

LISA ADELAIDE PIRES TOSTE DA SILVA

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE DETECÇÃO REMOTA EM  
VITICULTURA

*Dissertação submetida à Universidade dos Açores para a obtenção do grau de  
Mestre em Gestão e Conservação da Natureza sob orientação do Professor Doutor  
Mário Cunha*



UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
Departamento de Ciências Agrárias  
Angra do Heroísmo, 2012

*A Diogo e Nuno Martins*

---

## AGRADECIMENTOS:

Agradeço ao Professor Mário Cunha por todo o apoio e orientação na elaboração deste trabalho. Agradeço também ao Professor André Marçal pelo apoio prestado no início deste trabalho.

Agradeço todo o auxílio do Professor João Madruga e Professor Artur Gil.

À Professora Teresa Lima que me incentivou ao término deste trabalho.

Ao Professor Tomás Dentinho pelo auxílio prestado como Director do Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza.

Agradeço também a VITO pelas imagens gratuitas SPOT VGT e também à disponibilidade do programa TimeSat.

Agradeço também à minha família, em particular à minha mãe que sempre me apoiou e ao meu pai que certamente estará feliz por mim.

Agradeço aos meus amigos que me incentivaram ao longo deste projecto.

O meu mais sentido agradecimento às pessoas mais importantes da minha vida que me deram sempre apoio incondicional, não só neste projecto mas em todas as etapas da minha vida, Nuno e Diogo Martins.

Agradeço a todos os que me apoiaram e acreditaram que este projecto iria chegar ao fim.

## RESUMO

Neste trabalho são desenvolvidas técnicas de detecção remota, com a finalidade de estudar a evolução da vegetação, os estados fenológicos da vinha e a produtividade de vinho em quatro regiões vitivinícolas de Portugal. Para tal, são obtidos valores de NDVI através do instrumento VEGETATION do satélite SPOT 4 e SPOT 5, dados referentes ao período entre 1998 e 2008. Esses valores são compósitos de 10 dias, resultando em 3 valores de NDVI por mês. São construídas séries temporais, e efectuados ajustamentos para esses valores de NDVI com o propósito de explicar a fenologia da vegetação da vinha.

Os estados fenológicos floração e pintor são estimados para a região da DRW e VVR a partir do valor máximo obtido através dos ajustamentos efectuados. Através do modelo obtém-se valores de  $R^2$  compreendidos entre 0,65 e 0,74. Para a região de VVR, ainda foi possível efectuar um modelo de previsão com  $R^2$  de 0,75 para o estado fenológico pintor.

Para as quatro regiões em estudo foi possível ajustar um modelo de previsão de produtividade de vinho com base nos valores de NDVI obtidos para a segunda década do mês de Abril do ano anterior. Para as quatro regiões em estudo os valores de  $R^2$  encontram-se compreendidos entre 0,73 e 0,88.

Palavras Chave: Detecção Remota, NDVI, Vinha, Vinho, Fenologia, Previsão

## ABSTRACT

In this work there are developed remote sensing techniques, with the purpose of studying the evolution of vegetation phenological stages and wine yield in four Portuguese wine producing regions. To this end, NDVI values are obtained through the VEGETATION instrument of SPOT satellite SPOT 4 and 5 relating to the period between 1998 and 2008. These values are composites of 10 days, resulting in 3 values of NDVI per month. Time series are built, and made adjustments for these values of NDVI in order to explain the vegetation phenology of the vine.

The phenological stages veraison and flowering are estimated for DWR and VVR regions through the maximum value obtained each year for the SG adjustment. The model produces  $R^2$  values that fall between 0.65 and 0.74. For the region of VVR, it was possible to produce a forecast model with a  $R^2$  value of 0.75 for the veraison Stage.

For the four regions under study it was possible to obtain a predictive model of productivity of wine based on the values of NDVI obtained for the second decade of April of the previous year. For the four regions under study the values of  $R^2$  are comprised between 0.73 and 0.88.

Keywords: remote sensing, NDVI, grapevine, wine, phenology, forecast

**ÍNDICE GERAL:**

RESUMO.....	III
ÍNDICE .....	V
ÍNDICE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE TABELAS .....	VIII

# ÍNDICE

1. Introdução .....	1
2. Estado da arte .....	3
2.1 índice de vegetação NDVI .....	3
2.2 Fenologia da vinha. ....	5
2.3 Utilização da detecção remota na fenologia.....	7
2.4 Utilização de técnicas de Detecção Remota na Previsão de colheitas .....	8
3. Materiais e métodos .....	9
3.1 DADOS DE SATÉLITE .....	10
3.2 <i>Software</i> PARA EXTRACÇÃO DE METRICAS DO NDVI.....	11
3.3 Área de estudo .....	12
3.4 Identificação de área de vinha .....	13
3.5 Extracção de parâmetros sazonais a partir dos filtros GA, DL, e SG. ....	15
3.6 Uso dos dados da série temporal na relação com os estados fenológicos.....	21
3.7 Modelo de previsão de produtividade de vinho .....	23
4. Resultados .....	25
4.1 Ajustamento pelo filtro GA, DL e SG para as quatro regiões em estudo: .....	25
4.2 Comparação entre os resultados obtidos através dos filtros adaptativos SG e os resultados para o estado fenológico pintor e floração obtido <i>in situ</i> .....	30
4.3 Modelo de previsão da produção de vinho .....	34
5. Conclusão .....	38
Bibliografia .....	39

## Índice de Figuras

Figura 1- Comparação de valores de reflectância e do NDVI em diferentes situações de stress das plantas. O NDVI é calculado a partir da radiação reflectida pela vegetação nas zonas do visível e do infravermelho próximo. A vegetação sem stress (à esquerda) absorve a maior parte da luz visível que incide e reflecte uma grande parcela da radiação na zona do infravermelho próximo. Vegetação com stress (à direita) reflecte mais radiação na zona do visível e menos na zona do infravermelho, produzindo um valor de NDVI menor. ....	4
Figura 2 – Diagrama do ciclo de crescimento anual da videira.....	5
Figura 3 – Sumário dos processos seguidos na elaboração do estudo do uso de técnicas de detecção remota aplicada à vinha.....	9
Figura 4 - desenvolvimento do programa VEGETATION. O programa VEGETATION 1 teve início em 1998 e o programa VEGETATION 2 teve início em 2002. A aquisição de dados para o presente trabalho efectuou-se de Abril de 1998 a Julho de 2008. ....	11
Figura 5 - Resumo dos passos seguidos na análise efectuada para a identificação de zonas com vinha. ....	13
Figura 6 – Mapa de Portugal com as zonas em estudo identificadas com a respectiva percentagem de vinha para cada pixel. (Cunha <i>et al</i> , 2010). apresentar as siglas VVR.. ....	14
Figura 7 - Composição de 3 imagens SPOT VGT canais no programa PCI evidenciando o bitmap da zona de pinhão seleccionado no programa PCI Geomática. ....	14
Figura 8 – Diagrama com os passos efectuados na determinação dos parâmetros sazonais a partir dos filtros GA, DL, e SG para a série temporal de valores de NDVI. ....	15
Figura 9- Aplicação TIMESAT com os dados de valores máximos de NDVI representados com o filtro gaussiana assimétrica ajustado para a região em estudo da régua. ....	17
Figura 10 - Alguns parâmetros de sazonalidade são calculados pela interface timesat, como na representação para o ano de 1999 para a região da régua: a) início do ciclo, b) fim do ciclo, c) 90% desnível da esquerda, d) 90% desnível da direita, e) pico, f) amplitude, g) extensão do ciclo, h) integral sobre o ciclo de crescimento dada a área entre a média dos valores mínimos à esquerda e à direita da função ajustada, i) integral sobre o ciclo de crescimento da área da função ajustada, e a base zero.....	19
Figura 11 – Diagrama com procedimento realizado na elaboração e avaliação do modelo. ....	23

Figura 12 – Ajustamentos aos valores medianos de NDVI efectuado com os filtros ga(a)), dl (b))e sg (c)) para a região do Alentejo. A vermelho encontra-se evidenciado o ano 2000 que não é contemplado pelos filtros. Colocar apenas uma legenda na parte de baixo dos 3 gráficos. Logo em cima da legenda. ....	25
Figura 13 - Ajustamentos aos valores medianos de NDVI efectuado com os filtros ga(a)), dl (b))e sg (c)) para a região de Arcos de Valdevez.....	26
Figura 14 - Ajustamentos aos valores medianos de NDVI efectuado com os filtros ga(a)), dl (b))e sg (c)) para a região de Pinhão. ....	27
Figura 15 - Ajustamentos aos valores medianos de NDVI efectuado com os filtros ga(a)), dl (b))e sg (c)) para a região da Régua. ....	28
Figura 16 – Correlação entre as variáveis transformadas, relativas à data do valor máximo de NDVI (variável explicativa) e à data da ocorrência do estado fenológico pintor (variável explicada) para a região VVR e DRW. ....	31
Figura 17 - Comparação entre a DOY previsto e a DOY obtido para o estado fenológico pintor em cada local de teste em estudo: a) VVR, b) DWR. ....	31
Figura 18 - Correlação entre as variáveis transformadas, relativas à data do valor máximo de NDVI (variável explicativa) e à data da ocorrência do estado fenológico floração (variável explicada) para a região VVR. ....	32
Figura 19 - Comparação entre a DOY previsto e a DOY obtido para o estado fenológico floração na região VVR. ....	32
Figura 20 - Correlação entre as variáveis transformadas, relativas à data do valor máximo de NDVI (variável explicativa) desfasada em um ano, e à data da ocorrência do estado fenológico pintor (variável explicada). ....	33
Figura 21 - Comparação entre a DOY previsto e a DOY obtido para cada local de teste em estudo VVR. ....	33
Figura 22 - Correlação entre a produtividade prevista e o valor de NDVI, para a segunda época de Abril do ano anterior para cada local de teste em estudo: a) régua, b) pinhão, c) vinhos verdes e d) Alentejo. (Cunha et al 2010).....	36
Figura 23 – Comparação entre a produtividade prevista e a produtividade obtida para cada local de teste em estudo: a) régua, b) pinhão, c) vinhos verdes e d) Alentejo. (Cunha et al 2010).....	37

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características do sensor VEGETATION:.....	10
Tabela 2 – Síntese de valores de NDVI efectuada para as imagens satélite spot- vegetation. ..	11
Tabela 3 - Parâmetros a utilizados pela interface TIMESAT.....	18
Tabela 4 – Valores do coeficiente de correlação entre os filtros adaptativos e a série de valores de NDVI para as 4 regiões em estudo.....	29
Tabela 5 - Estimativas e análise estatística dos coeficientes de regressão do modelo para os locais de teste. ....	30
Tabela 6 - Estatísticas da adequação do modelo de previsão e validação para a região VVR e DRW. ....	31
Tabela 7 – Valores de NDVI para o segundo conjunto de dez dias para o mês de Abril para o ano precedente ( $abril2_{ano-1}$ ), produtividade observada (PO) e a previsão da produtividade (PP). ....	34
Tabela 8 – Estatística descritiva (1998-2007) das variáveis seleccionadas para os modelos de previsão nos locais de teste estudados. ....	35
Tabela 9 – Estimativas e análise estatística dos coeficientes de regressão do modelo de previsão para os locais de teste. (Cunha et al 2010).....	36
Tabela 10 – Estatísticas da adequação do modelo de previsão e validação para os quatro locais de teste. ....	37

---

# 1. INTRODUÇÃO

A vitivinicultura é uma actividade ancestral de grande relevo na economia e sociedade a nível global. No contexto da agricultura Portuguesa esta actividade desempenha um papel não só económico, como também social, ambiental e cultural especialmente importante nas regiões do Minho, Douro, e do Alentejo, que constituem as principais regiões produtoras de vinho em Portugal. A produção de vinho destas regiões representa cerca de 50% da produção total nacional (IVV, 2012).

No contexto da indústria do vinho e da vinha, a previsão da colheita é efectuada para aumentar a eficiência das actividades vitivinícolas, sendo essencial para uma organização eficiente das colheitas, e para as negociações de preços, datas de início das operações de transformação, alocação de espaço em cubas, e para o investimento em novo equipamento. É igualmente fundamental para o desenvolvimento de estratégias comerciais tanto para o mercado interno como para o mercado externo. A informação das previsões pode igualmente ser utilizada pelo governo para a implementação de mecanismos de regulação - Cunha *et al* (2003), Clingeleffer *et al* (2001), Panigai *et al* (1988).

A caracterização da fenologia é importante, dado que o desenvolvimento e optimização da qualidade da uva para a produção de vinho, está directamente relacionado com a duração e data de ocorrência dos fenómenos fenológicos (Jones *et al*, 2000).

As observações da fenologia da vinha em áreas de grande dimensão possuem um custo elevado, podem ser demoradas e estão ainda sujeitas à subjectividade do operador. Os modelos bioclimáticos de previsão dos estados fenológicos são muitas vezes específicos para cada espécie e calibrados para dados locais. A aplicação destes modelos a locais diferentes de onde foram desenvolvidos mais amplas geralmente não apresentam a precisão desejável, e depende da disponibilidade de mapas de vegetação, e de dados climatéricos completos e consistentes utilizados como variáveis que nem sempre estão disponíveis.

A detecção remota apresenta grande potencial para determinação dos estados fenológicos. As imagens de satélites de observação da terra (EOS, Earth Observing System) permitem efectuar uma amostragem de baixo custo e com uma repetibilidade temporal satisfatória sobre um grande número de regiões (Wu *et al*, 2008).

A utilização de técnicas de detecção remota é um método potencialmente utilizável para prever a produtividade e os estados fenológicos da vinha com rigor e baixo custo. O presente trabalho procurará aplicar tais métodos ao estudo de diversas regiões vinícolas Portuguesas, como o Minho (região dos vinhos verdes-VVR), o Douro (Régua -DWR e Pinhão -DER), e o Alentejo-ALT.

O objectivo deste trabalho consiste numa primeira parte em avaliar a capacidade das imagens do satélite SPOT-VEGETATION para prever a fenologia da vinha e estabelecer um modelo de previsão da produtividade regional de vinho nas principais regiões de Portugal.

No primeiro capítulo desta dissertação é discutida a importância do estudo da fenologia da vinha tal como o interesse de um modelo de previsão de vinho obtido através de um sistema de detecção remota. Os objectivos propostos para esta tese são também evidenciados neste capítulo. A revisão da literatura sobre as técnicas já utilizadas e trabalhos efectuados sobre o tema das previsões de colheita em viticultura é abordado no capítulo 2 - estado da arte.

O capítulo 3- Materiais e Métodos encontra-se dividido em duas secções. A primeira secção – Materiais - trata os materiais utilizados na elaboração deste trabalho como as imagens satélite, carta de ocupação do solo e *software* utilizado na execução. A segunda secção – Métodos – encontra-se dividida nas várias fases de processamento e tratamento de dados efectuada no decorrer do trabalho, como a obtenção dos dados satélite, tratamento de imagens, obtenção dos valores de NDVI e correlação destes valores com dados fenológicos e de produtividade de vinho.

No Capítulo 4 - resultados - é executada a metodologia e os resultados são exibidos e explicados. Os resultados são interpretados e avaliados no Capítulo 5 discussão e conclusão.

---

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI

A radiação emitida pela superfície da terra em comprimentos de onda é recolhida pelos sensores dos satélites são frequentemente combinados para produzir índices de vegetação (IV). Os comprimentos de onda na zona do vermelho (0,6-0,7  $\mu\text{m}$ ) e na zona do infravermelho próximo (0,75-1,75  $\mu\text{m}$ ) foram reconhecidos como sendo os mais úteis no estudo da vegetação por detecção remota (Myneni *et al*, 1995). Actualmente existem diferentes IV, mas o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) continua a ser o mais divulgado.

O NDVI é frequentemente utilizado na monitorização inter e intra-anual da evolução da vegetação. A determinação da densidade da cor verde num local depende da observação de comprimentos de onda distintos provenientes da radiação solar na zona do visível e infravermelho próximo, reflectidos pela vegetação. Quando a radiação solar atinge um objecto, certos comprimentos de onda são absorvidos, e outros reflectidos.

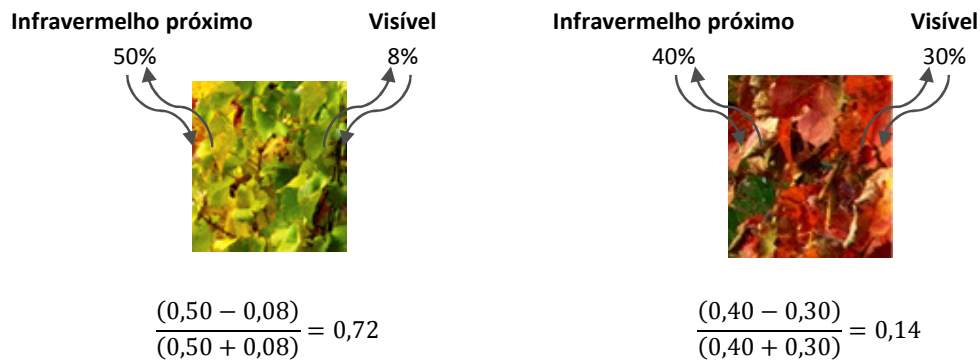
A atmosfera sobre a vegetação e o solo inferior à vegetação tendem a dissimular o sinal da vegetação em medidas de detecção remota. Alguns índices de vegetação têm esses factores em conta no seu cálculo, enquanto outros índices requerem um pré-processamento dos dados como a selecção do valor máximo NDVI para compósitos de dias, semanas ou meses (Myneni *et al*, 1995).

O valor do NDVI é dado pela diferença (em valor de reflectância) entre a banda no Infravermelho próximo (NIR) e a banda no visível (VIS), dividida pela soma destas duas bandas (NASA, 2010) equação 1:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{VIS}}{\text{NIR} + \text{VIS}}$$

Eq. 1

Os valores de NDVI podem variar entre -1 e +1. Valores de NDVI próximo de -1 indicam a presença de água, valores de NDVI próximos de zero significam ausência de vegetação, enquanto os valores de NDVI perto de 1 podem indicar uma grande densidade de folhas verdes (NASA, 2010). A figura 1 esquematiza a variação do NDVI em plantas em diferentes situações de stresses. Uma das maiores limitações deste índice de vegetação é absoluta insuficiência para discriminar a origem do stress.



**FIGURA 1-** Comparação de valores de reflectância e do NDVI em diferentes situações de stress das plantas. O NDVI é calculado a partir da radiação reflectida pela vegetação nas zonas do visível e do infravermelho próximo. A vegetação sem stress (à esquerda) absorve a maior parte da luz visível que incide e reflecte uma grande parcela da radiação na zona do infravermelho próximo. Vegetação com stress (à direita) reflecte mais radiação na zona do visível e menos na zona do infravermelho, produzindo um valor de NDVI menor.

## 2.2 FENOLOGIA DA VINHA.

A fenologia da vinha encontra-se correlacionada com o clima e tem sido observada em diversas regiões, para a compreensão do impacto das alterações climáticas na dinâmica da vegetação (Duchêne *et al*, 2005). Observações *in situ*, modelos bioclimáticos e a utilização de técnicas de detecção remota constituem os processos mais divulgados para monitorização das variações da fenologia da vegetação (Schaber *et al*, 2003) (Fisher, 2007).

A videira é uma planta perene e ocupa o solo durante trinta a quarenta anos entrando em produção 3 a 4 anos após a plantação. A sua vida é uma sucessão de ciclos anuais interdependentes, dado que as condições de vegetação durante o ciclo, devidas à acção do meio e do homem, exercem influências sobre o, ou os, ciclos vegetativos seguintes. Os gomos desempenham um papel fundamental na perenidade, pois asseguram a sobrevivência da planta, comportando-se como as sementes das plantas anuais. Desempenham igualmente um papel primordial na produção vitícola, com começo na iniciação floral (Reyner, 1986).

O ciclo vegetativo anual da videira é um processo que ocorre na vinha todos os anos, começando com o estado fenológico do abrolhamento, na Primavera e culminando na queda das folhas no Outono seguido de dormência de Inverno. A quantidade de tempo gasto em cada fase do ciclo de crescimento depende de uma série de factores nomeadamente o tipo de clima (quente ou frio) e as características de variedade de uva.

Como se verifica na figura2, a videira inicia o seu crescimento anual na Primavera com o abrolhamento. No hemisfério Norte, esta fase começa por volta do mês de Março, enquanto no Hemisfério Sul começa em torno de Setembro, quando as temperaturas diárias começam a ultrapassar os 10 ° C (50 ° F).

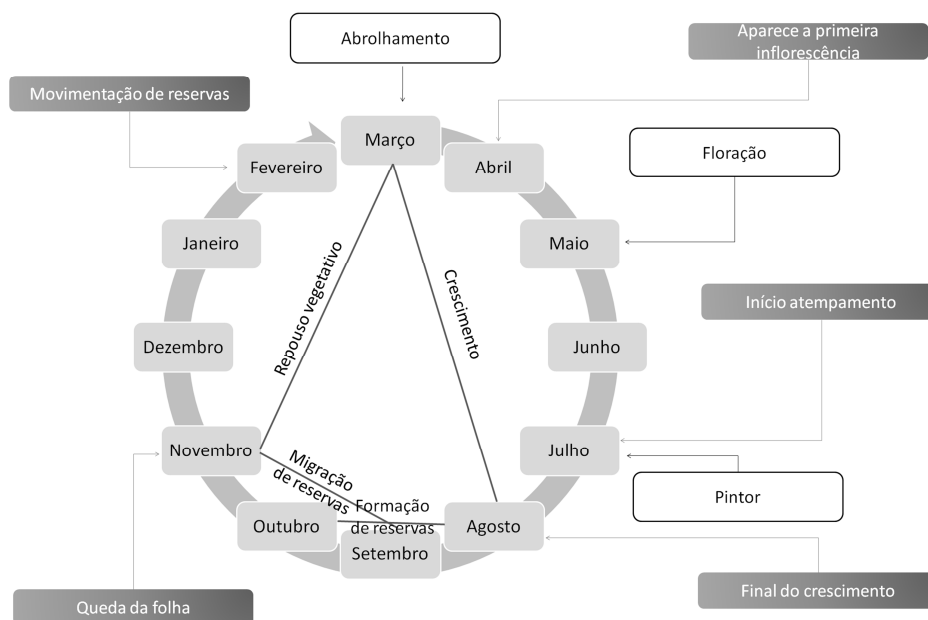


FIGURA 2 – Diagrama do ciclo de crescimento anual da videira

Dependendo de temperaturas, 40-80 dias depois do abrolhamento o processo da floração começa com o aparecimento de aglomerados de pequenas flores. A floração ocorre quando as temperaturas médias diárias se encontram entre 15-20 ° C (59–68 ° F), o que, no hemisfério Norte, é geralmente à volta do mês de Maio e para as regiões do Hemisfério Sul por volta do mês de Novembro. Algumas semanas depois dos aglomerados iniciais aparecerem, as flores começam a crescer em dimensão. É durante esta fase de floração que a polinização e a fertilização da videira têm lugar.

## 2.3 UTILIZAÇÃO DA DETECÇÃO REMOTA NA FENOLOGIA

Existem diversas aplicações da detecção remota na fenologia de diversos tipos de culturas.

Jönsson *et al* (2002) estudaram o modo como a taxa de aumento do NDVI durante o início do ciclo está relacionada com a dinâmica da vegetação da vegetação. Esta pode ser estimada a partir dos máximos e mínimo da primeira derivada dos valores de NDVI para o ciclo de crescimento.

White *et al* (2006) utilizaram o sensor AVHRR para desenvolver técnicas de previsão em tempo real. Neste estudo foi analisado o comportamento fenológico de um grupo de pixéis sem recorrer ao alisamento e ajustamento da série temporal. Concluíram que sem usar ajustamentos, a fenologia da superfície pode ser prevista em 7 dias de avanço com uma incerteza associada de 2 dias.

Heumann *et al* (2007) evidenciaram que existe um decréscimo de precipitação na zona do Sahel em África desde os anos 60 até meados dos anos 90, e estudos efectuados detectaram um aumento na amplitude do NDVI e do integral do ciclo de crescimento. Estes investigadores utilizaram o programa TIMESAT para estudar como a fenologia das plantas se alterou, e encontraram tendências significativamente positivas para a extensão do ciclo de crescimento nas regiões do Sudão e Guiné, apesar de não se ter verificado para a região de Sahel.

## 2.4 UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE DETECÇÃO REMOTA NA PREVISÃO DE COLHEITAS

A utilização de técnicas de detecção remota em viticultura é muito útil porque fornece informação rápida e especializada sobre a dimensão o vigor e outros parâmetros biofísicos da videira. - Cunha *et al* (2010), Hall *et al* (2003), Johnson *et al* (2003), Hall *et al* (2008). Recentemente algumas aplicações de dados de detecção remota na viticultura foram referidas na literatura: o índice de área de foliar, vigor, absorção fotossintética, a radiação activa, a taxa fotossintética, as propriedades do solo, a fenologia, pragas e doenças, e outros parâmetros relacionados com a produtividade da videira e com a qualidade - Hall *et al* (2002), Hall *et al* (2003), Johnson *et al* (2003), Zhang *et al* (2003), Taylor (2004), Hall *et al* (2008). Nos trabalhos de viticultura com recurso a detecção remota geralmente utilizam-se dados de alta resolução obtidos através de aviões como parte de uma ferramenta de gestão integrada para o controlo da vinha - Cunha *et al* (2010), Johnson *et al* (2003). A utilização de imagens de satélite de alta resolução para mapeamento e monitorização é restrita, devido a limitações de resolução espacial, espectral e temporal para o conjunto de dados disponíveis - Cunha *et al* (2010), Zarco-Tejada *et al* (2005). A maior parte destas aplicações baseiam-se em índices de vegetação convencionais, produzidos a partir de duas bandas espectrais como o NDVI - Cunha *et al* (2010), Hall *et al* (2002), Taylor (2004) .

A maior limitação do uso de imagens EOS na viticultura resulta da baixa resolução espacial da maioria dos sensores, e de dificuldades e custos de acesso aos dados. Alguns sensores EOS oferecem imagens de baixa resolução espacial e alta resolução temporal como o SPOT-VEGETATION (Cunha *et al*, 2010).

Uma variedade de dados de detecção remota foram utilizados para prever a biomassa com as colheitas de cobertura uniformes, tais como a cana do açúcar (Rudorff *et al*, 1990), trigo (Hochheim *et al*, 1998), algodão (Mkhabela *et al*, 2000), arroz (Xiao, *et al.*, 2005), couve-nabiça (Piekarczyk *et al*, 2006), e milho (Rojas, 2007 e Salazar *et al*, 2008)

Para as vinhas, e para a maioria outras de árvores de fruta, nenhum sistema de detecção remota operacional da previsão da produtividade do vinho foi encontrado na literatura.

---

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Como indicado no início deste trabalho, este estudo pretende responder a duas questões. Se os estados fenológicos da vinha podem ser determinados a partir de dados satélite e se a produtividade de vinha se encontra correlacionada com o NDVI.

Os passos indicados na figura 3 foram os seguidos na elaboração da secção materiais e métodos desta tese de mestrado que serão aprofundados nas próximas secções.



**FIGURA 3** – Sumário dos processos seguidos na elaboração do estudo do uso de técnicas de detecção remota aplicada à vinha.

### 3.1 DADOS DE SATÉLITE

O programa VEGETATION foi concebido para efectuar a monitorização diária da superfície terrestre a uma escala que pode ir desde o nível regional até ao global. Este programa foi desenvolvido pela Comissão Europeia, França, Bélgica, Itália e Suíça, sendo que o instrumento efectua medições com a frequência de uma vez por dia numa escala global, e com uma resolução espacial média de 1 km (Vegetation Programme, 2008).

O satélite Satellite Pour la Observation da la Terre (SPOT) foi lançado em 1986 e o sensor VEGETATION 1 começou em fase de estudos também em 1986, mas só foi implementado pela primeira vez no SPOT 4, sendo que os dados são continuados com o lançamento do SPOT 5 com o sensor VEGETATION 2 (Vegetation Programme, 2008). Os sensores VEGETATION 1 e VEGETATION 2 são idênticos, sendo que no VGT 2 foram efectuadas algumas melhorias, tais como alterações no sistema de calibração, modificação da altitude de restituição, e o uso de 'star tracker', que assegura pontos de controlo mais precisos (CNES, 2007).

O sensor VEGETATION possui uma resolução espacial de 1,15 km no nadir e um *swat* de 2.250 quilómetros como descrito na tabela 1.

TABELA 1 – Características do sensor VEGETATION:

Sensor	Banda	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Região espectral	Resolução espacial	Swat	Referência
VEGETATION	B0	0.43-0.47 $\mu\text{m}$	azul	1,15 km nadir	2250 km	(CNES 2007)
	B2	0.61- 0.68 $\mu\text{m}$	vermelho			
	B3	0.78- 0.89 $\mu\text{m}$	NIR			
	MIR	1.58- 1.75 $\mu\text{m}$	SWIR			

#### Tipo de imagens

Existem dois tipos de produtos VEGETATION, o VGT-P, que consiste na aquisição de uma imagem, e os produtos VGT-S que consistem na aquisição de uma série temporal de imagens (Vegetation Programme, 2008). O produto utilizado foi VGT-S10, que é uma síntese de 10 dias compilada recorrendo aos valores de dados adquiridos em 10 dias. Todos os segmentos deste período são comparados pixel a pixel para escolha dos melhores valores de reflectância. Estes produtos contêm dados de todas as bandas espectrais, de NDVI e dados auxiliares de parâmetros de aquisição de imagens.

Como descrito na tabela 2, a síntese é efectuada entre o 1º dia e o 10º dia do mês, do 11º dia ao 20º dia e do 21º dia até ao final do mês, obtendo-se então desta forma 3 valores de NDVI derivados de compósitos de 10 dias por mês (VITO, 2008).

TABELA 2 – Síntese de valores de NDVI efectuada para as imagens satélite SPOT- VEGETATION.

Imagens por mês	Aquisição de valores
Imagem 1	1º dia ao 10º dia
Imagem 2	11º dia ao 20º dia
Imagem 3	21º dia até ao final do mês

### Aquisição de Imagens

Neste trabalho os valores de NDVI foram obtidos a partir do satélite SPOT do sensor VEGETATION. Estas imagens foram extraídas sem custo da internet, a partir da página <http://free.vgt.vito.be/>, para a região da Europa desde Abril de 1998 a Julho de 2008 (figura 4).



FIGURA 4 - desenvolvimento do programa VEGETATION. O programa VEGETATION 1 teve início em 1998 e o programa VEGETATION 2 teve início em 2002. A aquisição de dados para o presente trabalho efectuou-se de Abril de 1998 a Julho de 2008.

No presente trabalho o parâmetro extraído do sensor VEGETATION consistiu nos valores do NDVI. Os dados adquiridos pelo satélite são valores de reflectância, sendo necessário converter esses valores para valores só de NDVI. A relação entre o DN (número digital) e o valor de NDVI é obtido multiplicando o número digital (DN) por 0.004 e subtraindo 0.1 (Vegetation Programme, 2008).

### 3.2 SOFTWARE PARA EXTRACÇÃO DE METRICAS DO NDVI

O *software* para produzir métricas do NDVI relacionadas com a fenologia através da series temporais de NDVI em cada região foi o TIMESAT (TIMESAT, 2012).

### 3.3 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho efectuado decorreu entre nas colheitas de 1998 a 2008 em 4 das principais regiões vitivinícolas de Portugal: região dos vinhos verdes no Minho (Arcos de Valdevez -VVR), num local na região no Alentejo (ALT), e em dois locais na região no Douro ( Régua - DRW) e Pinhão - DRE).

Estas regiões diferem em condições meteorológicas, solo, castas, sistemas de condução, impacto das doenças na quantidade das colheitas e em produtividade de vinho (Cunha *et al*, 2010).

O clima em todas as regiões estudadas é mediterrânico, sendo relativamente chuvoso para a região dos vinhos verdes, com uma influência continental nas regiões do Douro e do Alentejo, com acentuado contraste térmico anual e *stress* hídrico no Verão (Cunha *et al*, 2010).

A vinha na região dos vinhos verdes possui características únicas como o crescimento em altura acima do solo (Cunha *et al*, 2010).

No Douro, a região do vinho do Porto, as vinhas encontram-se em solos rochosos, e a grande maioria em encostas com declives acentuados. A região do Alentejo e Douro são as mais áridas da Europa. As duas sub-regiões estudadas no Douro distam entre si cerca de 50 km, sendo as condições meteorológicas diferentes (Cunha *et al*, 2010).

### 3.4 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREA DE VINHA

A identificação de zonas com vinha foi efectuada identificando a área de vinha em Portugal e verificado que percentagem de vinha existia nos *pixels* das imagens satélite obtidas. Posteriormente as áreas de interesse foram seleccionadas e os valores de NDVI para essas áreas foram obtidos como resumido na figura 5.

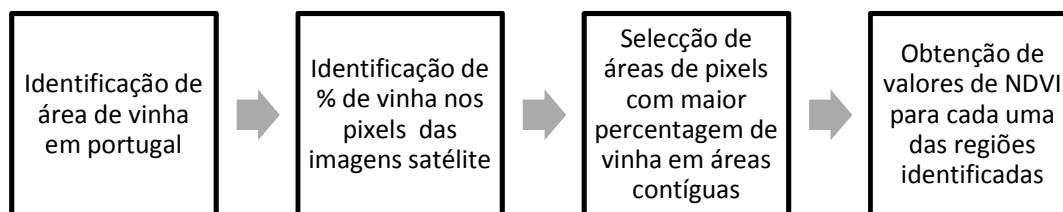
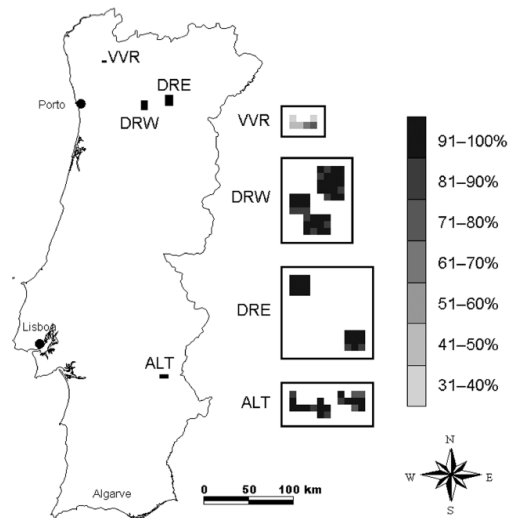


FIGURA 5 - Resumo dos passos seguidos na análise efectuada para a identificação de zonas com vinha.

Foi utilizado a carta CORINE Land Cover 2000 (Painho e Caetano, 2005) para seleccionar os locais de ensaio adequados para cada região vitivinícola. Inicialmente, foram seleccionados todos os *pixels* de 1x1 km com uma percentagem de ocupação por vinha de 70% ou mais. Apesar de existir um grande número de *pixels* que verificam esta condição, a maioria são *pixels* isolados. Como as imagens do sensor VEGETATION possuem *pixels* de 1x1 km, e o valor de cada pixel é obtido através de uma síntese de 10 dias, é importante seleccionar apenas grandes áreas contíguas, pelo menos de 3x3 km. Para a região VVR existem poucos de *pixels* de 1x1 km, com 70% ou mais abrangidos pela vinha, e portanto o critério para esta região foi menos rigoroso. Uma representação detalhada da cobertura das vinhas (%) nos quatro locais de ensaio é apresentada na Figura 6 (Cunha *et al*, 2010).

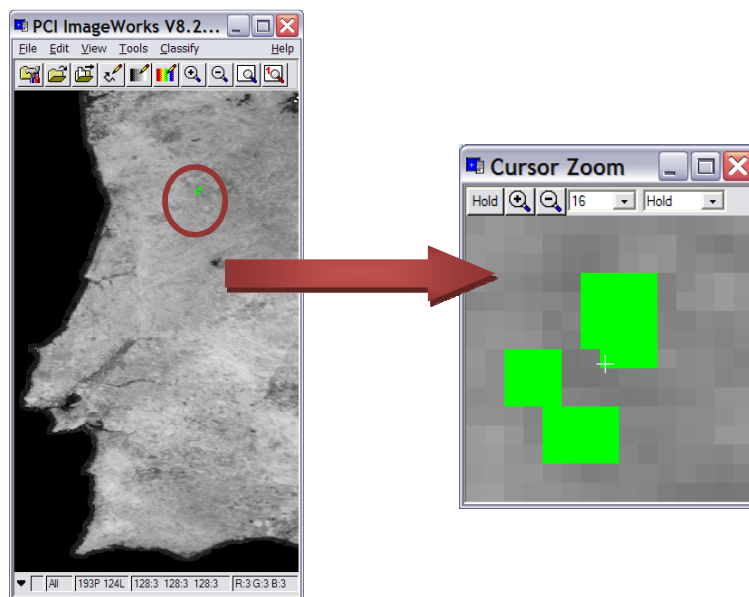
As regiões DWR e DER têm dois grupos separados compactos de *pixels* todos com 80% ou mais de cobertura de vinha (18 *pixels* para DER e 40 *pixels* para DWR). A região do ALT não têm um grupo compacto de *pixels*, mas a percentagem de vinha é alta para todos os 20 *pixels* utilizados nesse local. A região VVR possui uma selecção com um número reduzido de *pixels*, mas esta foi considerada dado que esta é uma região de grande importância no sector vitivinícola (Cunha *et al*, 2010).



**FIGURA 6** – Mapa de Portugal com as zonas em estudo identificadas com a respectiva percentagem de vinha para cada pixel. (Cunha *et al*, 2010). APRESENTAR AS SIGLAS VVR..

### Obtenção dos valores de NDVI

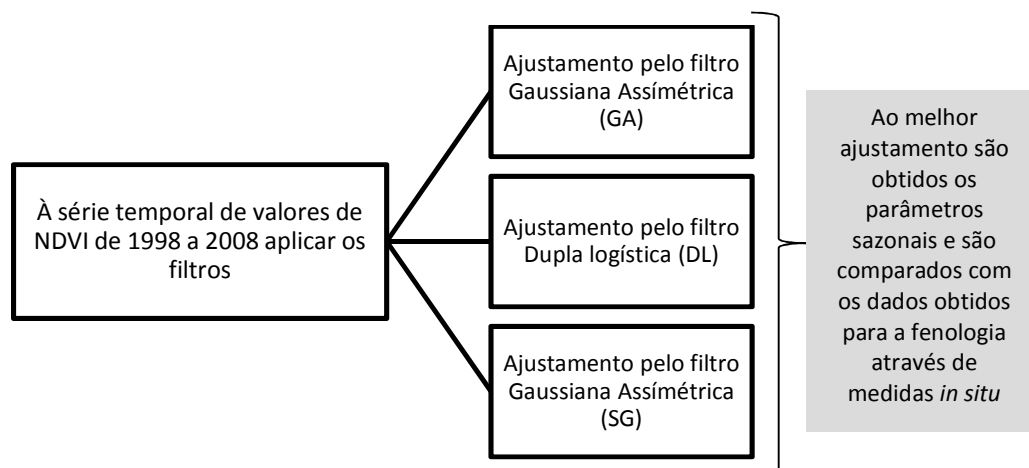
Encontra-se representado na figura 7 um bitmap para uma das regiões em estudo feito no programa PCI Geomática onde, utilizando uma função para o efeito, é extraído para cada um dos locais o valor: médio, mediano, valor máximo, valor mínimo de NDVI. No presente trabalho foram utilizados os valores máximos de NDVI na correlação da produtividade de vinho com os valores de NDVI e foram utilizados os valores medianos de NDVI no estudo fenológico da vinha.



**FIGURA 7** - Composição de 3 imagens SPOT VGT canais no programa PCI evidenciando o bitmap da zona de pinhão seleccionado no programa PCI Geomática.

### 3.5 EXTRACÇÃO DE PARÂMETROS SAZONAIS A PARTIR DOS FILTROS GA, DL, E SG.

A vinha tem um ciclo vegetativo anual que ocorre naturalmente. O padrão da dinâmica de vegetação pode ser estimado por uma aproximação sinusoidal para os valores de NDVI obtidos anteriormente. Para a vinha a variação da vegetação tem uma periodicidade sazonal anual. Para a análise da dinâmica da vegetação recorreu-se ao uso de três filtros na interface do TIMESAT. Os ajustamentos disponíveis no TIMESAT são: a Gaussiana Assimétrica, a dupla logística e a Savitsky- Golay. Os passos adequados ao ajustamento dos filtros e à sua posterior avaliação estão descritos na figura 8.



**FIGURA 8** – Diagrama com os passos efectuados na determinação dos parâmetros sazonais a partir dos filtros GA, DL, E SG para a série temporal de valores de NDVI.

A extracção da informação da sazonalidade a partir de séries temporais pode ser obtida através de funções não lineares que são ajustadas a um conjunto de pontos  $(t_i, I_i), i=1, \dots, n$ , onde  $t_i$  é a variável tempo e  $I_i$  é o valor de NDVI. As funções locais são utilizadas na construção de funções globais que descrevem a variação dos valores de NDVI ao longo dos ciclos (Jönsson *et al*, 2002).

#### Ajustamento pelo filtro que utiliza a função gaussiana assimétrica.

Utilizando o ajustamento pela função gaussiana assimétrica as funções locais são ajustadas a dados que se encontram nos intervalos em torno do valor mínimo e máximo.

As funções do modelo local têm a forma

$f(t) \equiv f(t; c_1, c_2, a_1, \dots, a_5) = c_1 + c_2 g(t; a_1, \dots, a_5)$ , onde:

$$g(t; a_1, \dots, a_5) = \begin{cases} \exp\left[-\left(\frac{t-a_1}{a_2}\right)^{a_3}\right] & \text{se } t > a_1, \\ \exp\left[-\left(\frac{a_1-t}{a_4}\right)^{a_5}\right] & \text{se } t < a_1 \end{cases}$$

Eq.2

É uma função do tipo gaussiano. Os parâmetros lineares  $c_1$  e  $c_2$  determinam o nível base e a amplitude. Para a função gaussiana,  $a_1$  determina a posição do máximo ou do mínimo

com respeito à variável independente do tempo  $t$ , enquanto  $a_2$  e  $a_3$  determinam a largura e o achatamento (kurtosis) da metade direita da função. Semelhantemente,  $a_4$  e  $a_5$  determinam a largura e o achatamento na secção esquerda.

#### Ajustamento pelo filtro que utiliza a função dupla logística.

Na função dupla logística o parâmetro  $x_1$  determina a posição do ponto de inflexão esquerdo enquanto o parâmetro  $x_2$  fornece a taxa de variação. O parâmetro  $x_3$  determina a posição do ponto de inflexão do lado direito enquanto  $x_4$  fornece taxa de variação nesse ponto. Para esta função, o domínio dos parâmetros está restringido, de modo a assegurar uma forma alisada (Jönsson *et al*, 2006).

$$g(t; x_1, \dots, x_4) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{x_1 - t}{x_2}\right)} - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{x_3 - t}{x_4}\right)}$$

Eq.3

#### Ajustamento pelo filtro de Savitzky–Golay

Um meio de filtrar dados e suprimir distúrbios é utilizar um filtro e substituir cada valor de dados  $l_i$ ,  $i=1, \dots, N$  por uma combinação linear dos valores vizinhos numa janela (Jonsson *et al*, 2004).

$$\sum_{j=-n}^n c_j l_{i+j}$$

Eq.4

No caso mais simples, referido como média móvel, os pesos são  $c_j = 1/(2n + 1)$  e o valor  $l_i$  é substituído pela média dos valores da janela. O método da média móvel preserva a área e a posição média do pico de um ciclo, mas altera a extensão e a altura. A extensão e a altura podem ser preservadas por aproximação do valor dos dados subjacente, não pela média da janela, mas pelo valor obtido pelo ajustamento polinomial efectuado pelo método dos mínimos quadrados (Jonsson *et al*, 2004).

## Ajustamentos no programa TIMESAT

Os dados foram tratados utilizando a aplicação TIMESAT a partir do programa MATLAB. A aplicação TIMESAT é uma interface gráfica que corre a partir do programa MATLAB. Esta interface tem a capacidade de receber valores de dados de satélite e efectuar um ajustamento à série temporal. Desse ajustamento são extraídos os parâmetros fenológicos para um ficheiro de texto. Um exemplo da aplicação TIMESAT para um dos locais em estudo encontra-se representado pela figura 9.

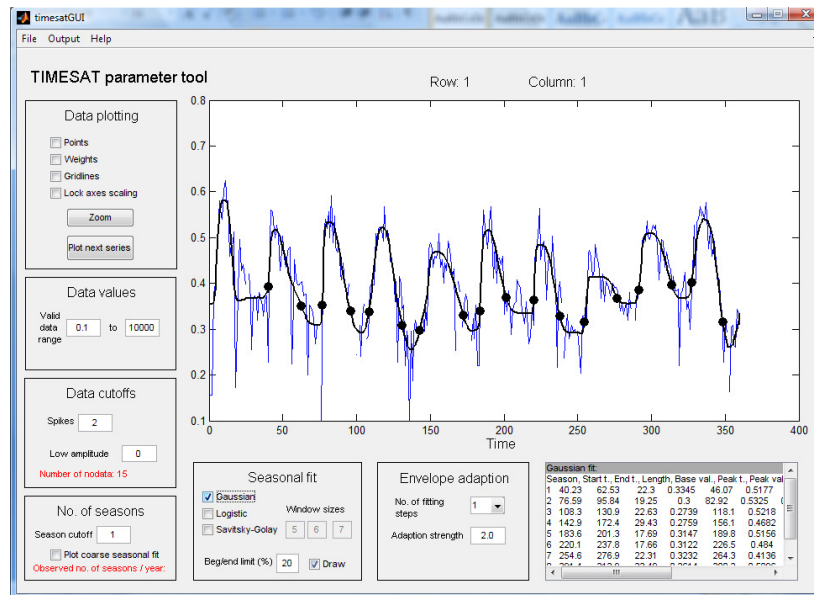


FIGURA 9- Aplicação TIMESAT com os dados de valores máximos de NDVI representados com o filtro gaussiana assimétrica ajustado para a região em estudo da régua.

Os “spikes”, isto é, os valores na série temporal que são substancialmente diferentes do valor vizinho à esquerda e à direita, bem como da mediana da janela, são classificados como “outliers”, e é-lhes atribuído o peso zero. Os “spikes” são detectados comparando cada valor de dados  $y_i$ , em que  $i=1,2,\dots,N$  com os valores filtrados de mediana e com os vizinhos mais próximos. Se a distância for maior que  $S \times ystd$ , onde  $ystd$  é o desvio padrão para os valores na série temporal, temos um spike e um valor  $y_i$  a que é atribuído o valor zero, sendo  $S=2$  o valor normal para atribuir (Jönsson & Eklundh, 2006).

O número de ciclos anuais encontra-se no intervalo entre zero e um. Um valor próximo de zero obriga o programa a interpretar uma pequena depressão como um ciclo, e um valor próximo de um obriga o programa a utilizar sempre um ciclo anual (Jönsson & Eklundh, 2006). Só séries temporais com amplitudes maiores que um certo valor de “cut-off” são processadas.

Quanto maior o numero de passos de ajustamento mais a função irá ser ajustada ao envelope superior dos dados do sensor. A força deste ajustamento é dada por valores entre 1 e 10, onde o valor 10 obriga o ajustamento ao envelope superior dos dados. O número de passos para a adaptação do envelope foi deixado a 1 em todas as regiões, bem como a força do ajustamento em 2,0.

A extracção dos parâmetros fenológicos para ciclo de crescimento, bem como o conjunto de valores do ajustamento, resulta do ajustamento efectuado.

Os parâmetros a especificar pela aplicação TIMESAT foram os descritos na tabela 3.

**TABELA 3** - Parâmetros a utilizados pela interface TIMESAT.

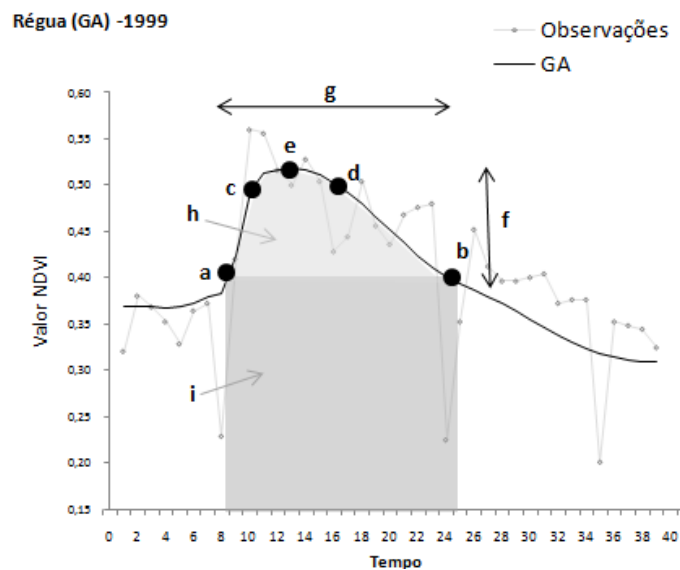
<b>Parâmetros</b>	<b>Definição</b>
<b>Data Plotting</b>	Opções de visualização do gráfico.
<b>Data Values</b>	Esta opção restringe intervalo de dados com que se pretende trabalhar. Como aos “outliers” retirados foi atribuído o valor zero, o intervalo de dados considerado foi o dos valores de dados compreendidos entre 0,1 e 1000.
<b>Data Cutoffs</b>	O número de “Spikes” foi seleccionado para 2 em todas as regiões. E a opção “low amplitud” foi deixada a zero.
<b>No. of seasons</b>	O número de ciclos escolhido para todas as regiões foi de 1 para impor ao programa a identificar um ciclo por ano.

Para cada valor  $y_i$  de série de tempo observado foi ajustado um valor  $\alpha_i$  dos filtros GA, DL e SG. A qualidade do ajustamento foi avaliada pelo coeficiente de determinação  $R^2$ .

## Parâmetros sazonais

O programa TIMESAT, a partir dos valores de NDVI, para cada ciclo vegetativo da vinha ajusta um dos filtros mencionados. Desse filtro são extraídos os parâmetros sazonais consoante a sua localização no ciclo.

O início do ciclo (figura 10a) é definido como o momento no qual o valor aumentou 10% em distância entre o mínimo à esquerda e o valor máximo. O fim do ciclo (figura 10, b)) é definido de um modo semelhante. O meio? do ciclo é difícil de definir mas uma estimativa razoável é dada pela posição e) na figura 10, e encontra-se entre as posições c) e d) para as quais os valores das funções ajustadas aumentou em 90% de distância entre o mínimo à esquerda e à direita e o valor máximo. A amplitude (f) do ciclo é obtida como a diferença entre o valor de pico e a média dos valores mínimos à esquerda e à direita (Jonsson *et al*, 2004).



**FIGURA 10** - Alguns parâmetros de sazonalidade são calculados pela interface timesat, como na representação para o ano de 1999 para a região da régua: a) início do ciclo, b) fim do ciclo, c) 90% desnível da esquerda, d) 90% desnível da direita, e) pico, f) amplitude, g) extensão do ciclo, h) integral sobre o ciclo de crescimento dada a área entre a média dos valores mínimos à esquerda e à direita da função ajustada, i) integral sobre o ciclo de crescimento da área da função ajustada, e a base zero.

O NDVI anual integrado é frequentemente utilizado como medida da produção primária líquida - Running *et al* (1988), Goward *et al* (1987), Ruimy *et al* (1994). Para obter uma boa estimativa da produção da sazonalidade do tipo de vegetação dominante, é importante calcular o NDVI integrado sobre o ciclo de crescimento.

No programa TIMESAT podem ser calculados dois integrais sobre o período de crescimento:

- **O primeiro integral (h)** é dado pela área da região entre a função ajustada e a média do mínimo à esquerda e à direita. Isto representa a vegetação activa do ciclo, que pode ser muito baixa para zonas que apresentem sempre vegetação.

- **O segundo integral (i)** é dado pela área da região entre a função ajustada e o nível base (zero), e representa o total da produção da vegetação. Em áreas sempre verdes o primeiro integral pode ser baixo mesmo que a produção da vegetação seja elevada (Jonsson *et al*, 2004).

A taxa de crescimento no NDVI durante o princípio do ciclo vegetativo é teoricamente relacionado com a fisionomia da vegetação e pode ser estimado pela fracção entre a amplitude e a diferença de tempo entre o início e meio do ciclo. A assimetria pode ser definida como a fracção entre as diferenças de tempo entre o meio, o início e o fim do ciclo.

Um valor da assimetria inferior a 1 indica um aumento rápido e uma queda lenta, por outro lado assimetrias inferiores a 1 indicam um aumento lento e uma queda rápida (Jonsson *et al*, 2004).

### 3.6 USO DOS DADOS DA SÉRIE TEMPORAL NA RELAÇÃO COM OS ESTADOS FENOLÓGICOS

#### Estimação do dia em que ocorre o estado fenológico pintor

Os dados em série temporal apresentam frequentemente autocorrelação. Por exemplo, em dados anuais, um ano anterior influenciará o ano seguinte. Isto acontece porque diversos factores não incluídos no modelo poderão estar mais presentes em anos consecutivos do que em anos não consecutivos. Sendo assim, torna-se necessário corrigir esse factor de autocorrelação. Partindo de um modelo da forma:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + u_t \quad \text{Eq.5}$$

pode acontecer que a variável  $Y_t$  apresente autocorrelação, o que se manifesta no termo de perturbação aleatório  $u_t$ . Para corrigir a autocorrelação, torna-se necessário encontrar o coeficiente de autocorrelação  $\rho$ , de modo a corrigir o modelo, e obter estimativas mais consistentes. Para tal, foi utilizado o método de Cochrane-Orcutt, que consiste nos seguintes passos:

1. Estimar pelo método dos mínimos quadrados o modelo original  $Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + u_t$
2. A partir dos resíduos da estimação, obtém-se uma estimativa de  $\rho$  fazendo uma regressão (pelo método dos mínimos quadrados) do resíduo do momento "t" com o resíduo do momento "t-1", e utilizando o coeficiente associado ao resíduo "t-1" como estimativa de  $\rho$ .
3. Corrige-se o modelo original utilizando o coeficiente de autocorrelação  $\rho$  subtraindo a este o modelo referente ao momento anterior multiplicado pelo coeficiente de autocorrelação associado, resultando no seguinte modelo transformado:

$$Y_t - \rho Y_{t-1} = \beta_0(1 - \rho) + \beta_1(X_t - \rho X_{t-1}) + u_t - \rho u_{t-1} \quad \text{Eq.6}$$

4. Estima-se o modelo transformado pelo método dos mínimos quadrados.
5. Repete-se o processo até as estimativas convergirem de um modo satisfatório.

Este processo foi utilizado para obter estimativas do dia em que ocorre o estado fenológico pintor, utilizando como variável explicativa o dia em que ocorre o valor máximo do NDVI do ciclo vegetativo. Para tal, pode-se utilizar o modelo transformado do seguinte modo:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \beta_0(1 - \rho) + \beta_1(X_t - \rho X_{t-1}) + u_t - \rho u_{t-1} \quad \text{Eq.7}$$

### Previsão do dia em que ocorre o estado fenológico pintor

O procedimento acima descrito obriga no entanto a ter dados sobre o dia em que ocorre o estado fenológico pintor no ano anterior, o dia em que ocorre o valor máximo do NDVI do ciclo vegetativo no próprio ano, e o dia em que ocorre o valor máximo do NDVI do ciclo vegetativo no ano anterior. Como é necessário utilizar informação sobre o dia em que ocorre o valor máximo do NDVI do ciclo vegetativo no próprio ano, levanta-se a questão de como utilizar este modelo para efeitos de previsão com um ano de antecedência. Para tal, é possível alterar o modelo original, explicando o dia em que ocorre o estado fenológico pintor através do dia em que ocorre o valor máximo do NDVI do ciclo vegetativo no ano anterior:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{t-1} + u_t \quad \text{Eq.8}$$

Como a correcção da autocorrelação faz-se para cada uma das variáveis independentemente, subtraindo o valor do ano anterior multiplicado pelo coeficiente de autocorrelação, pode-se obter a partir daqui o modelo transformado de acordo com o procedimento acima descrito. Este procedimento leva ao seguinte modelo transformado:

$$Y_t - \rho Y_{t-1} = \beta_0(1 - \rho) + \beta_1(X_{t-1} - \rho X_{t-2}) + u_t - \rho u_{t-1} \quad \text{Eq.9}$$

Podendo obter-se o seguinte modelo de previsão a partir do modelo transformado:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \beta_0(1 - \rho) + \beta_1(X_{t-1} - \rho X_{t-2}) + u_t - \rho u_{t-1} \quad \text{Eq.10}$$

Isto obriga a perder uma observação, face ao desfasamento entre variáveis.

### 3.7 MODELO DE PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE DE VINHO

O modelo de previsão de produtividade de vinho é efectuado a partir dos valores de NDVI para o ano anterior e o valor da produtividade de vinho do ano actual. Este método é depois avaliado por parâmetros estatísticos. Os passos efectuados na elaboração desta parte deste estudo encontram-se descritos na figura 11.

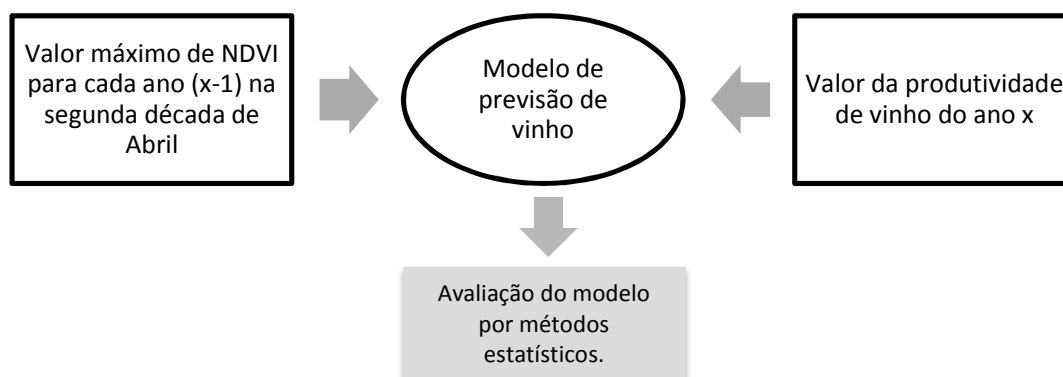


FIGURA 11 – Diagrama com procedimento realizado na elaboração e avaliação do modelo.

Os modelos de previsão da produtividade de vinho foram estimados para cada local de teste, tendo como variável dependente a produtividade de vinho do ano actual, e como variável independente o valor de NDVI do ano anterior correspondente à segunda década de Abril. Em virtude do facto geralmente aceite de que as estruturas reprodutivas da vinha para a colheita do ano seguinte começam após o abrolhamento (estágio C de Baggiolini) do ciclo actual, o NDVI do ciclo precedente foi também considerado neste estudo. Para cada região, foi seleccionado o conjunto de 10 dados NDVI de cada um dos 10 dias de síntese, procurando-se obter o melhor coeficiente de correlação (com significância estatística) entre cada conjunto de 10 dias NDVI, e a produtividade regional do vinho, tendo por amostra dados relativos a 10 anos. Assim, a correlação entre o NDVI do ciclo vegetativo precedente e a produtividade do vinho foi calculada usando somente dados relativos a 10 anos. Para cada região vinícola ou sub-região (r) foi estimada uma regressão linear da seguinte forma:

$$WY_r = \beta_0 + \beta_{1r} (NDVI)_r \quad \text{Eq.11}$$

### **Avaliação do modelo**

Assim, esta regressão linear foi estimada para cada local de teste, e a significância de cada coeficiente de regressão  $\beta_i$  foi testada utilizando o teste “t”, que recorre à estatística “t” de *Student*.

Para validar a exactidão da previsão do modelo de produtividade do vinho a partir de técnicas de detecção remota, foram calculados o erro médio quadrático (RMSE-Root Mean Square Error) e o erro relativo da previsão (D), entre valores observados e valores ajustados aos modelos da previsão. O teste de RMSE supõe que os erros maiores das previsões são de uma importância maior do que erros menores, dando assim uma penalização mais do que proporcional aos erros de maior dimensão.

Uma vez que a base de dados disponível para este estudo compreende somente 9 ou 10 colheitas, o modelo de previsão desenvolvido foi avaliado utilizando o método de validação cruzada de deixar uma observação de fora (Leave One Out), que avalia o desempenho do modelo da previsão para um dado ano não considerado na etapa de estimação, de modo a fornecer estimativas independentes da potencialidade preditiva dos modelos seleccionados. Isto é, esta técnica consiste na remoção de um ano da base de dados usada, e na subsequente estimação de um novo modelo de regressão utilizando os restantes anos da amostra.

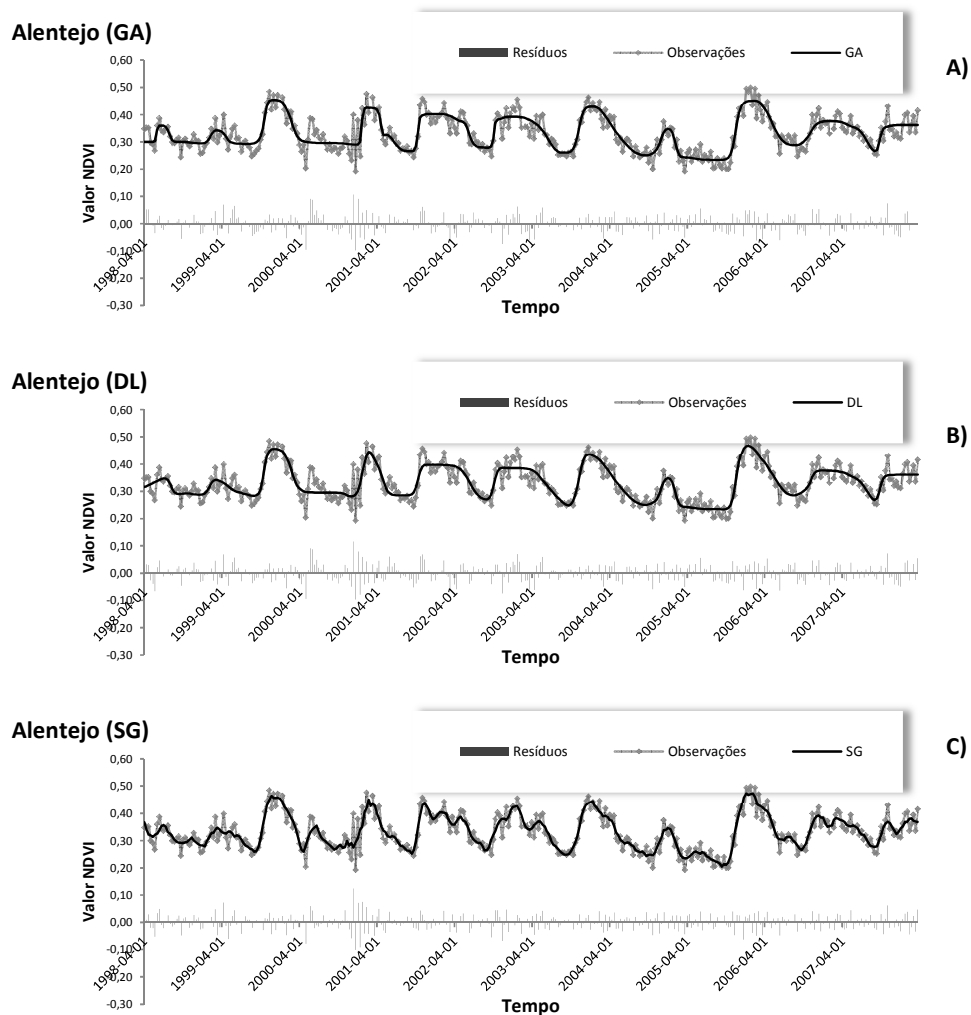
Este novo modelo será posteriormente utilizado prever a produtividade do vinho no ano retirado, e subsequentemente calcular o erro relativo da previsão (LOO-D) e do erro quadrado médio LOORMSE (Leave One Out Root Mean Square Error) entre os dados reais da produção e os dados previstos pelo modelo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 AJUSTAMENTO PELO FILTRO GA, DL E SG PARA AS QUATRO REGIÕES EM ESTUDO:

Neste trabalho, o estudo das quatro regiões implicava uma descrição fenológica anual da cultura da vinha. Assim verifica-se que os valores de NDVI seguem uma tendência cíclica, que se repete anualmente. Para melhor compreender o comportamento da vinha ao longo do tempo, são ajustados a esses valores os três filtros adaptativos, GA, DL e SG, para cada uma das quatro regiões em estudo.

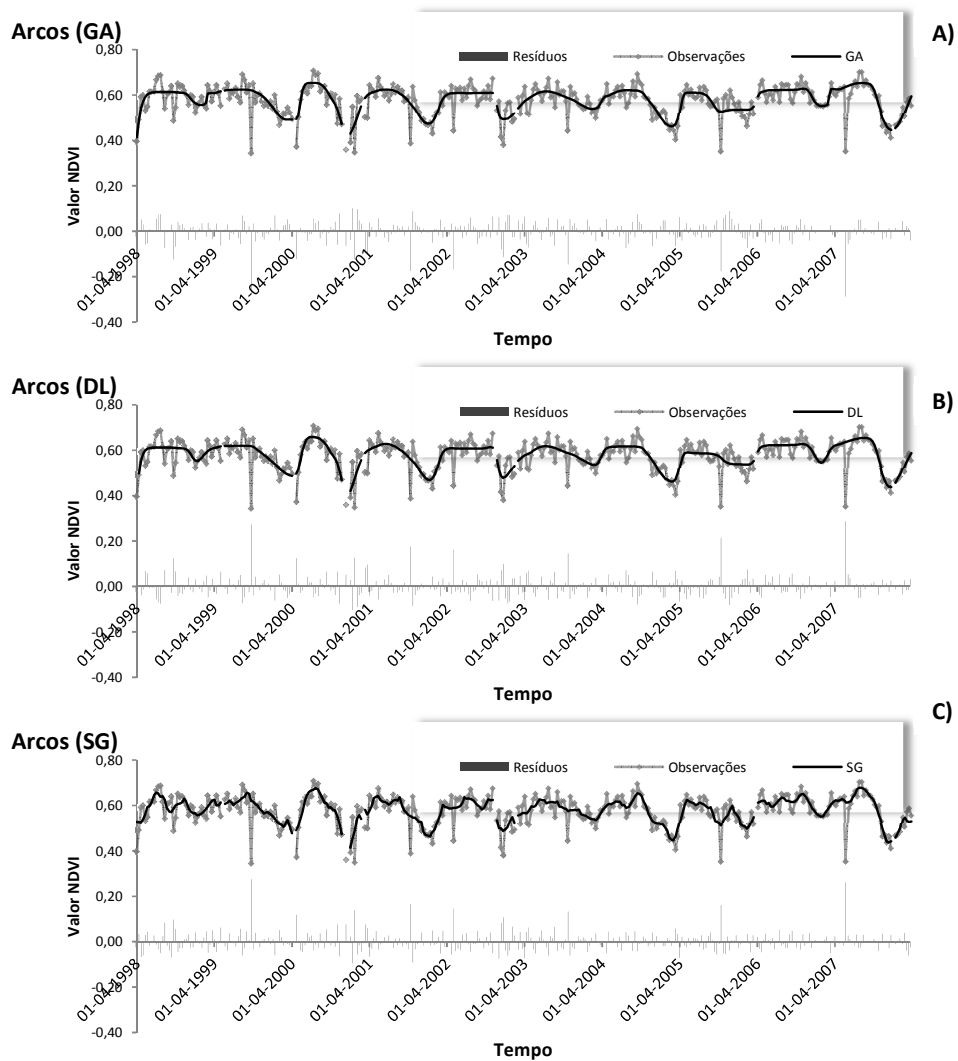
Os três filtros GA, DL e SG ajustam-se à serie temporal de valores medianos de NDVI para a região do Alentejo (Figura 12).



**FIGURA 12** – Ajustamentos aos valores medianos de NDVI efectuado com os filtros ga(a)), dl (b))e sg (c)) para a região do Alentejo. Colocar apenas uma legenda na parte de baixo dos 3 gráficos. Logo em cima da legenda.

**Ajustamento pelo filtro GA, DL e SG para a região de Arcos de Valdevez:**

Os 3 filtros GA, DL e SG ajustam-se à serie temporal de valores medianos de NDVI para a região de Arcos de Valdevez (Figura 13).



**FIGURA 13** - Ajustamentos aos valores medianos de NDVI efectuado com os filtros ga(a), dl (b)e sg (c) para a região de Arcos de Valdevez.

### Ajustamento pelo filtro GA, DL e SG para a região do Douro: Pinhão:

Os 3 filtros GA, DL e SG ajustam-se à serie temporal de valores medianos de NDVI para a região de Pinhão (Figura 14).

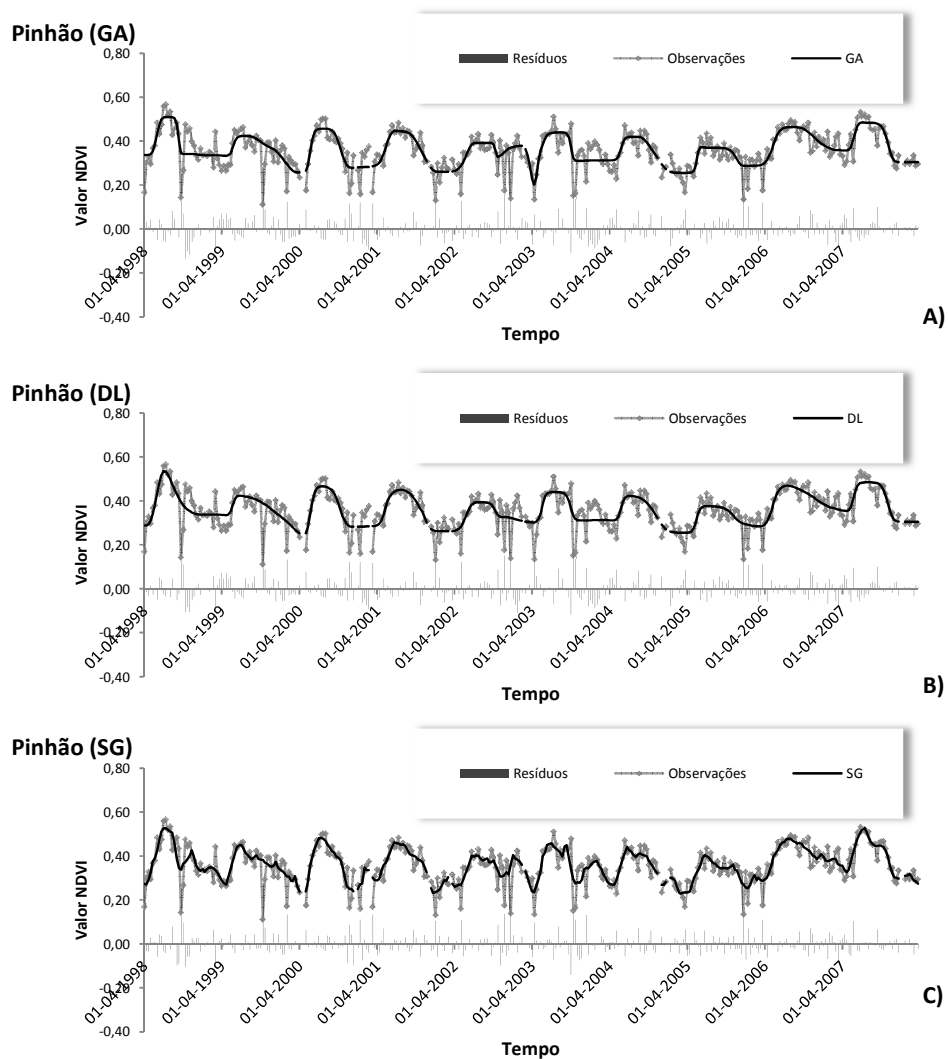


FIGURA 14 - Ajustamentos aos valores medianos de NDVI efectuado com os filtros ga(a)), dl (b))e sg (c)) para a região de Pinhão.

### Ajustamento Pelo Filtro GA, DL E SG Para A Região Do Douro: Régua:

Os 3 filtros GA, DL e SG ajustam-se à serie temporal de valores medianos de NDVI para a região de Régua (Figura 15).

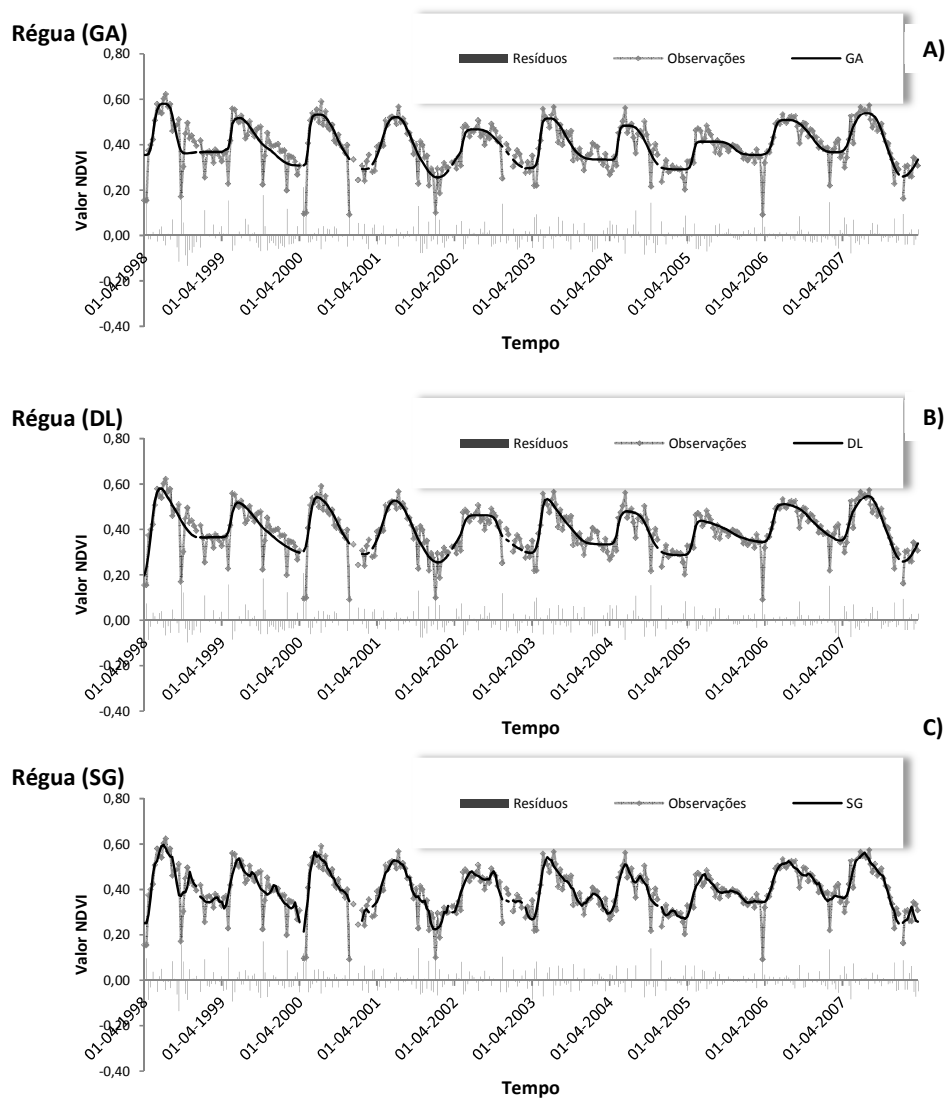


FIGURA 15 - Ajustamentos aos valores medianos de NDVI efectuado com os filtros ga(a)), dl (b))e sg (c)) para a região da Régua.

Na aplicação destes filtros às series temporais de NDVI o primeiro ano (1998) não tem um comportamento semelhante aos anos seguintes. A partir da tabela 4 verifica-se um melhor ajustamento aos dados obtido com o filtro adaptativo SG para todas as regiões. Os ajustamentos efectuados pelos filtros GA e DL apresentam resultados de ajustamento praticamente idênticos, podendo-se inferir que para qualquer região a escolha entre um ajustamento GA e DL ou outro é indiferente.

**TABELA 4** – Valores do coeficiente de correlação entre os filtros adaptativos e a série de valores de NDVI para as 4 regiões em estudo.

$R^2$	Pinhão	Régua	Vinhos Verdes	Alentejo
GA	0,77	0,86	0,84	0,83
DL	0,77	0,87	0,83	0,83
SG	0,80	0,89	0,84	0,87

A região de Pinhão foi mais afectada nos ajustamentos por valores de NDVI que se encontram abaixo da tendência geral. Isto deve-se ao facto de se tratar de uma série temporal de valores medianos de NDVI, sendo que para esta região o critério de eliminação de *outliers* foi igual às outras regiões em estudo. Para melhorar este parâmetro o critério de eliminação de *outliers* deveria ter sido mais restrito.

## 4.2 Comparação entre os resultados obtidos através dos filtros adaptativos SG e os resultados para o estado fenológico pintor e floração obtido *in situ*.

A partir do filtro adaptativo que melhor se adequa à série de temporal de valores de NDVI – filtro SG - são extraídos os parâmetros DOY para o início do ciclo, fim de ciclo e DOY para a data em que ocorre o valor máximo de cada ciclo.

O DOY obtido através do modelo para o valor máximo de NDVI é então correlacionado com o DOY obtido para dados *in situ* para o estado fenológico pintor através do modelo obtido pela equação 7, que utiliza variáveis transformadas de modo a ter em conta o fenómeno da autocorrelação. Este método foi aplicado às regiões vitivinícolas de Arcos de Valdevez e da Régua, que são aquelas para as quais estão disponíveis dados do DOY em que ocorre o estado fenológico pintor e floração (havendo menos dados sobre o dia em que ocorre o estado fenológico pintor para a região vitivinícola da Régua do que para a região vitivinícola de Arcos de Valdevez).

A tabela 5 indica as estimativas dos coeficientes da regressão e a significância do t-teste. Os valores da intercepção para todas as regiões eram significativamente diferentes de zero para um nível de significância de 0,1 % para todos os casos. Os valores do declive para todas as regiões eram significativamente diferentes de zero para um nível de significância de 0,6% para a estimação da região VVR, de 5,2 % para a estimação da região DRW, de 1,2 % para a previsão da região VVR. As análises estatísticas revelaram coeficientes de correlação linear negativos para todos os locais de teste

TABELA 5 - Estimativas e análise estatística dos coeficientes de regressão do modelo para os locais de teste.

Local de teste	Coeficiente	Valor	St. Error	t-Test	P-value
VVR (Estimação)	$\beta_0$	343,11	8,09	42,39	0,000
(n=8) Pintor	$\beta_1$	-0,11	0,03	-4,16	0,006
DRW (Estimação)	$\beta_0$	47,07	2,76	17,03	0,000
(n=6) Pintor	$\beta_1$	-0,18	0,06	-2,74	0,052
VVR (Previsão)	$\beta_0$	125,01	2,82	44,40	0,000
(n=7) Pintor	$\beta_1$	0,07	0,02	3,85	0,012
VVR (Estimação)	$\beta_0$	141,43	8,48	21,84	0,007
(n=8) Floração	$\beta_1$	-0,12	0,04	-4,04	0,000

Os testes estatísticos resultantes relacionam-se com a adequação do modelo, e a validação é apresentada na tabela 6.

TABELA 6 - Estatísticas da adequação do modelo de previsão e validação para a região VVR e DRW.

Parâmetros do modelo	Locais de teste			
	Pintor		Floração	
	VVR (Estimação)	DRW (Estimação)	VVR (Previsão)	VVR (Estimação)
R <sup>2</sup>	0,74	0,65	0,75	0,74
Coef. de autocorrelação	-0,40	0,80	0,38	-0,61
RMSE	2,62	3,43	2,32	4,42
P-Value	0,01	0,05	0,01	0,01

Tendo em conta que o declive da recta é um parâmetro idêntico no modelo original e no modelo transformado, podemos observar na figura 16 a existência de uma correlação negativa entre o dia em que ocorre o valor máximo do NDVI e o dia em que ocorre o estado fenológico pintor.

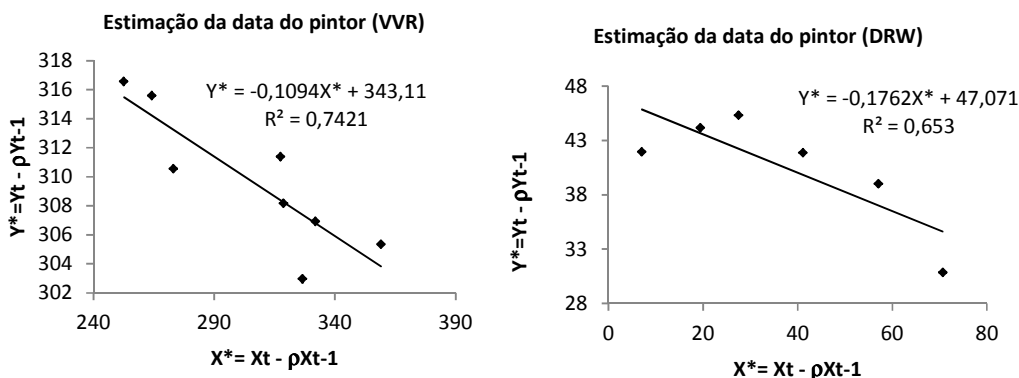


FIGURA 16 – Correlação entre as variáveis transformadas, relativas à data do valor máximo de NDVI (variável explicativa) e à data da ocorrência do estado fenológico pintor (variável explicada) para a região VVR e DRW.

Na figura 17 é comparada graficamente o DOY em que ocorre o estado fenológico pintor obtido através de medidas *in situ* e o DOY para a ocorrência desse estado obtido através do modelo.

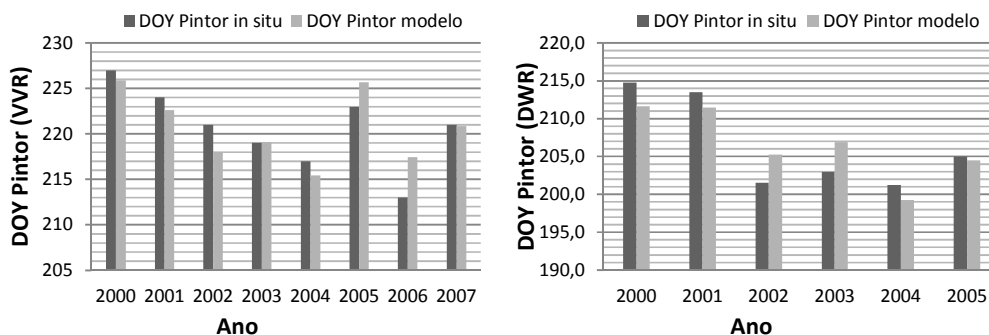
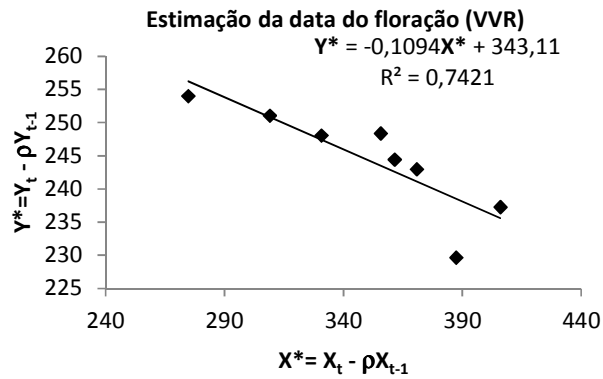


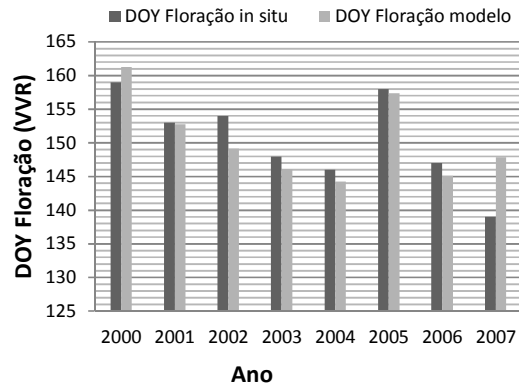
FIGURA 17 - Comparação entre a DOY previsto e a DOY obtido para o estado fenológico pintor em cada local de teste em estudo: a) VVR, b) DWR.

Do mesmo modo, tendo em conta que o declive da recta é um parâmetro idêntico no modelo original e no modelo transformado, podemos observar na figura 18 também a existência de uma correlação negativa entre o dia em que ocorre o valor máximo do NDVI e o dia em que ocorre o estado fenológico floração.



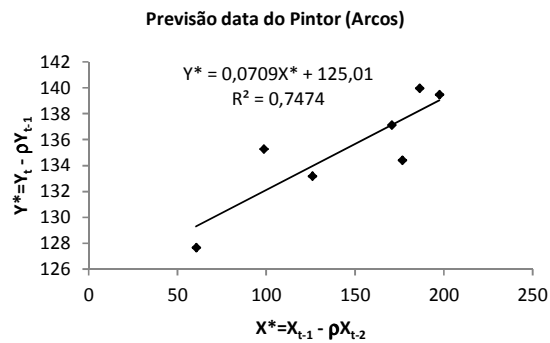
**FIGURA 18** - Correlação entre as variáveis transformadas, relativas à data do valor máximo de NDVI (variável explicativa) e à data da ocorrência do estado fenológico floração (variável explicada) para a região VVR.

Na figura 19 é comparada graficamente o DOY em que ocorre o estado fenológico floração obtido através de medidas *in situ* e o DOY para a ocorrência desse estado obtido através do modelo.



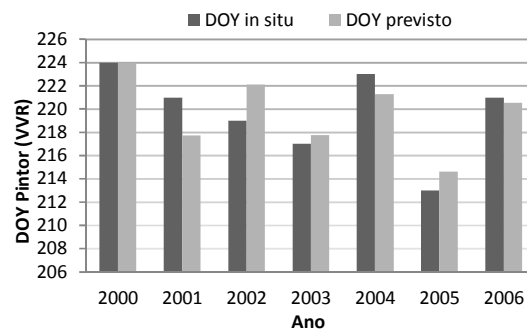
**FIGURA 19** - Comparação entre a DOY previsto e a DOY obtido para o estado fenológico floração na região VVR.

Como existem menos dados sobre o dia em que ocorre o estado fenológico pintor para a região vitivinícola da Régua do que para a região vitivinícola de Arcos de Valdevez. Com a perda de mais uma observação, restam apenas cinco observações para a região vitivinícola da Régua, o que faz com que apenas existam dados suficientes para aplicar o modelo de previsão com alguma segurança à região vitivinícola de Arcos de Valdevez. Sendo assim, o modelo de previsão foi aplicado apenas à região vitivinícola de Arcos de Valdevez. Este modelo permite prever o dia em que ocorre o estado fenológico pintor utilizando dados sobre o dia em que ocorre o estado fenológico pintor no ano anterior, o dia em que ocorre o valor máximo do NDVI do ciclo vegetativo no ano anterior, e o dia em que ocorre o valor máximo do NDVI do ciclo vegetativo dois anos antes. Sendo assim, torna-se possível prever o dia em que ocorre o estado fenológico pintor com um ano de antecedência (figura 20).



**FIGURA 20** - Correlação entre as variáveis transformadas, relativas à data do valor máximo de NDVI (variável explicativa) desfasada em um ano, e à data da ocorrência do estado fenológico pintor (variável explicada).

Na figura 21 é efectuada a comparação do DOY em que ocorre o estado fenológico pintor obtido através de medidas *in situ* e o DOY para a ocorrência desse estado obtido através do modelo de previsão.



**FIGURA 21** - Comparação entre a DOY previsto e a DOY obtido para cada local de teste em estudo VVR.

### 4.3 MODELO DE PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE VINHO

Os valores obtidos para o segundo conjunto de dez dias para o mês de Abril (tabela 7) são correlacionados com o valor da produtividade construindo assim uma relação linear entre ambos. Os parâmetros dessa relação linear são utilizados para calcular a produtividade com base no valor de  $\text{Abril2}_{\text{ano-1}}$ .

**TABELA 7** – Valores de NDVI para o segundo conjunto de dez dias para o mês de Abril para o ano precedente ( $\text{Abril2}_{\text{ano-1}}$ ), produtividade observada (PO) e a previsão da produtividade (PP).

Ano	NDVI ( $\text{Abril2}_{\text{ano-1}}$ )				Produtividade Observada (PO)				Previsão Produtividade (PP)			
	ALT	ARC	PIN	REG	ALT	ARC	PIN	REG	ALT	ARC	PIN	REG
<b>Média</b>	0,4	0,6	0,3	0,4	36,6	30,6	29,2	36,3	36,7	30,1	29,1	36,4
<b>DesvPad</b>	0,1	0,1	0,1	0,0	5,4	7,1	3,4	4,5	4,3	6,5	3,0	3,9
<b>Máximo</b>	0,45	0,65	0,4	0,44	45,9	45,2	35,8	44,6	43	43,4	33,8	44,6
<b>Mínimo</b>	0,26	0,42	0,24	0,28	28,6	22,1	24,6	31,1	30,1	23,5	24,8	30,7

Existe uma grande variabilidade inter-anual na produtividade do vinho nas regiões seleccionadas para este estudo (tabela 8). O período usado neste trabalho, referente aos anos entre 1998 e 2008, contém o valor máximo absoluto e mínimo absoluto dos dados regionais históricos da produtividade do vinho, que permitem a formulação das previsões com um amplo intervalo de validação (Cunha et al 2008).

Foram determinados os valores de NDVI médio, mediano, mínimo e máximo para cada região de teste, em cada um dos anos considerados no intervalo entre 1998 e 2008. O valor máximo de NDVI para o segundo conjunto de valores para Abril ( $\text{Abril2}_{\text{ano-1}}$ ) do ciclo precedente foi o que mostrou a melhor correlação com a produtividade regional do vinho para todos os locais de teste.

A correlação forte entre o NDVI e a produtividade encontrada em todas as regiões seleccionadas durante o período estudado sugere que a produtividade de vinho poderia ser modelada de um modo relativamente simples e com bastante antecedência. A tabela 8, mostra os resultados regionais de  $\text{NDVI}_{\text{Abril2}_{\text{ano-1}}}$ , de produtividade do vinho (WY), e da produtividade do vinho após processamento da uva (WYP), para o período considerado dos últimos 10 anos (1998-2008). Há uma variabilidade forte do valor de  $\text{NDVI}_{\text{Abril2}_{\text{ano-1}}}$  para os anos de 1998 a 2008. Estes resultados sugerem que esta variabilidade poderá estar relacionada com o clima regional.

Os valores mais elevados de  $\text{NDVI}_{\text{Abril2}_{\text{ano-1}}}$  para a região dos vinhos verdes (VVR) coincidiram com os valores elevados da precipitação em Portugal para a região norte, na maior parte ocorrentes durante o período de abrolhamento. Neste solo da região o índice hídrico é elevado durante a quebra de dormência, devido à precipitação elevada no inverno.

**TABELA 8** – Estatística descritiva (1998-2007) das variáveis seleccionadas para os modelos de previsão nos locais de teste estudados.

Variáveis*	unidades	Local de teste							
		DWR		DER		VVR		ALT	
		Média	cv%	Média	cv%	Média	cv%	Média	cv%
WY	hl há <sup>-1</sup>	36,3	12,3	27,85	20,3	30,6	23,1	34,7	22,7
NDVI_Abril2 <sub>ano-1</sub>	Índex	0,376	12,5	0,321	17%	0,571	13,2	0,354	17,5
WYPx10 <sup>3</sup>	1 kg <sup>-1</sup>	759	1,5	696,5	1,1	680	6,4	750	2,9

cv, coeficiente de variação (erro padrão/média x100). Régua (DWR), Pinhão (DER), vinhos verdes (VVR) e Alentejo (ALT).

\*WY- produtividade; NDVI\_Abril2ano-1- NDVI para a segunda época de Abril do ano anterior; WYP – produtividade após processamento da uva.

As regiões de Alentejo (ALT) e de Douro (DER) são caracterizadas por um valor baixo de NDVI para a segunda época de Abril, sendo as regiões que têm também os níveis mais baixos de precipitação. A variabilidade inter-anual elevada do NDVI\_Abril2<sub>ano-1</sub> nas regiões ALT e DER poderia estar relacionada com a precipitação extremamente baixa (140 a 175 milímetros) durante o período entre a quebra da dormência e a vindima. Nestas regiões, o conteúdo de água no solo é baixo logo no período do abrolhamento, devido à falta de precipitação no inverno, o que poderá restringir o crescimento em estágios adiantados do ciclo vegetativo.

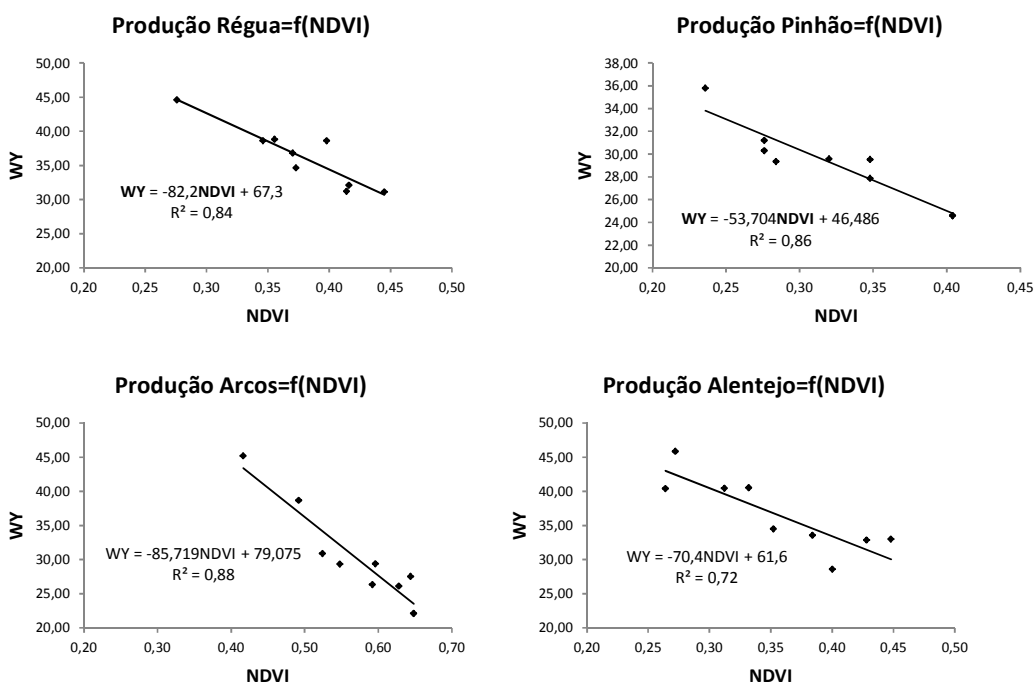
A variabilidade inter-anual na produtividade regional de vinho (coeficiente de variação, cv: 12,3 a 23,1%) e de NDVI\_Abril2<sub>ano-1</sub> (cv: 12,5 a 17,5%) são muito mais elevados do que a produtividade (WYP), que apresenta um coeficiente de variação, cv, inferior a 6,5% (tabela 8). Na região dos vinhos verdes (VVR), a variação inter-anual elevada reflecte a heterogeneidade grande de valores de precipitação durante o período de maturação da uva. A pequena escala de variação do WYP indica a menor importância desta variável na explicação da variabilidade inter-anual na produção de vinho nestas regiões.

A tabela 9 mostra as estimativas dos coeficientes da regressão e a significância do t-teste. Os valores do declive e da intercepção para todas as regiões eram significativamente diferentes de zero para um nível de significância de 0,1% para todos os casos, excepto um, que é significativamente diferente de zero para um nível de significância de 0,5%. As análises estatísticas revelaram coeficientes de correlação linear negativos entre NDVI\_Abril2<sub>ano-1</sub> e a produção regional da produtividade, para todos os locais de teste.

**TABELA 9** – Estimativas e análise estatística dos coeficientes de regressão do modelo de previsão para os locais de teste. (Cunha et al 2010)

Local de teste	Coefficiente*	Valor	STD error	T-test	Sig.
DWR	$\beta_0$	67,30	5,22	14,31	0,000
(n=9)	$\beta$	-82,23	13,74	-6,44	0,000
DER	$\beta_0$	46,49	2,63	17,65	0,000
(n=9)	$\beta$	-53,70	8,07	-6,66	0,000
VVR	$\beta_0$	79,08	6,72	11,76	0,000
(n=9)	$\beta$	-85,72	11,80	-7,27	0,000
ALT	$\beta_0$	61,58	5,91	10,41	0,000
(n=9)	$\beta$	-70,37	16,42	-4,29	0,004

Os testes estatísticos resultantes relacionam-se com a adequação do modelo, e a validação é apresentada na tabela 8. Testes estatísticos apropriados indicam que o modelo da previsão ajustado para cada região descreve entre 73% a 88% das variações regionais de produtividade do vinho o longo dos anos (figura 22).



**FIGURA 22** - Correlação entre a produtividade prevista e o valor de NDVI, para a segunda época de Abril do ano anterior para cada local de teste em estudo: a) régua, b) pinhão, c) vinhos verdes e d) Alentejo. (Cunha et al 2010)

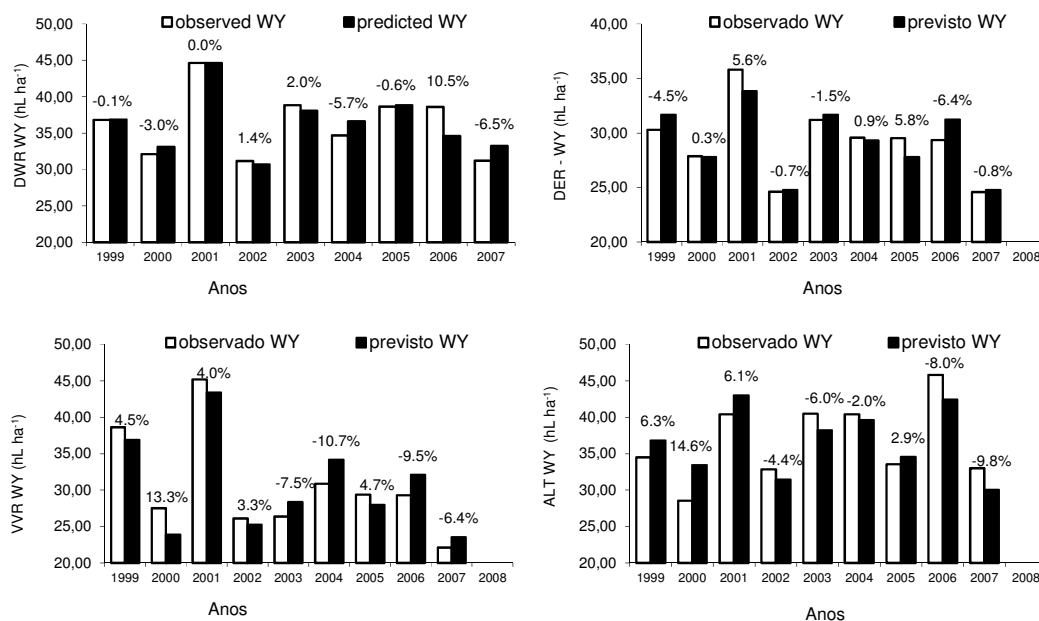
Para os quatro locais de teste regionais, com 36 registos de dados anuais, mostra-se que em 53% destes casos as diferenças entre a produção real e a produção ajustadas pelo modelo da previsão estavam abaixo de 5%. Somente em 3 observações as diferenças eram mais elevadas do que 10%, com nenhuma diferença superior a 14.4% registada. A tabela 10 mostra a evolução do erro relativo da previsão (D) e da raiz do erro quadrático médio (RMSE) depois do método LOO (que, como referido anteriormente, foi técnica de validação cruzada

usada) ser aplicado. Quando o método LOO foi executado, o erro relativo da previsão e os RMSE foram obtidos para cada região, e são consistentemente similares aos resultados de previsões ajustadas.

**TABELA 10** – Estatísticas da adequação do modelo de previsão e validação para os quatro locais de teste.

Parâmetros do modelo	Local de teste			
	Régua	Pinhão	Arcos	Alentejo
R <sup>2</sup>	0,84 (p<0,001)	0,87 (p<0,000)	0,88 (p<0,000)	0,73 (p<0,004)
Desvio padrão	1,93	1,35	2,59	3,04
Lmédia (min., max.)	0,00 ; 0,52	0,00 ; 0,26	0,00 ; 0,46	0,00 ; 0,46
Média D(%)	3,3	2,8	7,1	6,7
RMSE (hl ha <sup>-1</sup> )	4,7	3,8	9,2	9,0
<b>LOO</b>				
D%	4,7	3,8	7,8	7,6
RMSE (hl ha <sup>-1</sup> )	5,5	5,0	10,0	10,5

A figura 23 compara a produtividade observada com a produtividade prevista pelo modelo.



**FIGURA 23** – Comparação entre a produtividade prevista e a produtividade obtida para cada local de teste em estudo: a) régua, b) pinhão, c) vinhos verdes e d) Alentejo. (Cunha et al 2010)

---

## 5. CONCLUSÃO

Os parâmetros extraídos com o programa *Timesat* tinham como objectivo a descrição do ciclo vegetativo da vinha através de filtros ajustados e a comparação com os estados fenológicos obtidos *in situ* com os obtidos através de um modelo.

A descrição do ciclo vegetativo da vinha pode ser obtida por qualquer um dos filtros ajustados pois apresentam um valor de  $R^2$  elevado para todos os casos, evidenciando-se o filtro SG, para o qual se obtém o valor de  $R^2$  superior inferindo-se assim que este filtro pode efectuar uma melhor descrição do ciclo vegetativo da vinha. Dos dados disponíveis apenas foi possível testar o estado fenológico pintor para duas regiões, VVR e DRW. Foi possível estimar para as duas regiões a data de ocorrência em DOY do estado fenológico floração e pintor a partir dos dados obtidos através do filtro SG para o DOY em que ocorre o valor máximo de NDVI no ciclo vegetativo, sendo que para a região de VVR foi possível efectuar um modelo que efectua a previsão do DOY do estado fenológico pintor com um ano de antecedência, apesar de no momento não ser conhecida razão fisiológica para esta ocorrência. Estes modelos podem ser no entanto melhorados continuando o estudo de modo a incluir mais anos e com a obtenção de mais dados *in situ* de modo a aumentar o número de observações.

Este estudo pode ser alvo de uma investigação posterior utilizando, por exemplo, outro programa para a extracção dos parâmetros sazonais que não o *TIMESAT* ou utilizando outros filtros adaptativos.

As imagens do satélite VEGETATION têm uma grande aplicabilidade fornecendo informação significativa sobre a previsão regional da produtividade do vinho. O estudo efectuado demonstrou que o NDVI derivado do sensor VEGETATION é uma ferramenta valiosa de previsão de produtividade de vinho nas regiões com diferenças significativas em termos climáticos, de solos, variedade da uva, produtividade do vinho, sistemas do crescimento da vinha, técnicas de crescimento de culturas e impacto das doenças na produtividade. Uma previsão muito precoce da produtividade potencial do vinho pode ser efectuada com aproximadamente 17 meses antes da colheita baseada em dados do sensor VEGETATION. A relação entre o valor de NDVI e a maturação do bago durante o ciclo precedente ainda não são inteiramente compreendidas e são conseqüentemente uma matéria para uma investigação adicional.

A exactidão, a potencialidade de antecipação do modelo de previsão desenvolvido, e a comparação de custos marginais da informação face aos benefícios, justificam o seu uso para a indústria do vinho e da vinicultura por razões económicas e técnicas. Os resultados indicam que o sensor VEGETATION pode fornecer a informação útil sobre a previsão da produtividade de vinho, com a definição espectral e temporal adequada, mas há claramente uma limitação nos termos da definição espacial. É necessário trabalho adicional com vista a avaliar a aplicabilidade do modelo da previsão desenvolvido com os índices da vegetação extraídos para que outros sensores do EOS forneçam a informação significativa sobre a produtividade do vinho previsto em parcelas pequenas de zonas vinícolas. Outro passo a aplicar neste trabalho será proceder ao mesmo desenvolvimento utilizando outros índices de vegetação.

## BIBLIOGRAFIA

- Clingeffer, P., Dunn, G., Krstic, M., & Martin, S. (2001). *Crop development, crop estimation and crop control to secure quality and production of major wine grape varieties: a national approach*. Project number CSH 96/1: (Australia: publisher).
- CNES. (20 de 10 de 2007). *VEGETATION*. Obtido em 28 de 10 de 2008, de <http://smc.cnes.fr/VEGETATION/index.htm>
- Cunha, M., Abreu, I., P., P., & Castro, R. (2003). Airborne pollen samples for early-season estimates of wine production in a mediterranean climate of northern Portugal. *American Journal of Enology and Viticulture*, 54 (3), 189–194.
- Cunha, M., Marçal, A., & Silva, L. (2010). Very early prediction of wine yield based on satellite data from VEGETATION. *International Journal of Remote Sensing*, 31(12), 3125-3142.
- Duchêne, E., & Schneider, C. (2005). Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development*, 24, 93-99.
- Fisher, J. R. (2007). Phenology model from surface meteorology does not capture satellite based green up estimations. *Global Change Biology*, 13(3), 707–721.
- Grainger, K., & Tattersall, H. (2005). *Wine Production Vine to Bottle*. UK: Blackwell Publishing.
- Hall, A., Lamb, D., Holzapfel, B., & Louis, J. (2002). Optical remote sensing applications in viticulture - a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8(1), 36–47.
- Hall, A., Louis, J., & lamb, D. (2003). Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computers Geosciences*, 29, 813–822.
- Hall, A., Louis, J., & Lamb, D. (2008). Low-resolution remotely sensed images of winegrape vineyards map spatial variability in planimetric canopy area instead of leaf area index. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14, 9–17.
- Heumann, B., Seaquist, J., Eklundh, L., & Jönsson, P. (2007). AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982–2005. *Remote Sensing of Environment*, 108(4), 385–392.
- Hochheim, P., & Barber, G. (1998). Spring wheat yield estimation for western Canada using NOAA NDVI data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 24, 17–27.
- IVV (2012). *Instituto da Vinha e do Vinho*. Obtido em 1 de 3 de 2'12, de Instituto da Vinha e do Vinho <http://www.ivv.min-agricultura.pt/np4/home.html>
- Johnson, L., Roczen, D., Youkhana, S., Nemani, R., & Bosch, D. (2003). Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 38, 33–44.
- Jones, G. V., & Davis, R. E. (2000). Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Journal of Enology and Viticulture*, 51, 249-261.

- Jönsson, P., & Eklundh, L. (2002). Seasonality Extraction by Function Fitting to Time-Series of Satellite Sensor Data. *Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, 40(8), 1824-1832.
- Jonsson, P., & Eklundh, L. (2004). TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite data. *Computers & Geosciences*, 30(8), 833–845.
- Jönsson, P., & Eklundh, L. (2006). *TIMESAT - a Program for Analyzing Time-Series of Satellite Sensor Data Users Guide for TIMESAT 2.3*. Malmö and Lund.
- Mkhabela, M. S., & Mkhabela, M. S. (2000). Exploring the possibilities of using NOAA, AVHRR data to forecast cotton yield in Swaziland. *UNISWA Journal of Agriculture*, 9, 13–21.
- Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, J. P., & Marshak, A. (1995). The interpretation of Spectral Vegetation Indexes. *Transactions on Geoscience and remote Sensing*, 33(2), 481-486.
- NASA. (2010). *The Earth Observatory*. Obtido em 27 de 04 de 2010, de [http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.html](http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.html)
- Panigai, L., & Moncomble, D. (1988). La prevision de recoltes en Champagne. *Le vigneron Champanois*, 6, 359–367.
- Piekarczyk, J., Wójtowicz, M., & A., W. (2006). Estimation of agronomic parameters of winter oilseed rape from field reflectance data. *Acta Agrophysica*, 8, 205–218.
- Reyner, A. (1986). *Manual de Viticultura*. Portugal: Publicações Europa América, LDA.
- Rojas, O. (2007). Operational maize yield model development and validation based on remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 3775–3793.
- Rudorff, T., & Batista, T. (1990). Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. *Remote Sensing of Environment*, 33, 183–192.
- Running, S.W. & Nemani, R.R. (1988). Relating Seasonal Patterns of the AVHRR Vegetation to Simulated Photosynthesis and Transpiration of Forests in Different Climates. *Remote Sensing of Environment*, 24, 347-367.
- Salazar, L., Kogan, F., & Roytman, L. (2008). Using vegetation health indices and partial least squares method for estimation of corn yield. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 175–189.
- Schaber, J., & Badeck, F. (2003). Physiology based phenology models for forest tree species in Germany. *International Journal of Biometeorology*, 47(4), 193–201.
- Taylor, J. (2004). Digital terroirs and precision viticulture: Investigations into the application of information technology in Australian vineyards. *PhD thesis*. New South Wales, Australia: Sydney University.

- TIMESAT (2012). *TIMESAT*. Obtido em 05 de 03 de 2012, de TIMESAT: <http://www.nateko.lu.se/TIMESAT/timesat.asp>
- Vegetation Programme. (2008). *Vegetation Programme*. Obtido em 10 de 04 de 2008, de <http://www.spot-vegetation.com/>
- White, M. A., & Nemani, R. R. (2006). Real-time monitoring and short-term forecasting of land surface phenology. *Remote Sensing of Environment*, 104, 43–49.
- Wu, W., Shibasaki, R., Yang, P., Qingbo, Z., & Huajun, T. (2008). Variations in Cropland Phenology in China From 1983 to 2002. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII(B7), 1539-1544.
- Xiao, X., Boles, S., Jiyuan, L., Dafang, Z., Frolking, S., Changsheng, L., et al. (2005). Mapping paddy rice agriculture in southern China using multitemporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 95, 480–492.
- Zarco-Tejada, P., Berjon, A., Lo´Pez-Lozano, R., Miller, J., Martin, P., Cachorro, V., et al. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99, 271–287.
- Zhang, F., Wu, B., & Liu, C. (2003). Using Time Series of SPOT VGT NDVI for Crop Yield Forecasting. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1, 386- 388. Toulouse-France.