AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NA VINHA

Projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia

Sousa, T.A.[1]; Oliveira, M.T. [2*]; Lucas, M.C. [3]

[1]UTAD – Fitotecnia, Quinta de Prados, Vila Real. tiago.alvesdesousa@gmail.com
[2]CECEA / UTAD, Quinta de Prados, Vila Real mto@utad.pt
[3]UTAD – Fitotecnia, Quinta de Prados, Vila Real marisalucas@hotmail.com
[*]Autor correspondente

Resumo

A dotação de rega num determinado cultivo deve ser aquela que maximiza os objectivos do produtor por unidade de área cultivada ou unidade de água aplicada e o conceito de Eficiência do Uso da Água (E_{UA}) pode ser utilizado para medir como a água é utilizada na agricultura. Numa produção fruteira como na vinha pode ser entendida como a razão da biomassa colhida por unidade de área em relação à água transpirada num determinado período de tempo. Este conceito de E_{UA} baseado no rendimento das plantas não é adequado para vinhas cujo objectivo é a produção de vinho porque os melhores vinhos são obtidos de plantas que sofrem uma deficiência hídrica moderada onde a rega pretende apenas evitar os extremos das deficiências hídricas que prejudicam o cultivo, procurando-se um equilíbrio entre o rendimento e a qualidade do vinho. A composição dos bagos é essencial na qualidade do vinho que varia com um conjunto de factores ambientais e técnicos, sabendo-se que a quantidade produzida e a composição do bago apresentam entre si uma evolução inversa. Dada a importância da disponibilidade hídrica na composição dos bagos e na qualidade do vinho, propomos determinar a eficiência do uso da água pela vinha regada com base nas quantidades de bagos produzidos e nas características enológicas dos mostos. Utilizamos nesta abordagem os dados obtidos num trabalho de investigação de rega da vinha que teve lugar na Região Demarcada do Douro entre 2004 e 2006 onde um conjunto de plantas dispostas aleatoriamente foi sujeita a dotações de rega diferenciadas quer na quantidade quer na data de aplicação. A eficiência de utilização da água foi mais elevada foi observada nas plantas não regadas mas, conjugando as produções totais e as características enológicas dos mostos, as plantas regadas até à fase fenológica do pintor com dotações de água correspondentes a cerca de metade da evaporação verificada na Tina classe A mostraram uma potenciais vantagens quanto aos objectivos da produção e à conservação de recursos.

Palavras-chaves: Eficiência do Uso da Água, Vinha, Mosto, Produção, Qualidade do Vinho

Abstract

The level of applied water for a particular crop will be that maximizes the goal of the producer per unit of land or per unit of water and the concept of Water Use Efficiency

(WUE) can be used to measure how water is used in agriculture. Water use efficiency for fruit production such as grapes can be taken as the ratio of harvestable biomass, expressed as weight per unit land area to total evapotranspiration at a given time. These concepts of WUE based on crop or plant yield are not adequate to evaluate the water use of vineyards for winemaking because the better quality wines are produced by grapevines undergoing moderate water stress where irrigation avoids only extreme water deficits that might affect adversely the crop and reaches a compromise between grape quality and yield that is of major importance for the achievement of high-quality wines. Fruit composition plays a critical role in the quality of wines and varies with a wide range of environmental e management factors and we know that the fruit and wine composition vary in an inverse pattern to that of crop load. Because water supply is an important factor determining fruit composition and wine quality, we determined WUE based on berry production and on oenological parameters of the musts. We used the data colleted in an experimental field in the Demarcated Region of Douro between 2004 and 2006 where a set of plants randomly laid out was under water application that differed on rate and timing. WUE was highest on non irrigated plants but the plants irrigated from flowering to veraison at a rate equivalent to about half the amount of water evaporated from Class A Pan showed potential advantages for the producer objectives and for conservation of resources.

Keywords: Water Use Efficiency, Vineyard, Must, Production, Wine Quality

Introdução

A quantidade de água de rega num determinado cultivo deve ser aquela que maximiza os objectivos do produtor por unidade de área cultivada ou unidade de água aplicada (English e Raja, 1996), e o conceito de Eficiência do Uso da Água (E_{UA}) pode ser utilizado para medir como a água é utilizada na agricultura. E_{UA} pode ser definida como a razão entre o rendimento da cultura e a sua evapotranspiração (Hatfield *et al.*, 2001; Anyia e Herzog, 2004). A eficiência do uso da água numa produção fruteira pode ser entendida como a razão da biomassa colhida por unidade de área em relação pela água transpirada num determinado período de tempo (Yunusa *et al.*, 1997; Hatfield *et al.*, 2001). Este conceito de E_{UA} baseado no rendimento das plantas não é adequado para vinhas cujo objectivo é a produção de vinho porque os melhores vinhos são obtidos de plantas que sofrem uma deficiência hídrica moderada (van Leeuwen e Seguin, 1994). A rega da vinha procura apenas evitar os extremos das deficiências hídricas que prejudicam o cultivo, procurando-se um equilíbrio entre o rendimento e a qualidade do vinho (Esteban *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005). A composição dos bagos é essencial na qualidade do vinho (Cortell *et al.*, 2005) e varia com um conjunto de factores ambientais e técnicos (Mazza *et al.*, 1999; Burns *et al.*, 2002; Pérez-Magariño e San José, 2004), sabendo-se que a quantidade produzida e a composição do bago apresentam entre si uma evolução inversa (Salon *et al.*, 2005; Walker *et al.*, 2005). Dado que a rega é uma forma eficaz de controlar os rendimentos, então também influencia fortemente a qualidade do vinho (Esteban *et al.*, 2002; Bravdo, 2004).

Os enólogos avaliam a qualidade do fruto pelo peso do bago e por parâmetros enológicos do mosto, vulgarmente o álcool provável, a acidez total, pH e o teor em

fenólicos (Pérez-Magariño e San José, 2004; Pereira *et al.*, 2005). O teor em fenólicos é um dos mais importantes parâmetros de qualidade pelas suas propriedades sensoriais e, entre os fenólicos, as antocianas têm um papel muito relevante (Monagas *et al.*, 2005, 2006; Ryan e Revilla, 2003). Dada a importância da disponibilidade hídrica na composição dos bagos e na qualidade do vinho (Choné *et al.*, 2001), foi estabelecido em 2003 um trabalho experimental na sub-região do Alto Douro da Região Demarcada do Douro para estudar o efeito da disponibilidade hídrica na qualidade dos mostos produzidos nesta Região de baixa precipitação onde a rega é uma técnica crítica. O objectivo desta comunicação é determinar a eficiência do uso da água nas diferentes estratégias de rega da vinha de modo a permitir aos viticultores um instrumento de gestão adicional para optimizar a rega, reduzindo o uso de água e os desperdícios sem afectar os seus objectivos de produção. Propomos a determinação da E_{UA} baseada no rendimento em bagos por planta e na concentração de alguns compostos do mosto muito importantes na definição da sua qualidade e que são o teor de álcool provável, a acidez total, o pH, o índice de fenólicos e as antocianas.

Materiais e métodos

O campo experimental está localizado numa vinha (*Vitis vinifera* L., *cv. Aragonês*) de 2,5 ha com 7 anos de idade na Região Demarcada do Douro (41º 08' Norte, 7º 08' Leste). A vinha está plantada em linhas espaçadas de 2 m com 1 m entre plantas da mesma linha. Quando a canópia está completamente desenvolvida forma uma sebe com 1,6 m de altura e 0,6 a 0,8 m de largura. O solo é um antrosolo de mistura eutrico muito comum na produção vinhateira da região (COBA, 1987). A precipitação é de cerca de 400 mm por ano, e a evapotranspiração da tina da classe A excede os 1460 mm por ano, com 950 mm de Maio a Setembro (Mendes, 1991). Um pluviógrafo automático registava a precipitação com intervalos de uma hora.

Cada bardo da vinha está dotado de uma linha de rega gota a gota com gotejadores espaçados de 0,30 metros. Há seis tratamentos experimentais com 120 plantas distribuídas por 3 linhas numa disposição completamente aleatória. Os tratamentos são: não regado (NR), regado da floração ao pintor com dotação de 4 (FP1) e de 8mm por dia (FP2), regado do pintor à maturação comercial com dotação de 4 (PM1) e 8 mm por dia (PM2), e regado da floração à maturação comercial com dotação de 8 mm por dia (FM). O nosso trabalho experimental decorreu durante três épocas de crescimento de 2004 a 2006.

A quantidade de água no solo foi medida semanalmente com sondas TDR (Delta-T Devices LTD 2001 User manual for the profile probe. Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK. 58 pp; Long *et al.*, 2002) desde os 0,10 m de profundidade até aos 0,90 m correspondentes à camada de rocha consolidada em 3 tubos de acesso colocados aleatoriamente na perpendicular de cada bardo. A quantidade total de água no perfil foi calculada como a soma da água medida a cada profundidade e o balanço hídrico determinado com a equação de conservação de massa (Roygard *et al.*, 2002; Lane *et al.*, 2004)

$$(h_i - h_{i-1}) = (P + I) - (Et + R + D) \qquad [1]$$

onde *h* é o armazenamento ao tempo de medição *i* e ao tempo de medição imediatamente anterior *i-1*, *P* é a precipitação, *I* é a rega, *Et* é a água utilizada pela transpiração e evaporação do solo, *R* é o escorrimento superficial, e *D* é a drenagem para baixo da zona radicular que deve coincidir com a camada consolidada de rocha. Todas as unidades são medidas em mm. Nas nossas condições experimentais, *R* e *D* podem ser ignoradas porque naquele solo a drenagem profunda só é significativa quando a camada imediatamente acima da rocha consolidada possui um teor em água próximo de 0,37 m^3m^{-3} (Oliveira, 1987) que não se verificou nas condições experimentais deste trabalho. Também durante os trabalhos a precipitação foi muito baixa e a taxa de precipitação mais elevada que se registou foi de 1,2 mm h^{-1}. Este valor, combinado com uma superfície quase plana, torna a escorrência um fenómeno pouco provável. Outros autores encontraram e trabalharam situações semelhantes (Román *et al.*, 1999; Wythers *et al.*, 1999; Fares e Alva, 2000)

Foram seleccionadas por tratamento de rega três conjuntos de 5 plantas adjacentes a cada tubo de acesso para obtenção dos dados relativos à produção e às características enológicas do mosto. O rendimento foi calculado pelo peso total de bagos médio das 5 plantas. Dos bagos colhidos foram obtidas amostras aleatórias de 300 bagos para análise enológica: álcool provável (% vol.), acidez total (g l^{-1} equivalente ácido tartárico), pH, índice de polifenóis e antocianas (mg l^{-1}). A E_{UA} foi calculada como (Howell, 2001)

$$EUA_x = \frac{X}{Et} \qquad [2]$$

onde *X* refere-se ao parâmetro medido e *Et* foi calculada da equação [1].

Os dados foram analisados como um factorial de seis tratamentos com três repetições em três anos consecutivos. Na análise foi corrido um programa informático de estatística designado por SPSS (SPSS Inc 2002 SPSS for Windows, Rel. 11.5.0., Chicago).

Resultados e discussão

A evapotranspiração real (*Et*) medida em cada tratamento experimental e nos anos de duração do trabalho mostrou diferenças altamente significativas quer entre tratamentos quer entre anos cuja separação das médias pode ser vista na tabela 1.

Tabela 1 – *Et* (mm). Separação de médias entre tratamentos e anos de produção, Quinta do Vale Meão. Turkey's $HSD_{0,05}$

TRATAMENTO	n	Et	ANO	n	Et
NR	9	192,7[a]	2005	18	378,3[a]
FP1	9	301,9[b]	2006	18	439,3[b]
PM1	9	307,8[b]	2004	18	496,6[c]
FP2	9	533,1[c]			
PM2	9	548,6[c]			
FM	9	744,3[d]			

As letras de índice diferentes indicam diferenças significativas para $\alpha \leq 0,05$

Verificou-se uma distribuição estritamente de acordo com as disponibilidades de água em cada um dos tratamentos face à evapotranspiração média do local. *Et* é significativamente inferior no tratamento não regado e superior no tratamento com maior disponibilidade de água (FM). Os tratamentos FP1 e PM1 e os FP2 e PM2 não apresentam diferenças significativas dentro de cada um dos pares mas têm diferenças significativas entre eles e entre os dois outros tratamentos. Assim, *Et* apresenta a seguinte distribuição por tratamento: NR < FP1 = PM1 < FP8 = PM8 < FM. As diferenças encontradas estão de acordo com o que espera num solo com disponibilidades de água diferenciadas e sob as mesmas condições meteorológicas e de cobertura. *Et* entre os três anos de trabalho foi significativamente diferente, sendo 2004 o ano em que se verificou o maior valor e em 2005 o menor. Estas diferenças devem-se, provavelmente, a diferenças meteorológicas ao nível da baixa atmosfera tais como temperatura do ar, radiação solar incidente e deficits de pressão de vapor do ar.

Nas tabelas 2 e 3 podem ler-se a separação de médias entre tratamentos de rega respeitante à eficiência do uso da água em relação a cada um dos parâmetros considerados neste estudo.

Tabela 2 – Separação de médias da E_{UA} entre tratamentos para o total da produção por cepa, o álcool provável e o pH do mosto. Quinta do Vale Meão 2004 a 2006. Turkey's $HSD_{0,05}$

Tratamento	E_{UA} colheita	Tratamento	E_{UA} álcool	Tratamento	E_{UA} pH
FM	1,621[a]	FM	0,0382[a]	FM	0,0056[a]
PM1	1,748[a]	PM2	0,0466[b]	PM2	0,0079[b]
PM2	1,974[a]	PM1	0,0488[b]	FP2	0,0082[b]
FP1	2,749[b]	FP2	0,0631[c]	FP1	0,0145[c]
FP2	2,956[b,c]	FP1	0,0652[c]	PM1	0,0147[c]
NR	3,464[c]	NR	0,0900[d]	NR	0,0240[d]

As letras de índice diferentes indicam diferenças significativas para $\alpha \leq 0,05$ (n=9)

Tabela 3 – Separação de médias da E_{UA} entre tratamentos para a acidez total, o índice de polifenois e total de antocianas do mosto. Quinta do Vale Meão 2004 a 2006. Turkey's $HSD_{0,05}$

Tratamento	E_{UA} acidez total	Tratamento	E_{UA} índice polifenois	Tratamento	E_{UA} antocianas
FM	0,0035[a]	FM	0,197[a]	FM	1,319[a]
PM2	0,0044[b]	FP2	0,363[b]	FP2	2,110[a]
FP2	0,0051[b]	PM2	0,409[b]	PM2	2,150[a]
PM1	0,0085[c]	FP1	0,653[c]	PM1	3,949[b]
FP1	0,0090[c]	PM1	0,733[c]	FP1	4,010[b]
NR	0,0140[d]	NR	1,018[d]	NR	7,310[c]

As letras de índice diferentes indicam diferenças significativas para $\alpha \leq 0,05$ (n=9)

A interpretação das diferenças verificadas na E_{UA} deve ser feita com cautela porque se trata de uma razão em que diferenças significativas no parâmetro do denominador podem traduzir-se em diferenças igualmente significativas na E_{UA} sem que o mesmo se verifique no parâmetro do numerador. Foi o que se verificou neste trabalho onde não existiam diferenças significativas para o pH e para a acidez total entre os tratamentos de rega. Assim, entendemos que os valores de E_{UA} para o pH e para a acidez total não são conclusivos. Os restantes parâmetros em numerador mostraram diferenças significativas entre tratamentos.

Os acréscimos da quantidade de água disponível para as videiras traduziu-se, como seria de prever, num aumento significativo da produção por cepa. O tratamento com maior dotação de rega (720 mm da floração à maturação) apresentou um acréscimo de produção em cerca de 74% em relação ao tratamento não regado. A produção por cepa relativamente aos tratamentos ficou ordenada da seguinte forma NR<FP1=FP2=PM1≤PM2<FM. Contudo, a eficiência do uso da água reduziu-se significativamente com o aumento das disponibilidades hídricas, ficando a ordem referente a E_{UA} invertida em relação à anterior: FM=PM1=PM2 <FP1=FP2≤NR. Os ganhos de produção não foram proporcionais aos aumentos de consumo de água, traduzindo-se numa perda de eficiência do factor de produção água como veremos na análise seguinte.

O álcool provável no mosto é um factor de valorização das produções de uvas para vinho e neste trabalho os dados seguiram a tendência verificada por outros autores (Esteban *et al.*, 2002; Bravdo, 2004; Salon *et al.*, 2005; Walker *et al.*, 2005). Os tratamentos de rega causaram diferenças significativas no teor de álcool provável onde as plantas com mais água disponível produziram mosto com menor teor em álcool provável: FM<PM2=FP2<FP1=NR=FP2. As quantidades mais elevadas de água tiveram um efeito depreciativo neste parâmetro de valorização das produções e também se traduziram numa perda de eficiência do factor de produção: FM<PM2=PM1<FP2=FP1<NR. É importante notar que a perda de eficiência é maior quando a disponibilidade hídrica mais elevada se mantém depois do pintor.

O índice de polifenois no mosto mostrou um efeito positivo da rega quando efectuada após o pintor embora as mostos produzidos por plantas regadas desde a floração ao pintor tivessem o índice mais baixo. A ordenação deste parâmetro é a seguinte: FM<NR=FP2=FP1<PM1=PM2. Como já foi verificado anteriormente, a eficiência do factor hídrico no índice de polifenois do mosto reduz-se com o seu acréscimo e a ordenação das médias passa a ser: FM<FP2=PM2<FP1=PM1<NR.

A presença de antocianas nos mostos produzidos é afectada pela rega mas a distinção entre os tratamentos verificam-se apenas entre os mais extremos. As plantas não regadas produziram maior quantidade de antocianas do que as restantes, sendo a menor produção nas plantas regadas continuamente entre a floração e o pintor. Não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos intermédios, assim: FM<FP2=PM1=FP1=PM2<NR. Estes resultados faziam prever uma perda significativa da E_{UA} quanto à produção de antocianas com as plantas mais regadas a serem claramente ineficientes, ficando a ordenação das médias desta forma: FM=FP2=PM2<PM1=FP1<NR.

Os resultados mostram, consistentemente, uma relação negativa entre os acréscimos de disponibilidade hídrica para as plantas e os parâmetros de qualidade do mosto analisados e, simultaneamente, a relação entre disponibilidade hídrica e produção por cepa é positiva. A análise da correlação entre a produção e os parâmetros de qualidade confirmam esta observação como se pode verificar na tabela 4.

Tabela 4 – Correlação de Pearson entre produção por cepa e álcool provável, índice de polifenois e antocianas

Correlação de Pearson	Álcool provável	Índice de Polifenois	Antocianas
Produção por cepa	-0,885**	-0,786**	-0,675**

** Correlação altamente significativa $\alpha<0,01$ (n=54)

A correlação negativa entre a produção por cepa e os parâmetros de qualidade do mosto analisados implica que os factores de produção que façam aumentar a produção podem também eles, eventualmente, relacionar-se negativamente com a qualidade dos mostos. No caso vertente, a rega teve esse efeito, em particular para as dotações mais elevadas.

É importante notar que as perdas de eficiência em relação ao tratamento não regado foram menos sentidas nos tratamentos com dotações de rega mais baixas e quando a rega se efectuava apenas entre a floração e o pintor. Entre os tratamentos notamos em particular o FP1 com à dotação de 140 a 170 mm, dependendo do número de dias que separaram a floração do pintor, e que corresponde, aproximadamente, a metade de evaporação da Tina classe A para o mesmo período. É a dotação mais baixa entre os tratamentos que elevou a produção por cepa em cerca de 20% em relação ao tratamento não regado, não alterou significativamente o teor de álcool provável do mosto à colheita e manteve a eficiência do uso da água, em relação a qualquer dos parâmetros de qualidade, mais elevada a seguir ao tratamento não regado. O aumento de produção conseguida, sem perda do teor de álcool provável e com níveis de polifenois e antocianas equivalentes aos outros tratamentos de rega parcial pode ser uma estratégia de gestão da vinha que traga vantagens económicas. Também pode ser uma estratégia que evite os efeitos gravosos dos anos excessivamente secos que levam a produções demasiado baixas e mesmo à perda de algumas plantas.

Conclusões

Nos anos a que se reporta este trabalho, a rega alterou os parâmetros de avaliação que consideramos: a produção por cepa, a formação de álcool provável, o índice de polifenois, a quantidade de antocianas e a eficiência da utilização da água. Não alterou significativamente o pH e a acidez total. O efeito sobre a produção foi positivo nas videiras com maiores disponibilidades de água no solo que produziram maior quantidade de bagos. Simultaneamente, a formação de álcool provável, o índice de polifenois e as antocianas do mosto sofreram uma relação inversa com a disponibilidade hídrica. Estas observações estão de acordo com as expressas por outros autores. O comportamento da videira em relação a estes parâmetros é semelhante aos de outras espécies fruteiras em que os produtos fotossintetizados apresentam uma evolução inversa com a quantidade de frutos produzidos (Mazza *et al.*, 1999; Burns *et al.*, 2002; Pérez-Magariño e San José, 2004).

Os resultados obtidos indicam que o efeito da rega é diferenciado face ao estado fenológico das plantas. O aumento de produção em relação às plantas não regadas é menor quando a rega cessa ao pintor do que se ele se iniciar ao pintor e prolongar-se até à maturação embora as evapotranspirações possam ter valores semelhantes nos dois casos. Em relação à formação de álcool provável, a influência da rega mostrou-se mais dependente da quantidade total da dotação do que dos estados fenológicos correspondentes às datas de aplicação da água. Os resultados também mostram que há necessidade de ultrapassar uma dotação mínima de rega para que a formação de álcool provável seja afectada; no caso analisado, a dotação de 4mm por dia não foi suficiente para alterar este parâmetro enquanto a dotação de 8mm por dia o alterou.

A eficiência da utilização da água, quer em relação à produção por cepa quer em relação aos parâmetros de qualidade do mosto, decresceu com o aumento da disponibilidade hídrica e esse decréscimo foi mais acentuado nos tratamentos em que a rega se prolongou da floração à maturação. As plantas não regadas foram as que fizeram uma utilização mais eficiente da água disponível, seguidas de perto pelas plantas regadas entre a floração e o pintor.

Os tratamentos de rega da floração ao pintor com 4 e 8 mm por dia de dotação distinguiram-se em relação aos outros. Mostraram diferenças não significativas entre si quer em relação à produção por cepa quer em relação à formação de álcool provável. As suas produções por cepa foram significativamente superiores às das plantas não regadas mas significativamente inferiores às provenientes dos outros tratamentos. As suas formações de álcool provável no mosto foram significativamente superiores às dos restantes tratamentos com excepção do tratamento não regado em relação ao qual foi significativamente inferior. O índice de polifenois e a quantidade de antocianas nos mostos provenientes de bagos destes tratamentos não foi significativamente diferente. A eficiência na utilização da água não mostrou diferença significativa entre os tratamentos de rega da floração ao pintor em ambas as dotações; no entanto, as eficiências foram significativamente inferiores apenas face às plantas não regadas. Nestas condições, o tratamento FP1, com a dotação de rega mais baixa entre os tratamentos regados, pode ser uma intervenção técnica positiva para os objectivos dos produtores.

Resumindo os resultados e conclusões do nosso trabalho:

- A rega introduz ineficiência na utilização do factor de produção hídrico nas vinhas onde apesar dos aumentos de produção também se verificam perdas de qualidade dos mostos produzidos.
- São conseguidos aumentos de produção significativos conjugados com perdas de qualidade e de eficiência do uso da água menos acentuadas se a rega for efectuada apenas da floração ao pintor.
- A dotação de rega equivalente apenas a cerca de metade da água evapotranspirada no período da floração ao pintor pode ser a melhor estratégia de rega nas vinhas quer do ponto de vista dos objectivos da produção quer da conservação de recursos.

Agradecimentos

Os nossos agradecimentos à

- Fundação para a Ciência e Tecnologia
- Empresa Quinta do Vale Meão

Bibliografia

Anyia A O e Herzog H 2004 Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. Eur. J. Agron. 20, 327-339.

Bravdo B A 2004 Effect of cultural practices and environmental factors on wine production and quality. Acta Hortic. 652, 119-124.

Brenna O V e Pagliarini E 2001 Multivariate analysis of antioxidant power and polyphenolic composition in red wines. J. Agric. Food Chem. 49, 4841-4844.

Burns J, Mullen W, Landrault N, Teissedre P L, Lean M E J e Crozier A 2002 Variations in the profile and content of anthocyanins in wines made from Cabernet Sauvignon and hybrid grapes. J. Agric. Food Chem. 50, 4096-4102.

Cifre F, Bota J, Escalona J M, Medrano H e Flexas J 2005 Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.). An open gate to improve water-use efficiency? Agric. Ecosyst. Environ. 106, 159-170.

Choné X, van Leeuwen C, Dubourdieu D e Gaudiller J P 2001 Stem water potential is a sensitive Indicator of grapevine water status. Ann. Bot. 87, 477-483.

COBA 1987 Carta de solos e carta de utilização actual do solo do nordeste de Portugal. Universidade de Trás os Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal. 235 pp.

Cortell J M, Halbleib M, Gallagher A V, Righetti T L e Kennedy J A 2005 Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins. J. Agric. Food Chem. 53, 5798-5808.

English M e Raja S N 1996 Perspectives on deficit irrigation. Agr. Water Manage. 32, 1-14.

Esteban M A, Villanueva M J e Lissarrague J R 2002 Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv Tempranillo (*Vitis vinifera* L) grape berries during ripening. J. Sci. Food Agric. 81:409-420.

Fares A e Alva A K 2000 Soil water components based on capacitance probes in a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 64, 311-318.

Hatfield J L, Sauer T J e Prueger J H 2001 Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. Agron. J. 93, 271-280.

Howell T A 2001 Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Agron. J. 93, 281-289.

Kallithraka S, Mohdaly A A A, Makris D P, Kefalas P 2005 Determination of major anthocyanin pigments in Hellenicnative grape varieties (Vitis vinifera sp.): association with antiradical activity. J. Food Compost. Anal. 18, 375-386.

Lane P N J, Morris J, Ningnan Z, Guangyi Z, Guoyi Z e Daping X 2004 Water balance of tropical eucalypt plantations in south-eastern China. Agr. Forest Meteorol. 124, 253-267.

Long D S, Wraith J M e Kegel G 2002 A heavy-duty time domain reflectometry soil moisture probe for use in intensive field sampling. Soil Sci. Soc. Am. J. 66, 396-401.

Mazza G, Fukumoto L, Delaquis P, Girard B e Ewert B 1999 Anthocyanins, phenolics, and color of Cabernet Franc, Merlot, and Pinot Noir wines from British Columbia J. Agric. Food Chem. 47, 4009-4017.

Mendes J C 1991 Normas climatológicas da região de Trás os Montes e Alto Douro e Beira Interior. INMG, Lisboa. 235 pp.

Monagas M, Bartolomé B A e Cordovés C G 2005 Updated knowledge about the presence of phenolic compounds in wine. Crit. Rev. Food Sci. Nutrition. 45, 85–118.

Monagas M, Cordovés C G e Bartolomé B A 2006 Evolution of the phenolic content of red wines from *Vitis vinifera* L. during ageing in bottle. Food Chem. 95, 405-412.

Oliveira M 1987 Economia da água na vinha. Caso da vinha do Douro-Cima Corgo. PhD thesis. UTAD, Vila Real. 147 pp.

Pereira G E, Gaudillere J P, van Leeuwen C, Hilbert G, Lavialle O, Maucourt M, Deborde C, Moing A e Rolin D 2005 ^{1}H NMR and chemometrics to characterize mature grape berries in four wine-growing areas in Bordeaux, France. J. Agric. Food Chem. 53, 6382-6389.

Pérez-Magariño S e San José M L G 2004 Evolution of flavanols, anthocyanins, and their derivatives during the aging of red wines elaborated from grapes harvested at different stages of ripening. J. Agric. Food Chem. 52, 1181-1189.

Pinho P G, Ferreira A C S, Pinto M M, Benitez J G e Hogg T A 2001 Determination of carotenoid profiles in grapes, musts, and fortified wines from Douro varieties of *Vitis vinifera*. J. Agric. Food Chem. 49, 5484-5488.

Pinto M M, Ferreira A C S, Oliveira M B e Pinho P G 2004 Evaluation of some carotenoids in grapes by reversed- and normal-phase liquid chromatography: a qualitative analysis. J. Agric. Food Chem. 52, 3182-3188.

Román R, Caballero R e Bustos A 1999 Field water drainage under traditional and improved irrigation schedules for corn in central Spain. Soil Sci. Soc. Am. J. 63, 1811-1817.

Roygard J F K, Alley M M e Khosla R 2002 No-till corn yields and water balance in the Mid-Atlantic Coastal Plain. Agron. J. 94, 612–623.

Ryan J M e Revilla E 2003 Anthocyanin composition of Cabernet Sauvignon and Tempranillo grapes at different stages of ripening J. Agric. Food Chem. 51, 3372-3378.

Salon J L, Chirivella C e Castel J R 2005 Response of cv. Bobal to timing of deficit irrigation in Requena, Spain: water relations, yield, and wine quality. Am. J. Enol. Vitic. 56, 1-8.

van Leeuwen C e Seguin G 1994 Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appreciée par l'etat hydrique du feuillage, sur le dévelopment de l'appareil végétatif et la maturation du raisin. J. Int. Sci. Vigne Vin 28, 81-110.

Walker R R, Blackmore D H, Clingeleffer P R, Kerridge G H, Ruhl E H e Nicholas P R 2005 Shiraz berry size in relation to seed number and implications for juice and wine composition. Aust. J. Grape Wine R. 11, 2-8.

Wythers K R, Lauenroth W K e Paruelo J M 1999 Bare-soil evaporation under semiarid field conditions. Soil Sci. Soc. Am. J. 63, 1341-1349.

Yunusa I A M, Walker R R e Guy J R 1997 Partitioning of seasonal evapotranspiration from a commercial furrow-irrigated Sultana vineyard. Irrigation Sci. 18, 45-54.

Zhanga X, Wua N e Li C 2005 Physiological and growth responses of *Populus davidiana* ecotypes to different soil water contents. J. Arid Environ. 60, 567-579.