

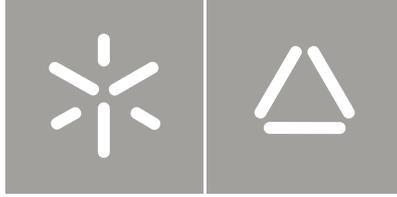


Carina Isabel da Silva Machado

Vulnerabilidade da Região Demarcada do Douro às alterações climáticas e efeitos sobre o ciclo vegetativo da videira.
O caso do Moscatel Galego

Universidade do Minho
Instituto de Ciências Sociais





Universidade do Minho
Instituto de Ciências Sociais

Carina Isabel da Silva Machado

Vulnerabilidade da Região Demarcada do
Douro às alterações climáticas e efeitos sobre
o ciclo vegetativo da videira.
O caso do Moscatel Galego

Tese de Mestrado
Planeamento e Gestão do Território / Geografia

Trabalho efectuado sob a orientação da
Professora Doutora Maria Manuela Laranjeira

Agradecimentos

À Professora Doutora Maria Manuela Laranjeira por ter acreditado e apoiado este projecto; pela disponibilidade, sabedoria e pelos conselhos durante todo o processo de orientação.

Aos meus pais, João Machado e Eduarda Machado, pela confiança e pelo apoio incondicional. Ao meu irmão Ricardo e à minha cunhada Ana, pelo apoio persistente. Ao meu namorado Bruno, pela amizade e incentivo. Ao senhor Fernando e à dona Rosa pelo carinho e apoio. À dona Isabel Salgado pela cooperação e auxílio.

À Câmara Municipal de Alijó pelos dados fornecidos e pela confiança transmitida, e à Adega Cooperativa de Favaios pelo interesse e disponibilidade.

Vulnerabilidade da Região Demarcada do Douro às alterações climáticas e efeitos sobre o ciclo vegetativo da videira. O caso do Moscatel Galego

Resumo

Diversos estudos apontam para uma subida demasiado acentuada da temperatura média global, a partir de 1980. A Região Demarcada do Douro (RDD), com um clima mediterrâneo, é uma das principais áreas em Portugal cuja economia agrícola se subordina às condições do clima, e onde os riscos associados a uma alteração climática poderão ter consequências irreversíveis. No presente estudo pretendeu-se analisar a tendência climática na RDD, nas últimas décadas, e as respectivas consequências para a produção vitícola na região. Deste modo, investigaram-se eventuais variações significativas no potencial climático vitícola da RDD (com base na aplicação de três índices bioclimáticos) e a sua influência sobre o ciclo fenológico da videira, mais especificamente para a casta Moscatel Galego. Para isso, estudou-se a série temporal de 1976 a 2009 dos dados relativos à precipitação e à temperatura do ar, nas estações meteorológicas de Pinhão e Régua, do Instituto de Meteorologia (IM). Estabeleceu-se a tendência linear das temperaturas médias, mínimas médias e máximas médias mensais, o regime provável da precipitação, a tendência linear dos índices bioclimáticos e, posteriormente, a variação dos meses em que tiveram início as diferentes fases fenológicas do abrolhamento, floração e pintor, através da análise das exigências térmicas específicas da casta Moscatel Galego, ao longo da série de 1976 a 2009.

Os resultados obtidos demonstram que, entre 1976 e 2009, se assistiu a uma subida significativa da temperatura média na RDD, sobretudo de Abril a Agosto e, simultaneamente, a uma concentração de chuvas abundantes no Outono e Primavera, com um período significativo de défice pluviométrico nos meses de Inverno (sobretudo, em Março). Assim, em virtude de uma maior acumulação de calor, as várias fases do ciclo fenológico da videira, na RDD e para a casta Moscatel Galego, têm vindo a ocorrer precocemente, sobretudo com a antecipação da floração para o mês de Maio, e do pintor para o mês de Junho. Por outro lado, o abrolhamento tem vindo a acontecer com maiores carências hídricas. Por fim, a maturação passa a completar-se no período mais quente do Verão, com impactes potencialmente negativos no que respeita a qualidade dos vinhos produzidos.

*Vulnerability of Douro wine-growing region to climate change and effects
on grapevine vegetative cycle. The Moscatel Galego case*

Abstract

As several studies show, there has been a sharp rise in global mean air temperature, since 1980. The Douro Region (RDD), with a Mediterranean climate, is one of the main areas in Portugal whose agricultural economy is subordinated to the conditions of climate, topography (slope) and soil, and where risks associated with climate change could have irreversible consequences. The present study aims to assess the trend in climate over recent decades at RDD, and its impacts on viticulture. Hence, significant variations in viticulture climate potential of RDD (assessed by three bioclimatic indices), and their influence on grapevine phenology, more specifically for Moscatel Galego variety, were investigated. In order to do so, a climatic (precipitation and air temperature) data series, from 1979 to 2009, was analyzed for Pinhão and Régua weather stations. Mean temperature, minimum mean temperature, maximum mean temperature linear trends, and monthly rain variability (inter-annual probabilities) were established. Also, bioclimatic indices linear trends, and monthly variations in the beginning of bud break, flowering, and veraison for Moscatel Galego variety were assessed.

Results show a significant increase in mean temperature at RDD, mainly from April to August, for the 1979-2009 series. More abundant rain in autumn and spring, and a significant deficit during winter months (especially in March) was also observed. Thus, as a consequence of a highest heat accumulation, grapevines growing in RDD, particularly Moscatel Galego, experienced a ever more precocious vegetative cycle, with an anticipated flowering (in May), and veraison (in June). Moreover, bud break has been reached under dryer conditions. Finally, grapes reach maturity early, in the warmest part of the summer, with potential negative impacts on wine quality.

Índice Geral

<i>Agradecimentos</i>	<i>iii</i>
<i>Resumo</i>	<i>v</i>
<i>Abstract</i>	<i>vi</i>
<i>Índice Geral</i>	<i>vii</i>
<i>Índice de Figuras</i>	<i>ix</i>
<i>Índice de Gráficos</i>	<i>x</i>
<i>Índice de Quadros</i>	<i>xii</i>
Introdução	1
1.Limites de tolerância e factores limitantes da videira (<i>Vitis vinifera</i> L.)	7
1.1. Os diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento da videira	8
1.2. Stress hídrico na videira	14
2.Índices bioclimáticos vitícola	19
2.1. Índice de Seca	22
2.2. Índice Heliotérmico	25
2.3. Índice de Frio Nocturno	26
3.A Região Demarcada do Douro e a área vitícola de Favaios (Moscatel Galego)	29
3.1. Breve caracterização da Região Demarcada do Douro	31
3.2. Área vitícola de Favaios e as condições ambientais da casta Moscatel Galego	34
3.2.1. A área vitícola de Favaios	34
3.2.2. A casta Moscatel Galego	38
4.Pressupostos metodológicos	41
4.1. Alteração climática na Região Demarcada do Douro entre 1976 e 2009	41
4.1.1. Temperatura média, mínima média e máxima média mensais	42
4.1.2. Precipitação total mensal	43
4.2. Potencial climático da Região Demarcada do Douro entre 1976 e 2009	46
4.2.1. Índice de Seca	46
4.2.2. Índice Heliotérmico	47

4.2.3. Índice de Frio Nocturno	48
4.3. Exigência térmica e precocidade de estados fenológicos da casta Moscatel Galego entre 1976 e 2009	48
5.Resultados	51
5.1. Alteração climática na Região Demarcada do Douro entre 1976 e 2009	51
5.1.1. Temperatura média, mínima média e máxima média	51
5.1.2. Precipitação total mensal	58
5.1.2.1. Regime provável da precipitação	58
5.1.2.2. Calendário de precipitação	64
5.2. Potencial climático da Região Demarcada do Douro entre 1976 e 2009	68
5.2.1. Índice de Seca	68
5.2.2. Índice Heliotérmico	69
5.2.3. Índice de Frio Nocturno	71
5.3. Exigência térmica e precocidade de estados fenológicos da casta Moscatel Galego entre 1976 e 2009	71
6.Discussão e conclusões	75
6.1. Discussão dos resultados	75
6.2. Conclusões	79
Bibliografia	81

Índice de Figuras

Figura 1 – Influência do solo, clima e práticas culturais na qualidade do vinho através dos seus efeitos no comportamento fisiológico da videira	8
Figura 2 – Abrolhamento da videira	10
Figura 3 – Os primeiros órgãos verdes	10
Figura 4 – Bagos a pintar	12
Figura 5 – Os limites térmicos da videira	13
Figura 6 – Síntese esquemática do Sistema CCM Geovitécola	21
Figura 7 – Distribuição da precipitação média anual na RDD, no período de 1931 a 1960	32
Figura 8 – A temperatura média anual na RDD, no período entre 1931 e 1960	33
Figura 9 – Modelo digital do terreno da freguesia de Favaios	35
Figura 10 – Declives da freguesia de Favaios (% de inclinação)	36
Figura 11 – Tipo de terreno agrícola (cultura da vinha) na freguesia de Favaios	37
Figura 12 – Somatório de graus-dia (GD, calculados para a temperatura-base de 10°C) necessários ao abrolhamento, desde 1 Janeiro, para o Moscatel Galego e outras castas	39
Figura 13 – Somatório de graus-dia (GD, calculados para a temperatura-base de 10°C) necessários à floração, desde 1 Janeiro, para o Moscatel Galego e outras castas	39
Figura 14 – Somatório de graus-dia (GD, calculados para a temperatura-base de 10°C) necessários ao pintor, desde 1 Janeiro, para o Moscatel Galego e outras castas	40

Índice de Gráficos

- Gráfico 1 – Médias móveis (previsão) e regressão linear das temperaturas média, mínima média e máxima média, dos meses de Abril a Setembro, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão. 52
- Gráfico 2 – Médias móveis (previsão) e regressão linear das temperaturas média, mínima média e máxima média, dos meses de Abril a Setembro, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua. 53
- Gráfico 3 – Médias móveis (previsão) e regressão linear, da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Março, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão. 53
- Gráfico 4 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Abril, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão. 54
- Gráfico 5 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Março, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua. 55
- Gráfico 6 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Abril, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua. 55
- Gráfico 7 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Agosto, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão. 56
- Gráfico 8 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Setembro, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão. 57

Gráfico 9 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Agosto, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.	57
Gráfico 10 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média, máxima média, do mês de Setembro, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.	58
Gráfico 11 – Regime provável da estação meteorológica do Pinhão, para a série temporal de 43 anos, anterior a 1976.	59
Gráfico 12 – Regime provável da estação meteorológica da Régua, para a série temporal de 41 anos, anterior a 1976.	61
Gráfico 13 – Regime provável de precipitação correspondentes à estação meteorológica do Pinhão, para a série de 1976 a 2009.	62
Gráfico 14 – Regime provável de precipitação correspondente à estação meteorológica da Régua, para a série de 1976 a 2009.	64
Gráfico 15 – Médias Móveis (previsão) do Índice de Seca (IS), desde 1976 a 2009, na estação meteorológica do Pinhão.	68
Gráfico 16 – Médias Móveis (previsão) do Índice de Seca (IS), desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.	69
Gráfico 17 – Médias Móveis (previsão) e regressão linear do Índice Heliotérmico (IH), desde 1976 a 2009, na estação meteorológica do Pinhão.	70
Gráfico 18 – Médias Móveis (previsão) e regressão linear do Índice Heliotérmico (IH), desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.	70

Índice de Quadros

Quadro 1 – Síntese das fases de desenvolvimento da videira e respectivos factores climáticos condicionantes.	11
Quadro 2 – Relações entre as plantas e a água no solo.	15
Quadro 3 – Classes do clima vitícola em relação ao Índice de Seca (IS).	24
Quadro 4 – Classes do clima vitícola em relação ao Índice Heliotérmico (IH).	26
Quadro 5 – Classes do clima vitícola em relação ao Índice Frio Nocturno (IF).	27
Quadro 6 – Classificação das parcelas vitícolas.	36
Quadro 7 – Decis e valores extremos absolutos correspondentes à estação meteorológica do Pinhão, para a série temporal de 43 anos, anterior a 1976.	59
Quadro 8 – Decis e valores extremos absolutos correspondentes à estação meteorológica da Régua, para a série temporal de 41 anos, anterior a 1976.	60
Quadro 9 – Decis e valores extremos absolutos correspondentes à estação meteorológica do Pinhão, para a série de 1976 a 2009.	62
Quadro 10 – Decis e valores extremos absolutos correspondentes à estação meteorológica da Régua, para a série de 1976 a 2009.	63
Quadro 11 – Calendário da precipitação na estação do Pinhão, entre 1976 e 2009, segundo o ano hidrológico.	66
Quadro 12 – Calendário da precipitação na estação da Régua, entre 1976 e 2009, segundo o ano hidrológico.	67
Quadro 13 – Somatório cumulativo de graus-dia (GD), calculados para a temperatura-base de 10°C, a partir de 1 de Janeiro até 31 de Outubro, para a casta Moscatel Galego, no Pinhão.	72
Quadro 14 – Meses do abrolhamento, floração e pintor com base no somatório cumulativo em graus-dia (GD), para a casta Moscatel Galego, no Pinhão.	73

Introdução

O clima considera as variáveis meteorológicas que caracterizam as condições atmosféricas médias numa região durante um determinado intervalo de tempo. Para a Organização Meteorológica Mundial (OMM), o período mínimo necessário para definir um clima são trinta anos – a chamada normal climática (Santos & Miranda, 2006).

O clima do planeta sofreu inúmeras alterações ao longo dos tempos. As mudanças da órbita que a Terra efectua em torno do sol, as mudanças do eixo de rotação da Terra, variações na actividade solar, e a maior ou menor actividade vulcânica, são algumas das causas naturais que influenciam as alterações climáticas, que perduram milhões de anos ou apenas séculos (Bonan, 2002; Santos & Miranda, 2006).

Recentemente, tem-se verificado uma subida demasiado acentuada da temperatura média global. Várias investigações estimam que essa subida se iniciou com a Revolução Industrial, outras calculam que esse aumento só se verificou verdadeiramente a partir do século XX (Santos & Miranda, 2006), em particular na década de 1980 (Bonan, 2002). Segundo o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), grande parte deste aquecimento global dever-se-á à emissão para a atmosfera de gases com efeito de estufa. Estes são originados por actividades humanas, tal como a queima de combustíveis fósseis, desflorestação, mudanças do uso do solo, entre outros. Dentre estes gases com efeito de estufa, salientam-se as emissões de CO₂ que, desde a Revolução Industrial, não deixaram de aumentar (Bonan, 2002). Assim, há

evidências (não a certeza absoluta) de que no século XX a temperatura média global sofreu um aumento de 0,6-2°C devido à maior concentração de CO₂ na atmosfera (Bonan, 2002).

As alterações climáticas, associadas ao actual aquecimento global, manifestam-se de forma diversa nas diferentes regiões do planeta. No caso da Península Ibérica, prevê-se um aumento das temperaturas nocturnas (de 3 a 7°C; ADVID, 2007), diminuição da precipitação na Primavera e concentração de chuvas abundantes no Outono (Ferreira, 2005). Prevê-se ainda um aumento de ocorrência de vagas de calor, com uma maior duração (Ferreira, 2005; ADVID, 2007). Este agravamento da irregularidade climática (intra e interanual) constitui uma das principais causas da perda de solos aráveis, férteis e profundos – ou seja, do fenómeno da desertificação –, a que se assiste em toda a Europa Mediterrânea, com maior ou menor gravidade. Com efeito, os dados da Agência Europeia do Ambiente (European Topic Centre – Land Use and Spatial Information), de 2008, sugerem que mais de dois terços do território nacional manifesta já uma significativa vulnerabilidade à desertificação.

Quando se consideram as alterações climáticas, e o seu possível agravamento futuro, torna-se imprescindível avaliar a vulnerabilidade dos sistemas naturais e dos sistemas sociais, de um determinado território, a estas mesmas alterações.

A vulnerabilidade avalia o nível de degradação e a capacidade de resposta (resiliência) que um sistema natural ou social manifesta perante uma situação de risco (Santos & Miranda, 2006). Os territórios mais vulneráveis são, sem dúvida, os que têm a sua economia assente em actividades que dependem estreitamente do clima para prosperar, como é o caso da agricultura. Ora, as alterações climáticas podem afectar o desenvolvimento e até a localização óptima de muitas culturas (Brandão & Pinto, 2006 *in* ADVID, 2007). Assim, a cultura da vinha, que se caracteriza pela dependência directa em relação um tipo de clima específico, é particularmente vulnerável a mudanças climáticas. Até agora, as variações ocorridas no clima – em especial, o aumento das temperaturas – têm beneficiado o desenvolvimento e o aumento de qualidade de inúmeras castas, em diversas regiões; contudo, a agravarem-se estas condições climáticas no futuro, prevê-se que muitas das áreas vitícolas deixem de beneficiar do

clima ou microclima específico que potencia a sua actual produção (Schultz, 2007 *in* ADVID, 2007).

A Região Demarcada do Douro (RDD), com clima mediterrâneo (Daveau, 1977; 1985), é uma das principais áreas em Portugal cuja economia agrícola se subordina às condições do clima, do relevo (declive) e dos solos, e onde os riscos associados a uma alteração climática poderão ter consequências irreversíveis. De facto, a viticultura mediterrânica pode sofrer uma quebra de qualidade significativa devido à modificação dos regimes de temperatura e precipitação; alguns métodos já estão inclusivamente a ser aplicados para contornar o agravamento do défice hídrico do solo, devido às vagas de calor no Verão, e os riscos de erosão causados pelas concentradas precipitações do Outono (Schultz 2007 *in* ADVID, 2007). Os impactes das alterações climáticas podem ser ainda mais gravosos quando se examinam os casos de castas específicas com uma localização geográfica óptima muito restrita – como é o caso da casta Moscatel Galego, no contexto da RDD –, pois fora dos limites climáticos actuais dificilmente terão um desenvolvimento pleno.

Objectivos, questões de partida e metodologia de investigação

Toda a região do Douro, e a freguesia de Favaios em particular (concelho de Alijó), depende economicamente da viticultura. A especificidade da casta Moscatel Galego, utilizada para a produção do vinho de Favaios, coloca esta freguesia numa posição demasiado vulnerável, porque está dependente de factores tão irregulares como o clima. É essencial, então, avaliar de que forma a tendência para uma alteração climática – e, em particular, para a desertificação, comum à Europa Mediterrânea – pode afectar a região duriense, bem como a freguesia de Favaios, a sua riqueza, os seus afamados vinhos e as suas tradições seculares, que a fizeram merecer a distinção de Património da Humanidade pela UNESCO, em 2001.

Nesta sequência, apresentam-se em seguida, os objectivos, as questões de partida e a metodologia geral, subjacentes ao desenvolvimento da presente dissertação.

Objectivo Geral 1: Avaliação da tendência climática na Região Demarcada do Douro (RDD) nas últimas décadas

Questão de partida: Terá a região duriense experimentado uma alteração climática nas últimas décadas?

Metodologia: Análise de séries longas de dados relativos à precipitação e à temperatura do ar, nas estações meteorológicas de Pinhão e Régua, da rede do Instituto de Meteorologia (IM). A evolução temporal da precipitação baseou-se na análise comparativa entre dois períodos distintos – o período estudado por Bettencourt (1984), anterior à década de 1970¹, e o período entre 1976 e 2009, de que se adquiriram os respectivos dados, junto do IM. A evolução temporal da temperatura baseou-se apenas nos dados da série de 1976 a 2009.

Objectivo Geral 2: Avaliação da influência das alterações climáticas sobre o ciclo fenológico da videira, na RDD e para a casta Moscatel Galego, nas últimas décadas

Objectivo específico 2.1: Avaliação da alteração do potencial climático vitícola na RDD

Questão de partida: Houve uma alteração significativa na quantidade de calor acumulado pela videira, ao longo do seu ciclo vegetativo, e um agravamento do stress hídrico estival, que influenciasse a produtividade vitícola?

Metodologia: Análise, através da aplicação de vários índices bioclimáticos desenvolvidos especificamente para o contexto vitícola (Tonietto, 1999), da evolução temporal do ciclo fenológico da videira, para a série de 1976 a 2009.

Objectivo específico 2.2: Avaliação da alteração das datas (meses do ano) em que ocorrem os diferentes estádios fenológicos da casta Moscatel Galego

Questão de partida: Será que se assistiu a uma antecipação das várias fases do ciclo fenológico do Moscatel Galego?

¹ Na obra citada, não são referidas pelo autor as datas correspondentes ao início e final das séries de dados; apenas é indicado o respectivo número de anos da série. No entanto, estima-se que estes dados estejam compreendidos no intervalo de tempo entre 1930, ou data anterior (dependendo da estação meteorológica), e 1969.

Metodologia: Estimativa dos meses em que se iniciaram as diferentes fases fenológicas, através da análise das exigências térmicas específicas da casta, ao longo da série de 1976 a 2009.

1. Limites de tolerância e factores limitantes da videira (*Vitis vinifera* L.)

A análise da interacção entre um determinado organismo e as condições do ambiente em que se desenvolve (factores abióticos) é de extrema importância, pois permite determinar qual o meio mais propício ao seu desenvolvimento óptimo (Carapeto, 2004) e, ao mesmo tempo, identificar quais os factores que limitam ou impedem a sua presença, crescimento e reprodução noutro ambiente.

A temperatura, a luz, a precipitação, o vento, e outros elementos climáticos são dos factores abióticos que mais influenciam a distribuição geográfica das espécies vegetais (Odum, 1988; Carapeto, 2004). Cada factor abiótico apresenta um nível óptimo para cada espécie. No entanto, a sua sobrevivência pode ocorrer dentro de determinados limites (quantitativos e qualitativo), mais ou menos afastados do nível óptimo, que definem a sua amplitude de tolerância. Como Odum (1988) refere, “qualquer condição que se aproxime ou exceda os limites de tolerância diz-se ser uma condição limitante ou um factor limitante”. Assim, antes de se atingir o limite de tolerância, o organismo já se encontra em risco – entrando numa zona de stress –, e quanto mais as condições limitantes se afastam da amplitude de tolerância, mais difícil será sobreviver (Carapeto, 2004).

Segundo Carapeto (2004), “cada espécie (plantas e animais) apresenta uma amplitude óptima, zonas de stress e limites de tolerância em relação a cada um dos factores abióticos que influenciam a sua existência”. Deste modo, aborda-se, em seguida, a

influência dos principais factores limitantes climáticos e hidrológicos sobre o desenvolvimento óptimo da videira.

1.1. Os diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento da videira

O desenvolvimento da vinha é directamente influenciado pelo clima (figura 1). Episódios extremos de frio, calor, de chuva ou seca podem arruinar a colheita de um ano (Maciel, 2005; Maciel *et al*, 2007). Além disso, alterações climáticas no longo prazo podem modificar completamente as potencialidades produtivas de um território (Jones, 2006 *in* ADVID, 2007; Pereira, 2000).

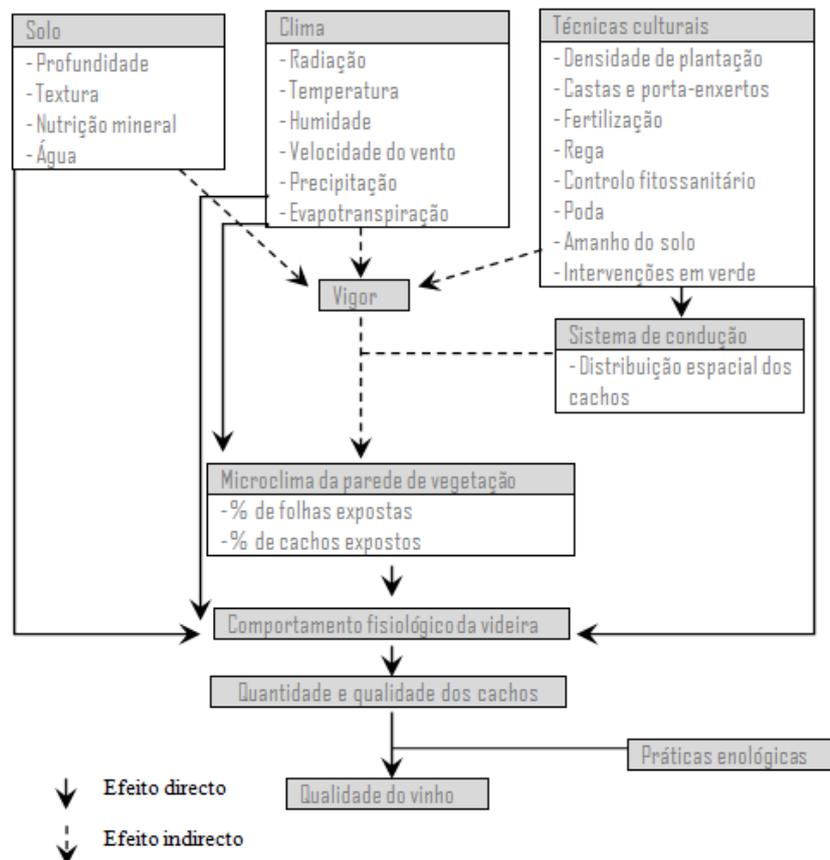


Figura 1 – Influência do solo, clima e práticas culturais na qualidade do vinho através dos seus efeitos no comportamento fisiológico da videira (Fonte: modificado de Smart, 1991 *in* Pereira, 2000)

A videira, durante o seu ciclo de vida activo anual (ciclo vegetativo e reprodutor), experimenta diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento cujas especificidades determinam a quantidade e a qualidade das uvas produzidas. A videira exige que uma série de condições climático-hidrológicas, tais como a temperatura do ar, a precipitação, a humidade do solo (figura 1), sejam compatíveis com as suas carências fisiológicas. De facto, ao longo do seu ciclo vegetativo e reprodutor, a planta vai crescendo e evoluindo, tal como as suas necessidades, ao passar por diferentes estados fenológicos (relação entre os estados biológicos da planta e o clima; Afonso, *s.d.*).

Desde a vindima, que ocorre entre Setembro e Outubro, e a conseqüente queda das folhas, a videira entra numa fase de adormecimento invernal ou de repouso vegetativo (esalq, *s.d.*). Durante esta fase, o solo recupera humidade (reconstituição da reserva útil de água) e nutrientes e a videira recupera-se também gradualmente (Afonso, *s.d.*).

Depois da poda invernal (corte dos ramos mais velhos e secos), e antes de se iniciar o ciclo de crescimento da videira, muitos dos cortes na planta podem ainda não ter cicatrizado. Isto pode dar origem ao chamado “choro” da videira, em que a seiva em excesso é expulsa e escorre através desses cortes. Contudo, este fenómeno não condiciona o desenvolvimento futuro da planta, pois esta só elimina o que não precisa (Afonso, *s.d.*).

Entre os meses de Março e Abril, quando a temperatura do ar atinge valores médios de 8°C a 12°C, a actividade celular da videira recomeça e inicia-se o abrolhamento (figura 2), ou crescimento vegetativo (Afonso *s.d.*; Ruiz, 2003; Maciel, 2005). Normalmente, designa-se por “zero vegetativo” a temperatura a partir da qual a maioria das castas se começa a desenvolver, e que é de 10°C (Afonso *s.d.*, Ruiz, 2003). Neste estado fenológico inicial, a planta tira partido de toda a água e de todos os nutrientes acumulados no solo, ao longo do Inverno para se desenvolver (quadro 1). Durante esta fase, em que surgem os primeiros órgãos verdes (figura 3), a planta é particularmente sensível a geadas (quadro 1) e a alterações bruscas de temperatura (Afonso, *s.d.*, esalq, *s.d.*; Maciel, 2005).



Figura 2 – Abrolhamento da videira (Favaios, Março de 2010)



Figura 3 – Os primeiros órgãos verdes (Favaios, Abril de 2010)

A partir de meados de Abril, começam a desenvolver-se novos ramos e folhas. Neste estado fenológico, a velocidade de crescimento está directamente relacionada com a humidade do solo e a temperatura do ar. Se esta rondar os 25°C (quadro 1), os ramos podem crescer até 5 cm por dia (Afonso, *s.d.*). Esta fase de crescimento prolonga-se até ao estágio do pintor, em meados de Agosto (Afonso, *s.d.*).

Durante os meses de crescimento mais rápido, entre Maio e Junho, vão surgindo as flores e cachos de uvas. Nesta fase, da floração e do vingamento (formação do fruto), é necessário que não haja precipitação (quadro 1), pois esta pode remover e destruir o pólen disponível para a fertilização, provocando o desavinho, ou seja, o abortamento das flores e bagos (Afonso, *s.d.*; Maciel, 2005; Dias, 2006). A floração inicia-se quando a temperatura média do ar ultrapassa os 18°C (Santos, *s.d.*; Dias, 2006). Se a fertilização acontecer com sucesso, os pequenos bagos começam a inchar e a enriquecer-se em ácidos (Afonso, *s.d.*). As condições climáticas mais favoráveis à fertilização e vingamento são, assim, as de tempo seco, sem vento e com temperaturas de cerca 20°C (Dias, 2006; quadro 1).

Quadro 1 – Síntese das fases de desenvolvimento da videira e respectivos factores climáticos condicionantes.

Fase	Abrolhamento	Floração e Vingamento	Pintor	Maturação
Meses	Entre Março e Abril	Entre Maio e Junho	Fim de Julho e Agosto	Fim de Agosto e Setembro
Temperatura(s) Óptimas	Superior a 10°C	De 18°C a 20°C	Superior a 25°C (mas inferior a 35°C)	Mínima superior a 10°C e máxima inferior a 32°C
Condições climáticas e hidrológicas favorecedoras	Existência de água no solo	Existência de água no solo Insolação elevada		Exposição solar elevada
Condições climáticas e hidrológicas limitantes	Ocorrência de geadas	Ocorrência de precipitação abundante e de ventos fortes	Ocorrência de precipitação abundante	

Por vezes, é necessária a intervenção do viticultor, para assegurar a qualidade das uvas e o crescimento saudável da planta. Estas são chamadas de “intervenção em verde”, como: (a) a desponta, que corresponde ao corte das extremidades dos ramos; (b) a desfolha, com o corte das folhas desnecessárias para que os cachos recebam mais luz solar e amadureçam melhor; e, (c) a monda dos cachos, que se dá quando uma videira está sobrecarregada de cachos e alguns são eliminados, para que os restantes possam crescer mais e com maior qualidade (Infovini).

Quando os bagos atingem cerca de metade do seu tamanho final inicia-se a fase do pintor (Afonso, *s.d.*), entre final de Julho e meados de Agosto (quadro 1), em que as uvas começam a amolecer e a ganhar a cor definitiva (Santos, *s.d.*; figura 4).



Figura 4 – Bagos a pintar (Favaios, Agosto 2010)

Nas castas tintas, os bagos de uva adquirem o tom castanho-avermelhado e, nas castas brancas, uma cor amarelada, translúcida. As uvas não mudam de cor em simultâneo, sendo que os bagos mais expostos à luz solar ganham cor mais rapidamente do que os que se encontram na sombra, tornando-se estes últimos mais pobres em açúcares. Com efeito, é nesta fase que as uvas iniciam a acumulação dos açúcares que lhes darão a qualidade final. Por isso mesmo, os dias após o começo do pintor, são decisivos para o bom amadurecimento da uva (Afonso, *s.d.*; Dias, 2006). Para além da exposição solar, o estado de tempo mais favorável ao pintor é o seco e quente (temperaturas na ordem dos 25°C). O stress hídrico estival, embora dificulte o crescimento da videira, é favorável ao amadurecimento das uvas (Afonso, *s.d.*). Na realidade, a ocorrência de precipitações abundantes pode reduzir a concentração dos açúcares (Maciel, 2005).

No último estágio do ciclo vegetativo da videira, a maturação, as uvas recomeçam a ganhar volume, devido ao enriquecimento em água e açúcares e à perda dos ácidos mais agressivos (Afonso, *s.d.*; Dias, 2006). As temperaturas nocturnas durante esta última fase são também muito relevantes pois, se forem superiores a 10°C (quadro 1), o processo da maturação pode continuar ao longo da noite (Santos *s.d.*). Posteriormente, passa-se à colheita das uvas ou vindima. É essencial que não chova, pois a água que os cachos consomem irá passar para o vinho e os mostos tornar-se-ão menos concentrados (Infovini).

A temperatura óptima para a maturação da uva é pouco precisa, mas pode ser determinada através dos valores a partir dos quais a maturação perde intensidade. Assim, pode dizer-se que para as uvas crescerem e amadurecerem saudáveis as temperaturas do ar devem ser superiores a 10°C e inferiores a 32°C (Santos, *s.d.*; quadro 1). Também durante a maturação, são acumuladas, nas partes lenhosas da videira, reservas e nutrientes que lhe irão possibilitar resistir ao rigoroso Inverno e abrolhar na Primavera seguinte (Afonso, *s.d.*).

Assim, em geral, a videira exige que as temperaturas se mantenham entre os 20 e os 30°C para ter um desenvolvimento óptimo (figura 5), embora estes limites térmicos se alterem ao longo do ciclo vegetativo, e consoante características específicas de cada casta.

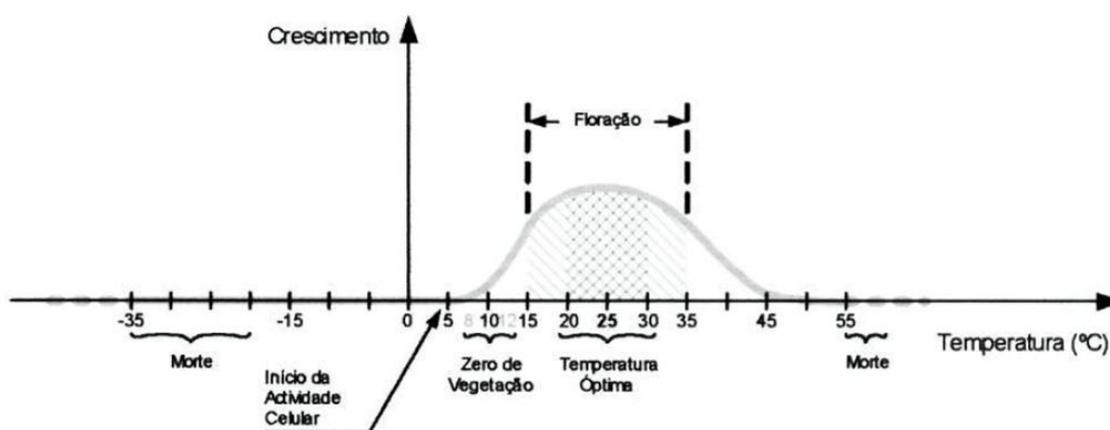


Figura 5 – Os limites térmicos da videira (Fonte: Maciel, 2005).

O crescimento da videira abranda se se ultrapassar o limite inferior de temperatura, cerca de 10°C, ou zero vegetativo, e se as temperaturas mínimas forem além dos 0°C a planta pode sofrer danos irreversíveis. O mesmo acontece se forem ultrapassados os limites superiores, de cerca 35°C, a partir dos quais a planta pode sofrer os primeiros danos ou entrar em amortecimento (Maciel, 2005, Maciel *et al*, 2007). Este limite superior pode ser menor em caso de seca ou ventos fortes. Com o aumento da temperatura, aumenta também a intensidade respiratória da planta e com ela a transpiração, que se não for compensada pela reabsorção de água pode levar ao emurchecimento da planta. Esta pode recuperar um pouco durante a noite se as temperaturas diminuírem (Maciel, 2005).

1.2. Stress hídrico na videira

A disponibilidade de água no solo influencia, de modo directo e indirecto, o desenvolvimento das plantas, sobretudo porque afecta a fotossíntese e o crescimento (Ramos, 1986; Pereira, 2000). Tanto o excesso como a falta de água podem danificar e até causar a morte das plantas.

O défice hídrico ocorre em situações em que a água disponível no solo não é suficiente para assegurar o desenvolvimento óptimo das plantas (Ramos, 2005). Isto sucede na sequência de um défice pluviométrico, mais ou menos prolongado, aliado a elevadas temperaturas que promovem os processos de evapotranspiração em detrimento da reserva de água no solo (Ramos, 2005). Assim, o défice hídrico condiciona o fornecimento de água e nutrientes às plantas (Carvalho, 2009). Posteriormente, estas podem entrar em estado de stress hídrico.

O défice hídrico retrata, portanto, a ausência de água no solo, enquanto o stress hídrico se refere à carência de água a que a planta está sujeita se o défice hídrico se prolongar. O quadro 2 explica as relações existentes entre água, solo e planta.

A forma mais comum do solo ser abastecido em água é através da precipitação. Se o solo ficar saturado, a água em excesso é drenada em profundidade, por acção da gravidade. A esta água excessiva chama-se de água gravitacional, e o solo encontra-se no Ponto de Saturação (P_s). A água que permanece nos poros do solo, disponível para alimentar as plantas, chama-se água capilar. A capacidade de um solo reter mais ou menos água capilar designa-se por Capacidade de Campo (C_c), sendo que “ C_u ” e “ C_f ” descrevem a água utilizável e facilmente utilizável pela planta. Quando a água é deficitária, e apenas se encontra retida nas partículas do solo (água higroscópica), o abastecimento da planta é escasso ou mesmo nulo, tendo-se ultrapassado o designado Coeficiente de Emurchecimento (C_e), (Ramos, 1986; Costa, 2004).

Quadro 2 – Relações entre as plantas e a água no solo (Fonte: Ramos, 1986).

	P_s	C_c	Teor crítico cultural (t_c)	C_e
	→		→	
Água	Gravitacional (livre)	Capilar (móvel)	Higroscópica	
Humidade no solo	Muito húmido	Humedecido	Pouco humedecido	Seco
Relação água/planta	Água muito móvel (dificilmente usada pelas plantas)	Água móvel (fonte essencial de alimentação das plantas)	Água pouco móvel (de difícil uso pelas plantas)	Água fixa (inacessível para as plantas)
Planta	Morte (asfixia radicular)	Desenvolvimento óptimo	Desenvolvimento difícil	Morte (secura)
Armazenamento de água no solo	Saturado	→ C_f →	→ C_u →	Seco

P_s = Ponto de saturação; C_c = Capacidade de campo; C_e = Coeficiente de emurchecimento; C_f = Capacidade facilmente utilizável; C_u = Capacidade utilizável

Reforçando as ideias acima explicitadas, pode dizer-se que água gravitacional é a água excedentária que é drenada pelos macroporos do solo, através da acção da gravidade. A água capilar, por sua vez, é a que preenche os microporos do solo, e que está disponível para abastecer as plantas. Por sua vez, a água higroscópica é a que se encontra nas pequenas partículas de solo (Costa, 2004).

A água, além de alimentar a planta, fomenta a transpiração, os seus processos metabólicos e protege-a contra escaldões. As necessidades médias da videira, em termos de precipitação, variam entre os 350 e os 650 mm anuais, consoante as castas (Maciel, 2005). Contudo, o aproveitamento hídrico da videira depende da distribuição das suas raízes e da água disponível no solo (Pereira, 2000). A disponibilidade gradual e lenta de água para a videira é o seu regime hídrico ideal.

Na época estival, a precipitação no Douro é escassa e as temperaturas são elevadas, o que põe em risco o desenvolvimento saudável da videira (Sotés, 2001 *in* ADVID, 2007). Se a videira ficar exposta a situações extremas de secura, as trocas gasosas nas folhas diminuem, o que provoca danos posteriores, tanto ao nível da quantidade como da

qualidade da produção vitícola (Carvalho, 2009). De facto, o fecho dos estomas (que são orifícios na epiderme das folhas, responsáveis pelas trocas gasosas) dá-se gradualmente com o agravamento do stress hídrico. O fecho dos estomas da planta evita a sua perda de água através da evapotranspiração. Isto, progressivamente, diminui a capacidade de fotossíntese da planta e, conseqüentemente, abranda o seu ritmo de crescimento. Se as condições de stress hídrico e as temperaturas elevadas se agravarem a planta pode mesmo entrar em falência e morrer (Maciel, 2005). Contudo, se o déficit hídrico for progressivo e gradual, durante a maturação, a qualidade das uvas poderá ser favorecida, aumentando o teor de açúcar dos bagos (Ramos, 1986).

Por outro lado, água abundante, ao longo de todo o ciclo vegetativo, pode ser muito prejudicial para a videira. Na fase da floração e da fecundação, mesmo a precipitação mais reduzida pode destruir o pólen, trazendo danos irreversíveis para a produção desse ano, devido ao desavinho (Maciel, 2005). Se a humidade for elevada até à fase do pintor, a planta corre o risco de doenças como o míldio, podridão ou oídio, pois os vírus e bactérias desenvolvem-se em ambientes húmidos e com temperaturas amenas (Maciel, 2005). As raízes com excesso de água apodrecem e ficam sem oxigénio, enquanto com ausência prolongada de água a planta seca, podendo atingir um nível irreversível de degradação.

Segundo Tiago Santos (2006), as mudanças constantes dos níveis hídricos do solo, e o aumento das temperaturas, origina um desequilíbrio importante no desenvolvimento da videira. Recentemente, como forma de contornar as carências hídricas do solo, principalmente em áreas de clima mediterrâneo, introduziu-se a rega em terrenos de vinha. A produção de uvas tornou-se mais estável e equilibrada de ano para ano, aumentando o peso e o número de bago (Kliewer *et al.*, 1983; Rodrigues, 1987; Pine & Ojeda, 1999 *in* Santos 2006). Contudo, embora o rendimento da videira tenha aumentado com a introdução e experimentação da rega, não há muitas certezas quanto à qualidade das uvas. Assim, têm sido estudadas formas inovadoras de rega (de forma a colmatar as carências de águas dos solos) que não ponham em causa a qualidade dos bagos (Santos, 2006).

Alguns métodos podem ser adoptados para impedir que os solos da vinha percam água com tanta facilidade. Deixar os solos com calhaus de xisto impede a erosão e o

impacto directo da radiação solar, e impede ainda a evaporação acelerada da água. Impede também que os solos aqueçam demasiado (Almeida *et al*, 1982: Oliveira, 1987 *in* Pereira, 2000). Com a evolução tecnológica também já é possível contornar os danos causados pela escassez de água (pouco prolongada) através de técnicas de irrigação (Maciel, 2005).

2. Índices bioclimáticos vitícolas

A Bioclimatologia é um ramo da ciência decorrente da Ecologia, cujo objectivo principal é o de correlacionar o clima com a distribuição geográfica das diferentes espécies vegetais e animais (Echaverría, 2008). Neste âmbito, os índices bioclimáticos – algoritmos formulados com base em diversos elementos climáticos – são utilizados em Bioclimatologia com o propósito de estabelecer ou de prever o zonamento geográfico de determinada espécie vegetal, bem como de potencializar a sua distribuição espacial em certas regiões, a partir do conhecimento das características climáticas ideais para o seu desenvolvimento óptimo. Por outras palavras, estes índices combinam e sintetizam uma série de informações climáticas, de modo a tornar mais simples o trabalho de investigar as espécies vegetais e a sua localização óptima (Tuhkanen, 1980 *in* Mesquita, 2005).

Os índices bioclimáticos são calculados com os valores da temperatura do ar, da precipitação, ou outros. Estes dados são essenciais, na medida em que são os que mais directamente influenciam o desenvolvimento consistente das espécies vegetais (Echaverría, 2008). Por isso mesmo, estes índices constituem uma ferramenta muito útil para o zonamento agrícola, mais concretamente o vitivinícola. Como a qualidade dos vinhos e os valores de produção são claramente afectados pelos factores climáticos, nada mais importante do que delimitar (zonamento), prever e caracterizar as áreas vitícolas recorrendo a estes índices (Canziani *et al*, 2006; Huglin e Schneider, 1998 *in* Araújo *et al*, 2004). Segundo Ribeiro *et al* (2009), a partir do cálculo de índices

bioclimáticos no Brasil, os produtores de vinho locais passaram a ter a percepção da melhor área e da melhor época de cultivo, aumentando significativamente a qualidade da produção vinícola.

Existem diversos índices bioclimáticos aplicados à viticultura. Contudo, como sucede em todo e qualquer método científico, também o cálculo dos índices bioclimáticos é susceptível de limitações, apresenta lacunas ou falhas de análise. Por exemplo, Murakami (2002 *in* Ribeiro *et al*, 2009) defende que os índices desenvolvidos e testados numa região particular não serão muito fiéis à realidade de outra onde seja aplicado. Desta maneira, foi utilizado no presente estudo o Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovíticola (figura 6), ou simplesmente Sistema CCM Geovíticola, que constitui “um sistema de classificação climática específico para a viticultura mundial” (Tonietto e Carbonneau, 1999, p.78), tendo sido desenvolvido no âmbito da tese de Doutorado do investigador brasileiro Jorge Tonietto, em 1999, e que contou com o apoio da Organização Meteorológica Mundial (OMM), (Tonietto e Carbonneau, 1999).

O Sistema CCM Geovíticola foi concebido com a finalidade de agrupar e comparar áreas geográficas (de diferentes escalas) em função do respectivo “clima vitícola” (Tonietto, 1999 *in* Tonietto e Carbonneau, 1999; 2004), conceito que diz respeito às condições específicas do clima de uma área vitivinícola com influência directa sobre o desenvolvimento da videira e a qualidade do vinho. Este sistema é, pois, aplicável quer às grandes regiões vitivinícolas mundiais – macroclimas vitícolas –, quer aos vinhedos (ou castas) de uma determinada localidade – mesoclimas vitícolas –, ou a *terroir* específicos – microclimas vitícolas (ver Bohn, 2007).

A metodologia de análise do Sistema CCM Geovíticola baseia-se em três índices bioclimáticos complementares, estabelecidos em função dos principais estádios do ciclo vegetativo da videira (Tonietto e Carbonneau, 1999; 2004). Esses índices são os que seguem:

1. Índice de Seca (“*Dryness index*”), ou IS, que permite estimar a disponibilidade de água no solo, em função do grau de aridez do clima da área vitivinícola, e definir a intensidade do défice hídrico experimentado durante o ciclo vegetativo da planta (entre Abril e Setembro);

Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola

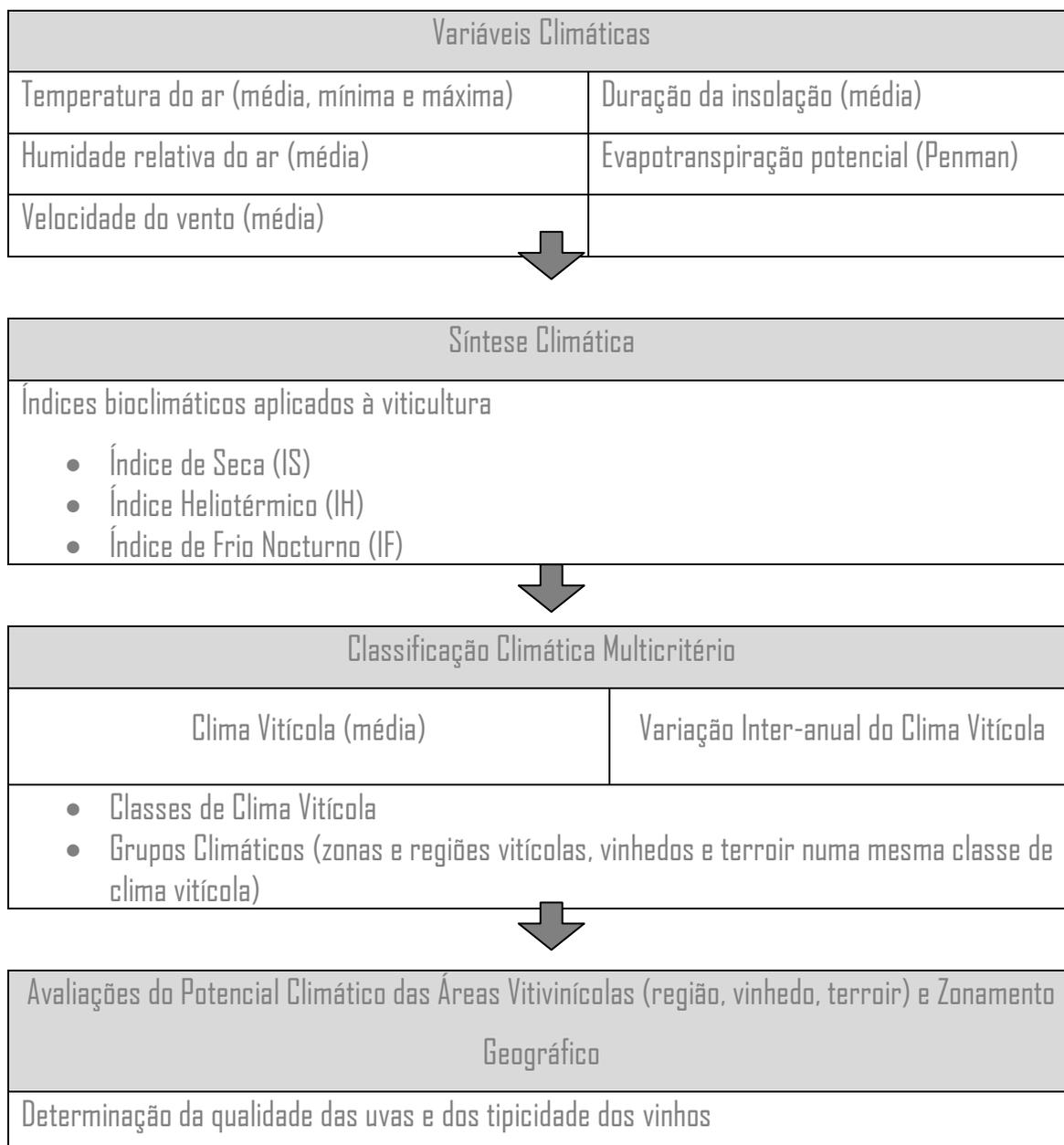


Figura 6 – Síntese esquemática do Sistema CCM Geovitícola (Fonte: modificado de Tonietto & Carbonneau ,2004)

2. Índice Heliotérmico (“*Heliothermal index*”), ou IH, que se relaciona com as exigências térmicas da videira, durante o seu ciclo vegetativo, e avalia o potencial fototérmico da área vitivinícola (Bohn, 2007), ao longo deste período (de Abril até Setembro);
3. Índice de Frio Nocturno (“*Cool night index*”), ou IF, que constitui um indicador das condições nocturnas do desenvolvimento das uvas no último mês do período da maturação (Pommer *et al.*, 2009), (mês de Setembro).

Tonietto e Carbonneau (2004) justificam a importância destes índices não só por permitirem caracterizar o potencial climático das áreas vitivinícolas, mas também por se correlacionarem fortemente com o potencial qualitativo e as características das uvas ou da produção vinícola (qualidade *vintage* – açúcar, acidez, cor, aroma e tipo dos vinhos).

2.1. Índice de Seca

O Índice de Seca (IS) estima a disponibilidade hídrica dos solos, ao atingir-se o final do ciclo vegetativo. No hemisfério Norte, deve ser calculado para o período entre 1 de Abril e 30 de Setembro, com base na seguinte equação:

$$IS = Wo + P - T_V - E_S \quad [eq.1]$$

em que:

IS = reserva hídrica do solo potencialmente disponível no final do ciclo vegetativo (mm)

Wo = reserva hídrica (útil) do solo inicial (mm)

P = precipitação (mm)

T_V = transpiração potencial do vinhedo (mm)

E_S = evaporação directa a partir do solo (mm)

O cálculo do IS é moroso e complexo, pois este índice compila uma série de parâmetros que necessitam ser calculados individualmente. O IS é calculado para os

meses de desenvolvimento e crescimento da videira (de Abril a Setembro, no hemisfério Norte), percebendo-se, assim, se o solo da vinha passa por algum tipo de carência hídrica (Carbonneau, 1994 *in* Tonietto e Carbonneau, 2004). O cálculo efectua-se mês a mês (durante os 6 meses), com os valores mensais encadeados e interligados. A reserva hídrica inicial (W_0) é um valor pré-determinado, o que significa que para o cálculo do IS não se tem em conta o balanço hidrológico anterior ao primeiro mês considerado, neste caso, Abril. Assim, assume-se sempre que o mês de Abril tem uma reserva disponível (W_0) de 200mm disponíveis. Nos meses seguintes, a reserva hídrica do solo, dependendo dos restantes valores a incluir no cálculo (precipitação e evapotranspiração), será maior ou menor que 200mm. O valor obtido em Setembro irá, por fim, determinar o estado do solo vitícola depois da época mais quente do ano.

A precipitação (P) é simplesmente o quantitativo total de cada mês. Este valor irá ser somado à reserva hídrica inicial para se compreender a quantidade de água disponível para a videira em determinado mês.

A transpiração potencial do vinhedo (T_v) é calculada através dos valores da evapotranspiração potencial (ETP) e do coeficiente de radiação (k).

$$T_v = ETPk \quad \text{[eq.2]}$$

em que:

T_v = transpiração potencial do vinhedo

ETP = evapotranspiração potencial

k = coeficiente de radiação

Este último coeficiente é determinado para cada mês, tendo em conta o hemisfério em que se localiza a área estudada. O coeficiente de radiação (k), para o hemisfério Norte, é de 0,1 para o mês de Abril, de 0,3 para o mês de Maio, e de 0,5 para os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro. O cálculo destes dados possibilita que o resultado de

T_v represente mais correctamente as variações mensais de insolação e de perda de água pelos solos vitícolas.

A evapotranspiração potencial (ETP), por sua vez, também tem de ser calculada de modo autónomo segundo o método de Penman (1945).

Para determinar a evaporação directa a partir do solo (E_s), é necessário ter em conta as seguintes variáveis:

$$E_s = \frac{ETP}{N} (1 - k)JPm \quad [eq.3]$$

em que:

E_s = evaporação directa a partir do solo (mm)

ETP = evapotranspiração potencial

N = número de dias de cada mês

k = coeficiente de radiação

JPm = número de dias de evaporação efectiva ($P/5$)

Os resultados do cálculo do IS devem ser interpretados de acordo com a classificação constante na tabela exposta em seguida.

Quadro3 – Classes do clima vitícola em relação ao Índice de Seca (IS).

Existência de Seca	Classe do Clima	Sigla	Intervalo de Classe (mm)
Ausência	Húmido	IS_{00}	$IS > 150$
	Sub-húmido	IS_0	$50 < IS \leq 150$
Presença	De seca moderada	IS_1	$-100 < IS \leq 50$
	De seca forte	IS_2	$-200 < IS \leq -100$
	De seca muito forte	IS_3	$IS \leq -200$

(Fonte: Tonietto & Carbonneau, 1999)

2.2. Índice Heliotérmico

O Índice Heliotérmico (IH) permite estimar o potencial térmico em função da latitude. Este índice, juntamente com o Índice de Frio Nocturno (IF), possibilita uma óptima caracterização do clima da área de estudo e, mais especificamente, determinar as condições térmicas em que a videira se desenvolve (Tonietto e Carbonneau, 2004).

O Índice Heliotérmico (IH) é calculado para a temperatura-base de 10°C, a partir dos valores médios mensais da temperatura do ar, sendo dado pela seguinte equação:

$$IH = \sum_{1 \text{ Abr}}^{30 \text{ Set}} \frac{[T - 10] - [T_x - 10]}{2} k$$

[eq.4]

em que:

IH = total de graus-dia acumulado no período entre 1 de Abril e 30 de Setembro (°C dia, ou GD)

T = temperatura média do ar (°C)

T_x = temperatura máxima do ar (°C)

k = coeficiente de duração do dia, que varia de 1,02 a 1,06 entre 40° e 50° de latitude

Este índice é calculado para os meses de crescimento e desenvolvimento da videira, de Abril a Setembro. Esta época do ano coincide com a altura do abrolhamento, ou seja, do despontar das primeiras folha, ramos e bagos até à altura da maturação, que é o momento do amadurecimento e colheita das uvas.

Os resultados do IH são dados em graus-dia (°C dia, ou GD). O grau-dia é uma unidade de medida térmica que permite analisar as épocas do ano mais propícias à plantação e colheita de espécies vegetais, determinando a duração e evolução das diferentes fases fenológicas das plantas (Junior *et al*, 1977; Junior *et al*, 2004). Com efeito, esta unidade estabelece a relação entre as exigências térmicas da planta cultivada – acumulação de calor para que atinja o seu desenvolvimento óptimo – e a temperatura do ar. A acumulação de graus-dia só é efectiva a partir do chamado “zero vegetativo”, ou seja,

cerca de 10°C (Junior, *et al*, 1977; Junior, *et al*, 2004; Roberto, *et al*, 2005), correspondendo à diferença entre o valor da temperatura média diária e esta temperatura-base.

Os resultados da aplicação do IH devem ser interpretados do seguinte modo:

Quadro 4 – Classes do clima vitícola em relação ao Índice Heliotérmico (IH).

Classe do Clima	Sigla	Intervalo de Classe (GD)
Muito frio	IH ₁	IH ≤ 1500
Frio	IH ₂	1500 < IH ≤ 1800
Temperado	IH ₃	1800 < IH ≤ 2100
Temperado quente	IH ₄	2100 < IH ≤ 2400
Quente	IH ₅	2400 < IH ≤ 3000
Muito quente	IH ₆	IH > 3000

(Fonte: Tonietto & Carbonneau, 1999)

2.3. Índice de Frio Nocturno

O Índice de Frio Nocturno (IF) visa analisar as condições térmicas nocturnas na fase de maturação da uva. A fórmula foi proposta por Tonietto (1999):

$$IF = Tn_9$$

[eq.5]

em que:

Tn_9 = temperatura mínima média do ar no mês de Setembro (hemisfério Norte) (°C)

Este índice é dos mais simples de calcular, pois os valores de temperatura mínima média (atingidos durante a noite) funcionam como resultado. Apenas são tidas em conta as temperaturas do mês de Setembro, que genericamente corresponde ao mês de maturação das uvas. Este mês é decisivo para que o aroma e coloração das uvas se

aperfeiçoem antes da colheita (Tonietto e Carbonneau, 2004). Se as temperaturas mínimas forem superiores a 10°C, a maturação das uvas estende-se também pela noite (Santos *et al*, *s.d.*).

O quadro seguinte clarifica o modo como devem ser interpretados os resultados.

Quadro 5 – Classes do clima vitícola em relação ao Índice Frio Nocturno (IF).

Classe do Clima	Sigla	Intervalo de classe (°C)
De noites quentes	IF ₁	>18
De noites temperadas	IF ₂	>14 ≤ 18
De noites frias	IF ₃	<12 ≤ 14
De noites muito frias	IF ₄	≤ 12

(Fonte: Tonietto & Carbonneau, 1999)

3. A Região Demarcada do Douro e a área vitícola de Favaios (Moscatel Galego)

Num estudo desenvolvido na região de Bordeaux, por Van Leeuwen *et al* (2004 *in* ADVID, 2007), concluiu-se que o clima é o principal factor responsável pela qualidade do vinho (em cerca de 50%). Factores como o solo, a casta e as práticas culturais têm uma influência menor (25%, 10% e 15-20%, respectivamente). No entanto, a produção de vinhos de elevada qualidade depende de uma combinação específica destes factores, naturais e humanos, cujo peso poderá variar consoante a área vitícola; a esta combinação designa-se por *terroir* (Tonietto, 1999).

O conceito de *terroir* é descrito de inúmeras formas por diversos autores. À Unidade *Terroir* de Base, ou UTB, correspondem os elementos naturais mais influentes no processo de desenvolvimento das uvas – ou seja, as variáveis do clima e do solo; a UTB corresponde à escala da parcela (Tonietto, 2001). Por outro lado, quando se consideram também os factores humanos que influenciam a qualidade dos vinhos, nomeadamente as tecnologias vitícolas e enológicas, fala-se de Unidade *Terroir* Vitícola, ou UTV (Tonietto, 1999). A UTV corresponde, assim, a uma escala mais abrangente, ao nível da exploração em que a vinha está inserida (Tonietto, 2001). Por fim, tem-se ainda o conceito de Unidade de *Terroir* Natural, ou UTN, que delimita uma superfície do território com características semelhantes de clima, topografia, solo e outros factores ambientais (Laville, 1993 *in* Carey *et al*, *s.d.*). Com efeito, a morfologia

do terreno (altitude, exposição e declive) afecta a incidência dos raios solares, a temperatura do ar e do solo, a exposição ao vento, a infiltração e escorrência superficial da água da chuva, o desenvolvimento pedogenético, entre outros factores que influenciam directamente a quantidade e a qualidade das uvas.

A diferenciação do *terroir* permite delimitar áreas homogéneas, em que as interacções entre a vinha e o ambiente são idênticas (Ruiz). Com efeito, a zonificação e a denominação de origem de muitas regiões vitícolas, surgiu como uma forma indispensável para proteger e valorizar a originalidade dos vinhos nelas produzidos (Tonietto, 2001; Tonietto, 2007; Blume *et al*, 2008). Em 1947, a *Office International de la Vigne et du Vin* estabeleceu um conjunto de princípios básicos que as regiões, que aspiravam ter protecção comercial através da denominação de origem, deveriam acatar. Segundo Llopis (1997 *in* Blume, 2008), os princípios básicos eram os que se transcrevem:

1. Uma Denominação de Origem deve estar consagrada pelo seu uso e por um comprovado nome,
2. Esse nome deve ser consequência das características qualitativas do produto, determinadas por dois tipos de influência de factores:
 - 2.1. Factores naturais, cujo papel deve ser preponderante (clima, solo, variedade, etc.), permitindo a delimitação de uma área de produção;
 - 2.2. Factores devidos à intervenção do homem, cuja influência é de maior ou menor importância (sistema de cultivo, método de vinificação, etc.);
 - 2.3. Todo o produto vitícola com Denominação de Origem deve ser proveniente de uma área de produção delimitada e de variedades de videiras determinadas.

(Fonte: Blume, 2008)

A determinação de tais princípios baseou-se na experiência francesa, que teve uma contribuição importante para a questão da Denominação de Origem. Em 1958, quando vários países assinaram o Acordo de Lisboa, respeitante às denominações de origem, o reconhecimento da sua importância tornou-se mais evidente e ganhou conotação (Blume, 2008).

Na sequência do que foi exposto, procede-se à caracterização do *terroir* vitícola nas áreas de estudo.

3.1. Breve caracterização da Região Demarcada do Douro

Em meados do século XVIII, a região do Douro tornou-se a primeira região demarcada do mundo, ou seja, uma região de “denominação de origem controlada” (Pereira, 2000). Marquês de Pombal criou a Companhia Geral da Agricultura das Vinhas do Alto Douro como forma de melhorar o cultivo da vinha, elevar os padrões de qualidade do Vinho do Porto e permitir a venda dos vinhos a preço mais justo, protegendo os lavradores (Pereira, 2000). O excerto que se segue, sobre a Região Demarcada do Douro (RDD), descreve bem a simplicidade e a excelência da sua paisagem: “A paisagem cultural do Alto Douro combina a natureza monumental do vale do rio Douro, feito de encostas íngremes e solos pobres e acidentados, com a acção ancestral e contínua do Homem, adaptando o espaço às necessidades agrícolas de tipo mediterrâneo que a região suporta” (UNESCO, 2001). De facto, as regiões com clima mediterrâneo, como é o caso da RDD, caracterizam-se pela sua semi-aridez, que se manifesta na *secura estival* e nas precipitações durante meses mais frios do ano (Pereira, 2000). Apesar disto, os declives acentuados das vertentes, o vale encaixado do rio Douro, os solos xistentos e a escassez de água não impedem o cultivo da videira (Andresen, 2006).

A RDD estende-se desde o concelho de Mesão Frio até Freixo de Espada à Cinta, ao longo do vale do rio Douro, e pode ser dividida em três sub-regiões com características geológicas e climáticas específicas: Baixo Corgo, Cima Corgo e Douro Superior (Andresen, 2006; Magalhães *et al*, 2009; Pereira, 2000). O Baixo Corgo é a sub-região mais ocidental e, embora seja a mais pequenas das três sub-regiões, é a que tem uma maior importância relativa no que se refere à viticultura. O Cima Corgo é denominado de “coração do Douro”, pois localiza-se na parte central da região, sendo também aí que se produzem os vinhos de maior qualidade. O Douro Superior localiza-se mais a oriente e caracteriza-se pelas boas condições de produção vitícola, quer pela qualidade das uvas produzidas, quer pela capacidade de mecanização dos terrenos (Pereira, 2000). As três sub-regiões durienses têm características climáticas subtilmente diferentes. O Baixo Corgo é mais húmido, com um défice hídrico estival moderado; no

Cima Corgo e no Douro Superior, o défice hídrico no Verão varia entre moderado e elevado, respectivamente (Pereira, 2000).

A precipitação na RDD ronda os 1000 mm anuais, nos sectores mais a jusante, e os 400 mm anuais mais a montante do rio Douro, como se observa na figura seguinte. As chuvas tendem a escassear entre Maio e Setembro, ou seja, na época mais quente do ano (Andresen, 2006; Pereira, 2000). Em muitas áreas de fundo do vale mais interiores, os valores podem mesmo não ultrapassar os 300 mm anuais (Pedrosa *et al*, 2004).

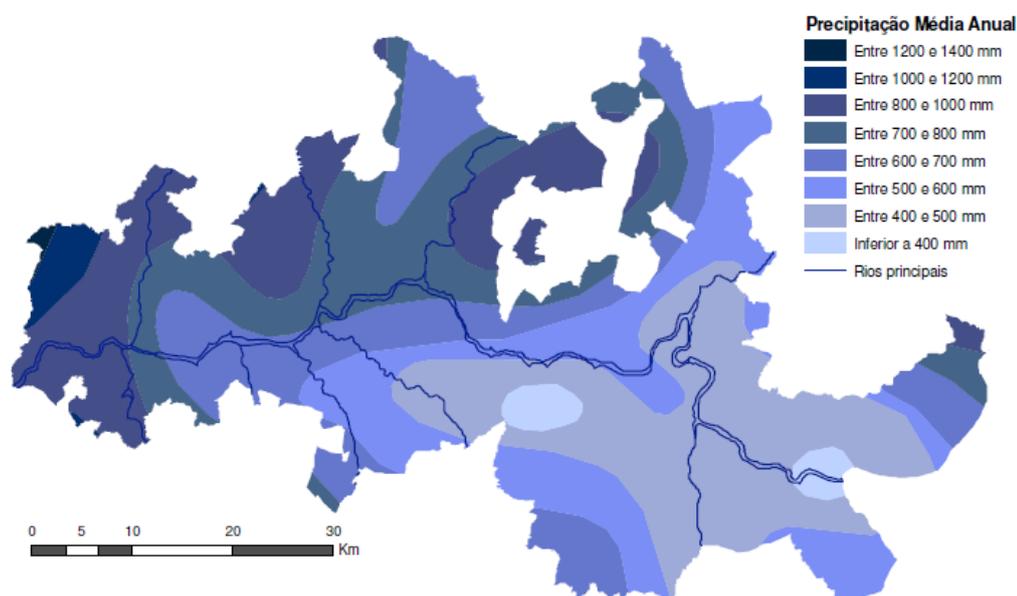


Figura 7 – Distribuição da precipitação média anual na RDD, no período de 1931 a 1960 (Fonte: ADVID, 2007)

Esta distribuição espacial da precipitação deve-se ao facto do vale do Douro se encontrar abrigado dos ventos marítimos húmidos vindos do Atlântico, pelas serras do Montemuro, Alvão e Marão.

O clima duriense é ainda caracterizado por grandes amplitudes térmicas anuais. Comparando as temperaturas médias dos meses mais quentes com as dos meses mais frios, observa-se uma variação que pode exceder os 20°C (Daveau, 1985). Segundo os tipos térmicos de Suzanne Daveau (1985), o Vale do Douro encontra-se na categoria de “Verão muito quente”, o que corresponde a mais de 120 dias com temperaturas superiores a 32°C, e na categoria de “Inverno fresco”, tendo entre 10 e 30 dias por ano com temperaturas inferiores a 0°C (não sendo, por isso, das regiões mais frias do país).

Assim, a temperatura média anual na RDD é extremamente influenciada pelas temperaturas máximas, pelo que são os fundos de vale que surgem com valores mais elevados (figura 8).

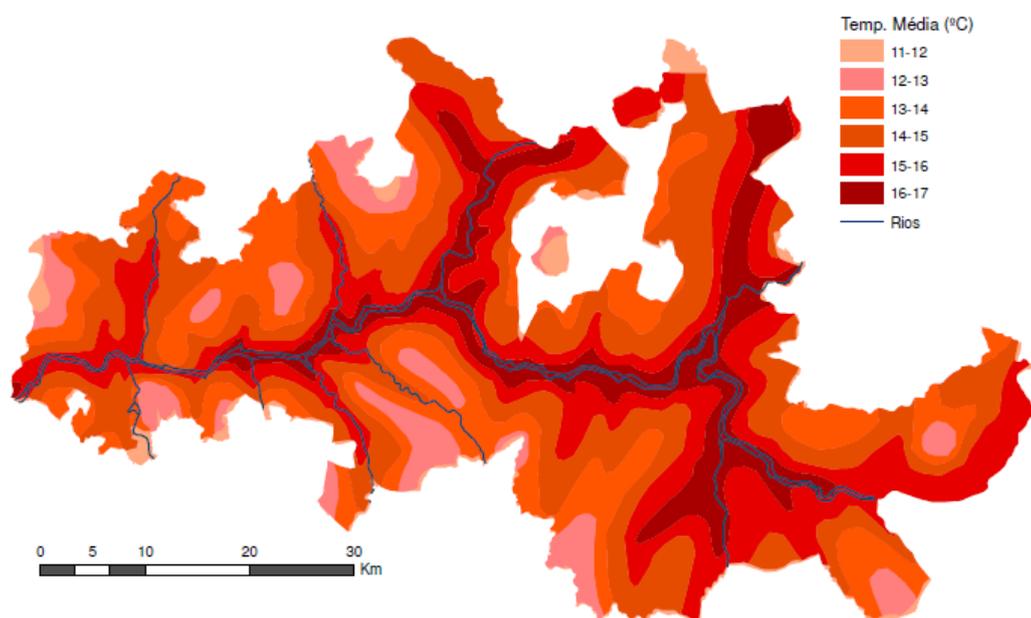


Figura 8 – A temperatura média anual na RDD, no período entre 1931 e 1960 (Fonte: ADVID, 2007)

Conhecer a geologia da RDD é essencial para avaliar a aptidão da região quanto à cultura da vinha. Esta região está integrada no complexo geológico Xisto-grauváquico ante-ordovícico (Pedrosa *et al*, 2004; Pereira, 2000). Em torno do grande maciço de xisto afloram granitos, com menos capacidade de retenção de água e nutrientes, e logo com menor aptidão para a produção de vinhos de qualidade (Pereira, 2000). Aliás, muitos autores referem que os vinhos produzidos em terras xistentas são de melhor qualidade do que os provenientes de terrenos graníticos (Carvalho, 1948 *in* Pedrosa *et al*, 2004). De facto, a grande maioria da produção vitícola na RDD é sustentada por antropossolos, que são solos formados pelo Homem a partir da transformação dos xistos. Estes solos caracterizam-se por serem muito pedregosos, com texturas que variam entre o arenoso fino e o limoso (Pereira, 2000).

Como técnica secular para evitar a erosão dos solos pelas águas de escorrência, ao longo das declivosas encostas durienses, construíram-se terraços, varandas ou socalcos com muros (Pedrosa & Pereira, 2009). O programa DISforME (“*Desertification Indicators System for Mediterranean Europe*”) sugere que a existência de terraços

constitui um indicador de desertificação, pois a sua existência já é em si mesma uma medida de combate à erosão dos solos. A infiltração da água pelos solos é, assim, também, maior, tornando-os mais férteis.

Actualmente, a plantação de vinha em patamares, em vez de ser feita com muros de suporte, é fixada apenas com taludes de terra. O número de alinhamentos de videiras depende do grau de inclinação da superfície, mas normalmente não excede os dois alinhamentos por patamar. Isto afecta a produtividade por hectare e agrava o risco de sulcagem ou de movimentos de massa, mas, por outro lado, facilita a mecanização da vinha (Pedrosa & Pereira, 2009). Nas vinhas ao alto, os alinhamentos encontram-se ao longo da vertente, acompanhando o declive. Apesar de não apresentar grandes problemas de erosão, este modo de cultivo não se mostra muito produtivo (Pedrosa & Pereira, 2009).

3.2. Área vitícola de Favaios e as condições ambientais da casta Moscatel Galego

3.2.1. A área vitícola de Favaios

A freguesia de Favaios pertence ao concelho de Alijó, no distrito de Vila Real, sendo delimitada a oeste pelo rio Pinhão. A economia baseia-se fundamentalmente no sector primário, com destaque para a viticultura, sendo que a produção vitivinícola está ligada à casta Moscatel Galego.

O clima em Favaios apresenta, em termos gerais, a feição mediterrânea comum às áreas incluídas na RDD. Desta forma, passa-se a caracterizar aspectos mais particulares a esta freguesia. O relevo de Favaios caracteriza-se por uma área planáltica a Nordeste e Este, que se encontra profundamente entalhada pelo rio Pinhão e seus afluentes da margem direita, a Oeste e Sudoeste (figura 9). O planalto de Favaios ocupa uma extensa área da freguesia, onde se registam as altitudes mais elevadas, entre os 500m e os 700m.

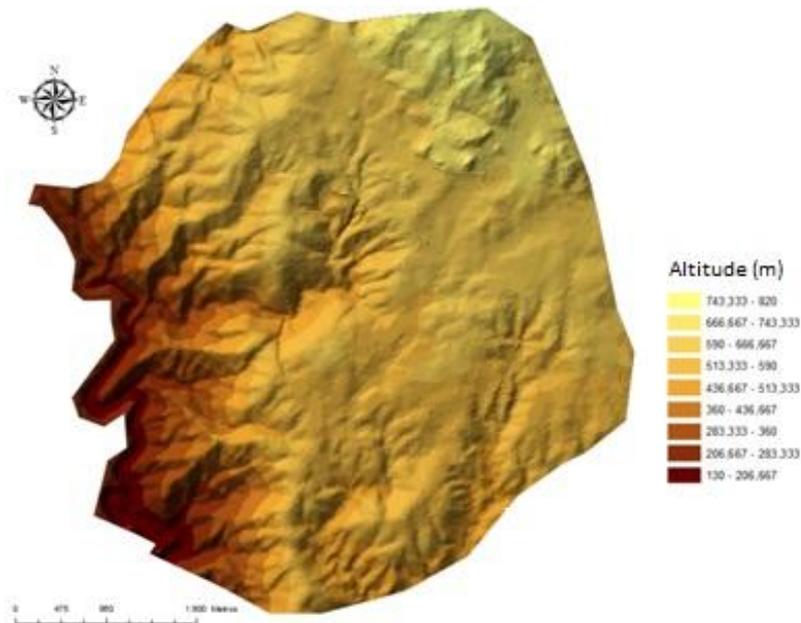


Figura 9 – Modelo digital do terreno da freguesia de Favaios

O declive acentuado das vertentes dos vales do rio Pinhão e seus afluentes (entre 15 a 35%; figura 10) determina que a plantação de vinhas dependa, sobretudo, do engenho do Homem que constrói socalcos ou terraços, com ou sem muro, de modo a suportar os solos. Esta forte inclinação da superfície pode implicar uma maior vulnerabilidade à desertificação, sendo o terraço um modo de impedir a lavagem e perda dos solos. De acordo com o DISforME, com menos de 15% de inclinação, os terrenos dificilmente sofrem danos. Contudo, é imprescindível uma manutenção regular das áreas mais declivosas, nomeadamente, entre os 15 e os 35% a probabilidade de ruína ou de arrastamento aumenta de modo proporcional ao aumento da inclinação. Por fim, terrenos com mais de 35% de inclinação são quase insustentáveis, devido à elevada probabilidade de destruição e desmoronamento.

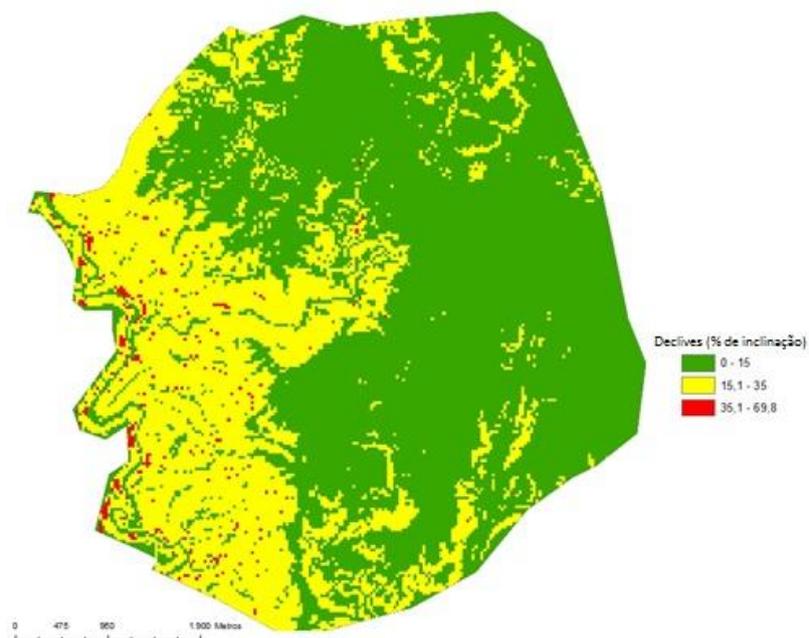


Figura 10 – Declives da freguesia de Favaios (% de inclinação)

A partir da análise da fotografia aérea de Favaios (fornecida pela Câmara Municipal de Alijó, datada de 2005), delimitaram-se as parcelas cultivadas com vinha, que foram classificadas em função da existência ou não de terraços, de seguinte forma:

Quadro 6 – Classificação das parcelas vitícolas.

Tipo de parcela vitícola	Descrição
Normal	Foram determinados como "Normal" os terrenos que apresentavam uma configuração plana ou muito pouco declivosa
Terraço	Os terrenos com terraço são todos os que apresentam as plantações de vinha em varandas devido ao declive acentuado
Terraço com muro	"Terraços com muro" são os terrenos que necessitam de muros que suportem o solo evitando o seu arrastamento devido ao declive muito acentuado
Abandonado	Os terrenos abandonados são os que apresentam sinais de falta de manutenção, ou seja, vegetação ruderal etc.

De acordo com o total de parcelas delimitadas, pode-se verificar uma predominância de terrenos normais, em cerca de 79% de todas as parcelas. Este facto está associado à grande superfície aplanada da freguesia de Favaios. Por outro lado, é evidente a existência de terraços, com e sem muro, nas áreas mais declivosas de vertente. Este facto não impede, contudo, a existência de grandes propriedades agrícolas. A existência de vinha em declives tão acentuados levanta inúmeros problemas, quer na manutenção dos terraços, quer na utilização de maquinaria ou ainda no que concerne ao perigo de arrastamento de grandes quantidades de terra em épocas de chuvas fortes. Por fim, os terrenos abandonados são uma minoria (somente 1,8% de todas as parcelas). Pode verificar-se, através da figura 11, que os terrenos abandonados existem um pouco por toda a freguesia, o que exclui a possibilidade de abandono de parcelas em áreas declivosas ou de parcelas pequenas demais para serem rentáveis.

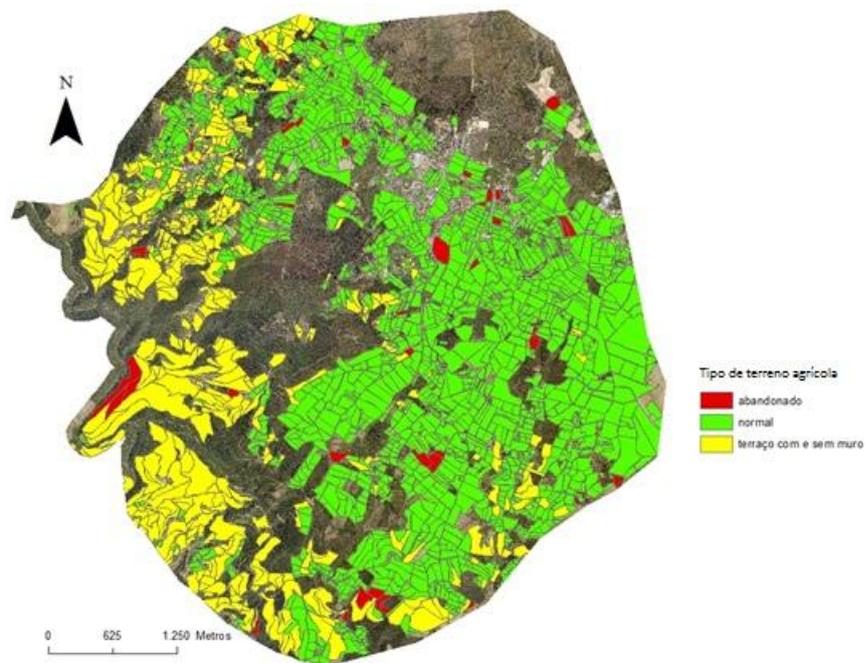


Figura 11 – Tipo de terreno agrícola (cultura da vinha) na freguesia de Favaios

3.2.2. A casta Moscatel Galego

A casta moscatel, e as suas variedades, é originária do Médio Oriente, tendo sido introduzida no território continental durante o Império Romano (Infovini). Teve variadas modificações ao longo dos tempos e, actualmente, existem pelo menos três variedades da casta moscatel em Portugal, sendo que as duas mais conhecidas são o Moscatel Roxo, ou Moscatel de Setúbal (que tem ainda outras denominações), cultivado essencialmente em Setúbal, e o Moscatel Galego, na variedade branca, plantado no Douro, sobretudo na freguesia de Favaios. Internacionalmente, a casta tem outras denominações; é conhecida como Muscat Blanc a Petits Grains (moscatel de grão pequeno) ou Muscat de Frontignan, referente a uma área do sul de França que também produz vinhos licorosos recorrendo somente a esta casta (Wine search).

Os cachos moscatel galego são de dimensão média ou pequena, e as uvas de cor verde-amarelado têm um tamanho médio. Esta casta, no Douro, é utilizada na produção de vinhos licorosos. O moscatel de Favaios, como exemplo, é uma variedade do vinho do Porto, que apenas difere deste, pois é produzido com apenas esta casta.

Para ter um desenvolvimento óptimo, a casta Moscatel Galego, deve ser criada em ambiente mediterrâneo, sendo que suporta as elevadas temperaturas estivais que lhe são características (Wine search).

A evolução do ciclo fenológico da casta Moscatel Galego depende não só das suas características, mas também das técnicas utilizadas pelo produtor e do tipo de vinho que se pretende produzir. No entanto, segundo o estudo apresentado por Van Leeuwen *et al* (2008), que estima as exigências térmicas para várias castas, incluindo o Moscatel Galego (Muscat de Frontignan), este caracteriza-se por um abrolhamento precoce, ou seja, não necessita de temperaturas muito elevadas para despontar (42 GD até ao abrolhamento; figura 12), por uma floração intermédia (367 GD; figura 13) e um pintor precoce (992 GD; figura 14).

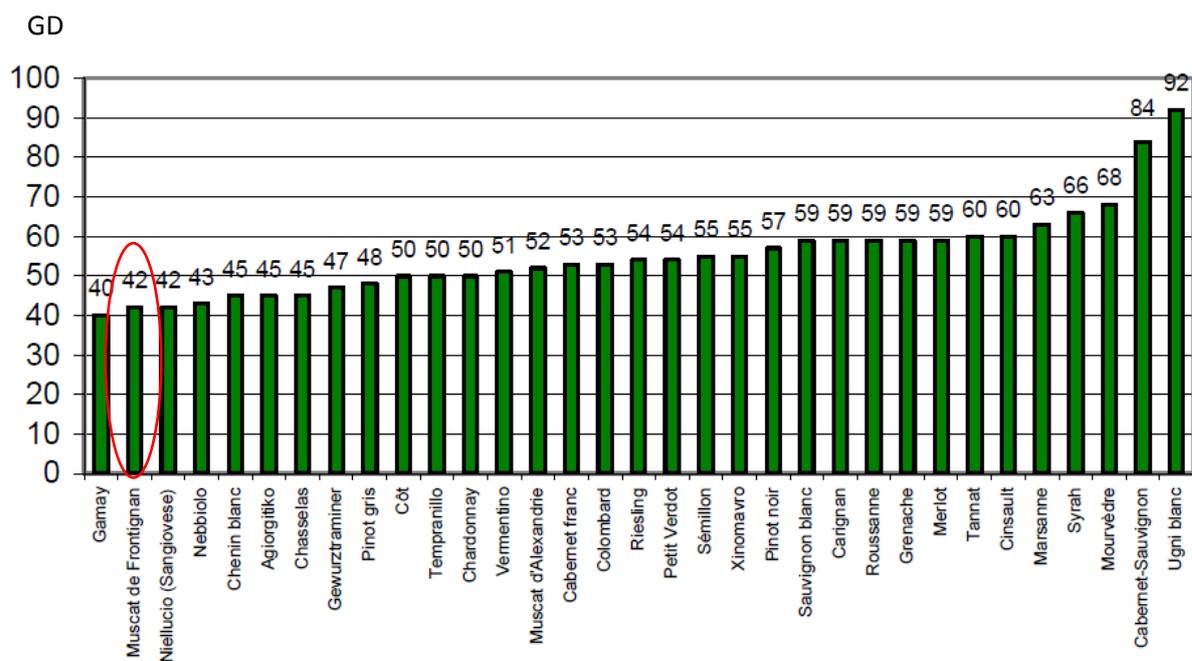


Figura 12 – Somatório de graus-dia (GD, calculados para a temperatura-base de 10°C) necessários ao abrolhamento, desde 1 Janeiro, para o Moscatel Galego e outras castas (modificado de VAN LEEUWEN *et al*, 2008)

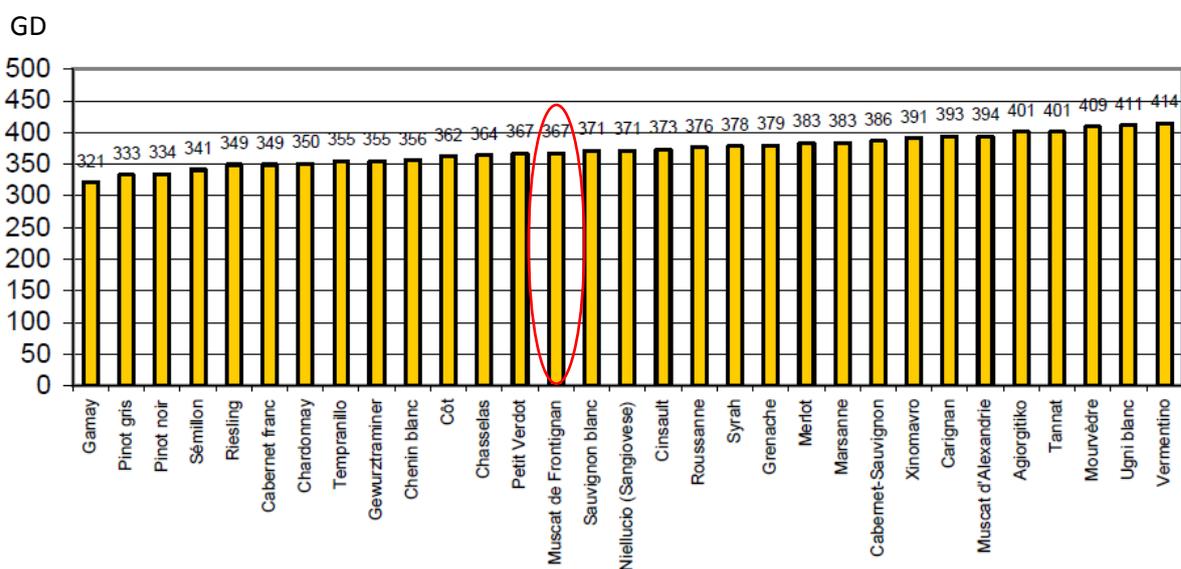


Figura 13 – Somatório de graus-dia (GD, calculados para a temperatura-base de 10°C) necessários à floração, desde 1 Janeiro, para o Moscatel Galego e outras castas (modificado de VAN LEEUWEN *et al*, 2008)

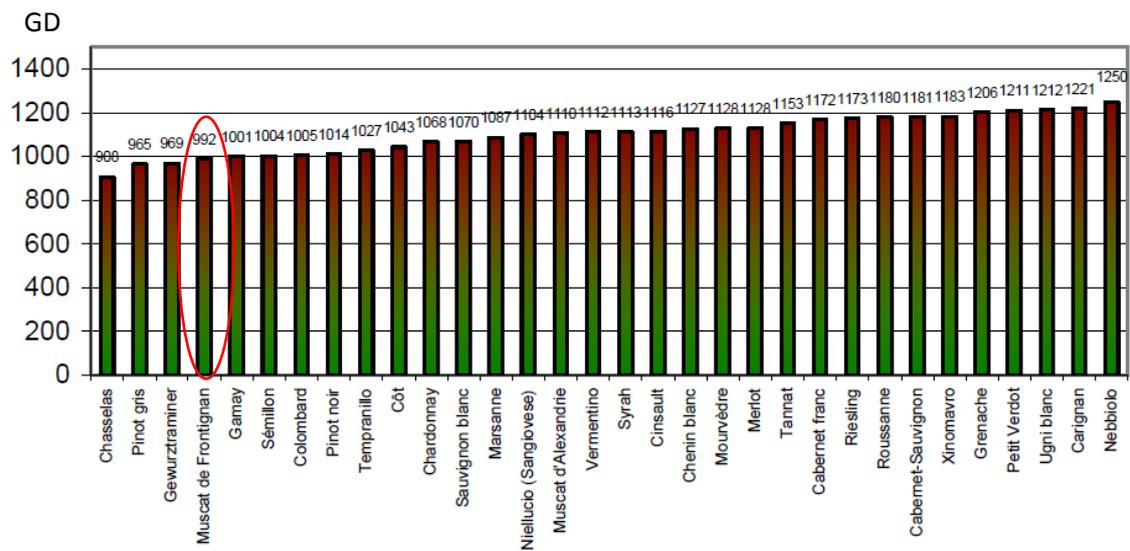


Figura 14 – Somatório de graus-dia (GD, calculados para a temperatura-base de 10°C) necessários ao pintor, desde 1 Janeiro, para o Moscatel Galego e outras castas (modificado de VAN LEEUWEN *et al*, 2008)

4. Pressupostos metodológicos

O desenvolvimento do presente trabalho seguiu de perto a metodologia geral do Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovítica (Sistema CCM Geovítica), proposta por Tonietto (1999). No entanto, como objectivo subjacente a esta metodologia, avaliaram-se as variações interanuais e a tendência manifestada por diversas variáveis climáticas estudadas e pelos índices bioclimáticos do Sistema CCM, num período longo de tempo. Assim, a série temporal analisada diz respeito aos anos de 1976 a 2009, para os dados das estações meteorológicas de Régua e Pinhão, do Instituto de Meteorologia. Estas são as duas estações existentes na área geográfica da Região Demarcada do Douro. Todos os cálculos estatísticos e sua representação gráfica foram feitos automaticamente através do programa informático Excel 2007.

4.1. Alteração climática na Região Demarcada do Douro entre 1976 e 2009

A fim de avaliar a alteração climática no período estudado recorreram-se aos dados de temperatura média, mínima média e máxima média mensais, bem como à precipitação total mensal.

4.1.1. Temperatura média, mínima média e máxima média mensais

O estudo das temperaturas restringiu-se aos meses de Abril a Setembro, entre 1976 e 2009, que abrangem o período activo do ciclo vegetativo da videira, em termos genéricos. Para além da temperatura média mensal, considerou-se de extrema importância o estudo discriminado da temperatura mínima média e máxima média, para identificar qual das duas mais influencia a evolução da temperatura ao longo da série estudada. Contudo, na estação do Pinhão existem lacunas de dados nos anos de 1979, 1982, 1985, 1992, 1994 e 2002, enquanto na estação da Régua faltam os dados dos anos de 1994 e 2006.

A variação interanual das temperaturas foi avaliada através do método estatístico das médias móveis simples. Este cálculo permite reduzir a interferência de valores extremos numa série temporal de dados, ao suavizar flutuações e conservar apenas os valores que revelam uma tendência. A partir das médias móveis – calculadas para o intervalo de 3 anos – estabeleceu-se, então, a respectiva recta de regressão linear, para identificar a existência ou não de uma tendência significativa ao longo dos 33 anos estudados.

O processo de cálculo das médias móveis e da recta de regressão teve em conta a média do período de Abril a Setembro e também os dados mensais, em separado, de Março, Abril, Agosto e Setembro. Com efeito, pretendeu-se observar as tendências individuais em meses fulcrais para o desenvolvimento da videira, nomeadamente os correspondentes ao início da fase fenológica do abrolhamento (Março ou Abril) e os correspondentes à fase fenológica da maturação (Agosto ou Setembro). Também para estes meses se registaram lacunas, nomeadamente para a estação da Régua faltam os dados relativos a Março de 1991 e de Agosto de 2006. No caso do Pinhão os dados em falta são os seguintes: temperaturas médias e mínimas dos meses de Março, Abril, Agosto e Setembro de 2002; temperaturas médias, máximas e mínimas de Agosto de 1985 e 1992, bem como de Setembro de 1992.

4.1.2. Precipitação total mensal

Para a análise da variação interanual da precipitação mensal recorreu-se a duas metodologias distintas: o regime provável de precipitação, com base no método estatístico dos decis, calculados para a série de dados de 1976 a 2009 e publicados por Bettencourt (1984) para anos anteriores – abrangendo um período de 41 anos para a estação da Régua e de 43 anos para a estação do Pinhão; e, o calendário de precipitação, inter e intranual, com base no método dos quintis, calculado para a mesma série.

Regime provável da precipitação

Na análise do regime provável de precipitação, foram excluídos, por falta de dados, os meses dos seguintes anos, para a estação do Régua: Dezembro de 1990; Janeiro, Fevereiro e Março de 1991; Julho de 1994 e Agosto de 2006. No caso da estação do Pinhão, foram excluídos os dados seguintes: Julho e Dezembro de 1979; Janeiro de 1980; Junho e Julho de 1982; Agosto de 1985; Julho, Agosto e Setembro de 1992; Julho de 1994 e Outubro de 2009.

Os decis são um método de “aplicação de diferentes níveis de probabilidade acumulada” (Bettencourt, 1984), sendo que a cada decil corresponde uma probabilidade de 10%. Desta forma, o 1º decil (D1) corresponde ao valor de precipitação que não é excedido pelos 10% dos totais mais baixos, mas é ultrapassado em 90% dos casos; por sua vez, o 9º decil (D9) corresponde à quantidade de precipitação que só é ultrapassada em 10% dos casos, sendo sempre inferior para 90% dos valores totais. Este método adequa-se à análise de uma série longa de dados de precipitação, que se trata de um elemento climático com um comportamento interanual muito irregular às nossas latitudes. Assim, o seu estudo temporal deve ser feito em termos probabilísticos e não em função de uma tendência linear, tal como sucede para as temperaturas, que registam uma muito menor variabilidade entre anos.

O cálculo dos decis foi feito mês a mês, sendo que cada série mensal foi ordenada de modo crescente. A partir desta ordenação calculam-se os 9 decis, que dividem a série

ordenada em 10 partes iguais. Consideraram-se igualmente, na análise, os valores extremos (mínimo e máximo) registados em cada série mensal. Com base nesta divisão é possível distinguir, no contexto da série temporal estudada, os meses classificados como maioritariamente secos (valores abaixo do 3º decil, ou D3), normais (valores entre o 4º e o 6º decil, ou de D4 a D6) ou chuvosos (valores superiores ao 7º decil, ou D7).

Embora se tenha organizado a representação gráfica dos mínimos (Min), decis (D1 a D9) e máximos (Max) em função do ano hidrológico – ou seja, de Setembro a Agosto –, a análise só pode ser feita para cada mês em separado, uma vez que estes dados estatísticos não reflectem uma ordem cronológica ou sequência intranual; tratam-se apenas de valores probabilísticos. Por outras palavras, podemos apontar a maior ou menor probabilidade de um determinado mês ser chuvoso (ou seco), mas não podemos individualizar os anos da série a que correspondem tais probabilidades, nem avaliar o respectivo contexto intranual da distribuição da precipitação.

Calendário de precipitação (inter e intranual)

A elaboração do calendário de precipitação vem complementar o estudo anterior, já que possibilita a análise sequencial da distribuição da precipitação ao longo de cada ano e entre anos consecutivos (ver, por exemplo, Ramos, 1987). Por isso mesmo, reuniram-se os dados de precipitação mensal segundo o ano hidrológico; assim, os dados dos meses de Setembro a Dezembro dizem respeito a um determinado ano civil e os dados dos meses de Janeiro a Agosto referem-se ao ano civil seguinte. Contudo, na estação do Pinhão faltam dados de 1978/79, 1979/80, 1981/82, 1984/85, 1991/92, 1992/93, 1993/94, e na estação da Régua faltam dados de 1990/91, 1993/94, 2005/06, pelo que estes anos não foram considerados no estudo.

A partir das séries ordenadas, por ordem crescente, dos totais de precipitação mensais e anuais, utilizou-se o método estatístico dos quintis para as dividir em 5 partes iguais. Estas divisões permitiram distinguir 5 classes de precipitação, nomeadamente: meses e anos muito secos, correspondentes aos valores inferiores ao 1º quintil; meses e anos secos, quando os valores se encontram entre o 1º e o 2º quintil; meses e anos normais,

quando a precipitação assume valores entre o 2º e o 3º quintil; meses e anos chuvosos, correspondentes a quantitativos entre o 3º e o 4º quintil; e, finalmente, meses e anos muito chuvosos, no caso da precipitação ser superior ao 4º quintil (Ramos, 1987).

Como em Julho e Agosto é frequente terem-se valores nulos de precipitação, ao longo de vários anos da série de dados, classificaram-se estes valores como meses muito secos, independentemente do intervalo entre quintis onde possam surgir. Por outro lado, os totais dos meses de Verão classificados como chuvosos ou muito chuvosos são, em geral, muito inferiores aos dos meses da estação húmida com esta mesma classificação, não tendo, assim, o mesmo significado em termos hidrológicos. Como consequência, não se pode atribuir aos meses de Verão o carácter chuvoso ou seco de um ano hidrológico. Pelo contrário, as características dos vários meses de Inverno, do Outono e Primavera, são determinantes para o carácter global do ano hidrológico

Com base no calendário de precipitação, analisou-se a intensidade pluviométrica anual – ou seja, a maior ou menor concentração temporal de valores de precipitação mensal (P) superiores a 100mm, em cada ano hidrológico –, de modo a identificar possíveis alterações na ocorrência e distribuição das chuvas mais abundantes, ao longo da série de 1976 a 2009. Para tal, procedeu-se ao somatório dos valores mensais de $P > 100\text{mm}$ e estimou-se a sua importância relativa para os quantitativos anuais, segundo a equação seguinte:

$$IP = \frac{P_{>100\text{mm}}}{P_{\text{total}}} \cdot 100$$

[eq.6]

em que:

IP = intensidade pluviométrica (%)

$P_{>100\text{mm}}$ = soma das precipitações mensais superiores a 100mm, num ano hidrológico

P_{total} = precipitação total, num ano hidrológico

4.2. Potencial climático da Região Demarcada do Douro entre 1976 e 2009

Os índices bioclimáticos que compõem o Sistema CCM Geovítica – Índice de Seca (IS), Índice Heliotérmico (IH) e Índice de Frio Nocturno (IF) – foram apresentados no capítulo anterior. Desta maneira, a metodologia que lhes está subjacente foi já, em grande parte, explicada. Resta, portanto, acrescentar alguns aspectos que se prendem com as limitações dos dados meteorológicos analisados no presente trabalho.

4.2.1. Índice de Seca

O Índice de Seca (IS) calcula-se a partir de dois parâmetros – a precipitação mensal (ver [eq.1]) e a evapotranspiração potencial – para o período de 1 de Abril até 30 Setembro. Relativamente aos dados de precipitação utilizados, não se consideraram os anos de 1979, 1982, 1985, 1992, 1994, 2002 e 2006 na estação do Pinhão, bem como os anos de 1994 e 2006 na estação da Régua, devido às lacunas existentes.

A quantificação da evapotranspiração potencial (*ETP*) mensal constitui um cálculo intermédio necessário para determinar a transpiração potencial do vinhedo (T_v), tal como consta em [eq.2].

Tonietto e Carbonneau (1999; 2004) sugerem que a *ETP* seja calculada pelo método de Penman (1945). No entanto, este método exige uma grande diversidade de dados, tais como: a radiação solar, humidade do ar, velocidade do vento, temperatura do ar, pressão atmosférica, e outros (Medeiros, 2005). Como muitos destes dados, são totalmente impossíveis de recolher ou de adquirir, foi necessário calcular a *ETP* através de uma equação alternativa à de Penman. Esta equação, desenvolvida por Hargreaves, permite estimar uma evapotranspiração de referência (ET_o), somente a partir dos dados de temperatura média, mínima e máxima, recorrendo a valores padronizados que calibram e permitem adequar a equação à situação concreta da área de estudo (FAO, *s.d.*).

O cálculo de ET_o é, assim, feito através da seguinte equação:

$$ET_o = 0,0023 (T_{méd} + 17,8)(T_{máx} - T_{mín})^{0,5} R_a$$

[eq.7]

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm/dia)

R_a = radiação extraterrestre (mm/dia)

A radiação terrestre (R_a) é o valor correspondente à radiação solar que atinge determinada latitude, no dia 15 de cada mês, dada em MJ/m²/dia e posteriormente convertida no seu equivalente mm/dia (dividindo-se os valores em MJ/m²/dia por 2,45). Os valores de R_a não convertidos estão publicados em FAO (s.d.), sendo que aqueles que mais se adequam ao presente trabalho são os que se referem à latitude de 40° N.

Embora se tenham calculado as médias móveis para o intervalo de 3 anos, a forte irregularidade anual do IS ao longo da série de 1976 a 2009, não permitiu estabelecer uma tendência linear (regressão).

4.2.2. Índice Heliotérmico

Para o cálculo do Índice Heliotérmico (IH) foram usados os dados de temperatura média e máxima média, para os meses de Abril até Setembro, das estações meteorológicas do Pinhão e da Régua. Os dados em falta, em ambas as estações, são os referidos anteriormente.

Em IH, os dados mensais de temperatura devem ser convertidos em valores diários, sendo que para tal se multiplicam os primeiros pelo número de dias do respectivo mês. Além disso, é necessário estimar o coeficiente de duração do dia (k). Este último corresponde a um valor padronizado, que para as latitudes entre 40°00' e 42°00', como é o caso da Região Demarcada do Douro, corresponde a 1,02.

O resultado será em graus-dia, correspondentes ao valor acumulado desde o início de Abril até ao final de Setembro (ver [eq.4]). Para a avaliação de uma tendência temporal, recorreu-se ao método das médias móveis (intervalo de 3 anos) e calculou-se a recta de regressão linear.

4.2.3. Índice de Frio Nocturno

O Índice de Frio Nocturno (IF) corresponde directamente à temperatura mínima média do mês de Setembro, nas estações do Pinhão e da Régua. Os aspectos metodológicos associados a esta variável foram, portanto, atrás abordados.

4.3. Exigência térmica e precocidade de estados fenológicos da casta Moscatel Galego entre 1976 e 2009

Numa última etapa do presente estudo, focalizou-se a investigação sobre a casta utilizada na produção do vinho de Favaios – o Moscatel Galego –, característico da área vitivinícola de Alijó. Para tal, procurou-se caracterizar a evolução do seu comportamento fenológico, ao longo da série temporal analisada. Tendo como referência os valores das exigências térmicas (em graus-dia; GD) estimados para esta casta, no estudo desenvolvido por Van Leeuwen *et al.* (2008), avaliou-se a precocidade dos estados fenológicos do abrolhamento, floração e pintor em cada ano. Neste mesmo estudo, adoptaram-se as datas da vindima como representativas da fase da maturação. Isto deveu-se, segundo os autores, ao facto da maturação constituir o estado fenológico que maior imprecisão envolve na sua definição, uma vez que é altamente dependente do tipo de vinho que se pretende produzir. Ora, o estudo referido não inclui dados sobre esta última fase de desenvolvimento da videira para a casta do Moscatel Galego; além disso, a informação sistematizada, sobre as datas da vindima, disponível na Adega Cooperativa de Favaios remonta apenas ao ano de 2002, sendo que também não se obteve informação semelhante no Instituto da Vinha e do Vinho, no Instituto dos Vinhos do Porto e do Douro, na Casa do Douro, nem em empresas particulares. Desta forma, não se incluiu a fase da maturação na análise

desenvolvida no presente trabalho. Contudo, está prevista a construção de uma base de dados sobre esta mesma informação, pela Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense (ADVID), tal como nos adiantou a empresa Sogrape Vinhos, no e-mail que se passa a transcrever:

Após contacto com o departamento de enologia, obtivemos a seguinte resposta:

“Essa informação não existe na ADVID nem em nenhum organismo oficial ou privado. Cada empresa tem os registos das suas próprias vindimas, mas estes não se encontram sistematizados para a região.

A ADVID, no âmbito do Projecto de Adaptação às Alterações Climáticas tem previsto executar um levantamento destes dados entre os seus associados para, precisamente criar esta base de informação. Esse trabalho não deverá estar concluído antes do final de 2011.”

20 de Setembro de 2010

Voltando ao trabalho de Van Leeuwen *et al.* (2008) – e tal como já se mencionou em capítulo anterior – são necessários 42 GD para o Moscatel Galego abrolhar, 367 GD para florir e 992 GD para pintar, acumulados a partir de 1 de Janeiro em função da temperatura base de 10°C (zero vegetativo da videira). Desta maneira, utilizaram-se os dados da temperatura média, dos meses de Janeiro a Outubro. A estação do Pinhão é mais fidedigna para esta análise concreta, pois localiza-se no concelho de Alijó e a somente 13 quilómetros da freguesia de Favaios, onde se concentra a maior produção da casta Moscatel Galego. Assim, analisaram-se unicamente os dados relativos à estação do Pinhão, que melhor caracterizam as exigências térmicas e a evolução do ciclo fenológico da casta, ao longo da série temporal estudada. Por falta de dados, não foram tidos em conta os anos de 1982, 1992, 1994 e 2002 na estação do Pinhão.

Considera-se que só há acumulação de graus-dia, num determinado mês, quando a temperatura média é superior à temperatura de base, sendo que o valor acumulado pela videira corresponde à diferença entre estas duas temperaturas. Para converter este resultado em graus-dia é necessário multiplicá-lo pelo número de dias do respectivo mês.

Obtidos os graus-dia, procedeu-se à sua soma cumulativa, desde Janeiro até Outubro, de modo a identificar os meses em que foram atingidos os valores utilizados como

referência para a casta Moscatel Galego. Veja-se o exemplo seguinte, que ilustra a metodologia seguida:

Graus-dia (GD) acumulados desde 1 Janeiro								
Jan/Fev	Jan/Mar	Jan/Abr	Jan/Mai	Jan/Jun	Jan/Jul	Jan/Ago	Jan/Set	Jan/Out
0	55,8	154,8	421,4	835,4	1278,7	1684,8	1948,8	2091,4

Considerou-se que o início do abrolhamento terá ocorrido em Março, uma vez que o valor de 42 GD não foi atingido em Fevereiro, tendo sido acumulado durante aquele mês. Já os graus-dia necessários para a floração terão sido atingidos durante o mês de Maio, em que se ultrapassou o valor de referência de 367 GD. Finalmente, o pintor terá ocorrido em Julho, mês em que os graus-dia acumulados excederam os 992 GD necessários.

O método da exigência térmica adoptado por Van Leeuwen *et al.* (2008), e aplicado no presente trabalho, apresenta algumas limitações. A acumulação de graus-dia é proporcional à temperatura média, pelo que este método sobrevaloriza a importância das temperaturas mais elevadas no desenvolvimento do ciclo da videira. Na realidade, os processos fotossintéticos atingem o seu máximo aos 25°C, não sendo indispensáveis temperaturas superiores para acelerar o ciclo fenológico da videira (Van Leeuwen *et al.*, 2008). Muito pelo contrário, com temperaturas acima dos 35°C, a planta pode entrar em amortecimento, tal como atrás já se explicitou, não havendo lugar à acumulação de graus-dia. Por outro lado, a fenologia não depende exclusivamente da temperatura do ar; variáveis como o albedo do solo – que determina a sua temperatura ao nível da zona radicular – e o défice hídrico contribuem para uma maturação mais ou menos precoce.

5. Resultados

Neste capítulo, descrevem-se os principais resultados obtidos no presente trabalho. Para a sua apresentação, seguiu-se a organização dos pressupostos metodológicos, de maneira a facilitar e a sistematizar a análise, feita por estação meteorológica (Pinhão e Régua).

5.1. Alteração climática na Região Demarcada do Douro entre 1976 e 2009

5.1.1. Temperatura média, mínima média e máxima média

Pinhão (Abril a Setembro)

A tendência para o aumento das temperaturas média e mínima média é significativa ($R^2 > 0,5$) na estação meteorológica do Pinhão (gráfico 1). A temperatura média, entre 1976 e 2009, registou uma subida na ordem de $3,4^\circ\text{C}$, enquanto a temperatura mínima média registou um aumento, mais notório, de $3,7^\circ\text{C}$. Pode, assim, dizer-se que o ritmo de subida destas temperaturas tendeu a ser evidente no Pinhão. Pelo contrário, a tendência para o aumento da temperatura máxima média, nesta estação, não foi significativa ($R^2 = 0,389$).

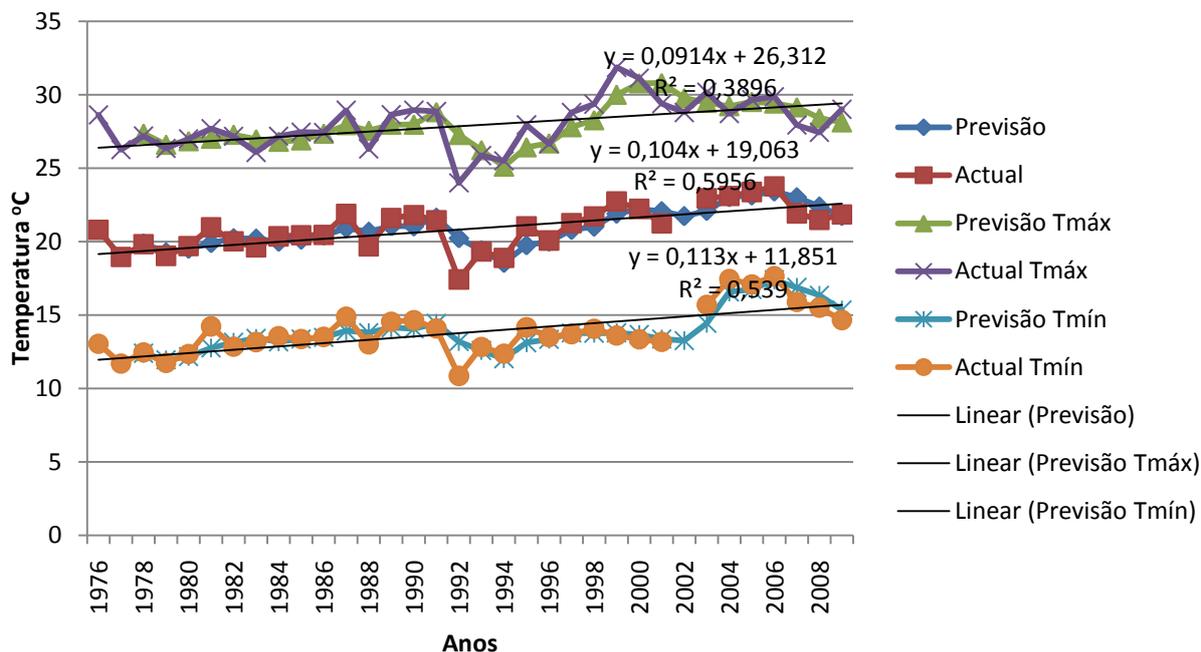


Gráfico 1 – Médias móveis (previsão) e regressão linear das temperaturas média, mínima média e máxima média, dos meses de Abril a Setembro, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão.

Régua (Abril a Setembro)

Na estação meteorológica da Régua, nos meses de Abril a Setembro (gráfico 2), verificou-se um aumento, bastante significativo, da temperatura média ($R^2=0,693$) – em 2009 era $2,26^{\circ}\text{C}$ mais elevada que no início da série, pois o ritmo de subida foi de $0,068^{\circ}\text{C}$ por ano.

O aumento da temperatura mínima média foi muito significativo ($R^2=0,810$) – a um ritmo de $0,092^{\circ}\text{C}$ por ano –, observando-se uma subida, desde 1976 a 2009, de mais 3°C . Tal como no Pinhão, a tendência para o aumento das temperaturas máximas médias não foi significativa ($R^2= 0,3676$).

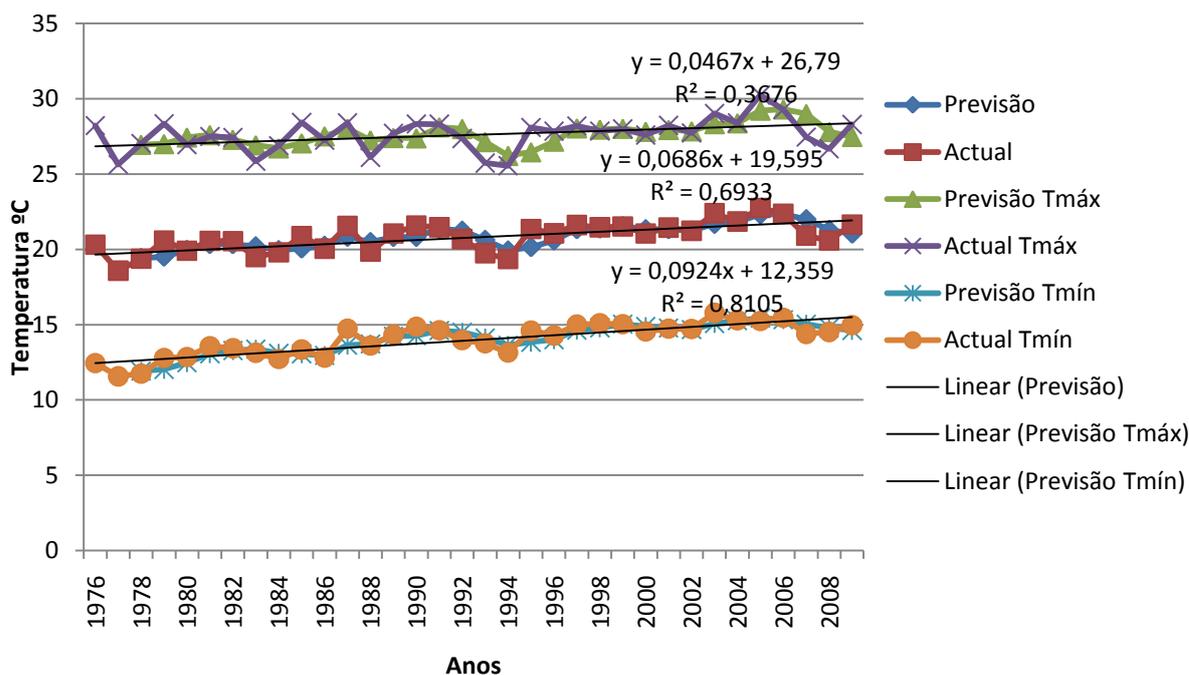


Gráfico 2 – Médias móveis (previsão) e regressão linear das temperaturas média, mínima média e máxima média, dos meses de Abril a Setembro, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.

Pinhão (Março e Abril)

A temperatura do ar não parece ter aumentado significativamente no mês de Março, ao longo da série estudada (gráfico 3).

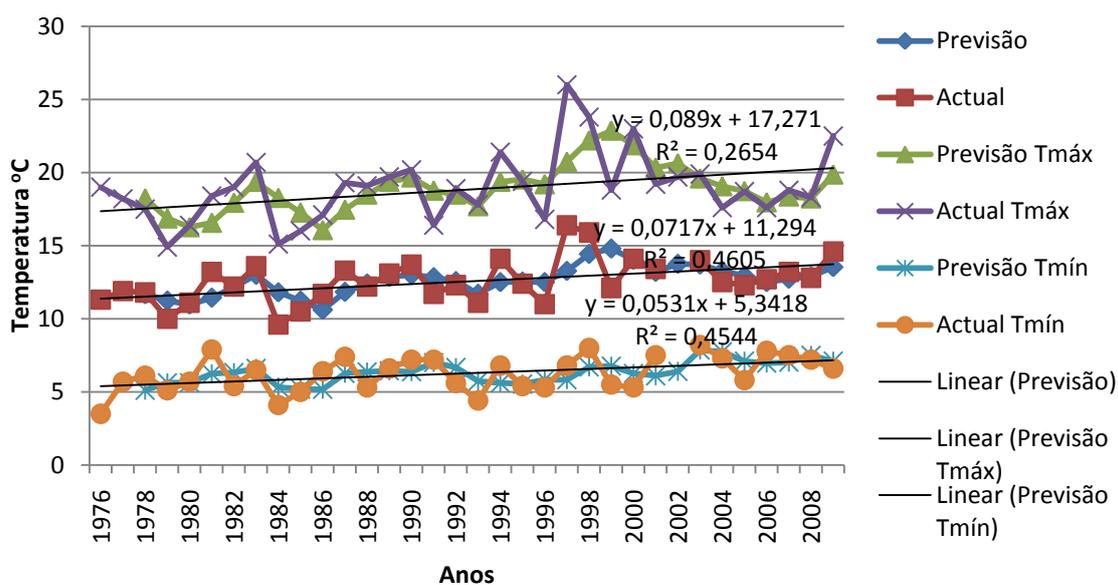


Gráfico 3 – Médias móveis (previsão) e regressão linear, da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Março, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão.

Contrariamente ao mês anterior, em Abril (gráfico 4) registou-se uma tendência positiva da temperatura média ($R^2=0,629$), fazendo com que, de 1976 a 2009, os valores tenham tido um aumento de $3,3^\circ\text{C}$. Mais expressivo foi a subida da temperatura máxima média ($R^2= 0,614$). Por ano, o seu aumento deu-se na ordem de $0,133^\circ\text{C}$; assim, em 2009 a temperatura máxima média já tinha aumentado $4,4^\circ\text{C}$.

No Pinhão, o aumento da temperatura mínima média em Abril não foi significativo. Os valores no final da série aproximam-se do “zero vegetativo”, mas não o ultrapassam.

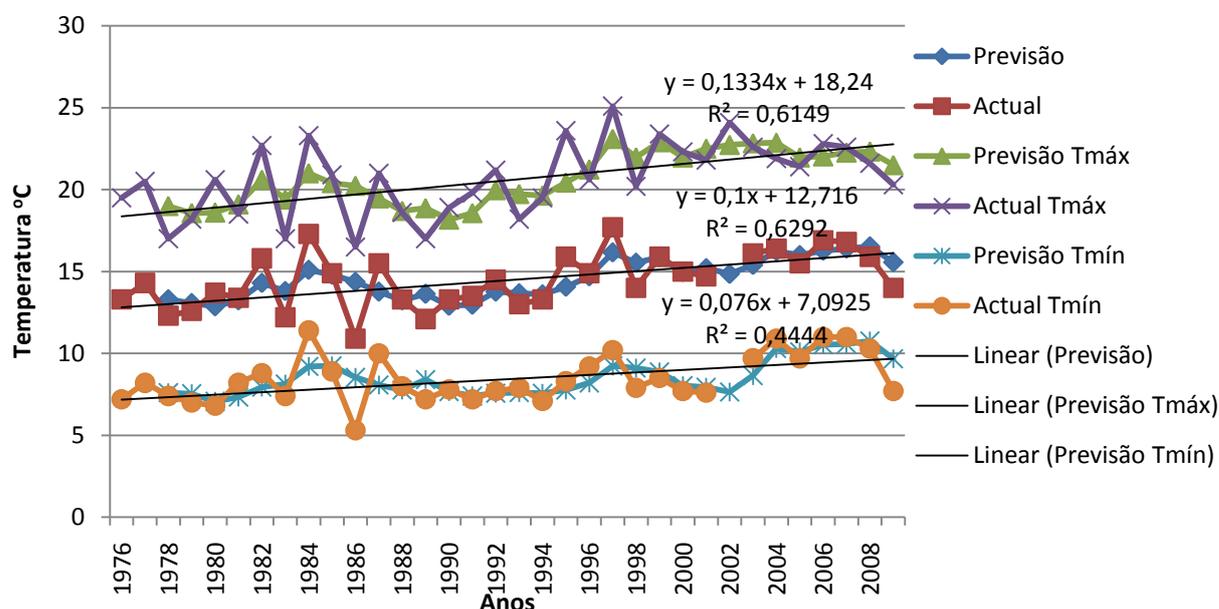


Gráfico 4 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Abril, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão.

Régua (Março e Abril)

Ao longo da série temporal estudada, não se verificam tendências significativas de aumento das temperaturas do ar (média, máxima média ou mínima média) para o mês de Março, tal como se depreende do gráfico 5. Relativamente ao mês de Abril, verifica-se uma tendência significativa para o aumento da temperatura média ($R^2= 0,6573$), sendo que em 2009 o valor já era $3,24^\circ\text{C}$ superior (gráfico 6). Contudo, a subida mais interessante foi a da temperatura mínima média ($R^2=0,7701$), que já ultrapassou o “zero vegetativo” nos últimos anos da série estudada.

O aumento da temperatura máxima média, embora estatisticamente pouco significativo ($R^2 = 0,492$), foi bastante expressivo, na ordem de $3,6^\circ\text{C}$, entre 1976 e 2009.

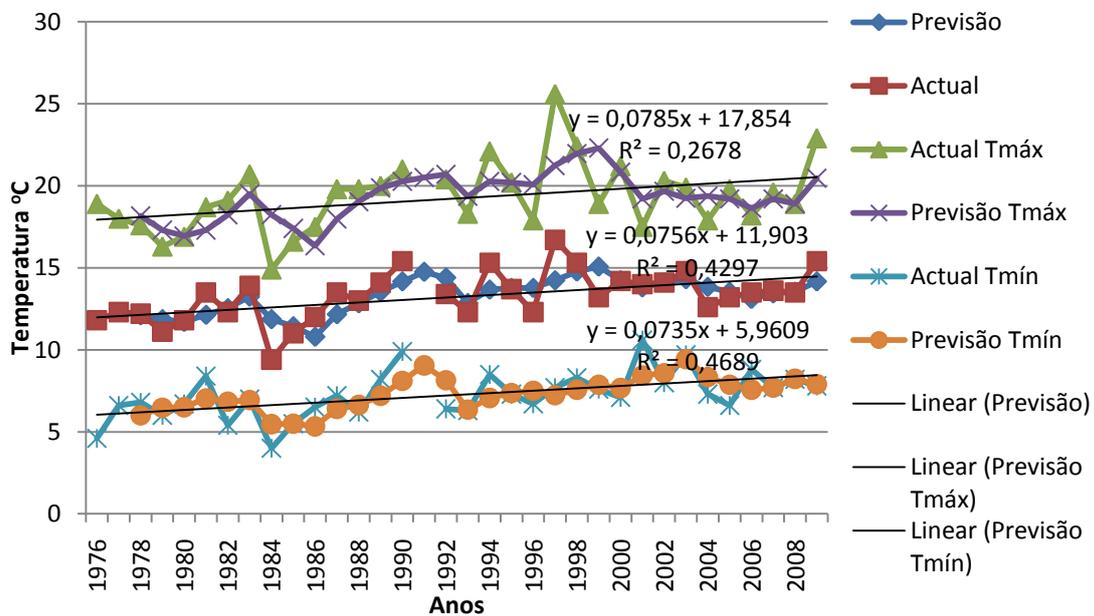


Gráfico 5 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Março, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.

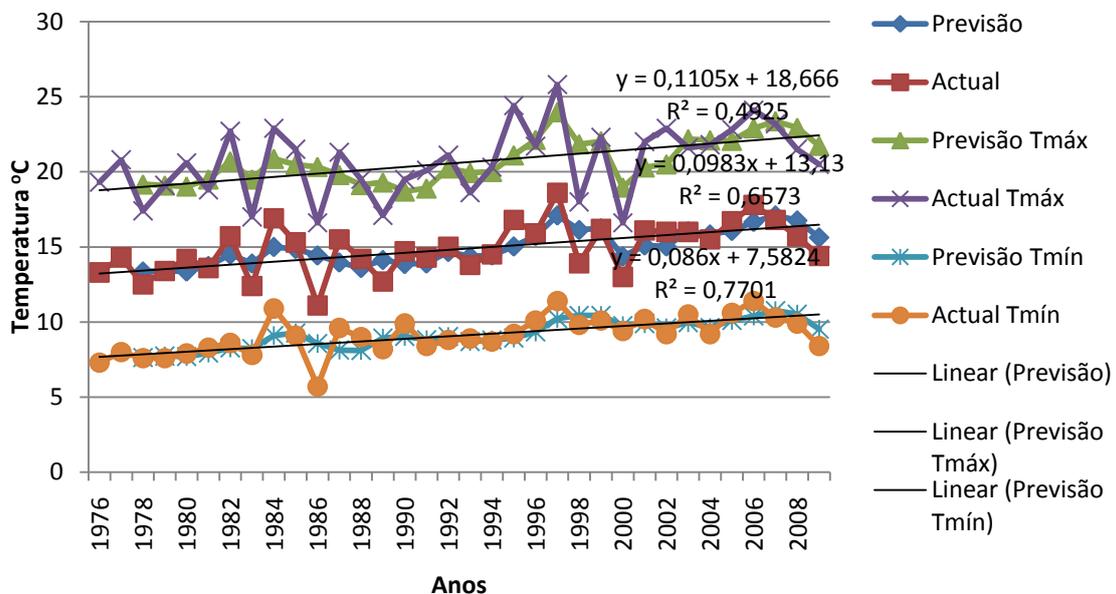


Gráfico 6 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Abril, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.

Pinhão (Agosto e Setembro)

Verifica-se um aumento significativo das temperaturas médias, em Agosto ($R^2 = 0,593$), sendo que, desde 1976 a 2009, se registou uma subida de $3,2^\circ\text{C}$ (gráfico 7). A temperatura mínima média, neste mês, também aumentou significativamente no Pinhão, a um ritmo de $0,122^\circ\text{C}$ por ano. Com efeito, no início da série os valores rondavam os 15°C , sendo que em 2009 a temperatura mínima média já era 4°C superior, aproximando-se dos valores das noites tropicais (que rondam os 20°C). Quanto à temperatura máxima média em Agosto, não se verificou uma tendência positiva estatisticamente significativa.

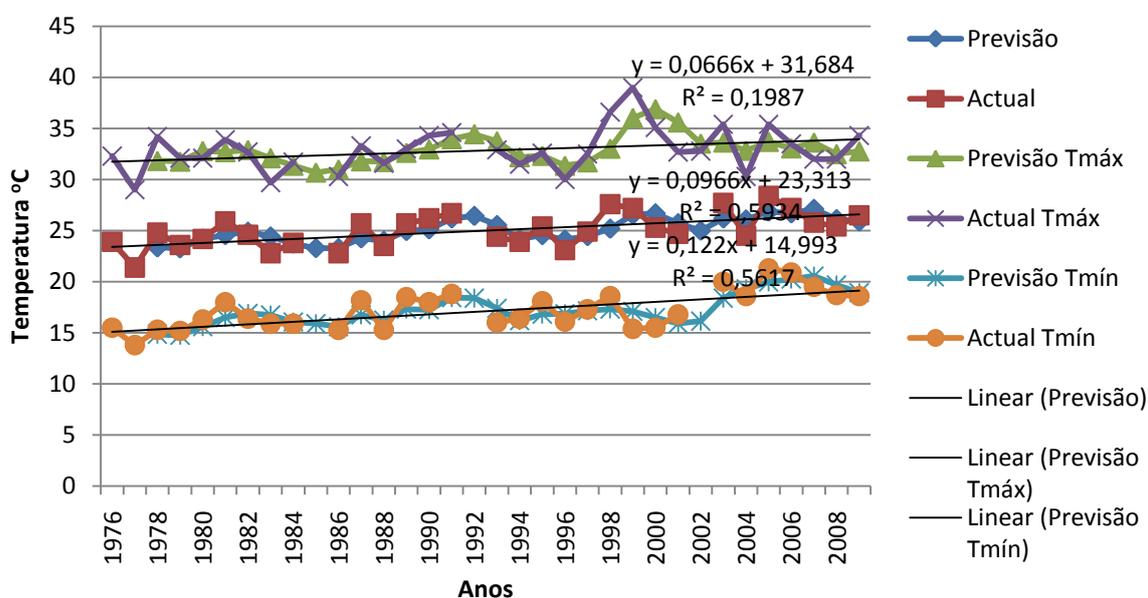


Gráfico 7 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Agosto, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão.

Em Setembro, as temperaturas do ar não experimentaram qualquer variação temporal significativa (gráfico 8).

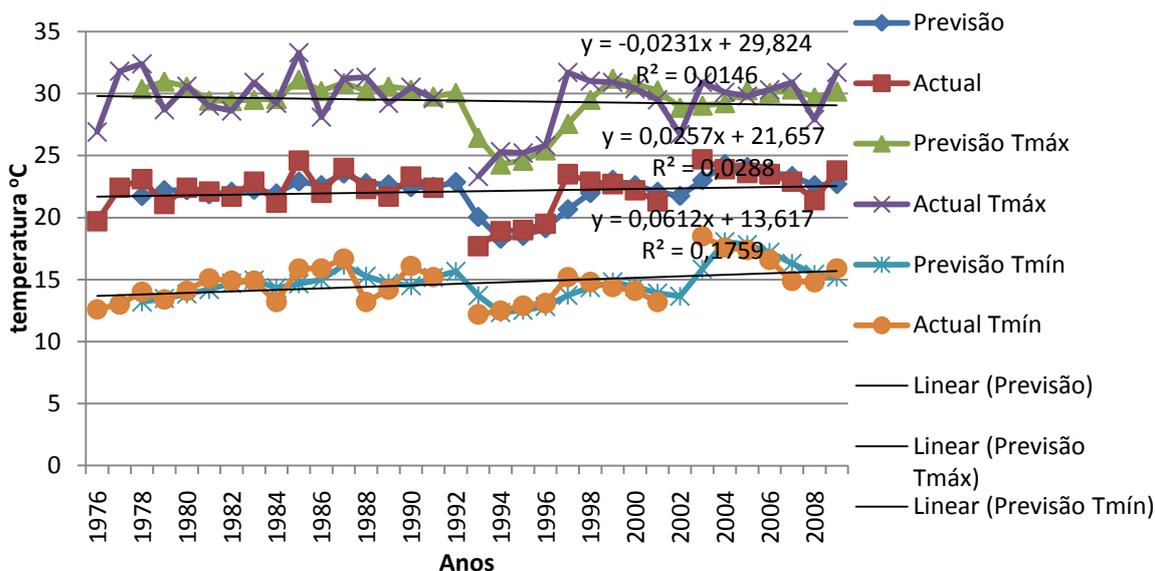


Gráfico 8 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Setembro, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Pinhão.

Régua (Agosto e Setembro)

Na Régua, somente a temperatura mínima média, em Agosto, mostrou uma tendência significativa para o aumento ($R^2 = 0,5582$), a um ritmo de $0,1039^\circ\text{C}$ por ano (gráfico 9). Assim, desde 1976 a 2009, temperatura mínima média subiu $3,4^\circ\text{C}$.

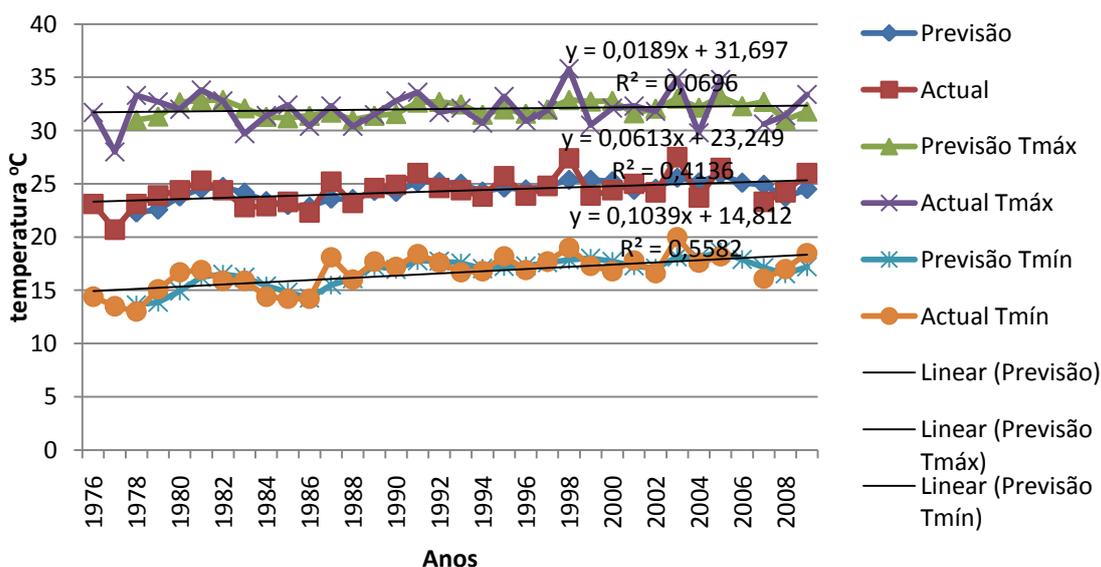


Gráfico 9 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média e máxima média, do mês de Agosto, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.

Em Setembro, a tendência é mais débil ($R^2=0,469$) e as temperaturas mínimas médias subiram $2,2^\circ\text{C}$ entre 1976 e 2009, a um ritmo de $0,068^\circ\text{C}$ por ano (gráfico 10).

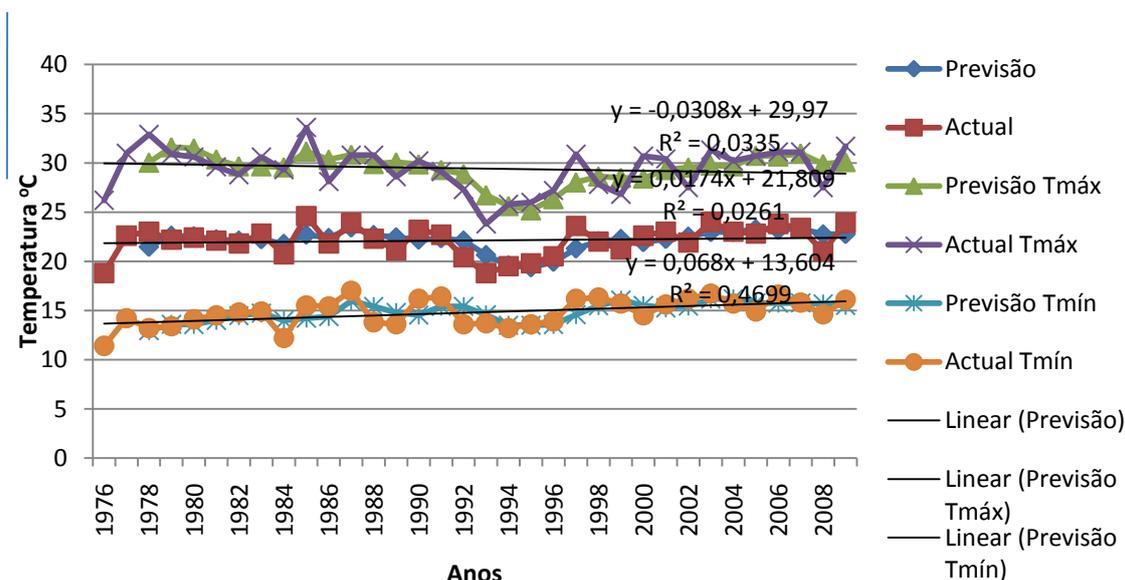


Gráfico 10 – Médias móveis (previsão) e regressão linear da temperatura média, mínima média, máxima média, do mês de Setembro, desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.

5.1.2. Precipitação total mensal

5.1.2.1. Regime provável da precipitação

Pinhão (série temporal de 43 anos, anterior a 1976)

A estação do Pinhão apresenta um regime mensal de precipitação relativamente regular, tendo em conta os quantitativos mensais bastante reduzidos (mesmo durante os meses considerados mais chuvosos, os máximos absolutos não ultrapassam os 300mm; quadro 7), facto que se prende com uma localização interior e próxima ao fundo do Vale do Douro, que determina a sua posição de abrigo.

Os máximos principais de precipitação ocorrem no mês de Dezembro (em 70% dos anos), sobretudo nos anos secos e normais (quadro 7 e gráfico 11). Em anos muito chuvosos, o máximo principal pode corresponder a Janeiro (20% de probabilidade).

Quadro 7 – Decis e valores extremos absolutos correspondentes à estação meteorológica do Pinhão, para a série temporal de 43 anos, anterior a 1976 (Fonte: Bettencourt, 1984).

Decis	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Min	0	0	1	1	0	0	1	3	5	0	0	0
D1	1	7	14	27	8	7	14	10	9	7	0	0
D2	7	23	29	34	16	9	22	21	18	13	0	0
D3	12	28	42	54	28	18	34	27	21	17	0	2
D4	15	35	48	67	41	37	55	39	30	20	0	3
D5	22	46	53	80	56	56	85	44	35	25	6	6
D6	29	52	72	105	74	77	102	55	43	27	11	8
D7	45	69	108	120	135	110	110	63	58	40	16	10
D8	51	87	127	138	157	130	122	71	66	46	23	21
D9	91	119	160	197	190	164	153	106	86	57	40	20
Max	158	197	265	275	292	288	166	157	102	67	68	42

Os máximos secundários ocorrem no mês de Março (60% de probabilidade), nos anos considerados secos e normais.

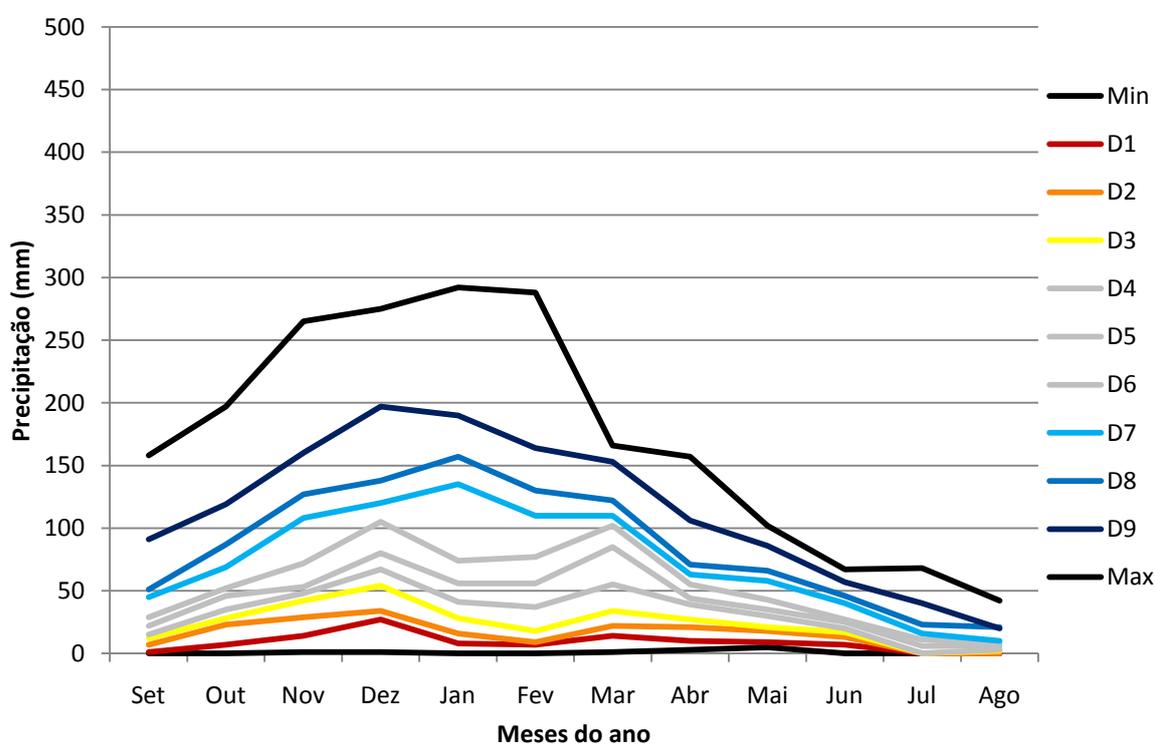


Gráfico 11 – Regime provável da estação meteorológica do Pinhão, para a série temporal de 43 anos, anterior a 1976 (Fonte: Bettencourt, 1984).

Régua (série temporal de 41 anos, anterior a 1976)

Esta estação meteorológica, durante a série analisada, apresentou um regime mensal de precipitação, comparativamente ao Pinhão, muito mais irregular. Contudo, os quantitativos mensais são igualmente reduzidos, inclusive nos meses considerados mais chuvosos, não indo além dos 400 mm (quadro 8). Assim, verificou-se uma probabilidade de 60% das chuvas mais abundantes do ano ocorrerem no mês de Dezembro (sobretudo em anos secos e normais). Apenas existe uma probabilidade de 20% de ocorrerem noutro mês, nomeadamente Janeiro, nos anos muito chuvosos (gráfico 12).

Apenas se verificaram máximos secundários em Abril (10% de probabilidade), em anos muito secos, e principalmente em Março (50% de probabilidade), em anos secos e normais.

Quadro 8 – Decis e valores extremos absolutos correspondentes à estação meteorológica da Régua, para a série temporal de 41 anos, anterior a 1976 (Fonte: Bettencourt, 1984).

Decis	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Min	0	0	0	5	1	5	0	0	5	0	0	0
D1	2	15	18	38	12	11	15	20	14	5	0	0
D2	13	35	43	55	31	16	34	26	25	9	0	0
D3	18	42	59	64	49	26	44	28	30	11	0	2
D4	24	50	64	98	60	38	77	43	39	18	1	6
D5	34	54	73	110	84	58	106	52	44	22	3	10
D6	40	60	106	129	103	63	132	63	50	26	6	12
D7	44	70	118	158	139	135	144	82	72	35	14	14
D8	58	95	162	192	215	194	181	92	77	46	23	18
D9	81	115	223	268	271	219	204	104	87	54	24	24
Max	158	254	406	338	327	376	253	215	110	81	61	58

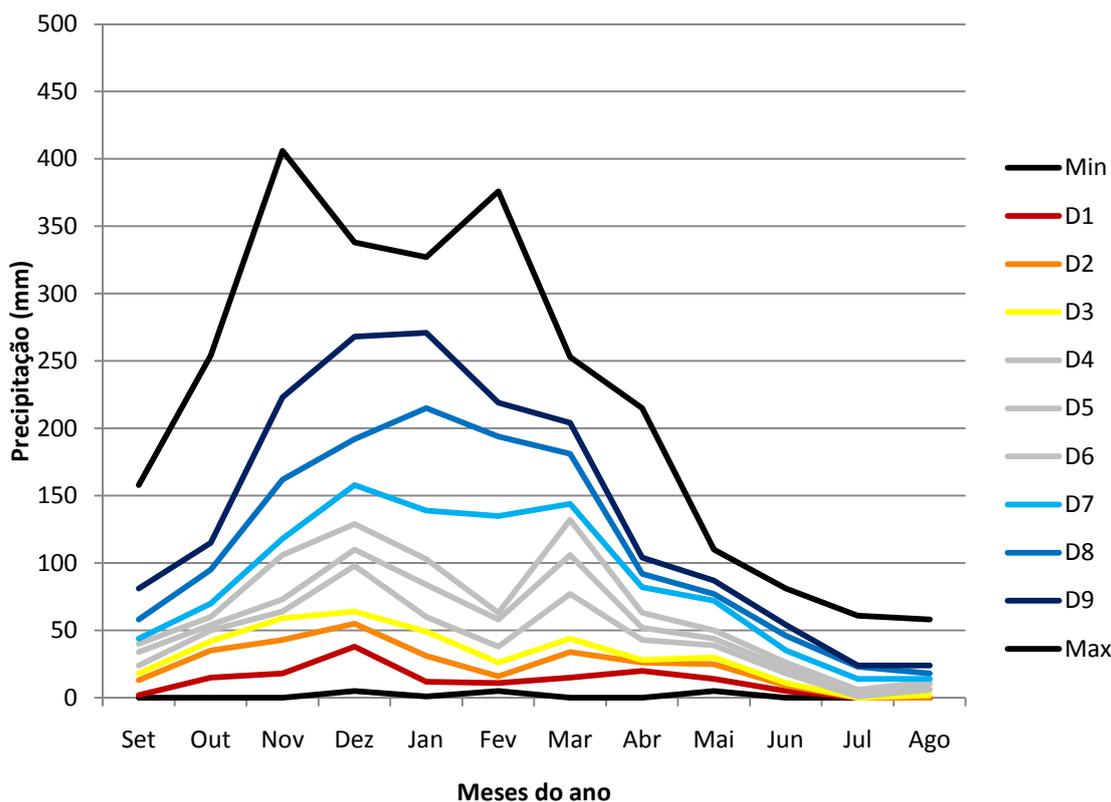


Gráfico 12 – Regime provável da estação meteorológica da Régua, para a série temporal de 41 anos, anterior a 1976 (Fonte: Bettencourt, 1984).

Pinhão (1976 a 2009)

Analisando agora o regime provável da precipitação para a estação meteorológica do Pinhão nas últimas décadas, nota-se que o máximo principal continua a ser em Dezembro. Este mês tem, assim, 70% de hipóteses de ser o mais chuvoso em anos normais e muito chuvosos. Contudo, os máximos secundários passaram a verificar-se em Outubro e Abril. Esta mudança é muito explícita, pois o mês de Abril apresenta 80% de probabilidade de ser o pico secundário, quer em anos secos, normais ou muito chuvosos; este facto deve-se à drástica redução dos valores de precipitação do mês de Março (quadro 9 e gráfico 13). Outubro tem 40% de probabilidade de ser, também, um pico secundário, principalmente em anos muito chuvosos. Relativamente à série temporal anterior, verifica-se também um aumento muito significativo dos totais mensais de Outubro (quadro 7 e 9). Maio surge ainda com 10% de probabilidade de ser um máximo secundário, em anos muito chuvosos.

Quadro 9 – Decis e valores extremos absolutos correspondentes à estação meteorológica do Pinhão, para a série de 1976 a 2009.

	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Min	1	2	0	4	0	2	0	12	2	0	0	0
D1	3	19	14	12	7	8	3	20	8	0	0	0
D2	11	26	30	30	25	16	9	29	14	2	2	1
D3	14	33	40	46	38	36	18	33	22	8	3	2
D4	20	48	53	61	52	44	23	36	31	14	4	3
D5	29	68	71	80	68	52	28	43	40	16	6	10
D6	37	85	82	93	80	63	32	49	46	28	9	12
D7	41	95	92	137	98	80	43	60	58	37	12	17
D8	52	130	129	171	111	97	55	69	70	44	24	21
D9	72	164	160	211	153	145	77	122	87	59	27	40
Max	131	183	233	464	401	212	348	180	151	122	37	78

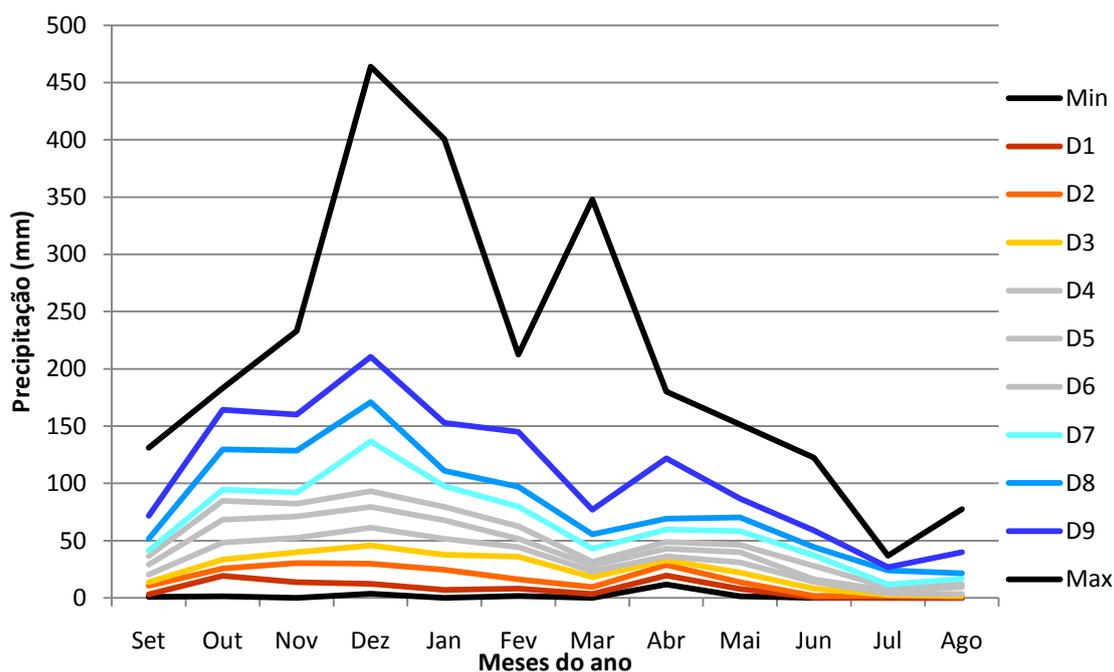


Gráfico 13 – Regime provável de precipitação correspondentes à estação meteorológica do Pinhão, para a série de 1976 a 2009.

Régua (1976 a 2009)

Na Régua, as diferenças face à série anterior a 1976, são mais notórias. O máximo principal continua a ser Dezembro, apresentando agora mais de 90% de probabilidade de ser o mês mais chuvoso, independentemente do ano ser seco, normal ou chuvoso (quadro 10 e gráfico 14).

Quadro 10 – Decis e valores extremos absolutos correspondentes à estação meteorológica da Régua, para a série de 1976 a 2009.

	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Min	1	9	0	6	1	7	0	13	0	1	0	0
D1	4	31	25	32	15	17	4	23	9	2	0	0
D2	8	45	48	55	31	27	10	32	18	4	1	0
D3	17	51	55	80	47	37	25	43	30	8	5	2
D4	20	79	71	99	79	62	33	51	37	11	9	3
D5	28	93	94	115	112	80	40	66	42	24	10	9
D6	39	116	125	165	117	80	54	75	50	31	14	13
D7	55	135	142	194	134	118	66	89	64	33	16	21
D8	66	161	154	230	156	134	86	96	86	40	19	33
D9	83	199	203	297	198	204	97	164	97	58	31	46
Max	135	251	331	417	321	321	327	247	129	136	42	71

Além disso, os quantitativos mensais de Dezembro nos anos mais chuvosos (D6 a D9) aumentaram significativamente em relação ao período anterior a 1976. Os máximos secundários passam a ser, tal como no Pinhão, em meses das estações intermédias, como Outubro e Abril. Outubro apresenta 30% de hipóteses de ser o pico secundário, enquanto Abril tem mais de 90% de probabilidades de ser o segundo mês mais chuvoso. Também aqui, apesar dos quantitativos de precipitação do mês de Abril não serem superiores aos da série anterior a 1976, nota-se um declínio muito acentuado das chuvas no mês de Março, o que faz sobressair os valores de precipitação do mês seguinte. Por sua vez, os quantitativos mensais em Outubro são significativamente superiores aos observados na série anterior.

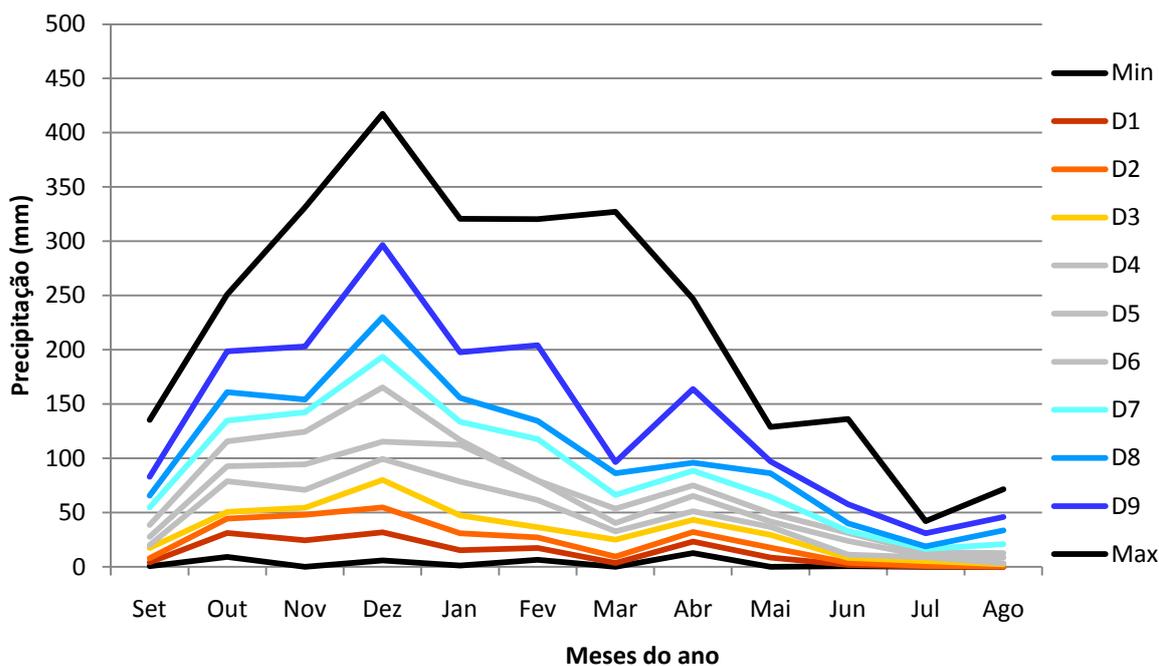


Gráfico 14 – Regime provável de precipitação correspondente à estação meteorológica da Régua, para a série de 1976 a 2009.

5.1.2.2. Calendário de precipitação

Pinhão (1976 a 2009)

No Pinhão verificou-se, até meados da década de oitenta, uma concentração das maiores precipitações nos meses de Novembro a Março. A partir dessa data, pode notar-se uma evidente dispersão intranual dos meses mais chuvosos, que ocorreram já fora da época invernal, correspondendo a meses como Setembro, Outubro, Abril e Maio, mesmo em anos hidrológicos considerados chuvosos e muito chuvosos (entre 1995/96 a 2002/03) no contexto da série de 1976 a 2009. Em contrapartida, os meses mais secos deixam de ser exclusivos das épocas primaveril e estival, e distribuem-se ao longo do Inverno, em meses como Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, que passou a registar um défice pluviométrico significativo.

Em termos sequenciais, podem distinguir-se anos consecutivos com um comportamento hidrológico semelhante, nomeadamente: 1976/77 a 1978/79, como um período muito chuvoso; 1979/80 a 1994/95, como um período de maior irregularidade, mas em que predomina o carácter seco dos anos considerados;

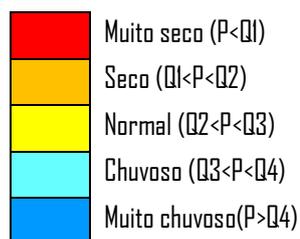
1995/96 a 2002/03, como um período predominantemente chuvoso; 2003/04 a 2008/09, como o período de maior seca da série. Desta forma, embora na última década se tenha observado uma sequência relevante de anos muito secos e secos, os valores totais de cada ano hidrológico revelam uma grande irregularidade interanual.

Régua (1976 a 2009)

A análise do calendário anterior, referente à estação do Pinhão, aplica-se, em grande parte, à estação da Régua. A dispersão das chuvas mais abundantes, da época invernal para as estações intermédias, verifica-se mais cedo, a partir do início da década de oitenta. Após essa data, as precipitações mais abundantes passaram a ocorrer em meses como Setembro, Outubro, Abril e Maio, enquanto os meses secos e muito secos passaram a concentrar-se nos meses de Novembro a Março, principalmente a partir do final da década de 90.

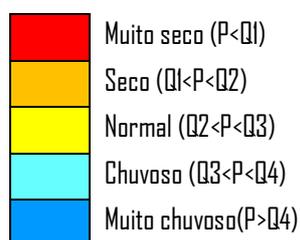
Em termos sequenciais, distinguiram-se os seguintes anos consecutivos com um comportamento hidrológico semelhante: 1976/77 a 1987/88, como um período essencialmente chuvoso; 1988/89 a 1992/93, como um período de anos muito secos; 1994/95 a 2002/03, como um período de grande irregularidade interanual; 2003/04 a 2008/09, como um período seco. Desta forma, na Régua os valores totais anuais são extremamente irregulares e não manifestam tendências relevantes ao longo da série analisada.

Ano	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Total anual
1976/77	Chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Seco	Normal	Muito chuvoso	Seco	Chuvoso	Muito chuvoso
1977/78	Seco	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Seco	Muito seco	Muito chuvoso
1978/79	Muito seco	Seco	Muito seco	Muito chuvoso	Chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Seco	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Muito chuvoso
1979/80	Normal	Muito chuvoso	Seco	Muito seco	Muito seco	Normal	Muito chuvoso	Muito seco	Muito chuvoso	Seco	Normal	Muito seco	Muito seco
1980/81	Seco	Muito seco	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Seco	Chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito seco
1981/82	Chuvoso	Seco	Muito seco	Muito chuvoso	Seco	Seco	Muito seco	Normal	Normal	Muito seco	Muito seco	Chuvoso	Seco
1982/83	Muito chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Seco	Muito seco	Chuvoso	Muito seco	Muito chuvoso	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Normal	Normal
1983/84	Muito seco	Muito seco	Muito chuvoso	Chuvoso	Normal	Muito seco	Muito chuvoso	Normal	Chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Normal	Normal
1984/85	Seco	Chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Seco	Muito seco	Chuvoso
1985/86	Muito seco	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Muito chuvoso	Seco	Chuvoso	Muito seco	Seco	Muito seco	Seco	Normal
1986/87	Chuvoso	Muito seco	Normal	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Normal	Muito seco	Seco	Muito chuvoso	Chuvoso	Seco
1987/88	Normal	Muito chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Normal	Normal	Muito seco	Chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Normal
1988/89	Muito seco	Normal	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Seco	Normal	Seco	Muito chuvoso	Seco	Normal	Muito seco
1989/90	Seco	Normal	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Seco	Muito seco	Normal	Seco	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Chuvoso	Chuvoso
1990/91	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Muito seco	Seco	Chuvoso	Muito chuvoso	Seco	Muito seco	Seco	Muito seco	Muito seco	Normal
1991/92	Normal	Seco	Chuvoso	Seco	Seco	Muito seco	Normal	Chuvoso	Normal	Normal	Muito seco	Muito seco	Muito seco
1992/93	Muito seco	Chuvoso	Seco	Normal	Seco	Muito seco	Seco	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Seco	Seco
1993/94	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Muito chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Muito chuvoso	Muito seco	Muito seco	Normal	Chuvoso
1994/95	Muito seco	Seco	Normal	Seco	Normal	Normal	Seco	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Muito chuvoso	Seco	Seco
1995/96	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Muito chuvoso	Seco	Muito seco	Muito seco	Chuvoso
1996/97	Muito chuvoso	Normal	Normal	Chuvoso	Muito chuvoso	Muito seco	Muito seco	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Chuvoso
1997/78	Normal	Normal	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Normal	Normal	Muito chuvoso	Normal	Chuvoso	Muito chuvoso	Muito seco	Muito chuvoso
1998/99	Muito chuvoso	Muito seco	Seco	Seco	Seco	Muito seco	Seco	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Muito chuvoso	Normal
1999/00	Muito chuvoso	Normal	Muito seco	Normal	Muito seco	Muito seco	Seco	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Muito seco	Muito chuvoso	Muito seco	Chuvoso
2000/01	Normal	Normal	Muito chuvoso	Seco	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Normal	Muito chuvoso				
2001/02	Muito seco	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Normal	Seco	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Seco	Normal	Chuvoso	Muito seco
2002/03	Muito chuvoso	Chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Normal	Normal	Chuvoso	Muito chuvoso
2003/04	Muito seco	Muito chuvoso	Normal	Seco	Seco	Muito seco	Chuvoso	Muito seco	Seco	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Muito seco
2004/05	Muito seco	Muito chuvoso	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Seco	Normal	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Muito seco
2005/06	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Normal	Seco	Seco	Muito seco
2006/07	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Muito chuvoso	Normal	Muito seco	Muito chuvoso	Normal	Seco	Seco	Muito chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso
2007/08	Seco	Seco	Seco	Muito seco	Chuvoso	Seco	Seco	Muito chuvoso	Normal	Normal	Muito seco	Seco	Seco
2008/09	Chuvoso	Muito seco	Seco	Normal	Muito chuvoso	Normal	Muito seco	Seco	Normal	Chuvoso	Normal	Normal	Normal



Quadro 11 – Calendário da precipitação na estação do Pinhão, entre 1976 e 2009, segundo o ano hidrológico.

Ano	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Total anual
1976/77	Chuvoso	Muito chuvosa	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso
1977/78	Seco	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Muito seco
1978/79	Seco	Muito seco	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Muito seco	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso
1979/80	Muito seco	Chuvoso	Normal	Seco	Seco	Normal	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Normal	Normal	Seco	Normal
1980/81	Seco	Seco	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Seco	Seco	Muito seco
1981/82	Chuvoso	Normal	Muito seco	Chuvoso	Seco	Normal	Muito seco	Muito seco	Seco	Seco	Muito seco	Chuvoso	Seco
1982/83	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Normal	Muito seco	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso
1983/84	Muito seco	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Muito seco	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso
1984/85	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Muito seco	Chuvoso
1985/86	Muito seco	Muito seco	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Muito seco	Seco	Muito seco	Normal	Normal
1986/87	Chuvoso	Seco	Seco	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Muito seco	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Seco
1987/88	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Normal	Chuvoso	Normal	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso
1988/89	Muito seco	Normal	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Muito seco
1989/90	Muito seco	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Seco	Muito seco	Normal	Muito seco	Seco	Seco	Chuvoso	Normal
1990/91	Normal	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Normal	Chuvoso	Seco	Muito seco
1991/92	Chuvoso	Muito seco	Normal	Muito seco	Seco	Muito seco	Chuvoso	Normal	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco
1992/93	Normal	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Muito seco	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Seco	Seco	Normal
1993/94	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso
1994/95	Normal	Normal	Normal	Seco	Normal	Chuvoso	Normal	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Muito seco	Normal
1995/96	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Muito seco	Seco	Seco	Chuvoso
1996/97	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Normal
1997/98	Seco	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Normal	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso
1998/99	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Seco	Seco	Muito seco	Chuvoso	Normal	Normal	Muito seco	Normal	Chuvoso	Muito seco
1999/00	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Normal	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Normal	Normal
2000/01	Normal	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
2001/02	Seco	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Muito seco	Seco	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco
2002/03	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Normal	Muito seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Chuvoso
2003/04	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Muito seco	Muito seco	Normal	Seco	Seco	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Seco
2004/05	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Muito seco	Chuvoso	Seco	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Muito seco
2005/06	Normal	Normal	Seco	Normal	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Seco
2006/07	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso
2007/08	Normal	Muito seco	Seco	Muito seco	Normal	Seco	Seco	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Muito seco	Normal	Seco
2008/09	Normal	Muito seco	Seco	Normal	Chuvoso	Normal	Seco	Normal	Muito seco	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Seco



Quadro 12 – Calendário da precipitação na estação da Régua, entre 1976 e 2009, segundo o ano hidrológico.

5.2. Potencial climático da Região Demarcada do Douro entre 1976 e 2009

5.2.1. Índice de Seca

Pinhão

Ao longo da série temporal analisada, a perda potencial de água da reserva hídrica do solo é sempre significativa, no final do ciclo vegetativo, ou seja, assiste-se sempre a uma situação de défice hídrico em Setembro. Desta maneira, os resultados apontam para o predomínio do clima vitícola de seca moderada (IS_1), tal como se observa no gráfico 15. Destaca-se, ainda, o período entre 1999 e 2005, em que o défice hídrico foi particularmente acentuado (IS_2), sem, no entanto, isto se revelar como uma tendência para o seu agravamento nos últimos anos, já que a partir de 2005 os valores de IS tornaram a ser semelhantes aos da restante série.

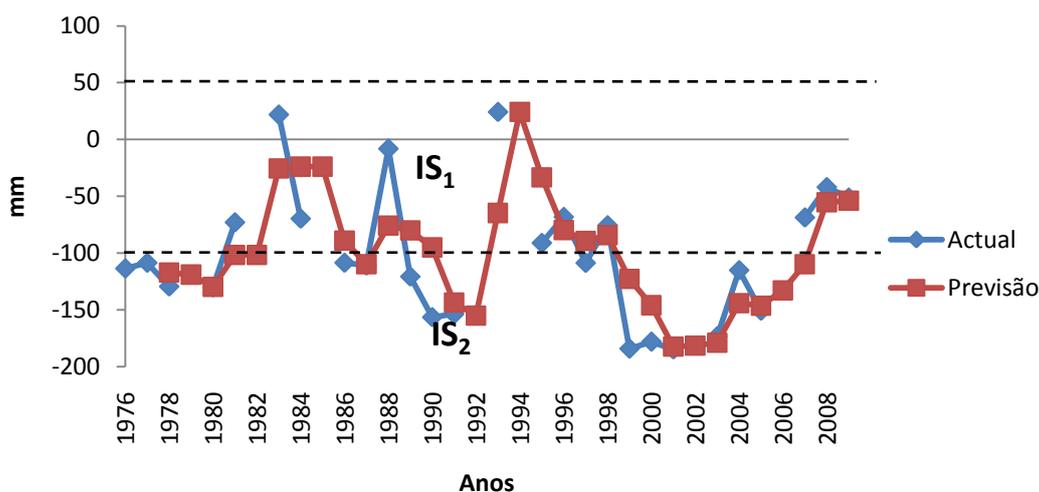


Gráfico 15 – Médias Móveis (previsão) do Índice de Seca (IS), desde 1976 a 2009, na estação meteorológica do Pinhão.

Réguas

Também nesta estação não se verifica nenhuma tendência clara para o agravamento do défice hídrico ao longo da série analisada (gráfico 16). Pelo contrário, nota-se uma elevada variabilidade interanual nos valores de IS, sendo que prevalece o clima vitícola de seca moderada (IS_1).

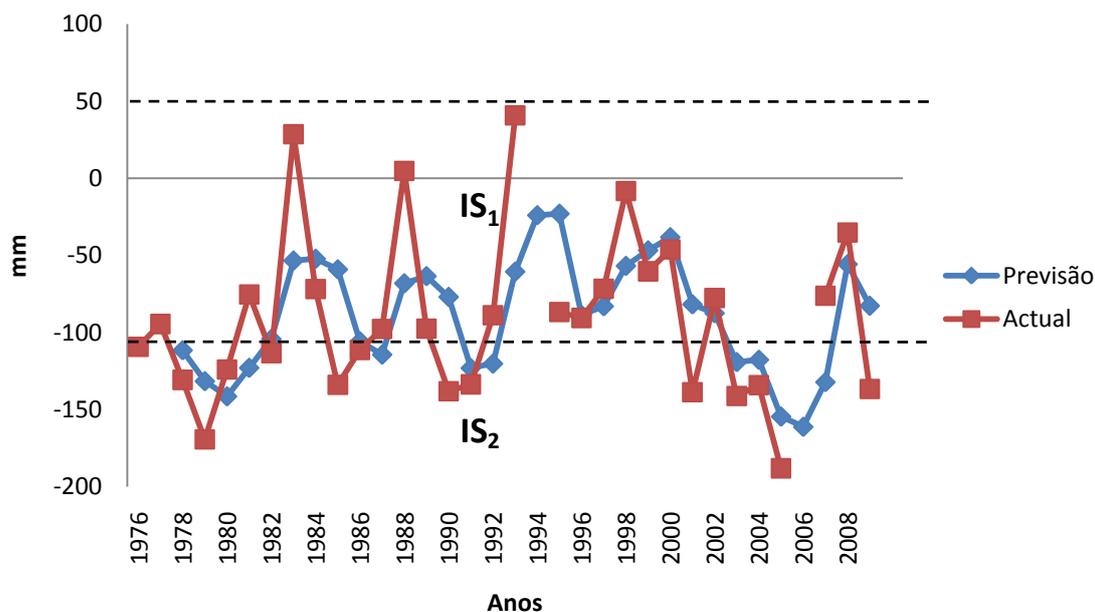


Gráfico 16 – Médias Móveis (previsão) do Índice de Seca (IS), desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.

5.2.2. Índice Heliotérmico

Pinhão

Os valores do Índice Heliotérmico (IH), obtidos para o período de 1976 a 2009, manifestam uma tendência significativa ($R^2=0,590$) para o aumento do calor acumulado ao longo do ciclo vegetativo, sendo que em 1976 era de 2411,5 GD e em 2009 já era de 3002,7 GD (gráfico 17). Desta maneira, passou-se progressivamente de um clima vitícola quente (classe IH₅), no início da série, para um clima vitícola muito quente (classe vitícola IH₆), nos últimos anos analisados.

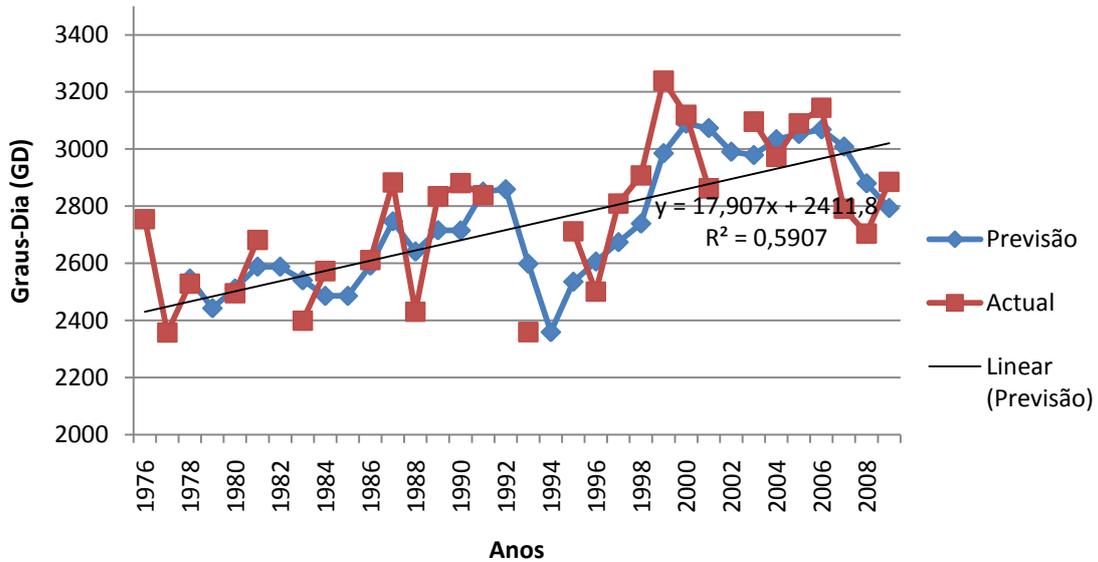


Gráfico 17 – Médias Móveis (previsão) e regressão linear do Índice Heliotérmico (IH), desde 1976 a 2009, na estação meteorológica do Pinhão.

Régua

Os valores de IH, ao longo da série, encontram-se na classe IH₅, de clima vitícola quente (gráfico 18). Contudo, assistiu-se a uma variação significativa ($R^2=0,544$), entre 2502,1 GD (limite inferior da classe) e 2837,5 GD (limite superior da classe), ou seja, na ordem dos 335,445 GD, de 1976 a 2009, aproximando-se estes valores dos que caracterizam o clima vitícola muito quente (IH₆).

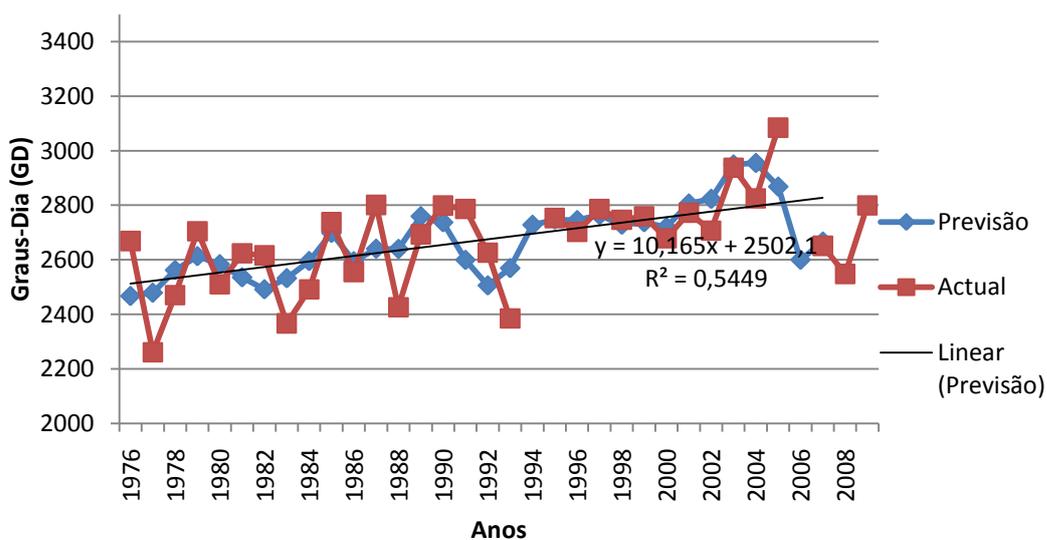


Gráfico 18 – Médias Móveis (previsão) e regressão linear do Índice Heliotérmico (IH), desde 1976 a 2009, na estação meteorológica da Régua.

5.2.3. Índice de Frio Nocturno

Pinhão

Tal como foi referido anteriormente, as temperaturas de Setembro não variaram de forma estatisticamente significativa entre 1976 e 2009 (ver gráfico 8). Porém, a partir de 1981, o clima vitícola, nesta estação, passou de noites frias (IF₃), para noites temperadas (IF₂). Ao mesmo tempo, desde 1999 as temperaturas mínimas médias já ultrapassavam os 15°C.

Régua

Entre 1976 e 1981, o clima vitícola caracterizou-se por noites frias (IF₃). No entanto, o aumento da temperatura mínima média, ao longo da série – apesar de ser pouco significativo (ver gráfico 10) – foi de 2,2°C, ou seja, de 0,068°C por ano; assim, a partir de 1981, predominam as condições de noites temperadas (IF₂), sendo que desde 1996 a temperatura mínima média passou a ser superior a 15°C.

5.3. Exigência térmica e precocidade de estados fenológicos da casta Moscatel Galego entre 1976 e 2009

Assumindo como referência o estudo de Van Leeuwen *et al* (2008), a casta Moscatel Galego precisa de apenas 42 GD (desde 1 de Janeiro) para atingir o abrolhamento, de 367 GD para florir, e somente 992 GD para pintar. Assim sendo, a análise dos quadros 13 e 14, permite distinguir dois períodos, relativamente à evolução do ciclo fenológico da casta Moscatel Galego. Até 1997, o abrolhamento dava-se ora no mês de Março, ora no início do mês de Abril. Contudo, a partir de meados da década de 90, o mês do abrolhamento passou a ocorrer apenas em Março e, em alguns anos, já em Fevereiro. Uma antecipação mais notória deu-se em relação às fases da floração e do pintor. Até 1997, a floração acontecia em Maio e início de Junho; depois dessa data, a floração passou a acontecer durante ou no início de Maio. A fase do pintor, até 1997, acontecia essencialmente em Julho, passando a ocorrer entre Junho e Julho.

Quadro 13 – Somatório cumulativo de graus-dia (GD), calculados para a temperatura-base de 10°C, a partir de 1 de Janeiro até 31 de Outubro, para a casta Moscatel Galego, no Pinhão.

	Jan/Fev	Jan/Mar	Jan/Abr	Jan/Mai	Jan/Jun	Jan/Jul	Jan/Ago	Jan/Set	Jan/Out
1976	0	40,3	139,3	415,2	850,2	1302,8	1733,7	2024,7	2158
1977	8,4	67,3	196,3	373	613	985	1338,4	1710,4	1911,9
1978	22,4	78,2	147,2	327	606	1030,7	1489,5	1882,5	1882,5
1979	0	0	78	273,3	621,3	621,3	1042,9	1375,9	1530,9
1980	0	34,1	145,1	315,6	615,6	1000	1440,2	1812,2	2010,6
1981	0	99,2	201,2	384,1	786,1	1257,3	1750,2	2113,2	2317,8
1982									
1983	0	111,6	177,6	314	695	1088,7	1485,5	1872,5	2080,2
1984	0	0	219	343	679	1134,7	1562,5	1898,5	2096,9
1985	0	15,5	162,5	351,6	687,6	1165	1165	1603	1851
1986	0	52,7	79,7	340,1	706,1	1217,6	1614,4	1974,4	2222,4
1987	0	102,3	267,3	533,9	890,9	1374,5	1861,2	2281,2	2442,4
1988	3,1	71,3	170,3	365,6	665,6	1059,3	1477,8	1846,8	2060,7
1989	0	96,1	159,1	472,2	847,2	1392,8	1879,5	2230,5	2487,8
1990	70	184,7	283,7	568,9	940,9	1452,4	1954,6	2353,6	2542,7
1991	0	52,7	157,7	430,5	793,5	1267,8	1785,5	2157,5	2293,9
1992									
1993	0	34,1	124,1	291,5	627,5	1070,8	1517,2	1748,2	1844,3
1994									
1995	0	74,4	251,4	533,5	914,5	1354,7	1832,1	2102,1	2390,4
1996	0	31	178	357,8	726,8	1188,7	1594,8	1879,8	2072
1997	28	226,4	457,4	696,1	981,1	1424,4	1886,3	2291,3	2567,2
1998	57,8	240,7	360,7	630,4	993,4	1458,4	2004	2391	2611,1
1999	0	65,1	242,1	533,5	920,5	1490,9	2024,1	2405,1	2721,3
2000	50,4	177,5	327,5	615,8	1059,8	1580,6	2054,9	2420,9	2653,4
2001	25,2	130,6	271,6	501	963	1397	1852,7	2191,7	2396,3
2002									
2003	0	124	307	598,4	1051,4	1507,1	2055,8	2496,8	2633,2
2004	0	77,5	269,5	557,8	1076,8	1613,1	2062,6	2479,6	2693,5
2005	0	71,3	236,3	515,3	1016,3	1546,4	2116,8	2524,8	2785,2
2006	0	83,7	290,7	653,4	1112,4	1670,4	2203,6	2608,6	2865,9
2007	14	113,2	317,2	605,5	962,5	1424,4	1914,2	2301,2	2518,2
2008	33,6	120,4	297,4	529,9	928,9	1406,3	1883,7	2225,7	2445,8
2009	0	142,6	262,6	560,2	965,2	1389,9	1901,4	2315,4	2315,4

Abrolhamento	Floração	Pintor
42 GD	367 GD	992 GD

Quadro 14 – Meses do abrolhamento, floração e pintor com base no somatório cumulativo em graus-dia (GD), para a casta Moscatel Galego, no Pinhão.

	Abrolhamento	Floração	Pintor
	42	367	992
1976	Abril (início)	Maio	Julho
1977	Março	Maio	Agosto (início)
1978	Março	Junho (início)	Julho (final)
1979	Abril	Junho	Agosto
1980	Abril (início)	Junho (início)	Julho (final)
1981	Março	Maio	Julho
1982			
1983	Março	Junho	Julho
1984	Abril	Junho (início)	Julho
1985	Abril	Junho (início)	Julho
1986	Março	Junho (início)	Julho
1987	Março	Maio	Julho
1988	Março	Junho (início)	Julho
1989	Março	Maio	Julho
1990	Fevereiro	Maio	Julho (início)
1991	Março	Maio	Julho
1992			
1993	Abril (início)	Junho	Julho (final)
1994			
1995	Março	Maio	Julho
1996	Abril (início)	Junho (início)	Julho
1997	Março	Abril	Julho (início)
1998	Fevereiro	Maio (início)	Junho (final)
1999	Março	Maio	Julho (início)
2000	Fevereiro	Maio (início)	Junho
2001	Março	Maio	Julho (início)
2002			
2003	Março	Maio	Junho
2004	Março	Maio	Junho
2005	Março	Maio	Junho
2006	Março	Maio	Junho
2007	Março	Maio (início)	Julho (início)
2008	Março (início)	Maio	Julho
2009	Março	Maio	Julho (início)

6. Discussão e conclusões

Os resultados empíricos do presente estudo sugerem que, na Região Demarcada do Douro, se assistiu a uma evolução significativa do comportamento dos elementos climáticos analisados – ou seja, temperatura média, mínima média e máxima média mensal, bem como precipitação total mensal e anual –, ao longo da série temporal de 1976 a 2009. É, portanto, expectável que o ciclo vegetativo da videira, em geral, e do Moscatel Galego, em particular, tenha sofrido alterações correlativas, com as consequências que daí podem advir sobre a quantidade e qualidade da produção vitivinícola nesta Região.

6.1. Discussão dos resultados

Considerando a evolução das temperaturas do ar durante o período do ano correspondente ao desenvolvimento fenológico da videira (Abril a Setembro, em termos gerais), registou-se uma tendência significativa para o aumento das temperaturas médias, tanto na Régua (cerca de 2,3°C) como no Pinhão (3,4°C). As temperaturas máximas médias não parecem ter aumentado de forma significativa; no entanto, os resultados relativos à variação temporal das temperaturas mínimas médias demonstram um aumento muito significativo na Régua (cerca de 3°C). Por sua vez, a

tendência positiva manifestada pelos valores do Índice Heliotérmico sugerem uma transição do clima vitícola quente (IH₅), no início da série estudada, para o clima vitícola muito quente (IH₆), no final da mesma, situação que é mais expressiva no Pinhão. Perante estes factos, poderá conjecturar-se que as exigências térmicas da videira têm vindo a ser supridas cada vez mais cedo, com a conseqüente antecipação das várias fases fenológicas do seu ciclo activo.

Confrontando os resultados anteriores com os observados para os meses coincidentes com o início do abrolhamento, é interessante notar que, tanto na Régua como no Pinhão, não se verifica uma tendência positiva significativa das temperaturas do ar durante o mês de Março, mas, pelo contrário, em Abril as temperaturas médias aumentaram significativamente desde 1976 a 2009. Na Régua, esta tendência parece estar particularmente associada ao aumento das temperaturas mínimas – que passam de valores médios abaixo do zero vegetativo, no início da série, para valores >10°C a partir do final da década de noventa. Já no Pinhão, são as temperaturas máximas médias que aumentam significativamente, o mesmo não se passando com as mínimas médias (que, no entanto, são sempre superiores a 10°C). Desta forma, parece plausível concluir que – apesar de manter o seu início em Março –, o abrolhamento tem vindo a ocorrer mais rapidamente, antecipando, por conseqüência, o estágio da floração. Ora, os cálculos relativos às exigências térmicas da casta Moscatel Galego, corroboram esta hipótese. De facto, a acumulação de graus-dia necessários ao abrolhamento atingiu-se maioritariamente em Março, ao longo da série de 1976 a 2009. No entanto, a floração experimentou maiores variações temporais, deixando de ocorrer essencialmente no início de Junho para acontecer no mês de Maio, tendência verificada mais consistentemente a partir de meados da década de noventa. Ao mesmo tempo, também a fase do pintor se tornou mais precoce, tendo-se verificado a sua antecipação do mês de Julho para Junho, desde 1997.

Com a menor duração térmica do abrolhamento, surge a possibilidade dos rebentos e primeiros órgãos verdes do Moscatel Galego passarem a estar mais expostos ao risco da ocorrência de geadas, já que no Pinhão o aumento significativo das temperaturas máximas médias não foi acompanhado pelo das temperaturas mínimas médias, que nunca excederam os 10°C.

Relativamente aos meses da maturação, os resultados apontam para um aumento significativo das temperaturas mínimas médias em Agosto, que passam de 15°C, no início da série, para valores próximos dos 20°C, no final da mesma, em ambas as estações meteorológicas. Quanto ao mês de Setembro, não parece estar-lhe associada nenhuma tendência positiva significativa das temperaturas mínimas médias; porém, os resultados do Índice de Frio Nocturno, apontam para a transição de um clima vitícola de noites frias (IF₃), no início da série, para um clima vitícola de noites temperadas (IF₂), a partir do início da década de oitenta. Mesmo assim, estes resultados sugerem que em Agosto o processo de amadurecimento será contínuo, ao prolongar-se durante a noite, antecipando por isso a maturação e, conseqüentemente, o término do ciclo vegetativo. Apesar de não se terem as datas exactas das vindimas para os anos anteriores a 2002, é de conhecimento pessoal que estas aconteciam, em Favaios, nos finais de Setembro ou meados de Outubro. Todavia, as datas efectivas das vindimas em Favaios, nos últimos anos, indicam que estas começaram já na primeira quinzena de Setembro, sendo que em 2009 se iniciaram mesmo no final de Agosto.

2002 - 12 Setembro	2006 - 5 Setembro
2003 - 10 Setembro	2007 - 10 Setembro
2004 - 9 Setembro	2008 - 17 Setembro
2005 - 6 Setembro	2009 - 27 Agosto

Fonte: Adega Cooperativa de Favaios (dados fornecidos à autora em 2010)

A partir da análise comparativa do regime provável de precipitação das duas séries longas estudadas, foi possível identificar alterações importantes nos quantitativos e na distribuição sazonal da precipitação, ao longo do intervalo de tempo considerado (cerca de 1930 até 2009). Assim, tanto na estação da Régua como na do Pinhão, a mudança essencial, e mais significativa para o contexto vitícola, é a que se verifica em relação aos máximos secundários de precipitação. De facto, estes deixam de se concentrar no Inverno – em Janeiro e Março (neste último mês com uma probabilidade superior a 50%, nos anos considerados secos e normais), na série anterior a 1976 –, para passarem a ocorrer nos meses correspondentes às estações intermédias – em Outubro e, sobretudo, em Abril (com uma probabilidade superior a 80%), na série de 1976 a 2009. Porém, esta alteração na distribuição temporal da precipitação foi acompanhada por aumento significativo dos quantitativos totais no

mês de Outubro, enquanto em Abril não se verificou qualquer variação significativa dos mesmos, comparativamente à série anterior a 1976. Desta maneira, Abril só surge destacado como máximo secundário pelo facto de se ter assistido a um muito acentuado declínio das chuvas durante o mês de Março, tanto na Régua como no Pinhão.

O calendário da precipitação, construído para a série de 1976 a 2009, confirma a redução acentuada da precipitação durante os meses de Inverno (Janeiro a Março) e a ocorrência dos meses mais chuvosos no Outono e Primavera, a partir do início da década de oitenta no Pinhão, e de meados desta mesma década na Régua. Apesar desta clara alteração no regime intranual das chuvas, não se verificou uma tendência evidente para um maior número de anos consecutivos, secos ou muito secos, no final da série estudada.

O pico secundário de precipitação no mês de Abril não deverá implicar o aumento considerável do risco de destruição do pólen, na fase da floração (nem do consequente fenómeno do desavinho), visto que não houve uma mudança significativa dos quantitativos totais neste mês. Importa salientar, todavia, o facto destas chuvas tardias sugerirem que o abrolhamento da videira tem vindo a acontecer com maiores carências hídricas e em solos mais ressequidos. Com efeito, após a ocorrência de chuvas abundantes no mês de Dezembro (em 70% dos anos para o Pinhão, e em 90% dos anos na Régua), seguem-se meses com um relativo défice pluviométrico, que impedem o solo de se reabastecer totalmente, durante a fase de dormência da videira. Assim, a haver um agravamento do défice hídrico do solo, este tem vindo a ocorrer nos meses de Inverno, e não propriamente na Primavera – nomeadamente, a partir de Abril – como, aliás, os resultados do Índice de Seca (calculado entre Abril e Setembro) demonstram. Na realidade, ao longo da série de 1976 a 2009, predominam os anos com seca moderada (IS_1), em ambas as estações meteorológicas, sem que se tenha manifestado uma tendência para passar para o clima vitícola com seca forte (IS_2).

O máximo secundário do mês de Outubro sucede-se a uma longa época estival, com características tipicamente mediterrâneas (ausência de precipitação, elevadas temperaturas do ar e forte evapotranspiração), que deixa os solos com um elevado défice hídrico. Ora, com estas chuvas outonais particularmente abundantes –

consistentemente superiores a 100mm a partir de 1999/2000, na Régua, e de 2003/2004 no Pinhão – o solo ressequido sofre sobretudo erosão pela escorrência superficial, uma vez que a respectiva capacidade de infiltração da água é reduzida. Esta situação é, portanto, propícia ao aceleração de processos de desertificação.

6.2. Conclusões

A evolução da temperatura do ar observada no presente estudo atesta a “tendência nítida para o aquecimento durante a década de oitenta, com aceleração nos anos de 1990” (Ferreira, 2005), registada no contexto do território continental. Outros estudos realizados para áreas vitícolas no Sul da Europa confirmam esta transição térmica, a partir de 1980 (Deloire, 2008). Por outro lado, da análise das tendências climáticas, em várias regiões vitícolas da Europa e da América do Norte, ressalta a evidência de que este aquecimento foi mais acentuado durante a Primavera e Verão (Jones, 2008), devendo-se especialmente ao aumento das temperaturas mínimas (Jones, 2005 *in* ADVID 2007; Jones, 2008). Isto mesmo parece ter sucedido na Régua e no Pinhão, em que não se regista uma tendência positiva significativa no mês de Março, embora em Abril as temperaturas médias tenham aumentado expressivamente entre 1976 e 2009.

A hipótese avançada de que as várias fases do ciclo fenológico da videira, na Região Demarcada do Douro – e em particular para a casta Moscatel Galego –, têm vindo a ocorrer precocemente sai reforçada por conclusões semelhantes a que chegaram vários autores citados por Deloire (2008), Jones (2008) e Van Leeuwen *et al* (2008). As principais variações dizem respeito às datas do pintor e da vindima, que ocorrem cada vez mais prematuramente, em consequência do aquecimento na fase de crescimento (Jones, 2008). Nomeadamente, Deloire (2008) refere que a época de colheita, em localidades situadas no Sul e Oeste de França, sofreu profundas alterações nas últimas décadas – nos anos de 1940 e 1950, a vindima ocorria no início de Outubro, sendo que na década de noventa se passou a fazer em meados ou princípios de Setembro.

No presente estudo, a antecipação da floração do Moscatel Galego para o mês de Maio, e do pintor para o mês de Junho, segue a tendência manifestada noutras áreas

vitícolas, em que se verificou também uma maior acumulação de calor (medida quer pelo Índice Heliotérmico, quer por outros índices), ao longo do ciclo vegetativo da videira (Jones, 2008). Nesta sequência, a maturação passa a completar-se no período mais quente do Verão. Segundo Jones *et al.* (2005) e Van Leeuwen *et al.* (2008), tal induz a uma concentração elevada de açúcares e à perda de acidez nos bagos de uva, devido à forte evapotranspiração, com consequências potencialmente negativas no que respeita a qualidade dos vinhos produzidos (com elevado teor alcoólico e aromas sobremaduros).

Em síntese, assume-se que as alterações climáticas, nas últimas décadas, estão já a influenciar o desenvolvimento normal da videira. Se este processo se continuar, e as tendências registadas se mantiverem, não só as condições climáticas se tornarão cada vez mais desfavoráveis para a videira e para a produção de uvas de qualidade, como também se assistirão a repercussões graves sobre a erosão e a capacidade produtiva dos solos, agravando o fenómeno da desertificação. Como refere Schultz, em 2007 (*in* ADVID, 2007), dependendo da casta, muitas áreas vitícolas poderão ter de se realocar para áreas geográficas com condições mais favoráveis.

Bibliografia

ADVID (2007), *Impacto das Alterações Climáticas na RDD: Proposta de Estudo*, ADVID, Régua.

AFONSO, J. (s.d.), “O ciclo da Videira”, <http://revistaadega.uol.com.br/Edicoes/6/artigo15902-1.asp>, pesquisado em Abril 2010.

AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE/EUROPEAN TOPIC CENTRE – LAND USE AND SPATIAL INFORMATION (2008), *Mapping sensitivity to desertification (DISMED): Final report, version 2*, Agência Europeia do Ambiente, Barcelona.

ANDRESEN, T. (s.d.), *A Paisagem do Alto Douro Vinhateiro: Evolução e Sustentabilidade*, Fac. Ciências da Universidade do Porto, <http://www.unizar.es/fnca/duero/docu/p315.pdf>, pesquisado em Abril de 2009.

BETTENCOURT, M. L. (1984), *O Clima de Portugal: Frequência de Ocorrência de Anos Secos e Chuvosos em Portugal*, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Fascículo XXX, Lisboa.

BLUME, R. (2008), *Explorando os Recursos Estratégicos do Terroir para a Viticultura Brasileira*, Programa de Pós-graduação em Agronegócios, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Porto Alegre.

BLUME, R., PEDROZO, E. Á. (2008), “A noção de *Terroir* e a sua influência na dinamização da cadeia produtiva dos vinhos finos”, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisa em Agronegócios, Porto Alegre.

BOHN, R. A. 2007, “Avaliação do Comportamento Climático para o Cultivo da Videira na Área Monitorada pelo Posto Agrometeorológico do Centro Federal de Educação Tecnológica de Bento Gonçalves/RS 1”, Tese de conclusão de curso, Centro Federal de Educação Tecnologia, Bento Gonçalves.

BONAN, G.B. (2002), *Ecological Climatology: Concepts and Applications*, Cambridge University Press, Cambridge.

BRANDÃO, A.; PINTO, P. (2006), “Alterações climáticas e a agricultura portuguesa. Impactos e medidas de adaptação”, *Ingenium*, 2ª Série, 92, pp.75-80.

CANZIANI, P., BARBERO, N., ROSSLER, C. (2006), “El clima y la viticultura en Patagonia: ayer, hoy y perspectivas”, Programa para el Estudio de los Procesos Atmosféricos en el Cambio Global, Boletín nº1.

CARAPETO, C. (2004), “Fundamentos da Ecologia”, Universidade Aberta, Lisboa.

CARBONNEAU, A. (1994), “Le zonage des potentialities viticoles à l'échelle de l'Union Européene”, *Progr. Agric. Vitic.*, 22, pp. 505-514.

CAREY, V. A., ARCHER, E., SAAYMAN, D. (s.d.), “Natural *Terroir* units: What are they? How can they help the wine farmer?”, www.wosa.co.za/download/natural_terroir.doc, pesquisado em Maio 2010.

CARVALHO, I. S. (2009), “Avaliação de stress oxidativo em bagos de videira (*Vitis Vinifera* L.) da casta ‘Trincadeira’ em condições de stress hídrico”, Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

CARVALHO, J. P. (1948), “Considerações geraes sobre a constituição geológica do Alto-Douro”, Porto.

COSTA, J. B. (2004), *Caracterização e Constituição do Solo*, Fundação Calouste Gulbenkian, 7ª edição, Lisboa.

DAVEAU, S. e Colaboradores, (1977), *Répartition et Rythme des Précipitations au Portugal*, Memórias do Centro de Estudos Geográficos, nº3, CEG, Lisboa.

DAVEAU, S. e Colaboradores, (1985), *Mapas Climáticos de Portugal: Nevoeiro e Nebulosidade; Contrastes Térmicos*, Memórias do Centro de Estudos Geográficos, nº7, CEG, Lisboa.

DELOIRE, A. (2008), “Climate trends in a specific mediterranean viticultural area between 1950 and 2006: climate and viticulture in the South of France”, *Knol*, <http://knol.google.com/k/alain-deloire/climate-trends-in-a-specific/2rmh6zvf1o8hc/12>, pesquisado em Maio de 2010.

DIAS, J. P. (2006), “Fases da maturação da uva”, Centésimo curso intensivo de Vinificação, Ministério da Agricultura, http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/geral/files/maturacao_uva.pdf, pesquisado em Maio de 2010.

ECHVERRIA, S. 2008, “Bioclimatologia”, Ecologia Funcional, <https://woc.uc.pt/botanica/getFile.do?tipo=2&id=2194>, pesquisado em Fevereiro 2010

FAO (2006), *Evapotranspiración del Cultivo: Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos*, <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>, pesquisado em Abril 2010.

FERREIRA, D. B. (2005), "O clima de Portugal estará a mudar?", in C. A. MEDEIROS & A. B. FERREIRA (eds), *Geografia de Portugal: O Ambiente Físico*, Circulo de Leitores, Rio de Mouro, pp. 371-385.

HARE, F.K.; WARREN, A.; MAIZELS, J.K.; KATES, R.W.; JOHNSON, D.L.; HARING, K.J.; GARDUÑO, M.A. (1992), *Desertificação: Causas e Consequências*, Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.

HERTIG, E.; JACOBET, J., (2007), "Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area", *Global and Planetary Change*, 63, pp. 127-131.

<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/download/estrutura%20da%20videira.doc>

DISforME – Desertification Indicators System for Mediterranean Europe, http://www.geog.leeds.ac.uk/people/m.kirkby/DIS4ME_1104/indicators_list.htm, pesquisado em 1 Abril de 2009

<http://www.wine-searcher.com/regions-muscat+de+frontignan> completar

Infovini – portal do vinho português,

<http://www.infovini.com/classic/pagina.php?codPagina=45&codCasta=18>, pesquisado a 12 de Novembro de 2009.

JONES, G. V. (2008), "Climate change: observations, projections, and general implications for viticulture and wine production", in P. RITSCHER & S. S. SEBEN (eds), *XII Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia*, Embrapa - Uva e Vinho, Bento Gonçalves, pp.55-66.

JONES, G. V.; WHITE, M. A.; COOPER, O. R.; STORCHMANN, K. (2005), "Climate change and global wine quality", *Climatic Change*, 73, pp. 319-343.

JONES, G. (2006), "Climate changes and wine: Observations, impacts and future implications" *Wine Industry Journal*, 21, (s.p.).

JUNIOR, M. J. P., BRUNINI, O., ALFONSI, R. R. ANGELOCCI, L. R. (1977), "Estimativa de Graus-Dia em função de altitude e latitude para o estado de São Paulo", *Bragantia*, pp. 89-92.

- JUNIOR, M. J. P., CAMARGO, M. B. P., MORAES, A. V. C., FELÍCIO, J. C., CASTRO, J. L. (2004), "Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de Triticale", *Bragantia*, pp. 447-453.
- LAVILLE, P. (1993), "Unités de terroir naturel et terroir. Une distinction nécessaire pour redonner plus de cohérence au système d'appellation d'origine", *Bull. O.I.V.*, 745-746, pp. 227-251.
- LLOPIS, G. Y., TONIETTO, J. (1997), *Denominações de Origem e Indicações Geográficas de Produtos Vitivinícolas*, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves.
- MACIEL, A., M. (2005), *A Pertinência dos Estudos de Microclimatologia para a Prevenção dos Riscos Climáticos num Vinhedo do Entre Douro e Minho*, Tese de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.
- MACIEL, A., MONTEIRO, A., QUÉNOL, H., BELTRANDO, G., (2007), "Extremos térmicos e vulnerabilidade num vinhedo entre Douro e Minho", *Finisterra*, pp. 23-45.
- MAGALHÃES, A. J., GUIMARAENS, D. F. (2009), "O exemplo do vinho do Porto na adaptação às mudanças climáticas", 1ª Conferência Ibérica de Viticultura e Enologia, Lisboa.
- ODUM, E. P. (1988), *Fundamentos de Ecologia*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- OLIVEIRA, M.T. (1987), *Economia da água na vinha: caso da vinha do Douro – Cima Corgo*. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- PEDROSA, A., PEREIRA, A. (2009), "A História dos territórios durienses inscrita na paisagem: um recurso produtivo, turístico e de geomarketing", *Turismo I e Jornadas Internacionais sobre o Ecoturismo e Turismo em Espaço Rural*, GEHVID, ISMAI, Maia, pp. 37-75.
- PEDROSA, A. S., MARTINS, M. R., PEDROSA, F. T. (2004), "Processos de erosão acelerada na Região Demarcada do Douro: um património em risco", *Douro-Estudos (Actas do 2º Encontro Internacional História da Vinha e do Vinho no Vale do Douro)*, Documentos 17, III, GEVIHD, Porto, pp. 207-232.
- PEREIRA, A., R., ZÊZERE, J., L., MORGADO, P., "Os recursos naturais em Portugal: inventariação e proposta de um modelo geográfico de avaliação", Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.

PEREIRA, J. M. M. (2000), "Caracterização fisiológica e agronômica de diferentes estratégias culturais para minimizar o *stress* estival em *vitis vinífera* L. na Região Demarcada do Douro", Tese de Doutorado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

POMMER, C. V., MENDES, L. S., HESPANHOL-VIANA, L., BRESSAN-SMITH, R. (2009), "Potencial climático para a produção de uvas em Campos dos Goytacazes, região norte fluminense", http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452009000400022&script=sci_arttext, pesquisado em Maio de 2010.

RAMOS, C. (1987), "A influência das situações anticiclónicas no regime da precipitação em Portugal", *Finisterra*, XXII (43), pp. 5-38.

RAMOS, R. (1986), *Água no solo*, ADVID, Régua.

RIBEIRO, D. P.; CORSATO, C. E.; LEMOS, J. P.; FILHO, J. A. (2009), "Desenvolvimento e exigência térmica da videira Nigara Rosada cultivada no norte de Minas Gerais", *Revista Brasileira Fruticultura*, pp. 890-895.

ROBERTO, S. R., SATO, A. J., BRENNER, E. A., JUBILEU, B. S., SANTOS, C. E., GENTA, W. (2005), "Caracterização fenológica e exigência térmica (graus-dias) para a uva 'Cabernet Sauvignon' em zona subtropical", pp. 183-187.

RUIZ, V. S., GÓMEZ-MIGUEL, V. (2003), "Caracterización de áreas vitivinícolas: Zonificación", Universidad Politécnica de Madrid, I Seminário Internacional de Vitivinicultura, (s.p.).

SANTOS, A., O., ROLIM, G., S., HERNANDES, J., L., PEDRO-JR, M., J. (s.d.) "A maturação fisiológica da videira vinífera em São Paulo: comentários sobre as safras de verão e de inverno na média altitude paulista", Instituto Agronômico de Campinas, http://iac.weblevel.com.br/imagem_informacoestecnologicas/53.pdf pesquisado em Maio 2010.

SANTOS, F. D., MIRANDA, P. (2006), *Alterações climáticas em Portugal: cenários, impactos e medidas de adaptação- Projecto SIAM II*, Gradiva, Lisboa.

SANTOS, T. P. (2006) "Influência da rega da videira (*Vitis vinifera* L.) nas relações hídricas, crescimento, quantidade e qualidade da produção", Tese de Doutorado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

SCHULTZ, H. (2007), "Climate change: Implications and potencial adaptacion of vine growth and wine composition", *Congresso Clima e Viticultura*, pp. 151-155.

TONIETTO, J. (2001), "A importância da regionalização vitícola na produção de vinhos de qualidade", VIII Viticultura and Enology Latin-American Congress, Uruguay, pp. 1-11.

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. (1999), "Análise mundial do clima das regiões vitícolas e de sua influência sobre a tipicidade dos vinhos: a posição da viticultura brasileira comparada a 100 regiões em 30 países", *Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia*, pp. 1-28.

TONIETTO, J., CARBONNEAU, A. (2004), "A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide", *Agricultural and forest meteorology*, pp. 81-97.

TONIETTO, J. (2007), "Afinal, o que é o *Terroir*?", Embrapa, Uva e Vinho, http://www.cnpv.embrapa.br/publica/artigos/afinal_o_que_terroir.pdf, pesquisado em Maio 2010

UNESCO (2001), *Alto Douro Vinhateiro*.
[http://www.unesco.pt/pdfs/docs/patm_pt.doc#Alto Douro Vinhateiro](http://www.unesco.pt/pdfs/docs/patm_pt.doc#Alto_Douro_Vinhateiro), pesquisado em 12 de Março de 2009.

VAN LEEUWEN C., GARNIER C., AGUT C., BACULAT B., BARBEAU G., BESNARD E., BOIS B., BOURSQUOT J.-M., CHUINE I., DESSUP T., DUFOURCQ T., GARCIA-CORTAZAR I., MARGUERIT E., MONAMY C., KOUNDOURAS S., PAYAN J.-C., PARKER A., RENOUF V., RODRIGUEZ-LOVELLE B., ROBY J.-P., TONIETTO J., TRAMBOUZE W., (2008), "Heat requirements for grapevine varieties is essential information to adapt plant material in a changing climate", *VIII Congrès International des terroirs viticoles (s.p.)*.