

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

ECOFISIOLOGIA DE VIDEIRAS “ITÁLIA” (*Vitis vinifera* L.) EM CULTIVO
PROTEGIDO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

Leonardo Cury da Silva
Engenheiro Agrônomo UDESC

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia
Ênfase Fisiologia e Manejo Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Dezembro de 2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, da sabedoria, da perseverança e do amor, dons estes que alicerçaram a minha caminhada;

Aos meus pais Silvana da Silva e Paulo Roberto da Silva e meu irmão Luciano Cury da Silva, meus grandes incentivadores desta e de todas as conquistas em minha vida, meu amor e minha eterna gratidão;

À minha esposa Caroline Cusin pelas palavras de apoio e por fazer da minha vida ainda mais feliz e completa;

À minha cunhada Michele Cusin, seu esposo Arildo Luiz Zottis Jr. e meus sogros Ivo Cusin e Vilma De Toni Cusin, pelas palavras de entusiasmo, de força e dedicação para que eu jamais desistisse deste objetivo;

Ao Henrique Pessoa dos Santos que em todos os momentos orientou-me, dedicando seu tempo e seus conhecimentos para o logro deste objetivo, pela oportunidade de trabalharmos juntos e pela lição de dedicação, profissionalismo e amizade;

À *Famiglia* Milani que tenho orgulho em dizer que sou praticamente um membro deste clã, a qual se doou de forma inquestionável visando à concretização deste trabalho, pelo apoio, hospitalidade, conhecimento prático e amizade;

Ao meu orientador Gilmar Marodin por sua amizade e toda a liberdade a mim concedida;

Ao Professor Homero Bergamaschi pelos conhecimentos referentes à Agrometeorologia, experiência disponibilizada e amizade;

Aos pesquisadores da Embrapa Carlos Alberto Flores e Flavio Bello Fialho pelo auxílio técnico-científico aportados em suas habilidades singulares, pelo apoio na elaboração deste manuscrito, implantação do experimento, presteza e amizade;

Ao laboratorista da Embrapa, amigo e aluno Daniel Antunes Souza pelo auxílio na implantação, análise de dados, apoio e companheirismo;

Aos colegas que me auxiliaram na experimentação, tanto no campo, quanto na bancada e foram cruciais na operacionalização e elaboração deste trabalho: Geraldo Chavarria, Loana Cardoso, Marcelo Zart, Rafael Anzanello, Rodrigo Crozetta, Jonathan Marini, Rafael Gotardo, Fabrício Aramis Brum Barbosa, Gorge Balotin, Roque Paese, Valtair Comachio, Vasco Rizzon e Everalino Giacomelli

A todos os amigos que de uma maneira me ajudaram e incentivaram nesta caminhada;

Demonstro também minha gratidão à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia em especial à Marisa Carvalho Bello, assim como:

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos;

À Embrapa uva e vinho pelo envolvimento neste projeto.

A vocês, minha eterna admiração e gratidão.

ECOFISIOLOGIA DE VIDEIRAS “ITÁLIA” (*Vitis vinifera* L.) EM CULTIVO PROTEGIDO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS¹

Autor: Leonardo Cury da Silva
Orientador: Gilmar Arduino Bettio Marodin
Co-orientador: Henrique Pessoa dos Santos

RESUMO

No Brasil ocorreram grandes investimentos no cultivo protegido de videira, principalmente na produção de uva fina de mesa utilizando coberturas plásticas impermeáveis para prevenção de doenças fúngicas. Contudo, este tipo de cobertura reduz a precipitação na linha de plantio, o que tem impulsionado a instalação de sistemas de irrigação. Apesar destes investimentos na garantia hídrica, o controle da irrigação tem sido conduzido de modo empírico e sem subsídios técnicos específicos. Em função disso são frequentes os registros de gastos desnecessários com irrigação, em conjunto com problemas de produção e qualidade. Este trabalho teve como objetivos caracterizar os mecanismos de adaptação fisiológica e o consumo hídrico de videiras cultivadas em ambiente protegido sob distintas condições hídricas, com o intuito de definir o limite mínimo de disponibilidade hídrica que proporcione as melhores respostas agronômicas, com racionalidade no uso da água. O experimento foi conduzido nos ciclos 2009/10 e 2010/11 no Vale dos Vinhedos, RS, Brasil (29°12'S, 51°32'W, 660m). Utilizaram-se plantas de *Vitis vinifera* L. cv. Itália, enxertadas sobre '420A' conduzidas em latada descontínua e cobertas com lonas plásticas de polietileno trançado (160µm) na linha e entrelinha de plantio. Os tratamentos constituíram-se de distintos conteúdos de água disponível (CAD) no solo com o tratamento controle (TC) sob condição de capacidade de campo e potencial matricial (ψ_m) de -33,34 kPa. Os demais tratamentos foram representados por limites de -42,12 kPa (T1), -76,28 kPa (T2) e -94,32 kPa (T3). Quando o ψ_m mínimo de cada tratamento era alcançado, iniciava-se a irrigação com lâminas calculadas para atingir novamente a capacidade de campo. Os tratamentos mais restritivos (T2 e T3) induziram o estresse hídrico nas plantas, evidenciado pela antecipação e encurtamento do ciclo, redução no índice de área foliar e potencial da água na folha, resultando na redução do consumo hídrico e consequentemente no potencial fotossintético. Este último efeito influenciou diretamente a maturação tecnológica das bagas reduzindo o conteúdo relativo de sólidos solúveis totais. Contudo, estes tratamentos reduziram o volume de bagas favorecendo a concentração de SST em relação à TC. No comparativo geral, pode-se selecionar T1, o qual promoveu uma condição de estresse moderado, como o tratamento mais adequado para o microclima coberto, considerando o ganho em qualidade e a economia de água.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (174p.) Dezembro, 2011.

ECOPHYSIOLOGY OF GRAPEVINE “ITÁLIA” (*Vitis vinifera* L.) IN PROTECTED CULTIVATION UNDER DIFFERENT WATER CONDITIONS²

Author: Leonardo Cury da Silva
Adviser: Gilmar Arduino Bettio Marodin
Co-adviser: Henrique Pessoa dos Santos

ABSTRACT

In Brazil, large investments have been made in protected grapevine cultivation, especially in the production of grapes using impermeable plastic coverings for the prevention of fungal diseases. However, this covering reduces precipitation in the crop row, which has boosted the installation of irrigations systems. In spite of these investments in the guarantee of water, the control of irrigation has been implemented empirically and without any specific technical support. Due to this, there are frequent records of unnecessary expenditure on irrigation in conjunction with production and quality problems. The objectives of this paper are to characterize the physiological adaptation mechanisms and water consumption of grapevines cultivated within a protected environment under specific water conditions, with the goal of defining the minimum limit of water availability that provides the best agronomical responses with a rational use of water. The experiment was conducted on the 2009/10 and 2010/11 cycles in the Vale dos Vinhedos, RS, Brazil (29°12'S, 51°32'W, 660m). The plants used were *Vitis vinifera* L., cultivar Itália grafted on '420A' trained on a discontinuous vine trellis covered with woven polyethylene plastic sheeting (160µm) in and between the rows of the crop. Treatment was comprised of specific available water contents (AWC) in soil with treatment control (TC) under field capacity conditions and a matrix potential (ψ_m) of -33.34 kPa. The other treatments were represented by limits of -42.12 kPa (T1), -76.28 kPa (T2) and -94.32 kPa (T3). When the minimum ψ_m of each treatment was reached, irrigation was initiated with layers calculated to once again reach the field capacity. More restrictive water treatments (T2 and T3) induced water stress on the plants, evidenced by the anticipation and shortening of the cycle, reduction in the leaf area index and leaf water potential, resulting in a reduction of water consumption and consequentially in photosynthetic potential. The last effect made a direct influence on the technological maturation of the soft fruit, reducing the relative content of total soluble solids (TSS). However, these treatments reduced the volume of soft fruit favoring the concentration of TSS in relation to TC. In an overall comparison, T1 may be selected, which promoted a light stress condition, with a more suitable treatment for the covered microclimate, considering the gain in quality and savings in water.

² Doctoral Thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (174p.) December, 2011.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1 Caracterização microclimática de cultivos sob cobertura plástica.....	8
2.2 Relações hídricas e água no solo.....	10
2.3 Relações hídricas e trocas gasosas em videira sob cultivo protegido....	12
2.4 Crescimento vegetativo e produtivo da videira em relação à disponibilidade hídrica.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Condições experimentais.....	21
3.1.1 Local.....	21
3.1.2 Cobertura plástica.....	22
3.1.3 Caracterização da cultivar.....	23
3.2 Caracterização e descrição do solo.....	24
3.2.1 Descrição Morfológica dos Horizontes.....	26
3.2.2 Curva de retenção de água no solo.....	27
3.3 Definição dos tratamentos de restrição hídrica.....	29
3.4 Caracterização mesoclimática e microclimática do vinhedo sob cobertura.....	32
3.5 Cálculos da evapotranspiração e coeficientes de cultura.....	34
3.5.1 Evapotranspiração de referência (ET _o).....	34
3.5.2 Evapotranspiração da cultura (ET _c).....	35
3.5.3 Coeficiente de cultura K _c	37
3.6 Caracterização foliar.....	39
3.7 Caracterização fisiológica das folhas.....	41
3.7.1 Potencial da água na folha.....	41
3.7.2 Potencial fotossintético.....	42
3.7.3 Teor de clorofila em folhas.....	44
3.8 Maturação fisiológica da uva.....	45
3.8.1 Cor das bagas.....	46
3.9 Componentes do rendimento.....	47
3.10 Análise estatística.....	48

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Condições Mesoclimáticas	50
4.2	Condições Microclimáticas	53
4.3	Armazenamento hídrico do solo.....	57
4.3.1	Armazenamento hídrico nos horizontes BA e Bt.....	58
4.4	Desenvolvimento fenológico sob déficit hídrico em cultivo protegido	65
4.5	Influência da restrição hídrica sobre o crescimento do dossel vegetativo	68
4.6	Alterações microclimáticas e consumo hídrico da videira sob cobertura plástica.....	74
4.6.1	Evapotranspiração de referência (ET _o)	74
4.6.2	Evapotranspiração da cultura (ET _c)	75
4.6.3	Coefficiente de cultura calculado com base na evapotranspiração de referência (K _c).....	79
4.7	Demanda hídrica em relação aos diferentes tratamentos de irrigação...	85
4.8	Potencial da água na folha.....	91
4.9	Comportamento fotossintético em função da disponibilidade hídrica ..	98
4.10	Teor de clorofila em folhas.....	116
4.11	Caracterização físico-química da baga durante a maturação.....	119
4.12	Componentes do rendimento em videiras sob estresse hídrico em cultivo protegido.....	139
5	CONCLUSÕES	145
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	147
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
8	APÊNDICES	161

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Caracterização analítica do solo da área experimental. Bento Gonçalves, RS. 2009.....26
2. Média das observações mesoclimáticas em vinhedo da cultivar Itália conduzida em latada descontínua sob cobertura plástica nos ciclos 2009/10 e 2010/11, obtidas na Estação Base Oito da Graciema - Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves-RS.....52
3. Médias das observações microclimáticas em vinhedo da cultivar Itália conduzida em latada descontínua sob cobertura plástica nos ciclos 2009/10 e 2010/11, obtidas nos sensores instalados ao nível do dossel vegetativo na área experimental no Oito da Graciema, Bento Gonçalves-RS.54
4. Valores médios dos ciclos 2009/10 e 2010/11 de evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração máxima ou da cultura (ETc) acumulados (mm) e seu respectivo coeficientes de cultura (Kc) ajustados pelo modelo de Gompertz, correspondentes a cada intervalo no estágio fenológico segundo Lorenz *et al.* (1995) e seus respectivos dias acumulados após o início da brotação, Bento Gonçalves-RS. 2011.77
5. Valores médios dos ciclos 2009/10 e 2010/11 de evapotranspiração de referência (mm) (ETo) e evapotranspiração da videira (consumo hídrico, (mm)) segundo os tratamentos de déficit hídrico aplicado correspondentes a cada intervalo no estágio fenológico segundo Lorenz *et al.* (1995) e seus respectivos dias acumulados após o início da brotação, Bento Gonçalves-RS. 2011.86
6. Lâminas aplicadas via irrigação (mm) para reposição durante os ciclos 2009/10 e 2010/11 segundo os tratamentos de déficit hídrico aplicados correspondentes a cada intervalo no estágio fenológico segundo Lorenz *et al.* (1995) e seus respectivos dias acumulados após o início da brotação, Bento Gonçalves-RS. 2011.90

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

1. Vinhedo no estágio fenológico 15 (Lorenz *et al.*,1995), sob cobertura plástica impermeável sobre as linhas de cultivo (A e B), estrutura e dimensionamento dos arcos de PVC (A e B) e detalhe da calha de plástico que foi instalada na entrelinha para promover a restrição hídrica pluvial total na área experimental, vista inferior (C) e vista superior (D). Bento Gonçalves, RS. 2009.23
2. Amostragem com anéis volumétricos para classificação do solo e seus horizontes BA (A), Bt (B) e Ap (C) segundo características morfológicas e ajuste da curva característica de água no solo da área experimental. Bento Gonçalves, RS. 2009.25
3. Trincheira aberta para a classificação física e morfológica indicando os diferentes perfis de solo e suas profundidades. Detalhe da diferença visual (cor) entre as diferentes profundidades avaliadas. Bento Gonçalves, RS. 2009.....27
4. Curva ajustada da correlação entre o potencial matricial do solo (kPa) e a umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) dos horizontes BA e Bt no solo do vinhedo experimental. Bento Gonçalves, RS. 2009.....28
5. Croqui da área experimental, pontos representam as plantas de videira com seus respectivos espaçamentos e tratamentos de restrição hídrica nos retângulos.32
6. Lisímetros instalados na área experimental. Planta “isolada” com chapa galvanizada conformando o lisímetro de compensação (A). Vista do experimento evidenciando dois lisímetros em tratamentos distintos de restrição hídrica (B).37
7. Curva ajustada da correlação entre área foliar (cm^2) e a nervura principal (cm) do vinhedo com cobertura plástica no tratamento controle. Bento Gonçalves, RS. 2009.....40
8. Evolução do conteúdo de água no solo (θ_v) no ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B) nos distintos horizontes e profundidades avaliadas (BA-0-40 cm) e (Bt-40-75 cm), segundo os tratamentos de restrição hídrica aplicados. As setas indicam a data média dos estádios fenológicos

avaliados: 64 plena floração; 75 baga com diâmetro entre 8 e 10 mm (ervilha); 85 amolecimento das bagas; 89 colheita; 91 fim da maturação dos sarmentos segundo Lorenz <i>et al.</i> (1995). Bento Gonçalves, RS, 2011.	57
9. Interferência dos níveis de estresse hídrico aplicados sobre os estádios fenológicos da cultivar Itália (<i>V. vinifera</i> L.) sob cultivo protegido 2009/10 (A) e 2010/11 (B). Bento Gonçalves, RS, 2011. Estádios fenológicos da videira (<i>V. vinifera</i> L.) segundo Lorenz <i>et al.</i> (1995), (BBCH): 00 (latencia); 03 (gemas inchadas); 05 (gema lanosa); 09 (abertura da gema); 11 (primeira folha); 14 (quarta folha); 15 (quinta folha); 17 (sétima folha); 19 (nona folha); 53 (inflorescências); 57 (separação das flores); 60 (desprendimento da calíptra); 62 (antese 20%); 65 (antese 50%); 69 (fim da floração); 71 (“fruit set”); 73 (bagas 3 mm); 75 (bagas 5 mm); 79 (bagas se tocam); 81 (início maturação); 83 (bagas brilhantes); 85 (amolecimento bagas); 89 (colheita); 91 (maturação sarmentos).	66
10. Evolução do número médio de folhas por planta nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e evolução do índice de área foliar nos ciclos 2009/10 (C) e 2010/11 (D) sob cultivo protegido em vinhedo da cv. Itália cultivada e sob diferentes níveis de deficiência hídrica do solo. Bento Gonçalves-RS, 2011.	69
11. Folhas médias de plantas cultivadas sob diferentes níveis de estresse hídrico aplicado (TC - 100% CAD, T1 - 83% CAD, T2 - 53% CAD e T3 - 30% CAD), no cultivo protegido da uva ‘Itália’ na colheita das bagas no ciclo 2009/10. Bento Gonçalves-RS, 2011.	73
12. Evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pela equação de Penman-Montheith (Allen <i>et al.</i> , 1998) e Evapotranspiração da cultura (ET_c) nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B) acumulados no subperíodo de três dias do intervalo de amostragem, sob cultivo protegido da videira ‘Itália’. Bento Gonçalves, RS, 2010.	76
13. Relação entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e a evapotranspiração da cultura (ET_c) da videira (mm), acumulados no subperíodo de três dias do intervalo de amostragem, sob o cultivo protegido. Bento Gonçalves, RS (2011).	81
14. Variação do coeficiente de cultura K_c , obtida através do modelo de Gompertz, correlacionando a evapotranspiração de referência (ET_o) e a evapotranspiração da cultura (ET_c), ao longo do período entre a poda e o fim da maturação dos sarmentos da videira “Itália” sob cultivo protegido, Bento Gonçalves, RS, 2011.	82
15. Relação entre os valores médios de ET_c calculados através do balanço hídrico da cultura da videira “Itália” sob cobertura plástica e os valores de ET_c estimados pelo cálculo, corrigidos pelo K_c . Valores acumulados	

no subperíodo de três dias do intervalo de amostragem. Bento Gonçalves, RS, 2011.....	84
16. Evolução estacional da evapotranspiração potencial diária (ET_o) e da evapotranspiração (ET) referente ao consumo hídrico no subperíodo de três dias do intervalo de amostragem no vinhedo segundo os diferentes tratamentos de restrição hídrica nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B). Evolução estacional da evapotranspiração potencial acumulada (ET_o) e da evapotranspiração (ET) acumulada referente ao consumo hídrico durante o ciclo vegetativo:produtivo, assim como a lâmina d'água repostada via irrigação segundo os tratamentos de restrição hídrica nos ciclos 2009/10 (C) e 2010/11 (D). As setas indicam a data média dos estádios fenológicos avaliados: 64 plena floração; 75 baga com diâmetro entre 8 e 10 mm (ervilha); 85 amolecimento das bagas; 89 colheita; 91 fim da maturação dos sarmentos segundo Lorenz <i>et al.</i> (1995). Bento Gonçalves, RS, 2010	87
17. Potencial da água na folha (ψ_H) ao longo do dia em plena floração (EF65) ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B), no amolecimento das bagas (EF85) ciclo 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e na colheita das bagas (EF89) ciclo 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS.	95
18. Potencial hídrico foliar (ψ_H) ao longo do dia, na maturação completa dos sarmentos (EF91), no ciclo 2009/10. Bento Gonçalves, RS.	98
19. Assimilação de CO_2 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em função do incremento da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto, sob distintos tratamentos de restrição hídrica, em plena floração (EF65). Nas tabelas de fotossíntese líquida, as médias das variáveis fotossintéticas respiração no escuro (Re), ponto de compensação (τ), eficiência quântica (Φ_a), radiação de saturação (DFFFA $_{sat}$), fotossíntese de saturação ($Asat$) e fotossíntese máxima ($Amax$) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Bento Gonçalves, RS, 2011.....	100
20. Assimilação de CO_2 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em função do incremento da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto, sob distintos tratamentos de restrição hídrica no amolecimento das bagas (EF85). Nas tabelas de fotossíntese líquida, as médias das variáveis fotossintéticas respiração no escuro (Re), ponto de compensação (τ), eficiência quântica (Φ_a), radiação de saturação (DFFFA $_{sat}$), fotossíntese de saturação ($Asat$) e fotossíntese máxima ($Amax$) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Bento Gonçalves, RS, 2011.	104

21. Assimilação de CO₂ 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e condutância estomática (*g_s*) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em função do incremento da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto, sob distintos tratamentos de restrição hídrica na colheita das bagas (EF89). Nas tabelas de fotossíntese líquida, as médias das variáveis fotossintéticas respiração no escuro (*Re*), ponto de compensação (τ), eficiência quântica (Φ_a), radiação de saturação (*DFFFA_{sat}*), fotossíntese de saturação (*Asat*) e fotossíntese máxima (*Amax*) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Bento Gonçalves, RS, 2011.....105
22. Assimilação de CO₂ 2009/10 (A) e condutância estomática (*g_s*) 2009/10 (B) em função do incremento da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica no fim da maturação dos sarmentos (EF91). Na tabela de fotossíntese líquida, as médias das variáveis fotossintéticas respiração no escuro (*Re*), ponto de compensação (τ), eficiência quântica (Φ_a), radiação de saturação (*DFFFA_{sat}*), fotossíntese de saturação (*Asat*) e fotossíntese máxima (*Amax*) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Bento Gonçalves, RS, 2011.....107
23. Concentração média de clorofila em índice SPAD. Concentração de clorofila *a* (A), concentração de clorofila *b* (B), concentração de clorofila *total* (C) e razão clorofila *a*/clorofila *b* (D) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica no ciclo 2009/2010. Bento Gonçalves-RS, 2011.....117
24. Evolução dos parâmetros de maturação tecnológica, representados pela concentração de sólidos solúveis totais (°Brix) nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B), pela acidez total tituláveis (ATT) (meq L⁻¹) nos ciclos 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e pela razão entre sólidos solúveis totais (°Brix) e acidez total titulável (% de ácido tartárico) nos ciclos 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS, 2011.122
25. Curvas de maturação representativas da massa de 20 bagas (g) no ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B), do volume das bagas (cm³) no ciclo 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e da concentração de SST por volume de baga no ciclo 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS, 2011.....130
26. Evolução da tonalidade de cor (em °Hue) durante a maturação tecnológica das bagas em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B). Bento Gonçalves-RS, 2011.....135
27. Análise de componentes principais na variável cor de bagas ao longo da maturação tecnológica segundo os distintos tratamentos de restrição hídrica aplicados nos ciclos 2009/10 (A-D) e 2010/11 (E-H). CP1

corresponde à alteração da cor ao longo da maturação tecnológica e CP2 referencia esta variação segundo os níveis de déficit hídrico. Cada gráfico representa uma data de amostragem, considerando como referência o tempo, em dias, a partir de 15 dias após a virada de cor das bagas (15 DAV) (A), 31 DAV (B) e 49 DAV (C), em 2009/10; e a partir do estágio de virada de cor das bagas (D), 14 DAV (E), 28 DAV (F) e 48 DAV (G), no ciclo 2010/11. Bento Gonçalves-RS. Para essa análise, foram consideradas todas as variáveis de cor no sistema tridimensional $L^* a^* b^*$, de acordo com o sistema proposto pela “Commission Internationale de L’eclairage” (CIE) (Minolta Corporation, 1994). Em cada gráfico, cada ponto está manifestando a cor exata de cada baga avaliada, conforme o código Lab, e o respectivo tratamento, de acordo com a legenda.....137

28. Análise de componentes principais na variável cor de bagas, segundo os distintos tratamentos de restrição hídrica, considerando principalmente a variação desta ao longo do período de maturação tecnológica nos ciclos 2009/10 e 2010/11. Bento Gonçalves-RS. CP1 corresponde à alteração da cor ao longo da maturação tecnológica e CP2 referencia esta variação segundo os níveis de déficit hídrico. Para essa análise, foram consideradas todas as variáveis de cor no sistema tridimensional $L^* a^* b^*$, de acordo com o sistema proposto pela “Commission Internationale de L’eclairage” (CIE) (Minolta Corporation, 1994). Cada ponto no gráfico está manifestando a cor exata de cada baga avaliada, conforme o código Lab, dentro de cada tratamento e em cada data de avaliação, de acordo com a legenda.138
29. Representação esquemática da variação de volume e da cor média das bagas nos cachos de plantas cultivadas sob distintos níveis de estresse hídrico no cultivo protegido da uva ‘Itália’ na colheita do ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B). Bento Gonçalves, RS, 2011.139
30. Componentes do rendimento referentes ao número de bagas por cacho 2009/10 (A) e 2010/11 (B), massa média dos cachos (g) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e produção por planta (kg) 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS. Dados expressos na forma de *boxplot* visualizando a distribuição dos valores dentro de cada tratamento e os pontos extremos (*outliers*). A linha fina representa a média, a espessa a mediana, a caixa os quartis (25% e 75%) e a linha pontilhada as observações situadas em um intervalo de 1,5 vezes a altura da caixa, para cima ou para baixo, sendo os pontos fora desse intervalo plotados individualmente.141
31. Cachos médios em plantas cultivadas sob diferentes níveis de estresse hídrico (100% CAD - TC; 83% CAD - T1; 53% CAD - T2; 30% CAD - T3), na virada de cor no cultivo protegido da uva ‘Itália’ ciclo 2009/2010. Bento Gonçalves, RS.142

RELAÇÃO DE APÊNDICES

Páginas

1. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas referentes ao número de folhas em 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e entre as curvas referentes ao índice de área foliar em 2009/10 (C) e 2010/11 (D). Bento Gonçalves-RS, 2011.....161
2. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de potencial hídrico foliar (ψ_H) em plena floração (EF65) ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B), no amolecimento das bagas (EF85) ciclo 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e na colheita das bagas (EF89) ciclo 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS, 2011.....162
3. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de potencial hídrico foliar (ψ_H) na maturação completa dos sarmentos (EF91) ciclo 2009/10. Bento Gonçalves, RS, 2011.....163
4. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de fotossíntese líquida (A) 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e entre as curvas de condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em relação ao incremento da DFFFA em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica na plena floração (EF65). Bento Gonçalves, RS, 2011.....164
5. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de fotossíntese líquida (A) 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e entre as curvas de condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em relação ao incremento da DFFFA em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica no amolecimento das bagas (EF85). Bento Gonçalves, RS, 2011.....165
6. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de fotossíntese líquida (A) 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e entre as curvas de condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em relação ao incremento da DFFFA em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica na colheita das bagas (EF89). Bento Gonçalves, RS, 2011.....166

7. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de fotossíntese líquida (A) 2009/10 e entre as curvas de condutância estomática (g_s) 2009/10 (B) em relação ao incremento da DFFFA em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica no fim da maturação dos sarmentos (EF91). Bento Gonçalves, RS, 2011.....167
8. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de concentração de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila total (C) e a relação clorofila a: clorofila b (C). Bento Gonçalves-RS, 2011.....168
9. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de tonalidade de cor ($^{\circ}$ Hue) 2009/10 (A) e 2010/11 (B) durante a evolução da maturação tecnológica em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica. Bento Gonçalves, RS, 2011.....169
10. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de SST 2009/10 (A) e 2010/11 (B), de ATT 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e da relação SST:ATT 2009/10 (E) e 2010/11 (F) durante a evolução da maturação tecnológica em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica. Bento Gonçalves, RS, 2011.....170
11. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de massa das bagas 2009/10 (A) e 2010/11 (B), de volume das bagas 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e da concentração de açúcares por baga 2009/10 (E) e 2010/11 (F) durante a evolução da maturação tecnológica em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica. Bento Gonçalves, RS, 2011.171

1 INTRODUÇÃO

A videira, pertencente ao gênero *Vitis* encontra-se inserida à família *Vitaceae* e à ordem *Vitales*, a qual possui 14 gêneros e aproximadamente 450 espécies. O gênero *Vitis* possui mais de 50 espécies conhecidas, muitas das quais só existem na forma silvestre (NCBI, 2011). Dentre as espécies existentes, destacam-se a *Vitis labrusca* e a *Vitis vinifera*. A espécie *V. labrusca* tem seu centro de origem onde hoje é a América do Norte, ao passo que o centro de origem da *V. vinifera* se encontra na Ásia, região compreendida entre os mares Negro e Cáspio, onde atualmente estão os territórios da Geórgia, Armênia, Azerbaijão, Irã e Turquia. A partir destes locais a viticultura se desenvolveu para o leste, sul e oeste ao longo do continente asiático (Miele & Miolo, 2003). A partir dessas regiões, em função da tradição da viticultura e da mitologia do vinho, esta cultura atingiu uma posição privilegiada, em comparação aos outros cultivos (Mullins *et al.*, 1992), e difundiu-se pelo mundo, principalmente entre os paralelos 30° e 50° de latitude Norte e entre 30° e 45° de latitude Sul. Nestas regiões, os principais climas que a videira enfrenta são os de tipo temperado, mediterrâneo e árido, em diferentes níveis. No Brasil, os tipos de clima ocorrentes nas regiões vitícolas com uma colheita anual são temperados e subtropicais (Tonietto & Mandelli, 2003).

A uva é a fruta de maior volume comercializado *in natura* na economia mundial, ocupando o décimo segundo lugar no ranking de *commodities*. No ano de 2008 a área de vinhedos no mundo alcançou os 7.408.127 hectares, enquanto que a produção mundial foi de 67.708.587 megagramas (FAO, 2010). Aproximadamente 71% desta

produção são utilizadas para a elaboração de vinhos e derivados, e do restante, 27% são específicos para consumo *in natura* e 2% destinados para produção de fruta seca (Conde *et al.*, 2007).

A vitivinicultura brasileira se situa, predominantemente, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Pernambuco. No país são cultivados aproximadamente 83.038 hectares de vinhedos, sendo que deste total 30.000 se destinam a produção de uvas mesa. Em 2009 foram produzidas 1.346.254 megagramas de uvas no Brasil, das quais 737.363 Mg foram produzidas no estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2006). A uva fina de mesa é a principal fruta na pauta de exportações brasileiras, alcançando uma comercialização de 82.242 Mg e um volume financeiro de U\$S 171.456.124 FOB no ano de 2008 (IBRAF, 2010).

O Rio Grande do Sul é o principal estado produtor de uvas para agroindústria do Brasil, sendo a principal região produtora a Encosta Superior da Serra do Nordeste, popularmente denominada “Serra Gaúcha”. Nesta região predomina o clima temperado úmido com verão temperado, do tipo Cfb (Köppen), e é responsável por 84% da área vitícola do Estado (EMBRAPA, 2003). Nesta região, as condições climáticas ocorridas durante o ciclo vegetativo:produtivo impõem restrições ao cultivo vitícola na maioria dos ciclos, principalmente em condições para incrementos de qualidade e controle fitossanitário. Tanto a frequência quanto a distribuição de chuvas são condições climáticas de grande importância para a produção de uva, sendo que nesta região do sul do Brasil, há uma série histórica pluviométrica com tendência ao excesso no período de maturação e colheita, quando comparada às regiões vitícolas tradicionais de outros países (Westphalen, 2000).

Em função destas condições desfavoráveis, na maioria dos ciclos vegetativos produtivos é observada com frequência a antecipação de colheitas, desfavorecendo a

maturação tecnológica e fenólica da uva produzida. Esta prática tem sido realizada com o intuito de evitar perdas ocasionadas por podridões dos cachos, porém, resulta no comprometimento da qualidade da uva produzida pela paralisação do processo de maturação (Tonietto & Falcade, 2003).

Neste cenário, o ambiente protegido aparece como uma alternativa para minimizar estes problemas de maturação e manejo fitossanitário. O uso de cobertura plástica pode ser considerado como o mais recente insumo agrícola, visando o incremento da produção e da qualidade, quando as técnicas convencionais já foram esgotadas (Araújo & Castellane, 1996). Nesse novo ambiente de cultivo, as plantas são postas sob um novo limite de produtividade, visando propiciar condições para expressão do seu máximo potencial genético (Vida *et al.*, 2004). Segundo Purqueiro & Tivelli (2006), desde o aparecimento da indústria petroquímica na década de 30, com o crescimento da utilização do plástico em diversos setores, a partir da Segunda Grande Guerra, o setor agrícola começou a utilizar este material em diferentes campos de aplicação. O plástico tem sido empregado nas atividades agropecuárias, com maior participação na produção de alimentos, substituindo materiais tradicionais como madeira, vidro, ferro e cimento, com a finalidade de minimizar os custos de produção e inovar técnicas tradicionais, para se obter aumento de produtividade. Apesar destas vantagens, a utilização dessa tecnologia ainda é incipiente na viticultura mundial, sendo empregada principalmente no cultivo de uvas de mesa, com o intuito de incremento da qualidade e conseqüente valor de venda (Shuck, 2002).

No Brasil, a utilização da cobertura plástica sobre as linhas de cultivo na Encosta Superior da Serra do Nordeste iniciou, com enfoque comercial, no final dos anos 80 na região de Caxias do Sul, onde existe um pólo de produção de uvas de mesa (Santos, 2005). Segundo Mota (2007), a adoção desta tecnologia de cultivo vem

crescendo nos últimos anos e já apresenta uma superfície coberta de vinhedos de aproximadamente 700, 80 e 70 hectares, respectivamente, na região Nordeste do Brasil, e nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Nestas áreas, predomina o cultivo de *Vitis vinifera* destinada à produção de uvas finas para consumo *in natura*, sendo associada à utilização de sistemas de irrigação na maioria das situações (Santos, 2005).

Dispõem-se de alguns resultados promissores, relacionados ao incremento de qualidade dos cachos e à produção vitícola em função do uso do cultivo protegido na Serra Gaúcha (Chavarria *et al.*, 2008). Estes benefícios são ocasionados pela interferência da cobertura plástica sobre o microclima do parreiral, em particular sobre a água livre efeito “guarda-chuva”, na redução das temperaturas máximas e da disponibilidade de radiação solar e principalmente da velocidade do vento (Cardoso *et al.*, 2008; Chavarria *et al.*, 2008). As coberturas plásticas também interferem na distribuição da água na área de cultivo, restringindo a disponibilidade hídrica nas linhas de cultivo e aumentando nas entrelinhas (Mota, 2007; Chavarria *et al.*, 2008). Além disso, as condições microclimáticas impostas pelas coberturas reduzem a demanda evaporativa e, conseqüentemente, a necessidade hídrica da videira neste ambiente protegido (Cardoso *et al.*, 2008). Apesar desse efeito, a maioria dos investimentos em cobertura de parreirais na Serra Gaúcha tem sido acompanhada de instalações de sistema de irrigação, não havendo subsídios técnicos para um adequado manejo hídrico nestas condições. Assim como o excesso, o déficit hídrico afeta a produção e a qualidade das uvas. A água é um elemento fundamental para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da videira, para seu funcionamento fisiológico e bioquímico, sendo um fator determinante para o rendimento e a qualidade dos frutos (Carbonneau, 1998; Ojeda *et al.*, 2005). Até o presente momento não se dispõem-se de muito pouca informação de parâmetros hídricos e fisiológicos, que sejam específicas para o ajuste do

manejo de irrigação em cultivo protegido de videiras. Neste caso, déficits moderados que reduzem o vigor vegetativo sem comprometer as atividades metabólicas e fisiológicas das videiras são considerados os mais adequados para o incremento da qualidade (Ojeda *et al.*, 2004). Contudo, os limites de disponibilidade hídrica que podem condicionar as plantas a esses estresses moderados ainda não foram definidos para as condições de cultivo protegido no Brasil. A disponibilidade de água e sua utilização têm gerado muita discussão acerca da necessidade hídrica das culturas e o emprego de técnicas de manejo que reduzam sua utilização e aumentem a eficiência no uso da água, mantendo ou melhorando a qualidade do produto (Christofidis, 2002). Na Califórnia e na Austrália, por exemplo, a utilização da irrigação é imprescindível e a utilização desta tecnologia de forma racional é necessária devido ao alto custo da água (McCarthy, 1997). Para aumentar a eficiência no uso da água, Garcia (2001) cita que foram desenvolvidos conceitos como a irrigação deficitária controlada “regulated deficit irrigation”, ou mais recentemente, a secagem parcial das raízes “partial rootzone drying”. Contudo, segundo Garcia (2001), para o êxito destes manejos de irrigação é necessário o conhecimento da fisiologia da videira e como os diferentes fatores internos e ambientais influenciam o crescimento e as relações fonte:dreno, além da instalação adequada do sistema de irrigação de alta frequência e aparelhos que meçam a umidade volumétrica do solo (θ_v), ou seu equivalente potencial matricial (ψ_m).

De modo geral, torna-se imprescindível a adequação de práticas de manejo de irrigação em áreas de cultivo protegido, havendo necessidade de redução nos volumes aplicados, proporcionando controle eficaz do crescimento vegetativo, redução na demanda de manejo de poda em verde e, conseqüente, incremento da qualidade dos cachos, sem prejudicar o rendimento.

No presente estudo, a partir do fato de que o uso de cobertura plástica translúcida e impermeável sobre as linhas de cultivo da videira, com abertura laterais provoca alterações substanciais no microclima do vinhedo, apresentando-se como um atenuante ao estresse hídrico por aumentar a eficiência no uso da água, formularam-se as seguintes hipóteses para o uso desta cobertura plástica aliado a um manejo controlado de estresse hídrico:

- ✓ A cobertura plástica aumenta a eficiência de uso da água e consequentemente, altera a necessidade hídrica da videira, reduzindo a lâmina total aplicada durante o ciclo;
- ✓ Influencia a disponibilidade hídrica do solo e o potencial da água na folha, alterando os processos de fotossíntese, condutância estomática e transpiração;
- ✓ Modifica a morfologia e, consequentemente, a área foliar fotossinteticamente ativa, assim como, o teor de clorofila foliar;
- ✓ Influencia o processo de maturação das uvas promovendo modificações nas características físico-químicas das bagas, com consequente melhoria na qualidade organoléptica;
- ✓ Altera o fluxo e a concentração de sólidos solúveis totais nas bagas e, consequentemente, o potencial osmótico, alterando o tamanho e o volume das bagas;
- ✓ Altera a quantidade e o tamanho dos cachos , modificando a qualidade da produção;

Com base nestas hipóteses, o presente estudo teve por objetivo geral caracterizar a influência de níveis controlados de estresse hídrico em área sob cobertura plástica

sobre a demanda hídrica, a fisiologia, a morfologia, o potencial produtivo e a qualidade de uvas da cultivar Itália (*Vitis vinifera* L.).

Como objetivos específicos, utilizando-se o contraste entre as lâminas de irrigação em conjunto com o detalhamento dos parâmetros microclimáticos e do registro da água no solo, na planta e na atmosfera modificada do ambiente coberto buscou-se:

- a) Caracterizar o balanço hídrico e a eficiência de uso da água em videiras sujeitas a alterações microclimáticas promovidas pela cobertura plástica;
- b) Determinar a duração média e as alterações dos principais estádios fenológicos, segundo o nível de estresse aplicado, através de avaliações semanais, desde a poda até a queda das folhas;
- c) Caracterizar a influência do estresse hídrico sobre o crescimento vegetativo e o potencial produtivo;
- d) Descrever a influência de diferentes níveis de estresse hídrico em área coberta sobre a maturação e características físico-químicas das bagas.
- e) Gerar um conjunto de dados referenciais de microclima, de solo e de planta que possam ser utilizados no manejo de videiras sob irrigação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterização microclimática de cultivos sob cobertura plástica

O emprego da cobertura plástica no cultivo protegido de videiras tem influência direta sobre as condições microclimáticas. Na viticultura, segundo Carbonneau (1986), o microclima é dividido em dois extratos: O microclima *natural*, que corresponde aos extratos superiores às plantas, entre 10 e 100 m, e o microclima *da planta*, que é caracterizado por variáveis climáticas no entorno de cada planta no vinhedo. Portanto, estas variáveis micrometeorológicas estão diretamente relacionadas à distribuição do dossel vegetativo no espaço (Teixeira & Lima Filho, 1997).

Estudos recentes demonstram que a cobertura plástica causa alterações sobre alguns parâmetros microclimáticos do dossel vegetativo, sobretudo nas temperaturas máximas, na incidência de radiação solar e na velocidade do vento (Ferreira, 2004; Cardoso *et al.*, 2008; Chavarria *et al.*, 2008).

Em cultivo protegido de ‘Cabernet Sauvignon’ em Jundiaí-SP, observou-se que as temperaturas máximas e mínimas do ar em ambiente parcialmente modificado foram mais elevadas, em comparação aos valores obtidos em cultivo convencional a céu aberto (Ferreira, 2004). Além disso, em estudos realizados na “Serra Gaúcha”, Cardoso *et al.* (2008) destacaram que o efeito deste aumento nas temperaturas, resultante do uso de cobertura plástica, é maior sobre as temperaturas diurnas em relação às temperaturas noturnas.

A atenuação da radiação solar pelas coberturas é outro fator de extrema importância, pois afetam os outros componentes do balanço energético, como os fluxos de calor sensível e latente, além da condição hídrica e do processo fotossintético (Pezzopane *et al.*, 2004). Cardoso *et al.* (2008), estudando o efeito da cobertura plástica de polietileno de baixa densidade (160 μm) sobre o microclima em vinhedos de 'Moscato Giallo', observaram uma interceptação de 30% na radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre o dossel vegetativo. Através de estudos realizados com este tipo de material sobre o cultivo, sabe-se que esta atenuação na radiação depende do ângulo de incidência dos raios solares na cobertura (Sentelhas *et al.*, 1997), da capacidade de transmitância (Critten & Balley, 2002), do estado de conservação (Reis & Carrijo, 1999; Venturin & Santos, 2004) e da cor do filme plástico utilizado (Sentelhas *et al.*, 1997).

A qualidade dos cachos e a produtividade do vinhedo sob cultivo protegido podem ser afetadas pela redução na radiação global incidente ou por condições de déficit hídrico prolongado durante o ciclo vegetativo:reprodutivo. Para atenuar essa possível limitação na radiação fotossinteticamente ativa em plantas produzidas sob cultivo protegido, pode-se manejar incrementos no índice de área foliar (IAF) (Cardoso *et al.*, 2008). Desta forma, pode-se contribuir com a maior proporção na assimilação do CO_2 atmosférico (Mota *et al.*, 2009), apesar de incrementar a superfície de perda de água por transpiração. Contudo, é necessário ajustar um limite para esse incremento foliar, pois, além da necessidade de se evitar autosombreamentos, a cobertura plástica reduz a demanda evaporativa diária do ambiente, reduzindo significativamente a evapotranspiração de referência (Chavarria *et al.*, 2008).

O elemento climático que mais sofre alterações em função da utilização da cobertura plástica no cultivo de videiras é o vento, em que sua velocidade é

substancialmente reduzida. Chavarria *et al.* (2008) constataram que a velocidade do vento é atenuada em 90% junto ao dossel vegetativo das plantas cultivadas sob cobertura plástica. Esta restrição apresenta grande influência na renovação do ar na camada limite da folha, o que, por sua vez, reduz o déficit de pressão de vapor (DPV) entre a folha e o ar. Em função disto, há uma redução no consumo hídrico foliar, favorecendo a condutância estomática e, conseqüentemente, a assimilação de carbono em videiras no ambiente protegido (Chavarria *et al.*, 2008). Portanto, estudos detalhados das modificações que o cultivo protegido pode exercer sobre o microclima e, conseqüentemente, sobre a necessidade hídrica da videira são de grande relevância, considerando que estas mudanças não influenciam apenas na absorção de água, mas também no fluxo de nutrientes e no desenvolvimento fisiológico. Por conseqüência, o manejo hídrico adequado pode favorecer o rendimento e a qualidade das uvas, bem como o custo de produção neste novo sistema de cultivo.

2.2 Relações hídricas e água no solo

O solo é o armazenador e o fornecedor de água e nutrientes às plantas. Por fenômenos de adsorção e capilaridade, ele retém após a chuva ou irrigação, a umidade de que as plantas necessitam (Bergamaschi *et al.*, 1999). Dependendo do conteúdo de água no solo as plantas terão maior ou menor facilidade em extraí-la e, portanto, de atender às suas necessidades. À medida que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorver água, devido o aumento da força de retenção pela matriz que compõe o solo. Por isso, nem toda a água que o solo consegue armazenar é biodisponível às plantas (Bergamaschi *et al.*, 1999).

A água contida no solo se expressa em porcentagem de massa seca, de uma quantidade laminar, em centímetros, em relação a cada metro de profundidade. Esta

água é retida com uma tensão crescente à medida que diminui o seu conteúdo pela evapotranspiração. Estas variações de tensão são caracterizadas como mudanças no potencial da água (Ψ), tendo-se como referência máxima o valor zero obtido pela água pura livre. A unidade mais utilizada para essas medidas de potencial é MPa, contudo utiliza-se também unidades antigas como bar ($1\text{Mpa} = 1.000\text{ kPa} = 1.000\text{ cb ou J kg}^{-1} = 10\text{b} = 10\text{ atm}$) (Gil & Pszczólkowski, 2007).

A água disponível ou conteúdo de água disponível (CAD) para as plantas é delimitado por um valor máximo e mínimo de retenção de água em um determinado tipo de solo. Por convenção, esses limites são denominados *capacidade de campo* (CC) e *ponto de murcha permanente* (PMP), respectivamente. Após a ocorrência de uma chuva ou irrigação a água irá ocupar os espaços porosos do solo, proporcionando a condição de saturação, representada pela faixa de potencial da água entre 0 e -0,01 Mpa, dependendo da classe textural do solo. A capacidade de campo é o limite de umidade em que a água é retida pela matriz, após a saturação e drenagem gravitacional, e encontra-se entre de -0,01 e -0,03 Mpa, variando conforme a classe textural do solo. Em contrapartida, o ponto de murcha permanente (PMP), corresponde à quantidade de água retida pela matriz do solo com potencial da água de -1,5 Mpa, cuja extração é limitante para a maioria das plantas, sendo este valor dependente da classe textural do solo, da planta e das condições atmosféricas (Gil & Pszczólkowski, 2007).

À medida que a água disponível é reduzida pelo consumo das plantas, aumenta a tensão com que ela é retida pela matriz do solo, sendo esta força de tensão diretamente relacionada com a quantidade de argila. Como exemplo, destaca-se que para uma mesma porcentagem de água disponível no solo, o potencial matricial (Ψ_m) é muito menor em um solo argiloso (-0,2 a -0,3 Mpa) quando comparado à textura franca (0,08 Mpa) e arenosa (-0,02 a -0,03 Mpa). Do mesmo modo, para um mesmo potencial, a

porcentagem de água também difere, sendo maior em solos argilosos. Portanto o potencial matricial do solo, apresenta-se como uma das melhores variáveis de medida da disponibilidade hídrica do solo (Gil & Pszczólkowski, 2007).

2.3 Relações hídricas e trocas gasosas em videira sob cultivo protegido

Segundo Back & Bruna (2009), a irrigação da videira é utilizada em várias regiões do mundo, principalmente em cultivares de mesa. Em climas áridos e semiáridos, a irrigação se torna a principal fonte de água para a cultura, enquanto em climas tropical e subtropical ela pode ser utilizada de forma complementar à precipitação pluvial. Nestas últimas condições a irrigação, por si só, não garante a produção, pois os períodos com excesso de precipitação também afetam a qualidade do produto.

A condição hídrica da videira é um importante fator para definição da qualidade da uva produzida (Choné, 2001). Contudo, a bibliografia apresenta dados contraditórios sobre os efeitos do estresse hídrico e da irrigação sobre a composição da baga. Van Leeuwen & Seguin (1994) relataram que déficits hídricos estão associados às altas concentrações de sólidos solúveis totais e polifenóis totais, enquanto Williams & Matthews (1990) enfatizaram que o acúmulo de açúcares nas bagas é menos afetado pelo estresse hídrico que o crescimento vegetativo da planta. Segundo Brown & Sluggett (2000), o estresse severo, além de reduzir as taxas fotossintéticas, antecipa a senescência e a queda precoce das folhas, reduzindo a disponibilidade de fotoassimilados às bagas e, portanto, o acúmulo de açúcares nas mesmas.

A água de hidratação representa apenas 5 a 10% de toda a água da célula. No entanto, esta quantidade é absolutamente necessária e uma pequena redução da quantidade de água de hidratação é suficiente para causar sérias injúrias na estrutura do

protoplasma (Larcher, 2004). A disponibilidade hídrica exerce influência direta sobre o volume celular, e por consequência, sobre o tamanho dos tecidos. A expansão celular relativa, segundo a equação de Lockhart (Cosgrove, 1998), depende de um coeficiente de expansibilidade volumétrica (m) e da diferença entre o potencial de turgescência (Ψ_p) e o potencial de turgescência para a sessão mínima (Y) ($Dv/Vdt = m (\Psi_p - Y)$). Desta forma, o crescimento das brotações, folhas e bagas é extremamente sensível à condição hídrica da videira. Segundo Gil & Pszczólkowski, (2007), sob condições de cultivo a céu aberto, o crescimento celular máximo ocorre somente em condições de plena disponibilidade hídrica, geralmente, quando o solo se encontra na capacidade de campo ($\Psi \leq -0,03$ MPa) ou quando o potencial da água foliar for inferior a $-0,7$ Mpa. Segundo Chavarria *et al.* (2008), a cobertura plástica não afeta o potencial da água na folha, porém reduz a demanda evaporativa diária. Por reduzir a radiação solar incidente na cultura, a cobertura atua neste sentido, reduzindo a demanda evaporativa e, por consequência, a demanda hídrica da cultura (Barradas *et al.*, 2005).

Produção em cultivo protegido apresenta alta eficiência de uso da água, o que explica a rápida expansão deste tipo de cultivo no mundo e, principalmente, na região Mediterrânea e em regiões com escassez de recursos hídricos. Sem dúvida, a produção comercial hortícola protegida é assegurada, entre outros, pelo suprimento não limitado de água. Em ambiente com ventilação reduzida, o fechamento estomático também é minimizado; uma defesa contra a perda de água, que em condições de campo, torna-se mais importante (Stanghellini, 1993). Com isso, esta tecnologia apresenta-se como um atenuante para estresses hídricos, favorecendo a condutância estomática e, conseqüentemente, a fixação de carbono nas videiras.

As plantas terrestres, e em particular a videira, enfrentam demandas hídricas opostas no sistema solo-planta-atmosfera. Em uma das extremidades do sistema, a

atmosfera se encontra distante da saturação de água, enquanto que na extremidade oposta (o solo), a disponibilidade hídrica pode atingir a saturação, sendo regulada pelas frequências de reposição hídrica (chuva ou irrigação). Para ajustar o balanço hídrico entre esses contrastes de potencial da água (solo↔atmosfera), as plantas precisam controlar os pontos de perda de água para atingir um equilíbrio hídrico favorável ao crescimento e ao desenvolvimento. Um dos principais pontos de controle hídrico nas plantas são os estômatos. Estas aberturas foliares apresentam-se como a porta de entrada para O₂ e CO₂, que são essenciais nos processos de respiração e fotossíntese, ao mesmo tempo que são as principais aberturas para difusão de vapor de água da planta para a atmosfera (Taiz & Zeiger, 2004). Neste cenário, as plantas estão em constante dilema: fotossintetizar e perder água ou diminuir a transpiração em detrimento de um menor processo fotossintético (Streck, 2003). São vários os fatores externos que determinam a abertura estomática, tais como a intensidade e qualidade luminosa, concentração de CO₂, temperatura foliar, disponibilidade hídrica, déficit de pressão de vapor, entre outros (Larcher, 2004), os quais podem ser alterados pela cobertura plástica associada a níveis de estresse hídrico aplicado, modulando a regulação temporal da abertura estomática.

Alguns aspectos da interferência que a cobertura plástica exerce no microclima da videira já foram descritos (Cardoso, 2008, Chavarria, 2008), assim como trabalhos preliminares sobre o efeito da cobertura no incremento da qualidade e produção (Santos, 2005). Nestes trabalhos, fica evidente que as condições microclimáticas impostas pelas coberturas plásticas, principalmente a restrição na velocidade do vento, favorecem uma maior abertura estomática em relação ao sistema convencional de cultivo. Com isso, o cultivo protegido pode favorecer o ingresso de CO₂ em videiras, mantendo uma restrição na perda de água para atmosfera e, conseqüentemente, elevando a eficiência do

uso da água. Apesar destes avanços, ainda há carência de trabalhos que relacionem em conjunto as condições microclimáticas de vinhedos cobertos com os efeitos de diferentes contrastes de restrições hídricas sobre o comportamento fisiológico e produtivo da videira (Chavarria *et al.* 2009c). Estes trabalhos são essenciais para a definição de um manejo adequado da planta e da irrigação neste sistema de cultivo.

2.4 Crescimento vegetativo e produtivo da videira em relação à disponibilidade hídrica

A videira é uma espécie que apresenta uma grande capacidade de adaptação a estresses hídricos, contudo, possui uma grande capacidade de resposta aos aportes hídricos aplicados (Carbonneau, 1998). Um alto conteúdo de água no solo, próximo da capacidade de campo, em um sistema convencional de cultivo, apresenta efeitos opostos aos originados pelo déficit hídrico, tanto em crescimento como em rendimento da videira (Ojeda *et al.*, 2004). Conseqüentemente, vinhedos mantidos sob uma alta disponibilidade hídrica são caracterizados por possuírem sarmentos vigorosos, brotações secundárias em maior quantidade, cachos de tamanho grande e com mais bagas por cacho, assim como bagas de maior calibre (Gil & Pszczólkowski, 2007). Segundo Grimes & Williams (1990), o rendimento da videira responde a uma relação linear proporcional ao aumento da ET_c do vinhedo, quando tratadas com reposição hídrica entre 40 e 100% da evapotranspiração da cultura.

Bravdo & Proebsting (1993) e Kramer & Boyer (1995) comentaram que a disponibilidade de água no solo depende da velocidade com que as raízes podem absorver a água em relação à demanda da planta. A demanda hídrica da planta depende, principalmente, da taxa de transpiração (E), apresentando grandes variações, dependendo da planta e das condições atmosféricas. A aplicação de água à planta é

função da densidade e do comprimento das raízes, da eficiência das raízes como superfície absorvente (condutividade hidráulica) e da condutividade hidráulica do solo, que varia segundo o tipo de solo e da distribuição e conteúdo de água armazenado.

Cardoso *et al.* (2008) e Mota *et al.* (2009) constataram que, sob cobertura plástica (aberta nas entrelinhas), ocorre restrição hídrica superficial (0-10 cm) no solo nas linhas de cultivo da videira. Em contrapartida, há um aumento na disponibilidade hídrica nas entrelinhas, em períodos de grande precipitação pluviométrica, ocasionando a recuperação posterior do potencial da água do solo em horizontes mais profundos (>20 cm) na linha de cultivo. Em outras palavras, a cobertura plástica apenas nas faixas de cultivo da videira interferem somente na distribuição da água das chuvas sobre a área, sem restringir o volume. Dependendo das características físicas do solo e do relevo da área, essa distribuição pode ser mais uniforme ou ficar concentrada apenas nos espaços de entrelinha, restringindo drasticamente a disponibilidade hídrica superficial na linha de cultivo. Em função disso, em áreas cobertas não há necessidade de controle de plantas de cobertura na linha de cultivo e não é recomendada a instalação de coberturas sem a formação da planta e o pleno desenvolvimento do sistema radicial (Chavarria *et al.*, 2009b).

A videira, quando em condições crescentes de limitação hídrica, irá apresentar inicialmente uma restrição no crescimento vegetativo, representado pela paralisação do crescimento apical e da emissão de novos sarmentos e folhas (Kasimatis, 1967; Garcia, 2001; Larcher, 2004). Essa restrição no crescimento ocorre em limites de disponibilidade hídrica do solo mais elevados do que os limites que comprometem a função foliar, representados pela condutância estomática e fotossíntese (Ojeda *et al.*, 2004). Em função disso, Becker & Zimmermann (1984) salientaram que os estádios de desenvolvimento fenológico entre floração e virada de cor são os mais suscetíveis ao

déficit hídrico, considerando que o período fenológico onde a videira apresenta a maior taxa de crescimento vegetativo do ciclo e a diferenciação de gemas e do potencial produtivo do ciclo seguinte. Portanto, em situações de déficit hídrico severo as gemas em formação apresentam tamanho reduzido, em comparação àquelas desenvolvidas em condições hídricas normais, afetando a fertilidade e o crescimento das brotações no ano seguinte (Gil & Pszczólkowski, 2007).

Estresses hídricos intensos em estádios fenológicos entre pós-virada de cor e maturação plena das bagas podem reduzir significativamente a área foliar do dossel vegetativo devido à senescência precoce (Bartolomé, 1993). Neste período, a condição de estresse prioriza o dreno de fotoassimilados para as bagas, em detrimento do acúmulo de reservas para o ciclo seguinte, comprometendo o vigor vegetativo das safras seguintes (Gil & Pszczólkowski, 2007).

De acordo com Ferreyra *et al.* (2003), o limite mínimo de potencial matricial do solo em que não ocorre comprometimento no desenvolvimento vegetativo:produtivo é de -10 kPa. Além disso, esses autores salientam que a manutenção do potencial matricial do solo entre -10 kPa e -20 kPa é preconizada durante todo o ciclo vegetativo:produtivo, pelo fato de restringir o crescimento vegetativo e proporcionar um aumento no acúmulo de açúcares e polifenóis, sem alterar a produtividade do vinhedo. Apesar da importância destas referências para o manejo hídrico, esses valores foram desenvolvidos para o cultivo convencional e para videiras destinadas ao processamento de vinhos finos tranquilos em solos arenosos. No caso de cultivos de uva de mesa, as recomendações de potencial da água no solo são principalmente para as regiões de clima tropical, com altas demandas e onde a manutenção da disponibilidade hídrica é preconizada próxima à capacidade de campo, como -6 kPa e -20 kPa, para suportar a demanda evaporativa atmosférica (Conceição, 2003). Portanto, não há nenhum

referencial técnico para estabelecer um manejo hídrico adequado em cultivos protegidos de videira, mantendo um crescimento vegetativo equilibrado e sem comprometimentos de produção e de custos operacionais.

A floração, período crítico à produtividade, é bastante influenciada pelas variações de temperatura e aporte hídrico, o que determina a data de floração, germinação do pólen, crescimento do tubo polínico e a fertilidade do óvulo (Taiz & Zeiger, 2004).

O crescimento vegetativo excessivo, carência de elementos minerais, como o boro, e a nebulosidade em excesso podem afetar o processo de iniciação floral, o qual definirá o número e o tamanho das inflorescências. Por conseguinte, afetará o potencial produtivo (López-Miranda, 2002). Em geral, técnicas de manejo que estimulem o excesso de vigor reduzem a fertilidade das gemas (Winkler *et al.*, 1974) e a frutificação efetiva, sobretudo, se este excesso de vigor ocorrer no período de floração (Huglin & Schneider, 1998).

A disponibilidade de reservas favorece a fertilidade das gemas e esta correlação positiva já foi descrita por diversos autores (Huglin & Schneider, 1998; López-Miranda, 2002). Sommer *et al.* (2000) observaram que a curva de conteúdo de amido em varas de videira era paralela à curva de fertilidade, expressa pelo número de cachos. Desta maneira, torna-se oportuno o controle da exposição solar do dossel vegetativo, assim como o estabelecimento de um aporte hídrico satisfatório que favoreça a fotossíntese e, conseqüentemente, o acúmulo de reservas, o que pode assegurar uma produção sustentável (Keller *et al.*, 2001). Taxas fotossintéticas mais elevadas podem produzir cachos com um maior número de bagas devido a uma maior frutificação efetiva (Peláez *et al.*, 1999).

Sob situações de estresse hídrico o tamanho da baga, o índice de pegamento de bagas e o rendimento são reduzidos. Dependendo do estágio de desenvolvimento da videira em que este déficit for proporcionado, a fertilidade das gemas pode ser afetada (Williams y Matthews, 1990).

Segundo Smart & Coombe (1983) o estresse hídrico aplicado durante a fase I de desenvolvimento da baga reduz, significativamente, o tamanho final da baga quando comparado às fases II e III. De acordo com Williams *et al.* (1990), a redução no tamanho das bagas é irreversível, mesmo com aporte suplementar nas fases II e III (Kennedy, 2002).

Teixeira & Lima Filho (1997) comentaram que, para uma boa produtividade da cultura da videira, é recomendável que o desenvolvimento vegetativo da planta ocorra sob condições de déficit hídrico e que as necessidades hídricas da cada etapa fenológica sejam satisfeitas através da irrigação.

Estudos detalhados das alterações que os níveis de déficit hídrico, sob o cultivo protegido, podem exercer sobre o desenvolvimento das plantas são de grande relevância, considerando que todas essas mudanças influenciam o desenvolvimento fisiológico e, por conseguinte, afetam o rendimento, quando do emprego destas tecnologias. Os produtos assimilados nos tecidos fotossinteticamente ativos ou “fontes” são transportados continuamente para outros locais, onde serão consumidos ou armazenados como zonas de crescimento ou tecidos de deposição, como sementes e frutos, que são determinados como “drenos” (Larcher, 2004).

O processo de maturação é de extrema importância na qualidade da uva produzida, pois neste período fenológico o cacho é o dreno de fotoassimilados mais forte na translocação de fotossintatos às bagas. Entretanto, sob condições de déficits hídricos acentuados durante todos os estágios fenológicos da videira, incluindo o

período de maturação das bagas, podem ocorrer injúrias e danos fisiológicos, os quais poderão interferir na composição físico-química das bagas (Conde *et al.*, 2007).

Tanto a deficiência hídrica como a nutrição mineral insuficiente ou uma adubação desbalanceada provocam redução no rendimento. Não compete somente ao ganho de CO₂ o incremento da biomassa, mas também ao controle hormonal da partição dos fotoassimilados e ao padrão específico de crescimento da planta (Larcher, 2004).

Segundo Williams & Matthews (1990), o acúmulo de açúcares nas bagas é menos afetado, quando comparado ao crescimento vegetativo sob estresses moderados. Contudo, sob estresses hídricos severos, ao afetar as funções foliares, reduzindo as taxas fotossintéticas, e até originar senescência e queda precoce das folhas, reduz-se a disponibilidade de fotoassimilados às bagas, assim como o acúmulo de açúcares nas mesmas (Brown & Sluggett, 2000; Ojeda, 2004).

O excesso hídrico no solo, próximo ao período de colheita, pode ser um fator de diluição dos solutos componentes das bagas, tais como açúcares, ácidos, antocianinas e taninos, e em determinadas ocasiões, inclusive, chegando até ao rompimento das bagas (Keller, 2005; Keller *et al.*, 2006).

Diante disto, constata-se a importância da caracterização dos efeitos do déficit hídrico sob cultivo protegido sobre o potencial produtivo da videira, com o propósito de subsidiar a análise da sustentabilidade e do manejo destas tecnologias na vitivinicultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condições experimentais

3.1.1 Local

O experimento foi realizado durante os ciclos de 2009/10 e 2010/11 em um vinhedo comercial localizado no Vale dos Vinhedos, no município de Bento Gonçalves, região ecoclimática do Planalto Superior Serra do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (latitude 29°12'S, longitude 51°32'W e altitude aproximada de 660m).

O clima da região é classificado como temperado, do tipo fundamental Cfb (subtropical úmido de verões amenos), de acordo com a classificação de Köppen (1936). Janeiro e fevereiro são os meses mais quentes, com temperatura média máxima do ar 22,9°C. Junho e julho são os meses mais frios, quando a temperatura média máxima do ar se aproxima de 12,9°C, e a média mínima destes meses alcança 9°C. Apresenta chuvas distribuídas ao longo de todos os meses do ano, com total anual médio de 1736 mm, sendo a precipitação média acumulada durante o ciclo vegetativo:reprodutivo da videira de 1146 mm (EMBRAPA, 2010).

Foram utilizadas plantas de *Vitis vinifera* L. cv. Itália, com seis anos de idade, enxertadas sobre o porta-enxerto '420A' e espaçadas a 1,8 m entre plantas e 3,0 m. As filas de plantas eram orientadas de modo transversal à declividade do terreno (5 %), na direção norte-sul, sendo a condução em sistema latada descontínua com poda mista,

deixando-se quatro varas com 5 gemas e 12 esporões com 2 gemas por planta, num total aproximado de 93 mil gemas por hectare.

3.1.2 Cobertura plástica

Para a cobertura do vinhedo foram utilizadas lonas plásticas de polipropileno (PP) trançado, transparente, impermeabilizado com polietileno de baixa densidade (PEBD - 160 μm), com aditivo anti-UV e antigotejo. Essas coberturas foram instaladas sobre arcos de PVC (0,75 m altura, 2,4 m largura (Figura 1)), distanciados a cada três metros ao longo das linhas de plantio, com espaço de 40 cm nas entrelinhas, conferindo às plantas o efeito “guarda-chuva” (Figura 1). Com o intuito de evitar o ingresso de água via precipitação e controlar o fornecimento de água para as plantas foram instaladas, no intervalo das entrelinhas, calhas plásticas (mesmo material das coberturas) de 80 cm de largura ao longo do comprimento das entrelinhas de plantio (Figura 1). Essas calhas foram instaladas ao longo de todas as parcelas experimentais, para evitar água por escoamento superficial. Desta forma, toda a água de chuva foi drenada para fora da área experimental.

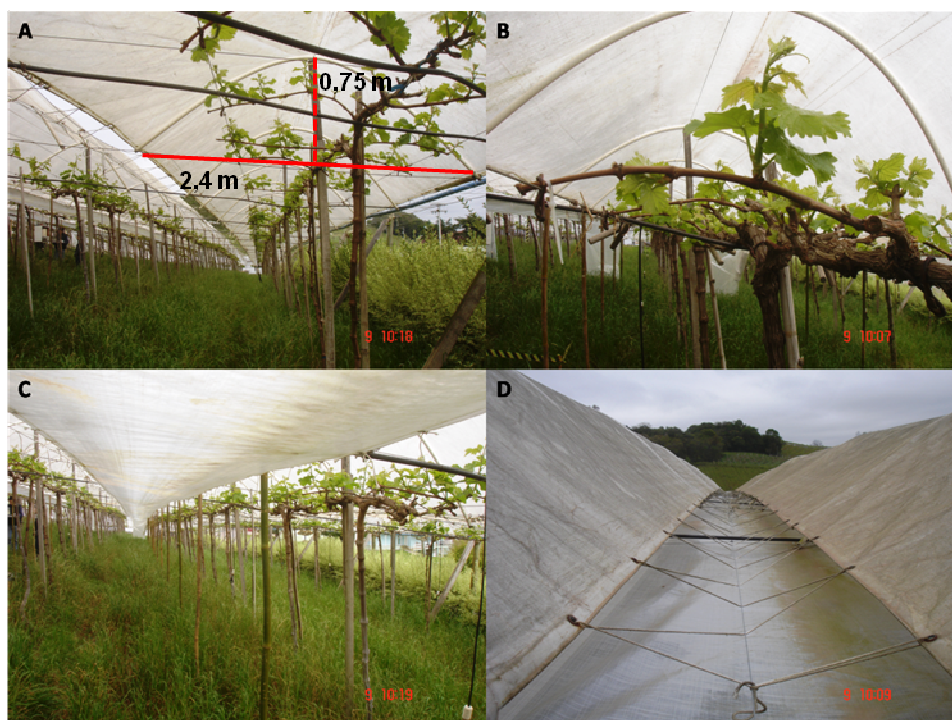


FIGURA 1. Vinhedo no estágio fenológico 15 (Lorenz *et al.*,1995), sob cobertura plástica impermeável sobre as linhas de cultivo (A e B), estrutura e dimensionamento dos arcos de PVC (A e B) e detalhe da calha de plástico que foi instalada na entrelinha para promover a restrição hídrica pluvial total na área experimental, vista inferior (C) e vista superior (D). Bento Gonçalves, RS. 2009.

3.1.3 Caracterização da cultivar

A cultivar Itália (*Vitis vinifera* L.) foi denominada por Alberto Pirovano, em 1927, e foi originada do cruzamento entre as cultivares Bicane e Moscatel de Hamburgo, realizado em 1911 e, originalmente identificado como Pirovano 65 (Souza, 2002). Esta cultivar também é chamada ‘Ideal’ e ‘Muscat Itália’ na França e ‘Nestor’ no Egito. No Chile e no Peru, a denominação ‘Itália’ é erroneamente empregada para designar a cv. Moscatel de Alexandria. Na Argentina, ‘Itália’ é alcunha injustificada da ‘Criolla Grande’, cujas bagas, róseo-violáceas, com sulco na base, impedem semelhante confusão (Souza, 2002).

Atualmente a produção da ‘Itália’ se concentra no Vale do São Francisco e nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, nesta ordem de

importância por volume de produção, que abastecem o mercado interno, além de exportarem quantidades significativas (Souza, 2002).

No aspecto fitotécnico, é recomendada a sua condução em sistema latada, por ser uma planta vigorosa e de constante produtividade, porém apresenta baixa resistência às pragas e moléstias. Apresenta folhas médias a grandes, pentalobadas, orbiculares, com seio peciolar em lira estreita, às vezes fechada e página abaxial com indumento aranhoso. Cachos grandes a muito grandes, cilindro-cônicos, por vezes alados, compactos e, por isso, exigem intenso desbaste de bagas. Bagas grandes, ovaladas (elipsóides), de coloração branco-dourada, textura trincante e tênue sabor moscatado. Apresentam grande resistência ao transporte e ao armazenamento (Souza, 2002).

Comporta-se bem quando enxertada sobre, 101-14 Mgt, Ripária do Traviú e Kobber 5BB. Atualmente, os porta-enxertos mais recomendados e adotados pelos viticultores são: 420 A, Campinas, Tropical e Jales (Souza, 2002).

3.2 Caracterização e descrição do solo

Antes da instalação do experimento no vinhedo, em maio de 2009, foram abertas duas trincheiras (Figura 2) e coletadas amostras de solo no terço médio da declividade da área com auxílio de anéis volumétricos. Toda a área apresentava-se sob cobertura plástica, mesmo no período hibernar, com cobertura de solo com 2 Mg MS ha⁻¹ de azevém (*Lolium multiflorum*). Com base na análise dos horizontes e das amostras a determinação das frações granulométricas seguiu as classes (Tabela 1) sugeridas por Santos et al. (2005). Na fração fina determinou-se a composição granulométrica, após dispersão das amostras com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação mecânica em agitador horizontal por 240 minutos. Após a agitação, as amostras foram passadas em peneira de 0,053 mm. A fração que permaneceu na peneira foi transferida para outro recipiente,

secada e quantificada, correspondendo à fração areia. O conteúdo que passou pela peneira foi transferido para proveta de 1000 mL e a fração argila foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). O silte foi obtido por diferença entre os teores de areia total e argila. O solo foi classificado como um argissolo Bruno acinzentado alítico abrupto, com horizonte A moderado de textura média/argilosa com 0,82 % silte % argila⁻¹ (Tabela 1) e fase relevo suave ondulado com formação geológica saprólito de basalto e ausência de pedregosidade, rochosidade, erosão e drenagem moderada (EMBRAPA, 1999).



FIGURA 2. Amostragem com anéis volumétricos para classificação do solo e seus horizontes BA (A), Bt (B) e Ap (C) segundo características morfológicas e ajuste da curva característica de água no solo da área experimental. Bento Gonçalves, RS. 2009.

TABELA 1. Caracterização analítica do solo da área experimental. Bento Gonçalves, RS. 2009.

Horizonte	Composição granulométrica da terra fina (g kg ⁻¹)				Argila dispersa em água (g kg ⁻¹)	% Silte % argila ⁻¹
	Símbolo	Areia grossa (2-0,2 mm)	Areia fina (0,20-0,05 mm)	Silte (0,05-0,002 mm)		
Ap	270	140	230	360	230	0,64
BA	260	140	270	360	310	0,82
Bt	270	140	270	370	310	0,84

3.2.1 Descrição Morfológica dos Horizontes

Os horizontes foram caracterizados segundo sua morfologia e subdivididos de acordo com a profundidade (Figura 3). Da superfície até 10 cm de profundidade, o horizonte foi classificado como A podzólico bruno avermelhado escuro, franco argiloso, ligeiramente duro, firme, de transição plana e clara. Entre 10 e 40 cm, foi classificado como BA bruno avermelhado, argiloso, duro, firme de transição plana e clara. Entre 40 e 75 cm, encontrou-se um B textural (Bt) vermelho amarelado, argiloso, extremamente duro, firme, de transição plana e clara. Na profundidade de 75 a 150 cm, encontrou-se o horizonte BC de basalto intemperizado, argilo arenoso. Para as condições experimentais, foram considerados apenas os horizontes A+BA e Bt, nos quais foi encontrado mais de 90% do sistema radical das videiras, na camada entre 10 e 75 cm.

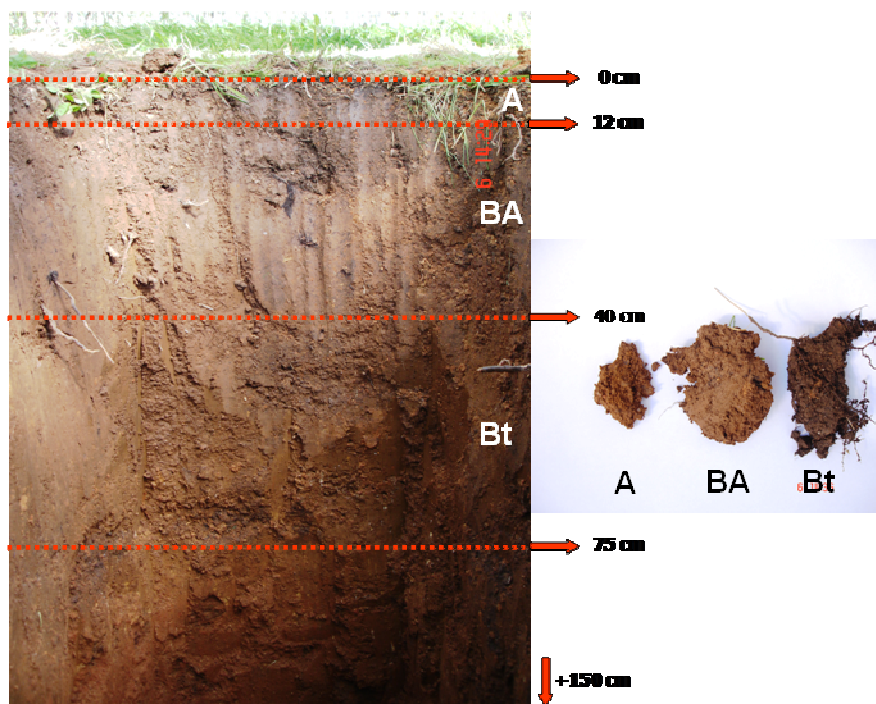


FIGURA 3. Trincheira aberta para a classificação física e morfológica indicando os diferentes perfis de solo e suas profundidades. Detalhe da diferença visual (cor) entre as diferentes profundidades avaliadas. Bento Gonçalves, RS. 2009.

3.2.2 Curva de retenção de água no solo

Nas duas trincheiras escavadas na área experimental foram coletadas três amostras indeformadas de solo, provenientes dos diferentes horizontes, com cilindros de 5 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura. As amostras foram conduzidas ao Laboratório de Solos da Embrapa Clima Temperado, saturadas com água destilada e submetidas às tensões de 0 kPa a -1500 kPa, tendo como base a água retida na capacidade de campo, a uma tensão de -33 kPa e no ponto de murcha permanente a -1500 kPa em câmara de Richards (Klute, 1986). O potencial matricial do solo de -33 kPa aparece com frequência na literatura e refere-se a solos típicos de regiões de climas temperados e com argilas de maior atividade, presentes na área experimental. Segundo Ruiz *et al.* (2003), em solos com alta concentração de argilas a capacidade de campo ocorrerá em

potenciais mais negativos que -33 kPa, visto que existe uma relação direta entre o potencial matricial e o conteúdo de água do solo.

Os dados de tensão e sua respectiva umidade volumétrica do solo foram submetidos à análise de regressão não linear, utilizando o programa R (R, 2007), cujas curvas características de água para cada horizonte e suas respectivas equações exponenciais podem ser visualizadas na Figura 4.

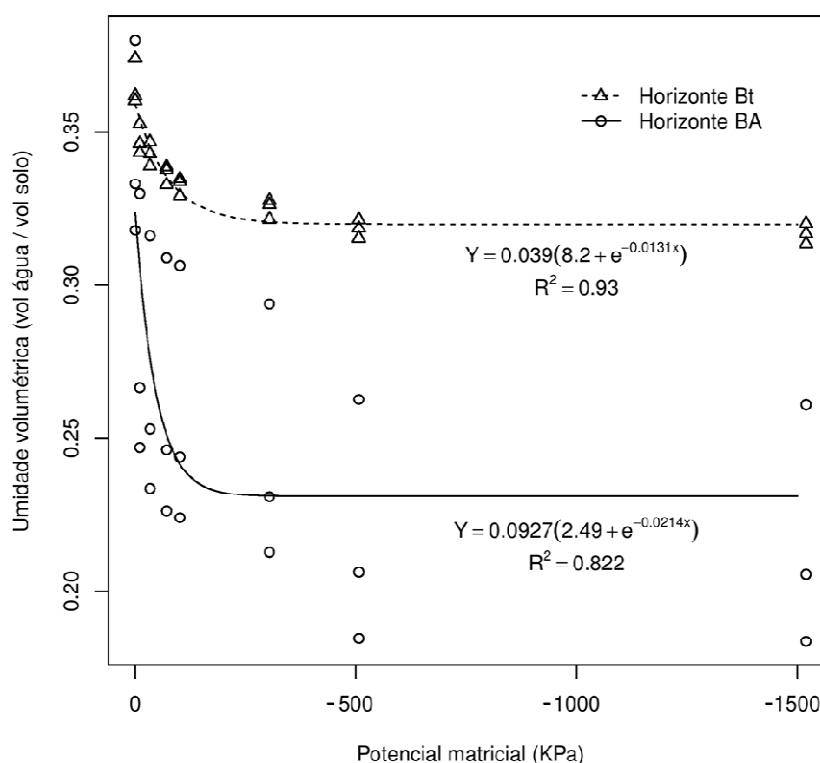


FIGURA 4. Curva ajustada da correlação entre o potencial matricial do solo (kPa) e a umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) dos horizontes BA e Bt no solo do vinhedo experimental. Bento Gonçalves, RS. 2009.

De acordo com as curvas ajustadas de retenção de água, as tensões equivalentes à capacidade de campo (-33 kPa) e ao ponto de murcha permanente (-1500 kPa) corresponderam às umidades volumétricas de $0,277$ e $0,234 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente para o perfil BA, e $0,345$ e $0,318 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente para o perfil Bt (Figura 4).

Obtendo-se os valores de capacidade de campo (θ_{cc}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), assim como a profundidade (Z) dos horizontes avaliados no experimento, pôde-se calcular a capacidade de água disponível (CAD , mm):

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot Z \quad (1)$$

3.3 Definição dos tratamentos de restrição hídrica

Os tratamentos e a frequência de irrigação foram determinados segundo a capacidade de água disponível (CAD) nos horizontes BA (17,2 mm) e Bt (9,45 mm). O tratamento controle (TC), foi definido mantendo a umidade dos horizontes avaliados próxima à capacidade de campo (-33,34 KPa) com umidade volumétrica de $0,277 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (27,7%) para o horizonte BA e umidade volumétrica de $0,345 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (34,5%) no horizonte Bt com 100% de CAD.

O conteúdo de água no solo foi monitorado pela técnica TDR (Time Domain Reflectometry). A técnica TDR utiliza a correlação existente entre o tempo de trânsito de uma onda eletromagnética introduzida ao solo, a constante dielétrica do mesmo e seu conteúdo volumétrico de umidade (Cassel et al, 1994), sendo a constante dielétrica do solo a propriedade que determina o tempo de trânsito.

Para a calibração das sondas TDR, a densidade do solo foi determinada utilizando-se amostras indeformadas de solo coletadas com anel volumétrico, de acordo com a metodologia descrita por EMBRAPA (1997). O cálculo da densidade foi realizado da seguinte forma:

$$Ds = M_{ss}/V_c \quad (2)$$

sendo Ds (g cm^{-3}) a densidade do solo, M_{ss} (g) a massa de solo seco em estufa a 105°C e V_c (cm^3) o volume do cilindro

Também em maio de 2009, foram coletadas amostras deformadas de solo da área experimental as quais foram secas, destorroadas e peneiradas (peneira com malha de 2 mm) obtendo-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) para realização da calibração dos sensores TDR. Na calibração do equipamento a TFSA foi adicionada em três baldes plásticos. A massa de TFSA adicionada foi calculada para que as amostras de solo nos baldes atingissem a mesma densidade do solo coletado “em situ”, compactando-se o solo manualmente até este atingir a densidade de $1,31 \text{ g cm}^{-3}$. onde foram instalados dois sensores por balde.

Durante o processo de calibração do equipamento, para aumentar gradativamente a umidade do solo no intervalo entre uma medida e outra, desde o solo seco até a sua saturação, adicionou-se uma quantidade diária de água de 460 ml. Para a determinação da variação diária da umidade, foram retiradas amostras de solo úmido e colocadas para secar em estufa a 105°C até peso constante. Em seguida foi determinada a umidade gravimétrica que foi transformada em umidade volumétrica multiplicando-se a umidade gravimétrica pela densidade do solo. Anteriormente à coleta das amostras de solo registrava-se o horário e os sensores eram retirados, para que depois se pudesse fazer a relação com a última leitura do sensor antes da coleta. Após a amostragem, o solo de cada balde era colocado em uma lona para então acrescentar o volume diário de água, sendo acrescentada uma quantidade de solo para repor o solo retirado. Em seguida realizava-se a homogeneização do solo, recolocando-o nos baldes de modo a manter os mesmos 31 cm de altura e evitar alterações na densidade; e recolocados os sensores para o prosseguimento das leituras. Após a manipulação do solo, os baldes foram cobertos com plástico preto para evitar a transferência de água das amostras para a atmosfera pelo processo de evaporação.

Após a calibração, os sensores TDR, marca Campbell®, modelo WCR CS616, foram instalados em trincheiras distantes 50 cm das plantas em direção à entrelinha de plantio e mediram a umidade do solo nos horizontes BA e Bt a 30 cm e 50 cm de profundidade respectivamente. Todos os sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados, *datalogger* CR10 Campbell®, provido de um multiplexador (AM 416 de 40 canais) e módulos de memória, com leituras programadas em intervalos de 30 segundos e as umidades médias armazenadas a cada 30 minutos.

As doses de rega e frequência de irrigação, de modo a estabelecer diferentes níveis de restrição hídrica à videira, foram definidas de acordo com o consumo hídrico da planta no processo de evapotranspiração, o qual reduzia a umidade do solo em relação à capacidade de campo (tratamento controle), alterando a CAD. Contudo, a média do potencial matricial do solo foi mantida para ambos os horizontes. O limite mínimo da umidade volumétrica para o tratamento 1 (T1) foi definido em $0,270 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (27%) para o horizonte BA e $0,342 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (34,2%) no Bt, quando a capacidade de água disponível era reduzida a 83%, alcançando um potencial matricial médio de -42,12 kPa. Em T2, a CAD foi reduzida a 53%, com umidades volumétricas limites mínimas de $0,250 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (25%) no BA e $0,334 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (33,4%) no horizonte Bt e um potencial matricial médio de -76,28 KPa. A capacidade de água disponível em T3 foi reduzida a 30%, mantendo como limites mínimos as umidades volumétricas de $0,244 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (24,4%) para o horizonte BA e $0,328 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (32,8) no Bt e um potencial matricial médio de -94,32 KPa.

Quando o limite mínimo da umidade volumétrica no horizonte era alcançado, segundo as condições definidas para cada um dos tratamentos, iniciava-se a irrigação, com tempos e volumes calculados para atingir novamente a umidade volumétrica referente à capacidade de campo em ambos os horizontes. Os tratamentos de rega foram

aplicados mediante um sistema de irrigação localizada, com microaspersores de 30 L h^{-1} de vazão a uma razão de $0,6 \text{ aspersores planta}^{-1}$ situados a $0,8 \text{ m}$ de altura, de modo a irrigar a área total da linha de plantio com uma sobreposição de 40%.

Foram utilizadas quatro filas do vinhedo e os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente em cada fila, compondo um delineamento em blocos casualizados com quatro blocos. A parcela experimental de cada tratamento de irrigação, nos respectivos blocos, foi composta por quatro plantas, sendo a planta de cada extremidade considerada como bordadura (Figura 5).

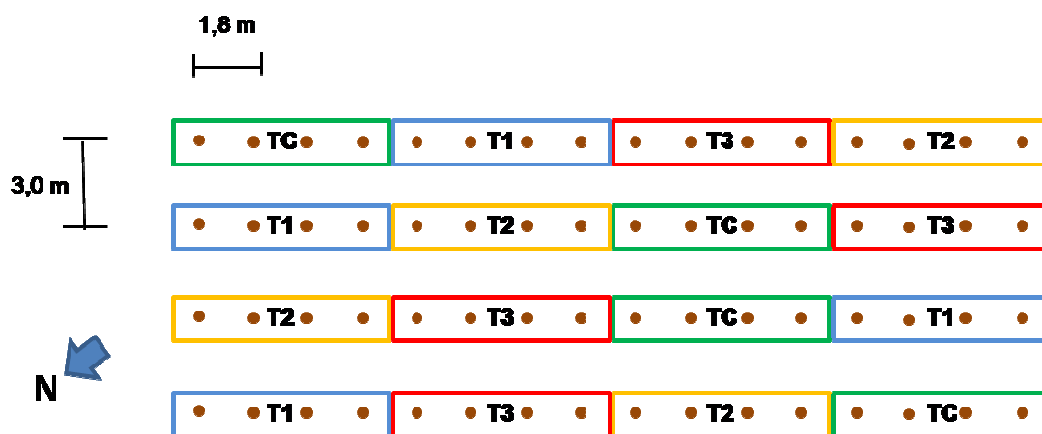


FIGURA 5. Croqui da área experimental, pontos representam as plantas de videira com seus respectivos espaçamentos e tratamentos de restrição hídrica nos retângulos.

3.4 Caracterização mesoclimática e microclimática do vinhedo sob cobertura

No ciclo 2009/10 o monitoramento micrometeorológico foi avaliado na área com cobertura plástica, na altura do dossel vegetativo. Nesta análise foi medida a temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR), com psicrômetros de pares termoelétricos cobre-constantan; velocidade do vento (U_2), com anemômetro de pulso elétrico; e radiação fotossinteticamente ativa (RFA , $400\text{-}700 \text{ nm}$), com barras de $1,20 \text{ m}$ equipadas com cinco células fotovoltaicas ligadas em série. Todos os sensores da área

experimental foram conectados a sistemas automáticos de aquisição dos dados *datalogger* CR10, Campbell[®], programados para efetuar leituras a cada 30 segundos e as médias armazenadas a cada 30 minutos.

Em um local próximo da área experimental (200 metros ao sul), fora da área coberta do vinhedo, instalou-se uma estação meteorológica automática Campbell[®], para avaliar as condições meteorológicas em nível de mesoescala, onde foram obtidos dados de T, UR e pluviometria.

A partir dos dados de temperatura do ar, calculou-se umidade relativa (*UR*), umidade absoluta (*UA*) e déficit de saturação do ar (*DS*), de acordo com as seguintes equações (Ometto, 1981):

$$UR = \left(\frac{e}{es}\right) \cdot 100 \quad (3)$$

$$UA = 289 \cdot \left(\frac{e}{273 + t_s}\right) \quad (4)$$

$$DS = es - e \quad (5)$$

$$es = 4,58 \cdot 10 \exp\left(\frac{7,5t_s}{237,5 + t_s}\right) \quad (6)$$

$$e = es_u - 0,6 \cdot t_s - t_u \quad (7)$$

$$es_u = 4,58 \cdot 10 \exp\left(\frac{7,5t_u}{237,5 + t_u}\right) \quad (8)$$

sendo *UR* (%) a umidade relativa do ar, *e* (mm Hg) a pressão real de vapor d'água, *es* (mm Hg) a pressão de saturação de vapor d'água, *UA* (g m⁻³) a umidade absoluta do ar, *DS* (mm Hg) o déficit de saturação do ar ou déficit de pressão de vapor (*DPV*), *t_s* (°C)

temperatura do ar medida pelo sensor seco do psicrômetro e t_u (°C) temperatura do ar medida pelo sensor úmido do psicrômetro.

3.5 Cálculos da evapotranspiração e coeficientes de cultura

3.5.1 Evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência (ET_o) diária foi calculada com dados da estação meteorológica da Embrapa Uva e Vinho (latitude 29°09'S, longitude 51°31'W e altitude de 630m). Foi utilizado o método de Penman-Montheith parametrizado pela FAO (Allen *et al*, 1998), de acordo com as seguintes funções:

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \left[\frac{\gamma \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{T + 273} \right]}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (9)$$

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \cdot \exp \left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3} \right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (10)$$

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot P_{atm} \quad (11)$$

$$P_{atm} = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot z}{293} \right)^{5,26} \quad (12)$$

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3} \right] \quad (13)$$

$$e_a = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (14)$$

sendo Δ a declividade da curva de pressão de vapor em função da temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), Rn o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), G o fluxo total diário de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), γ o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), U_2 a velocidade do vento a 2m acima do solo (m s^{-1}), e_s a pressão de saturação de vapor d'água (kPa), e_a a pressão real

de vapor (kPa), T a temperatura média do ar na altura do dossel de cada tratamento ($^{\circ}\text{C}$), P_{atm} a pressão atmosférica local (kPa) e z a altitude local (m).

Para a estimativa do saldo de radiação (Rn) foi utilizada a equação 15, parametrizada por Bergamaschi *et al.* (2003) para superfície gramada, e convertida para valores de Rg e Rn em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, obtidos na estação meteorológica automática da Embrapa Uva e Vinho.

$$Rn = -0,788 + 0,69 Rg \quad (15)$$

O fluxo de calor no solo (G) foi desconsiderado na Equação de cálculo da evapotranspiração de referência por não ter sido monitorado no local do experimento e por considerar que, no decurso de 24h a resultante dos fluxos de entrada e saída no perfil do solo se aproxima de zero. Assim sendo, a ausência dessa variável não deverá alterar significativamente a estimativa de ET_o , até porque o fluxo de calor no solo representa uma pequena fração do balanço de energia de um dia (24 horas).

3.5.2 Evapotranspiração da cultura (ET_c)

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi calculada segundo o balanço hídrico, o qual segue o princípio da conservação de massa. A equação geral é dada por:

$$P + I - ET - R \pm D \pm \Delta A = 0 \quad (16)$$

Sendo P a precipitação, I a irrigação, ET a evapotranspiração, R o escoamento superficial, D a drenagem profunda ou ascensão capilar e ΔA a variação no armazenamento de água no solo (Bergamaschi *et al.*, 1999).

Desta forma o cálculo da água consumida pela planta (ET_c), em um intervalo entre os dias consecutivos “ i ” e “ j ”, $ET_{c_{ij}}$ (mm) pôde ser calculado segundo a fórmula:

$$ETc_{ij} = (\theta_v^{(i)} - \theta_v^{(j)}) \cdot Z - P_{ij} - I_{ij} - D_{ij} - E_{ij} \quad (17)$$

Sendo $\theta_v^{(i)}$ e $\theta_v^{(j)}$ a umidade média do perfil (% v/v) nos dias “i” e “j” respectivamente; Z a altura do horizonte para a conversão de (% v/v) para (mm) de água na profundidade do perfil, enquanto P_{ij} , I_{ij} , D_{ij} e E_{ij} representam precipitação efetiva, irrigação aplicada, drenagem profunda e escoamento superficial respectivamente neste intervalo avaliado (mm).

No experimento foi utilizado o cultivo protegido com cobertura nas entrelinhas, eliminando o fator P_{ij} do sistema. Em alguns solos, o movimento ascendente do lençol freático é frequente e em condições de alta evaporação, quando a cultura não ocupou toda a área disponível de solo, resultam em valores de evapotranspiração menores que o real (Aboukhaled *et al.*, 1986). Entretanto, o solo utilizado no experimento apresenta uma camada de impedimento no horizonte C, a qual dificulta a drenagem profunda e a ascensão capilar, e por este motivo pôde-se eliminar estes dois elementos do sistema.

Na área experimental foi construído um lisímetro de compensação para cada tratamento de restrição hídrica. Para isso, foram instaladas chapas galvanizadas a uma profundidade de 50 cm, “isolando”, para que uma planta ocupe a área de 5,4 m² (Figura 6), com o objetivo de evitar o escoamento superficial e subsuperficial proveniente da irrigação próxima à planta.



FIGURA 6. Lisímetros instalados na área experimental. Planta “isolada” com chapa galvanizada conformando o lisímetro de compensação (A). Vista do experimento evidenciando dois lisímetros em tratamentos distintos de restrição hídrica (B).

Desta forma, as placas alcançaram a camada de impedimento, o horizonte Bt, eliminando as variações na umidade volumétrica resultante da drenagem profunda e ascensão capilar. Em função disto, a equação e cálculo da água consumida pela planta foi reduzida e, desta forma, a ETc_{ij} (mm) pôde ser calculado segundo a fórmula:

$$ETc_{ij} = (\theta_v^{(i)} - \theta_v^{(j)}) \cdot Z - I_{ij} \quad (18)$$

3.5.3 Coeficiente de cultura Kc

O conceito de evapotranspiração de referência (ET_o) pressupões a transferência do vapor d'água de uma área gramada para a atmosfera da estação meteorológica. A grama deve estar em crescimento ativo, mantida a uma altura uniforme de 0,08 a 0,12 m, sombreando completamente o solo e sem deficiência de água. A evapotranspiração de uma cultura (ETc) acontece quando as plantas se encontram em áreas extensas, sem a incidência de pragas, doenças e deficiência nutricional, com disponibilidade de água que não seja limitante ao desenvolvimento, e de modo que o potencial de produção seja atingido, para a condição climática em que se encontram (Bergamaschi *et al.*, 1999). A razão entre a ETc e ET_o origina o coeficiente de cultura (Kc), o qual depende do estágio

de desenvolvimento das plantas, do sistema de irrigação, da configuração de plantio e das condições meteorológicas atuantes no sistema (Allen *et al.*, 1998).

A ET_c é estimada multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ET_o) da região ou do ambiente pelo coeficiente de cultura, denominado K_c segundo a equação geral:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \quad (19)$$

Com base nos dados de ET_o calculadas nos intervalos de tempo, segundo a equação de Penman-Montheith (Allen *et al.*, 1998), e a ET_c ou evapotranspiração máxima (ET_m) calculada experimentalmente com base no balanço hídrico da videira sem restrição hídrica, no tratamento controle, foram calculados os valores individuais de K_c para cada observação e estimando o K_c global pela média dos K_c individuais, isolando-se esta variável na equação geral:

$$K_c = \left(\frac{ET_c}{ET_o} \right) \quad (20)$$

O coeficiente de cultura também foi ajustado através de uma regressão linear sem intercepto usando todos os dados medidos simultaneamente, na qual o valor de K_c é estimado pelo parâmetro a , como mostra a equação:

$$Y = a \cdot x \quad (21)$$

Uma terceira forma de ajustar o K_c foi utilizada considerando que este coeficiente varia ao longo do tempo, sendo menor no início do ciclo e aumentando durante a evolução da área foliar da videira até atingir um valor máximo. Foi utilizada a função de crescimento de Gompertz (1925) para estimar o valor de K_c ao longo do tempo:

$$K_c = M \cdot e^{-e^{-a \cdot (x-P)}} \quad (22)$$

onde M é a estimativa do valor máximo de Kc , P é o ponto de inflexão da curva, em dias, e a é um parâmetro relacionado com a velocidade de aumento do Kc em torno do ponto de inflexão.

Esses parâmetros foram utilizados para estimar o valor de Kc ao longo do tempo e, a partir deste, os valores de ETc a partir de ETo . A estimativa de ETc foi, então, comparada com os valores observados de ETc por regressão linear sem intercepto, de modo a testar a validade do modelo:

$$Kc_{(observado)} = a \cdot Kc_{(estimado)} \quad (23)$$

3.6 Caracterização foliar

No ciclo 2009/10, quando a maioria das plantas apresentavam mais de nove folhas completamente expandidas, caracterizando o estágio fenológico 19 (Lorenz *et al.*, 1995), foram coletadas aleatoriamente 100 folhas do tratamento controle, as quais foram medidas suas massas individualmente e submetidas à medição do comprimento da nervura principal do limbo foliar. A partir do comprimento da nervura central, medida com um paquímetro digital, (marca Digimess, modelo 100.174 BL) e da área foliar total de cada folha, determinada em um medidor de área foliar (marca Licor; modelo Li - 3000), foi ajustada a equação de regressão polinomial entre o comprimento da nervura central e a área foliar (Amarante *et al.*, 2009) (Figura 7).

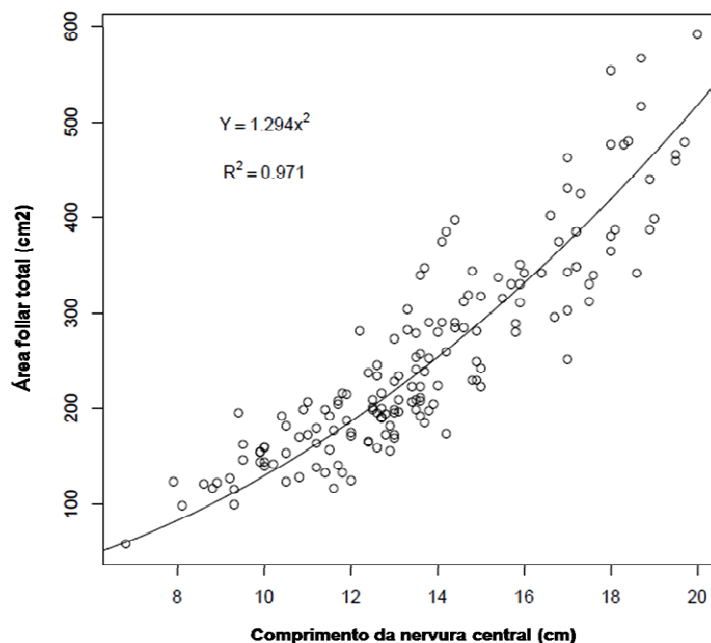


FIGURA 7. Curva ajustada da correlação entre área foliar (cm^2) e a nervura principal (cm) do vinhedo com cobertura plástica no tratamento controle. Bento Gonçalves, RS. 2009.

Em oito plantas úteis por tratamento (duas por parcela experimental em cada bloco), foram realizadas avaliações de parâmetros fenológicos, ecofisiológicos, bioquímicos e de componentes do rendimento.

Ao longo do ciclo, nos estádios fenológicos 64 (florescimento), 73 (bagas ervilhas), 85 (amolecimento das bagas), 89 (colheita) e 92 (fim da maturação dos sarmentos), segundo Lorenz *et al.* (1995), foram realizadas contagens do número total de folhas planta⁻¹ e selecionadas aleatoriamente 50 folhas para mensuração da nervura principal e estimativa da área foliar equivalente (AFE), segundo a equação de regressão polinomial entre o comprimento da nervura central e a área foliar (Amarante *et al.*, 2009) (Figura 7). Com estas informações, pôde-se estimar a variação temporal na área foliar total das plantas, nos diferentes tratamentos de restrição hídrica, através de um método não destrutivo de cálculo. Tomando como base os dados de AFE e NF em cada

estádio fenológico avaliado, e sabendo-se que cada planta ocupa uma área (S) de 5,4 m², pôde-se calcular o índice de área foliar (m² folhas por m² área de solo).

$$IAF = \left(\frac{AFE \cdot NF}{S} \right) \quad (24)$$

O número de folhas por planta e o índice de área foliar foram avaliados usando um modelo não linear que considera uma curva de crescimento exponencial antes do desponte, realizado em 09/11/2009 e 17/11/2010, respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11 e uma polinomial quadrática após a poda, caracterizada pela descontinuidade da curva no momento da poda, refletida pela retirada de folhas. Foram realizadas duas desfolhas no decorrer dos ciclos avaliados, a primeira em EF73 (bagas “chumbinho” 4 a 6 mm de diâmetro), em 23/11/2009 e 25/11/2010 e a segunda desfolha em EF85 (amolecimento das bagas), em 22/01/2010 e 20/01/2011, respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11.

3.7 Caracterização fisiológica das folhas

3.7.1 Potencial da água na folha

Nos mesmos estádios fenológicos da quantificação do teor de clorofila foi determinado o potencial da água na folha (MPa). Esta variável foi medida em oito folhas por tratamento, sendo coletada aleatoriamente uma folha por planta útil dos blocos experimentais.

A quantificação do potencial da água na folha foi realizada com uma câmara de pressão (Scholander *et al.*, 1965), segundo Choné (2001), em ciclos diários de avaliação, sendo uma avaliação antes do amanhecer (5:30 h) (potencial de base) e as demais em intervalos de duas horas nos seguintes horários: 8:00 h, 10:00 h, 12:00 h, 14:00 h (potencial mínimo), 16:00 h e 18:00 h. Estas medições foram realizadas em

ambos os ciclos vegetativos:reprodutivos nos estádios fenológicos: 65 (plena floração com 50% das flores caídas) em 09/11/09 e 04/11/10, 85 (amolecimento das bagas) em 20/01/10 e 20/01/11, 89 (colheita) em 02/03/10 e 09/03/11 e 92 (fim da maturação dos sarmentos) em 01/04/10, segundo Lorenz *et al.* (1995).

3.7.2 Potencial fotossintético

Nas plantas úteis mais representativa das condições do vinhedo, em cada tratamento, foram marcadas aleatoriamente com fita vermelha quatro folhas expostas ao sol no dossel vegetativo, sendo uma em cada bloco. Este número de folhas por tratamento foi definido em função do tempo para proceder às análises ao longo de um dia, sem comprometer os resultados pelo comportamento fotoperiódicos da fotossíntese (Larcher, 2004). Para isso, a mensuração das trocas gasosas foi realizada somente no período compreendido entre 9h e 13h, cuja atividade fotossintética e a condutância estomática são máximas (Larcher, 2004), a fim de obter uma indicação precisa das respostas fisiológicas da videira mantida em ambiente protegido, sob diferentes níveis de déficit hídrico (Medrano *et al.*, 2003).

Nos ciclos vegetativos:reprodutivos de 2009/10 e 2010/11, estas folhas foram submetidas à avaliação do potencial fotossintético, ao longo do ciclo, nos estádios fenológicos EF64 (40% das flores caídas), EF85 (amolecimento das bagas), EF89 (colheita) e somente no ciclo 2009/10 em EF92 (fim da maturação dos sarmentos), segundo Lorenz *et al.* (1995). O potencial fotossintético foi determinado com um analisador de gases por sensores de infravermelho (IRGA) portátil, marca Li-Cor, modelo LI-6400, Lincoln, USA, operando em sistema fechado, equipado com fonte de luz modelo LI-6400-2B e programado para emitir os níveis de radiação fotossinteticamente ativa em densidades pré-determinadas.

As curvas de assimilação líquida máxima de CO₂ (A) e condutância estomática foliar (g_s) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram calculadas segundo as resposta à densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo ($DFFFA$): 0, 100, 200, 400, 600, 800 e 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no ciclo 2009/10, adicionando as densidades de 1800, 2000, 2200 e 2500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no ciclo 2010/11, de acordo com o modelo proposto por Mota *et al.* (2009), modificado. De acordo com a curva de resposta de A , em função da $DFFFA$, foi ajustada a seguinte função hiperbólica retangular:

$$A = -a + \frac{M \cdot x}{b + x} - c \cdot x \quad (25)$$

em que a é a taxa de respiração no escuro (Re; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), M é um parâmetro relacionado à taxa máxima de fotossíntese, b é um parâmetro relacionado à eficiência quântica fotossintética e c um parâmetro relacionado à foto oxidação. Segundo Kitao *et al.* (2000), a queda na taxa de fotossíntese líquida, após atingir a radiação de saturação, pode ocorrer devido à foto oxidação pela radiação global excessiva. O modelo utilizado por Mota *et al.* (2009) não apresenta o último termo, que foi adicionado para considerar a redução na taxa de fotossíntese sob condições de altos níveis de radiação luminosa. Através dessa curva resposta também foi calculado o ponto de compensação de luz (τ), pelo valor de x em que A é igual a zero:

$$\tau = \frac{M - a - b \cdot c - \sqrt{(a + b \cdot c - M)^2 - 4 \cdot a \cdot b \cdot c}}{2 \cdot c} \quad (26)$$

Caso o modelo apresente o parâmetro c igual a zero:

$$\tau = \frac{a \cdot b}{M - a} \quad (27)$$

A taxa de fotossíntese máxima (A_{max}) pôde ser calculada de acordo com o modelo hiperbólico retangular pela seguinte fórmula:

$$A_{max} = M - a + b.c - 2\sqrt{M.b.c} \quad (28)$$

A eficiência quântica aparente (φ_a) ($\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol f\u00f3tons}^{-1}$) foi estimada na fase linear da curva de resposta da taxa fotossint\u00e9tica l\u00edquida (A), pela declividade da reta tangente \u00e0 curva resposta no ponto em que A \u00e9 igual a zero:

$$\varphi_a = \frac{M.b}{(b + \tau)^2} - c \quad (29)$$

O modelo preconizado por Platt *et al.* (1980), para o c\u00e1lculo das vari\u00e1veis, n\u00e3o prev\u00ea o c\u00e1lculo da radia\u00e7\u00e3o de satura\u00e7\u00e3o ($DFFFA_{sat}$) e da fotoss\u00edntese de satura\u00e7\u00e3o (A_{sat}). Portanto, a partir da curva resposta de A em fun\u00e7\u00e3o de $DFFFA$ do modelo hiperb\u00f3lico retangular proposto, foram calculadas as vari\u00e1veis ($DFFFA_{sat}$) e (A_{sat}). Para calcular o ponto de satura\u00e7\u00e3o de luz, calculou-se inicialmente a equa\u00e7\u00e3o da reta tangente \u00e0 curva de fotoss\u00edntese no ponto de compensa\u00e7\u00e3o de luz. No ponto onde essa reta tem valor igual \u00e0 fotoss\u00edntese m\u00e1xima (A_{max}), tra\u00e7ou-se uma segunda reta, com declividade oposta \u00e0 da primeira. O ponto onde essa segunda reta intercepta a curva de fotoss\u00edntese foi considerado como sendo o ponto de satura\u00e7\u00e3o:

$$DFFFA_{sat} = \frac{-b.c + b.\varphi - 2A_{max} - \tau.\varphi - a + M - \sqrt{(b.c - b.\varphi + 2.A_{max} + \tau.\varphi + a - M)^2 - 4.b.(c - \varphi).(2.A_{max} + \tau.\varphi + a)}}{2.(c - \varphi)} \quad (30)$$

$$A_{sat} = -a + \frac{M.DFFFA_{sat}}{b + DFFFA_{sat}} - c.DFFFA_{sat} \quad (31)$$

Todas estas vari\u00e1veis fotossint\u00e9ticas, em conjunto, caracterizam o potencial fotossint\u00e9tico e foram tabuladas por tratamento, repeti\u00e7\u00e3o e datas de avalia\u00e7\u00e3o e submetidas a an\u00e1lises estat\u00edsticas, conforme descrita no sub-item 3.10 abaixo.

3.7.3 Teor de clorofila em folhas

Para a estimativa do teor de clorofila total, clorofila a , clorofila b , assim como da rela\u00e7\u00e3o entre clorofila a e clorofila b , foram avaliadas 10 folhas, aleatoriamente, em

cada bloco para cada tratamento de restrição hídrica, utilizando um método não destrutivo, com o medidor portátil de clorofila marca Konica Minolta[®], modelo SPAD-502 cujos resultados médios foram expressos em unidade spad. Estas medições foram realizadas na face adaxial das folhas, nos estádios fenológicos: EF64 (40% das flores caídas), EF85 (amolecimento das bagas), EF89 (colheita) e EF92 (fim da maturação dos sarmentos), segundo Lorenz *et al.* (1995), durante o ciclo vegetativo:reprodutivos de 2009/10.

3.8 Maturação fisiológica da uva

Nos ciclos 2009/10 e 2010/11 foi acompanhada a maturação tecnológica das bagas no intervalo entre os estádios fenológicos 81 (virada de cor das bagas) e 89 (colheita), segundo Lorenz *et al.* (1995). Em cada data de avaliação, foram coletadas 20 bagas, aleatoriamente nas duas plantas centrais de cada parcela, nos quatro blocos. As amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno, armazenadas em caixas de isopor com saches de gelo eutético por um período médio de duas horas e conduzidas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da Embrapa Uva e Vinho. Inicialmente, as bagas foram submetidas às avaliações físicas como: cor da casca (metodologia descrita no sub-item 3.9.1); massa fresca, utilizando uma balança digital, com precisão de 0,01 g, marca Deltarange Mettler, modelo PC 4400; comprimento longitudinal (L) e transversal (d) de cada baga, utilizando paquímetro digital, marca Digimess, modelo 100.174 BL. A partir destas dimensões, estimou-se o volume da baga através do cálculo de uma elipsóide (cm³):

$$V = \frac{\left(\frac{4}{3}\right) \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L}{8000} \quad (32)$$

Na sequência, as amostras foram esmagadas manualmente, dentro do próprio saco plástico, para a extração do mosto e centrifugados com auxílio de uma centrífuga (marca Incibrás; modelo Spin IV) a 3000 rpm, referente a uma força centrífuga relativa de 2000 g, à temperatura de 20°C, por 5 minutos para análises posteriores (sólidos solúveis totais – SST, acidez total e pH).

Para a realização das curvas de maturação tecnológica das bagas sob cultivo protegido e distintos níveis de disponibilidade hídrica foi determinado o teor de sólidos solúveis totais, expresso em °Brix, através de refratômetro digital portátil digital, marca Atago, modelo PR-101. A acidez total titulável, expressa em meq L⁻¹, foi medida por titulação do mosto com NaOH 0,1N, utilizando uma bureta digital, marca Brand, modelo Tritette[®], tendo como indicador 2,5 ml da solução padronizada de azul de bromotimol por amostra. O potencial hidrogeniônico (pH) foi medido diretamente em 20 mL de mosto por amostra com potenciômetro digital, marca Analion, modelo PM-600, equipado com eletrodo de vidro e calibrado com soluções-padrão de pH 3,0 e 4,0 (Ribéreau-Gayon *et al.*, 1998). A relação SST:ATT foi calculada segundo a fórmula:

$$SST:ATT = \left(\frac{^{\circ}Brix}{(ATT (meq L^{-1}) \cdot 0,075)} \right) \quad (33)$$

3.8.1 Cor das bagas

Durante a maturação, nos ciclos 2009/10 e 2010/11, foi avaliada a coloração da película das bagas, nas diferentes amostragens durante a maturação tecnológica. A cor foi determinada com o auxílio do espectrofotômetro portátil, marca Konica Minolta[®], modelo CN-2500d, segundo o sistema proposto pela “Commission Internationale de L’eclairage” (CIE) (Minolta Corporation, 1994). Nas mesmas 20 bagas que foram utilizadas nas avaliações de maturação tecnológica, foram realizadas duas leituras na

película de cada baga amostrada na região mediana, obtidas usando um iluminante D65 e um ângulo de detecção de 10°. A coloração foi expressa pela luminosidade (L^*) e pela tonalidade ou ângulo Hue, que mostra a localização da cor no diagrama, conforme metodologia descrita por Miller & McDonald (1998), na qual considera a seguinte razão;

$$Hue = \arctg\left(\frac{a^*}{b^*}\right) \quad (34)$$

onde, no sistema tridimensional $L^* a^* b^*$, o eixo a^* avalia a cor da baga do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$) e o eixo b^* do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$).

Visando identificar as causas de variação de cor, os valores de $L^* a^* b^*$ foram submetidos à análise de componentes principais (PC), sendo as observações individuais dos dois primeiros componentes principais plotadas na cor de cada baga individual. Para facilitar a visualização a cor dos pontos foi amplificada, multiplicando os valores de L^* por uma constante $K=1,6$ referente ao clareamento e os de a^* e b^* pela constante $S= 3,0$ referente ao aumento da saturação da cor. Estas constantes foram utilizadas apenas para o cálculo da cor dos pontos no gráfico sendo o valor original utilizado em todas as outras análises.

3.9 Componentes do rendimento

Na colheita dos ciclos 2009/10, ocorrida em 03/03/10 e 2010/11, em 09/03/11, todos os cachos de cada planta útil das parcelas foram separados em caixas plásticas previamente identificadas. Na sequência essas caixas foram transportadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da Embrapa Uva e Vinho, onde foram avaliadas as seguintes variáveis de componentes do rendimento: Produção por planta, produção por hectare, número de cachos por planta, massa do cacho e número de bagas por cacho.

Nestas avaliações foi utilizada uma balança digital com precisão de 0,01 g, marca Deltarange Mettler, modelo PC 4400 e um paquímetro digital, marca Digimess, modelo 100.174 BL.

Os dados referentes aos componentes do rendimento foram representados na forma de diagrama de caixa permitindo visualizar a distribuição dos valores dentro de cada tratamento, assim como os possíveis pontos extremos (*outliers*). A linha fina representa a média dos dados, a linha mais espessa representa a mediana, a caixa representa os quartis de 25% e 75% e a linha pontilhada engloba as observações situadas num intervalo de 1,5 vezes a altura da caixa, para cima ou para baixo, sendo os pontos fora desse intervalo plotados individualmente.

3.10 Análise estatística

Nas análises que envolveram regressões lineares ou não lineares, os tratamentos foram comparados usando o teste F, de forma a agrupá-los por grau de semelhança. Inicialmente, foi utilizado um modelo global, que considera que cada tratamento possui uma curva individual e independente dos demais. Em seguida, para cada combinação possível de dois tratamentos, a análise do conjunto completo de dados foi refeita, considerando o par de tratamentos como um tratamento único.

As somas de quadrados do erro (*SQE*) foram comparadas entre os modelos resultantes, escolhendo-se o modelo com a menor *SQE*, ou seja, aquele que agrupa os dois tratamentos que mais se assemelham. A diferença entre a *SQE* desse modelo e a *SQE* do modelo global e a respectiva diferença de graus de liberdade entre os dois modelos foi usada para testar a significância de se agrupar o par de tratamentos em um, ou seja, o grau de significância da diferença entre os dois tratamentos.

Partindo-se desse modelo com um tratamento a menos, o processo foi repetido para chegar a um modelo com dois tratamentos a menos, e assim em diante, até agrupar todos os tratamentos em um modelo sem o efeito do tratamento. Cada passo do processo foi associado a uma soma de quadrados e a uma probabilidade (utilizando o teste F). Por fim, foi feita uma representação gráfica das comparações dos efeitos de tratamentos nas curvas de regressão em forma de dendrograma (ver exemplo no Apêndice 1). Nesse gráfico é possível visualizar a decomposição da soma de quadrados total corrigida, desconsiderando o efeito do modelo (linha grossa), considerando os efeitos dos tratamentos sobre as variáveis (linhas finas), assim como o erro experimental (linhas pontilhadas). Os dois tratamentos que mais se assemelham são os primeiros a serem agrupados da direita para a esquerda. O último agrupamento (mais à esquerda) é o de maior distinção entre os grupos analisados. A escala horizontal representa o coeficiente de determinação do modelo, que é proporcional à soma de quadrados. Todas as variáveis analisadas e modeladas por regressão linear, quadrática ou cúbica passaram por esta análise, comparando as curvas dos tratamentos com auxílio do teste F.

Para a análise estatística de todas as variáveis utilizou-se o programa R (2011). Os dados foram submetidos às análises de variância (ANOVA) e de regressões lineares e não-lineares, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o grande volume de parâmetros que foram abordados neste trabalho, para facilitar o entendimento os mesmos serão apresentados em uma sequência lógica, partindo-se do aspecto amplo para o específico. Portanto, inicialmente serão descritos os aspectos das condições do ambiente experimental, abordando as variáveis do clima e do solo.

4.1 Condições Mesoclimáticas

Com o intuito de caracterizar as condições meteorológicas ocorridas no local durante o período do ano em que foram realizados os experimentos, compreendido entre setembro de 2009 e março de 2010 e setembro de 2010 e março de 2011, foram monitorados alguns elementos do ambiente, os quais servem como referências na análise microclimática do vinhedo e do comportamento fisiológico das plantas. Segundo Reichardt (1976), os parâmetros climatológicos como umidade relativa do ar, disponibilidade de radiação solar, temperatura e principalmente o vento afetam diretamente a absorção de água pelas plantas.

Durante os ciclos 2009/10 e 2010/11, as temperaturas máximas foram superiores aos valores médios da normal climatológica de Bento Gonçalves, observada de 1961 a 1990 na estação agroclimatológica da Embrapa Uva e Vinho de Bento Gonçalves (Embrapa 2010), situada a 8,5 km do local do experimento. O valor normalizado para

esta variável é de 25,14°C, sendo as temperaturas máximas observadas de 26,32°C no ciclo 2009/10 e 25,28°C em 2010/11. No ciclo 2009/10, as temperaturas mínimas e médias foram 16,39°C e 20,17°C, respectivamente (Tabela 2), sendo superiores à média da região no período avaliado, que é de 14,83°C e 19,33°C. Em contrapartida, destaca-se que no mesmo período avaliado no ciclo 2010/11, as temperaturas mínimas e médias ficaram abaixo da normal climatológica com valores de 13,73°C e 18,53°C (Tabela 2).

No ciclo vegetativo:reprodutivo de 2009/10, a umidade relativa do ar média também foi, predominantemente, superior à normal climatológica da região para o período avaliado, que é de 75%, com o valor de 77,31%. Contudo, no ciclo 2010/11, este valor foi inferior à normal, com o valor de 72,85% (Tabela 2). Estes são reflexos do regime pluviométrico durante os períodos avaliados, pois em ambos os ciclos a precipitação pluviométrica do período ficou acima da normal climatológica de Bento Gonçalves. O valor normalizado é de 1032 mm, com valores de 1842 mm no ciclo 2009/10, significativamente superior à normal, e de 1143 mm no ciclo de 2010/11, resultado que pode explicar a redução na umidade relativa do ar neste ciclo.

Nos ciclos 2009/10 e 2010/11 a radiação fotossinteticamente ativa média foi de 8,26 e 8,6 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Destaca-se que, durante os ciclos avaliados, a RFA variou dentro de um padrão similar ao da radiação solar global, com valor médio mínimo de 7,7 MJ m⁻² dia⁻¹, no mês de setembro, e máximos nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro com valores respectivos de 8,99, 8,66 e 8,51 e 8,43 MJ m⁻² dia⁻¹

TABELA 2. Média das observações mesoclimáticas em vinhedo da cultivar Itália conduzida em latada descontínua sob cobertura plástica nos ciclos 2009/10 e 2010/11, obtidas na Estação Base Oito da Graciema - Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves-RS.

Meses	Temperatura (°C)			UR %	Precipitação (mm mês ⁻¹)	RFA (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Vel. Vento (m s ⁻¹)	ETo (mm)
	Máxima	Mínima	Média					
Set/2009	19,40	10,37	14,06	80,81	429,3	7,57	1,03	71,3
Out/2009	23,57	16,37	17,95	75,11	135,6	8,69	1,05	108,9
Nov/2009	27,14	17,20	21,20	81,03	447,6	8,77	1,02	118,5
Dez/2009	28,23	17,18	21,59	75,26	269,3	7,78	0,98	127,3
Jan/2010	28,17	17,79	22,18	78,92	276,4	8,08	0,97	119,9
Fev/2010	30,19	19,13	23,31	74,88	220,4	8,60	0,96	112,7
Mar/2010	27,55	16,71	20,88	77,31	64,2	8,21	0,95	95,6
2009/10	26,32	16,39	20,17	77,62	1842,8	8,26	0,99	752,2
Set/2010	19,65	10,15	13,94	73,49	292	7,83	1,28	76,2
Out/2010	21,54	9,36	14,75	70,51	51,8	8,51	1,22	103,1
Nov/2010	25,43	11,92	17,52	66,65	119,9	9,20	1,10	125,1
Dez/2010	27,37	14,24	20,02	68,63	101,0	9,55	0,96	137,8
Jan/2011	30,15	18,06	22,73	74,42	159,4	8,94	1,08	125,4
Fev/2011	26,79	17,48	21,16	75,18	250,7	8,26	0,94	115,8
Mar/2011	26,00	14,90	19,56	74,75	168,2	8,00	0,96	100,83
2010/11	25,28	13,73	18,53	72,85	1143,0	8,60	1,07	788,2

A velocidade média do vento na área experimental foi de 0,99 m s⁻¹ no ciclo 2009/10 e 1,07 m s⁻¹ durante o ciclo 2010/11 (Tabela 2), sendo ambos os valores abaixo do valor de referencia climática (1,65 m.s⁻¹). Sabe-se que a ação dos ventos pode afetar a produtividade das videiras, tanto por danos físicos, ocasionando a quebra de brotos, ramos, folhas e desprendimento de cachos, como fisiológicos, inibindo a abertura estomática e reduzindo o processo fotossintético (Campbell-Clause, 1994). Dry *et al.* (1989) observaram que videiras protegidas por quebra-ventos tiveram brotos maiores, com maior massa fresca de bagas e aumento de 13% na produtividade devido a uma melhor brotação e ao maior número de ramos por planta. O vento pode também interferir na polinização e no pegamento dos frutos resultando também na redução da produtividade (Norton, 1990). Desta forma, a cobertura plástica tem efeito benéfico

sobre a videira como forma de proteção contra rajadas de vento, entretanto, uma das premissas que os produtores devem seguir para adotar coberturas plásticas é evitar locais com alta exposição a ventos, pois estas podem ser arrancadas.

No aspecto geral, destaca-se que as condições mesoclimáticas em ambos os ciclos avaliados proporcionaram condições de temperatura, umidade relativa do ar, disponibilidade hídrica e radiação solar global representativas do clima regional.

4.2 Condições Microclimáticas

Nas avaliações das condições microclimáticas realizadas nos dois ciclos (2009/10 e 2010/11) pode-se observar as alterações que as coberturas plásticas sobre as fileiras de cultivo proporcionaram sobre as condições mesoclimáticas do local (Tabela 3).

A temperatura do ar apresentou tendência natural de se elevar no início do verão em ambos os ciclos, aumentando nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro com valores médios entre os ciclos de 23,3, 23,66 e 21,40°C, seguindo a tendência natural de redução nos meses de março e abril (Tabela 3).

Destaca-se que a cobertura plástica alterou o ambiente em ambos os ciclos, proporcionando uma redução nas médias das temperaturas máximas de -1,18°C (-4,57%) e a elevação nas médias das temperaturas mínimas em +0,09°C (+0,6%), resultando em um aumento na média das temperaturas médias em +1,15°C (+5,61%), em relação às condições mesoclimáticas (Tabela 3). O aumento na temperatura média ao nível dos cachos no cultivo protegido em relação ao cultivo aberto foi observado por Cardoso *et al.* (2008) e Chavarria *et al.* (2008), com variação de 0,1 a 3,6°C em relação às condições mesoclimáticas, dependendo da época avaliada. Entretanto, o aumento nas temperaturas médias observado pelos autores foi decorrente da elevação da temperatura

máxima, não sendo observada variação na temperatura mínima. Essa diferença pode estar associada ao relevo inclinado, permitindo que o ar mais quente seja dissipado na parte superior do vinhedo forçando uma circulação do ar sob a cobertura reduzindo a temperatura máxima.

TABELA 3. Médias das observações microclimáticas em vinhedo da cultivar Itália conduzida em latada descontínua sob cobertura plástica nos ciclos 2009/10 e 2010/11, obtidas nos sensores instalados ao nível do dossel vegetativo na área experimental no Oito da Graciema, Bento Gonçalves-RS.

Meses	Temperatura (°C)			UR %	RFA (MJ m ² dia ⁻¹)	Vel. Vento	ETo (mm)
	Máxima	Mínima	Média				
Set/2009	19,36	12,16	16,12	80,94	3,50	0,10	40,4
Out/2009	18,50	11,89	15,79	80,74	4,90	0,08	72,5
Nov/2009	26,74	17,78	22,87	85,85	4,34	0,11	81,5
Dez/2009	27,40	17,41	23,30	82,30	5,85	0,09	98,5
Jan/2010	28,76	18,62	24,55	78,90	6,52	0,08	86,8
Fev/2010	28,10	19,46	24,69	76,58	6,11	0,10	78,6
Mar/2010	27,53	17,29	23,32	81,83	5,84	0,08	60,7
2009/10	25,20	16,37	21,52	81,02	5,29	0,09	519,0
Set/2010	21,5	11,37	17,21	82,33	3,74	0,15	52,2
Out/2010	21,72	10,40	17,34	80,44	4,50	0,11	74,6
Nov/2010	25,15	13,22	20,51	82,12	5,08	0,08	93,4
Dez/2010	27,49	16,78	23,30	81,19	5,86	0,09	102,8
Jan/2011	27,41	18,51	22,78	77,89	7,14	0,09	94,5
Fev/2011	22,79	15,94	18,12	76,24	7,00	0,11	72,8
Mar/2011	22,25	11,31	17,08	79,77	4,35	0,08	65,9
2010/11	24,04	13,93	19,48	80,00	5,38	0,10	556,2

O parâmetro microclimático que recebe grande influência da cobertura é a velocidade do vento. Destaca-se que, durante os ciclos 2009/10 e 2010/11, a velocidade média do vento foi de 0,09 e 0,10 m s⁻¹ respectivamente (Tabela 3). Esse resultado é significativamente inferior ao registro em ambiente aberto ocorrido no mesmo período (Tabela 2). Segundo Chavarria *et al.* (2008) sob condições de cultivo protegido a perda de calor é retardada, comparada a um vinhedo em céu aberto, forçando uma maior amplitude térmica. Segovia *et al.* (1997) consideraram a menor movimentação de ar

como o principal fator desta amplitude térmica mais elevada no ambiente protegido. Isto fica evidenciado nos resultados obtidos nos ciclos avaliados, pois a velocidade do vento foi atenuada em 90,29%, resultado semelhante aos encontrados por Cardoso *et al.* (2008) e Chavarria *et al.* (2008), com uma redução de 88% e 90% respectivamente.

Verifica-se que a cobertura plástica alterou o microclima em ambos os ciclos, proporcionando um aumento na umidade relativa do ar ao nível dos cachos em todos os meses avaliados, quando comparado ao ambiente externo (Tabelas 1 e 2). Observou-se um aumento de 5,27% na umidade relativa do ar ao nível dos cachos sob o cultivo protegido. Segundo Cardoso *et al.* (2008) e Chavarria *et al.* (2008), a umidade relativa foi o parâmetro que teve menor variação em relação ao ambiente externo, os quais constataram uma redução ao nível dos cachos sob cultivo protegido de 1,00 e 1,03% quando comparado ao ambiente externo.

Este aumento na umidade relativa do ar ao nível dos cachos, em relação ao ambiente externo, pode ser explicado pela instalação das calhas plásticas no intervalo das entrelinhas com o intuito de evitar água via precipitação (Figura 1). Buriol *et al.* (1997) e Buriol *et al.* (2000) demonstraram que a umidade relativa apresenta diferenças entre ambientes internos e externos, sendo em média superior dentro de estufas plásticas que são mais fechadas e permitem menor renovação do ar. A maior umidade do ar no ambiente interno, em comparação ao externo se deve principalmente ao aumento da concentração de vapor d'água, ou seja, maior pressão de vapor d'água. Portanto, durante períodos diurnos, mesmo quando a umidade relativa é menor, no ambiente interno pode ocorrer maior umidade absoluta. Esta umidade é retida dentro das estufas em função da pouca movimentação do ar nestes ambientes (Buriol *et al.* 1997; Buriol *et al.* 2000).

Segundo Cardoso *et al.* (2008), a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) corresponde a 43% do espectro global incidente. Nos ciclos 2009/10 e 2010/11 a RFA variou dentro de um padrão similar, com valor médio mínimo de $3,62 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no mês de setembro e máximos nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro com valores respectivos de 5,85, 6,83 e $6,55 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 3), valores equivalentes aos encontrados por Cardoso *et al.* (2008) em experimento conduzido nas mesmas condições mesoclimáticas da Serra Gaúcha, sob cobertura plástica. Cabe salientar que o plástico utilizado no experimento apresentava cinco anos de uso no ciclo 2010/11.

Segundo Chavarria *et al.* (2008) e Cardoso *et al.* (2008), a RFA sob a cobertura, ao nível do dossel vegetativo, sofre uma redução média de 38% e 32,5% respectivamente. Esta menor disponibilidade de RFA no interior do ambiente protegido pode ser atribuída à reflexão e à absorção de radiação solar incidente pela cobertura, considerando, em conjunto, as variações no ângulo de inclinação do sol ao longo do dia e à condensação de vapor d'água na superfície interna do plástico (Farias *et al.*, 1993; Camacho *et al.*, 1995). Essa restrição de incidência da RFA pelas coberturas também se deve ao desgaste das fibras do plástico e ao acúmulo de impurezas na superfície provenientes da utilização do plástico ao longo dos anos (Chavarria *et al.*, 2008).

Devido à redução da radiação incidente sob a cobertura plástica, a radiação fotossinteticamente ativa média disponível ao dossel vegetativo nos ciclos 2009/10 e 2010/11 foi de 5,29 e $5,38 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ respectivamente (Tabela 3), com uma redução equivalente de 35,87 e 37,44% quando comparado à RFA em ambiente descoberto, medido em na estação meteorológica situada fora da área experimental, durante os ciclos avaliados.

4.3 Armazenamento hídrico do solo

A Figura 8 mostra a evolução do conteúdo de água no solo nos ciclos vegetativo:produtivo de 2009/10 e 2010/11, expressos em porcentagem do volume de água por volume de solo (θ_v), segundo os tratamentos de restrição hídrica aplicados nos distintos horizontes avaliados. A profundidade total de solo medida pelas duas sondas TDR instalada nos lisímetros de cada tratamento foi de 75 cm de profundidade (Figura 3) e o conteúdo de água no solo foi obtido através da média ponderada diária nos distintos horizontes do solo. A correlação entre umidade volumétrica do solo e o respectivo potencial matricial do solo foi calculada segundo a curva característica de água no solo (Figura 4).

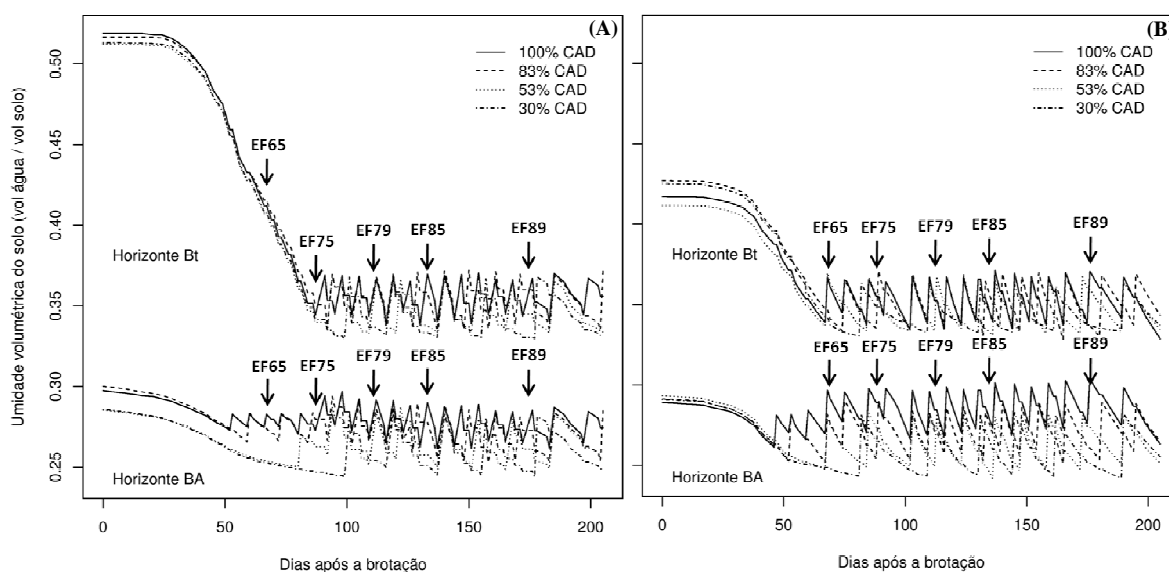


FIGURA 8. Evolução do conteúdo de água no solo (θ_v) no ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B) nos distintos horizontes e profundidades avaliadas (BA-0-40 cm) e (Bt-40-75 cm), segundo os tratamentos de restrição hídrica aplicados. As setas indicam a data média dos estádios fenológicos avaliados: 64 plena floração; 75 boga com diâmetro entre 8 e 10 mm (ervilha); 85 amolecimento das bagas; 89 colheita; 91 fim da maturação dos sarmentos segundo Lorenz *et al.* (1995). Bento Gonçalves, RS, 2011.

4.3.1 Armazenamento hídrico nos horizontes BA e Bt

Como consequência das chuvas ocorridas durante a dormência das plantas, de abril a agosto de 2009, antes de instaladas as calhas nas entrelinhas de plantio, e as características físicas do solo, o horizonte BA apresentou conteúdos de água muito altos em todos os tratamentos, atingindo níveis entre 30,04 e 28,58% $v v^{-1}$ no início da brotação. Estes limites elevados, segundo a curva característica de umidade no solo (Figura 4), corresponderam a um potencial matricial entre -13,69 e -24,91 kPa, acima da capacidade de campo para esta classe textural de solo segundo Ruiz *et al.* (2003) (Figura 8). No início do ciclo 2010/11, foram realizadas irrigações de alta frequência para que fossem atingidos potenciais matriciais próximos aos ocorridos no início do ciclo 2009/10, em todos os tratamentos aplicados, alcançando níveis de umidade do solo entre 29,32 e 28,31% $v v^{-1}$, os quais correspondem a potenciais matriciais entre -18,55 e -26,73 kPa (Figura 8).

O armazenamento de água do solo no horizonte BA supriu a demanda hídrica das plantas em todos os tratamentos aplicados, tomando como base a umidade de capacidade de campo, até os 43 dias após a brotação (DAB) no ciclo 2009/10 e 46 DAB no ciclo 2010/11 (Figura 8).

No ciclo de 2009/10, entre o início da brotação e 18 folhas desprendidas (EF18), 51 dias após a brotação teve início a irrigação em TC, quando o potencial matricial do solo alcançou -33,85 kPa. Neste estágio de desenvolvimento o conteúdo de água no solo em T2 e T3 já evidenciava níveis baixos de disponibilidade hídrica, com potenciais matriciais de -47,97 e -48,83 kPa, respectivamente (Figura 8). Contudo, no ciclo 2010/11, a irrigação em TC teve início aos 46 DAB, com 17 folhas desprendidas (EF17), enquanto os níveis de potencial matricial do solo em T1, T2 e T3 variavam entre -35,58 e -40,65 kPa (Figura 8)

O estágio fenológico referente à plena floração (EF65) ocorreu aos 68 e 66 DAB, respectivamente, nos ciclos 2009/10 e 2010/11. Nesta fase, durante o ciclo 2009/10 os potenciais matriciais do solo alcançaram -34,99 kPa em TC e T1, resultado de dois períodos de irrigação somando 7,5 mm e um período com uma lâmina de 7,56 mm respectivamente. Os potenciais matriciais em T2 e T3, neste estágio, eram de -64,55 e -66,95 kPa respectivamente, não ocorrendo nenhum período de irrigação (Figura 8). Em 2010/11 os potenciais matriciais no solo tinham valores de -32,02 e -43,02 kPa nos tratamentos TC e T1 respectivamente, resultado de três períodos de irrigação somando 20,66 mm em TC e um período de irrigação de 12,18 mm em T1. Entretanto, os potenciais matriciais no solo em T2 e T3 encontravam-se em -73,72 e -74,76 kPa respectivamente e, assim como em 2009/10, até este estágio não receberam lâminas de irrigação (Figura 8). Portanto, salienta-se que, em ambos os ciclos, tanto os tratamentos mantidos em 53% CAD (T2) como em 30% CAD (T3) horizonte BA, encontram-se sob níveis de disponibilidade hídrica elevados durante este período de floração. Segundo Williams & Matthews, (1999) baixos níveis de disponibilidade hídrica no solo são críticos para a produção quando afetam o período de frutificação, desde a floração até a maturação do fruto.

Entre a plena floração (EF65) e bagas com 5 a 6 mm de diâmetro (EF73), 75 DAB em 2009/10 e 77 DAB em 2010/11, observou-se que o conteúdo de umidade do solo no horizonte BA foi alterado de modo mais intenso, resultante do aumento na demanda evaporativa da atmosfera (Tabelas 1 e 2), o que demandou maior frequência de irrigação para a manutenção dos tratamentos (Figura 8).

No ciclo 2009/10, até bagas com 8 a 10 mm de diâmetro (EF75), a irrigação foi calculada somente com base na umidade do horizonte BA, enquanto o horizonte Bt ainda mantinha a umidade do solo acima da capacidade de campo (100% CAD) em

todos os tratamentos, sem a necessidade de intervenções de irrigação (Figura 8). Contudo, no ciclo 2010/11, em que o conteúdo inicial de água no solo do horizonte Bt foi 9,48% menor em comparação ao 2009/10, desde EF65 a lâmina de irrigação no tratamento controle passou a ser calculada com base na umidade volumétrica do horizonte Bt (Figura 8), aumentando consideravelmente as lâminas aplicadas para a manutenção dos tratamentos nesse horizonte mais profundo.

No ciclo 2009/10, para manter a umidade próxima a 100% CAD no tratamento controle (TC), neste período foram realizados três períodos de irrigação, somando uma lâmina de 12,16 mm, enquanto para T1 houve um período de irrigação com uma lâmina de 7,27 mm. A primeira lâmina, de 8,65 mm, aplicada via irrigação em T2 ocorreu no pegamento dos frutos (EF71), quando a umidade do solo atingiu 25,02% e o potencial matricial era de -72,98 kPa (53% CAD). Entretanto, até EF75 ainda não havia sido aplicada nenhuma lâmina de irrigação em T3, cuja umidade do solo encontrava-se em 24,86% com um potencial de -77,23 kPa. Contudo, em 2010/11, para a mesmo estado foram aplicados três períodos de irrigação em TC, com uma lâmina acumulada de 30,7 mm e dois períodos em T1, acumulando uma lâmina de 23,52 mm. Durante o mesmo período foram aplicados dois períodos de irrigação em T2, com lâmina acumulada de 27,89 mm, quando a umidade do solo alcançou 24,77% e potencial matricial era de -79,49 kPa. A primeira lâmina aplicada via irrigação em T2 foi em EF67, com 70% das caliptras caídas, quando a umidade do solo atingiu 24,92% e potencial matricial era de -75,57 kPa. Neste intervalo da fenologia foram aplicados dois períodos de irrigação em T2, com lâmina acumulada de 27,89 mm. O primeiro período de irrigação aplicado ao T3 ocorreu somente em EF71, no pegamento dos frutos, com uma lâmina de 15,96 mm, quando a umidade do solo atingiu 24,32% e potencial matricial era de -94,57 kPa.

Percebe-se que tanto T2 quanto T3 passam pelos estádios fenológicos de floração e formação dos frutos sob alta disponibilidade hídrica. Segundo Gil & Pszczólkowski (2007) convém aplicar déficits hídricos controlados em videiras destinadas à produção de uva de mesa em pré-floração quando o crescimento dos sarmentos é muito vigoroso. Contudo, altos déficits neste período reduzem o tamanho das bagas por reduzirem o número de células das bagas. Segundo McCarthy (200) e Ojeda *et al.* (2002) estresses hídricos, aplicados às videiras durante a etapa I de crescimento, causam redução no volume das bagas, o qual não pode ser mais recuperado nos estádios fenológicos seguintes.

No período final, compreendido entre bagas entre 5 e 6 mm de diâmetro EF73 e a colheita EF89, 181 DAB em 2009/10 e 185 DAB em 2010/11, observou-se que o conteúdo de umidade do solo no horizonte BA continuou sendo alterado de modo mais intenso, aumentando proporcionalmente a frequência de irrigação devido ao aumento na demanda evaporativa da atmosfera, principalmente pela elevação dos níveis de radiação fotossinteticamente ativa e da temperatura (Tabelas 1 e 2), somado ao aumento no índice de área foliar inerente ao avanço nos estádios fenológicos da videira.

No ciclo 2009/10, neste período final, para manter a umidade próxima a 100% CAD no tratamento controle (TC) foram realizados 12 períodos de irrigação, somando uma lâmina de 120,51 mm, e em T1 foram aplicados 10 períodos e uma lâmina acumulada de 102 mm. Observando a reposição de água em T2, foram aplicados seis períodos, somando uma lâmina de 80,84 mm, enquanto em T3, a água evapotranspirada foi repostada em quatro períodos de irrigação, com uma lâmina total acumulada de 60,98 mm. No ciclo 2010/11, no mesmo intervalo fenológico, foram aplicados 11 períodos em TC, com uma lâmina acumulada de 137,23 mm e 10 períodos em T1, acumulando uma lâmina de 112,61 mm. Durante o período avaliado foram aplicados sete períodos de

irrigação em T2, com lâmina acumulada de 98,77 mm, enquanto em T3 foram aplicadas via irrigação, em quatro períodos, uma lâmina acumulada 63,88 mm.

Pôde-se perceber que, no ciclo 2010/11, a demanda hídrica foi maior em relação ao 2009/10 nesse intervalo fenológico final, com um aumento do consumo hídrico de 12,19% em TC, 9,42% em T1, 18,15% em T2 e 4,54% em T3. Este comportamento se deve ao aumento na demanda evaporativa da atmosfera em relação ao ciclo anterior (Tabelas 1 e 2), somado ao aumento considerável no índice de área foliar no ciclo 2010/11. Cabe ressaltar que, no intervalo fenológico avaliado, as umidades volumétricas em T2 e T3 e seus respectivos potenciais matriciais encontravam-se em 25,15% (-70,17 kPa) e 24,58% (-87,17 kPa) no ciclo 2009/10 e 24,76% (-79,97 kPa) e 24,25% (-92,97 kPa) em 2010/11, expondo as plantas destes tratamentos a um maior nível de estresse hídrico.

No período compreendido entre a colheita EF89 e o fim da maturação dos sarmentos EF91, 205 DAB em ambos os ciclos avaliados, observou-se que o conteúdo de umidade do solo voltou a oscilar menos. Este comportamento pode ser resultado, principalmente, da ausência dos drenos na planta (cachos), retirados na colheita, somado à senescência das folhas e à redução na demanda evaporativa da atmosfera ao fim do ciclo vegetativo:produtivo (Tabelas 1 e 2).

No ciclo 2009/10, para manter a umidade próxima a 100% CAD tanto para TC quanto para T1 foram realizados dois períodos de irrigação somando lâminas de 25,5 e 25,74 mm respectivamente. Observando a reposição de água em T2 e T3 foi aplicado somente um período em ambos os tratamentos de 13,86 e 15,7 mm respectivamente (Figura 8). Para o ciclo 2010/11, no mesmo intervalo fenológico, observou-se um comportamento idêntico ao ciclo 2010/09 de dois períodos de irrigação em TC e T1 com lâminas acumuladas de 19,25 e 24,22 mm respectivamente, enquanto em T2 e T3 o

único período de irrigação teve como lâmina aplicada de 12,47 e 16,67 mm respectivamente (Figura 8).

Na Figura 8 também está demonstrada as evoluções temporais no conteúdo de água no solo de acordo com cada tratamento de restrição hídrica em ambos os ciclos. A profundidade total de solo abrangida pela sonda TDR no perfil Bt foi de 35 cm (40 a 75 cm) e o conteúdo de água para este volume de solo foi obtido como uma média das leituras realizadas na profundidade da sonda instalada a 50 cm de profundidade.

Também em consequência das chuvas ocorridas desde a entrada em dormência no ano precedente ao experimento, o horizonte Bt apresentou em todos os tratamentos, conteúdos de água acima do ponto de retenção máxima de água no solo entre 0,52 e 0,51 $v v^{-1}$, os quais, segundo a curva característica de umidade no solo correspondem a potenciais matriciais no solo acima da capacidade de campo considerada para esta classe de solo. No ciclo 2010/11 (Figura 8). No início do ciclo 2010/11, devido às irrigações sucessivas de alta frequência para atingir potenciais matriciais próximos aos ocorridos no início do ciclo 2009/10 foram alcançados níveis de umidade do solo entre 0,42 e 0,28 $v v^{-1}$, os quais também correspondem a potenciais matriciais acima da capacidade de campo nesta classe de solo (Figura 8).

Entre o início da brotação e a plena floração, em ambos os ciclos, o comportamento do conteúdo de água no solo iniciou variando de forma equivalente entre os tratamentos de restrição hídrica, demonstrando que o consumo hídrico neste horizonte pôde ser suprido sem qualquer intervenção de irrigação para repor a umidade retirada deste horizonte. No ciclo 2009/10, na plena floração, todos os tratamentos de restrição hídrica apresentavam conteúdos de água no solo entre 42,79% e 42,14%, correspondendo a potenciais próximos a 0 kPa, mantendo-o com umidades acima da capacidade de campo considerada para este horizonte (Figura 8). Contudo, neste mesmo

estádio fenológico em 2010/11 o armazenamento de água no solo não pôde mais suprir as necessidades hídricas da videira para os parâmetros pré-estabelecidos ao tratamento controle por apresentar um potencial de -35,92 kPa.

A primeira intervenção de irrigação no tratamento controle, com base na umidade do solo no horizonte Bt ocorreu 86 DAB (EF75) em 2009/10 e aos 62 DAB (EF63), demonstrando que a alta umidade do solo neste ciclo funcionou como reserva para a suplementação da demanda hídrica da planta por mais tempo (Figura 8). Em 2009/10, a primeira lâmina de irrigação em T1 foi aplicada aos 91 DAB (EF77), quando a umidade do solo alcançou 33,73% , a um potencial matricial de -61,47 kPa. Contudo, em 2010/11 T1 houve irrigação pela primeira vez, com base no armazenamento em Bt aos 69 DAB (EF64), quando a umidade do solo era de $0,33 \text{ v v}^{-1}$ (-67,92 kPa) (Figura 8).

Devido às situações de estresse hídrico impostas em T2 e T3 o consumo hídrico foi restringido nos períodos de alta demanda evaporativa e baixo potencial da água no solo em ambos os ciclos avaliados. Em 2009/10, nestes tratamentos, as primeiras lâminas aplicadas ocorreram aos 97 DAB (EF77) e 104 DAB (EF77), quando as umidades atingiram os limites de 34,48 e 32,95% e potenciais matriciais de -73,30 e -106,72 kPa, respectivamente (Figura 8). Em 2010/11, devido ao menor conteúdo de água disponível às plantas, neste horizonte desde o início do ciclo, as primeiras lâminas aplicadas em T2 e T3 ocorreram aos 62 DAB (EF63) e 76 DAB (EF73), respectivamente com umidades de 33,36% (-79,72 kPa) e 33,03% (-99,92 kPa) (Figura 8).

Em ambos os ciclos avaliados, entre a floração e virada de cor das bagas a variação no conteúdo de umidade do solo no horizonte Bt foi mais frequente, oscilando de forma equivalente ao horizonte BA, diferindo seu comportamento de acordo com a

restrição hídrica aplicada nos tratamentos. A utilização da água pelas plantas, em ambos os horizontes, também foi equivalente, evidenciando que as raízes absorvem água do solo em proporções equivalentes nas distintas profundidades do solo, independentemente do tratamento de déficit hídrico aplicado às plantas (Figura 8).

Para manter as respectivas umidades propostas em todos os tratamentos, a partir deste intervalo, foram realizados os mesmos períodos de irrigação descritos na análise do horizonte BA. Isto ocorreu porque a lâmina calculada para atingir o horizonte Bt, necessariamente deve percolar o horizonte BA, elevando a umidade e o potencial matricial em ambos os horizontes (Figura 8).

4.4 Desenvolvimento fenológico sob déficit hídrico em cultivo protegido

Analisando o desenvolvimento fenológico da cultivar Itália sob cultivo protegido, nos diferentes tratamentos de deficiência hídrica percebe-se que desde as gemas latentes (EF00) até o completo desenvolvimento das inflorescências (EF57) não foi observada diferença significativa em ambas as safras (Figura 9). Contudo, o início da antese foi antecipado nas plantas submetidas aos tratamentos de déficit hídrico mais intenso (T2 e T3), em ambos os ciclos.

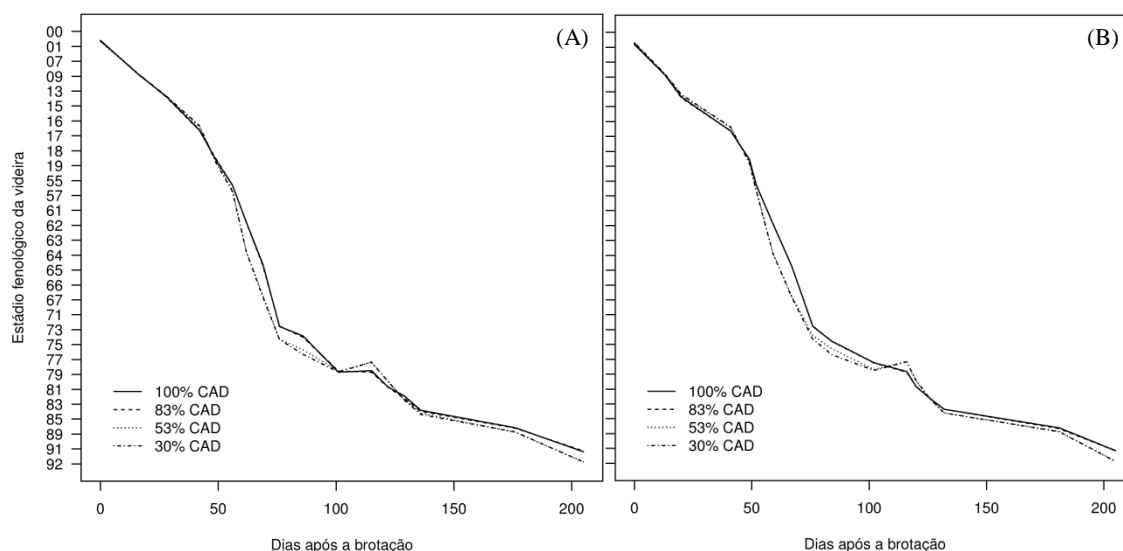


FIGURA 9. Interferência dos níveis de estresse hídrico aplicados sobre os estádios fenológicos da cultivar Itália (*V. vinifera* L.) sob cultivo protegido 2009/10 (A) e 2010/11 (B). Bento Gonçalves, RS, 2011. Estádios fenológicos da videira (*V. vinifera* L.) segundo Lorenz *et al.* (1995), (BBCH): 00 (latencia); 03 (gemas inchadas); 05 (gema lanosa); 09 (abertura da gema); 11 (primeira folha); 14 (quarta folha); 15 (quinta folha); 17 (sétima folha); 19 (nona folha); 53 (inflorescências); 57 (separação das flores); 60 (desprendimento da calíptra); 62 (antese 20%); 65 (antese 50%); 69 (fim da floração); 71 (“fruit set”); 73 (bagas 3 mm); 75 (bagas 5 mm); 79 (bagas se tocam); 81 (início maturação); 83 (bagas brilhantes); 85 (amolecimento bagas); 89 (colheita); 91 (maturação sarmentos).

As plantas submetidas aos déficits hídricos de 53 e 30% CAD anteciparam a plena floração (EF65), em comparação às plantas submetidas à TC e T1. Esta antecipação no ciclo fenológico, observada durante todos os estádios da floração, se refletiu, também, nos estádios de formação dos frutos, sendo os tratamentos com restrição hídrica mais drástica os que anteciparam o pegamento dos frutos. Observando-se o estágio fenológico em que as bagas apresentam cinco mm de diâmetro (EF75), percebe-se que este também é antecipado nos tratamentos mantidos em 53% e 30%, em se comparando aos tratamentos mantidos a 100% e 83% CAD (Figura 9). Segundo Turner (1986) a videira é classificada como uma espécie que “escapa” da deficiência hídrica antecipando seu desenvolvimento fenológico, como forma de contornar as alterações morfofisiológicas ocorrentes em tais situações. Contudo, apesar das

antecipações nos estádios iniciais, não foram observadas diferenças quando todas as bagas se tocam (EF79). Portanto, percebe-se que as plantas mantidas em 53% e 30% reduzem o desenvolvimento das bagas, a partir de EF75, até o ponto de igualdade temporária dos estádios fenológicos entre todos os tratamentos próximos ao início da maturação das bagas em ambas as safras (Figura 9).

Entretanto, ao iniciar a maturação dos frutos (EF81), novamente os tratamentos de restrição hídrica mais intensa voltaram a antecipar a fenologia da videira (Figura 9). Segundo Chavarria (2008), quando a cobertura plástica é instalada logo após a poda de produção, esta tem um efeito estimulante sobre a brotação e o crescimento vegetativo, influenciados pela alteração na temperatura máxima (+3,6%), na temperatura média (+1,0%), na temperatura mínima (+0,1%) devido ao aumento da temperatura em relação ao cultivo descoberto. Portanto, esta técnica de cultivo protegido, associada ao manejo de déficit hídrico mais intenso (T2 e T3), possibilita condições para o produtor antecipar o ciclo vegetativo:produtivo da videira e obter colheitas em épocas distintas, de acordo com as necessidades de mercado, e assim, aumentar os lucros da propriedade.

Ao comparar os estádios fenológicos da videira, segundo os tratamentos de déficit hídrico no período pós-colheita / início do repouso vegetativo (EF91 e EF92), percebe-se que toda antecipação fenológica, anteriormente verificada, é novamente verificada neste estágio de desenvolvimento. Nestes estádios finais os tratamentos de alta restrição hídrica (T2 e T3) também anteciparam a maturação dos sarmentos e o início da senescência das folhas, encurtando significativamente o ciclo fenológico, em relação aos tratamentos TC e T1 (Figura 9).

4.5 Influência da restrição hídrica sobre o crescimento do dossel vegetativo

Nos ciclos 2009/10 e 2010/11 foi determinada a evolução do número de folhas (Figura 10) e sua respectiva área foliar total, segundo os diferentes tratamentos de restrição hídrica aplicados. Estes valores apresentam-se relativizados à superfície de solo ocupada pelas plantas, como índice de área foliar (IAF) (Figura 10). A cobertura plástica, embora favoreça o crescimento dos sarmentos e das folhas, exige um manejo de dossel que acaba limitando, de certa forma, a sua expansão. Isto ocorre porque nas extremidades da estrutura de sustentação é realizada poda em verde para evitar que a parte do dossel vegetativo ultrapasse os limites físicos da cobertura. Sabendo-se que a densidade de plantio e as estruturas do sistema de condução e sustentação são iguais para todos os tratamentos, as diferenças tanto no número de folhas quanto em IAF entre os mesmos é explicada pela disponibilidade hídrica imposta por cada tratamento.

Ao longo dos ciclos foram observadas duas etapas distintas na evolução do número de folhas e no IAF, as quais foram separadas pela prática da desfolha e do desponte dos sarmentos aos 64 DAB, em 2009/10, e aos 77 DAB, no ciclo 2010/11. Até o momento desta poda em verde, estas variáveis foram estimadas por um modelo exponencial, enquanto que, após a poda, foram estimadas por um modelo linear quadrático (Figura 10).

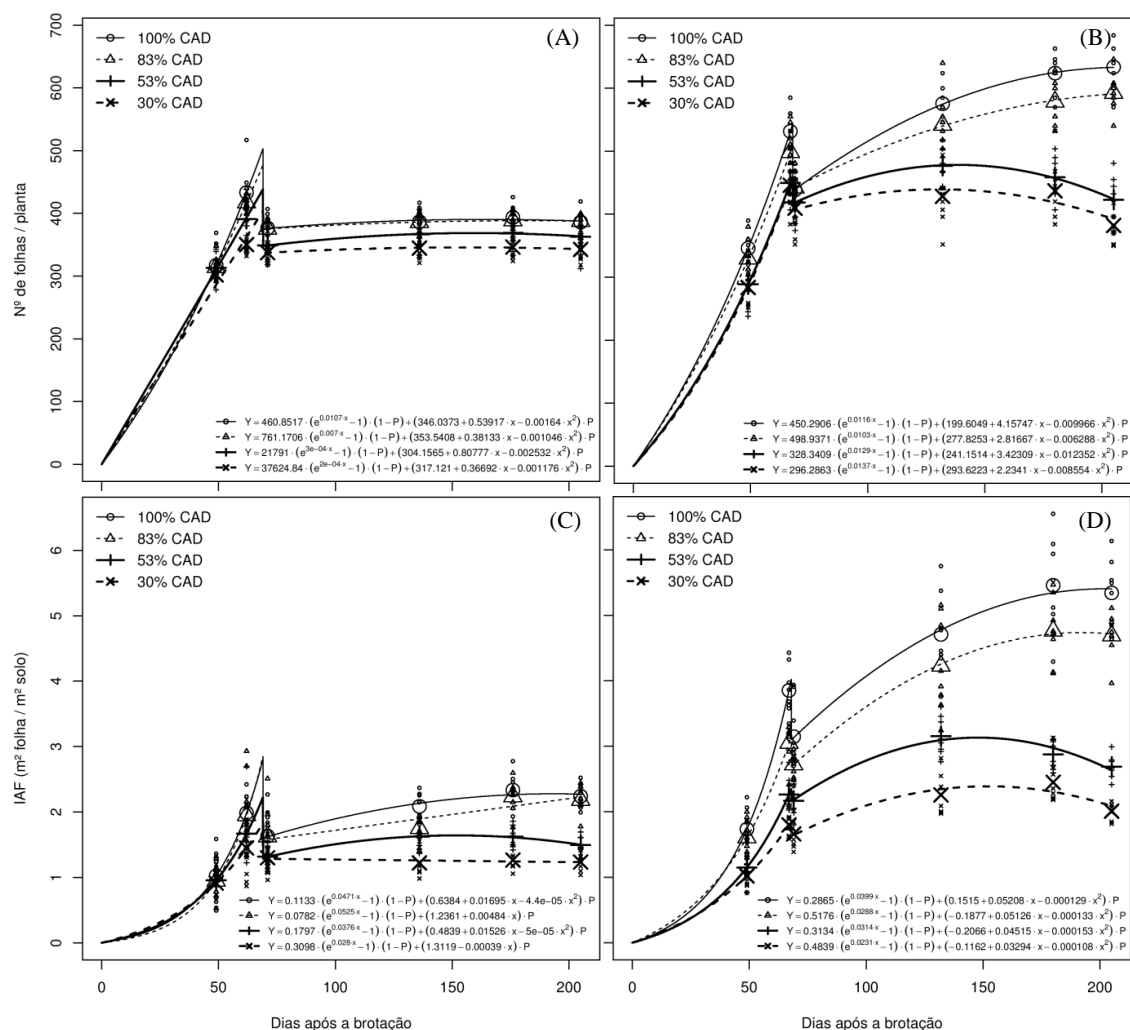


FIGURA 10. Evolução do número médio de folhas por planta nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e evolução do índice de área foliar nos ciclos 2009/10 (C) e 2010/11 (D) sob cultivo protegido em vinhedo da cv. Itália cultivada e sob diferentes níveis de deficiência hídrica do solo. Bento Gonçalves-RS, 2011.

No ciclo 2009/10, até a plena floração os tratamentos não se diferenciaram quanto ao número de brotações (Figura 10). Contudo, em 2010/11, mesmo deixando o mesmo número de gemas na poda de produção em todos os tratamentos de restrição hídrica, houve uma redução média de três sarmentos ($P=0,001$) em T2 e T3, quando comparado ao controle. Esta redução no número de brotações pode ser atribuída ao menor acúmulo e armazenamento de reservas de carboidratos, aminoácidos e proteínas nas gemas, imposto pelos altos níveis de estresse hídrico durante todo o ciclo anterior. Percebe-se que, durante o desenvolvimento vegetativo das videiras, até alguns dias

antes do desponte, houve diferença significativa entre os tratamentos de restrição hídrica (Figura 10). Evidentemente, quando os sarmentos alcançaram maiores desenvolvimentos individuais neste estágio fenológico evidenciam-se as diferenças absolutas no número de folhas e conseqüentemente no IAF entre os distintos tratamentos de déficit.

O tratamento mantido em 30% CAD apresentou 83 folhas a menos ($P < 0,0001$) no ciclo 2009/10, em relação ao 100% CAD (Figura 10), refletindo-se em uma redução de 0,65 no índice de área foliar (Figura 10). Ao analisar o ciclo 2010/11, observa-se que esta diferença é verificada em ambos os tratamentos de maior restrição hídrica, com 82 e 85 folhas a menos, respectivamente, em T2 e T3 (Figura 10), em relação ao TC. Contudo, ao analisar o índice de área foliar nota-se que este é reduzido em 1,59 e 2,06 (Figura 10), respectivamente, sendo esta redução significativamente maior, se comparado ao ciclo 2009/10. Esta diferença mais acentuada na redução do IAF entre os grupos TC-T1 e T2-T3 pode ser resultante do aumento significativo da área foliar por planta no ciclo 2010/11, em relação ao ciclo 2009/10. Este fato pode ser explicado pela realização de poda em verde com maior frequência e intensidade em 2009/10, assim como um maior desenvolvimento de feminelas, principalmente nas plantas mantidas em 100% e 83% CAD.

O Apêndice 1 evidencia a representação gráfica da análise de variância, a qual permite comparar as curvas entre si, agrupando-as por ordem de similaridade. Os gráficos representativos da análise de variância também contemplam a estimativa do coeficiente de determinação do modelo com e sem o efeito dos tratamentos. Pode-se observar que em ambos, os ciclos, as curvas que mais se assemelham são as dos tratamentos TC e T1 (100% e 83% CAD). A segunda maior semelhança entre as curvas, observada em ambos os ciclos, ocorre entre T2 e T3 (53% e 30% CAD). Por fim, o

contraste mais marcante em ambas as variáveis é o que ocorre entre o grupo formado por TC e T1 e o formado por T2 e T3, sendo esta diferença fortemente significativa em ambos os ciclos ($P < 0,0001$). Este comportamento demonstra que T2 e, principalmente, T3 proporcionam uma evolução do número de folhas e de IAF significativamente diferente dos tratamentos mantidos em 100% e 83% CAD.

Analisando o comportamento do desenvolvimento do dossel vegetativo pós-desponte, em ambos os ciclos percebe-se que os tratamentos mantidos sob condições hídricas do solo mais próximas ao máximo armazenamento (TC e T1) apresentaram maior número de folhas, maior área foliar média e conseqüentemente, maiores índices de área foliar (Figura 10). O maior número de folhas, observado nestes tratamentos, é referente ao maior número de brotações axilares, conhecidas como feminelas. Essas, geralmente são estéreis, e inicialmente aumentam a força de dreno para seu desenvolvimento em detrimento de outros órgãos da planta. Contudo, quando em sua máxima eficiência biológica, quando a área foliar alcança 50 cm^2 (Buttrose, 1966), as feminelas contribuem no enchimento das bagas (Yuste, 2005, Gil & Pszczólkowski, 2007).

Este aumento no número de feminelas nas plantas mantidas sob maior frequência de irrigação é resultante do melhor estado hídrico em que as plantas encontravam-se (Gil & Pszczólkowski, 2007), associado ao maior vigor vegetativo proporcionado pela maior disponibilidade de nutrientes na solução do solo, pela maior absorção e translocação dos mesmos. Todos estes fatores aliados à perda de dominância apical pós-desponte, reduzem a concentração de auxina e estimulam a brotação de gemas laterais prontas (Gil & Pszczólkowski, 2007).

Observando a superfície foliar no amolecimento das bagas (EF85) percebe-se que houve redução em todos os tratamentos de déficit hídrico aplicados às plantas.

Neste estágio fenológico 386,7 folhas (IAF=2,08) e 575,2 folhas (IAF=4,7), respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11, contribuíam com fotoassimilados para o enchimento das bagas nos tratamentos mantidos em 100% CAD, o qual não difere estatisticamente de T1. Em contrapartida no tratamento mantido em 30% CAD, que não difere estatisticamente de T2, houve um número reduzido de folhas, 344,6 (IAF=1,22) e 428,4 (IAF=2,25), respectivamente em 2009/10 e 2010/11.

A redução de 42,1 folhas (-0,86 em IAF) no ciclo 2009/10 e 146,8 (-2,45 em IAF) correspondem a uma redução percentual de 20,8% e 52,1% respectivamente. Estes resultados se aproximam ao encontrado por García (2001) que constatou uma redução de 29% em IAF comparando o IAF entre os tratamentos mantidos sem reposição hídrica (0% *ET_o*) e o controle, com uma reposição hídrica de 45% *ET_o*.

As variações no tamanho das folhas estão relacionadas com a variação na turgidez celular, na disponibilidade nutricional e no balanço hormonal que os tratamentos de restrição hídrica proporcionam (Figura 11), os quais interferem diretamente no crescimento foliar (Larcher, 2004). Estes processos envolvidos na produção de biomassa são influenciados pelos fatores ambientais, na mesma direção que as trocas de CO₂, mas não na mesma intensidade.

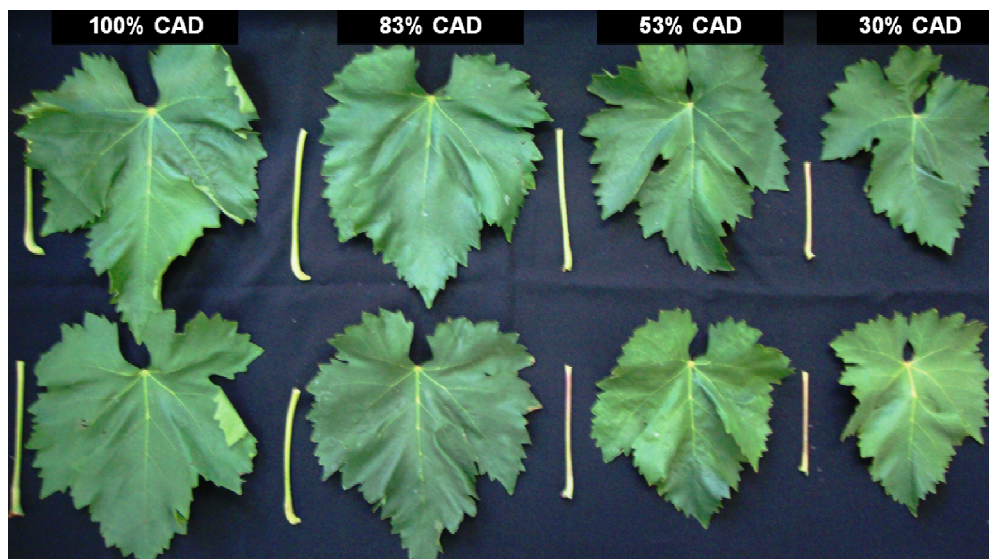


FIGURA 11. Folhas médias de plantas cultivadas sob diferentes níveis de estresse hídrico aplicado (TC - 100% CAD, T1 - 83% CAD, T2 - 53% CAD e T3 - 30% CAD), no cultivo protegido da uva 'Itália' na colheita das bagas no ciclo 2009/10. Bento Gonçalves-RS, 2011.

Ao fim da maturação dos sarmentos (EF91) os tratamentos mantidos em 100% e 83% CAD, apresentavam, respectivamente, 386,1 folhas (IAF=2,18) e 387,6 folhas (IAF=2,24) no ciclo 2009/10 e 592,4 folhas (IAF=4,69) e 633,6 folhas (IAF=5,34) em 2010/11. Contudo, nestas etapas finais do ciclo vegetativo:reprodutivo da cultura, as plantas cultivadas sob estresse hídrico mais intenso apresentaram maior amarelecimento (Figura 11), que se deve, sobretudo, à degradação da clorofila total (Subitem 4.9) devido à senescência das folhas. Em função deste estado fisiológico e bioquímico, resultante do estresse hídrico aplicado durante todo o ciclo as plantas anteciparem a senescência foliar, resultando em um número menor de folhas e, conseqüentemente, menor índice de área foliar. O murchamento das folhas por perda da turgidez, assim como a redução da área foliar por dessecamento, queda ou redução no crescimento, são mecanismos que permitem que as plantas reduzam a perda de água e compensem a baixa disponibilidade hídrica no solo, porém reduzindo a capacidade fotossintética e o potencial de produção (Bergamaschi *et al.*, 1999).

4.6 Alterações microclimáticas e consumo hídrico da videira sob cobertura plástica

4.6.1 Evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência (ET_o) é indicadora da demanda evaporativa atmosférica e pode inferir sobre a demanda hídrica a que as culturas estão submetidas. Valores médios de ET_o , estimados pela equação de Penman-Montheith (Allen et al., 1998) calculados ao longo do período compreendido entre a poda e o fim da maturação dos sarmentos nos ciclos 2009/10, de 206 dias, e 2010/11 de 209 dias, podem ser visualizados na Figura 12. Observa-se que os valores variaram no decorrer do ciclo, segundo as condições meteorológicas predominantes, às mudanças nos estádios fenológicos ocorrentes e, conseqüentemente, de acordo com os distintos índices de área foliar da cultura.

A evapotranspiração de referência (ET_o) acumulada ao longo do ciclo vegetativo:produtivo da cultura, desde a poda à colheita de 180 e 185 dias respectivamente em 2009/10 e 2010/11, foi da ordem de 671,25 e 715,39 mm, correspondendo a um valor médio de 3,73 e 3,87 mm dia⁻¹ (Figura 12; Tabela 4). Destes, os valores mínimos ocorreram no período entre a poda (EF00) e o fim da floração (EF69), aos 74 DAB, quando a demanda evaporativa da atmosfera ainda era crescente (Tabela 3). A média dos valores de ET_o , neste período, corresponderam a 2,95 e 3,48 mm dia⁻¹ em 2009/10 e 2010/11, respectivamente (Figura 12; Tabela 4). Os valores médios máximos de ET_o foram registrados quando a demanda evaporativa da atmosfera era máxima (Tabela 3), no intervalo fenológico entre o pegamento dos frutos (EF71) e a colheita (EF89), aos 182 DAB, com valores médios de 4,35 e 4,32 mm dia⁻¹, respectivamente, nos ciclos 2009/10 e 2010/11 (Figura 12; Tabela 4). No intervalo entre a colheita e o amadurecimento dos sarmentos (EF91), aos 207 DAB, a ET_o voltou a

reduzir, atingindo valores médios de 1,85 e 1,89 mm dia⁻¹ nos ciclos 2009/10 e 2010/11, respectivamente (Figura 12; Tabela 4), resultado da redução na demanda evaporativa da atmosfera nos meses de fevereiro e março dos respectivos ciclos (Tabela 3).

4.6.2 Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração máxima de uma cultura (*ETc*) medida em um determinado local é função, basicamente, das condições meteorológicas ocorridas durante o desenvolvimento das plantas. As características do crescimento e desenvolvimento das plantas, associadas ao tipo e fertilidade do solo, época de plantio, cultivar utilizada e práticas culturais, dentre outros, também exercem influência sobre o consumo de água (Bergamaschi *et al.*, 1999).

Os valores médios de *ETc*, durante o período compreendido entre a poda e a maturação completa dos sarmentos, estão representados na Figura 12 e Tabela 4. Observa-se que os valores de *ETc*, assim como os de *ETo*, variaram de acordo com as condições meteorológicas predominantes e os estádios fenológicos da cultura. A evapotranspiração da cultura acumulada desde a poda à colheita, nos ciclos avaliados, foi da ordem de 326,99 e 367,14 mm, correspondendo aos valores médios de 1,82 e 1,98 mm dia⁻¹ nos ciclos 2009/10, de 180 dias, e 2010/11, de 185 dias (Figura 12 e Tabela 4). O aumento na *ETc* no ciclo 2010/11 é resultante do aumento da demanda evaporativa da atmosfera neste ciclo (Tabela 2). Cabe ressaltar que os valores calculados de *ETc* foram menores que os estimados de *ETo* em ambos os ciclos avaliados, com uma redução de 27,23 e 22,83% respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11.

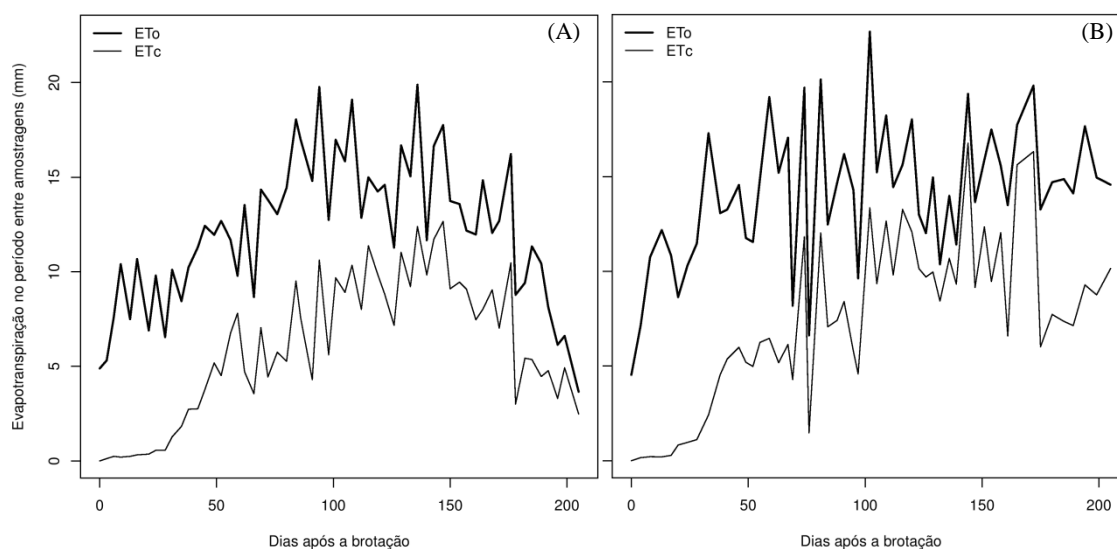


FIGURA 12. Evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pela equação de Penman-Montheith (Allen et al., 1998) e Evapotranspiração da cultura (ET_c) nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B) acumulados no subperíodo de três dias do intervalo de amostragem, sob cultivo protegido da videira 'Itália'. Bento Gonçalves, RS, 2010.

Percebe-se que os valores da ET_c calculados sob cultivo protegido, nos ciclos 2009/10 e 2010/11, são 35,07 e 27,01% menores que o encontrado por Teixeira *et al.* (1999), os quais observaram uma evapotranspiração da cultura na cultivar Itália de 503 mm durante um ciclo de 100 dias, nas condições climáticas de Petrolina-PE. Apesar das distintas condições mesoclimáticas existentes entre os ambientes contrastados, este resultado mostra uma redução média de 31,76% na necessidade hídrica da videira sob cobertura plástica. A cobertura plástica reduz a demanda evaporativa atmosférica, especialmente em função da atenuação da radiação e redução da velocidade do vento, considerados como fatores mais importantes (Farias *et al.*, 1993). Avaliando a evapotranspiração de referência, Cardoso *et al.* (2008) encontraram resultados similares com uma redução de 35% na demanda hídrica da videira 'Moscato Giallo' sob o cultivo protegido, quando comparados ao cultivo em céu aberto.

TABELA 4. Valores médios dos ciclos 2009/10 e 2010/11 de evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração máxima ou da cultura (ET_c) acumulados (mm) e seu respectivo coeficientes de cultura (K_c) ajustados pelo modelo de Gompertz, correspondentes a cada intervalo no estágio fenológico segundo Lorenz *et al.* (1995) e seus respectivos dias acumulados após o início da brotação, Bento Gonçalves-RS. 2011.

Estádio Fenológico*	DAB (médio)	ET_o (mm)		ET_c (mm)		K_c (mm) médio
		2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
00 - 03	7	17,78	22,44	0,36	0,37	0,03
05 - 09	14	17,89	23,01	0,44	0,48	0,04
11 - 14	32	44,01	47,70	3,07	5,32	0,12
15 - 17	46	42,39	52,64	11,08	21,09	0,25
17 - 19	53	24,63	26,41	9,68	11,22	0,35
53 - 57	60	21,47	34,40	14,56	11,63	0,40
60 - 62	67	22,18	25,23	8,26	10,42	0,45
62 - 65	74	28,14	26,31	11,48	13,23	0,49
65 - 69	78	13,04	20,13	5,74	12,03	0,52
71 - 73	81	14,44	12,47	5,27	7,07	0,53
73 - 75	91	49,83	45,14	21,38	21,57	0,56
75 - 79	120	126,48	126,83	74,39	85,23	0,60
79 - 81	128	25,86	37,34	15,97	28,09	0,62
81 - 83	135	31,72	25,40	20,24	20,01	0,63
83 - 85	141	31,54	33,02	22,22	16,77	0,64
85 - 89	182	159,83	156,93	102,85	102,61	0,64
89 - 91	207	46,30	47,18	37,37	35,32	0,65
		717,55	762,57	364,36	402,46	0,44

*Os estádios fenológicos da videira (*V. vinifera* L.) seguem a escala proposta por Lorenz *et al.* (1995), codificação BBCH: 00 (gemas latentes); 03 (gemas inchadas); 05 (ponta lanosa); 09 (abertura gema); 11 (primeira folha desprendida); 14 (quarta folha); 15 (quinta folha); 17 (sétima folha); 19 (nona folha); 53 (inflorescências visíveis); 57 (separação das flores); 60 (desprendimento da calíptria); 62 (20% de flores abertas); 65 (plena floração - 50% de flores abertas); 69 (fim da floração); 71 (pegamento dos frutos); 73 (bagas com 3 mm de diâmetro); 75 (bags com 5 mm de diâmetro); 79 (todas as bagas se tocam); 81 (início da maturação); 83 (bagas brilhantes); 85 (amolecimento das bagas); 89 (bagas prontas para a colheita); 91 (fim da maturação dos sarmentos).

Os valores encontrados aproximam-se do citado por Back & Bruna (2009), os quais observaram o consumo hídrico da videira em cultivo descoberto, na região de Urussanga-SC, na ordem de 335,4 mm, contudo, com uma redução de 63 dias no ciclo vegetativo:reprodutivo.

Os valores da ETc se comportaram da mesma forma em ambos os ciclos avaliados, com valores médios de $0,09 \text{ mm dia}^{-1}$ até a completa abertura da gema (EF09), aos 9 DAB em ambos os ciclos (Figura 12 e Tabela 4). Estes dados se contrapõem aos encontrados por Ávila Netto *et al.* (2000) e Conceição & Maia (2001), os quais encontraram valores de $0,67$ e $2,75 \text{ mm dia}^{-1}$ respectivamente. Cabe salientar que esta redução pode ser explicada pela atenuação das variáveis meteorológicas sob o cultivo protegido, reduzindo a ETc no início do ciclo estudado.

A evapotranspiração da cultura foi aumentando paulatinamente, segundo o desenvolvimento vegetativo da videira. Os valores médios encontrados entre uma (EF11) e quatro (EF14) folhas desprendidas nos ciclos 2009/10 e 2010/11 foram de $0,17$ e $0,29 \text{ mm dia}^{-1}$ e aumentaram para $0,65$ e $0,83 \text{ mm dia}^{-1}$, entre cinco (EF15) e nove (EF19) folhas desprendidas, respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11 (Figura 12 e Tabela 4). Os resultados encontrados também divergem dos descritos por Teixeira *et al.* (1999), Ávila Netto *et al.* (2000) e Conceição & Maia (2001), com respectivos valores de $2,95$, $3,7$ e $2,91 \text{ mm dia}^{-1}$ em cultivo da videira sob céu aberto, evidenciando a reduzida demanda hídrica da videira nestes estádios fenológicos sob cultivo protegido, resultante, principalmente, da baixa demanda evaporativa da atmosfera, a qual é reduzida neste sistema de cultivo.

Durante a floração, os valores médios de ETc encontravam-se na ordem de $1,21$ e $1,69 \text{ mm dia}^{-1}$ nos distintos ciclos analisados. Os valores médios máximos de evapotranspiração da cultura ocorreram entre o pegamento dos frutos (EF71) e a colheita (EF89), período correspondente ao pleno desenvolvimento do dossel vegetativo e ao crescimento e desenvolvimento dos cachos, principal dreno de fotoassimilados na planta, os quais são transportados via floema tendo como veículo principal a água. Os valores respectivos aos ciclos 2009/10 e 2010/11 alcançaram $2,52$ e $2,70 \text{ mm dia}^{-1}$

(Tabela 4). A redução na demanda evaporativa atmosférica sob cultivo protegido é nitidamente percebida neste intervalo fenológico avaliado. Ao comparar os valores encontrados por Teixeira *et al.* (1999), Ávila Netto *et al.* (2000) e Conceição & Maia (2001) percebe-se que, neste período, ocorreu uma redução média na evapotranspiração de 35,71% sob o cultivo protegido de videiras.

A ET_c voltou a reduzir ao fim de ambos os ciclos, com valores de 1,49 e 1,41 mm dia⁻¹ (Figura 12 e Tabela 4). Salienta-se que estes valores estão acima dos valores encontrados por Conceição e Maia (2001) em videiras descobertas, mesmo em condições mesoclimáticas de Jales-SP com maior demanda evapotranspiratória, com referência de 0,85 mm dia⁻¹. Esta alta taxa evapotranspirativa ao fim do ciclo demonstra que neste estágio final de desenvolvimento sob a cobertura as folhas ainda dispõem de condições microclimáticas e fisiológicas (ex.: atraso de senescência) para manter altos fluxos transpiratórios, podendo, desta forma, favorecer os processos metabólicos por um período maior de tempo durante o ciclo (Cifre *et al.*, 2005).

4.6.3 Coeficiente de cultura calculado com base na evapotranspiração de referência (K_c)

Para que se tenha condições de estimar a necessidade hídrica de uma cultura em uma condição específica, como é o caso do cultivo protegido é necessário determinar o coeficiente de cultura, através da relação entre a evapotranspiração máxima (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) (Bergamaschi *et al.*, 1999).

Para a determinação da demanda hídrica de culturas, diversos trabalhos têm sido realizados (Berlato & Bergamaschi, 1978; Doorenbos & Kassam, 1979; Dylla *et al.*, 1980; Wright, 1982; Perrier, 1985; Azevedo *et al.*, 1993; Teixeira *et al.*, 1999; Ávila Netto *et al.*, 2000), comparando valores da evapotranspiração da cultura (ET_c) com a

evapotranspiração potencial de referência (ET_o), sob diferentes condições de clima, solo e manejo, através do coeficiente de cultura.

Desde a poda até ao estágio de 19 folhas desprendidas, em ambos os ciclos, observou-se que os valores de ET_o foram elevados em relação aos valores da ET_c , o que pode ser explicado pelo baixo índice de área foliar durante os estágios fenológicos iniciais (Figura 10 e Tabela 4) e pela maior influência das variáveis deste microclima coberto sobre o cálculo de ET_o . Esta diferença média extrema alcançou 2,31 mm dia⁻¹ (+83,4%) e 2,53 mm dia⁻¹ (+77,8%) nos ciclos 2009/10 e 2010/11, respectivamente. Entretanto, ao longo do ciclo os valores de ET_o e ET_c ficaram mais próximos, atingindo a diferença de 1,76 mm dia⁻¹ (+57,3%) e 1,57 mm dia⁻¹ (+62,35%), respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11, entre o início do florescimento e a colheita. Esta aproximação entre os valores pode ser explicada pelo aumento do dossel vegetativo, alcançando altos índices de área foliar nestes estágios fenológicos (Figura 10 e Tabela 4). Destaca-se também que, ao contrário do que é observado em cultivos convencionais de videira, no final dos ciclos avaliados, a diferença entre ET_o e ET_c foi reduzida, sendo os valores médios de 0,36 mm dia⁻¹ (+19,5%) e 0,47 mm dia⁻¹ (+24,8%), respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11. Portanto, o cálculo do coeficiente de cultura é de grande importância para que estas correções sejam realizadas para o cultivo protegido de videira.

Correlacionando os valores médios de ET_c e ET_o nos ciclos 2009/10 e 2010/11 pôde-se verificar que esta relação não é constante, tanto para a estimativa do K_c por regressão linear (0,53), quanto para os valores estimados pela média dos valores observados (0,48) (Figura 13). A dispersão dos pontos na relação é resultante da discrepância entre os resultados comparativos de ET_o e ET_c durante ambos os ciclos vegetativo:reprodutivo (Figura 12 e Tabela 4).

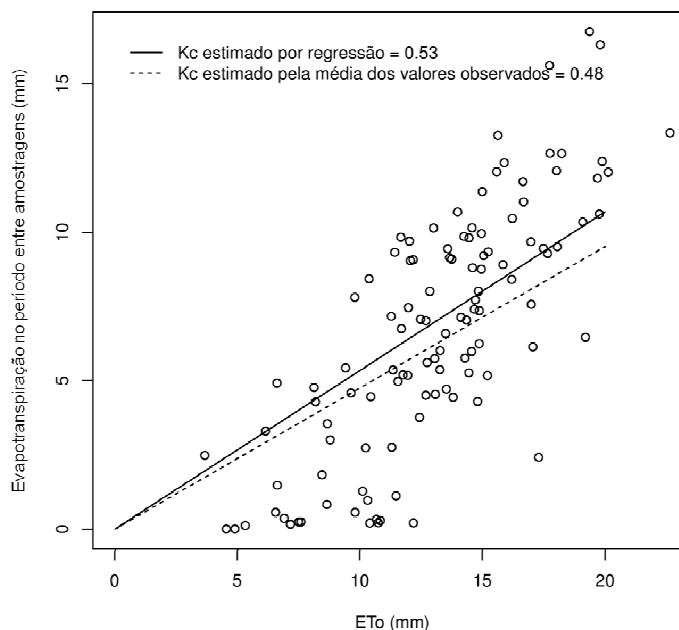


FIGURA 13. Relação entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e a evapotranspiração da cultura (ET_c) da videira (mm), acumulados no subperíodo de três dias do intervalo de amostragem, sob o cultivo protegido. Bento Gonçalves, RS (2011).

Durante o ciclo vegetativo:produtivo, a distribuição do coeficiente de cultura (K_c) é chamada “curva de cultura”, que é obtida experimentalmente e representa o efeito integrado da mudança na área foliar, da altura da planta, do grau de cobertura do solo, das resistências hídricas oferecidas pelo dossel vegetativo e das diferenças entre a ET_o e a ET_c (Sediyama, 1996).

A relação entre o coeficiente de cultura (quociente da divisão entre ET_c e ET_o) e o tempo (número de dias após a brotação) foi estimada pelo modelo de Gompertz (1925), que tem uma forma sigmóide assimétrica (Figura 14). O coeficiente de cultura apresentou valores mínimos ($K_c < 0,03$) desde o estágio de gema dormente (poda) (EF00) até a abertura das gemas (EF09) (Figura 14 e Tabela 4). Este valor reduzido de K_c é explicado pela ausência de área foliar nestes estádios fenológicos e, conseqüentemente, pela reduzida ET_c em relação à ET_o . Na etapa inicial de desenvolvimento dos ciclos avaliados os valores de K_c foram, em geral, inferiores aos

apresentados por Doorenbos & Kassam (1979) e Teixeira *et al.* (1999), em cultivo em céu aberto, os quais citam valores elevados próximos à 0,6. Contudo, os valores de K_c obtidos nesta etapa inicial foram mais próximos ao encontrado por Conceição & Maia (2001) em cultivo descoberto de videiras ‘Niágara’, com valor médio de 0,18 no mesmo período fenológico.

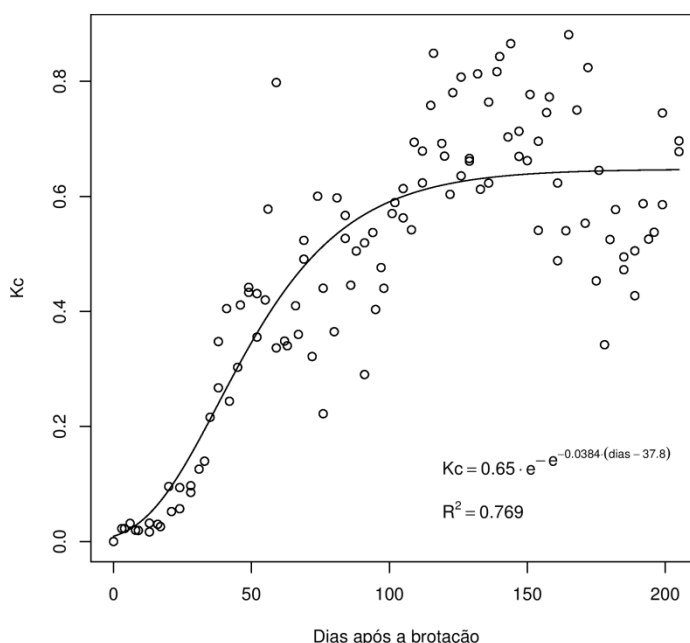


FIGURA 14. Variação do coeficiente de cultura K_c , obtida através do modelo de Gompertz, correlacionando a evapotranspiração de referência (ET_o) e a evapotranspiração da cultura (ET_c), ao longo do período entre a poda e o fim da maturação dos sarmentos da videira “Itália” sob cultivo protegido, Bento Gonçalves, RS, 2011.

Nos estádios fenológicos compreendidos entre a primeira folha desprendida (EF11) à nona folha completamente desprendida (EF19), o K_c apresentou um valor médio de 0,16 (Figura 14 e Tabela 4), aumentando de forma proporcional em relação ao desenvolvimento do dossel vegetativo da videira (Figura 14). Teixeira *et al.* (1999) encontraram um valor próximo a 0,7 em videiras ‘Itália’ nas condições climáticas do Submédio do rio São Francisco. Esse contraste pode ser explicado pelas diferenças de cobertura e de mesoclima, entre a Serra Gaúcha e o Submédio do rio São Francisco.

Com a evolução de desenvolvimento fenológico, entre o aparecimento da inflorescência (EF53) e o fim do florescimento (EF69), o Kc médio observado foi de 0,47 (Figura 14 e Tabela 4).

A partir do pegamento dos frutos (EF71), até o estágio fenológico em que todas as bagas do cacho se tocam (EF79), o valor médio de Kc foi de 0,56, tendendo à estabilização no decorrer do desenvolvimento da videira (Figura 14 e Tabela 4). Este comportamento se deve ao maior aumento da ETc , em consequência do desenvolvimento foliar da cultura, da demanda hídrica para a expansão das bagas e do aumento no déficit de pressão de vapor (DPV), em função das condições de temperatura e umidade no período de dezembro e janeiro (Tabelas 1 e 2).

Do início da maturação das bagas (EF81) até a completa maturação completa dos sarmentos (EF91), o Kc médio se manteve em 0,64 (Figura 14 e Tabela 4), divergindo significativamente dos valores citados por Doorenbos & Kassam (1979), Ávila Netto (2000) e Teixeira *et al.* (1999) e Conceição & Maia (2001). Todos estes trabalhos descrevem uma redução considerável na ETc após a colheita, em consequência da queda das folhas e do aumento na resistência de transferência de água no sistema solo-planta-atmosfera, devido à senescência antecipada das folhas no cultivo convencional descoberto. Cabe enfatizar que, no cultivo protegido, as folhas permanecem biologicamente ativas por um período superior a 21 dias, comparativamente às plantas em cultivo descoberto, correspondendo a um período de atividade foliar de 100 dias após a colheita (Chavarria & Santos, 2009a). Este comportamento também foi observado neste estudo, iniciando a senescência foliar somente aos 120 dias após a colheita nas plantas mantidas em 100% e 83% CAD. Desta forma, o processo fotossintético foliar é favorecido e prolongado pelas coberturas

plásticas, o que demanda uma taxa transpiratória elevada neste período final do ciclo produtivo anual.

A Figura 15 mostra a correlação entre os valores médios de ET_c observados através do balanço hídrico da cultura da videira sob cobertura plástica e os valores de ET_c estimados por ET_o e corrigidos pelo K_c (em função do tempo) nos ciclos 2009/10 e 2010/11. Pode-se verificar que esta relação é constante para ambos os métodos ($R^2=0,85$), demonstrando que os valores calculados de K_c corrigem adequadamente os dados de ET_o . O K_c assim calculado pode ser utilizado para o cálculo da exigência hídrica da videira sob cultivo protegido, auxiliando na reposição exata da água consumida pela videira via irrigação sob cultivo protegido.

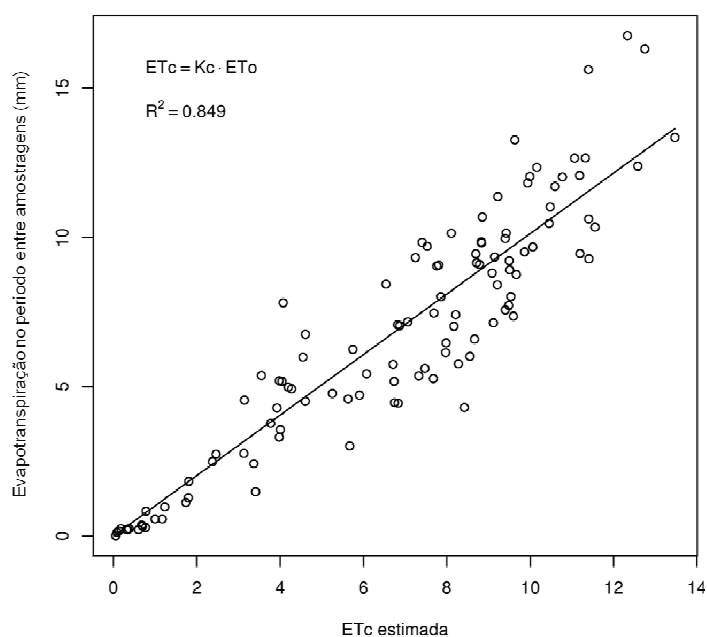


FIGURA 15. Relação entre os valores médios de ET_c calculados através do balanço hídrico da cultura da videira “Itália” sob cobertura plástica e os valores de ET_c estimados pelo cálculo, corrigidos pelo K_c . Valores acumulados no subperíodo de três dias do intervalo de amostragem. Bento Gonçalves, RS, 2011.

4.7 Demanda hídrica em relação aos diferentes tratamentos de irrigação

Os valores médios e acumulados de evapotranspiração (*ET*) em videiras submetidas aos distintos tratamentos de estresse hídrico durante o período compreendido entre a poda e a maturação completa dos sarmentos estão representados na (Figura 16 e Tabela 5). Observa-se que os valores de *ET_c* (videiras mantidas em 100% CAD) e *ET* (videiras mantidas em 83%, 53% e 30% CAD) variaram de acordo com as condições meteorológicas predominantes e os estádios fenológicos da cultura. Além disso, salienta-se que os tratamentos de déficit hídrico exerceram influências sobre a *ET*, o que evidencia a ocorrência de ajustes morfofisiológicos das plantas para restringir a perda de água nas distintas condições de déficit hídrico (Silva *et al.*, 2005). Conforme salientado anteriormente (Tabela 4), o consumo hídrico das videiras mantidas em 100% CAD desde a poda (EF00) ao completo amadurecimento dos sarmentos (EF91) foi da ordem de 364,36 e 402,46 mm, correspondendo aos valores médios de 1,77 e 1,93 mm dia⁻¹ nos ciclos 2009/10, de 206 dias, e 2010/11, de 209 dias (Figura 16 e Tabela4), para fins de comparação com os demais tratamentos. Ao comparar este consumo hídrico das videiras em alta disponibilidade de água, com os demais tratamentos de restrição hídrica, percebe-se uma significativa redução no consumo hídrico nos ciclos 2009/10 e 2010/11. A evapotranspiração das videiras mantidas em 83% CAD foi da ordem de 343,27 e 382,20 mm, com valores de 1,67 e 1,83 mm dia⁻¹, respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11, gerando uma redução de 5,76% e 5,03% em relação ao tratamento controle (100% CAD). Esta diferença fica ainda mais evidente nas videiras mantidas sob regimes hídricos mais intensos, sendo o consumo reduzido em 28,62% e 25,26% nas plantas mantidas em 53% CAD (*ET* = 260,07 e 300,78 mm, com média diária de 1,26 e 1,44 mm) e em 40,38% e 48,69% nas videiras mantidas em

30% CAD ($ET = 217,21$ e $206,48$ mm, com média diária de 1,05 e 0,99 mm), respectivamente em 2009/10 e 2010/11 (Figura 16 e Tabela 5).

TABELA 5. Valores médios dos ciclos 2009/10 e 2010/11 de evapotranspiração de referência (mm) (ET_o) e evapotranspiração da videira (consumo hídrico, (mm)) segundo os tratamentos de déficit hídrico aplicado correspondentes a cada intervalo no estágio fenológico segundo Lorenz *et al.* (1995) e seus respectivos dias acumulados após o início da brotação, Bento Gonçalves-RS. 2011.

Estádio Fenológico*	DAB (médio)	ET_c	ET_c	ET	ET	ET	ET	ET	ET
		(mm) (TC)	(mm) (TC)	(mm) (T1)	(mm) (T1)	(mm) (T2)	(mm) (T2)	(mm) (T3)	(mm) (T3)
		2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11
00 - 03	7	0,36	0,37	0,32	0,29	0,35	0,33	0,31	0,36
05 - 09	14	0,44	0,48	0,48	0,41	0,46	0,44	0,49	0,39
11 - 14	32	3,07	5,32	3,23	5,75	2,95	5,54	3,19	5,69
15 - 17	46	11,08	21,09	10,69	21,21	10,22	21,01	10,71	21,31
17 - 19	53	9,68	11,22	9,77	11,39	9,41	7,64	9,53	9,57
53 - 57	60	14,56	11,63	14,78	11,43	13,81	7,31	13,76	6,39
60 - 62	67	8,26	10,42	8,15	10,54	6,97	7,32	6,86	5,03
62 - 65	74	11,48	13,23	10,89	10,35	8,91	12,31	8,91	3,21
65 - 69	78	5,74	12,03	5,55	11,95	4,23	7,13	4,27	1,61
71 - 73	81	5,27	7,07	5,08	6,91	4,28	2,22	4,05	5,94
73 - 75	91	21,38	21,57	20,42	19,04	16,46	20,39	13,57	12,59
75 - 79	120	74,39	85,23	72,32	77,41	52,09	54,73	31,59	29,48
79 - 81	128	15,97	28,09	15,92	27,18	9,87	25,31	15,44	12,57
81 - 83	135	20,24	20,01	19,44	19,51	15,65	13,41	10,27	14,19
83 - 85	141	22,22	16,77	17,79	16,88	4,67	12,83	3,69	4,22
85 - 89	182	102,85	102,61	92,61	96,93	69,85	74,42	57,14	52,26
89 - 91	207	37,37	35,32	35,83	35,02	29,89	28,44	23,43	21,67
Total		364,36	402,46	343,27	382,20	260,07	300,78	217,21	206,48

*Os estádios fenológicos da videira (*V. vinifera* L.) seguem a escala proposta por Lorenz *et al.* (1995), codificação BBCH: 00 (gemas latentes); 03 (gemas inchadas); 05 (ponta lanosa); 09 (abertura gema); 11 (primeira folha desprendida); 14 (quarta folha); 15 (quinta folha); 17 (sétima folha); 19 (nona folha); 53 (inflorescências visíveis); 57 (separação das flores); 60 (desprendimento da calíptra); 62 (20% de flores abertas); 65 (plena floração - 50% de flores abertas); 69 (fim da floração); 71 (pegamento dos frutos); 73 (bagas com 3 mm de diâmetro); 75 (bagas com 5 mm de diâmetro); 79 (todas as bagas se tocam); 81 (início da maturação); 83 (bagas brilhantes); 85 (amolecimento das bagas); 89 (bagas prontas para a colheita); 91 (fim da maturação dos sarmentos).

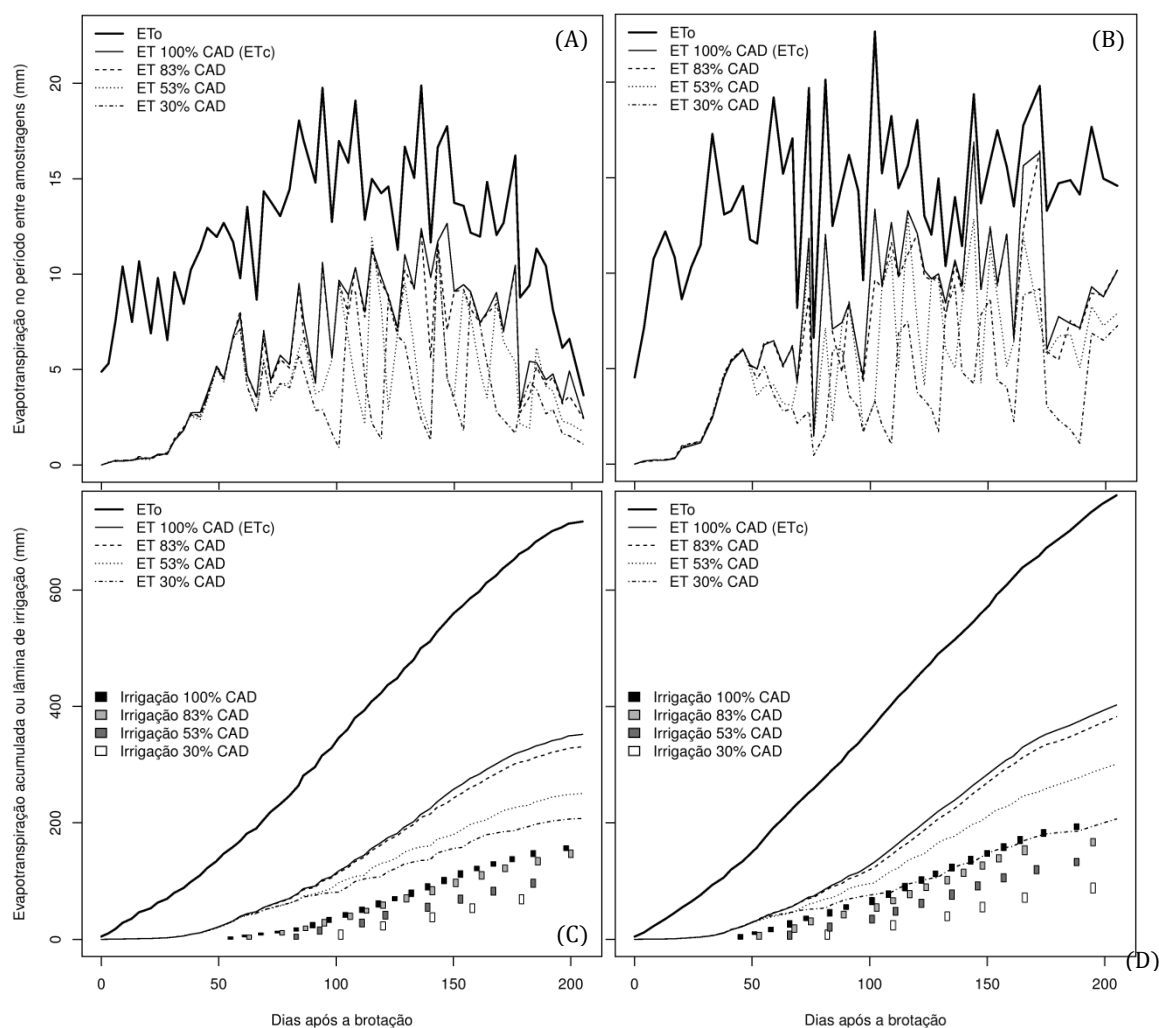


FIGURA 16. Evolução estacional da evapotranspiração potencial diária (ET_o) e da evapotranspiração (ET) referente ao consumo hídrico no subperíodo de três dias do intervalo de amostragem no vinhedo segundo os diferentes tratamentos de restrição hídrica nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B). Evolução estacional da evapotranspiração potencial acumulada (ET_o) e da evapotranspiração (ET) acumulada referente ao consumo hídrico durante o ciclo vegetativo:produtivo, assim como a lâmina d'água reposta via irrigação segundo os tratamentos de restrição hídrica nos ciclos 2009/10 (C) e 2010/11 (D). As setas indicam a data média dos estádios fenológicos avaliados: 64 plena floração; 75 baga com diâmetro entre 8 e 10 mm (ervilha); 85 amolecimento das bagas; 89 colheita; 91 fim da maturação dos sarmentos segundo Lorenz *et al.* (1995). Bento Gonçalves, RS, 2010

De acordo com Winkler *et al.*, (1974), em vinhedos californianos, o consumo hídrico da videira durante todo o ciclo vegetativo:reprodutivo varia de 405 a 1370 mm, com uma média de 887,5 mm, enquanto Doorenbos & Kassam (1979) e Mandeli (1984) afirmam que, de maneira geral em cultivos em céu aberto, as necessidades hídricas

variam de 500 a 1200 mm, dependendo do clima, solo, cultivar e manejo cultural. Partindo-se de uma média geral de 850 mm nestes cultivos convencionais, cabe salientar que, em ambos os ciclos, o consumo hídrico da videira mantida sob cultivo protegido foi significativamente reduzido, atingindo uma economia de 54,9% nas condições sem estresse (100% CAD) e de 75,1% no regime hídrico mais limitante (30% CAD). Considerando o tratamento sem restrição hídrica, salienta-se a importância do cultivo protegido para promover a economia no consumo hídrico das plantas (Flores *et al.*, 2007). Todavia, as estratégias de imposição do déficit hídrico só devem ser adotadas se a economia de água não tiver impacto negativo na produtividade e na qualidade da uva (Netzer *et al.*, 2009). Para uvas de mesa recomenda-se repor 100% da evapotranspiração da cultura principalmente nos estádios fenológicos, iniciais como florescimento e desenvolvimento das bagas, pois o tamanho das bagas, influenciado pelo número de células e sua turgidez, interfere nos componentes do rendimento, além de serem fatores de qualidade (Sellés & Ferreyra, 2005). Contudo, segundo Williams *et al.* (2003), o volume máximo das bagas é alcançado suplementando 80% da evapotranspiração da cultura. Analisando o ciclo 2009/10 percebe-se que, na plena floração (EF65), os valores médios de *ET* começam ser reduzidos nos tratamentos mantidos sob condições de estresse hídrico mais intensos (T2 e T3). Entretanto, no ciclo 2010/11 esta redução foi percebida de forma antecipada em EF62 (antese em 20% das flores) (Figura 16 e Tabela 5), resultante do menor armazenamento de água no solo no início do ciclo (Figura 8). Os valores médios máximos de evapotranspiração em TC e T1 ocorreram entre o pegamento dos frutos (EF71) e a colheita (EF89), período correspondente ao maior desenvolvimento do dossel vegetativo e ao crescimento e desenvolvimento dos cachos, alcançando valores de 2,68 e 2,51 mm dia⁻¹, respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11 (Figura 16 e Tabela 5). A redução na

disponibilidade hídrica das videiras mantidas em T2 e T3 é nitidamente percebida nestes intervalos fenológicos iniciais, com valores médios de 186 e 182 mm dia⁻¹, contribuindo com a redução da oferta hídrica nestes tratamentos (Figura 16 e Tabela 5).

A necessidade de irrigação durante o ciclo de 206 dias em 2009/10 e 209 dias em 2010/11 da 'Itália' sob cultivo protegido para a manutenção de 100% de CAD e a reposição da umidade evapotranspirada do solo via irrigação foi de 168,98 mm, somando 20 períodos de irrigação em 2009/10 e 198,45 mm com 19 períodos de irrigação em 2010/11 (Figura 16 e Tabela 6). Para a manutenção da umidade do solo em 83% CAD foram aplicadas lâminas totais de 153,31 mm e 173,25 mm, somando 14 períodos de irrigação. A redução na evapotranspiração das videiras mantidas nos tratamentos de 53% CAD e 30% CAD, ao longo de ambos os ciclos, resultou na redução dos volumes de água aplicada via irrigação. Nas plantas mantidas em T2 foram aplicados oito períodos em 2009/10, totalizando 103,35 mm, e 10 períodos em 2010/11, com 139,15mm; enquanto em T3, respectivamente nos mesmos anos, foram somente cinco períodos (92,38 mm) e seis períodos de irrigação (96,52 mm). No Chile, Ferreyra *et al.* (2006) obtiveram lâmina média aplicada de 376,90 mm em videiras 'Crimson Seedless' cultivadas em céu aberto e irrigadas com 50% da *ETc*, durante todo o ciclo produtivo. Portanto, percebe-se que, mesmo em plantas mantidas em 100% CAD, o dispêndio de água é reduzido no cultivo protegido, devido às alterações microclimáticas impostas pelas coberturas plásticas (Chavarria, 2008).

TABELA 6. Lâminas aplicadas via irrigação (mm) para reposição durante os ciclos ciclos 2009/10 e 2010/11 segundo os tratamentos de déficit hídrico aplicados correspondentes a cada intervalo no estágio fenológico segundo Lorenz *et al.* (1995) e seus respectivos dias acumulados após o início da brotação, Bento Gonçalves-RS. 2011.

Estádio Fenológico*	DAB (médio)	Lâmina	Lâmina	Lâmina	Lâmina	Lâmina	Lâmina	Lâmina	Lâmina
		(mm) (TC)	(mm) (TC)	(mm) (T1)	(mm) (T1)	(mm) (T2)	(mm) (T2)	(mm) (T3)	(mm) (T3)
		2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11
00 - 03	7	-	-	-	-	-	-	-	-
05 - 09	14	-	-	-	-	-	-	-	-
11 - 14	32	-	-	-	-	-	-	-	-
15 - 17	46	-	8,41	-	-	-	-	-	-
17 - 19	53	-	4,66	-	12,18	-	-	-	-
53 - 57	60	4,19	7,61	-	-	-	-	-	-
60 - 62	67	3,31	11,42	7,56	12,60	-	13,82	-	-
62 - 65	74	3,47	7,77	-	11,84	-	-	-	-
65 - 69	78	3,31	-	7,27	-	-	-	-	15,96
71 - 73	81	-	11,51	-	-	-	14,07	-	-
73 - 75	91	14,48	7,98	7,81	11,68	8,64	-	-	-
75 - 79	120	37,62	48,13	41,65	47,04	25,96	40,66	30,11	16,25
79 - 81	128	7,01	10,04	-	12,68	13,71	-	-	14,91
81 - 83	135	11,45	11,80	12,16	12,31	-	16,21	-	-
83 - 85	141	10,81	13,10	13,86	-	13,98	-	15,68	-
85 - 89	182	46,24	46,20	37,25	40,57	27,19	41,92	30,89	32,72
89 - 91	207	27,08	8,83	25,75	12,35	13,86	12,47	15,71	16,67
Total		168,98	198,45	153,31	173,25	103,35	139,15	92,38	96,52

* Os intervalos dos estádios fenológicos da videira (*V. vinifera* L.) foram estabelecidas segundo a escala proposta por Lorenz *et al.* (1995), codificação BBCH, sendo as seguintes: 00 (gemas latentes); 03 (gemas inchadas); 05 (gema com ponta lanosa); 09 (abertura da gema); 11 (primeira folha desprendida); 14 (quarta folha desprendida); 15 (quinta folha desprendida); 17 (sétima folha desprendida); 19 (nona folha desprendida); 53 (inflorescências visíveis); 57 (separação das flores); 60 (desprendimento da calíptra); 62 (20% de flores abertas); 65 (plena floração – 50% de flores abertas); 69 (fim da floração); 71 (pegamento dos frutos); 73 (bagas com 3 mm de diâmetro); 75 (bags com 5 mm de diâmetro); 79 (todas as bagas se tocam); 81 (início da maturação); 83 (bagas brilhantes); 85 (amolecimento das bagas); 89 (bagas prontas para a colheita); 91 (fim da maturação dos sarmentos).

A redução na frequência de aplicação de água via irrigação, durante ambos os ciclos, em T1, T2 e T3, em relação ao tratamento controle ocasionou um déficit de irrigação médio de 5,39%, 26,86% e 44,74%, que resultou em uma economia de água de 20,67, 102,99 e 171,55 mm, sendo altamente representativa sob o ponto de vista

econômico. Ao analisar a reposição hídrica durante o estágio de maturação das bagas em ambos os ciclos nos tratamentos mantidos em 83%, 53% e 30% CAD percebe-se uma economia de água de 7,75, 29,79 e 46,75% resultando em uma economia hídrica de 7,96, 30,6 e 48,03 mm. Estes resultados corroboram com os resultados encontrados por Marinho *et al.* (2009) os quais observaram uma redução de 8,7, 8,9 e 19,5% reduzindo em 23,5, 24,1 e 53,4 mm a lâmina aplicada via irrigação ao alterar a época de aplicação da lâmina referente à suplementação hídrica de 100%, 50% e 0% de ET_c após a virada de cor na cultivar Sugaone, em relação à manutenção das plantas na capacidade de campo em cultivo descoberto.

4.8 Potencial da água na folha

Segundo Gil & Pszczólkowski (2007), as videiras destinadas à produção de uva de mesa devem ser mais irrigadas que as videiras destinadas à produção de uvas passa ou vinhos tranquilos e espumantes. De acordo com Myburgh (2005) e Williams & Trout (2005) os sarmentos devem ser mais longos (>1,5m), de forma a aumentar a área foliar exposta (fonte) para a manutenção de um cacho relativamente grande (dreno).

A evolução do potencial da água na folha (ψ_H) ao longo do dia na plena floração (aos 68 DAB, em 9/11/2009; e 67 DAB, em 16/11/2010) podem ser visualizadas na Figura 17, podendo esta variável ser estimada por um modelo polinomial de terceiro grau. Percebe-se que as curvas que mais se assemelham são as dos tratamentos mantidos em 53% e 30% CAD, e que essas duas curvas diferem significativamente entre si ($P < 0,0001$). A segunda maior semelhança entre as curvas, observada em ambos os ciclos avaliados, se dá entre TC e T1, que, no entanto não diferem significativamente entre si em ambos os ciclos ($P = 0,55$) em 2009/10, e ($P = 0,81$) em 2010/11. Por fim, o contraste mais marcante é o que ocorre entre o grupo formado por T2 e T3 e o formado

por TC e T1, sendo esta diferença fortemente significativa em ambos os ciclos ($P < 0,0001$). Este comportamento demonstra que T2 e, principalmente, T3 proporcionam um comportamento, referente ao potencial da água na folha, distinto em relação ao grupo T1 e TC (Apêndice 2).

Analisando o potencial de base em plena floração, medido antes do amanhecer, não foram observadas alterações no estado hídrico das plantas em relação aos tratamentos de restrição hídrica (Figura 17). Neste sentido, salienta-se que, em ambos os ciclos avaliados, as reservas hídricas do horizonte Bt, mesmo com restrições hídricas de 53% e 30% CAD no horizonte BA (Figura 8), mantiveram-se com potencial de base semelhantes ao controle (-0,11 e -0,22 MPa, em 2009/10; e -0,04 e -0,05 MPa, em 2010/11, respectivamente). De acordo com Ojeda *et al.* (2004), o limite de potencial de base referente à ausência de estresse hídrico encontra-se em -0,1 MPa em cultivos convencionais. Entretanto, analisando os resultados, pode-se afirmar que em ambos os ciclos, as plantas mantidas em 53% e 30% CAD não apresentavam sinais de estresse hídrico neste estágio de desenvolvimento. Cabe salientar que as plantas mantidas em 100% e 83% CAD apresentavam potenciais máximos próximos a -0,02 MPa em ambos os ciclos avaliados.

Segundo Ojeda *et al.* (2004) o limite de potencial mínimo da água na folha referente ao nível de estresse hídrico leve encontra-se em -0,8 MPa, níveis moderados de estresse hídrico quando se encontra no intervalo entre -0,8 MPa e o limite de -1,3 MPa e níveis abaixo de -1,3 MPa são considerados severos. Neste estágio fenológico as plantas mantidas em 100% e 83% de CAD apresentavam-se sob níveis de estresse hídrico moderado, com valores respectivos de -1,18 e -1,21 MPa no ciclo de 2009/10 e -1,14 e 1,16 MPa em 2010/11. Contudo, ao analisar o potencial mínimo nas videiras mantidas em T2 e T3 observou-se que os valores foram mais baixos, atingindo -1,36 e -

1,38 MPa no ciclo 2009/10 e -1,28 e -1,38 MPa em 2010/11. Nestas condições mais severas as plantas apresentaram sinais de estresse hídrico severo em plena floração (Figura 17).

A evolução do potencial da água na folha diário no amolecimento das bagas (EF85), ocorrida aos 135 DAB no dia 22/01/2010 e aos 132 DAB no dia 20/01/2011, podem ser visualizadas na Figura 17. Percebe-se que os dois grupos distintos de tratamentos (TC e T1 x T2 e T3), formados pelas curvas em plena floração, mantêm-se significativamente ($P < 0,0001$) distintos também no período de amolecimento das bagas/início da maturação (Apêndice 2). Destaca-se que estas alterações no potencial da água na folha foram mais acentuadas em relação às observadas em plena floração. Este comportamento pode ser explicado pelos resultados de potenciais matriciais no solo que atingiram, nesta época (100 DAB), os limites mais baixos nos horizontes BA e Bt nos tratamentos T2 e T3, em ambos os ciclos (Figura 8). Desta foram, proporcionaram alterações significativas no potencial de base destes tratamentos mais severos, alcançando valores de -0,26 e -0,33 MPa em 2009/10 e -0,34 e -0,44 MPa em 2010/11, respectivamente. Segundo Ojeda *et al.* (2004), o limite de potencial de base referente ao estresse hídrico leve se encontra em -0,2 MPa e o intervalo entre -0,2 MPa e o limite de -0,4 MPa o nível de estresse hídrico da videira passa a ser considerado como moderado. Portanto, neste estágio fenológico de amolecimento das bagas as plantas mantidas em 53% e 30% CAD apresentaram sinais de estresse hídrico moderado. Em contrapartida, neste mesmo período e em ambos os ciclos, as plantas mantidas em 100% e 83% CAD não apresentam sinal de estresse hídrico com valores respectivos de -0,06 MPa e 0,09 MPa no ciclo 2009/10 e -0,06 MPa e -0,03 MPa em 2010/11.

Quanto ao potencial da água mínimo avaliado durante o amolecimento das bagas, destaca-se que as plantas mantidas em 53% e 30% CAD obtiveram valores de -

1,33 MPa e -1,42 MPa em 2009/10 e -1,61 MPa e -1,66 MPa em 2010/11. Estes valores se referem a estresses hídricos severos em condições de cultivo descoberto, segundo Ojeda *et al.* (2004), sendo o extremo de severidade quando o potencial mínimo foliar é inferior a -1,30 MPa. Segundo Williams (2002), o crescimento vegetativo é mais sensível à condição hídrica da videira em comparação ao desenvolvimento do fruto e é máximo enquanto não ocorre déficit hídrico. De acordo com o Ojeda *et al.* (2004), o limite de potencial mínimo para que não ocorra comprometimento vegetativo é de -0,4 MPa, demonstrando haver predisposição à redução no crescimento vegetativo nos tratamentos mantidos em 53% CAD e uma maior intensidade em 30% CAD, visualizado na redução do número de folhas (Figura 10), no tamanho das folhas (Figura 11) e no índice de área foliar (Figura 10).

Na evolução do potencial da água diário no estágio de colheita das bagas (EF89), pôde-se perceber que, independente do ciclo, todas as diferenças observadas entre os tratamentos com menor restrição hídrica (T1 e TC) e o grupo com maior restrição hídrica (T2 e T3) são mantidas e maximizadas ($P < 0,0001$) (Figura 17). Além disso, ao contrário do que havia sido discutido nos estádios fenológicos iniciais, observou-se que o tratamento T1 também apresentou diferença significativa em relação ao TC ($P < 0,0001$) (Apêndice 2). Este comportamento demonstra que as curvas do ciclo diário do potencial da água na folha, quando executadas no momento da colheita, apresentaram-se mais sensíveis aos efeitos dos tratamentos de déficit hídrico. Esta intensificação dos efeitos pode ser explicada pelo maior período (176DAB, em 03/03/2010; e 180 DAB, em 10/03/2011) sob influência dos respectivos contrastes de umidade no solo (Figura 8), em conjunto com o avanço da senescência foliar neste estágio de colheita.

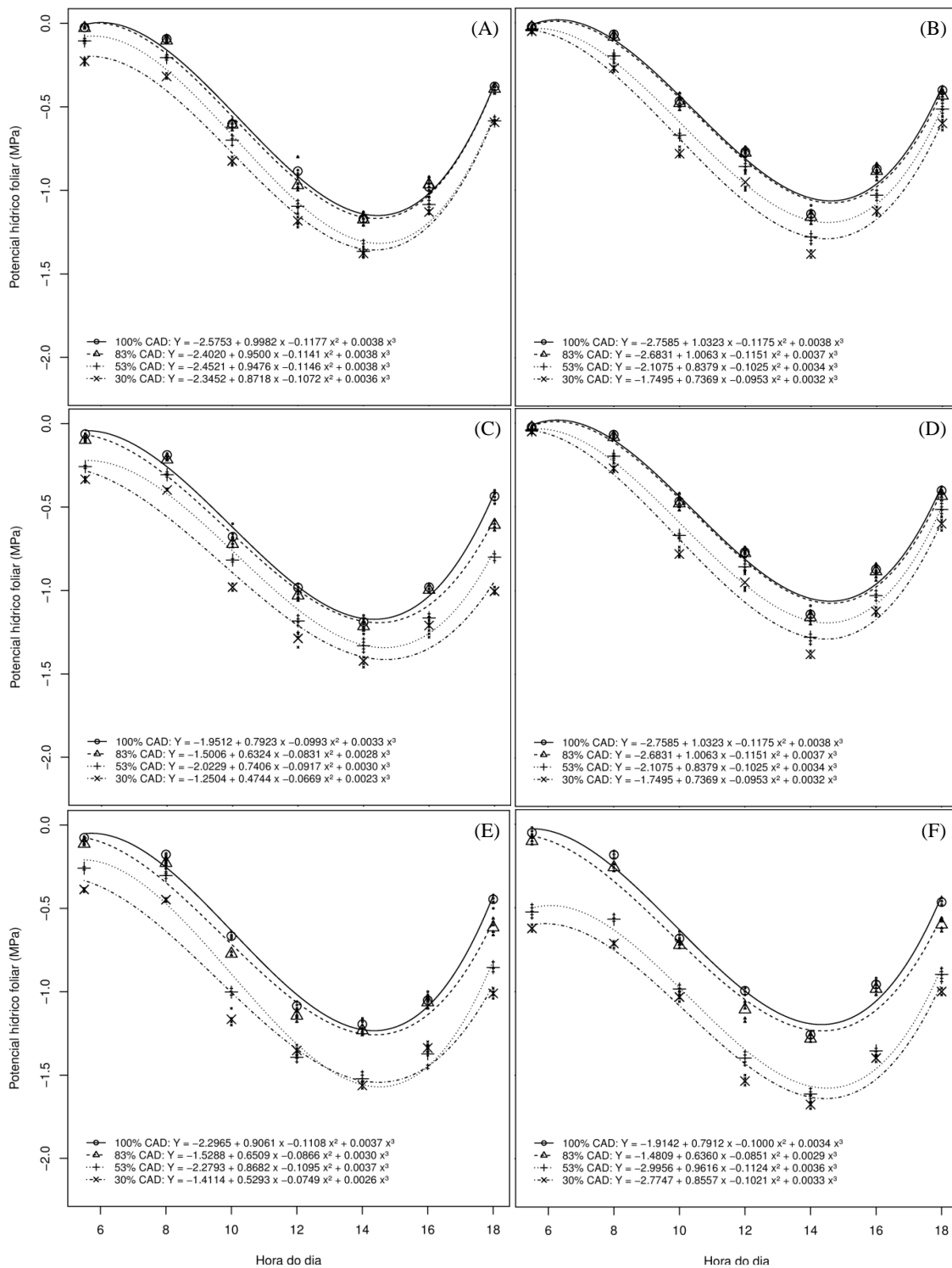


FIGURA 17. Potencial da água na folha (ψ_H) ao longo do dia em plena floração (EF65) ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B), no amolecimento das bagas (EF85) ciclo 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e na colheita das bagas (EF89) ciclo 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS.

Apesar desta intensificação dos efeitos na análise conjunta dos dados na colheita, salienta-se que estas diferenças não se manifestaram de modo uniforme. Isto fica claro nos potenciais de base dos tratamentos mantidos em 30% e 53%CAD, que alcançaram valores de -0,26 MPa e -0,39 MPa em 2009/10, os quais são distintos do controle, mas não diferem significativamente dos valores obtidos nestes tratamentos, na análise realizada no estágio anterior (EF85). Contudo, ao analisar o ciclo 2010/11, percebe-se uma redução significativa, alcançando valores de -0,53 MPa e -0,62 MPa, respectivamente, para os mesmos tratamentos (Figura 17), os quais se enquadram nos níveis de estresse hídrico ‘severo’ segundo Ojeda *et al.* (2004), cujo limite é de -0,5 MPa. Cabe salientar que, na colheita, os potenciais de base nas videiras em TC e T1 mantiveram-se altos, com valores de -0,08 MPa e -0,11 MPa, no ciclo 2009/10, e de -0,05 MPa e -0,10 MPa, em 2010/11, não apresentando sinais de estresse hídrico.

Ao analisar o potencial mínimo em T2 e T3, neste estágio de colheita, observou-se os valores respectivos de -1,52 MPa e -1,56 MPa, no ciclo 2009/10, e -1,61 MPa e -1,68 MPa, em 2010/11, confirmando que as videiras mantidas nestes tratamentos encontravam-se sob níveis de estresse hídrico ‘severo’ segundo Ojeda *et al.* (2004) (Figura 17). Resultados semelhantes também foram encontrados por Koundouras *et al.* (2008), os quais observaram uma redução no potencial mínimo foliar com valores de -1,65 MPa em videiras ‘Cabernet Sauvignon’ enxertadas em 1103P e cultivadas em céu aberto no clima mediterrâneo da cidade de Larissa (Grécia), sem irrigação, em comparação às plantas mantidas na capacidade de campo, cujos valores de potencial mínimo alcançaram -1,21 MPa. Neste estágio fenológico as plantas mantidas em 100% e 83% de CAD apresentavam valores respectivos de -1,20 MPa e -1,23 MPa no ciclo de 2009/10 e -1,26 MPa e 1,28 MPa em 2010/11 (Figura 17). De acordo com Ojeda *et al.* (2004) as videiras apresentavam sinais de estresse hídrico leve, normalmente

ocasionados pela redução do déficit de pressão de vapor ocorrentes nesse horário do dia. Sintomas de estresse abiótico resultante do estresse hídrico acentuado, imposto pelos tratamentos de alta restrição hídrica são facilmente visualizados quando analisado o potencial mínimo (14 h). Contudo, ao analisar somente o potencial de base (5:30 h) estes resultados podem ser mascarados. Este comportamento diferenciado entre os potenciais de base e mínimo, observado sob cobertura (principalmente em TC e T1) pode estar relacionado à redução da demanda evaporativa, devido à restrição de radiação solar e redução da velocidade do vento (Cardoso *et al.*, 2008; Chavarria *et al.*, 2008), principalmente ao fim do ciclo diário e início da noite, o que pode favorecer o restabelecimento do equilíbrio hídrico entre o solo e a planta ao início da manhã.

No ciclo de 2009/10, no estágio pós-colheita e completa maturação dos sarmentos (EF91, aos 205 DAB, em 1/4/2010) foram elaboradas as últimas curvas de potencial da água na folha do ciclo para confirmar se havia algum contraste de potencial em relação à avaliação na colheita (com a presença dos cachos). Percebeu-se que a manutenção de baixos potenciais matriciais nos tratamentos mantidos em 53% e 30% CAD, durante todo o ciclo vegetativo:reprodutivo da videira, aliados à antecipação da senescência foliar, afetou ainda mais os potenciais foliares, principalmente os potenciais mínimos. Isto manteve e maximizou ainda mais a separação entre os grupos formados por TC/T1 e T2/T3, observada durante todo o ciclo (Apêndice 3). As videiras mantidas em 53% e 30% CAD manifestaram os mesmos contrastes de potenciais de base com os demais tratamentos, porém com valores próximos aos encontrados na colheita das bagas de -0,33 MPa e -0,41 MPa, respectivamente (Figura 18). As videiras mantidas sob 100% e 83% CAD mantiveram níveis leves de estresse hídrico nesse estágio fenológico, com valores de -0,09 MPa e -0,13 MPa, estando de acordo com Ojeda *et al.* (2004).

Portanto, salienta-se que o potencial de base não manifestou diferenças com a avaliação de colheita, demonstrando-se insensível à presença ou ausência dos cachos.

Analisando o potencial mínimo nas videiras no estágio de pós-colheita, observou-se que nos tratamentos de 53% e 30% CAD os níveis de estresse hídrico foi severo (-1,64 MPa e -1,76 MPa, respectivamente). Além do maior tempo de influência dos tratamentos, esta resposta mais intensa, nesse estágio, também é explicada pelo estágio avançado na senescência das folhas. Da mesma forma, ao analisar o potencial mínimo nas videiras mantidas em TC e T1, observou-se valores reduzidos de potencial mínimo -1,31 MPa e -1,34 MPa, respectivamente, valores estes que demonstram o início da senescência foliar nestes tratamentos (Figura 18).

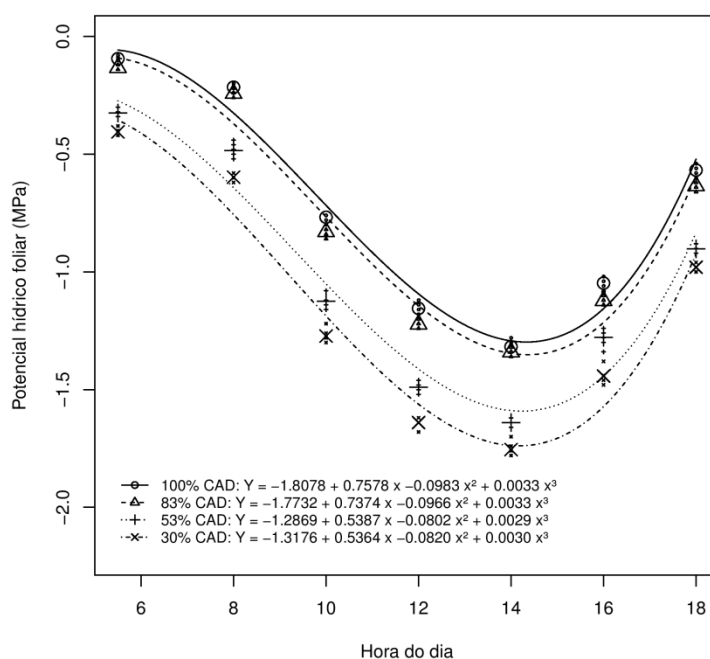


FIGURA 18. Potencial hídrico foliar (ψ_H) ao longo do dia, na maturação completa dos sarmentos (EF91), no ciclo 2009/10. Bento Gonçalves, RS.

4.9 Comportamento fotossintético em função da disponibilidade hídrica

A atividade fotossintética da videira está condicionada a condição atmosférica, edáfica e fisiológica/genética. A radiação solar, temperatura, condição hídrica e idade da

folha têm grande impacto sobre as trocas gasosas nas folhas e, conseqüentemente, sobre a produção de matéria seca (Zufferey *et al.*, 2000).

Quanto maior for o consumo de CO₂ pelas folhas, em relação ao que for liberado pelas mesmas, sobretudo pela respiração, simultaneamente, maior será a assimilação aparente ou fotossíntese líquida (*A*). Esta variável se apresenta distinta da fotossíntese bruta, a qual designa somente o total de CO₂ fixado. Portanto, em avaliações fisiológicas que abordam a fotossíntese, geralmente é suficiente conhecer os valores de fotossíntese líquida para se obter uma caracterização dos impactos dos distintos fatores sobre o metabolismo foliar (Larcher, 2004). A fotossíntese líquida, destaca-se ainda a importância de curvas de respostas de assimilação potencial (estimada por uma função hiperbólica), a qual determina a capacidade de resposta foliar em distintas condições simuladas de radiação fotossinteticamente ativa. Nestas mesmas curvas, é possível obter distintas variáveis, simultaneamente, tais como respiração no escuro (*Re*), ponto de compensação (τ), eficiência quântica (Φ_a), radiação de saturação (*DFFFAsat*), fotossíntese de saturação (*Asat*) e fotossíntese máxima (*Amax*), as quais são importantes ferramentas para caracterizar as respostas fotossintéticas das folhas em uma determinada condição de ambiente. Com o intuito de facilitar o entendimento, estas variáveis serão apresentadas e discutidas separadamente na sequência, agrupando aquelas que apresentam maiores inter-relações.

No estágio de plena floração, em ambos os ciclos 2009/10 e 2010/11, pelo aspecto geral das curvas de resposta fotossintética pode-se perceber a manifestação inicial de dois grupos distintos ($P < 0,0001$) com características mais próximas entre si, representados pelos tratamentos T1 e TC e pelos tratamentos T2 e T3 (Figura 19 e Apêndice 4). Contudo, em uma análise global mais detalhada, observou-se que os tratamentos 53% e 30% CAD apresentaram diferenças significativas entre si ($P = 0,013$ e

P=0,002) nesta etapa inicial (Apêndice 4). Esta distinção não ocorreu entre TC e T1 neste período inicial, independente do ano, sendo ambos os tratamentos similares nas respostas fotossintéticas (P=0,17, em 2009/10; e P=0,09, em 2010/11; Apêndice 4).

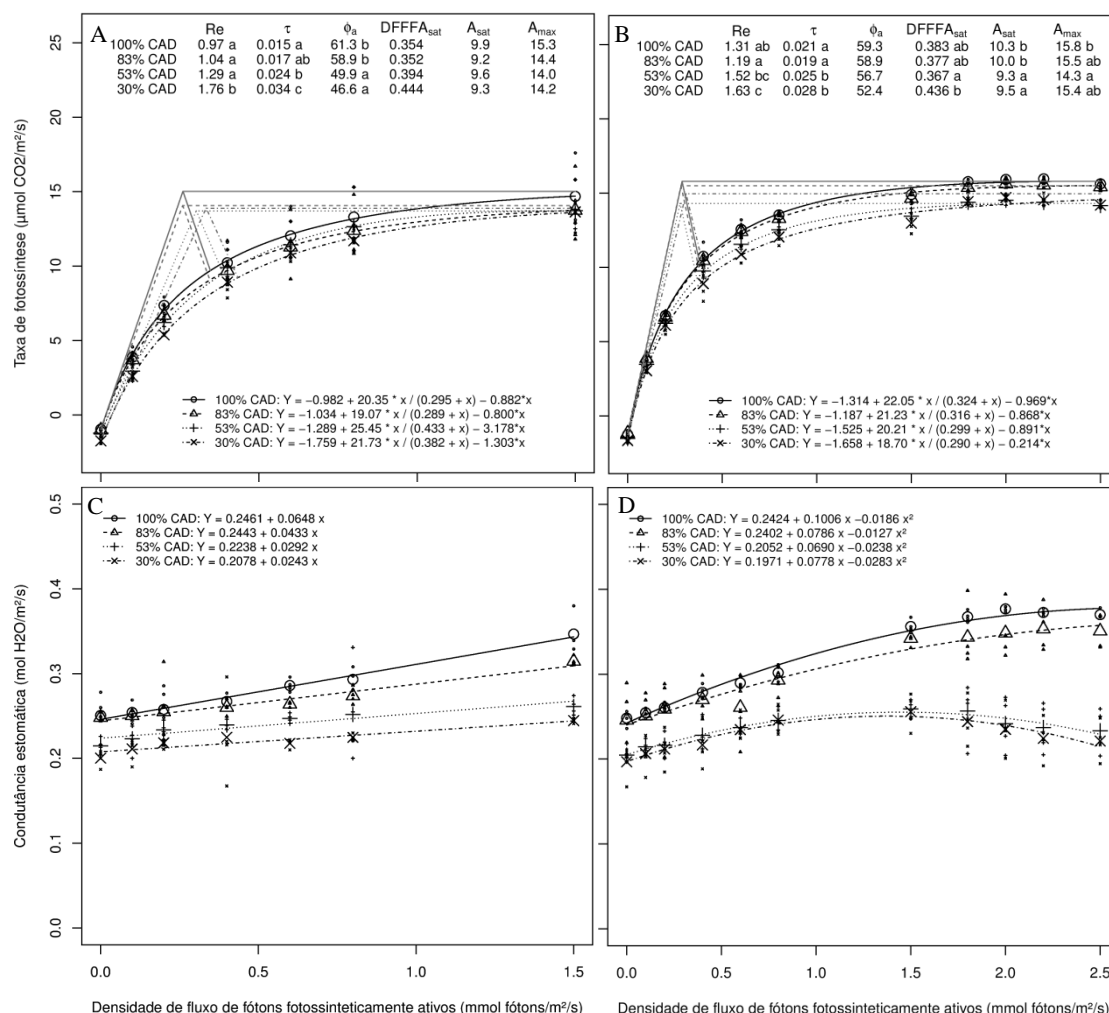


FIGURA 19. Assimilação de CO₂ 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em função do incremento da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto, sob distintos tratamentos de restrição hídrica, em plena floração (EF65). Nas tabelas de fotossíntese líquida, as médias das variáveis fotossintéticas respiração no escuro (Re), ponto de compensação (τ), eficiência quântica (Φ_a), radiação de saturação (DFFFA_{sat}), fotossíntese de saturação (A_{sat}) e fotossíntese máxima (A_{max}) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Bento Gonçalves, RS, 2011.

Na análise das variáveis fotossintéticas no estágio de pleno florescimento, destaca-se que, em ambos os ciclos, a restrição hídrica imposta pelo tratamento 30% CAD foi suficiente para alterar a taxa de respiração no escuro (R_e), atingindo 1,76 e 1,63 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente nos ciclos 2009/10 e 2010/11. Em relação ao TC, esses valores representam um aumento na respiração de 0,79 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P=0,002$) em 2009/10 e 0,44 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P<0,0001$) em 2010/11. (Figura 19). Este aumento da liberação de CO_2 no escuro salienta as condições desfavoráveis para a assimilação e/ou aumento do metabolismo de manutenção dos tecidos nestas condições de estresse hídrico (Larcher, 2004), que foram evidenciadas também pela redução do potencial da água mínimo obtido nesta mesma etapa fenológica (Figura 17).

Como consequência deste aumento na taxa de respiração no escuro, o tratamento 30% CAD também impôs alteração no ponto de compensação de luz (τ) no ciclo 2009/10, que representa a radiação em que a taxa de fixação de CO_2 se iguala à taxa liberada pela respiração (fotossíntese = zero). Esta variável foi significativamente aumentada em 19,44 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P<0,0001$) quando comparado à TC, alcançando o valor de 34,48 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 19). Analisando o ciclo de 2010/11, percebe-se que a radiação referente ao ponto de compensação de luz é aumentada significativamente, em ambos os tratamentos com maior restrição hídrica (T2 e T3), atingindo valores respectivos de 24,82 e 28,32 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 19). Em relação a T1 este aumento chegou a 5,83 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P=0,003$) e 9,33 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P<0,0001$), respectivamente. Apesar de estes valores serem menores, em relação a 2009/10, demonstram claramente que o aumento da taxa respiratória nos tratamentos de maior déficit hídrico do solo impõe maior demanda por luz para alcançar o ponto de compensação. Este é um comportamento típico de plantas

C₃, como a videira, apresentando elevações de τ , em condições de restrições luminosas, hídricas, nutricionais ou aumentos de temperatura (Bauer *et al.*, 1983).

As alterações na taxa fotossintética observadas em plena floração se acentuam nas avaliações realizadas no amolecimento das bagas (EF85), como consequência dos maiores contrastes de potencial da água na folha impostos pelos tratamentos de irrigação (Figura 17). Pode-se perceber nesse período, que os dois grupos distintos de respostas fotossintética verificados em plena floração se mantiveram. Contudo, salienta-se que nesse estágio todos os tratamentos também se apresentam significativamente distintos entre si ($P < 0,0001$, Apêndice 5). Este padrão de resposta demonstra que, neste estágio fenológico as curvas de assimilação líquida de CO₂ foram mais sensíveis na detecção dos efeitos impostos pelos tratamentos de déficit hídrico.

Os potenciais matriciais da água no solo mais baixos no horizonte BA e Bt, nos tratamentos T2 e T3 (Figura 8), induziram ao estresse hídrico em T2 e a um estresse mais intenso em T3, evidenciado claramente pelo aumento significativo da respiração no escuro (R_e), em relação ao controle (100% CAD, Figura 20). Estas diferenças em relação ao controle atingiram valores próximos em ambos os ciclos, com 0,64 ($P < 0,0001$) e 0,86 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P < 0,0001$), respectivamente em 2009/10, e 0,66 ($P < 0,0001$) e 0,86 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P < 0,0001$) em 2010/11 (Figura 20). O restabelecimento da capacidade fotossintética em videiras submetidas a déficits hídricos intensos, situação imposta em T2 e T3, pode ser alcançada algumas horas (Liu *et al.*, 1978) e até cinco dias (Scienza *et al.*, 1980) após a aplicação da lâmina de irrigação, dependendo da intensidade e do intervalo de tempo do estresse hídrico imposto às plantas. Portanto, como estas condições de estresse foram impostas durante todo o ciclo vegetativo:produtivo, as plantas devem adotar mecanismos de tolerância mais robustos como ajustes morfológicos para manterem atividades fotossintéticas nestas condições.

Como resultantes deste aumento na taxa respiratória, destaca-se que as plantas mantidas nestes tratamentos elevaram a necessidade por luz para alcançar o ponto de compensação (τ), registrando valores respectivos de 33,71 e 34,71 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no ciclo 2009/10 e 32,61 e 35,43 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em 2010/11 (Figura 20). Comparando-se as plantas mantidas em 53% e 30% CAD em rela\u00e7\u00e3o ao controle observou-se um aumento na intensidade luminosa de 19,68 ($P < 0,0001$) e 18,67 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($P = 0,001$) em 2009/10 e 15,27 ($P < 0,0001$) e 18,10 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($P < 0,0001$) em 2010/11, evidenciando o estado de estresse imposto pelos tratamentos de maior d\u00e9ficit h\u00eddrico aplicado. A partir destes resultados, pode-se inferir que as videiras sob estresse h\u00eddrico podem tamb\u00e9m apresentar maiores limita\u00e7\u00f5es de crescimento e produ\u00e7\u00e3o em cultivos protegidos, em fun\u00e7\u00e3o destes exporem uma restri\u00e7\u00e3o de 30% na radia\u00e7\u00e3o solar incidente (Cardoso *et al.*, 2008). Esses contrastes em potencial fotossint\u00e9tico s\u00e3o importantes, principalmente nesta etapa do ciclo, a qual atingiu os maiores n\u00edveis de assimila\u00e7\u00e3o m\u00e1xima de fotoss\u00edntese, em ambos os ciclos.

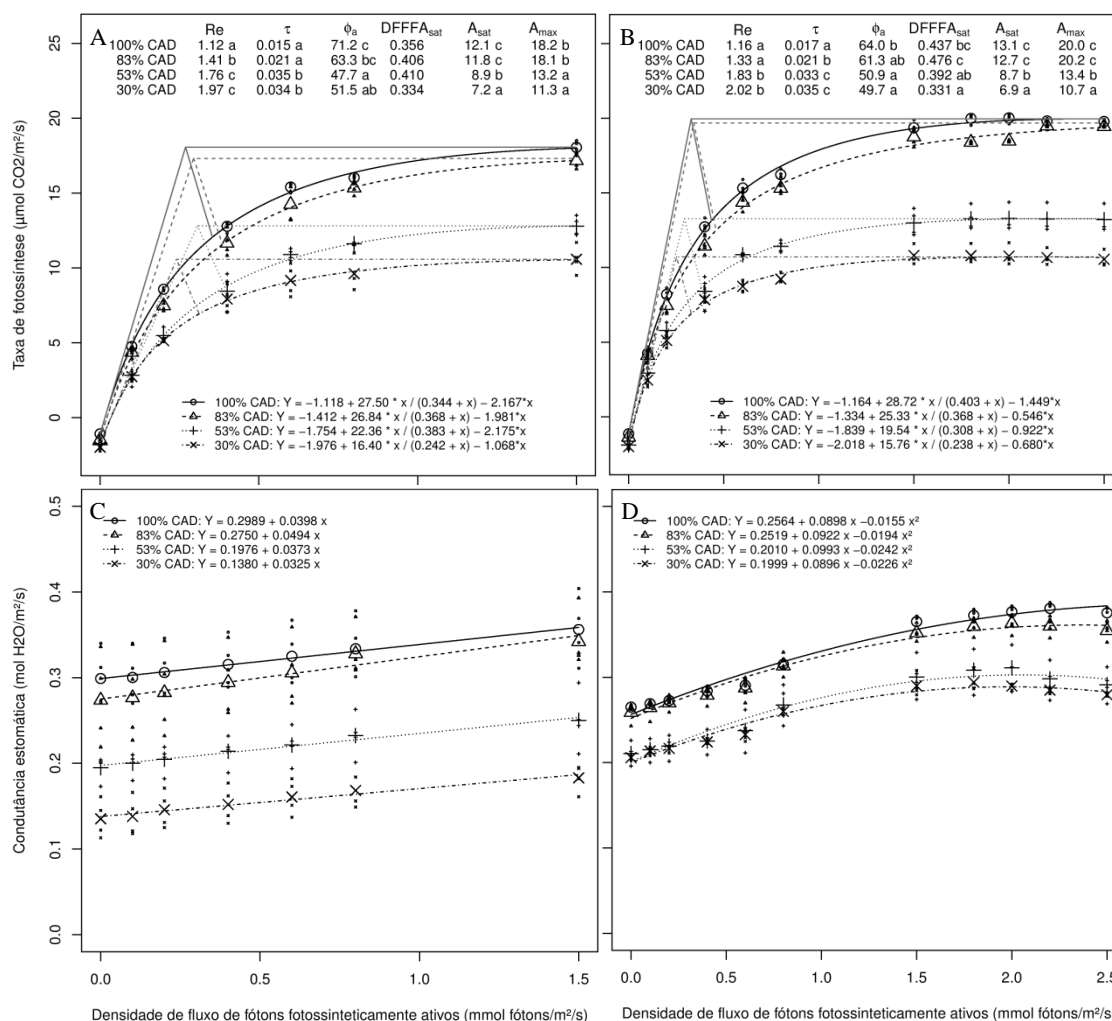


FIGURA 20. Assimilação de CO₂ 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em função do incremento da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto, sob distintos tratamentos de restrição hídrica no amolecimento das bagas (EF85). Nas tabelas de fotossíntese líquida, as médias das variáveis fotossintéticas respiração no escuro (R_e), ponto de compensação (τ), eficiência quântica (Φ_a), radiação de saturação (DFFFA_{sat}), fotossíntese de saturação (A_{sat}) e fotossíntese máxima (A_{max}) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Bento Gonçalves, RS, 2011.

Na avaliação feita no estádio de colheita pode-se perceber claramente a redução nas taxas fotossintéticas das folhas (Figura 21), mantendo as mesmas tendências observadas anteriormente entre os tratamentos. Os grupos formados pelos tratamentos 53% e 30% CAD continuaram se diferenciando fortemente entre si ($P < 0,0001$) e entre

os tratamentos mantidos em 83% e 100% CAD, as quais também diferenciam entre si ($P < 0,0001$) (Apêndice 6).

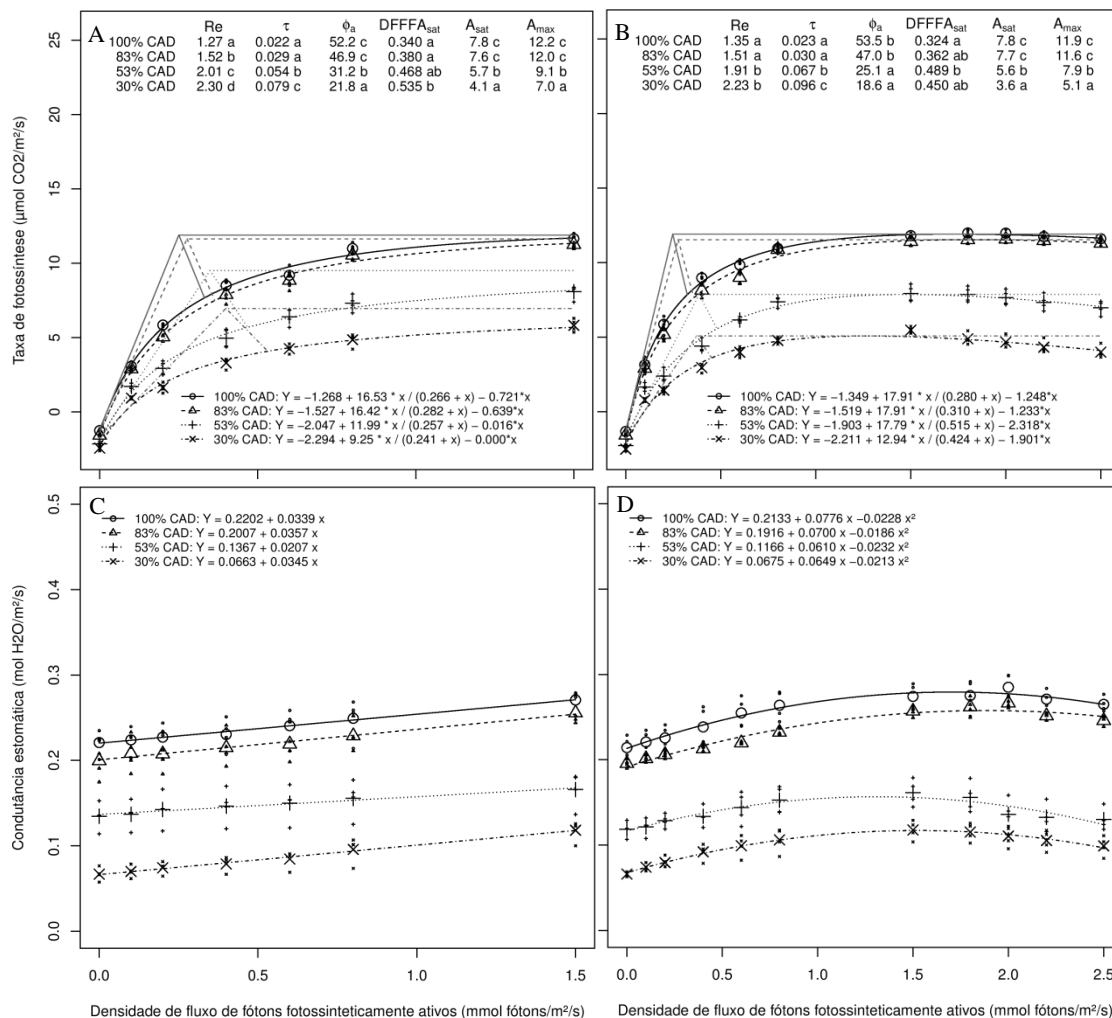


FIGURA 21. Assimilação de CO₂ 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em função do incremento da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto, sob distintos tratamentos de restrição hídrica na colheita das bagas (EF89). Nas tabelas de fotossíntese líquida, as médias das variáveis fotossintéticas respiração no escuro (Re), ponto de compensação (τ), eficiência quântica (Φ_a), radiação de saturação (DFFFA_{sat}), fotossíntese de saturação (A_{sat}) e fotossíntese máxima (A_{max}) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Bento Gonçalves, RS, 2011.

Na colheita, as curvas de assimilação líquida de CO₂, apesar da redução absoluta dos valores, maximizaram as diferenças relativas entre os tratamentos de déficit hídrico

aplicados, em decorrência do início da fase de senescência foliar. Na colheita foi constatado um aumento significativo na taxa respiratória (*Re*) dos tratamentos com maior restrição hídrica (30% e 53% CAD). Comparando-se estes tratamentos em relação ao 100% CAD, verifica-se aumentos de 1,03 ($P < 0,0001$) e 0,74 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P < 0,0001$), respectivamente em 2009/10 e 0,87 ($P < 0,0001$) e 0,55 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P = 0,004$) em 2010/11 (Figura 21). Isto se refletiu diretamente no aumento significativo do ponto de compensação de luz (τ) em T3 em ambos os ciclos, com valores de 79,11 e 95,53 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente em 2009/10 e 2010/11, caracterizando tamb\u00e9m o in\u00edcio de senesc\u00eancia foliar.

Para evidenciar mais essa tend\u00eancia de senesc\u00eancia foliar, destaca-se o contraste da taxa fotossint\u00e9tica ocorrida na avalia\u00e7\u00e3o p\u00f3s-colheita (EF91), em rela\u00e7\u00e3o \u00e0s demais datas do ciclo 2009/10 (Figura 22). Nesta etapa do ciclo manteve-se a maior diferen\u00e7a na respira\u00e7\u00e3o no escuro (*Re*) dos tratamentos 53% e 30% CAD, alcan\u00e7ando as m\u00e9dias de 2,15 e 2,42 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente (Figura 22). No aspecto geral das curvas de resposta fotossint\u00e9tica, destaca-se que o grupo formado por esses tratamentos com estresse h\u00eddrico mais intenso mantivera taxas inferiores em rela\u00e7\u00e3o aos demais e com diferen\u00e7a significativa entre si ($P < 0,0001$), tendo o tratamento 30% CAD as maiores limita\u00e7\u00f5es fotossint\u00e9ticas. Contudo, destaca-se que n\u00e3o houve diferen\u00e7a significativa entre os tratamentos com 83% e 100% CAD ($P = 0,2$) (Ap\u00eandice 7). Portanto, com base nestas vari\u00e1veis de respira\u00e7\u00e3o no escuro e ponto de compensa\u00e7\u00e3o, pode-se perceber claramente que os tratamentos com maior restri\u00e7\u00e3o h\u00eddrica proporcionam maior restri\u00e7\u00e3o metab\u00f3lica para fixa\u00e7\u00e3o de CO_2 , em rela\u00e7\u00e3o aos tratamentos 83% e 100 CAD.

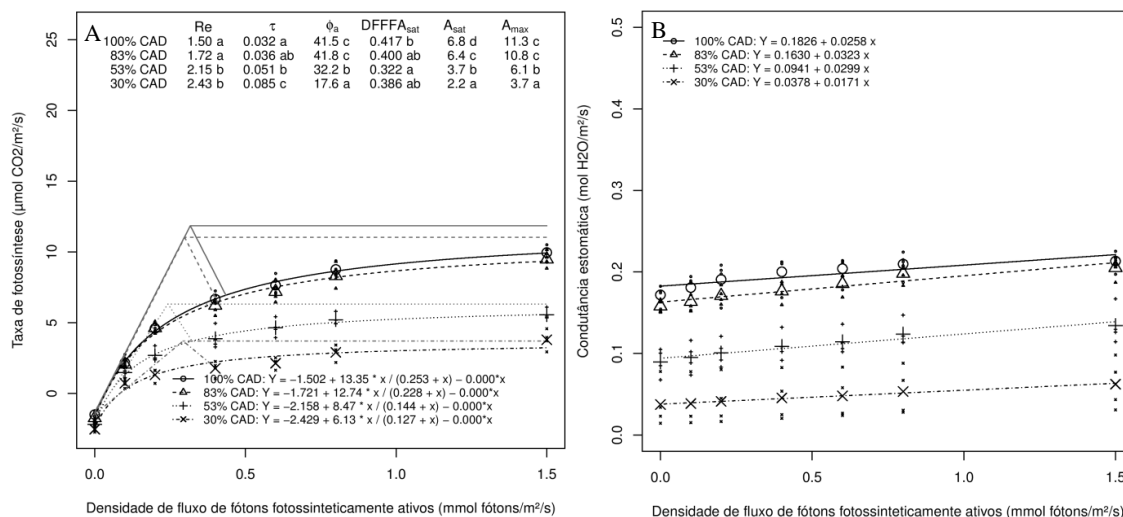


FIGURA 22. Assimilação de CO₂ 2009/10 (A) e condutância estomática (g_s) 2009/10 (B) em função do incremento da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica no fim da maturação dos sarmentos (EF91). Na tabela de fotossíntese líquida, as médias das variáveis fotossintéticas respiração no escuro (R_e), ponto de compensação (τ), eficiência quântica (Φ_a), radiação de saturação ($DFFFA_{sat}$), fotossíntese de saturação (A_{sat}) e fotossíntese máxima (A_{max}) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Bento Gonçalves, RS, 2011.

Após a folha atingir o ponto de compensação por luz, a absorção de CO₂ aumenta linearmente até um ponto de saturação. Portanto, nesta fase linear há uma proporcionalidade direta entre a disponibilidade de radiação e o rendimento fotossintético, sendo a capacidade de captação e processamento da radiação incidente (etapa fotoquímica da fotossíntese) o ponto determinante das respostas fotossintéticas. Ou seja, quanto maior for o ganho quântico (Φ_a), maior será a inclinação na fase linear da curva de fotossíntese líquida em função da radiação (eficiência quântica aparente (Φ_a), expressa em moles de CO₂ por mol de fóton incidente). Portanto, a maior inclinação da fase linear da curva, representa uma maior fixação de CO₂ com menor gasto de fótons de luz. Quando este aumento de fixação de CO₂ atinge o limite máximo (final da fase linear), destaca-se que a etapa bioquímica da fotossíntese (atividade da enzima rubisco x concentração de CO₂) é que se torna o fator limitante. O ponto em que

a fotossíntese torna-se invariável ao aumento de radiação, corresponde ao nível de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de saturação ($DFFFA_{sat}$). Neste contexto, a eficiência quântica aparente e a $DFFFA_{sat}$, em conjunto com a R_e e τ , são influenciados diretamente pelas condições ambientais e variam conforme a espécie de planta (Larcher, 2004).

No contraste dos tratamentos de irrigação, destaca-se que, ao longo de todo ciclo, as restrições hídricas mais drásticas impostas por T2 e T3 proporcionaram redução na inclinação da reta tangente de incremento fotossintético, em relação à radiação disponível, reduzindo significativamente a eficiência quântica aparente (ϕ_a) em relação aos tratamentos T1 e TC. Este efeito já foi possível perceber no estágio de plena floração, em 2009/10, quando as folhas não estavam completamente expandidas, atingindo valores médios de 47,73 e 51,52 nmol CO₂/μmol fótons, respectivamente (Figura 19). Nesta data a redução da eficiência quântica em relação ao tratamento 100%CAD foi de 23,43 (P=0,009) e 19,67 nmol CO₂/μmol fótons (P=0,002), respectivamente em T2 e T3. Esses resultados salientam que, mesmo nesta etapa inicial do ciclo fenológico, as condições de restrição hídrica já provocam alterações fotossintéticas na fase fotoquímica como, conforme foi salientado por outros autores (Essarakli, 2005; Mota *et al.*, 2009). Contudo, apesar dos efeitos significativos sobre rendimento quântico, observa-se que os contrastes de disponibilidade hídrica na plena floração do ciclo 2009/10 não foram suficientes para influenciar a fotossíntese máxima (A_{max}) e a radiação de saturação ($DFFFA_{sat}$), significativos apenas no ciclo 2010/11 (Figura 19). Assim, pode-se supor que a variável ϕ_a é mais sensível na caracterização dos efeitos de restrição hídrica sobre a videira e antecede efeitos mais drásticos, tais como degradação de pigmentos e proteínas, os quais limitam a capacidade fotossintética em períodos prolongados de estresse hídrico (Larcher, 2004). Contudo, ao analisar o

ciclo 2010/11 nesta etapa de florescimento, a variável ϕ_a não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Neste ano, também observou-se que T3, apesar de não alterar a eficiência quântica, aumentou a radiação de saturação em 68,86 mmol fótons $m^{-2} s^{-1}$ ($P=0,09$) em relação à T1 e que tanto T2 como T3 reduziram a fotossíntese de saturação em 0,98 e 0,79 $\mu\text{mol CO}_2 m^{-2} s^{-1}$ em relação à TC.

Na análise da condutância estomática (g_s) durante a plena floração, nos ciclos 2009/10 e 2010/11, esta variável pôde ser estimada por uma função linear em 2009/10 e hiperbólica em 2010/11 (Figura 19). Esta diferença entre anos é explicada pelo aumento da radiação solar e contrastes de pressão de vapor d'água no ambiente no ciclo 2010/11, que foram mais intensos neste último ciclo. De modo geral, independente do ciclo, as maiores diferenças em condutância estomática ($P<0,0001$, Apêndice 4) ocorreram entre os grupos de tratamentos mais (TC e T1) e menos irrigados (T2 e T3) Ou seja, a videira é capaz de regular a perda de água para atmosfera mediante modificações na abertura estomática, possibilitando o ajuste da transpiração de acordo com a disponibilidade hídrica do solo. Desta forma o conteúdo mais baixo de água no solo (T2 e T3), em comparação à TC e T1, promove condutâncias estomáticas menores e, conseqüentemente, taxas transpiratórias reduzidas, permitindo economia de água ao longo do dia (Figura 19). Desta forma, as plantas proporcionaram condições para que a evolução diurna dos potenciais da água na folha fossem similares entre os tratamentos no estágio de plena floração (Figura 17). Com isso, apesar da relação existente entre A e g_s , as taxas fotossintéticas em T3 e T4 não refletiram contrastes de condutância estomática (Figura 19), suportando a idéia de que os níveis de umidade do solo impostos pelos tratamentos permitem condutâncias suficientemente elevadas para manter as taxas de fotossíntese nesta etapa inicial do ciclo.

Diante disso, observa-se que a fotossíntese líquida e a condutância estomática das plantas analisadas, durante o florescimento, apresentam um padrão de resposta diretamente proporcional ao potencial da água no solo. Portanto, destaca-se que o valor de potencial da água mínimo de -1,35 MPa, na média nos tratamentos T2 e T3 nesta etapa inicial (Figura 17), foi suficiente para causar alterações nas trocas gasosas foliares. Isto, de certo modo, corrobora as observações de Liu *et al.* (1978), os quais salientam que, na videira, podem ocorrer quedas na fotossíntese quando o potencial da água na folha mínimo alcançar valores entre -1,2 e -1,4 Mpa. Os mecanismos do controle estomático/fotossintético em função do potencial da água na folha estão relacionados com o ácido abscísico (ABA) (Broquedis & Bouard, 1989). Este hormônio atua como emissor de sinais radiciais, transmitindo à parte aérea as primeiras evidências de falta d'água, captadas pelas raízes das plantas (Tardieu & Davies, 1993). Além desta sinalização de longa distância entre a raiz e os estômatos, outros estudos também salientam que as folhas devem atuar como sensores da umidade relativa do ar para evitar a dessecação. Isto fica claro em observações do fechamento extremamente rápido dos estômatos com o incremento no gradiente de pressão de vapor entre a folha e o ar, mesmo com adequada disponibilidade hídrica no solo (Assmann *et al.*, 2000), e que ocorreram nos tratamentos mais restritivos em água para a manutenção do potencial da água na folha (Figuras 17 e 19). Considerando este fato, trabalhos mais recentes expõem a possibilidade de ocorrer sensores foliares para detectar as variações de umidade relativa do ar, estando estes situados nas células próximas ou nas próprias células guarda dos estômatos (Yokota *et al.*, 2006). Além disso, há evidências genéticas que também relacionam esta sensibilidade à umidade relativa (UR) do ar pelas folhas ao metabolismo do ABA, exercendo neste caso um efeito hormonal de curta distância (Xie *et al.*, 2006). No caso específico da videira, vários trabalhos têm comprovado a relação

existente entre ABA e a regulação das trocas gasosas foliares (Liu *et al.*, 1978; Loveys, 1984; Downton *et al.*, 1988). Além disso, Düring (1997) salienta uma correlação linear direta entre a demanda evaporativa da atmosfera, a qual é reduzida sob cultivo protegido (Chavarria *et al.*, 2008), e a fotossíntese, especialmente sob condições de déficit hídrico na videira.

Avançando no ciclo vegetativo:produtivo, com uma exposição mais prolongada das plantas às diferentes condições hídricas e com maior expansão e maturidade foliar, pode-se evidenciar melhor os contrastes entre as variáveis. Portanto, salienta-se que, durante o amolecimento de bagas (EF85), os tratamentos T2 e T3 promoveram uma redução mais intensa e significativa da eficiência quântica aparente (ϕ_a) em relação aos demais tratamentos (Figura 20). Este comportamento demonstra uma subutilização de fótons na fase fotoquímica por essas condições mais estressantes, possivelmente por possuírem menor integridade e número de aparatos fotossintéticos. Segundo Bolhàr-Nordenkamp *et al.* (1989), folhas saudáveis e não submetidas a estresse apresentam eficiência quântica aparente entre 60 e 75 $\text{nmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, que é equivalente aos valores encontrados em TC (71,19 $\text{nmol CO}_2 /\mu\text{mol fótons}$, em 2009/10, e 64,04 $\text{nmol CO}_2/\mu\text{mol fótons}$, em 2010/11) e em T1 (63,32 $\text{nmol CO}_2/\mu\text{mol fótons}$, em 2009/10, e 61,25 $\text{nmol CO}_2/\mu\text{mol fótons}$, em 2010/11) neste estágio fenológico (Figura 20).

No amolecimento das bagas também se destacaram os contrastes em fotossíntese máxima (A_{max}) e fotossíntese de saturação (A_{sat}), mesmo não havendo diferença significativa na radiação de saturação (Figura 20). Nesses contrastes, destaca-se que os tratamentos mantidos sob déficits hídricos mais intensos (T2 e T3) apresentaram os menores valores de A_{max} e A_{sat} , sendo as respostas mais drásticas em T3 (Figura 20). Segundo Catský e Sesták (1997), a ontogenia da folha é subdividida em três fases

quanto ao aproveitamento fotossintético, acompanhando as etapas fisiológicas da idade foliar. Em TC e T1, expostos a níveis de estresse hídrico menos intensos durante o ciclo, a fotossíntese alcançou valores de $18,15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $18,10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em 2009/10, e $19,95 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $20,17 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em 2010/11, respectivamente, na etapa de amolecimento da baga. Considerando que a fotossíntese máxima na videira é alcançada quando as folhas atingem seu máximo desenvolvimento morfológico, ocorrendo de 30 a 40 dias após o desdobramento do ápice, permanecendo em capacidade máxima por duas a quatro semanas (Bertamini & Nedunchezian, 2003), pode-se afirmar que estes valores foram os máximos atingidos, em ambos os ciclos de análise. Isto está de acordo com Iglesias *et al.* (2003) e Ribeiro & Machado, (2007), os quais afirmam que, sob ausência de estresse hídrico, a atividade fotossintética é estimulada ao máximo quando a demanda por carboidratos é alta, como na época de enchimento das bagas e brotações intensas. Além disso, cabe salientar que videiras mantidas sob cultivo protegido, em que a fotossíntese é favorecida pelo reduzido déficit de pressão de vapor e aumento da condutância estomática (Chavarria, 2008), somado aos tratamentos em que não ocorre déficit hídrico (TC), ou quando este é mínimo (T1), as trocas gasosas são favorecidas, aumentando a eficiência no uso da água.

Comparando estes valores máximos de fotossíntese com os valores obtidos nas condições mais limitantes de água, o tratamento mantido em 30%CAD chegou a promover reduções fotossintéticas de 37,85% e 47,93% nos respectivos ciclos. Segundo Larcher (2004), as taxas máximas de fotossíntese líquida durante um período de estresse hídrico são de 20% a 66% menores que em condições hídricas normais. Esta redução na capacidade fotossintética é explicada, principalmente, pela redução na condutância estomática, as quais foram de 47,93% e 25,29% em relação ao TC, respectivamente nos dois ciclos, para o T3 no estágio de amolecimento (Figura 20). Estes resultados são

corroborados por Koundouras *et al.* (2008), os quais observaram redução de 56% na fotossíntese líquida e 65% na condutância estomática máxima em videiras ‘Cabernet Sauvignon’ enxertadas em 1103P e cultivadas em céu aberto, em clima semi-árido sem irrigação, em comparação às plantas mantidas na capacidade de campo. Percebe-se que a diferença fortemente significativa em ambos os ciclos ($P < 0,0001$) entre o grupo formado por T2 e T3 e o formado por TC e T1 é mantido no estágio fenológico do amolecimento de bagas, sendo T2 e, principalmente, T3 os tratamentos que apresentam a condutância estomática mais distinta dos tratamentos T1 e TC (Apêndice 5). Estas variações de condutância e, conseqüentemente, da taxa fotossintética são explicadas diretamente pelas variações de potencial hídrico foliar determinados nesta mesma fase de amolecimento de bagas (Figura 17).

No estágio de colheita, houve redução geral da taxa fotossintética foliar, independente dos tratamentos e dos ciclos avaliados (Figura 21), em relação ao estágio anterior (Figura 20). Apesar desta redução, os contrastes entre os tratamentos se mantiveram similares, como é o caso das reduções em ϕ_a nos tratamentos T2 e T3, quando comparado ao tratamento controle de 20,96 ($P < 0,0001$) e 30,37 $\text{nmol CO}_2/\mu\text{mol}$ fótons ($P < 0,0001$), em 2009/10, e de 28,43 ($P < 0,0001$) e 34,95 $\text{nmol CO}_2/\mu\text{mol}$ fótons ($P < 0,0001$), em 2010/11. A manutenção e maximização destes efeitos reiteram a redução na utilização dos fótons na fase fotoquímica, possivelmente, por estarem em estádios mais avançados de senescência foliar em comparação aos tratamentos TC e T1 (Figura 21). Segundo Bertamini e Nedunchezian (2003), isto ocorre devido à inibição de toda a cadeia fotossintética, principalmente da atividade do fotossistema II (PSII), reduzindo o status metabólico da folha.

Destaca-se também que, no estágio de colheita, houve diferenças significativas entre os tratamentos de restrição hídrica para as variáveis fotossíntese máxima e

condutância estomática, em ambos os ciclos. O tratamento controle, exposto aos níveis mais baixos de estresse hídrico durante os ciclos, alcançou os valores de $12,18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($g_s=0,279 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e $11,91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($g_s=0,288 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em A_{max} , respectivamente em 2009/10 e 2010/11. Estes valores não diferiram estatisticamente do tratamento mantido em 83% CAD. Em contrapartida, o tratamento mantido em 30% CAD proporcionou reduções de 57,4% e 42,7% em A_{max} nos dois ciclos, sendo essa redução acompanhada de uma diminuição de 42,3% e 66,0% na condutância estomática, respectivamente no mesmo período (Figura 21). Portanto, assim como salientado no estágio do amolecimento da baga, as condições de estresse hídrico controlaram a atividade fotossintética, principalmente pela influência que exercem sobre a abertura estomática. Entretanto, outros efeitos devem ser considerados na redução fotossintética em condições de estresse hídrico, tais como o acúmulo de reservas na folha, na forma de amido, exercendo bloqueio físico/químico na atividade dos cloroplastos, conforme salientado por Iglesias *et al.* (2003) e Ribeiro & Machado, (2007).

Na última avaliação realizada no ciclo 2009/10, que corresponde à avaliação pós-colheita, no fim da maturação dos sarmentos, constatou-se redução significativa na eficiência quântica aparente do PSII (ϕ_a) em todos os tratamentos, que foi mais acentuada em T2 e T3 (Figura 22). Os valores mais restritos nas folhas de T2 e T3, em relação às plantas controle (Figura 22), salientam que ocorreu algum tipo de redução na eficiência de conversão de energia luminosa em energia química, levando ao aumento da radiação refletida em detrimento da radiação absorvida. Isto ocorre possivelmente em decorrência da perda da proteína D1 do centro de reação do PSII como descrito por Bertamini & Nedunchezian (2004) (Figura 22).

Pôde-se perceber diferença significativa entre os tratamentos de restrição hídrica para as variáveis fotossíntese de saturação (A_{sat}) e máxima (A_{max}). Em TC e T1, expostos a níveis mais baixos de estresse hídrico ao longo do ciclo, foram alcançados os maiores valores de A_{max} (11,34 e 10,75 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente), diferindo-os estatisticamente de T2 e T3, com respectivos valores de 6,10 e 3,71 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 22). Estes baixos valores de fotossíntese, neste estágio fenológico, associados ao baixo rendimento fotossintético ao longo do ciclo, reduzem ainda mais o acúmulo de reservas nas gemas das plantas submetidas aos níveis mais drásticos de restrição hídrica, que são necessárias para a brotação inicial do próximo ciclo (Larcher, 2004). Esses resultados enfatizam a importância do suprimento hídrico adequado para que haja benefícios no metabolismo foliar e possam retardar o processo de senescência impostos pela cobertura plástica, conforme salientado por Chavarria *et al.*, (2009c).

Nesta fase final do ciclo (EF91) os sintomas de senescência também se manifestaram na redução da condutância estomática, principalmente nos tratamentos de maior restrição hídrica. Esta redução de condutância foi proporcional às variações de A_{max} alcançando valores máximos de 0,14 e 0,06 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para T2 e T3, respectivamente, significativamente inferiores ao constatado em TC (0,22 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 22).

Na observação geral dos dados de trocas gasosas ao longo do ciclo, percebe-se que a redução da demanda evaporativa da atmosfera, impostas pelo cultivo protegido, favoreceu o prolongamento das funções bioquímicas foliares e o intercâmbio de gases, não sendo necessária a manutenção da umidade do solo em capacidade de campo (100% CAD). O leve estresse hídrico imposto às plantas mantidas em 83% CAD não foi capaz de alterar significativamente as funções foliares, mantendo altos os níveis de fotossíntese, o que possibilita a utilização de forma sustentável dos recursos hídricos.

4.10 Teor de clorofila em folhas

Para que o processo fotossintético ocorra é necessária a absorção de energia pelos cloroplastos. Os receptores de radiação da fotossíntese são as clorofilas, com máximos de absorção nas faixas do vermelho e do azul, bem como os pigmentos acessórios (caroteno e xantofila) com absorção no azul e no UV (Taiz & Zeiger, 2004). A absorção da radiação depende, em grande parte, da concentração destes pigmentos, os quais, em condição de estresse hídrico, podem se tornar limitantes para o processo fotoquímico (Larcher, 2004).

A evolução da concentração de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *total*, assim como a razão entre clorofila *a*/clorofila *b* durante os ciclos 2009/10 pode ser visualizada na Figura 23. Analisando a influência do estresse hídrico sobre estas variáveis percebe-se que são estimadas por uma função quadrática, apresentando interação significativa entre os tratamentos de restrição hídrica e as datas de análise (Figura 23). Nestes resultados pode-se perceber a existência de dois grupos distintos, assim como foi observado nas demais variáveis de crescimento e fotossíntese. Estes grupos são formados separando as curvas referentes aos tratamentos mantidos em 53% e 30% CAD, que diferem fortemente entre si ($P < 0,0001$) em todas as variáveis analisadas, dos tratamentos mantidos em 83% e 100% CAD, as quais se diferenciam entre si na concentração de clorofila *a* ($P < 0,0007$) e clorofila *total* ($P = 0,006$). Contudo, estas não diferem quanto à concentração de clorofila *b*, e tampouco na razão clorofila *a*/clorofila *b* (Apêndice 8). Este padrão distinto entre os grupos de dados foi mantido durante todo o ciclo avaliado, segundo a intensidade de déficit hídrico aplicado.

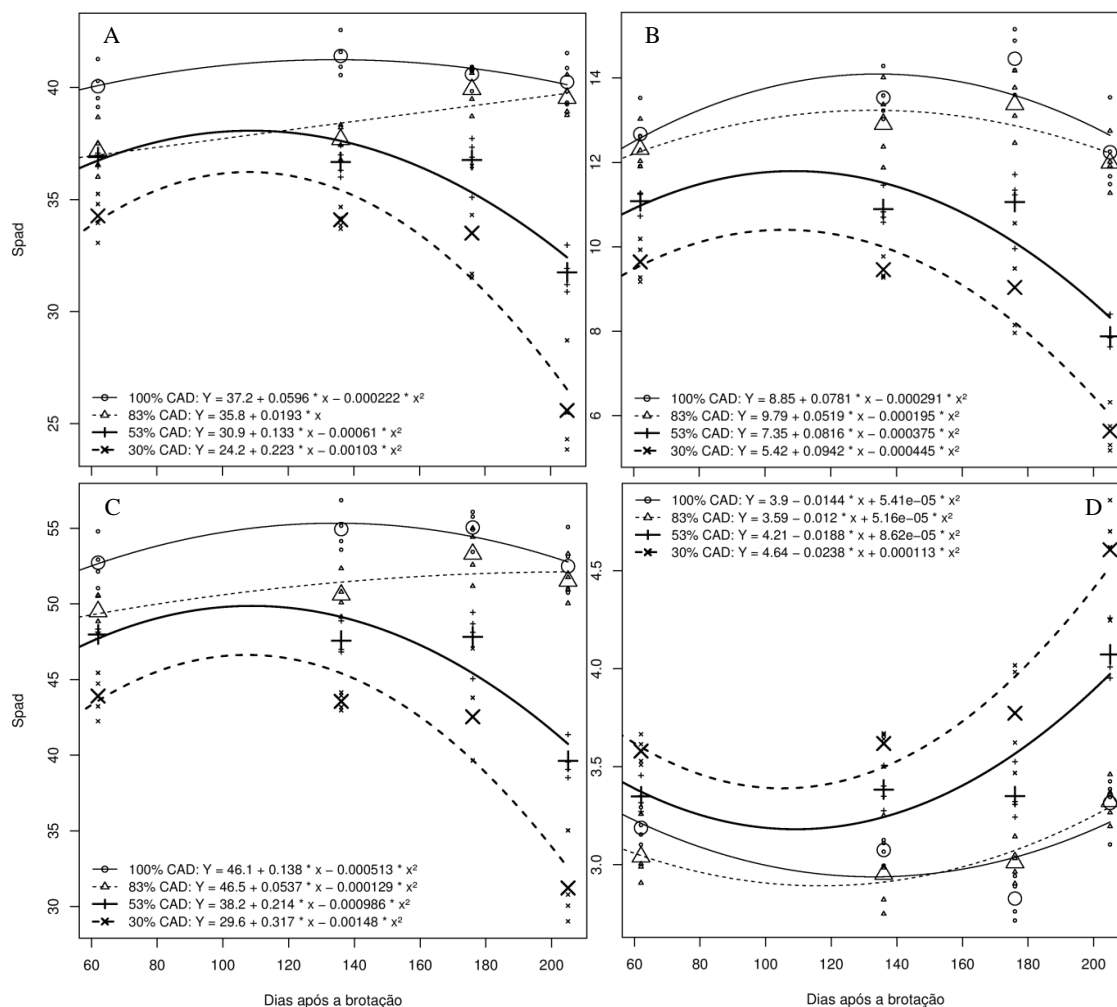


FIGURA 23. Concentração média de clorofila em índice SPAD. Concentração de clorofila *a* (A), concentração de clorofila *b* (B), concentração de clorofila *total* (C) e razão clorofila *a*/clorofila *b* (D) em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica no ciclo 2009/2010. Bento Gonçalves-RS, 2011.

O efeito dos tratamentos sobre as variáveis de clorofila já se manifestava aos 68 DAB, quando a concentração total de clorofila apresentou diferença significativa entre os tratamentos de restrição hídrica (Figura 23). As folhas provenientes do tratamento mantido em 100% CAD obtiveram a concentração média de 52,73 SPAD, diferindo de T1, T2 e T3, com 49,49, 47,97 e 43,91 SPAD, respectivamente. Esta diferença de concentração de clorofila está relacionada com alterações no rendimento quântico fotossintético, observado em plena floração, no ciclo 2009/10 (Figura 19). Isto também fica evidente no contraste de dados de clorofila *b* e na razão entre clorofila *a*/*b* nesta

etapa fenológica inicial (Figura 23), que manifestam a mesma variação em eficiência quântica ou capacidade do aproveitamento da DFFFA entre os tratamentos (Figura 19). Para uma mesma condição de radiação incidente, variações em clorofila *b* representam grandes impactos na capacidade de fixação da energia luminosa pelas antenas dos fotossistemas (Taiz & Zeiger, 2004), o que corrobora a taxa fotossintética.

Com o avanço no ciclo vegetativo:reprodutivo os tratamentos mantidos sob déficit hídrico mais intenso (T2 e T3) manifestaram redução percentual na concentração de ambas as clorofilas, principalmente na clorofila *b*. Esta redução desproporcional aumentou a razão entre clorofilas *a/b* significativamente até a colheita, nestes tratamentos, com valores médios de 3,35 e 3,77 respectivamente, e diferindo estatisticamente de T1 e TC com 3,01 e 2,82. Este aumento demonstra que entre os tratamentos de restrição hídrica houve redução significativa na concentração de clorofila *b* (Figura 23), causando limitações para captar a radiação disponível no ambiente. Isto tende a ser mais limitante para as plantas sob cobertura, considerando que as mesmas estão sob condições mais restritivas de radiação incidente (-30%), em relação a um vinhedo descoberto (Cardoso *et al.*, 2008; Chavarria *et al.*, 2008). Portanto, com redução na concentração da clorofila *b* no complexo antena, ocorre uma alteração no gradiente de energia, desfavorecendo a excitação em direção ao centro de reação e favorecendo a transferência de excitação para as porções periféricas da antena, aumentando as perdas energéticas sob forma de calor, aumentando a fluorescência nestas folhas e reduzindo o potencial fotossintético das folhas (Taiz & Zeiger, 2004). Estes resultados e influências das clorofilas comprovaram as respostas fotossintéticas observadas ao longo do ciclo, principalmente no contraste dos grupos de maior e menor restrição hídrica (Figuras 20 e 21). Estes contrastes em clorofila podem também ser

evidenciados pela coloração pálida (Figura 11) ou mesmo amarelada da folha (clorose) (Larcher, 2004).

Após a colheita a clorofila *total* e a razão clorofila *a/b* são influenciadas com mais intensidade nos tratamentos 53 e 30% CAD, com diferenças significativas em relação aos tratamentos TC e T1 (Figura 23). Estas diferenças refletem a senescência foliar avançada para estes tratamentos, refletindo também a queda brusca do potencial fotossintético (Figura 22).

Portanto, o déficit hídrico afetou praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento da videira, reduzindo a área foliar, devido ao menor crescimento ou necrose; reduzindo a taxa fotossintética, por reduzir área foliar e a concentração de clorofilas; e afetando vários outros processos fisiológicos tais como: brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos (Larcher, 2004).

4.11 Caracterização físico-química da baga durante a maturação

A maturação fisiológica dos frutos foi avaliada no intervalo compreendido entre o estágio EF81, quando as bagas começam a brilhar (aos 135 DAB, 22/01/10 e aos 132, 20/01/11), e a colheita (EF89; aos 180 DAB, 03/03/10 e aos 185 DAB, 09/03/10). Independente da maturação tecnológica dos demais tratamentos, o momento da colheita foi definido quando o tratamento controle (100% CAD) atingiu uma razão sólidos solúveis totais: acidez total titulável (SST:ATT) acima de 20:1, que é considerada ideal na comercialização de uvas finas de mesa, segundo Bleinroth (1993).

Nos dois ciclos avaliados, foi observado efeito significativo ($P < 0,0001$) da restrição hídrica sob cultivo protegido ao longo da evolução da maturação sobre os níveis de sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), assim como sobre a razão entre sólidos solúveis totais, acidez total titulável (SST:ATT). Contudo, estes

mesmos tratamentos não exerceram efeitos significativos sobre o pH do mosto em 2009/10 ($P=0,08$) e 2010/11 ($P=0,93$).

A evolução do teor de SST no decorrer da maturação tecnológica das bagas nos ciclos 2009/10 e 2010/11 pode ser visualizada na Figura 24, podendo a variação desta variável ser estimada por uma função quadrática. Pode-se observar que, em ambos os ciclos, as curvas que mais se assemelham são as dos tratamentos TC e T1 (100% e 83% CAD), e que essas duas curvas não diferem significativamente entre si ($P=0,52$ e $P=0,74$) (Apêndice 10). A segunda maior semelhança entre as curvas, observada em ambos os ciclos avaliados, se deu entre T2 e T3 (53% e 30% CAD), que, no entanto, diferem significativamente entre si ($P=0,0002$) no ciclo 2009/10, contudo, esta diferença não é observada no ciclo 2010/11 ($P=0,93$) (Apêndice 10). Por fim, o contraste mais marcante é o que ocorreu entre o grupo formado por TC e T1 e o formado por T2 e T3, sendo esta diferença fortemente significativa em ambos os ciclos ($P<0,0001$). Esta análise ampla dos dados já demonstra que T2 e, principalmente, T3 promovem uma evolução na concentração de sólidos solúveis totais totalmente distinta do tratamento controle (Apêndice 10).

Detalhando as distintas datas de amostragens de bagas no ciclo 2009/10, salienta-se, que no início da maturação das bagas, o tratamento de maior restrição hídrica (T3) já apresentou a maior concentração de SST ($P=0,03$), com diferença de 7,66 °Brix a mais que o tratamento controle (Figura 24). Este resultado sugere que o T3 promoveu uma antecipação da maturação neste ciclo. Contudo, analisando o ciclo 2010/11 sobre o acúmulo de SST, este efeito inicial não foi observado com significância, na comparação entre os tratamentos de déficit hídrico (Figura 24).

Com o avanço da maturação das bagas os tratamentos com restrição hídrica mais drástica (T2 e T3) apresentaram, em ambos os ciclos, maior concentração de sólidos

solúveis totais alcançando 14,84 e 16,83 °Brix ($P < 0,0001$) no ciclo 2009/10 (Figura 24) e 15,93 e 16,03 °Brix no ciclo de 2010/11 (Figura 24). As diferenças entre T2 e T3, em comparação ao tratamento controle foram de 2,2°Brix ($P < 0,0001$) e 4,2°Brix ($P < 0,0001$) no ciclo 2009/10, e de 3,6 °Brix ($P < 0,0001$) e 3,7 °Brix ($P < 0,0001$) em 2010/11. Contudo, em ambos os ciclos, T1 não apresentou diferença significativa quando comparado a TC (Figura 24). Aos 160 DAB no ciclo 2009/10 e aos 165 DAB em 2010/11, as bagas dos tratamentos mantidos com 53% e 30% CAD já haviam alcançado a maturação tecnológica por apresentarem uma razão SST:ATT acima de 20:1 (Figura 24).

De acordo com Gény *et al.* (2005) e Gagné *et al.* (2006) a antecipação da maturação está diretamente relacionada à disponibilidade de ácido abscísico (ABA) ao fim da etapa II da curva de crescimento das bagas, verificado por aplicações exógenas. Portanto, pode-se inferir que as plantas mantidas sob estresses hídricos rigorosos (T2 e T3) desde o início do ciclo vegetativo:produtivo podem acumular este fitormônio em maiores concentrações, que as plantas mantidas sem ou com baixa deficiência hídrica do solo. Este comportamento pode explicar as diferenças acentuadas na concentração de SST imposta pelo déficit hídrico mais intenso e a antecipação da maturação das bagas em 20 dias, constatada anteriormente na análise do ciclo fenológico (Figura 9). Isto também pode ser evidenciado pela restrição de crescimento vegetativo, anteriormente discutido, para esses mesmos tratamentos (Figuras 10 e 11).

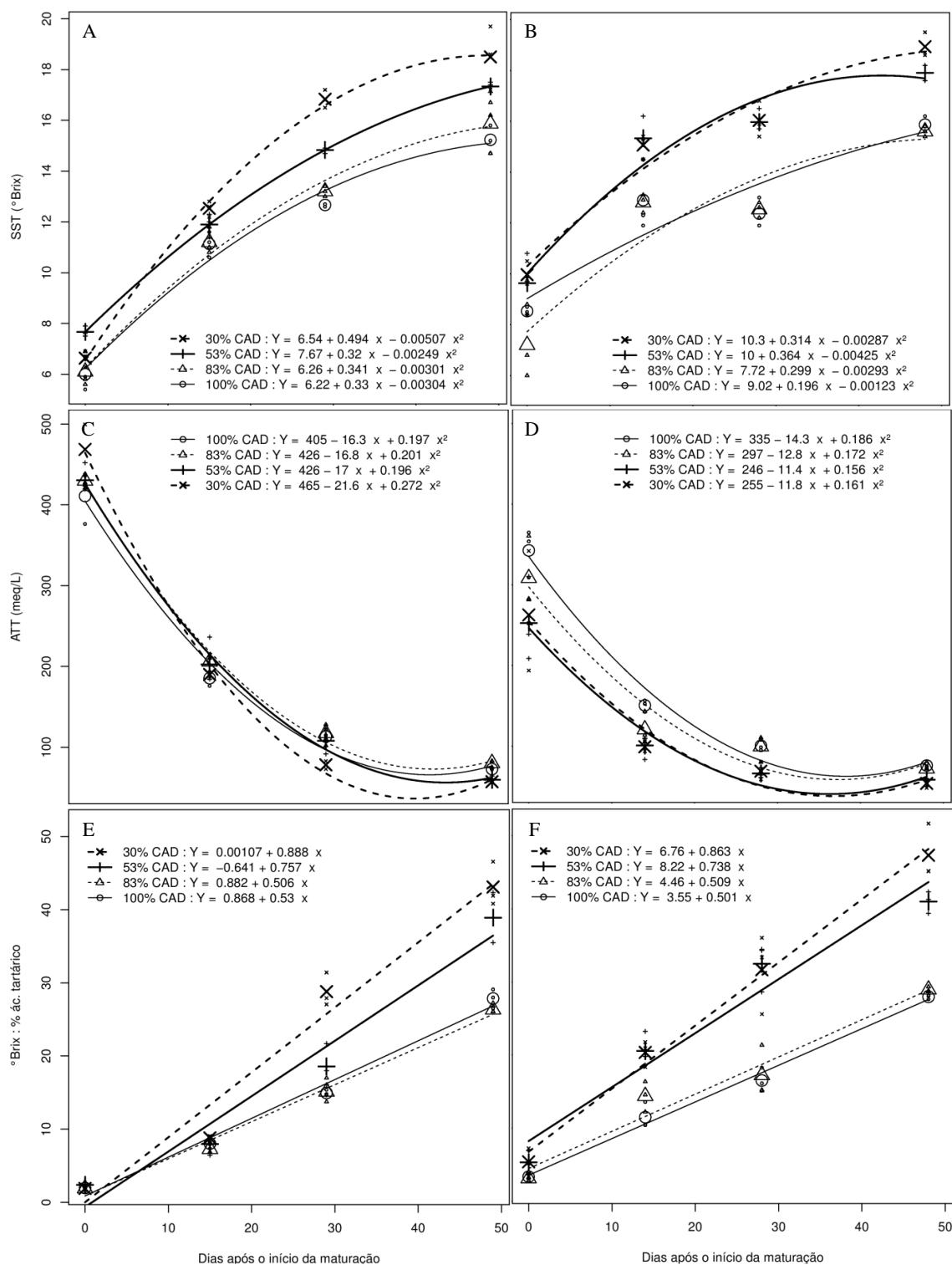


FIGURA 24. Evolução dos parâmetros de maturação tecnológica, representados pela concentração de sólidos solúveis totais (°Brix) nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B), pela acidez total tituláveis (ATT) (meq L⁻¹) nos ciclos 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e pela razão entre sólidos solúveis totais (°Brix) e acidez total titulável (% de ácido tartárico) nos ciclos 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS, 2011.

Na data de colheita definida pela evolução em TC, em ambos os ciclos, o nível máximo de sólidos solúveis totais ocorreu em T3, alcançando 18,5 °Brix no ciclo 2009/10 e 18,9 °Brix em 2010/11 (Figura 24). No ciclo 2009/10 não houve diferença significativa entre T2 e T3, mas houve diferença de 3,3 °Brix ($P=0,018$) entre T3 e TC. Em 2010/11 houve diferença significativa entre T2 e T3 em relação ao TC de 2,1°Brix ($P<0,0001$) e 3,1 °Brix ($P<0,0001$), respectivamente. Contudo, em ambos os ciclos, T1 não apresentou diferença significativa à TC (Figura 24). Estes dados não corroboram com os encontrados por Marinho *et al.* (2009), os quais não relatam diferenças significativas na concentração de SST ao alterar a época de aplicação da lâmina de irrigação referente à suplementação hídrica de 0%, 50% e 100% de ETc após a virada de cor na cultivar Sagraone.

Segundo Coombe (1960) o potencial osmótico decorrente do acúmulo de SST pode superar -2,7 MPa que, em conjunto com a deformabilidade elástica e plástica das paredes celulares, proporciona o ingresso de água para o ajuste do potencial da água nos tecidos. Entretanto, sob estresses hídricos elevados impostos em T2 e T3, esta regulação é dificultada, o que pode explicar o aumento da concentração de SST nas bagas resultante da concentração dos solutos nas mesmas.

O metabolismo dos ácidos tem recebido grande atenção por seu impacto nas características organolépticas da uva. Aproximadamente 95% da acidez total titulável da uva é expressa pelos ácidos orgânicos L (+) tartárico, L(+) málico, D(-) málico e cítrico. Segundo Ribereau-Gayon *et al.* (1998), a concentração total de ácidos é máxima na virada de cor (2%), reduzindo até a colheita e alcançando 0,5%. Esta redução ocorre, em parte, por transformação em açúcares (gliconeogênese) e, em parte, pela formação de sais. A evolução na degradação dos ácidos orgânicos durante o período de maturação tecnológica das bagas nos ciclos 2009/10 e 2010/11 pode ser visualizada na Figura 24,

podendo esta variável ser estimada por uma função polinomial do segundo grau. Contrastando com as curvas de catabolização dos ácidos orgânicos, observa-se que, em ambos os ciclos foram definidos dois grupos (TC e T1 versus T2 e T3), os quais foram significativamente distintos em 2009/10 ($P=0,28$) e em 2010/11 ($P<0,0001$). Portanto, assim como observado para SST, destaca-se que os tratamentos T2 e T3 também proporcionam uma evolução distinta na degradação de ácidos orgânicos em relação ao tratamento controle (Apêndice 10).

Os efeitos dos tratamentos sobre a degradação dos ácidos apresentou-se mais tardiamente, em comparação aos efeitos sobre SST. Em ambos ciclos, no início da maturação das bagas não foi observado efeito significativo dos tratamentos de déficit hídrico sobre a concentração de ácidos orgânicos (Figura 24). Destaca-se que a aplicação do tratamento de restrição hídrica mais intensa (T3) repercutiu tanto no anabolismo dos ácidos pós pegamento dos frutos quanto no catabolismo dos ácidos orgânicos durante a maturação tecnológica das bagas. De acordo com Zamboni *et al.* (1987) o estresse hídrico, especialmente se este ocorrer antes do amolecimento das bagas, reduz ATT devido à maior catabolização do ácido málico, visto que o ácido tartárico não é afetado, podendo inclusive ser metabolizado e aumentar sua concentração. Aos 160 DAB no ciclo 2009/10 e aos 165 DAB em 2010/11, os valores de ATT no tratamento de maior deficiência hídrica do solo foi de 78,2 e 65,9 meq L⁻¹, respectivamente (Figura 24), com uma redução de 34,9 meq L⁻¹ ($P=0,03$) e 34,3 meq L⁻¹ ($P=0,04$) em relação ao tratamento controle. Em ambos os ciclos, a menor concentração de ácidos orgânicos foi determinada em T3, alcançando 57,3 meq L⁻¹ no ciclo 2009/10 e 53,7 meq L⁻¹ em 2010/11, sendo que, em ambos os ciclos, não houve diferença significativa entre T2 e T3 (Figura 24). Com esses valores restritos obtidos em T3, ocorreram diferenças de 23,1 meq L⁻¹ ($P<0,0001$), em relação à T1 em 2009/10, e de

22,1 meq L⁻¹ (P<0,0001), em relação à TC em 2010/11 (Figura 24). Marinho *et al.* (2009) também verificaram redução na ATT na colheita das bagas de plantas mantidas sob ausência de irrigação após a virada de cor (0% de ETC) em ‘Superior Seedless’, o que pode ser desvantajoso no aspecto qualitativo de uvas de mesa.

A razão SST:ATT é um dos índices utilizados para a determinação da maturação tecnológica da uva e de suas características organolépticas. Sua utilização como índice de maturação da uva deve ser realizada com cuidado, pois um aumento nos SST nem sempre corresponde a uma redução similar em ATT. Contudo, este índice pode indicar o equilíbrio ideal entre a concentração de açúcar e acidez que uma cultivar pode atingir em uma determinada região e sistema de manejo (Ribéreau-Gayon *et al.*, 1998; Rizzon & Miele, 2004). As Figura 24 representam a evolução da razão entre sólidos solúveis totais e a acidez total titulável, expressa em porcentagem de ácido tartárico, no decorrer da maturação tecnológica das bagas, durante os ciclos 2009/10 e 2010/11. Percebe-se que esta variável pode ser estimada por uma função polinomial linear. Observa-se que, em ambos, os ciclos as curvas que mais se assemelham são as dos tratamentos mantidos em 100% e 83% CAD, e que essas duas curvas não diferem significativamente entre si (P=0,98 e P=0,92). A segunda maior semelhança entre tratamentos é observada nas condições de 53% e 30% CAD (T2 e T3), sendo distintos apenas no ciclo 2009/10 (P=0,006). Entretanto, o contraste mais evidente é o que ocorre entre o grupo formado por TC e T1 e o grupo formado por T2 e T3, sendo esta diferença significativa em ambos os ciclos (P<0,0001). Este comportamento demonstra que plantas mantidas a 53% CAD e, principalmente, mantidas à 30% CAD proporcionaram uma evolução distinta na razão SST:ATT, em comparação ao tratamentos com menor restrição hídrica (Apêndice 10).

No detalhamento da evolução da razão SST:ATT ao longo do período de maturação, em contraste às demais variáveis de maturação tecnológica das bagas, em ambos os ciclos avaliados, não foi observado nenhum efeito significativo dos tratamentos de déficit hídrico do solo sobre a razão SST:ATT no início da maturação (Figura 24). Entretanto, durante a evolução da maturação das bagas, no ciclo 2009/10, o tratamento de maior restrição hídrica (T3) já apresentou alta razão SST:ATT, com valores médios de 28,8 e significativamente superior ao TC ($P < 0,0001$) (Figura 24). Esta relação acima de 20, considerada ideal para o equilíbrio das características organolépticas (Bleinroth, 1993), evidencia que, nesta data, os cachos das plantas mantidas sob déficit hídrico em 30% CAD já estavam prontos para a colheita, com uma antecipação de nove dias em relação ao TC. Analisando o ciclo 2010/11 este efeito é visualizado em ambos os tratamentos de alta restrição hídrica (T2 e T3), apresentando uma razão superior em relação aos dados de 2009/10, com valores de 32,5 e 31,7 e significativamente superiores à T1 e TC ($P = 0,005$) (Figura 24). Esta alta razão apresentada neste ciclo é resultante tanto do aumento na concentração de SST, quanto da elevada catabolização dos ácidos orgânicos, evidenciando ainda mais a antecipação da colheita destes tratamentos neste último ciclo (20 dias). Esta antecipação mais evidenciada da data de colheita no ciclo 2010/11 pode ser explicada pelos contrastes macro e microclimáticos marcantes entre os ciclos avaliados (Tabelas 1 e 2). Portanto, é comprovado que, sob cultivo protegido e com restrições hídricas de 53% e 30% CAD, ocorre uma antecipação média de 15 dias na data de colheita da uva de mesa Itália, em relação às plantas mantidas em 100% CAD. Este resultado, de certo modo se contrapõe ao obtido por Acevedo *et al.* (2004), os quais constataram um retardamento na maturação das bagas sob déficits hídricos gerados pela reposição constante, via irrigação, de 40% ETc desde o pegamento do fruto na cultivar Cabernet Sauvignon sob

a alta demanda evaporativa da atmosfera do Vale de Pencahue, VII Região, Chile. Percebe-se que o nível de estresse imposto na ‘Cabernet Sauvignon’ foi muito alto, comprometendo o metabolismo basal celular. Entretanto, este comportamento não foi observado nas videiras mantidas em 30% CAD (T3) sob cultivo protegido.

Na colheita, em ambos os ciclos, o ponto médio máximo da razão SST:ATT superou o valor de 20:1, que é o limite desejável para a exportação (Beinroth, 1993). O aumento mais pronunciado foi evidenciado nos tratamentos de maior restrição hídrica aplicado em T2 e T3, alcançando 38,9 e 43,1 no ciclo 2009/10 e 40,9 e 47,3 em 2010/11 (Figura 24), todos significativamente superiores ao TC ($P < 0,0001$). Resultados similares também foram encontrados em cultivo descoberto por Marinho *et al.* (2009), os quais observaram um aumento significativo na razão SST:ATT em relação as plantas controle (em capacidade de campo), alcançando valores de 41,6 e 40,4 como atraso da época de aplicação da lâmina referente à suplementação hídrica de 50% e 0% de ET_c após a virada de cor na cultivar Sugaone. Cabe também ressaltar que a razão SST:ATT muito acima de 20:1, conforme observado para T2 e T3 (Figura 24), evidencia um processo de sobrematuração, resultante da antecipação da senescência dos frutos, e restringe a aceitação do fruto por parte dos países importadores (Navarro *et al.*, 2001). Além do aspecto químico, estas bagas de T2 e T3 são mais suscetíveis à rachaduras se submetidas à grandes variações de disponibilidade hídrica, pois o limiar entre o fim da maturação e a sobrematuração coincide com o máximo conteúdo de suco e com restrita capacidade de expansão da película (Gil & Pszczółkowski, 2007), ou seja, alto potencial osmótico mas com restrita capacidade de armazenamento de água.

Com o intuito de separar os efeitos das restrições hídricas sobre a bioquímica da maturação e a fisiologia do crescimento da baga, foram realizadas determinações de massa e volume de bagas no decorrer da maturação tecnológica nos ciclos 2009/10 e

2010/11 cujos resultados são visualizados na Figura 25. Em massa, pode-se observar que a evolução seguiu uma função quadrática em ambos os ciclos, sendo as curvas de TC e T1 (100% e 83% CAD) similares ($P=0,14$) e superiores ($P<0,0001$) aos demais tratamentos em 2009/10. Entretanto, em 2010/11 as duas curvas de TC e T1 se diferenciaram entre si ($P=0,0006$), apesar de ainda manterem-se superiores ($P<0,0001$) aos demais tratamentos (Apêndice 11). Os tratamentos de maior restrição hídrica (T2 e T3) foram inferiores em massa em relação aos demais, mas se mantiveram distintos em 2009/10 ($P<0,0001$) e em 2010/11 ($P=0,0033$) (Apêndice 11). Portanto, as bagas das videiras mantidas em 53% CAD e principalmente em 30% CAD apresentam uma menor evolução no desenvolvimento de bagas, assim como foi observado na evolução do crescimento vegetativo destas mesmas plantas (Apêndice 11).

No detalhamento da evolução da variável massa de bagas, os tratamentos já manifestaram diferenças significativas desde o estágio de virada de cor (Figura 25). Os dados observados nas videiras mantidas sob baixos níveis de déficit hídrico, impostos por TC e T1, apresentaram valores médios de 115,59 g e 111,16 g no ciclo 2009/10 e 116,01 g e 112,83 g em 2010/11, respectivamente no início da maturação. Em contrapartida, os tratamentos de maior déficit hídrico (T2 e T3) impuseram reduções de 29,47 g ($P=0,0006$) e 50,58 g ($P<0,0001$) no ciclo 2009/10, e de 29,71 g ($P=0,003$) e 33,72 g ($P=0,001$) em 2010, em relação ao TC (Figura 25). Estas diferenças em massa, referente aos distintos tratamentos de déficit hídrico no solo, seguem até o momento da colheita, quando as massas observadas em TC e T1 alcançaram valores de 183,72 g e 174,83 em 2009/10 e 268,07 g e 232,65 g em 2010/11, sendo que, neste último ciclo, as diferenças foram mais reforçadas ao longo do período de maturação (Figura 25). Comparando-se os tratamentos de maior déficit hídrico (T2 e T3) com o tratamento controle, percebe-se uma redução de 56,23 g ($P<0,0001$) e 33,63 g ($P=0,001$) no ciclo

2009/10, e de 127,67 g ($P < 0,0001$) e 100,89 g ($P < 0,0001$) em 2010/11. Com isso, a redução média relativa na massa das bagas nas videiras mantidas em 53% e 30% CAD foram de 29,77% e 40,70% no final de ambos os ciclos, em relação ao tratamento controle. Este efeito sobre a massa de bagas pode ser resultado, principalmente, da redução no número de células por unidade de tecido, aliada à redução do volume celular (Larcher, 2004), em função do menor potencial de pressão e acúmulo hídrico nas células das bagas, ao longo do período de desenvolvimento e maturação. Além da interferência física da água sobre o crescimento celular, os tratamentos de maior restrição hídrica também restringiram a fotossíntese foliar e, conseqüentemente, a disponibilidade de esqueletos de carbono para o crescimento dos tecidos (Taiz & Zeiger, 2004), o que corrobora com a restrição na massa de baga imposta por esses tratamentos (Figura 25). Estes resultados se contrapõem aos encontrados por Garcia (2001), o qual não observou diferenças significativas na massa de bagas na colheita ao manejar a lâmina de irrigação de forma suplementar em 45%, 30%, 15% e 0% de ETC durante todo o ciclo da cultivar Tempranillo, em sistema descoberto e sob influência da baixa pluviosidade em clima mediterrâneo e solos arenosos.

A relação entre o potencial da água de um órgão e o grau de hidratação deste órgão na planta pode ser representado por meio de diagramas pressão/volume (diagramas P/V, Tyree & Hammel, 1972). Portanto, de acordo com a lei de Boyle-Mariotte ($P.V = \text{constante}$), a redução da pressão celular devido à progressiva perda d'água necessariamente irá proporcionar uma redução do volume celular.

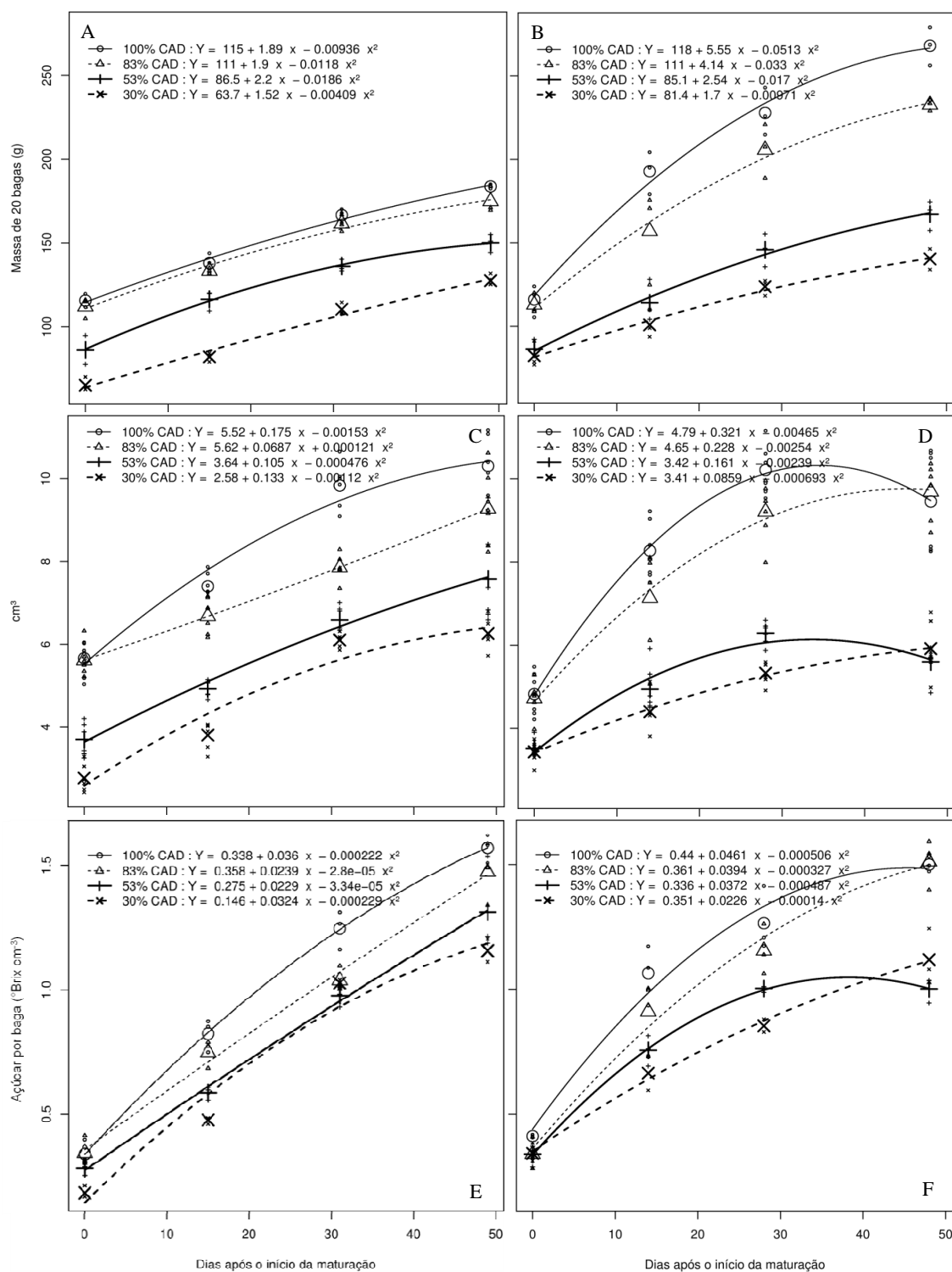


FIGURA 25. Curvas de maturação representativas da massa de 20 bagas (g) no ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B), do volume das bagas (cm^3) no ciclo 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e da concentração de SST por volume de baga no ciclo 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS, 2011.

Ao se restringir a água no solo e, conseqüentemente, para às plantas dos tratamentos de 53% e 30% CAD, o volume das bagas na virada de cor (EF85) já

apresentava diferenças significativas ($P < 0,0001$) em relação ao tratamento controle, com reduções de $1,96 \text{ cm}^3$ e $2,89 \text{ cm}^3$ no ciclo 2009/10 e de $1,31 \text{ cm}^3$ e $1,39 \text{ cm}^3$ em 2010/11. O tratamento T1, que proporcionou uma condição de estresse hídrico leve, também proporcionou restrição de volume, sendo esta mais distinta ($P < 0,0001$) do TC em 2009/10 (Figura 25). Segundo Ávila Netto *et al.* (2000), a restrição hídrica durante os dois primeiros estádios de crescimento das bagas é mais impactante para o tamanho dos frutos e pode atrasar o processo de maturação.

Com o avanço da maturação até o momento da colheita, o volume das bagas tenderam à estabilização do aumento do volume aos 31 dias após a virada de cor (DAV), principalmente no ciclo 2010/11 (Figura 25). Com isso, no momento da colheita, no ciclo 2009/10, o ponto médio máximo referente ao volume das bagas ocorreu em TC, alcançando $10,31 \text{ cm}^3$ e sem diferença estatística das plantas mantidas em 83% CAD. Em contrapartida, as videiras mantidas sob restrição hídrica mais drástica (T2 e T3) apresentaram o menor ganho em volume, alcançando $7,58 \text{ cm}^3$ e $6,26 \text{ cm}^3$, respectivamente, e altamente distintos do TC ($P < 0,0001$) (Figura 25). Analisando o ciclo 2010/11, percebe-se que o volume máximo das bagas foi também obtido no tratamento controle, aos 35 DAV, alcançando $10,33 \text{ cm}^3$. Contudo, neste último ciclo, o volume das bagas deste tratamento controle foi reduzido na colheita, alcançando $9,45 \text{ cm}^3$ e possibilitando semelhança estatística com o T1 (83% CAD). Essa estabilização e redução do volume até a colheita também foi observada nas videiras mantidas em 53% CAD, reduzindo o volume máximo de $6,13 \text{ cm}^3$, aos 34 DAV, para $5,59 \text{ cm}^3$, na colheita aos 48 DAV. Esta estabilização e redução de volume em T2 também possibilitou a similaridade em volume de boga na colheita deste tratamento com o volume de boga observado em plantas mantidas em 30% CAD (Figuras 25). Esta variação de volume no final de ciclo, principalmente no ciclo 2010/11, salienta que,

após as bagas atingirem o máximo de acúmulo de água por unidade de volume (capacidade de expansão ou potencial de turgescência), podem reduzir rapidamente o volume em decorrência das condições hídricas de solo e ambiente. Diante disso, provavelmente essa variação poderá ser mais drástica em condições de cultivo em céu aberto, onde o déficit de pressão de vapor é maior que o observado em condições microclimáticas sob as coberturas (Chavarria (2008); Cardoso (2008); Tabelas 1 e 2).

Ao analisar a quantidade de SST de modo relativo ao volume das bagas ($^{\circ}\text{Brix cm}^{-3}$), observa-se uma grande mudança de resposta em comparação à resposta isolada de SST (Compare Figuras 24 e 25). Ambos os tipos de resposta ($^{\circ}\text{Brix}$ e $^{\circ}\text{Brix cm}^{-3}$) apresentaram uma evolução ao longo da maturação tecnológica que pode ser estimada por um modelo quadrático. Contudo, os tratamentos que, antes foram superiores em SST (T2 e T3) apresentaram-se inferiores na razão SST:Volume com ambos os tratamentos não diferindo entre si em 2009/10 ($P=0,11$) e 2010/11 ($P=0,23$). Em contrapartida, os tratamentos com maior disponibilidade hídrica, que antes apresentaram os valores inferiores de SST, atingiram os maiores valores para a razão SST:Volume nos dois ciclos de experimentação (Figura 25). Além disso, esses dois tratamentos manifestaram a mesma evolução desta razão ao longo dos ciclos 2009/10 ($P=0,057$) e 2010/11 ($P=0,19$). No contraste entre esses dois grupos de tratamentos (TC-T1 e T2-T3), salienta-se que ambos foram altamente distintos entre si ($P<0,0001$), nos dois ciclos (Apêndice 11).

Durante o ciclo 2009/10, o início da maturação já pode se manifestar os efeitos que o tratamento de maior restrição hídrica (T3) proporcionou na razão SST:Volume, tendo uma redução significativa ($P=0,012$) de $0,16^{\circ}\text{Brix cm}^{-3}$ em relação ao TC (Figura 25). Contudo, analisando o ciclo 2010/11 não foi observado efeito significativo dos tratamentos de déficit hídrico sobre o acúmulo de SST no início da maturação (Figura

25). Entretanto, até a colheita os contrastes foram significativos, como enfatizado anteriormente, sendo que na colheita, em ambos os ciclos, a mínima razão de SST:Volume de baga ocorreu em T3, alcançando $1,16 \text{ }^\circ\text{Brix cm}^{-3}$ no ciclo 2009/10 e $1,00 \text{ }^\circ\text{Brix cm}^{-3}$ em 2010/11 (Figura 25). Neste mesmo momento de colheita, as bagas das videiras mantidas em TC (100% CAD) e T1 (83% CAD) atingiram uma razão de $1,57$ e $1,47 \text{ }^\circ\text{Brix cm}^{-3}$ em 2009/10 e de $1,50$ e $1,51 \text{ }^\circ\text{Brix cm}^{-3}$ em 2010/11, respectivamente e sem diferenças estatísticas entre si (Figura 25 e Apêndice 11).

Com base na razão SST:Volume, pode-se perceber com maior clareza que a redução gradual no potencial da água no solo (Figura 8) proporcionou uma redução mais drástica em SST quando comparado ao volume das bagas. Portanto, os maiores níveis de SST observados isoladamente em T2 e T3 (Figura 24) se devem apenas à redução de potencial da água nas bagas e não especificamente ao maior acúmulo de carboidratos. Sendo assim, as limitações fotossintéticas impostas por esses tratamentos, principalmente em T3 (Figuras 19, 20, 21 e 22), se refletiram diretamente na capacidade de acúmulo de SST nas bagas.

Com essa caracterização dos contrastes relativos de acúmulos de SST, evidencia-se que os tratamentos mantidos a 100% e 83% CAD manifestaram os maiores potenciais de síntese, transporte e acúmulo de carboidratos nas bagas. Em condições não estressantes, os sólidos solúveis totais tendem a aumentar acentuadamente com o crescimento da baga até alcançar um ponto de equilíbrio, com valores que dependem da cultivar, tamanho da baga, produção por planta e das condições meteorológicas durante a maturação tecnológica (Larcher, 2004). Desta forma, com o cultivo protegido de videiras associado ao controle do estresse hídrico via irrigação, há possibilidade de manter, ou até mesmo, aumentar a concentração de compostos desejáveis para a qualidade. Esse aumento de qualidade também pode ser atingido com economia de

água, como é o caso do T1 (83% CAD), que manteve um comportamento similar ao TC em crescimento e maturação das bagas.

4.11.1 Cor das bagas

A coloração do fruto é um dos principais parâmetros para a caracterização de sua qualidade, pois os consumidores mantêm uma relação direta sobre estas duas variáveis (Kays, 1981). A evolução da tonalidade da cor ou °Hue, ocorrida durante os ciclos 2009/10 e 2010/11, pode ser visualizada nas Figuras 26 e 29. Avaliando a influência do estresse hídrico sobre a tonalidade das bagas, percebe-se que esta variável pode ser estimada por uma função polinomial do segundo grau apresentando interação significativa entre os tratamentos de restrição hídrica e as datas de análise, em relação ao parâmetro avaliado. Na evolução do ciclo 2009/10 três grupos distintos são formados. Em uma análise mais ampla ocorre uma separação significativa ($P < 0,0001$, Apêndice 9) entre os tratamentos de 100%, 83% e 53% CAD da curva e o tratamento mantido em 30% CAD (Figura 26). Contudo, a curva referente ao tratamento 53% CAD também se difere significativamente dos tratamentos 83% e 100% CAD ($P < 0,0001$), os quais são similares ($P = 0,02$).

Ao analisar a evolução de tonalidade de baga no ciclo 2010/11, percebe-se que esta também pode ser estimada por uma função do segundo grau (Figura 26). Ao contrário do ciclo anterior, pode-se perceber que apenas dois grupos de tratamentos foram formados, sendo 53% e 30% CAD significativamente distintos ($P < 0,0001$) dos tratamentos 83% e 100% CAD, as quais não diferem entre si ($P = 0,095$) (Apêndice 9). Este comportamento demonstra que os grupos de curvas referentes aos tratamentos mantidos em 100% e 83% CAD não se diferenciam entre si, mas, apresentam padrões

distintos e níveis superiores aos demais tratamentos de déficit hídrico nos dois ciclos de análise.

Na colheita, os 49 DAV, os contrastes de tonalidade de cor ($^{\circ}$ Hue) foram mais distintos, em ambos os ciclos (Figura 26). Tratamentos mantidos com 100 e 83% da capacidade de armazenamento de água apresentavam coloração em tons de verde ($119,05^{\circ}$ e $118,18^{\circ}$) em 2009/10 (Figuras 26 e 27) e tons de verde-âmbar ($107,78^{\circ}$ e $106,84^{\circ}$) em 2010/11 (Figuras 26 e 27), apresentando diferença estatística significativa, quando comparados aos demais tratamentos com maior estresse hídrico. As uvas de plantas mantidas com 53% e 30% CAD, tenderam ao verde-âmbar ($108,44^{\circ}$ e $105,85^{\circ}$) em 2009/10 (Figuras 26 e 27) e tons âmbar ($101,09^{\circ}$ e $101,10^{\circ}$) em 2010/11 (Figuras 26 e 27). Estes resultados são contrastantes com os que foram encontrados por Myburgh (2005), o qual relata que a coloração das bagas foi negativamente afetada em videiras mantidas sob 20% e 30% CAD em cultivos a céu aberto de Thompson Seedless e Barlinka sob condições sul africanas.

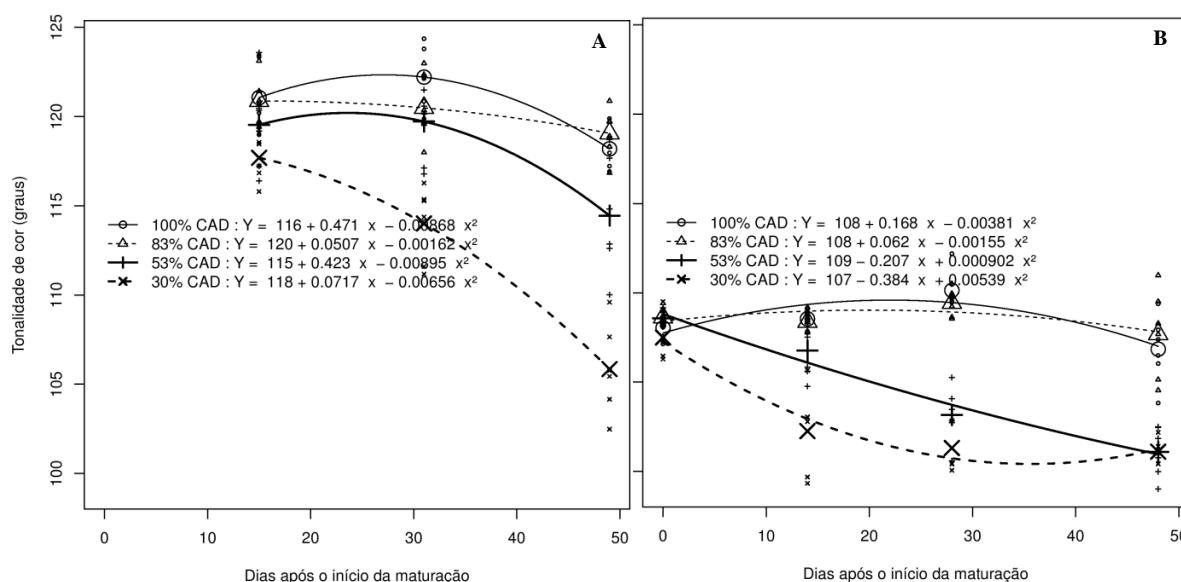


FIGURA 26. Evolução da tonalidade de cor (em $^{\circ}$ Hue) durante a maturação tecnológica das bagas em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica nos ciclos 2009/10 (A) e 2010/11 (B). Bento Gonçalves-RS, 2011.

A influência do estresse hídrico aplicado às videiras sobre a coloração das bagas, durante o processo de maturação tecnológica nos ciclos 2009/10 e 2010/11, pode ser visualizada nas Figuras 27 e 29. Percebe-se que o desenvolvimento da cor, segundo os tratamentos de restrição hídrica impostos às plantas no decorrer da maturação das bagas, evoluciona de cima para baixo, referenciado pelo componente principal dois (PC2). Nota-se que, quanto mais intenso o estresse hídrico imposto às videiras, a coloração das bagas tende a direcionar-se aos pontos negativos da representação gráfica tendendo a cores voltadas ao âmbar (Figura 27).

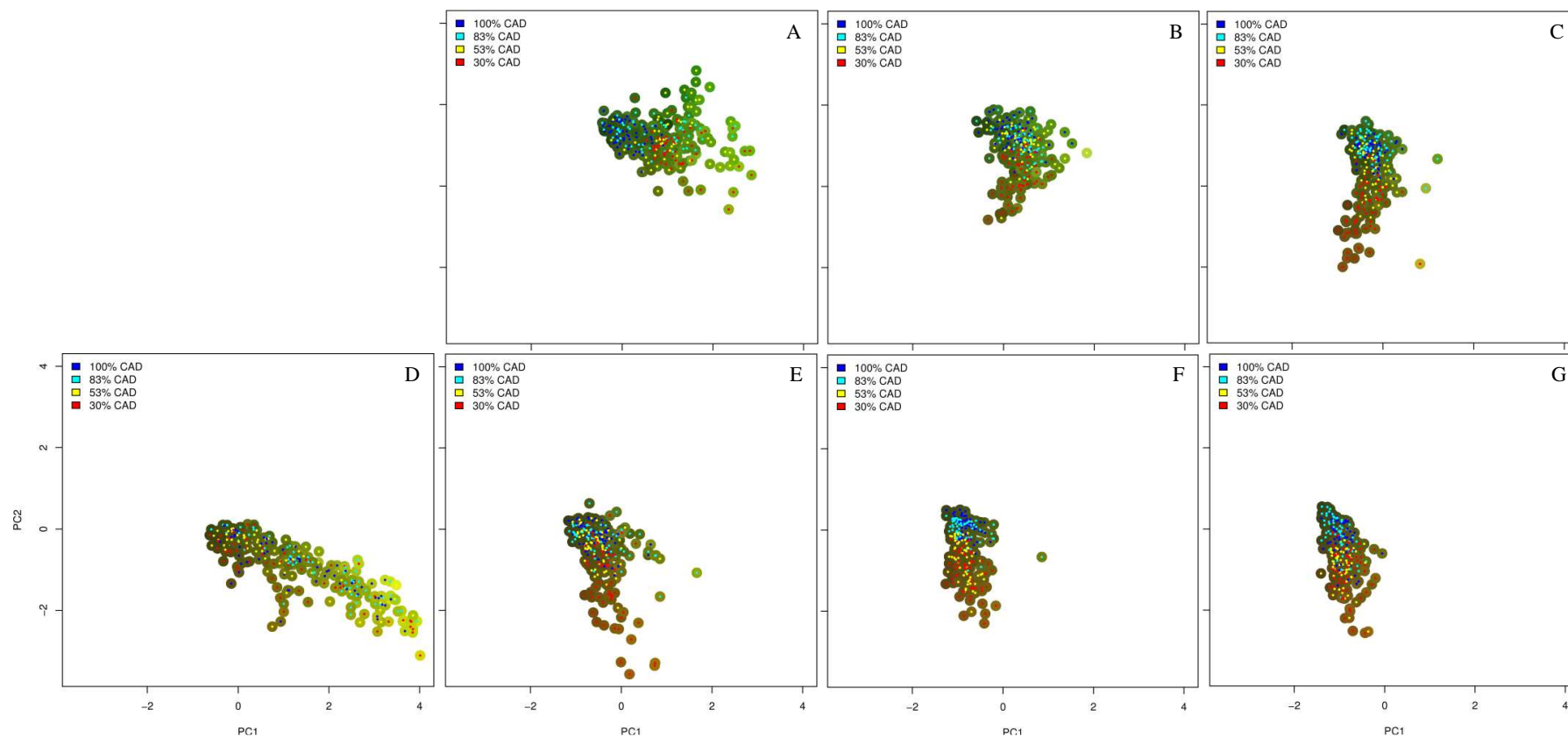


FIGURA 27. Análise de componentes principais na variável cor de bagas ao longo da maturação tecnológica segundo os distintos tratamentos de restrição hídrica aplicados nos ciclos 2009/10 (A-D) e 2010/11 (E-H). CP1 corresponde à alteração da cor ao longo da maturação tecnológica e CP2 referencia esta variação segundo os níveis de déficit hídrico. Cada gráfico representa uma data de amostragem, considerando como referência o tempo, em dias, a partir de 15 dias após a virada de cor das bagas (15 DAV) (A), 31 DAV (B) e 49 DAV (C), em 2009/10; e a partir do estágio de virada de cor das bagas (D), 14 DAV (E), 28 DAV (F) e 48 DAV (G), no ciclo 2010/11. Bento Gonçalves-RS. Para essa análise, foram consideradas todas as variáveis de cor no sistema tridimensional $L^* a^* b^*$, de acordo com o sistema proposto pela “Commission Internationale de L’eclairage” (CIE) (Minolta Corporation, 1994). Em cada gráfico, cada ponto está manifestando a cor exata de cada baga avaliada, conforme o código Lab, e o respectivo tratamento, de acordo com a legenda

Avaliando a figura representativa da cor segundo os componentes principais (Figura 28), nota-se que o desenvolvimento natural da coloração das bagas no decorrer da maturação tecnológica, independente do tratamento de deficiência hídrica aplicado às plantas, evoluciona da direita para a esquerda referenciado pelo componente principal um (PC1).

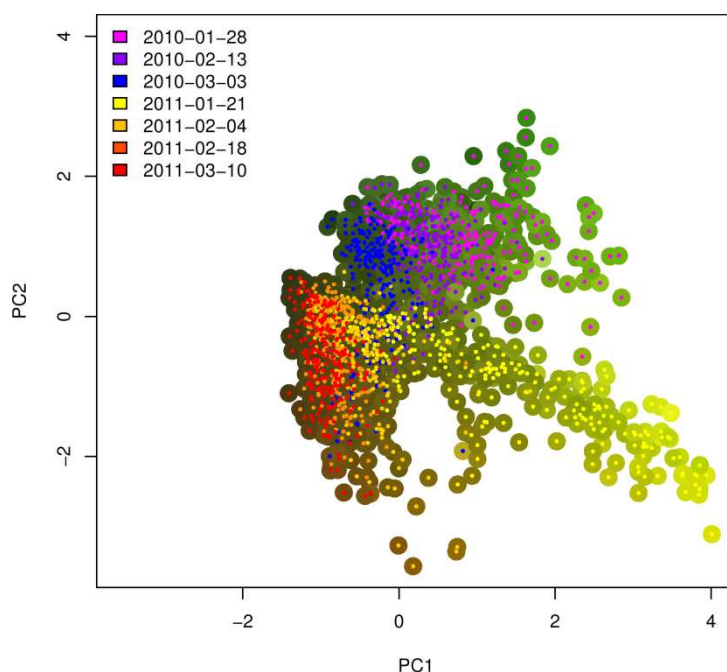


FIGURA 28. Análise de componentes principais na variável cor de bagas, segundo os distintos tratamentos de restrição hídrica, considerando principalmente a variação desta ao longo do período de maturação tecnológica nos ciclos 2009/10 e 2010/11. Bento Gonçalves-RS. CP1 corresponde à alteração da cor ao longo da maturação tecnológica e CP2 referencia esta variação segundo os níveis de déficit hídrico. Para essa análise, foram consideradas todas as variáveis de cor no sistema tridimensional $L^* a^* b^*$, de acordo com o sistema proposto pela “Commission Internationale de L’eclairage” (CIE) (Minolta Corporation, 1994). Cada ponto no gráfico está manifestando a cor exata de cada baga avaliada, conforme o código Lab, dentro de cada tratamento e em cada data de avaliação, de acordo com a legenda.

Segundo Navarro *et al.* (2001) a coloração das bagas apresenta elevada importância, sendo um dos atributos mais importantes na definição dos parâmetros de qualidade da fruta. A exigência na cor das bagas é intrínseca ao mercado importador, o

qual tem preferência por bagas verdes (mercado norte-americano) ou bagas verde-amareladas (mercado europeu) (Navarro *et al.*, 2001). Portanto, cabe salientar que o manejo hídrico da videira sob cobertura plástica, com vistas à manutenção da capacidade de armazenamento do solo em 53% e 30%, pode ser uma importante ferramenta no ajuste de qualidade para adequá-la às distintas exigências, conforme o mercado importador.

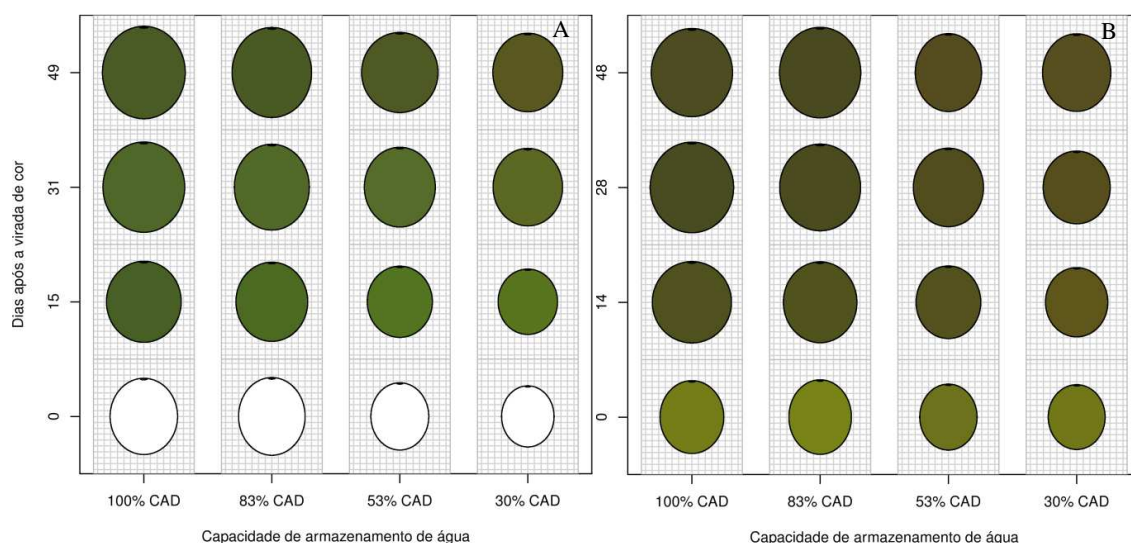


FIGURA 29. Representação esquemática da variação de volume e da cor média das bagas nos cachos de plantas cultivadas sob distintos níveis de estresse hídrico no cultivo protegido da uva 'Itália' na colheita do ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B). Bento Gonçalves, RS, 2011.

4.12 Componentes do rendimento em videiras sob estresse hídrico em cultivo protegido

Assim como em outros cultivos, na produção de uvas de mesa não basta ter apenas qualidade. É importante que a quantidade seja coerente para que o cultivo seja economicamente viável e sustentável. Analisando o primeiro ciclo (2009/10), pode-se observar que as videiras mantidas sob disponibilidade hídrica na capacidade de campo (TC) apresentaram produtividade superior em 7,06%, 16,08% e 35,63%, em relação à T1, T2 e T3 respectivamente. Estas diferenças são resultantes, principalmente, da

redução em número de bagas por cacho (Figuras 30 e 31) e em massa das bagas (Figura 25), que foi imposto pelas restrições hídricas ao longo de todo ciclo vegetativo-produtivo. Isto está de acordo com Ojeda *et al.* (2004), os quais enfatizam que restrições hídricas nos estádios fenológicos iniciais do ciclo podem comprometer a polinização e a fixação de bagas, comprometendo o potencial de produção do ciclo. Neste primeiro ano, o número de cachos por planta não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Este comportamento está coerente porque os cachos são diferenciados nas gemas que se desenvolveram no ciclo anterior (Mullins *et al.*, 2007), quando ainda não haviam sido estabelecidas as condições contrastantes de disponibilidade hídrica.

No ciclo 2010/11 as diferenças em componentes do rendimento foram mais drásticas entre os tratamentos de restrição hídrica e o tratamento controle (100% CAD), em relação ao ciclo 2009/10 (Figura 30). As plantas mais irrigadas (TC e T1) foram as mais produtivas, com incrementos significativos de 29,15% e 25,15% em relação às plantas mantidas em T2 e de 51,03% e 48,63% em comparação a T3, respectivamente. Estas diferenças são resultantes da redução do número de bagas por cacho e da massa das bagas (Figuras 30 e 31) e, sobretudo, da redução significativa no número de cachos por planta, o qual foi imposto pelas restrições hídricas do ciclo anterior. Estes resultados estão de acordo com os apresentados por Ferreyra *et al.* (2006), cuja aplicação de déficit hídrico (irrigação a 50% da *ETc*) em cultivo aberto de ‘Crimson Seedless’ durante todo o ciclo produtivo proporcionou diferenças significativas na produtividade. De acordo com esses autores, os maiores efeitos se manifestaram partir do segundo ciclo de cultivo, em razão dos efeitos cumulativos dos diferentes anos de restrição de irrigação sobre o número de cachos por planta.

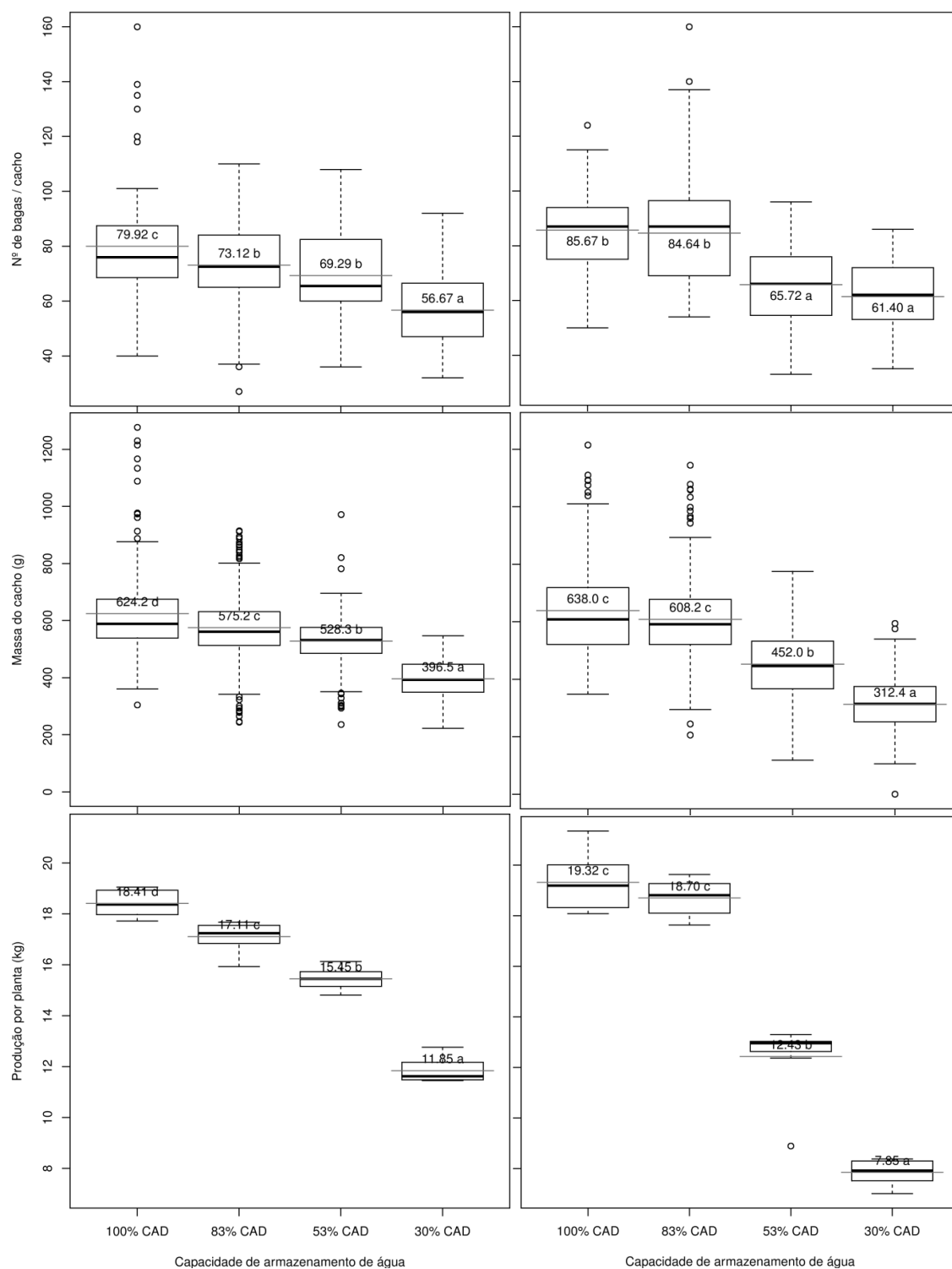


FIGURA 30. Componentes do rendimento referentes ao número de bagas por cacho 2009/10 (A) e 2010/11 (B), massa média dos cachos (g) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e produção por planta (kg) 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS. Dados expressos na forma de *boxplot* visualizando a distribuição dos valores dentro de cada tratamento e os pontos extremos (*outliers*). A linha fina representa a média, a espessa a mediana, a caixa os quartis (25% e 75%) e a linha pontilhada as observações situadas em um intervalo de 1,5 vezes a altura da caixa, para cima ou para baixo, sendo os pontos fora desse intervalo plotados individualmente.

Serman *et al.* (2004) também verificaram uma redução entre ciclos no número de cachos em plantas mantidas sob deficiência hídrica, considerando contrastes de irrigação (100%, 50% e 0% ET_0) no cultivo a céu aberto da cultivar apirênica Superior Seedless, mesmo aplicados após a virada de cor. No entanto, no Submédio do Vale do São Francisco, Bassoi *et al.* (1999) avaliaram que a suspensão total da irrigação na cultivar Itália, num período de até 30 dias antes da colheita, não promovem redução significativa nos componentes do rendimento das videiras. Isto evidencia a possibilidade de reduzir a disponibilidade de água em certos períodos do ciclo sem comprometimentos em rendimento no ciclo seguinte. Porém, segundo os autores, não se podem desprezar efeitos na qualidade de bagas, os quais foram observados neste trabalho (Figuras 24 e 25).

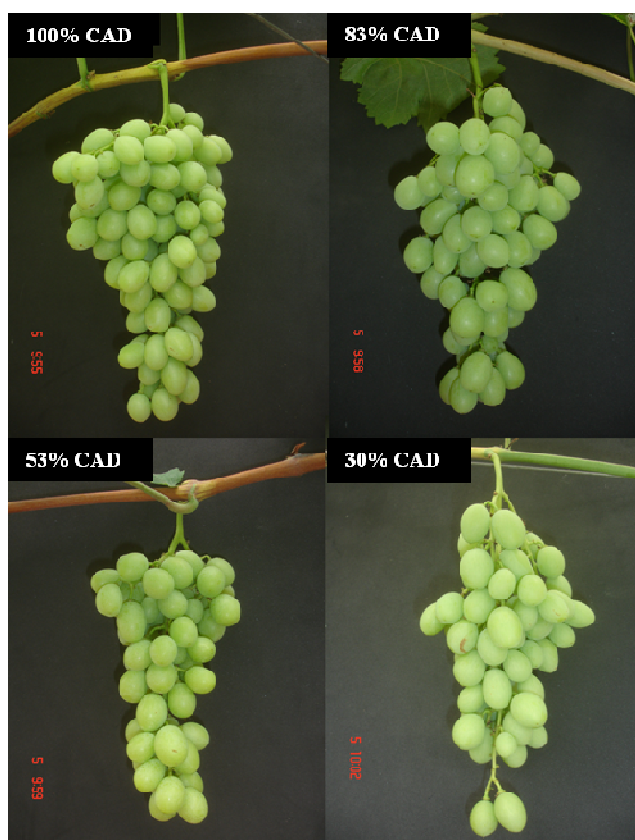


FIGURA 31. Cachos médios em plantas cultivadas sob diferentes níveis de estresse hídrico (100% CAD - TC; 83% CAD - T1; 53% CAD - T2; 30% CAD - T3), na virada de cor no cultivo protegido da uva 'Itália' ciclo 2009/2010. Bento Gonçalves, RS.

Sob condições de déficit hídrico prolongado, como promovido pelos tratamentos T2 e T3, os mecanismos de adaptação proporcionam alterações nas relações físicas, químicas e fisiológicas das folhas, reduzindo o dossel vegetativo (Figura 10) e o potencial fotossintético (Figuras 19, 20, 21 e 22). Estas alterações foliares são importantes porque apresentam interferências diretas sobre os componentes de rendimento e as características de qualidade da uva (Kliewer *et al.*, 1981). Em contrapartida, a manutenção de um maior número de folhas no ciclo 2009/10 nos tratamentos mantidos em 100% e 83% CAD (Figura 10), somado ao prolongamento das atividades biológicas foliares ao longo do ciclo (Figura 22), podem ter contribuído no aumento das reservas de carboidratos nas gemas. Este aumento alterou o número de sarmentos por planta, assim como os componentes do rendimento, repercutindo em índices expressivos de produtividade nestes tratamentos no ciclo 2010/11 e sem muitos contrastes entre ciclos (Figuras 30 e 31).

A região de São Miguel Arcanjo, no estado de São Paulo, maior produtora de uva Itália do Brasil, possui uma produtividade média de 30 Mg ha⁻¹ em céu aberto (Terra *et al.*, 2005). Contudo, percebe-se, que nos tratamentos mantidos com a umidade do solo em 100% e 83% de CAD e sob cultivo protegido, a produtividade foi superior, com valores respectivos de 34,09 e 31,68 Mg ha⁻¹ no ciclo 2009/2010 e 35,77 e 34,62 Mg ha⁻¹ em 2010/11. Portanto, as alterações nos componentes do rendimento da uva Itália impostas pelos tratamentos de 53 e 30% de CAD restringiram drasticamente esses incrementos. Em média, a produtividade de T2 e T3 foi reduzida em relação à TC em 16,07 e 35,64% com valores respectivos de 28,61 e 21,94 Mg ha⁻¹ no ciclo 2009/10. Ao analisar o ciclo 2010/11, percebe-se que, ao reduzir o vigor (redução no número de sarmentos planta⁻¹ e na área foliar), a atividade foliar (fotossíntese por unidade de superfície foliar) e, conseqüentemente, o número de cachos por plantas, somados à

redução no número e massa de bagas por cachos, os tratamentos T2 e T3 proporcionaram uma redução percentual ainda maior em relação ao controle de 35,67% e 59,37%, com valores respectivos de 23,01 e 14,53 Mg ha⁻¹. Estes valores evidenciam a redução significativa na produtividade das videiras mantidas sob estes altos níveis de estresse hídrico. Contudo, estes dados também salientam que, sob cobertura plástica é possível manter uma condição de estresse leve-moderado (83% CAD) sem comprometer a produção e a qualidade das uvas, ao mesmo tempo em que os gastos com irrigação são reduzidos.

5 CONCLUSÕES

A cobertura plástica promove alterações microclimáticas, as quais alteram as necessidades hídricas da videira e aumentam a eficiência no uso da água.

No desenvolvimento fenológico, a videira “Itália” cultivada sob cobertura plástica e submetida a estresse hídrico severo acelera o ciclo vegetativo/productivo. O período em que as folhas se encontram biologicamente ativas também é reduzido.

Com a aplicação de estresse hídrico moderado em videiras cobertas ocorre redução do vigor vegetativo e da demanda por manejos culturais, tais como poda verde e a retirada de “feminelas”.

Elevada restrição hídrica em vinhedos cobertos reduz a área foliar fotossinteticamente ativa e o potencial da água na folha, diminuindo a condutância estomática, o teor de clorofila nas folhas e a taxa fotossintética foliar da cultivar Itália.

Alto nível de estresse hídrico em vinhedos cobertos influencia a maturação tecnológica das bagas da cultivar Itália, aumenta a concentração de SST, reduz a concentração de ácidos orgânicos e aumenta a tonalidade âmbar de película.

A restrição no fluxo de água às bagas reduz a massa e volume das mesmas e, conseqüentemente, há maior concentração de SST e antecipação dos processos de senescência.

A baixa disponibilidade hídrica no solo modifica a diferenciação de gemas mistas e o pegamento dos frutos. Também há redução nos componentes do rendimento e na produtividade dos ciclos seguintes.

O déficit hídrico moderado é a condição mais adequada considerando os benefícios em maturação, restrição de crescimento vegetativo, manutenção da função foliar e economia de água.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, ainda existem algumas lacunas de conhecimento no campo do cultivo protegido de uvas finas de mesa que carecem de investigação. Desde o manejo do dossel vegetativo, considerando os aspectos referentes ao equilíbrio entre o crescimento e a produção, estudos detalhados do manejo de fitorreguladores associados ao manejo hídrico com o intuito de contornar os problemas referentes ao tamanho das bagas sob condições de estresse hídrico moderado, como também, o estudo do efeito da cobertura aliado ao efeito de déficits hídricos em outras espécies e cultivares de uvas, tanto destinadas à mesa, quanto ao processamento, sobretudo as rosadas em que a coloração de cobrimento é deficitária sob condição de cultivo protegido.

Esta tese, realizada com base na necessidade e quantidade de irrigação para uvas finas de mesa e com muitas parcerias, apenas estudou alguns itens dentro deste complexo. Contudo, espera-se que sirva para o avanço do conhecimento do comportamento da videira cultivada sob cobertura plástica e que este trabalho tenha utilidade para nortear novos trabalhos na área.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A., ALFARO, J.F., SMITH, M. **Los lisímetros**. Rome: FAO, 1986. 60p. (FAO Estudio Riego y Drenaje Paper 392).

ACEVEDO, C. *et al.* Efecto de diferentes niveles de água aplicada em post-guaja y em post-pinta sobre la calidad del vino cv. Cabernet Sauvignon. **Agricultura Técnica**, Chillán, v.64, p.397-410, 2004.

AMARANTE, C.V.T *do et al.* Quantificação da área e do teor de clorofilas em folhas de plantas jovens de videira 'Cabernet Sauvignon' mediante métodos não destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.3, p.680-686, 2009.

ASSMANN, S.M.; SNYDER, J.A.; LEE, Y.R.J. ABA-deficient (aba1) and ABA-insensitive (abi1-1, abi2-1) mutants of Arabidopsis have a wild-type stomatal response to humidity. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.23, n.4, p.387-395, 2000.

ÁVILA NETTO *et al.* Exigência hídrica da videira na região do submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1559-1566, ago. 2000.

ALLEN, R. G *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p (FAO. Irrigation and drainage, n.56).

ARAÚJO, J.A.C.; CASTELLANE, P.D. Recentes avanços da pesquisa agrônômica na plasticultura brasileira. In: ARAUJO, J.A.C.; CASTELLANE, P.D. (Eds.) **Dez anos de plasticultura na FCAV**. Jaboticabal: FUNEP, p.67-68, 1996.

AZEVEDO, P.V. de *et al.* Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.7, p.863-870, 1993.

BACK, A.J.; BRUNA, E.D. Demanda hídrica e necessidade de irrigação da videira para Urussanga, SC. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.22, n.1, 2009.

BARRADAS, V.L. *et al.* Transpiration and canopy conductance in Young apricot (*Prunus armenica* L.) trees subjected to different PAR levels and water stress. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.77, p.323-333, 2005.

BARTOLOMÉ, M.C. **Respuestas de la vid (*Vitis vinifera* L.) a condiciones de estrés hídrico**: efectos sobre las relaciones agua-planta, el crecimiento, la producción y la

calidad (cv. Tempranillo). Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1993.

BAUER, H. *et al.* The CO₂ compensation point of C₃ plants a re-examination. II. Intraspecific variability. Z. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie**, Stuttgart, v. 109, p.143-154, 1983.

BASSOI, L.H. *et al.* **Interrupção da irrigação no período de maturação da uva cv. Itália**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1999. 5p. (Embrapa-CPATSA, Comunicado técnico, n.79).

BECKER, N.; ZIMMERMANN, H. Influence de divers apports d'eau sur des vignes en pots, sur la maturation des sarments, le développement des baies et la qualité du vin. **Bulletin de l'OIV**, Paris, p.641-642, 1984.

BERGAMASCHI, H. *et al.* **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999. 125 p.

BERGAMASCHI, H. *et al.* **Clima da Estação Experimental da UFRGS** (e região de abrangência). Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 77p.

BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Consumo de água da soja: evapotranspiração estacional em condições de ótima disponibilidade de água no solo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1., 1978, Londrina. **Anais**. Londrina : Embrapa-CNPSO, 1978. p.06.

BERTAMINI, M.; NEDUNCHEZHIAN, N. Photoinhibition of photosynthesis in mature and young leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) **Plant Science**, Limerick, v.164, p.635-644, 2003.

BERTAMINI, M.; NEDUNCHEZHIAN, N. Photoinhibition and recovery of photosystem 2 in grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves grown under field conditions. **Photosynthetica**, Prague, v.41, n.4, p.611-617, 2004.

BLEINROTH, E.W. Determinação do ponto de colheita. In: GORGATTI NETO, A. (Ed.) *et al.* **Uva para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA-SPI/FRUPEX, 1993. p.20-21 (Publicações Técnicas, 2).

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R. *et al.* Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, Oxford, v.3, p.497-514, 1989.

BRAVDO, B.; PROEBSTING, E.L. Use of drip irrigation in orchards. **HortTechnology**, Alexandria, v.3, n.1, p. 44-49, 1993.

BROQUEDIS, M.; BOUARD, J. L'acide abscissique dans différents aspects de la physiologie de la Vigne. **Connaissance de la Vigne et du Vin** - Aspects Actuels de la Viticulture, Talense, Hors Série, p.89-94, 1989.

BROWN, B.; SLUGGETT, T. Drip irrigation: an excellent tool for vineyard irrigation management. **The Australian Grapegrower and Winemaker**, Adelaide, Annual Technical Issue, p.24-25, 2000.

BURIOL, G. A. *et al.* Efeito da ventilação sobre a temperatura e umidade do ar em túneis baixos de polietileno transparente e o crescimento da alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 17-24, 1997.

BURIOL, G. A. *et al.* Modificação da umidade relativa do ar pelo uso e manejo da estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 11-18, 2000.

BUTTROSE, M. S. Use of carbohydrate reserves during growth from cuttings of grapevine. **Australian Journal of Biological Sciences**, Adelaide, v.19, p.247-256, 1966.

CAMACHO, M.J. *et al.* Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.19-24, 1995.

CAMPBELL-CLAUSE, J. The effect of wind on table grape production. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TABLE GRAPE PRODUCTION, 1994, Davis. [Proceedings...] Davis: American Society for Enology and Viticulture, 1994.p.171-174.

CARBONNEAU, A.; CASTERAN, P. Optimization of vine performance by the lyre training systems. In : TECHNICAL CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN WINE INDUSTRY, 6., 1986, Adelaide. [Proceedings...] Adelaide, 1986. p.194-204.

CARBONNEAU, A. Irrigation, vignoble et produits de la vigne. In: TIERCELIN, J.R. (Ed.) **Traité d'irrigation**. Paris : Tec & Dol, 1998. p. 25-37.

CARDOSO, L. S. *et al.* Alterações micrometeorológicas em vinhedos pelo uso de coberturas de plástico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.4, p.441-447, abr. 2008.

CATSKY, J.; SESTÁK, Z. Photosynthesis during leaf development. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) **Handbook of photosynthesis**. New York: Marcel Dekker, 1997. p. 633-660.

CASSEL, D. K.; KACHNASKI, R. G.; TOPP, G. C. Practical consideration for using a TDR cable tester. **Soil technology**, Amsterdam, v.7, p. 113-126, 1994.

CHAVARRIA, G. *et al.* Incidência de doenças e necessidade de controle em cultivo protegido de videira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.477-482, 2007.

CHAVARRIA, G. *et al.* Relações hídricas e trocas gasosas em vinhedo sob cobertura plástica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.1022-1029, 2008.

CHAVARRIA, G.; SANTOS, H.P. Manejo de videiras sob cultivo protegido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, 1917-1924, 2009a.

CHAVARRIA, G. *et al.* **Influência da cobertura plástica sobre as relações hídricas e trocas gasosas em vinhedos.** Bento Gonçalves: Embrapa-CNPUV, 2009b. 10p. (Embrapa-CNPUV. Comunicado Técnico, 94.).

CHAVARRIA, G. *et al.* Potencial produtivo de videiras cultivadas sob cobertura de plástico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.2, p.141-147, 2009c.

CHONÉ, X. Déficit hydrique moderé de la vigne: parmi les 3 applications de la chambre á pression, le potentiel tige est l'indicateur le plus précis. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Villenave d'Ornon, v.34, n.4, p.169-176, 2001.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.54, p.46-55, 2002.

CIFRE, J. *et al.* Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.). An open gate to improve water-use efficiency? **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.106, p.159-170, 2005.

CONDE, C. *et al.* Biochemical changes throughout grape berry development fruit and wine quality. **Food**, London, v.1, p.1-22, 2007.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MAIA, J. D. G. Coeficiente da cultura (*Kc*) para a videira Niagara Rosada em Jales, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2001, 1 CD ROM.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Irrigação da videira em regiões tropicais do brasil.** Bento Gonçalves : Embrapa-CNPUV, 2003. 11 p. (Comunicado técnico, 43).

COOMBE, B.G. Relationship of growth and development to changes in sugars, auxins, and gibberellins in fruit of seeded and seedless varieties of *Vitis vinifera*. **Plant Physiology**. Bethesda, v.35, p. 241-250, 1960.

COSGROVE, D.J. Cell wall loosening by expansins. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.118, p.333-339, 1998.

COSTA, S.V. **Desenvolvimento e calibração de um mini tanque evaporimétrico.** 2004. Dissertação (mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

CRITTEN, D.L.; BAILEY, B.J. A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.112, p.1-22, 2002.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Roma : FAO, 1979. 306p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements.** Rome : FAO, 1977. 144p. (FAO. Irrigation and Drainage, 24).

DOWNTON, W.J.S.; LOVEYS, B.R.; GRANT, W.J.R. Stomatal closure fully accounts for the inhibition of photosynthesis by abscisic acid. **New Phytologist**, Cambridge, v.108, p.263-266, 1988.

DRY, P.R.; REED, S.; POTTER, G. The effect of wind on the performance of Cabernet Franc grapevines. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 240, p.143-146, 1989.

DURING, H. Gas exchange of grapevines leaves as affected by soil factors. In: SIMPOSIUM INTERNACIONAL SUR LA PHYSIOLOGIE DE LA VIGNE, 4., 1992, San Michel All'adige. **Comptes Rendus...** San Michell All'adige, 1992. p.295-298.

DURING, H.; LOVEYS, B.R.; DRY, P.R. Root signals affect water use efficiency and shoot growth. workshop strategies to optimize wine grape quality. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.427, p.1-13, 1996.

DYLLA, A.S.; TOMMONS, D.R.; SAULL, H. Estimating water used by irrigated corn in West Central. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.44, p.823-827, 1980.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412 p.

EMBRAPA UVA E VINHO. **Uvas viníferas para processamento em regiões de clima temperado**. Bento Gonçalves, 2003. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br>>. Acesso em: jul. 2010.

EMBRAPA UVA E VINHO. **Normal climatológica Estação Agroclimática da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS dados médios do período de 1961 a 1990**. Bento Gonçalves. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/prodserv/meteorologia/bento-normais.html>>. Acesso em: jul. 2010.

FARIAS, J.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.31-36, 1993.

FERREIRA, M.A. *et al.* Modificação parcial do cultivo da videira 'Cabernet Sauvignon' sobre diferentes portaenxertos: efeito sobre a produção e o teor de sólidos solúveis. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.439-445, 2004.

FERREYRA, R.E. *et al.* Efecto del estrés hídrico aplicado em distintos períodos de desarrollo de la vid cv. Chardonnay em la producción y calidad del vino. **Agricultura Técnica**, Chillán, v.63, n.3, 2003.

FERREYRA, R.E. *et al.* Efecto del água aplicada em las relaciones hídricas y productividad de la vid 'Crimson Seedless'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.1109-1118, 2006.

FLORES, J. *et al.* Requerimientos de riego para tomate de invernadero. **Terra Latinoamericana**, México, v. 25, n. 2, p.127-134, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. [Informações obtidas no site] Roma. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 26 jun. 2011.

GAGNÉ, S. *et al.* Influence of abscisic acid in triggering veraison in grape Berry skins of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**. Villenave d'Ornon, v.40, p. 7-14, 2006.

GARCIA, E.C. **Estudio de mecanismos de adaptación ecofisiológica al déficit hídrico de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo): evaluación del consumo de água y de las respuestas agronômicas em diferentes regímenes hídricos**. 2001. 149f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2001.

GÉNY, L.; DEYTIEUX, C.; DONÈCHE, B. Importance of hormonal profile on the onset of ripening in grape berries of *Vitis vinifera* L. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.682, p. 99-106, 2005.

GIL, G.F.; PSZCZÓLKOWSKI, P. **Viticultura: fundamentos para optimizar producción y calidad**. Santiago: Ediciones Universidad de Católica de Chile, 2007. 535p.

GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new method of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v 115, p.513-585, 1925.

GRIMES, D.W.; WILLIAMS, L.E. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seedless grapevines. **Crop Science**, Madison, v. 30, p.255-260, 1990.

HUGLIN, P.; SCHNEIDER, C. **Biologie et écologie de la vigne**. Paris: Tec&Doc, 1998. 370p.

GRIMES, D. W.; WILLIAMS, L. E. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seedless grapevines. **Crop Science**, Madison, v.30, p.255-260, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS (IBRAF). [Informações obtidas no site]. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp>. Acesso em: 19 maio 2010.

KASIMATIS, A. N. Grapes. In: IRRIGATION of agricultural lands. Madison : American Society Agronomical, 1967. pp. 719-739. (Agronomy, v. 11).

KELLER, M.; KUMMER, M.; CANDOLFI-VASCONCELOS, M.C. Reproductive growth of grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.7, p.12-18, 2001.

KELLER, M. Irrigation strategies for white and red grapes. In: ANNUAL NEW YORK WINE INDUSTRY WORKSHOP, 33., 2005, New York. [Proceedings...] New York, 2005. p.102-105.

KELLER, M.; SMITH, J.P.; BONDADA, B.R. Ripening grape berries remain hydraulically connected to the shoot. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.57, p.2577-2587, 2006.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.635-662.

KLIEWER, W.M. **Grapvine physiology: how does a grapevine make sugar?** Davis, University of California, 1981.13p. il. (University of California. Leaflet, 21231).

KÖPPEN, W. **Das Geographische System der Klimatologie**. Berlin: Borntrager, 1936. 44p.

KOUNDOURAS, S. *et al.* Rootstock effects on the adaptive strategies of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon) under contrasting water status: Leaf physiological and structural responses. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.128, p.86-96, 2008.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.

KRIEDEMANN, P.E.; LOVEYS, B.R.; DOWNTON, W.J.S. Internal control of stomatal physiology and photosynthesis. II. Photosynthetic responses to phaseic acid. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.2, p.553-567, 1975.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 4.ed. Berlin: Springer-Verlag, 2004. 513p.

LIN, S.T.; GUAN, B.T.; CHANG, T.Y. Fitting Photosynthesis Irradiance response curves with nonlinear mixed-effects models. **Taiwan Journal for Science**, Local, v.23, n.1, p.55-69, 2008.

LIU, W.T. *et al.* Changes in photosynthesis, stomatal resistance and abscisic acid of *Vitis labruscana* through drought and irrigated cycles. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.29, p.239-246, 1978.

LOPES FILHO, R.P. **Utilização de diferentes tanques evaporimétricos em ambiente protegido**. 2000. 79p. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Agrícola, Irrigação e Drenagem, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

LÓPEZ-MIRANDA, S. **Componentes del rendimiento en cv. Verdejo (*Vitis vinifera* L.), sus relaciones y su aplicación al manejo de la poda**. 2002. 274p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2002.

LORENZ, D.H. *et al.* Phenological growth stages of grapevine (*Vitis vinifera* L.) - Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.1, p.100-103, 1995.

LOVEYS, B.R. Diurnal changes in water relations and abscisic acid in field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars: III. The influence of xylem-derived abscisic acid on leaf gas exchange. **New Phytologist**, Cambridge, v.98, p.563-573, 1984.

McCARTHY, M. G. **Effect of timing of water deficit on fruit development and composition of *Vitis vinifera* cv. Shiraz.** 1997. 149p. Tese - Universidade de Adelaide, Australia, 1997.

MANDELLI, F. **Comportamento fisiológico das principais cultivares *Vitis vinifera* L. para a região de Bento Gonçalves, RS.** Piracicaba : ESALQ, 1984. 125p.

MARINHO, L.B. *et al.* Produção e qualidade da videira 'Superior Seedless' sob restrição hídrica na fase de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.12, p.1682-1691, 2009.

MEDRANO, H. *et al.* A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 30, p.607–619, 2003.

MIELE, A.; MIOLO, A. **O sabor do vinho.** Bento Gonçalves: Vinícola Miolo; Embrapa Uva e Vinho, 2003. 133p.

MILLER, W. R.; McDONALD, R. E. Reducing irradiation damage to 'Arkin' carambola by plastic packaging or storage temperature. **HortScience**, Alexandria, v.33, n.6, p.1038-1041, 1998.

MINOLTA CORPORATION. **Precise color communication:** color control from feeling to instrumentation. Ramsey: Minolta Corporation Instrument Systems Division, 1994. 49p.

MOTA, C.S. **Ecofisiologia de videiras 'Cabernet Sauvignon' em sistema de cultivo protegido.** 2007. 45f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2007.

MOTA, C.S. *et al.* Disponibilidade hídrica, radiação solar e fotossíntese em videiras 'Cabernet Sauvignon' sob cultivo protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.432-439, 2009.

MULLINS M.G.; BOUQUET A.; WILLIAMS L.E. **Biology of the grapevine.** New York: Cambridge University Press, 1992. 239p.

MYBURGH, P. A. Irrigation management in table grapes vineyards: South Africa experience. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL MANEJO DE RIEGO Y SUELO EN VIDES PARA VINO Y MESA, 2005. [Anais]. Santiago, Chile: INIA, 2005. p.85-94 (Actas INIA, n.39).

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. **[Informações obtidas no site]** Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy>>. Acesso em: 10 set. 2011.

NAVARRO, O.M.; RETAMALES, A.J.; DEFILIPPI, B.B. Efecto del arreglo de racimos y aplicación de citoquinina sintética (CPPU) em la calidad de uva de mesa variedad sultanina tratada com dos fuentes de giberelinas. **Agricultura Técnica**, Santiago, Chile, v.61, n.1, p.15-25, 2001.

NETZER, Y.; YAO, C.; SHENKER, M. Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system. **Irrigation Science**, New York, v.27, p.109-120, 2009.

NORTON, R.L. Windbreaks: benefits to orchard and vineyard crops. **Horticultural Abstracts**, East Malling, v.60, n.7, p.568, 1990.

OJEDA, H. *et al.* Determinación y control Del estado hídrico de la vid. Efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica em vides. **Viticultura / Enología Profesional**, Buenos Aires, v.90, p.27-43, 2004.

OJEDA, H. *et al.* Viticulture de précision et état hydrique. II: Comportement quantitatif et qualitatif de zones intraparcellaires définies à partir de la cartographie des potentiels hydriques. In : JOURNÉES GESCO, 24., 2005, Geisenheim, Allemagne. **Annales...** Geisenheim, 2005. p.741-748.

OLIVER, H.R.; SENE, K.J. Energy and water balances of developing vines. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 61, n.2, p. 167-185, 1992.

PATAKAS, A.; NOITSAKIS. Osmotic adjustment and partitioning of turgor responses to drought in grapevines leaves. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.50, p.76-80, 1999.

PELÁEZ, H.R. **Balance de radiación fotosintéticamente activa, microclima luminoso y evaluación fisiológica y agronómica de distintos sistemas de conducción em diferentes regímenes hídricos em el cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.)**. 1999. 265p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid,1999.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society of London**, London, v. A193, p.120-146, 1948.

PERRIER, A. Updated evapotranspiration and crop water requirement definitions for the ICID multilingual dictionary (May 1948). In: CONFERENCE INTERNATIONAL, 1984, Paris. **Les besoins des cultures**. Paris : INPA, 1985. p.885-887.

PEZZOPANE, J.E.M. *et al.* Alterações microclimáticas causadas pelo uso de tela plástica, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, 2004.

PLATT, TC.; GALLEGOS, CL.; HARRISON, WG. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. **Journal of Marine Research**. New Haven, v.38, p.687-701, 1980.

PURQUEIRO, L.F.V.; TIVELLI, S.W. Produção de alface em sistema de plantio direto em função de manejos da cultura de cobertura e da fertilização nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, 3., 2006, Campinas. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2006. v.3. p.181-185.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. [Software] Vienna, Austria : R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<http://www.R-project.org> />. Acesso em: 2011.

REICHARDT, K. Disponibilidade e absorção de nutrientes em relação às condições físicas do sistema solo-planta-atmosfera. In: E. MALAVOLTA. (Org.). **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronomica Ceres, 1976. p.134-135.

REIS, N.V.B.; CARRIJO, O.A. Estufa, material de cobertura e cortinamento – durabilidade e transparência à radiação solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1999. 1 CD-ROM.

RIBEREAU-GAYON, P. *et al.* **Traité d'oenologie**. 2. Chimie du vin: stabilisation et traitements. Paris: Dumond, 1998. v. 2, 519p.

RUIZ, H.A.; FERREIRA, G.B.; PEREIRA, J.B.M. Estimativa da capacidade de campo de latossolos e neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.389-393, 2003.

SANTOS, H. P. Fruteiras de clima temperado em cultivo protegido: desafios e perspectivas em videira e macieira. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA SOBRE RUTEIRAS DE CLIMA TEMPERADO, 2005, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005. 44p.

SCHOLANDER, P.F. *et al.* Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v.148, p.339-347, 1965.

SCIENZA, A.; FREGONI, M.; BOSELLI, M. Influenza del portinnesto sulla resistenza stomatica, sul potenziale idrico e sul contenuto di acido abscísico di foglie di “Barbera”. **Vignevini**, Milano, v.1, p.39-44, 1980.

SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.1-12, 1996.

SEGOVIA, F. O. *et al.* Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.1, p.37-41, 1997.

SELLES, G.; FERREYRA, R. Criterios para controlar El Riego em uvas de mesa. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL MANEJO DE RIEGO Y SUELO EN VIDES PARA VINO Y MESA, 2005. [Anais]. Santiago, Chile: INIA, 2005. Disponível em: <<http://www.inia.cl>> Acesso em: 06 mar. 2011.

SENTELHAS, P.C. ; VILLA NOVA, N.A. ; ANGELOCCI, R.L. Efeitos de diferentes tipos de cobertura, mine estufas na atenuação da radiação solar e da luminosidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.480-484.

SERMAN, F.V.; LIOTTA, M.; PARERA, C. Effects of irrigation deficit on Table grape cv. Superior Seedless production. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.646, p.183-186, 2004.

SILVA, L.M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V.J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.19, n.1, p.183-194, 2005.

SMART, R.E.; COOMBE, B.G. Water relations of grapevines. In: WATER Deficits and Plant Growth. New York: Academic Press, 1983. v.7, p.138-196.

SMART, R.E. Principles of Grapevine Canopy Microclimate Manipulation with Implications for Yield and Quality: a review. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.36, n.3, p.230-239, 1985.

SOMMER, K.; MUHAMMAD, T.I.; CLINGELEFFER, P. Light and temperature effect on shoot fruitfulness in *Vitis vinifera* L. cv. Sultana: influence of trellis type and grafting. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.6, p.99-108, 2000.

SOUZA, J.S.I.; MARTINS, F.P. **Viticultura brasileira: principais variedades e suas características**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 368p.

SHUCK, E. Efeitos da plasticultura na melhoria da qualidade de frutas de clima temperado. In: ENFRUTE ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 5., 2002, Fraiburso, SC. **Anais...** Fraiburso, SC., 2002. p.203-213.

STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouses with special reference to Mediterranean conditions. **Acta Horticulture**, Wageningen, v. 335, p. 295-304, 1993.

STRECK, N.A. Stomatal response to water vapor pressure deficit: an unsolved issue. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.9, n.4, p.317-322, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Trad. Eliane Romanato Santarém (et al.). 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TARDIEU, F.; DAVIES, W.J. Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken v.16, p.341-349, 1993.

TEIXEIRA, A.H. de C.; LIMA FILHO, J.M.P. Relações entre o índice de área foliar e a radiação solar na cultura da videira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.5, n.2, p.143-146, 1997.

TEIXEIRA, A.H.C. *et al.* Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.413-416, 1999.

TERRA, M.M.; PIRES, E.J.P.; BOTELHO, R.V. Os caminhos da viticultura paulista. **Atualidades Agrícolas**, São Paulo, p.10-12, abril de 2005.

TONIETTO, J.; FACALDE, I. Regiões vitivinícolas brasileiras. In: UVAS para processamento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 134p. (Frutas do Brasil, 34).

TONIETTO, J.; MANDELLI, F. Clima: regiões vitivinícolas brasileiras. In: UVAS para processamento. Brasília: Embrapa Informações Técnicas, 2003. 134p. (Frutas do Brasil; 34).

TYREE, M.T.; HAMMEL, H.T. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plant by pressure-bomb technique. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 23, p. 267-282, 1972.

VAN LEEUWEN, C.; SEGUIN, G. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* Variété Cabernet Franc, Saint-Emilion 1990). **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Villenave d'Ornon, v.28, p.81-110, 1994.

VENTURIN, M.; SANTOS, H.P. Caracterização microclimática e respostas fisiológicas de uvas de mesa (*Vitis labrusca* e *Vitis vinifera*) cultivadas em ambiente protegido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2004. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2004. 1 CD-ROM.

VIDA, J.B. *et al.* Manejo de doenças de plantas em cultivo protegido. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, n.29, p.355-372, 2004.

WESTPHALEN, S.L.; MALUF J.R.T. (Ed.) **Caracterização das áreas bioclimáticas para o cultivo de *Vitis vinifera* L. nas regiões da Serra do Nordeste e Planalto do Estado do Rio Grande do Sul**. Brasília: Bento Gonçalves: Embrapa Comunicações para Transferência de Tecnologia ; Embrapa Uva e Vinho, 2000. 99p.

WILLIAMS, L.E.; MATTHEWS, M. A. Grapevine. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p.1019-1055. (ASA. Monograph, 30).

WILLIAMS, L.E. *et al.* Water use of mature Thompson Seedless grapevine in California. **Irrigation Science**, New York, v.22, p.11-18, 2003.

WILLIAMS, L.E.; TROUT, T. J. Relationship among vine-and-soil-based measures of water status in a Thompson Seedless vineyard in response to high-frequency drip irrigation. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.56, p.357-366, 2005.

WILLIAMS, L.E.; BAEZA, P. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potential of fully irrigated, field-grown grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 58, p.173-181, 2007.

WINKLER, A.J. *et al.* **General viticulture**. 2.ed. Berkeley: University of California Press, 1974. 710p.

WRIGHT, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.108, n.IR2, p.57-74, 1982.

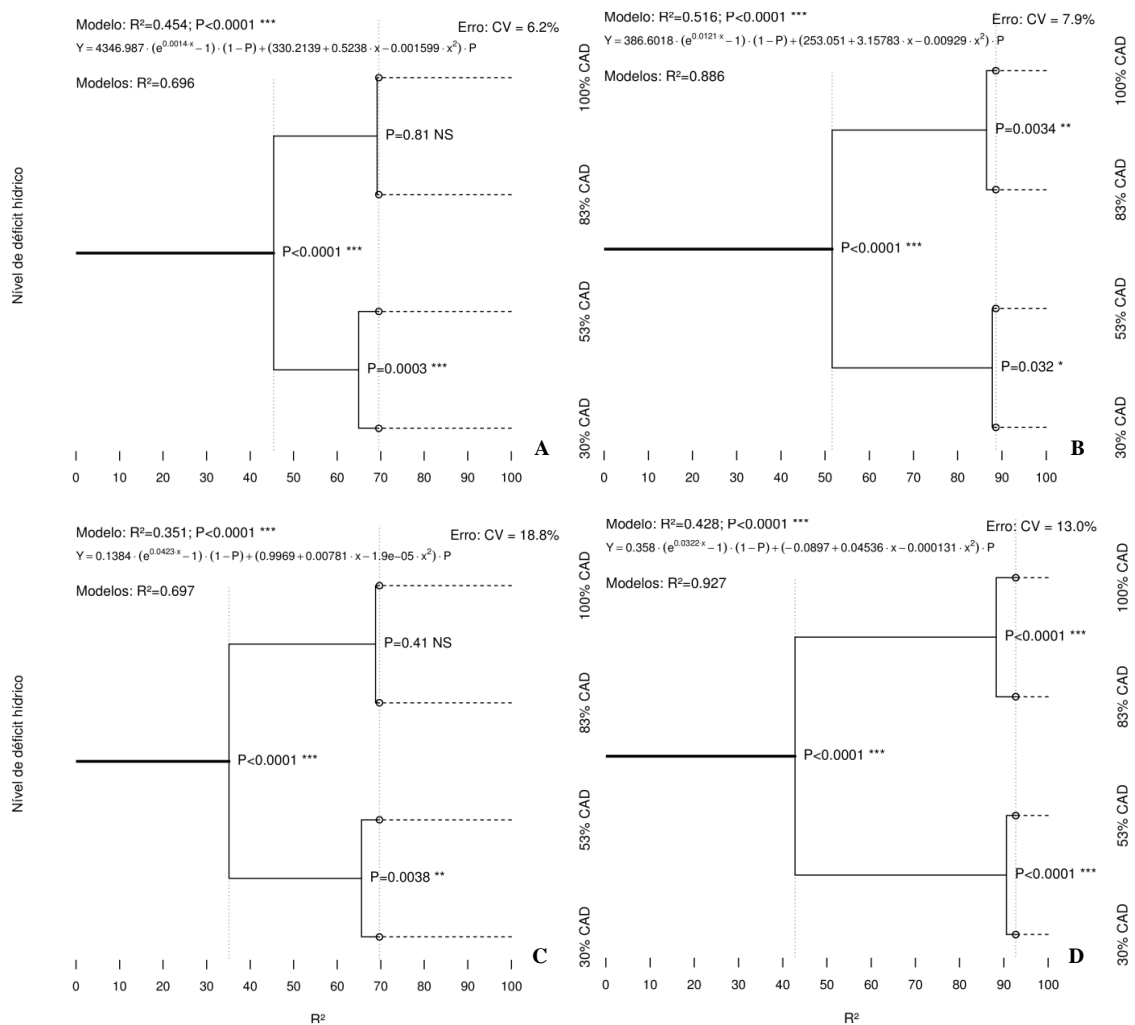
XIE, X. *et al.* The identification of genes involved in the stomatal response to reduced atmospheric relative humidity. **Current Biology**, London, v.16, n.9, p.882-887, 2006.

YOKOTA, A.; TAKAHARA, K.; AKASHI, K. Water Stress. In: **PHYSIOLOGY and molecular biology of stress tolerance in plants**. Netherlands : Springer, 2006. p. 15-39.

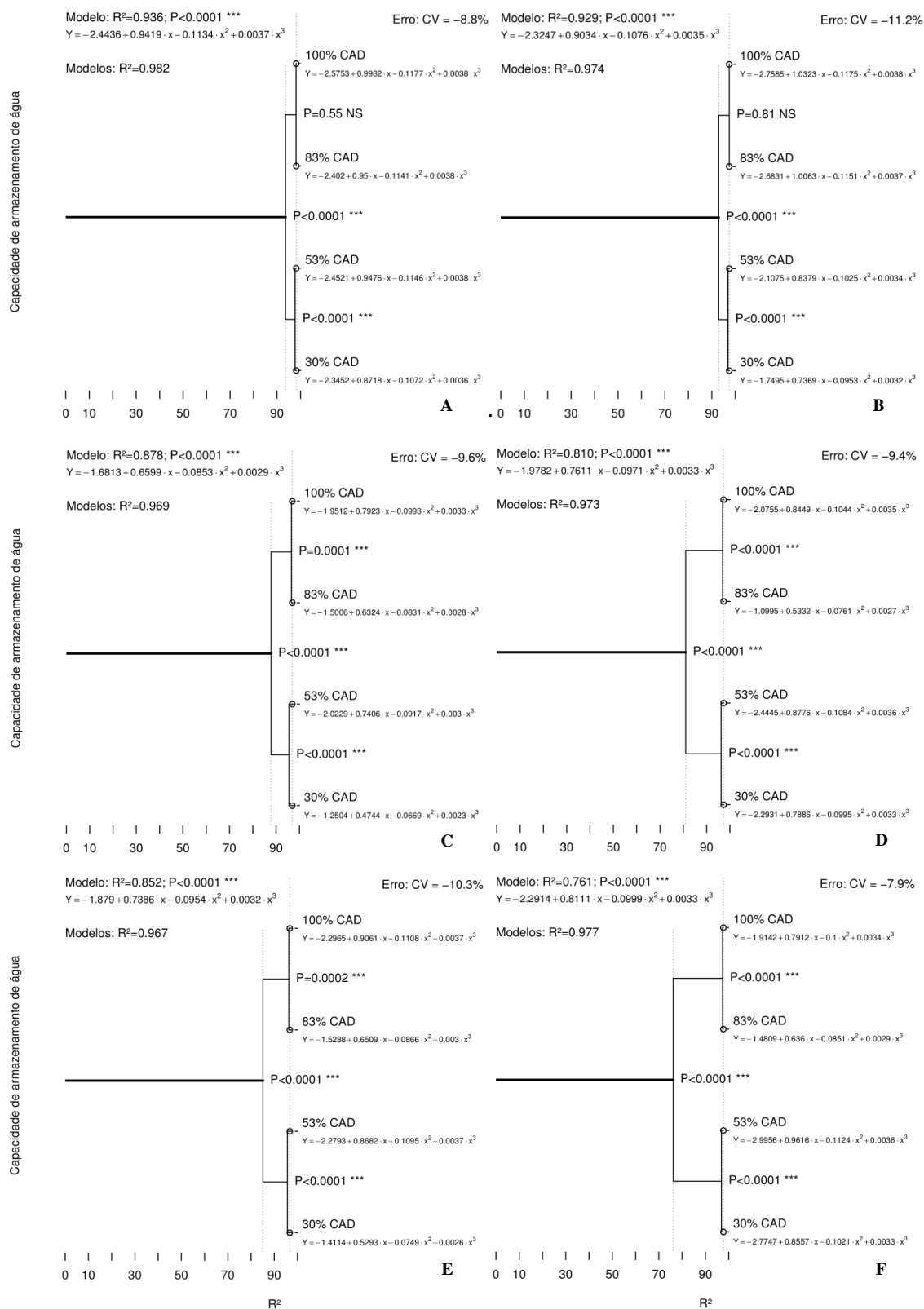
YUSTE, D.J. Factores de desequilibrio de la vid: Alternativas para el manejo eficaz del potencial vegetativo hacia el equilibrio del viñedo. In: **EL control del vigor y del rendimiento en el marco de una viticultura de calidad**. La Rioja, España: Agrupación Riojana para el progreso de la viticultura, 2005. 15p.

ZUFFEREY, V.; MURISIER, F.; SCHULTZ, H.R. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs Riesling and Chasselas leaves in the field: I. Interaction of age, light and temperature. **Vitis**, Germany, v.39, n.1, p.19-26, 2000.

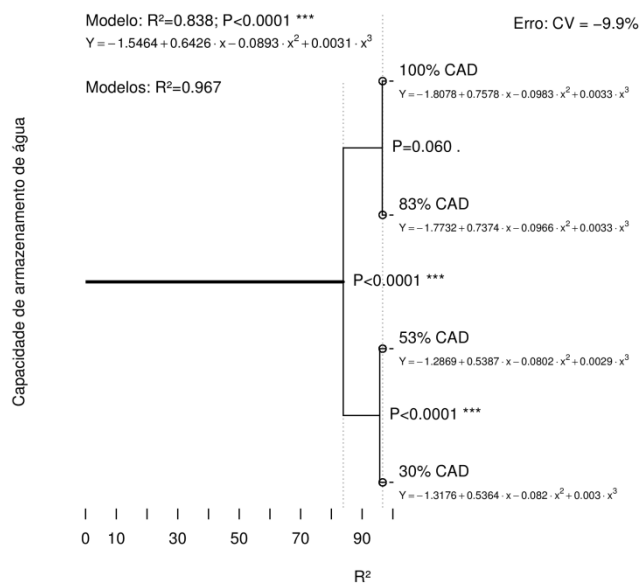
8 APÊNDICES



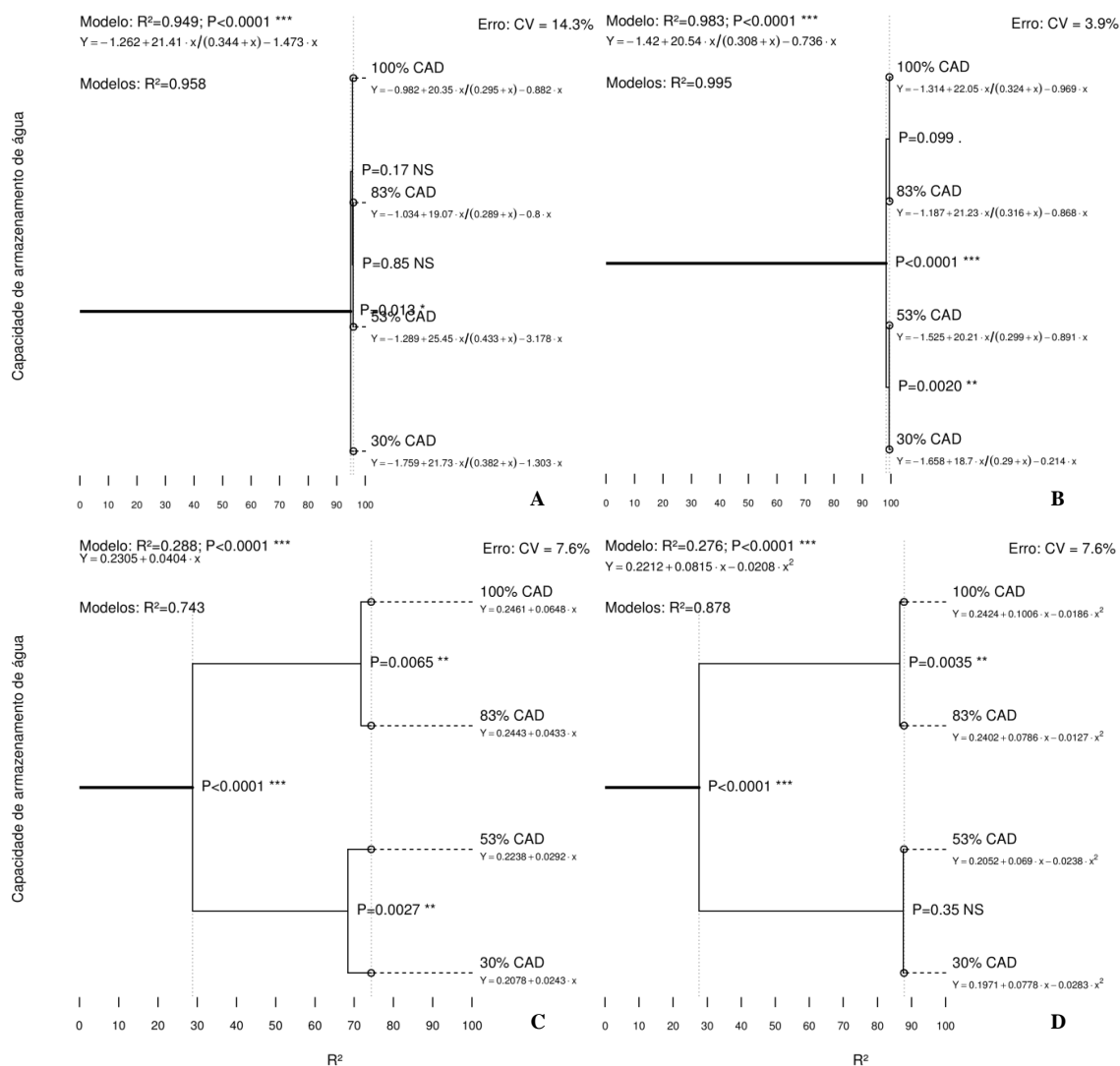
APÊNDICE 1. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas referentes ao número de folhas em 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e entre as curvas referentes ao índice de área foliar em 2009/10 (C) e 2010/11 (D). Bento Gonçalves-RS, 2011.



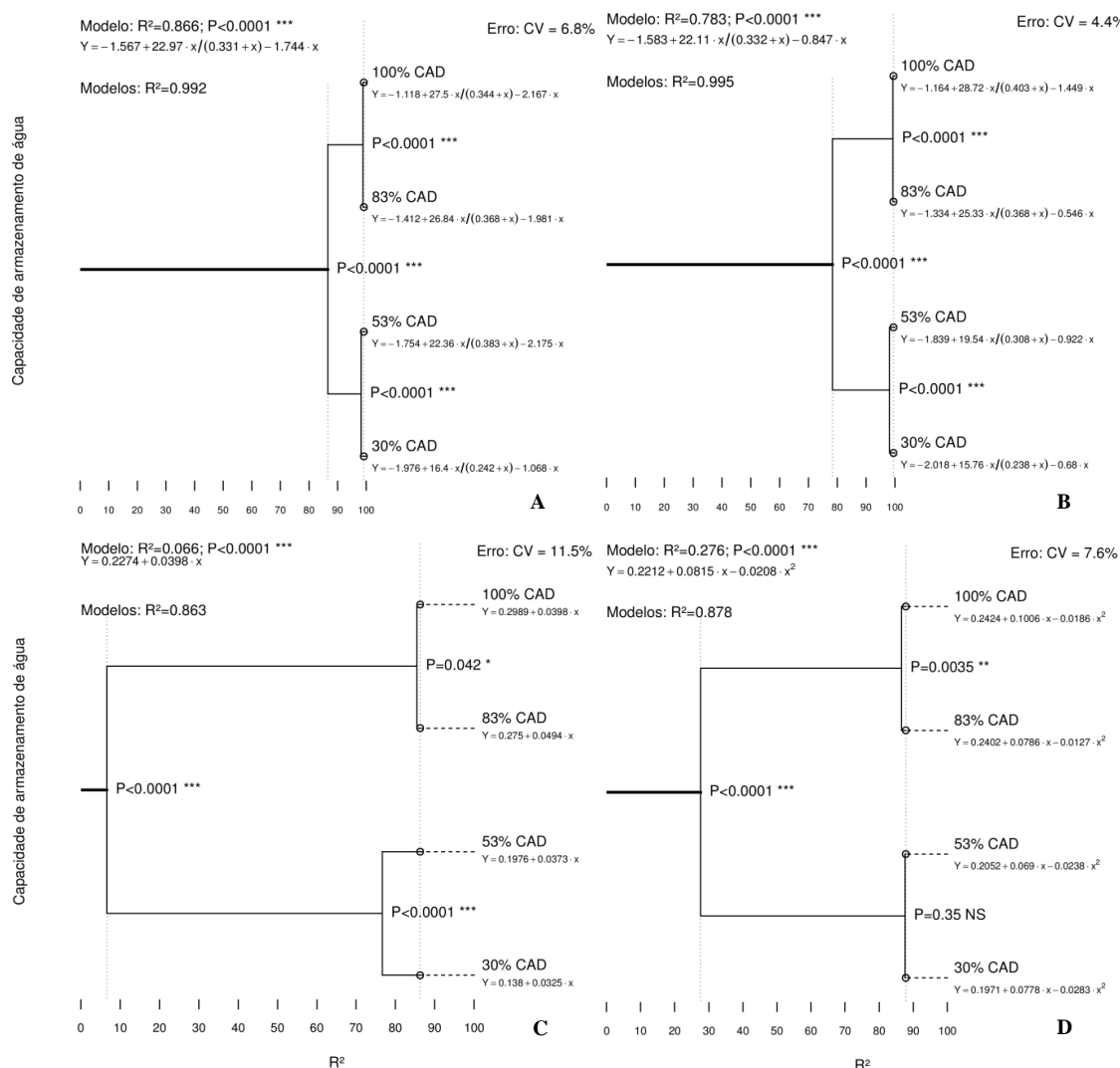
APÊNCICE 2. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de potencial hídrico foliar (ψ_H) em plena floração (EF65) ciclo 2009/10 (A) e 2010/11 (B), no amolecimento das bagas (EF85) ciclo 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e na colheita das bagas (EF89) ciclo 2009/10 (E) e 2010/11 (F). Bento Gonçalves, RS, 2011.



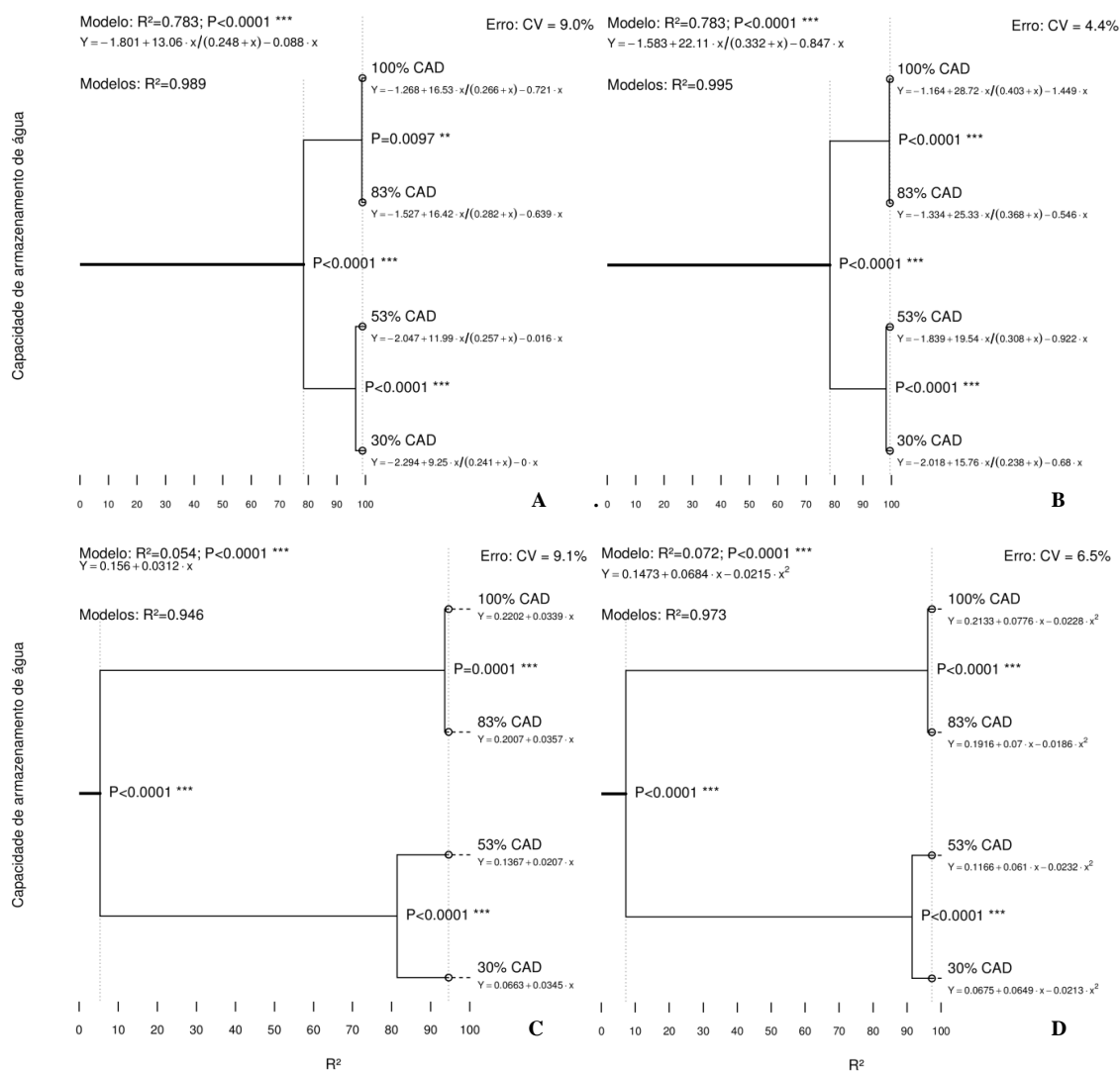
APÊNDICE 3. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de potencial hídrico foliar (ψ_H) na maturação completa dos sarmentos (EF91) ciclo 2009/10. Bento Gonçalves, RS, 2011.



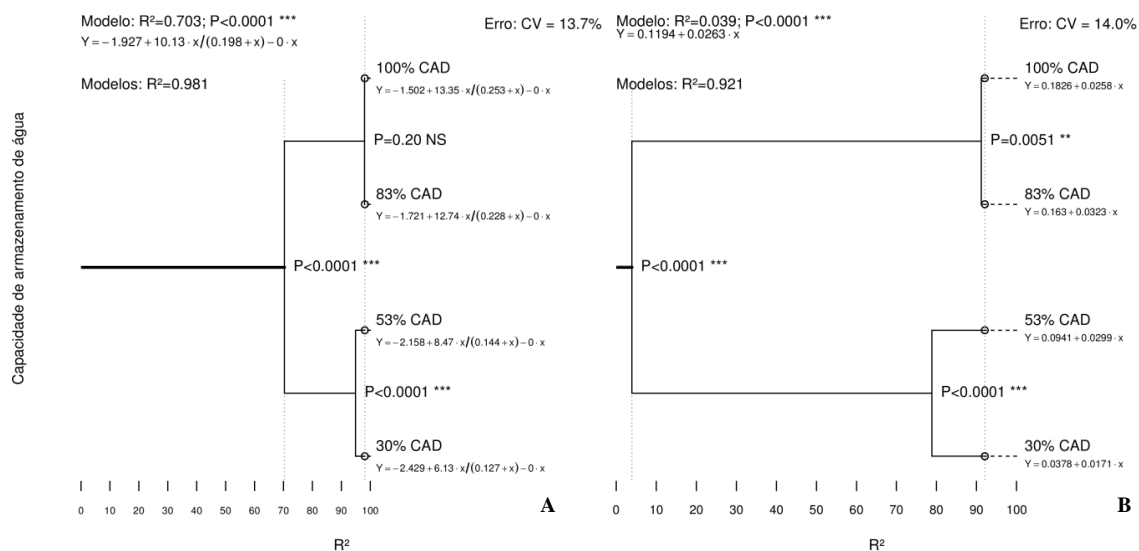
APÊNCICE 4. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de fotossíntese líquida (A) 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e entre as curvas de condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em relação ao incremento da DFFFA em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica na plena floração (EF65). Bento Gonçalves, RS, 2011.



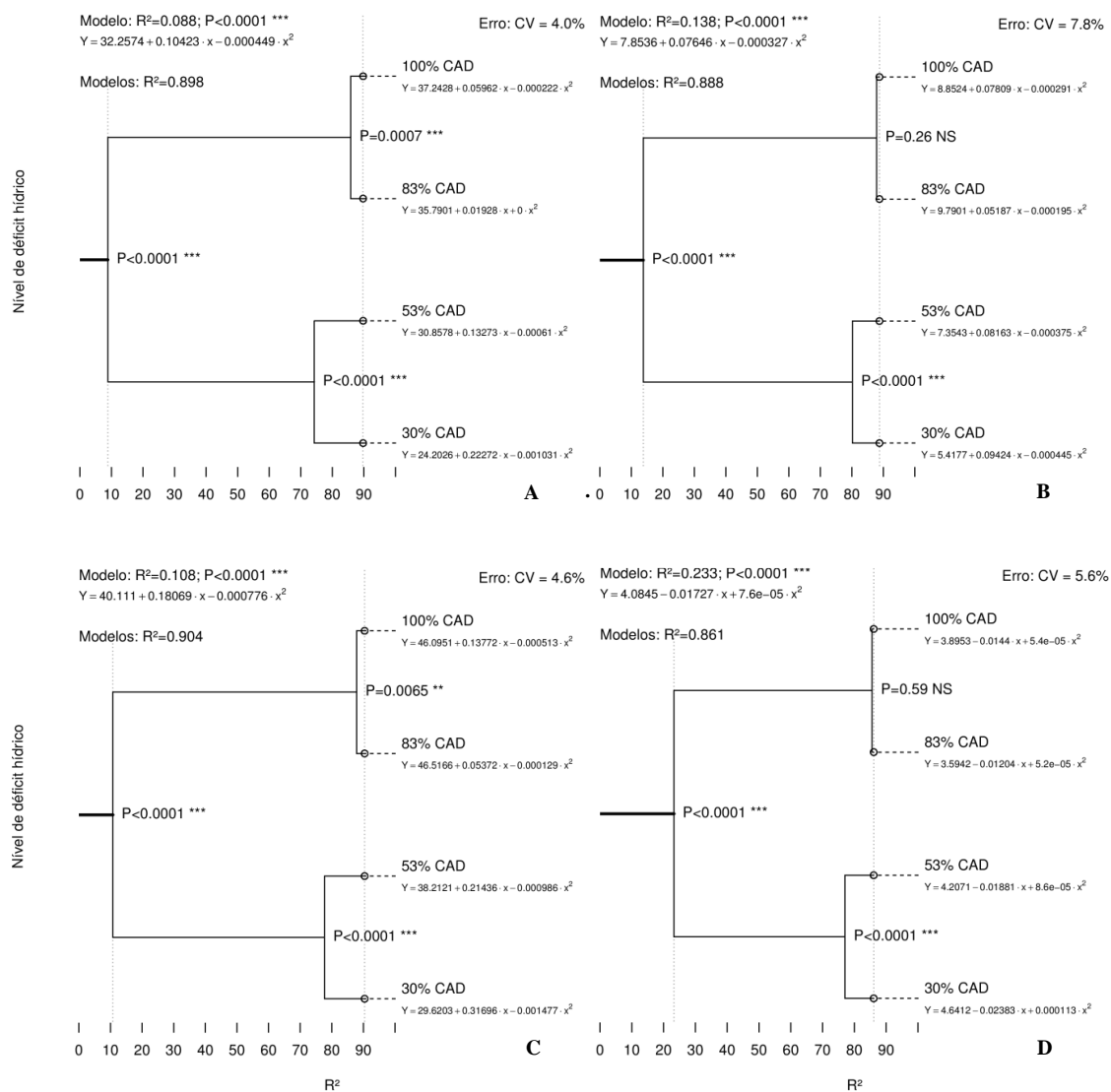
APÊNDICE 5. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de fotossíntese líquida (A) 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e entre as curvas de condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em relação ao incremento da DFFFA em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica no amolecimento das bagas (EF85). Bento Gonçalves, RS, 2011.



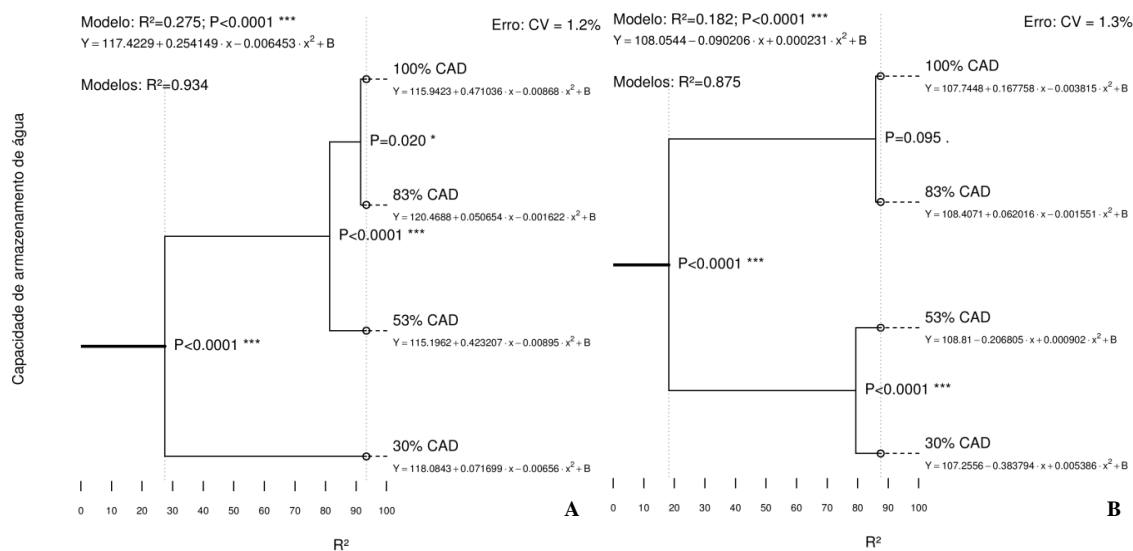
APÊNCICE 6. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de fotossíntese líquida (A) 2009/10 (A) e 2010/11 (B) e entre as curvas de condutância estomática (g_s) 2009/10 (C) e 2010/11 (D) em relação ao incremento da DFFFA em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica na colheita das bagas (EF89). Bento Gonçalves, RS, 2011.



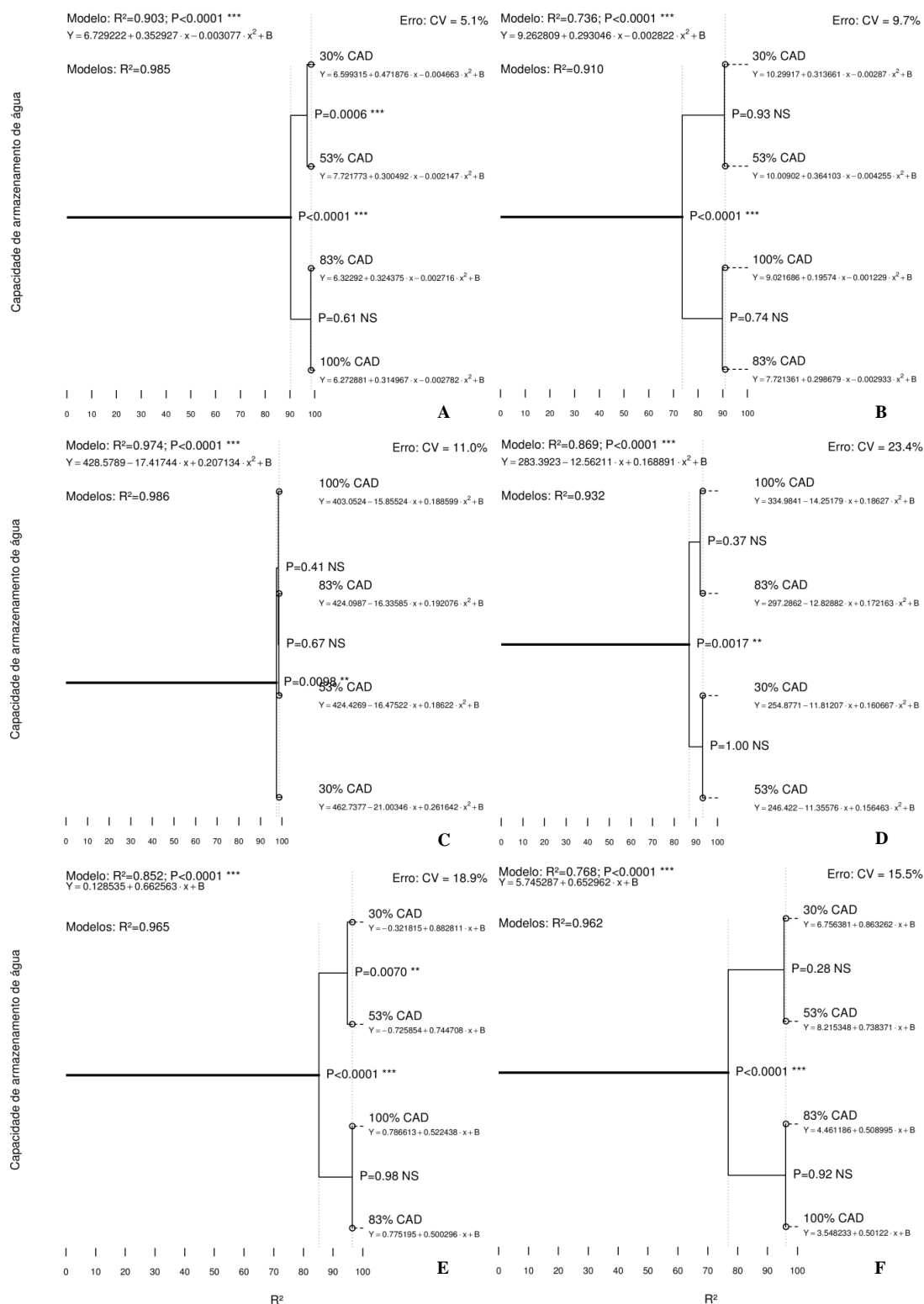
APÊNCICE 7. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de fotossíntese líquida (A) 2009/10 e entre as curvas de condutância estomática (g_s) 2009/10 (B) em relação ao incremento da DFFFA em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica no fim da maturação dos sarmentos (EF91). Bento Gonçalves, RS, 2011.



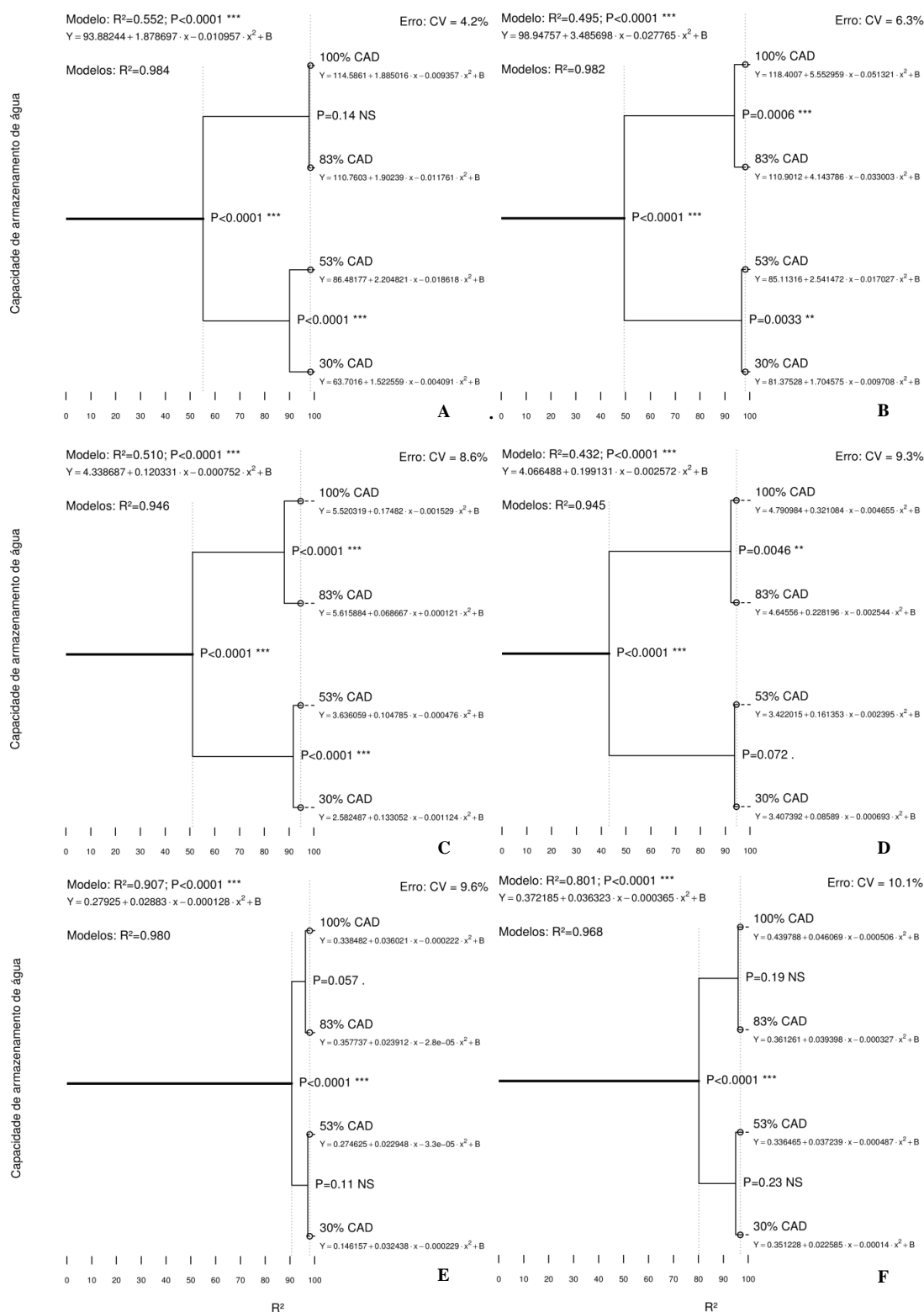
APÊNDICE 8. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de concentração de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila total (C) e a relação clorofila a: clorofila b (D). Bento Gonçalves-RS, 2011.



APÊNCICE 9. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de tonalidade de cor ($^{\circ}$ Hue) 2009/10 (A) e 2010/11 (B) durante a evolução da maturação tecnológica em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica. Bento Gonçalves, RS, 2011.



APÊNCICE 10. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de SST 2009/10 (A) e 2010/11 (B), de ATT 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e da relação SST:ATT 2009/10 (E) e 2010/11 (F) durante a evolução da maturação tecnológica em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica. Bento Gonçalves, RS, 2011.



APÊNCICE 11. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas de massa das bagas 2009/10 (A) e 2010/11 (B), de volume das bagas 2009/10 (C) e 2010/11 (D) e da concentração de açúcares por boga 2009/10 (E) e 2010/11 (F) durante a evolução da maturação tecnológica em videiras 'Itália' cultivadas em ambiente coberto sob distintos tratamentos de restrição hídrica. Bento Gonçalves, RS, 2011.