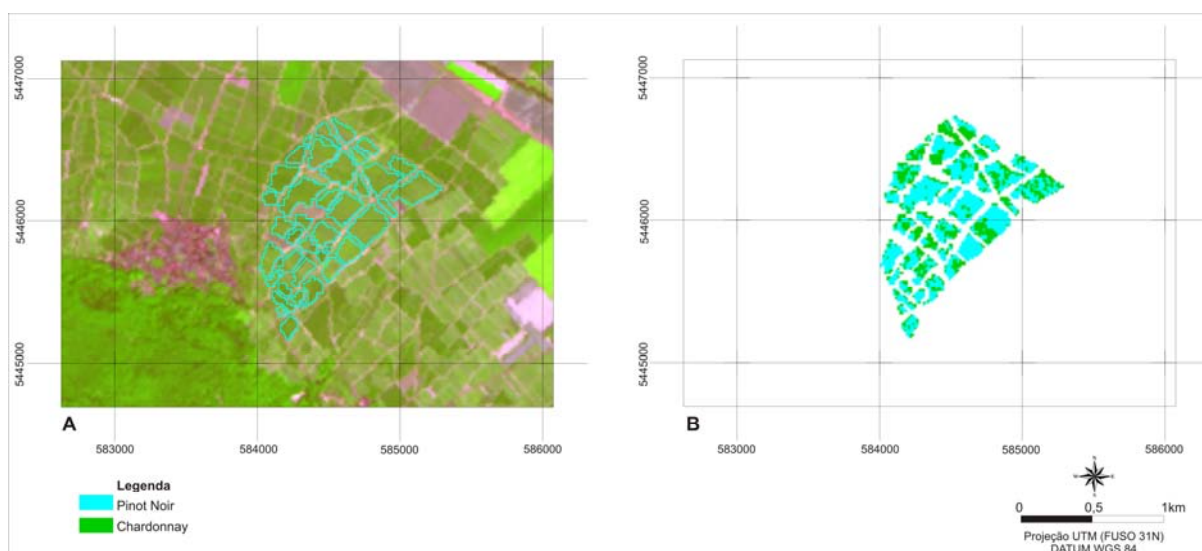
<b>Classe</b>	<b>Cabernet Sauvignon</b>	<b>Merlot</b>
Cabernet Sauvignon	<b>85,16</b>	38,97
Merlot	14,84	<b>61,03</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Analisando a Figura 36 “A” e “B”, verifica-se que alguns lotes foram classificados incorretamente. Dos pixels referentes à Cabernet Sauvignon, 85,16% foram classificados corretamente. Já para Merlot, houve uma maior confusão, sendo que 38,97% dos seus pixels foram classificados como Cabernet Sauvignon

As Figuras 37 e 38 e a Tabela 21 mostram os resultados obtidos pela análise discriminante para a região do Champagne.



**Figura 37.** (A) Distribuição espacial da variedade Chardonnay da região do Champagne utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.



**Figura 38.** (A) Distribuição espacial da variedade Pinot Noir da região do Champagne utilizadas como máscara na classificação. (B) Imagem classificada derivada da análise discriminante.

**Tabela 21:** Matriz de confusão resultante da classificação da imagem ASTER da região do Champagne.

<b>Classe</b>	<b>Chardonnay</b>	<b>Pinot Noir</b>
Chardonnay	<b>89,46</b>	35,63
Pinot Noir	10,54	<b>64,37</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Analisando as Figuras 37 e 38, verifica-se que houve uma maior confusão entre os lotes de Pinot Noir sendo classificados como Chardonnay. A Tabela 21 confirma esta afirmação. Cerca de 35,63% dos pixels de Pinot Noir foram classificados como Chardonnay. Os lotes de Chardonnay apresentaram um acerto de 89,46%, sendo que 10,54% dos pixels foram classificados incorretamente como Pinot Noir.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicaram ser factível a discriminação das variedades de videiras estudadas através da aplicação de Análise Discriminante. As regiões chilenas do Vale do Aconcagua e Vale do Colchagua foram as quais se obtiveram os melhores resultados, com um acerto superior a 95% para ambas as variedades de ocorrência. No Château Giscours, na região de Bordeaux, a cepa Cabernet Sauvignon apresentou 100% dos seus pixels classificados corretamente, porém, 31,71% dos pixels de Merlot foram classificados incorretamente como Cabernet Sauvignon. No Château Duhart Milon, a confusão foi maior, sendo pouco mais de 11% dos pixels de Cabernet Sauvignon classificados como Merlot e mais de 30% dos pixels de Merlot foram classificados como Cabernet Sauvignon. Na região do Champagne, a discriminação também foi boa, havendo uma maior confusão no lotes de Pinot Noir. Encruzilhada do Sul apresentou a maior confusão principalmente com a as cepas Chardonnay e Pinot Noir. Os lotes de Merlot e Cabernet Sauvignon apresentaram 100 e 96,47%, respectivamente, dos pixels dos seus lotes classificados corretamente. De forma geral, a discriminação das cepas foi satisfatória, sendo um indicativo das possibilidades de utilização das imagens geradas pelo sensor ASTER para esta finalidade, mesmo a resolução espacial não permitindo a visualização e identificação dos diferentes componentes que atuam na resposta espectral das videiras avaliadas, como por exemplo, o solo.

Em relação aos espectros de reflectância de cada variedade e os dados gerados pela análise de *cluster*, observaram-se similaridades entre as regiões avaliadas, principalmente com a cepa Cabernet Sauvignon. Este fato é interessante, pois as cinco regiões de ocorrência desta variedade apresentam clima, solo, relevo e manejo com características diferenciadas, além das imagens não abrangerem exatamente a mesma fase do ciclo fenológico. Este fato leva a uma conclusão de que mesmo apresentado características distintas, tanto no ambiente físico, fenologia como no fator humano, as feições espectrais da cepa são mantidas. Na análise de *cluster* verificou-se uma tendência na formação de dois agrupamentos, sendo um formado pelas datas mais precoces e outro formado pelas datas mais tardias. Avaliando conjuntamente todas as cepas e regiões, houve certo ordenamento, primeiro por data, seguido pela região.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo ainda é exploratório, necessitando uma maior investigação principalmente quanto às similaridades constatadas entre os diferentes *terroirs*. A busca de uma caracterização mais aprofundada das regiões, principalmente no que se refere a solos e manejo, pode levar a resultados mais precisos e conclusivos. O ciclo fenológico é outro fator a ser considerado. A utilização de parâmetros biofísicos, com o índice de área foliar (IAF), para verificar o grau de desenvolvimento do dossel, pode vir a auxiliar na investigação. A possibilidade da utilização de pixel mistura também não deve ser descartada, já que os dosséis de vinhedos tendem a ser descontínuos ou incompletos, sendo o fundo (normalmente solo nu e gramíneas), um contribuinte na resposta espectral da vinha. O emprego de sensores com uma resolução espacial maior também pode vir a auxiliar na investigação, já que a menor unidade imageada (pixel) abrange uma área muito pequena, permitindo investigar mais detalhadamente os componentes que atuam na resposta espectral do vinhedo.



## 8. BIBLIOGRAFIA

ABRAMS, M.; HOOK, S. **ASTER User Handbook**: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. USA: NASA/Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, v.2, 2002, 135p. Disponível em: <[http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03\\_data/04\\_Documents/aster\\_user\\_guide\\_v2.pdf](http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Documents/aster_user_guide_v2.pdf)>. Acesso em: 2 jan. 2008.

ACADEMIA DO VINHO. **Geografia**. Disponível em: <<http://www.academiadovinho.com.br/>>. Acesso em: 25 jun. 2009.

ALEJANDRE, M. M. L. **Viticultura, Enología y Cata para Aficionados**. 4. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 214 p.

ALLMETSAT. **Normais Climatológicas**: França. Disponível em: <<http://pt.allmetsat.com/clima/franca.php>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

AMARANTE, J.O.A. **Os segredos do vinho**: para iniciantes e iniciados. 2. ed. São Paulo: Mescla Editorial, 2005. 568p.

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. FLAASH and MODTRAN 4: State-of-the-art atmospheric correction for hyperspectral data. In: AEROSPACE CONFERENCE, 1999, Aspen. **Proceedings...**Aspen: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999. p.177-181.

BAGLIETTO, S.H. Zonificación Vitícola: La experiencia en Chile. In: ZONIFICACIÓN DEL CULTIVO DE LA VID, TERROIR – TERRUÑO Y POTENCIAL DE COSECHA. 2003, Montevideo. **Rede Ibero-Americana de Vitivinicultura**. Madrid: Cytel, 2003. p. 8 - 19.

BLAUTH, D.; DUCATI, J. R.; MELLO, L. M. R. Upgrading a Viticultural Inventory: Development of a SIG and of Vineyard Recognition Techniques. In: XI CONGRESO LATINOAMERICANO DE VITICULTURA Y ENOLOGIA, 2007, Mendoza. **Anales...** Mendoza : CLEIFRA, 2007. v. 1, p. 1-5.

BORGES, E.P. **ABC Ilustrado da Vinha e do Vinho**. 2. ed. Rio de Janeiro: Mauad, 2008. 252p.

BOWERS, J.E., MEREDITH C.P. The parentage of a classic wine grape, Cabernet Sauvignon. **Nature Genetics**. v. 16, p. 84-87. 1997.



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

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.; LOGANATHAN, P. **Precision tools for improving land management**. Palmerston North, n.14, p.25-43. 2001.

BRAMLEY, R.G.V; PEARSE, B.; CHAMBERLAIN, P. Being Profitable Precisely - a case study of Precision Viticulture from Margaret River. **Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker** (Annual Technical Issue). Australia, n. 427, p. 84-87. 2003.

BRAMLEY, R.G.V.; HAMILTON, R.P. Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Australia, v. 10, 3 p. 2-45. 2004.

CAMPBELL, J.B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press, 1996. 622p.

CASTERAD, M.A.; LÓPEZ-LOZANO, R. Seguimiento de viñas em espaldera mediante índices de vegetación y mapas de índices de área foliar derivados de imágenes de satélite de muy alta resolución espacial. **Revista Enología**. Mendoza, Argentina, n.4, p. 1-9. 2007.

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

CRANE, R. B. Preprocessing techniques to reduce atmospheric and sensor variability in multispectral scanner data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. **Proceedings...**Ann Arbor: Environment Research Institute of Michigan, 1971. v. 7, p. 1345-1355.

CRÓSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1993. 170p.

CURRAN, P.J. **Principles of remote sensing**. New York: Wiley, 1986. 282 p.

CURRAN, P.J.; DUNGAN, J.L.; GHOLZ, H.L. Seasonal LAI in Slash Pine estimated with Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n.1, p. 3-13, 1992.

DE MARTINO. **Reinventing Chile**. Disponível em: <<http://www.demartino.cl/web/EN/reinventing1.html>>. Acesso em: 5 maio 2009.

DGAC. **Climas de Chile**. Dirección Meteorológica de Chile. Disponível em: <<http://www.meteochile.cl/climas/climas.html>>. Acesso em: 10 dez. 2008.

EMBRAPA. **Banco de dados climáticos do Brasil**. 2003. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 dez. 2008.

ERRÁZURIZ. **Valle del Aconcagua.** Disponível em: <<http://www.errazuriz.cl/errazuriz/espanol/vinedos/default.asp>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

ERSDAC. The crosstalk correction software user's guide. 2003. 21 p. Disponível em: [http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds\\_www2002/service\\_e/u.tools\\_e/u.tools1\\_e.html#cross](http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/service_e/u.tools_e/u.tools1_e.html#cross). Acesso em: 10 out. 2008.

FONSECA, L.M.G. **Processamento Digital de Imagens.** Apostila do curso da disciplina de Processamento digital de imagens dada no curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Divisão de Processamento de Imagens. 2000. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/PDI\\_7\\_seg\\_clas.pdf](http://www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/PDI_7_seg_clas.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2008.

GATES, D.M. **Biophysical ecology.** New York: Springer-Verlag, 1980. 611p.

GIOVANNINI, E. **Produção de Uvas:** para vinho, suco e mesa. São Paulo: Renascença. 2ª. ed., 2005. 368p.

GUYOT, G.; GU, X.F. Effect of radiometric corrections on NDVI-determined from SPOTHRV and Landsat-TM data. **Remote Sensing of Environment**, v.49, n.3, p.169-180, 1994.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 600p.

HALL, A.; LOUIS, J.P.; LAMB, D.W. A method for extracting detailed information from high resolution multispectral images of vineyards. In: 6<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOCOMPUTATION. **Proceedings...**Brisbane: D.V. Pullar, 2001.

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

HIDALGO, L.; TOGORES, J.H. **Ingenieria y Mecanizacion Viticola.** Madrid: Mundi-Prensa, 2001. 719p.

HIDALGO, L. **Tratado de viticultura general.** 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2002. 1235 p.

HOFFER, R.M. Biological and Physical Considerations in Applying Computer-Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data. In: SWAIN, P. H; DAVIS, S.M. **Remote Sensing: The Quantitative Approach.** New York: McGRAW-HILL, 1978. p. 227-289.

HUETE, A.R.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 224-234, 1994.

HUNTER, J.J.; VOLSCHENK, C.G. Implications of grapevine row orientation in South Africa. In: VII<sup>o</sup> CONGRÈS INTERNATIONAL DES TERROIRS VITICOLES. **Proceedings...**Nyon, Suisse, 2008.

IBRAVIN. **Regiões Produtoras**. Disponível em: <[www.ibravin.org.br/regioesprodutoras.php](http://www.ibravin.org.br/regioesprodutoras.php)>. Acesso em: 15 out. 2008.

INPE. **Processamento de imagens**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/sensore/sensore.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2009.

INTRIERI, C., SILVESTRONI, O., REBUCCI, B., PONI, S., FILIPPETTI, I. The effects of row orientation on growth, yield, quality and dry matter partitioning in Chardonnay vines trained to Simple Curtain and Spur-pruned Cordon. In: PROC. 4<sup>th</sup> INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COOL CLIMATE VITICULTURE AND ENOLOGY. **Proceedings...** Rochester, New York, 1996, p. 10-15.

IWASAKI, A.; FUJISADA, H.; AKAO, H.; SHINDOU, O.; AKAGI, S. Enhancement of Spectral Separation Performance for ASTER/SWIR. In: ANNUAL MEETING SPIE, 47, San Diego, **Proceedings...** San Diego: SPIE, 2001, p. 42-50.

IWASAKI, A.; TONOOKA, H. Validation of a crosstalk correction algorithm for ASTER/SWIR. **IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 12, p. 2747-2751, 2005.

JACKSON, R. D.; PINTER JR, P.J.; IDSO, S.B. Wheat spectral reflectance: interactions between crop configuration, sun elevation, and azimuth angle. **Applied Optics**, Washington, v.18, p.3730-3731, 1979a.

JACKSON, R. D.; REGINATO, R.J.; PINTER, P. J.; IDSO, S.B. Plant canopy information extraction from composite scene reflectance of row crops. **Applied Optics**, Washington, v.18, p. 3775-3782, 1979b.

JACKSON, R. D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, New York, v.11, n.3-4, p.185-200, 1991.

JACKSON, R. S. **Wine Science: Principles and Applications**. San Diego: Academic Press, 1994. 73p.

JOHNSON, L.; LOBITZ, B.; BOSCH, D.; WIECHERS, S.; WILLIAMS, D.; SKINNER, P. Of pixels and palates: can geospatial technologies help produce a better wine? In: 1<sup>st</sup> INT'L CONF. GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE & FORESTRY. **Proceedings...** Lake Buena Vista, FL, p. 469-476, 1998.

JPL (Jet Propulsion Laboratory). **Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer (ASTER)**. Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/default.htm>>. Acesso em: 02 fev. 2008.

KOLLENKARK, J.C.; VANDERBILT, V.C.; DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.E. Influence of solar illumination angle on soybean canopy reflectance. **Applied Optics**, Washington, v.21, n.7, p.1179-1184, 1982.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica. México. 1948. 479p.

KUHN, G.B., LOVATEL, J.L., PREZOTTO, O.P.; RIVALDO, O.F.; MANDELLI, F.; SÔNEGO, O.R.. **O cultivo da videira**: informações básicas. 2.ed. Bento Gonçalves: Embrapa-CNPUV, 1996. 60p. (Circular Técnica, 10).

LACAR, F.M.; LEWIS, M.M.; GRIERSOM, I.T. Use of Hyperspectral Reflectance for Discrimination between Grape Varieties. In: GEOSCIENCE IEEE 2001 INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM: SCANNING THE PRESENT AND RESOLVING THE FUTURE. **Proceedings...**Sydney, v. 6, p. 2878-2880, 2001.

LAMB, D.W., HALL, A.; LOUIS, J. Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. **Australian Grapegrower and Winemaker**, v.449a, p. 89-92, 2001.

LANDGREBE, D.A. The Quantitative Approach: Concept and Rationale. In: SWAIN, P. H; DAVIS, S.M. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. New York: McGRAW-HILL, p. 1-20, 1978.

LATORRE, M.; CARVALHO, O. A. JÚNIOR; CARVALHO, A.P.F. de; SHIMABUKURO, Y. Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. **Espaço & Geografia**, Brasília, v.5, n.1, p. 153-178, 2002.

LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 1987. 721p.

LILLA, C. **Introdução ao mundo do vinho**. 2. ed. São Paulo: Martins Fortes, 2005. 244p.

LUZ, N.B., FONSECA, D.L. Viabilidade na Identificação de Variedades de Videira pelas Diferenças Observadas na Resposta Espectral das Folhas. In: III COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, **Anais...**Curitiba: UFPR, 2003. p. 1-12.

MANDELLI, F.; BERLATO, M.A.; TONIETTO, J.; BERGAMASCHI, H. Fenologia da videira na Serra Gaúcha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.9, n.1-2, p. 129-144, 2003.

MAROCO, J. **Análise estatística**: com a utilização do SPSS. Lisboa: Silabo, 2003. 824p.

MARTIN, D. The search for terroir - a question of management. In: 5<sup>th</sup> INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COOL CLIMATE VITICULTURE AND OENOLOGY. **Proceedings...**Melbourne, Austrália. 2000.

MELLO, L.M.R. de. **Viticultura brasileira**: Panorama 2007. EMBRAPA Uva e Vinho. Disponível em: <[http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/panorama2007\\_viticultura.pdf](http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/panorama2007_viticultura.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2009.

MIELE, A.; MANDELLI, F. **Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado: sistemas de condução. Sistema de Produção**, Bento Gonçalves, n. 4, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/index.htm>>. Acesso em: 15 out. 2008.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297p.

MORAES, E.C. de. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. In: MORAES, E.C. de; ÁVILA, J. (Org.). **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente.** São José dos Campos: INPE, 2002. p. 1-22.

MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação.** 2000. 114p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação.** 1. ed. São José dos Campos, SP: UFV. 2001. 250 p.

MOUTON, G.D. **Terroir: the footprint of great wines.** 2006. 136p. Dissertação (Mestrado) - Cape Wine Academy, Stellenbosch - South Africa, 2006.

MYNENI, E.J.; ASRAR, G. Atmospheric effects and spectral indices. **Remote Sensing of Environment.** New York, v. 47, p. 390-402, 1994.

MYNENI, R.B.; HALL, F.G.; SELLERS, P.J.; MARSHAK, A.L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.33, n. 2, p. 481-486, 1995.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308p.

OLIVEIRA, R., DUCATI, J. R., BETTÚ, V. Vinhos de Terroir: Consequências Práticas da Apreensão de um Campo Semântico. In: XI CONGRESO LATINOAMERICANO DE VITICULTURA Y ENOLOGIA, 2007, Mendoza. **Anales...** Mendoza: CLEIFRA, 2007. v. 1. p.1-5.

OLIVEIRA, R., DUCATI, J. R. Un Terroir Viticole au Brésil: Changement et Continuité. In: VII<sup>th</sup> INTERNATIONAL TERROIR CONGRESS, 2008, Nyon. **Proceedings...**Nyon: Agroscope Changins Wädenswil, 2008. v. 2. p. 742-746.

PACHECO, A. O. **Iniciação à enologia.** São Paulo: Senac, 2006. 177p.

PATAKAS, A., NOITSAKIS, B., STAVRAKAS, D. Adaptation of leaves of *Vitis vinifera* L. to seasonal drought as affected by leaf age. **Vitis**, v.36, n.1, p.11-14. 1997.

PESTANA, M.H.; GAGEIRO, H.N. **Análise de dados para as ciências sociais: a complementaridade do SPSS.** 4.ed. Lisboa: Silabo, 2005. 690p.

PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. (ed). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília: UNB, 2001. p.157-202.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.

REGINA, M.A.; PEREIRA, A.F.; ALVARENGA, A.A.; ANTUNES, L.E.C.; ABRAHÃO, E.; Rodrigues, D.J. Sistemas de condução para a videira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 194, p.28-33. 1998.

REYNIER, A. **Manual de Viticultura**: guia técnica de viticultura. 6. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2002. 497p.

RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis**: an introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281p.

RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L.; GAUSMAN, H.W.; CUELLAR, J.A.; GERBERMANN, A.H. Plant, soil and shadow reflectance components of row crops. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.41, p.1401-1407. 1975.

RIDOMI, A.; MORETTI, G. Comportamento della cv. Cabernet Franc (*Vitis vinifera* L.) allevata in cinque combinazioni d'innesto e con due sestí d'impianto. **Vignevini**, Bologna, v. 23, n. 7/8, p. 3-8, 1996.

ROUSE J.W.; HAAS R.H.; SCHELL J.A.; DEERING D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS In: THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 1973, Greenbelt. **Proceedings...** Greenbelt: NASA SP-351, 1973. p. 301-317.

SANTOS, H.P. Aspectos ecofisiológicos na condução da videira e sua influência na produtividade do vinhedo e na qualidade dos vinhos. **Comunicado Técnico**, Bento Gonçalves, n. 71, 2006. Disponível em: < <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/comunicado/cot071.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2008.

SCIENZA, A.; CAMPOSTRINI, F. Introducción a las formas de cultivo de la vid. In BALSARI, P.; SCIENZA, A. **Formas de cultivo de la vid y modalidades de distribución de los productos fitosanitarios**. Madrid: Mundi-Prensa, 2004. 326p.

SILVA, L.F. Radiation and Instrumentation in Remote Sensing. In: SWAIN, P. H; DAVIS, S.M. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. Ney York: McGRAW-HILL, 1978. p. 21-135.

SILVA, E.L.S.; PONZONI, F.J. Comparação entre a reflectância hemisférica de folhas e a reflectância bidirecional de um dossel. **Revista Árvore**, v.19, n.4. p.466-478, 1995.

SILVA, A.F. **Dados digitais do satélite SPOT e de radiometria de campo no estudo da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado**. 1995. 118p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

SILVA, P. R. da. **Técnicas de Sensoriamento Remoto e Radiometria Aplicadas a Vinhedos em Duas Regiões do Rio Grande do Sul. Brasil**. 2006. 76p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SILVA, P.R. da, DUCATI, J.R. Spectral Features of Vineyards in South Brazil from ASTER Imaging. Aceito para publicação em **International Journal of Remote Sensing**, 2009.

SITE DO VINHO BRASILEIRO. **Serra do Sudeste**. Disponível em: <[http://www.sitedovinhobrasileiro.com.br/mostra\\_a\\_vinicola.php?num=186](http://www.sitedovinhobrasileiro.com.br/mostra_a_vinicola.php?num=186)>. Acesso em: 15 out. 2008.

SLATER, P.N. **Remote Sensing: optics and optical systems**. Londres: Addison-Wesley Publishing Company, 1980. 570p.

SWAIN, P. H; DAVIS, S.M. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. New York: McGRAW-HILL, 1978. 396p.

TAYLOR, J. Geographic information systems: a step into the information age. **The Australian Grapegrower and Winemaker**, Austrália, v. 435, p. 19-21. 2000.

TAYLOR, J. A. **Digital Terroirs and Precision Viticulture**. 2004. 233p. Tese (Doutorado) - Faculty of Agriculture, Food and Natural Resources, University of Sydney, New South Wales, Australia, 2004.

THENKABAIL, P. S.; SMITH, R. B.; PAUW, E. Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 68, n.6, p. 607-621, 2002.

TODA, F.M. de. **Biologia de la vid: fundamentos biológicos de la viticultura**. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. 346p .

TODA, F. M. de; SANCHA, J. C.; LLOP, E. Estudio comparado del microclima luminoso en los sistemas de conducción em vaso y espaldera en Rioja. **Rivista di Viticoltura e di Enologia**, Treviso, v. 44, n. 4, p. 149-156, 1991.

TOGORES, J.H. **La Calidad del Vino desde el Viñedo**. Madrid: Mundi-Prensa, 2006. 390 p.

TONIETTO, J. Afinal, o que é Terroir? **Bon Vivant**, Flores da Cunha, v.8, n.98, p. 8. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos>>. Acesso em: 05 fev. 2009.

WAGNER, A.P.L. **Aplicação de Imagens Aster para Estudos Territoriais no Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2004. 100p. Dissertação (Mestrado) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

WILSON, J.E. **Terroir - The role of geology, climate and culture in the making of French wines**. Mitchell Beazley: London, 1998. 336p.

ZULLO JÚNIOR, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. 191p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1994.

## ANEXO 1

Região/Terroir	Data	Hora (GMT)	Altitude média (km)	Modelo Atmosférico	Modelo aerossol	Visibilidade (km)	Ponto central
Bordeaux	24/07/2001	11:19:41	0,05	MLS <sup>1</sup>	Marítimo <sup>a</sup>	70	45°5'45,58"N 0°42'38,57"W
	11/08/2001	11:07:11				70	45°5'20,57"N 0°42'22,17"W
	26/08/2007	11:11:55				70	45°5'41,25"N 0°45'50,56"W
Champagne	08/06/2006	10:45:22	0,3	SAS <sup>2</sup>	Tropospheric <sup>b</sup>	60	49°08'11,6"N 4°3'52,12"L
	17/07/2006	10:51:48				50	48°55'35,8"6N 3°56'43,55"L
	06/09/2004	10:45:14				60	49°9'4,4"N 3°58'39,26"L
Aconcagua	12/12/2000	15:03:30	0,65	MLS	Rural <sup>c</sup>	60	32°48'9,4"S 70°49'25,37"W
	29/01/2001	15:02:57				60	32°48'8,88"S 70°49'25,39"W
	24/02/2002	14:58:47				50	32°48'9,46"S 70°49'24,68"W
Colchagua	12/12/2000	15:04:05	0,25	MLS	Rural	70	34°38'49,17"S 71°19'15,13"W
	29/01/2001	15:03:32				70	34°38'49,30"S 71°19'15,55"W
	24/02/2002	14:59:22				70	34°38'49,15"S 71°19'15,71"W
Encruzilhada do Sul	01/11/2004	13:35:03	0,45	MLS	Rural	60	30°29'14,5"S 52°29'17,16"W
	17/11/2004	13:34:52				50	30°29'13,03"S 52°29'14,5"W
	06/03/2004	13:36:40				60	30°29'5,95"S 52°29'10,77"W

<sup>1</sup> MLS: Mid-Latitude Summer; <sup>2</sup> SAS: Sub-Artic Summer

<sup>a</sup> Maritime: representado pela camada limitada pelos oceânicos ou costas litorâneas que recebem diretamente o vento proveniente do oceânico. Ele é composto por dois componentes, um referente ao "spray" do mar e outro proveniente do aerossol continental rural (cujas grandes partículas são omitidas).

<sup>b</sup> Tropospheric: o qual se aplica à condição calma, limpa (visibilidade maior que 40km) sobre a superfície e consistem de pequenas partículas que compõem o modelo rural.

<sup>c</sup> Rural: representa o aerossol encontrado em áreas distantes de região urbana ou pólos industriais. As dimensões das partículas são combinações de duas distribuições, uma grande e uma pequena.