

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: interações
entre variedades, lâminas e intensidade do déficit hídrico na fase de
maturação**

Fernando da Silva Barbosa

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

**Piracicaba
2015**

Fernando da Silva Barbosa
Engenheiro Agrônomo

**Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: interações entre variedades,
lâminas e intensidade do déficit hídrico na fase de maturação**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

**Piracicaba
2015**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Barbosa, Fernando da Silva

Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: interações entre variedades, lâminas e intensidade do déficit hídrico na fase de maturação / Fernando da Silva Barbosa. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

178 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Irrigação 2. *Saccharum* spp. 3. Produtividade da água 4. Eficiência no uso da água
5. Déficit hídrico 6. Coeficiente de cultura (Kc) 7. Rendimento bruto de açúcar 8. TCH
I. Título

CDD 633.61
B238p

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*Ao Eng. Agrônomo Gustavo Silva Camarotti (in memorian).
Colega de faculdade, companheiro de república, amigo inseparável e,
acima de tudo, um irmão, que a vida repentinamente me deu e, tão
repentinamente quanto, me tirou.
Saudade eterna, Torú.*

DEDICO

Aos meus pais,

Hélio Inácio Barbosa e Maria Helena da Silva Barbosa.

Ao meu irmão,

Renato da Silva Barbosa.

O amor e o incentivo de vocês foram e são fundamentais na minha vida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS PESSOAIS

Primeiramente, a Deus, pela minha existência e por me abençoar com a realização dos meus sonhos.

À Santa Rita de Cássia, da qual sou devoto, pois sempre ilumina meu caminho para que eu supere e aprenda com os obstáculos da vida.

Ao meu pai e à minha mãe, pelo apoio e incentivo de cada dia. Sei que posso contar com vocês sempre. Sofremos e choramos juntos, mas, acima disso, levantamos e superamos as dificuldades, fortalecendo ainda mais nossa união.

Ao meu irmão, pelo apoio para que eu superasse todas as dificuldades, sempre torcendo pela minha felicidade, tanto quanto eu torço pela dele.

A todos os meus familiares, que foram tão importantes para que eu concluísse mais essa etapa da minha vida, agradeço muito pelo apoio e pelo carinho de cada um deles.

À minha namorada. Seu carinho, sua alegria e sua determinação realmente me encantam. Você me ajudou a reacreditar na vida.

A Mariza e Sebastião, pelo carinho com que sempre fui recebido na casa de vocês, sendo o respeito ao próximo e a humildade, os principais ensinamentos que tento levar para minha vida. Agradeço a todos da família que foram de fundamental importância na minha infância.

Aos amigos e vizinhos de Cajuru, Dinoel, Flavinho, Flávio (Bozó), Flávio (Pai), Gustavo, Julio, Lineker, Tiago. Agradeço os momentos de descontração e, as incontáveis tardes de conversa, sentados na porta de minha casa. São lembranças de que me orgulho muito e, sem dúvida, me motivam cada dia mais a lutar pelos meus sonhos.

Aos amigos e companheiros de república, Alex Marques Bazzo (LG) e Thiago Willian da Cunha (Ispiga), pelos momentos de verdadeira amizade e respeito que compartilhamos durante toda a graduação.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Pavani, meu eterno orientador. Agradeço por ter iniciado a construção da minha carreira ao seu lado, tendo o senhor como um exemplo de professor e pesquisador para sempre me recordar e em quem me espelhar.

Aos Eng. Agrônomos Denílson Luis Pelloso e Francisco Ricardo de Toledo, pela supervisão e oportunidade de estagiar e trabalhar na *Agrofito*[®] junto ao departamento *Tecnofito Irrigação e Consultoria*[®]. O tempo de convívio neste grupo foi suficiente para aprender no dia a dia como se deve trabalhar em equipe, respeitando funcionários e clientes. Agradeço também a Bethânia, Cleiton, Cleverson, Danilo, Ezequiel, Guga, Gustavo, Maicon, Uiara, Vanglei e Willian, entre outros, que fizeram parte desta fase da minha vida.

Aos amigos que fiz durante este período de pós-graduação e que, felizmente, já deram continuidade nas suas carreiras sem participar diretamente do projeto, mas ajudaram indiretamente na maturidade das ideias com as experiências trocadas. Agradeço a Carlos, César, Everaldo, Lucas Faria, Lucas Vellame, Renato e Sergio, pelos momentos compartilhados.

AGRADECIMENTOS PROFISSIONAIS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, por acreditar e confiar na minha pessoa durante esses anos de trabalho em conjunto. Os conselhos, orientações e a convivência intensa durante esse período resultaram acima de tudo em uma verdadeira amizade.

Aos amigos de pós-graduação e companheiros de projeto, Daniel Philippe Veloso Leal, Eusímio Felisbino Fraga Junior e Lucas da Costa Santos. A ajuda e amizade de vocês durante a condução deste projeto foram mais que fundamentais, nos momentos mais difíceis que passei, sempre pude contar com o apoio de vocês, não só para questões do projeto como da minha vida particular. Podem contar sempre com a minha amizade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e à Empresa Odebrecht Agroindustrial, que através do Projeto PITE 2012/50083-7 disponibilizaram os recursos financeiros necessários para a realização deste projeto de pesquisa e para meu treinamento no exterior, podendo participar do "*DSSAT 2014 International Training Program*" realizado em Griffin na Georgia - EUA.

Aos colaboradores da Empresa Odebrecht Agroindustrial, Engenheiros Américo Ferraz Dias Neto e Bernardo Yasuhiro Ide, pelas sugestões e experiências compartilhadas nas visitas e reuniões científicas realizadas ao longo do experimento. Aos Srs. Carlos Calmanovici e Frederico Ramazzine Braga pelo apoio administrativo relacionado à gestão do contrato com a Empresa Odebrecht.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI) em especial ao Prof. Dr. José Antonio Frizzone, aos Engenheiros Yoran Kontral, Daniel Pedroso, Marcos Kawasse e Daniel Neves (Empresa Netafim), Dr. Marcio Santos (Empresa Lindsay), Prof. Derrel Martin (University of Nebraska), Prof. Ronnie D. Green (Water for Food Institute), Engenheiros Urubathan Palhares Klink, José Guilherme Scanavini (CanaVialis - Monsanto) e Dr. Geoff Inman-Bamber (CSIRO-Austrália) pelo apoio no encaminhamento deste projeto de pesquisa.

Aos amigos pós-graduandos, Jonathan V. Lizcano, Marcos A. C. M. do Amaral e Timóteo H. S. Barros, aos estagiários de iniciação científica, Liz R. de Oliveira e Vinícius Perin, agradeço por integrarem a equipe do projeto e não medirem esforços para condução deste experimento. Aos estagiários do IF Goiano (orientados do Prof. Marconi Batista Teixeira) e, atualmente, colegas de pós-graduação, Bruno A. Alves e Nathália L. Ribeiro, assim como todos integrantes da equipe do projeto mencionados anteriormente, agradeço o empenho e compromisso durante a colheita deste experimento, a presença de cada um fez a diferença para que conseguíssemos finalizar essa etapa do projeto.

À Daniel Soares, Francisco, Hermes, Jefferson, João Paulo, José Guilherme, Luis Carlos, Magda, Osvaldo, Rafael Dreux, Rafael Maschio e Robson, entre outros amigos de pós-graduação não citados, agradeço pela ajuda que foi fundamental na montagem, condução ou finalização deste projeto. Reconheço o esforço de cada um e sou grato eternamente a todos vocês.

À Prof. Dra. Patrícia Angélica Alves Marques, ao Prof. Dr. Fábio Ricardo Marin e ao Prof. Dr. Luiz Carlos Pavani, agradeço pela compreensão que tiveram durante meu exame de qualificação, sugerindo e apoiando as mudanças necessárias para a realização deste trabalho. Também agradeço aos demais professores do Departamento de Engenharia de Biosistemas, em especial aos Professores Fernando C. Mendonça, Jarbas H. de Miranda, Luiz R. Angelocci, Marcos V. Folegatti, Sergio N. Duarte e Tarlei A. Botrel, pela confiança, orientação e ensinamentos compartilhados.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas, em especial aos que participaram diretamente da minha formação e da condução do experimento. Às secretárias; Angela, Beatriz e Davilmar, aos funcionários; Afonso, Agnaldo, Sr. Antonio, Antonio (Gauchinho), Áureo, Ezequiel, Gilmar, Hélio, José Geraldo, Juarez, Luiz, Marinaldo e Paula, agradeço a todos pela ajuda e companheirismo durante esse período.

Aos estagiários Ailson, Bruno, Evandro, Jair, Luiz Paulo e Maximilian, que contribuíram para montagem ou condução do experimento.

A Roque Emmanuel da Costa de Pinho, pela ajuda na correção do trabalho, revisando a ortografia e sugerindo a forma mais adequada para redação deste trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas ESALQ/USP, pela oportunidade de fazer parte desta equipe.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta participaram dessa fase da minha vida, ajudando, orientando ou mesmo aconselhando.

"Um aluno, um professor, um livro e um lápis podem mudar o mundo."

Malala Yousafzai (2014)

SUMÁRIO

RESUMO	15
ABSTRACT	17
LISTA DE FIGURAS	19
LISTA DE TABELAS	25
1 INTRODUÇÃO.....	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
2.1 Cana-de-açúcar	31
2.1.1 Aspectos gerais.....	31
2.1.2 Variedades	33
2.2.3 Fases fenológicas.....	34
2.2.4 Maturação	37
2.3 Relações hídricas para cana-de-açúcar	40
2.3.1 Aspectos gerais.....	40
2.3.2 Déficit hídrico.....	42
2.3.3 Déficit hídrico relacionado à maturação.....	44
2.3.4 Produtividade da água	45
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	51
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	52
3.3 Montagem da plataforma experimental (<i>PAC-Cana</i>).....	57
3.3.1 Adequação da estrutura interna da estufa.....	57
3.3.2 Enchimento dos Vasos	60
3.3.3 Caracterização química do solo.....	64
3.3.4 Instalação do sistema de irrigação	66
3.3.5 Instalação dos sensores de solo e sensores meteorológicos	67
3.3.6 Instalação do sistema de microaspersão para pulverização.....	69
3.4 Condução do experimento.....	70
3.4.1 Plantio e transplântio das mudas	70
3.4.2 Condução da cultura	73
3.4.3 Manejo da Irrigação.....	78
3.4.4 Manutenções e adversidades ao longo do experimento.....	81
3.5 Colheita do experimento e variáveis analisadas	81

3.5.1 Brix do caldo - Brix ($^{\circ}$ Brix)	83
3.5.2 POL do caldo - POL (%).....	83
3.5.3 Pureza aparente do caldo - Pureza (%)	84
3.5.4 Fibra da cana-de-açúcar - Fibra (%)	84
3.5.5 Açúcares redutores da cana - AR (%).....	84
3.5.6 Açúcar total recuperável - ATR (kg t^{-1}).....	86
3.5.7 Umidade do colmo - Umidade (%).....	86
3.5.9 Rendimento bruto de açúcar - RBA (t ha^{-1}).....	87
3.5.10 Produtividade da água para açúcar - PAA (kg m^{-3}).....	87
3.5.11 Biomassa seca da parte aérea das plantas - BIOM (g).....	88
3.5.12 Produtividade da água para biomassa - PAB (kg m^{-3}).....	88
3.5.13 Número de folhas do perfilho principal - $F_{\text{Ref}-1} / \text{FV}$	89
3.5.14 Índice de colheita - IC.....	89
3.5.15 Índice de maturação do colmo principal - IM.....	90
3.5.16 Índice de clorofila FALKER - ICF	90
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
4.1 Dados meteorológicos.....	95
4.2 Fertilidade do solo e nutrição das plantas	99
4.3 Manejo da irrigação	102
4.4 Variáveis de qualidade da cana.....	109
4.4.1 Brix do caldo - Brix ($^{\circ}$ Brix)	110
4.4.2 POL do caldo - POL (%).....	111
4.4.3 Pureza aparente do caldo - Pureza (%)	112
4.4.4 Fibra da cana-de-açúcar - Fibra (%)	115
4.4.5 Açúcares redutores da cana - AR (%).....	117
4.4.6 Açúcar total recuperável - ATR (kg t^{-1}).....	119
4.4.7 Umidade do colmo - Umidade (%).....	121
4.5 Variáveis de rendimento e produção da cana.....	123
4.5.1 Produtividade de colmos por hectare - TCH (t ha^{-1}).....	123
4.5.3 Rendimento bruto de açúcar - RBA (t ha^{-1}).....	127
4.5.4 Produtividade da água para açúcar - PAA (kg m^{-3}).....	129
4.5.5 Biomassa seca da parte aérea das plantas - BIOM (g).....	130
4.5.6 Produtividade da água para biomassa - PAB (kg m^{-3}).....	132
4.5.7 Número de folhas do perfilho principal - $F_{\text{Ref}-1}$	133

4.5.8 Número de folhas verdes do perfilho principal - FV	134
4.6 Índices relacionados com a produção e maturação da cana-de-açúcar	135
4.6.1 Índice de colheita - IC	135
4.6.2 Índice de maturação do colmo principal - IM	139
4.6.3 Índice de clorofila FALKER - ICF.....	142
4.7 Análises complementares e considerações finais	145
4.7.1 Tratamentos de maturação e lâmina combinados em 10 estratégias de irrigação	145
4.7.2 Análise gráfica para os dados de biomassa seca da parte aérea	149
4.7.3 Produtividade da água, análise gráfica e valores normalizados pela ETo.....	152
5 CONCLUSÕES	157
REFERÊNCIAS	161
APÊNDICES	173

RESUMO

Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: interações entre variedades, lâminas e intensidade do déficit hídrico na fase de maturação

O setor sucroenergético enfrenta atualmente uma crise industrial e agrícola, carecendo de pesquisas para reverter este quadro, dependendo de matéria-prima a custos competitivos, e isso, passa obrigatoriamente pelo aumento de produtividade no campo. A irrigação é uma das alternativas para o aumento de produtividade, mas exige investimentos consideráveis para se irrigar de forma profissional. Além disso, a crescente demanda por alimentos e a competição por recursos hídricos em todo o mundo são uma realidade que impulsiona o uso mais eficiente da água em todos os setores, principalmente na agricultura. Assim, com a hipótese de que, para cada variedade de cana-de-açúcar, existe uma combinação mais adequada entre a lâmina de irrigação e a intensidade do déficit hídrico na fase de maturação, de modo a maximizar a produtividade, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de quatro lâminas de irrigação e quatro intensidades de déficit hídrico na fase de maturação, para oito variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento, analisando as variáveis relacionadas à qualidade e à produtividade por unidade de área, bem como, quantificando a produtividade por unidade de água (evapo)transpirada (produtividade da água). O experimento foi conduzido em estufa na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP), em Piracicaba-SP. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (4x4x8) com parcelas sub-subdivididas com 3 repetições, totalizando-se 128 tratamentos e 384 parcelas experimentais, sendo as parcelas experimentais compostas de um vaso com aproximadamente 330 litros de solo contendo duas plantas. As lâminas avaliadas (L50, L75 L100 e L125) foram variações na fração aplicada ao longo do tempo tomando como referência o tratamento L100, em que se manteve a umidade do solo próxima à capacidade de campo (θ_{cc}) ao longo de todo experimento. Cada variedade testada teve sua própria referência L100. As intensidades do déficit hídrico para maturação avaliadas foram M1 (déficit hídrico moderado de longa duração), M2 (déficit hídrico intensivo de longa duração), M3 (sem déficit hídrico) e M4 (déficit hídrico severo de curta duração). A produtividade de colmos (TCH) foi favorecida pela combinação L100 e M3, independente da variedade estudada, com valor médio estimado de 232,2 t ha⁻¹. Entre as variedades, a V4 apresentou a maior TCH, com média de 250,4 t ha⁻¹ para L100. O rendimento bruto de açúcar (RBA) está diretamente ligado à produtividade de colmos, sendo igualmente favorecido pela combinação de L100 e M3, com valor médio de 23,4 t ha⁻¹. As variedades V1, V2, V4 e V6, na lâmina L100, não diferiram significativamente entre si para RBA e tiveram a maior média, 23,9 t ha⁻¹. A produtividade da água em açúcar e biomassa foi diferenciada em 4 e 2 grupos de variedades, respectivamente, e foi independente da lâmina de irrigação e do manejo para maturação adotados. Este resultado para a produtividade da água é característico da irrigação por gotejamento, onde as perdas por evaporação são minimizadas e a retenção de água nas folhas inexistente. Desta maneira, recomenda-se a irrigação plena de cana-de-açúcar caso a opção econômica seja pelo sistema de gotejamento.

Palavras-chave: *Saccharum* spp; Irrigação; Produtividade da água; Eficiência no uso da água; Déficit hídrico; Coeficiente de cultura (Kc); Rendimento bruto de açúcar; TCH; ATR

ABSTRACT

Productivity of sugarcane drip irrigated: interactions between varieties, irrigation depth and water deficit intensity during ripening

The sugarcane industry is currently facing an industrial and agricultural crisis, lacking research to reverse this situation, depending on the raw material at competitive costs, and this inevitably entails the increase in productivity in the field. The use of irrigation systems is imposed as an alternative, but requires considerable investments to irrigate professionally. In addition, the growing demand for food and competition for water resources worldwide, are a reality that drives the more efficient water use in all sectors, especially in agriculture. Thus, with the hypothesis that there is for each variety of sugar sugarcane, a more appropriate mix between irrigation depth and intensity water deficit during ripening, in order to maximize productivity, the aim of this work was to evaluate the effect of four irrigation depths and four levels of water stress during ripening, for eight drip irrigated sugarcane varieties, analyzing the variables related to quality and productivity per area unit, as well as quantifying productivity per unit of evapotranspired water (water productivity). The experiment was conducted in a greenhouse at the "Luiz de Queiroz" College of Agriculture (USP) in Piracicaba-SP. Treatments were arranged in a factorial design (4x4x8) with split-split-plot with three replicates, totaling 128 treatments and 384 plots, and the plots consist of a box with about 330 liters of soil containing two plants. The evaluated irrigation depths (L50, L75 and L100 L125) were variations in the fraction applied over time, relative to the treatment L100, where soil moisture remained close to field capacity (θ_{cc}) throughout the experiment. Each tested variety had its own reference L100. The intensities of water deficit during maturation were evaluated for M1 (moderate water deficit of long duration), M2 (intensive water deficit of long duration), M3 (no water deficit) and M4 (severe water deficit of short duration). The sugarcane yield (TCH) was favored by the combination L100 and M3, regardless of the studied variety, with an estimated average value of 232.2 t ha^{-1} . Among the varieties, V4 had the highest TCH, with average of averaging 250.4 t ha^{-1} for L100. Sugar yield (RBA) is directly linked to sugarcane yield and is also favored by the combination of L100 and M3, with an average value of 23.4 t ha^{-1} . The V1, V2, V4 and V6 varieties, for irrigation depth L100, did not differ significantly for RBA and had the highest average, 23.9 t ha^{-1} . The water productivity in sugar and biomass differed in 4 and 2 variety groups, respectively, and was independent of the adopted irrigation depth and maturation management. The result for water productivity is characteristic of drip irrigation, where losses by evaporation are minimized and water retention in the leaves does not exist. Thus, one should consider the possibility of full drip irrigation, instead of the deficit one, for sugarcane.

Keywords: Irrigation; *Saccharum* spp.; Water productivity; Water use efficiency; Water deficit; Crop coefficient (Kc); Sugar yield; Stalk yield

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração das fases de germinação e brotação, crescimento vegetativo e florescimento da cana-de-açúcar.	35
Figura 2 - Ilustração das fases de brotação e emergência, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação dos colmos para cana-de-açúcar	37
Figura 3 - Relação entre biomassa da parte aérea e total de água transpirada para as culturas C3 e C4 após a normalização para o CO ₂ e ETo (RAES et al., 2011) (A); e exemplo típico de função de produção “Água – Cultura” (BERNARDO, 2006) (B)	49
Figura 4 - Localização e imagem frontal da estufa instalada no Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ.....	52
Figura 5 - Representação gráfica das frações das lâminas aplicadas durante a fase inicial de desenvolvimento e de crescimento dos colmos.....	55
Figura 6 - Representação gráfica das frações das lâminas aplicadas durante a fase de maturação para os tratamentos M1, M2, M3 e M4.	56
Figura 7 - Croqui da distribuição dos tratamentos pelo delineamento em blocos inteiramente aleatorizados com parcelas sub-subdivididas (split-split-plot).....	58
Figura 8 - Imagens da adequação da estrutura interna da estufa.	61
Figura 9 - Imagens relativas ao preparo do solo, carregamento e transporte do material até a área experimental.....	62
Figura 10 - Imagens da divisão interna dos vasos.	63
Figura 11 - Detalhes da montagem do sistema de irrigação.....	68
Figura 12 – Instalação dos sensores de solo e clima.	69
Figura 13 - Montagem do sistema de irrigação por microsaspersão.....	70
Figura 14 - Plantio das mudas.	72
Figura 15 - Detalhes do transplântio das mudas pré-brotadas para a área experimental.....	74
Figura 16 - Imagens da condução da cultura.	77
Figura 17 - Manejo da irrigação.	80
Figura 18 - Manutenções e adversidades ao longo do experimento.....	82
Figura 19 - Imagens da colheita do experimento e da análise tecnológica dos colmos.	85
Figura 20 - Imagens com detalhes de algumas das variáveis analisadas.....	91
Figura 21 - Variação diária da temperatura média (Temp), radiação solar global (Rad) e Umidade relativa média (UR) no interior da estufa para o período de fevereiro de	

	2013 a fevereiro de 2014 (A); Variação diária da evapotranspiração de referência (ET _o) no Posto Meteorológico (PM) de Piracicaba/LEB-ESALQ e valores estimados para o interior da estufa (B)	96
Figura 22 -	Valores mensais da temperatura média (Temp), radiação solar global (Rad) e Umidade relativa média (UR) no interior da estufa e no Posto Meteorológico (PM) de Piracicaba/LEB-ESALQ (Temp-PM, Rad-PM e UR-PM) para o período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014.....	97
Figura 23 -	Variação horária da temperatura média ao longo do dia no interior da estufa para cada mês do período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014	98
Figura 24 -	Histogramas com a distribuição de frequência dos dados de temperatura média para o período diurno (A) e período noturno (B) coletados entre fevereiro de 2013 e fevereiro de 2014.....	98
Figura 25 -	Relação entre os dados de Radiação (Rad), Temperatura (Temp) e Umidade Relativa (UR) obtidos no interior da estufa do experimento e os dados coletados no Posto Meteorológico de Piracicaba/LEB-ESALQ para o período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014	99
Figura 26 -	Variação do potencial hídrico no solo (-kPa) no tratamento L100 M3, representado pela média decendial das leituras realizadas nas profundidades de 0,10, 0,30 e 0,50 m (camadas de 0,00 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m, respectivamente) para as oito variedades estudadas	104
Figura 27 -	Irrigação total acumulada (litros) por parcela no tratamento referência (L100 M3) para as oito variedades estudadas	105
Figura 28 -	Irrigação total acumulada (litros) por parcela nos diferentes tratamentos de lâmina para as oito variedades estudadas	106
Figura 29 -	Desdobramento dos valores de Brix no caldo para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.	110
Figura 30 -	Valores de Brix no caldo para as 8 variedades estudadas.	111
Figura 31 -	Teores de sacarose no caldo para as 8 variedades estudadas.	112
Figura 32 -	Desdobramento dos teores de pureza do caldo para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.	114
Figura 33 -	Desdobramento dos teores de pureza do caldo para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de maturação.....	114
Figura 34 -	Desdobramento dos teores de pureza do caldo para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	114

Figura 35 - Desdobramento dos teores de fibra para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.....	116
Figura 36 - Desdobramento dos teores de fibra para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	116
Figura 37 - Gráfico box-plot para os teores de fibra das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	117
Figura 38 - Desdobramento dos teores de açúcares redutores (AR) na cana para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.	118
Figura 39 - Desdobramento dos teores de açúcares redutores (AR) na cana para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de maturação.	118
Figura 40 - Desdobramento dos teores de açúcares redutores (AR) na cana para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	119
Figura 41 - Valores de açúcar total recuperável (ATR) para as 8 variedades estudadas.	120
Figura 42 - Gráfico box-plot para os valores de açúcar total recuperável (ATR) das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	121
Figura 43 - Desdobramento dos teores de umidade nos colmos para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.	122
Figura 44 - Desdobramento dos teores de umidade nos colmos para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	122
Figura 45 - Valores de produtividade de cana em toneladas de colmos por hectare (TCH) para os 4 tratamentos de maturação.	124
Figura 46 - Desdobramento dos valores de produtividade de cana em toneladas de colmos por hectare (TCH) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.	125
Figura 47 - Valores de produtividade média para as 4 lâminas de irrigação (L50, L75, L100 e L125) de cana em toneladas de colmos por hectare (TCH) para as 8 variedades estudadas.	126
Figura 48 - Gráfico box-plot para os valores de produtividade de cana em toneladas de colmos por hectare (TCH) das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	127
Figura 49 - Desdobramento dos valores de rendimento bruto de açúcar por hectare (RBA) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.	128
Figura 50 - Desdobramento dos valores de rendimento bruto de açúcar por hectare (RBA) para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.	129

Figura 51 - Gráfico box-plot para os valores de rendimento bruto de açúcar por hectare (RBA) das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	129
Figura 52 - Valores de produtividade da água para açúcar (PAA) em quilogramas de açúcar por metro cúbico de água aplicada para as 8 variedades estudadas.....	130
Figura 53 - Desdobramento dos valores de biomassa total da parte aérea por parcela em gramas (BIOM) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.....	131
Figura 54 - Desdobramento dos valores de biomassa total da parte aérea por parcela em gramas (BIOM) para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	132
Figura 55 - Valores de produtividade da água para biomassa total da parte aérea (PAB) em quilogramas de biomassa por metro cúbico de água aplicada para as 8 variedades estudadas.....	133
Figura 56 - Número de folhas do desponte (F_{Desp}) e do perfilho principal ($F_{\text{Ref -1}}$) para as 8 variedades estudadas.....	133
Figura 57 - Número de folhas verdes do perfilho principal (FV) para os 4 tratamentos de maturação.....	134
Figura 58 - Número de folhas verdes do perfilho principal (FV) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.....	134
Figura 59 - Número de folhas verdes do perfilho principal (FV) para as 8 variedades estudadas.....	135
Figura 60 - Índice de colheita com base na biomassa da parte aérea da planta (IC-A) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.....	137
Figura 61 - Índice de colheita com base na biomassa da parte aérea da planta (IC-A) para as 8 variedades estudadas.....	137
Figura 62 - Índice de colheita com base na biomassa total da planta (IC-A) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.....	138
Figura 63 - Índice de colheita com base na biomassa total da planta (IC-T) para as 8 variedades estudadas.....	138
Figura 64 - Índice de maturação para a porção média inferior do colmo (IM-1) para os 4 tratamentos de Lâmina.....	139
Figura 65 - Índice de maturação para a porção média inferior do colmo (IM-1) para as 8 variedades estudadas.....	139

Figura 66 - Índice de maturação para a porção média superior do colmo (IM-2) para as 8 variedades estudadas.....	140
Figura 67 - Índice de maturação para a ponta do colmo (IM-3) para os 4 tratamentos de Lâmina.....	141
Figura 68 - Desdobramento do índice de maturação para a ponta do colmo (IM-3) para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	141
Figura 69 - Índice de clorofila FALKER da primeira avaliação (ICF-1) para as 8 variedades estudadas.....	143
Figura 70 - Índice de clorofila FALKER da segunda avaliação (ICF-2) para as 8 variedades estudadas.....	143
Figura 71 - Índice de clorofila FALKER da terceira avaliação (ICF-3) para as 8 variedades estudadas.....	144
Figura 72 - Índice de clorofila FALKER da terceira avaliação (ICF-3) para os 4 tratamentos de maturação.....	144
Figura 73 - Índice de clorofila FALKER da terceira avaliação (ICF-3) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação.....	145
Figura 74 - Gráficos de dispersão para os dados de biomassa seca da parte aérea (BIOM) comparando os valores obtidos em cada uma das duas plantas da parcela para as oito variedades estudadas	151
Figura 75 - Gráficos de dispersão para os dados de biomassa seca da parte aérea (BIOM) comparando os valores obtidos em cada uma das duas plantas da parcela para os quatro tratamentos de lâmina.....	152
Figura 76 - Gráficos de dispersão relacionando os dados de biomassa seca da parte aérea (BIOM) com os volumes estimados de irrigação aplicados para cada uma das duas plantas da parcela para as oito variedades estudadas	154
Figura 77 - Gráfico de dispersão dos dados de biomassa seca da parte aérea (BIOM) relacionados com os respectivos coeficientes de cultura (Kc) para todos os tratamentos avaliados	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Esquema de distribuição dos graus de liberdade (G.L.) para as fontes de variação (F.V.), de acordo com o delineamento experimental e o arranjo de distribuição dos tratamentos.	53
Tabela 2 - Resumo das frações (%) das lâminas aplicadas para todo o período de condução do experimento.	56
Tabela 3 - Resultado da análise química preliminar do solo para definição da coleta do solo.	60
Tabela 4 - Resultado da análise química do solo para macronutrientes das amostras coletadas nos três blocos do experimento.	64
Tabela 5 - Resultado da análise química do solo para micronutrientes das amostras coletadas nos três blocos do experimento.	64
Tabela 6 - Caracterização físico-hídrica do solo.	65
Tabela 7 - Valores de umidade de saturação (θ_s) e residual (θ_r), e dos parâmetros empíricos (α , n e m) do modelo de van Genuchten (1980).	65
Tabela 8 - Quantidades e datas de aplicação dos fertilizantes pelo sistema de fertirrigação para nutrição das plantas via solo.	76
Tabela 9 - Quantidades e datas de aplicação dos fertilizantes foliares para complementação nutricional das plantas.	76
Tabela 10 - Resultado da análise química do solo para macronutrientes no quarto mês de condução do experimento (junho de 2013), para amostras compostas pelo solo coletado nas parcelas do tratamento L100 das variedades V1, V3, V4 e V8. ...	100
Tabela 11 - Resultado da análise química do solo para micronutrientes durante a condução do experimento (junho de 2013), para amostras compostas pelo solo coletado nas parcelas do tratamento L100 das variedades V1, V3, V4 e V8.	100
Tabela 12 - Resultado da análise química para macro e micronutrientes das folhas coletadas em maio de 2013 nas parcelas do tratamento L100 para todas as variedades. ..	101
Tabela 13 - Resultado da análise química da solução do solo extraída em três profundidades das parcelas do tratamento L100 para as variedades V1, V4 e V8 nos meses de maio e julho de 2013.	102
Tabela 14 - Volume total de irrigação aplicado (litros) por parcela para todos os tratamentos e valor estimado (mm) considerando a área total da estufa (aproximadamente 1,01 m ² parcela ⁻¹).	108

Tabela 15 - Fração do volume total de irrigação aplicado (%) em cada tratamento comparado com o tratamento referência (L100 M3) dentro de cada variedade, e fração do volume total de irrigação aplicado (%) comparando-se as variedades dentro de cada tratamento.	108
Tabela 16 - Resumo da análise de variância com os valores calculados de F e sua significância para as variáveis de qualidade da cana.	109
Tabela 17 - Resumo da análise de variância com os valores calculados de F e sua significância para as variáveis de rendimento e produção da cana.	123
Tabela 18 - Resumo da análise de variância com os valores calculados de F e sua significância para índices relacionados com a produção e maturação.	136
Tabela 19 - Rendimento bruto de açúcar e teste de médias para as variedades classificadas dentro cada estratégia (E) de manejo da irrigação.	146
Tabela 20 - Rendimento bruto de açúcar e teste de médias para as combinações de lâmina e maturação classificadas dentro de cada variedade.	147
Tabela 21 - Produtividade da água para açúcar e teste de médias para as variedades classificadas dentro cada estratégia (E) de manejo da irrigação.	147
Tabela 22 - Produtividade da água para açúcar e teste de médias para as combinações de lâmina e maturação classificadas dentro de cada variedade.	148
Tabela 23 - Biomassa seca da parte aérea e teste de médias para as variedades classificadas dentro cada estratégia (E) de manejo da irrigação.	149
Tabela 24 - Biomassa seca da parte aérea e teste de médias para as combinações de lâmina e maturação classificadas dentro de cada variedade.	150
Tabela 25 - Valores estimados de Kc para as 8 variedades para todas as combinações de lâmina e maturação estudadas neste experimento.	155
Tabela 26 - Valores de produtividade da água para biomassa da parte aérea normalizados (g m^{-2}) seguindo a metodologia de Steduto et al. (2007).	156

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas exploradas comercialmente no Brasil, com um valor total de produção estimado em 40,5 bilhões de reais para o ano de 2012, representando aproximadamente 20% dos 204,0 bilhões de reais, que foi o valor total da produção agrícola brasileira para este mesmo ano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2012). Com esse patamar de arrecadação, a cultura ficou ranqueada em segundo lugar na lista dos principais produtos agrícolas produzidos no país, abaixo da soja (50,5 bilhões de reais) e acima do milho (26,8 bilhões de reais).

Mundialmente, a cana-de-açúcar ocupa 25,4 milhões de hectares (FNP, 2014), apenas 0,5% dos 4,9 bilhões de hectares cultivados no mundo (FAO, 2013). A cultura é cultivada predominantemente na faixa tropical do planeta, nos países em desenvolvimento da América Latina, África e do Sudeste Asiático. A produção mundial de cana-de-açúcar alcançou quase 1,8 bilhões de toneladas em 2011, sendo os três maiores produtores mundiais o Brasil, a Índia e a China (FNP, 2014).

No Brasil, principal produtor mundial, dos 160 milhões de hectares disponíveis para agricultura, 60 milhões são cultivados com culturas temporárias (PAOLINELLI; SILVA, 2013), entre as quais a cana-de-açúcar ocupa um total de 8,8 milhões de hectares (safra 2013/14). Com uma produção nacional de 658,8 milhões de toneladas de colmos frescos (produtividade média de $74,8 \text{ t ha}^{-1}$), destaca-se o estado de São Paulo como maior produtor, com 372,8 milhões de toneladas em uma área de 4,6 milhões de hectares, correspondente a 51,7% da área total cultivada com cana-de-açúcar no país. Na sequência, estão os estados de Goiás (9,3% - 818,4 mil hectares), Minas Gerais (8,9% - 779,8 mil hectares), Mato Grosso do Sul (7,4% - 654,5 mil hectares), Paraná (6,7% - 586,4 mil hectares), Alagoas (4,7% - 417,5 mil hectares) e Pernambuco (3,2% - 284,6 mil hectares) (CONAB, 2014).

No Brasil, observou-se um acréscimo na área de cerca de 326,43 mil hectares na safra 2013/14, equivalendo a 3,8% em relação à safra 2012/13. O acréscimo é reflexo do aumento de 5,1% (375,1 mil hectares) na área da Região Centro-Sul, o que compensou o decréscimo de 4,3% (48,6 mil hectares) na área da Região Norte/Nordeste. São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais foram os estados com maior acréscimo de áreas, com 132,6 mil, 111,8 mil, 92,5 mil e 58,0 mil hectares, respectivamente (CONAB, 2014).

As áreas de expansão concentram-se na maior parte no Triângulo Mineiro, no oeste de Minas Gerais, em Goiás, no Mato Grosso do Sul e também em algumas regiões no interior do

nordeste. Em razão de a cultura estar se expandindo para regiões não tradicionais de cultivo, os fatores climáticos adversos, entre os quais o déficit hídrico é o mais importante, estão afetando drasticamente a produtividade da cultura (VIANNA; SENTELHAS, 2014).

Os problemas com déficit hídrico não são restritos às áreas de expansão. Uma das piores secas da história na safra 2012/13 no norte e no nordeste do Brasil prejudicou a produção, reduzindo em aproximadamente 15% a oferta de matéria-prima para as usinas (FNP, 2014) e diminuindo as perspectivas de produções para a safra 2013/14 nesta região. Outra situação climática extremamente atípica na safra 2013/14 causou em muitas regiões do estado de São Paulo o verão mais seco e quente desde o início dos registros meteorológicos, por volta de 1890, e de um modo geral reduziu a produtividade na ordem de 14%, oscilando entre quedas de 10 a 30%, dependendo da região e ambiente de produção (SENTELHAS, 2014).

Estes eventos climáticos extremos recentes apenas intensificam os problemas e a crise que o setor sucroenergético vem enfrentando. Nos últimos três anos, 70 usinas foram fechadas (LEITÃO, 2014), 24 delas somente no estado de São Paulo (GLOBO RURAL, 2014). Nacionalmente, a produção de etanol poderia modificar a oferta global de açúcar e valorizá-lo no mercado mundial, porém essa alternativa não é vantajosa. Atualmente, o chamado "petróleo verde" está menosprezado nacionalmente e mundialmente, em função do protecionismo existente no mercado mundial (não se efetivando como uma "commodity"), do aumento dos custos de produção e da descoberta de novas fontes de energia, principalmente do pré-sal no Brasil e das reservas de xisto no Canadá e EUA (FNP, 2014). Nacionalmente, a concorrência com a gasolina é desigual, pois o governo brasileiro controla o preço nas refinarias para manter a inflação dentro da meta, assim o preço não reflete o real custo para produção, distorcendo o mercado e inibindo o consumo de álcool hidratado (FNP, 2014).

Por outro lado, os biocombustíveis também não podem competir de igual para igual com os combustíveis de origem fóssil, pois a escala de produção, a disponibilidade, os interesses comerciais envolvidos, assim como a robustez das tecnologias, desequilibram essa disputa. Um dos setores que já foram considerados como dos mais promissores para o país está precisando de expressivos investimentos para aumentar a eficiência agrícola e industrial (FNP, 2014). Para o setor vencer a crise atual, depende essencialmente de matéria-prima a custos competitivos, e isso passa obrigatoriamente pelo aumento de produtividade no campo. A irrigação é uma das alternativas para o aumento de produtividade, mas exige investimentos consideráveis (HERNANDEZ, 2014). Todavia, a agricultura irrigada de maneira geral, incluindo a cana-de-açúcar, vem sofrendo crescente pressão para demonstrar

que o uso da água é eficiente e economicamente viável. Sendo assim, pesquisas que visam à redução do consumo de água são cada vez mais importantes neste cenário. Dentro deste contexto de eficiência, demanda e disponibilidade hídrica, o uso de irrigação com déficit torna-se uma alternativa promissora a ser utilizada, principalmente em regiões que não dispõem de grande volume de água, mas onde a irrigação é imprescindível para garantia de produção (LEAL, 2012).

Em resumo, a cana-de-açúcar é uma cultura de destacada importância no cenário nacional, com expressiva área plantada, porém, ainda com impedimentos comerciais para se destacar como uma alternativa de cultivo para produção de biocombustível em escala mundial. O setor sucroenergético enfrenta atualmente uma crise industrial (fechamento de usinas) e agrícola (redução na produtividade), carecendo de pesquisas para reverter o quadro descrito. A crescente demanda por alimentos e a competição por recursos hídricos em todo o mundo é uma realidade que impulsiona o uso mais eficiente da água em todos os setores, principalmente na agricultura (STEDUTO et al., 2007).

Este trabalho tem por hipótese que, para cada variedade de cana-de-açúcar, existe uma combinação mais adequada entre a lâmina de irrigação e a intensidade do déficit hídrico na fase de maturação, de modo a maximizar a produtividade de açúcar e biomassa por unidade de área e por unidade de água evapotranspirada (produtividade da água).

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito de quatro lâminas de irrigação e quatro intensidades de déficit hídrico na fase de maturação, para oito variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento, analisando as variáveis relacionadas à qualidade e à produtividade por unidade de área, bem como quantificando a produtividade por unidade de água para cada situação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cana-de-açúcar

2.1.1 Aspectos gerais

A cana-de-açúcar comercialmente plantada (*Saccharum* spp.) é um híbrido interespecífico (WRIGLEY, 1982), sendo que o gênero *Saccharum* é constituído por seis espécies: *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. sinense*, *S. barberi* e *S. edule* (PURSEGLOVE, 1979). Segundo Daniels e Roach (1987), há diferentes centros de origens para as principais espécies, *Saccharum officinarum* e *Saccharum robustum* na Nova Guiné, *Saccharum sinensis* na China e *Saccharum barberi* no norte da Índia. Porém, o centro de origem da cana-de-açúcar não é uma unanimidade entre os pesquisadores, e de forma geral, as regiões da Ásia são as mais citadas como prováveis centro de origem (RIPOLI et al., 2007).

Pertencente à família Poaceae, gênero *Saccharum*, a cana-de-açúcar é uma planta do tipo C4, monocotiledônea, alógama, de ciclo semiperene e própria de climas tropicais e subtropicais (DANIELS; ROACH, 1987). As variedades atuais são derivadas de hibridações feitas no início do século XX entre duas espécies, *S. officinarum* ($2n = 80$) e *S. spontaneum* ($2n = 40-128$), seguidas de retrocruzamentos destes híbridos com *S. officinarum*. Assim, devido à poliploidia natural do gênero e a aneuploidia das variedades híbridas, o estudo genético em cana-de-açúcar é complexo (FERRARI, 2010). O ideal seriam variedades com um baixo grau de variação em seu desempenho quando cultivada sob diversas condições ambientais, mas a interação entre genótipos e ambientes resulta em alterações na produção de um local para outro, e pesquisas sobre estabilidade de genótipos de cana-de-açúcar no ciclo de cana de ano são escassas (SILVA, 2008).

O ciclo evolutivo para o cultivo agrícola da cultura pode ser de 12 (cana de ano) e 18 meses (cana de ano e meio) em cana-planta. Após o primeiro corte, o ciclo passa a ser de 12 meses, e a partir do primeiro corte passa a ser denominada de cana-soca. Os fatores ambientais que afetam de maneira significativa a produção da cana-de-açúcar são temperatura, irradiância solar, disponibilidade de água e nutrientes no solo (ALFONSI et al., 1987).

As características inerentes a cada genótipo definem o número de colmos por planta, assim como a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres muito influenciada pelo clima,

pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas. As características das variedades influenciam a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, além das variações climáticas que prevalecem durante todo o desenvolvimento (RODRIGUES, 1995).

Nos primeiros meses, a quantidade de água necessária à cultura é relativamente pequena, porém, quando a planta encontra-se em pleno estágio de desenvolvimento vegetativo, são exigidas grandes quantidades de água (FAUCONNIER; BASSEREAU, 1975). Desta forma, a cana-de-açúcar necessita de aproximadamente 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca durante todo o período de crescimento (LARCHER, 2004), ou seja, são transpirados 250,0 kg de água para cada 1,0 kg de matéria seca acumulada, podendo também ser expresso como 4,0 kg de matéria seca para cada 1000,0 kg ($\cong 1,0 \text{ m}^3$) de água transpirados.

Dois mecanismos morfofisiológicos que a cultura apresenta para evitar o estresse por déficit hídrico no solo são o enrolamento foliar (reduzindo a projeção de área foliar, e, por conseguinte, a radiação incidente) e o fechamento estomático, limitando a transpiração (LISSON, 2005). Esses mecanismos podem variar, consideravelmente, entre genótipos de cana-de-açúcar, podendo ser correlacionados com a tolerância à seca (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

A qualidade da cana-de-açúcar, enquanto matéria-prima industrial, pode ser definida por uma série de características próprias da planta, alteradas pelo manejo agrícola e industrial, definindo seu potencial para a produção de açúcar e/ou álcool (etanol) (FERNANDES, 2011). Considerado como a principal fonte de matéria-prima para fabricação de açúcar e álcool, o colmo da cana-de-açúcar é a parte da planta de maior importância econômica atualmente, sendo constituído basicamente de: fibra (10 a 12%), composta por celulose, hemicelulose e lignina, e o caldo (82 a 90%), este apresentando 75 a 82% de água e 18 a 25% de sólidos solúveis. Dos sólidos solúveis, 1 a 2% são não-açúcares (sais inorgânicos e orgânicos) e o restante os açúcares redutores totais, sendo 14 a 24% sacarose, 0,2 a 1,0% glicose e 0,0 a 0,5% frutose (LAVANHOLI, 2008).

Atualmente, a produção/acúmulo de biomassa pela planta está se transformando em uma importante característica da cultura, despertando interesse econômico devido ao seu potencial energético, podendo ser utilizada para geração de energia elétrica (bioeletricidade) e, num contexto de futuro mais atual, o etanol de segunda geração (etanol celulósico) (MASCHIO, 2011).

2.1.2 Variedades

As variedades de cana-de-açúcar são consideradas uma das colunas mestras da produção de matéria-prima, sendo o melhoramento, a área que contribuiu significativamente para crescimento da cultura. Nas últimas três décadas foi marcante a contribuição desta tecnologia, pois permitiu, pelo emprego de variedades geneticamente melhoradas, obter acréscimos próximos de 30% em produtividade agrícola e considerável evolução da qualidade da matéria-prima (ALONSO, 2009).

Atualmente o Brasil conta com cinco programas de melhoramento genético para cana-de-açúcar, disponibilizando as atuais e futuras variedades para cultivo e possibilitando os melhores manejos varietais aos produtores, sendo as seguintes: Canavialis (variedades CV); Centro de Tecnologia Canavieira - CTC (variedades CTC, sucessor da Copersucar - variedades SP); Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (variedades IAC); Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético – RIDESA (variedades RB); e Vignis (empresa voltada ao desenvolvimento de cana-fibra específica para acúmulo de biomassa).

O censo varietal realizado para o ano de 2012 (CHAPOLA, 2013) indicou que 62,0% da área cultivada com cana-de-açúcar no país tem variedades do programa RIDESA, enquanto 34,2% utiliza variedades ligadas ao CTC (29 % SP + 5,2 % CTC) e 1,0% do programa IAC. Assim, estes são os programas que se destacam atualmente com as maiores áreas cultivadas. Quanto às variedades, as principais são RB867515, SP81-3250, RB855453, RB92579 e RB855536, com 26,4, 12,9, 5,6, 5,0, e 3,8% da área cultivada, respectivamente.

Segundo Landell e Bressiani (2008), as variedades comerciais atuais estão alicerçadas em poucos genitores ancestrais, determinando uma base genética estreita para a cultura. Conseqüentemente, os ganhos obtidos no melhoramento têm diminuído e a interação genótipo e ambiente, tem se tornado mais expressiva do que os ganhos genéticos. Brodie et al. (1969) também afirmam que o genótipo pode afetar a resposta da cana-de-açúcar às variáveis meteorológicas, tais como a temperatura, a precipitação, a umidade do solo e a radiação solar.

As variedades são melhoradas diferenciando-se basicamente em três grandes grupos, variedades precoces, médias e tardias. As variedades precoces são aquelas que apresentam valores de Pol da cana (Pol%cana) superior a 12,257% no início da safra (maio), enquanto as médias e tardias apresentam valores acima deste a partir do meio da safra (agosto) (LAVANHOLI, 2008). Segundo Takahashi (2004), citado por Lavanholi (2008), a variedade RB835486 é uma variedade precoce, tendo valor de Pol%cana superior a 12,257% já em

maio, mantendo acima de 16,0% também para agosto e outubro. A RB72454 é média, atingindo valor acima de 12,257% em agosto e mantendo próximo de 16,0% para outubro. A PO89-2817 é média-tardia, com valor de Pol%cana superior ao mínimo em agosto, porém abaixo da RB72454 e chegando acima de 16,0% somente em outubro. Esse período em que determinada variedade apresenta condições tecnológicas adequadas para o processamento é denominado de período de utilização industrial (PUI) e se encerra quando o valor de Pol%cana cai para valores inferiores a 16,0% (LAVANHOLI, 2008).

Para Scarpari e Beauclair (2004), as variedades de cana-de-açúcar diferem quanto ao tempo que levam para alcançar a maturação, sendo que variedades precoces tendem a ser mais sensíveis às condições meteorológicas, e, portanto, a amadurecer mais cedo. As variedades tardias são menos sensíveis às condições meteorológicas que levam à maturação, com o máximo teor de sacarose sendo atingido entre a segunda quinzena de agosto e a primeira quinzena de outubro, considerando o estado de São Paulo. Para Cardozo (2012), a variação na resposta das variedades às condições ambientais é atribuída às diferenças em sua fisiologia, pois Lingle e Irvine (1994) relataram maiores taxas de crescimento relativo e de assimilação líquida de sacarose durante a alongação dos colmos e na maturação de variedades precoces quando comparadas às variedades tardias. Porém, mesmo com o intenso trabalho dos programas de melhoramento para produzir variedades de maior precocidade, Legendre (1975) afirma que a cana-de-açúcar raramente alcançará seu pleno potencial de maturação, sendo colhida enquanto ainda acumula sacarose ativamente.

2.2.3 Fases fenológicas

A fenologia estuda as mudanças exteriores (morfologia) e as transformações que estão relacionadas ao ciclo da cultura. Representa, portanto, o estudo de como a planta se desenvolve ao longo de suas diferentes fases: brotação, emergência, crescimento e desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação, formação das sementes e maturação (MARIN, 2007).

Para o caso da cana-de-açúcar plantada para fins comerciais, e não melhoramento genético, Doorenbos e Kassam (1979) definem três fases: a primeira é a de estabelecimento mais período vegetativo, a segunda é a da formação da produção e a terceira é a da maturação, sendo esta última fase a maturação dos colmos, caracterizada pelo acúmulo de sacarose nos colmos (ALEXANDER, 1973). Santos et al. (2009), avaliando o crescimento da variedade RB75126, separaram também em três fases o ciclo de cana-planta: 1ª fase – de intenso

perfilhamento, até 120 dias após o plantio (DAP); 2ª fase – de grande crescimento em altura, estabilização do IAF e intenso acúmulo de material orgânico, de 120 a 240 DAP; e 3ª fase – de maturação dos colmos, entre 240 e 360 DAP.

Para Bonnet (2014), a fenologia da cana-de-açúcar também pode ser dividida em três fases principais, germinação e brotação, seguida do crescimento vegetativo e finalizando com o florescimento (Figura 1), porém com subdivisões para a fase de crescimento vegetativo, que são, respectivamente, emissão do colmo principal, perfilhamento, alongamento dos colmos e maturação dos colmos e órgãos de propagação vegetativa (gemas).

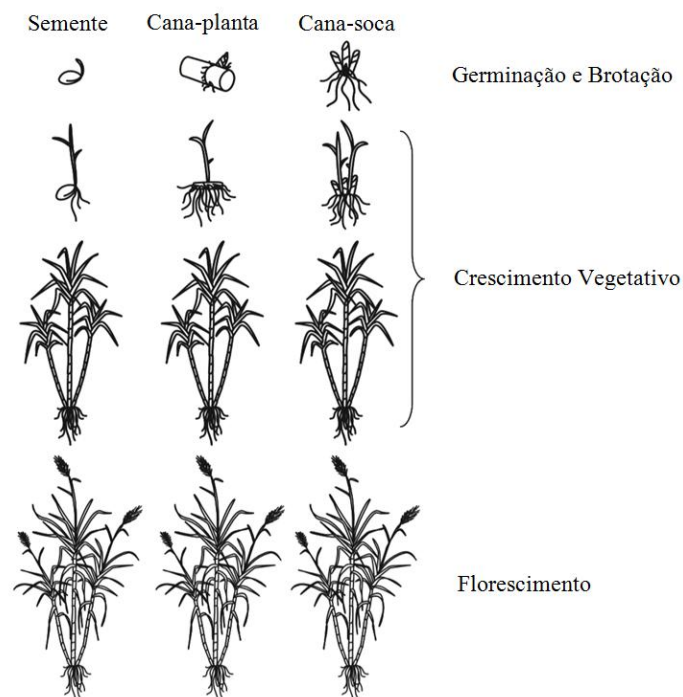


Figura 1 - Ilustração das fases de germinação e brotação, crescimento vegetativo e florescimento da cana-de-açúcar. Adaptado de Bonnet (2014)

Outros autores, como Gascho e Shih (1983) e Câmara (1993), dividem este ciclo nas seguintes fases fenológicas: brotação e emergência, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação dos colmos (Figura 2), sendo o mais comum e desejado quando a cultura é plantada comercialmente. Assim, seguindo a divisão de Gascho e Shih (1983), e a descrição realizada por Marin (2007), as fases são caracterizadas da seguinte maneira:

Brotação e emergência: inicia quando o broto rompe as folhas da gema e se desenvolve em direção à superfície do solo e ao mesmo tempo surgem as raízes do tolete. A emergência do broto ocorre de 20 a 30 DAP. O broto é um caule em miniatura que surge

acima da superfície do solo (chamado de colmo primário). Esta fase depende da qualidade da muda, ambiente, época e manejo do plantio. Neste estágio, ocorre ainda o enraizamento inicial (duas a três semanas após a emergência) e o aparecimento das primeiras folhas;

Perfilhamento: o perfilhamento é o processo de emissão de colmos por uma mesma planta, os quais recebem a denominação de perfilhos. O processo de perfilhamento é regulado por hormônios e resulta no crescimento de brotos que vão em direção à superfície do solo. Esses brotos aparecem de 20 a 30 dias após a emergência do colmo primário. Por meio desse processo, ocorre a formação da touceira da cana-de-açúcar e a população de colmos que será colhida. É importante destacar que a formação do sistema radicular da touceira é resultado do desenvolvimento das raízes de cada perfilho. O auge do perfilhamento é quando ocorre a total cobertura do solo pela folhagem das plantas, fase na qual cada touceira possui o máximo de perfilhos;

Crescimento dos colmos: a partir do auge do perfilhamento, os colmos sobreviventes continuam o crescimento e desenvolvimento, ganhando altura e iniciando o acúmulo de açúcar na base. O crescimento é estimulado por luz, umidade e calor. Durante essa fase, as folhas mais velhas começam a ficar amareladas e secam. O crescimento do sistema radicular torna-se mais intenso, tanto nas laterais quanto em profundidade. A maior parte das raízes está nos primeiros 40 centímetros de profundidade, sendo esta a zona principal de absorção de água e nutrientes por parte da cultura. O canavial pode atingir altura acima de três metros, com a população final de colmos, variando em função das condições de clima e solo;

Maturação dos colmos: a maturação inicia-se junto com o crescimento intenso dos colmos sobreviventes do perfilhamento das touceiras. Quando as touceiras atingem altura igual ou superior a dois metros, nota-se o amarelecimento e a conseqüente seca das folhas que se encontram na altura mediana da planta, indicando que já está sendo depositado açúcar nessa região. No período entre o outono e o inverno, com a presença de chuvas variáveis e temperaturas mais baixas, existe maior atividade de maturação e menor atividade de crescimento, sendo que há intenso armazenamento de açúcar. O momento da colheita é definido em função da variedade, época de plantio e conseqüente duração do ciclo, manejo da maturação e condições climáticas no ambiente.

A ocorrência de indução floral para as plantas cultivadas na região Sudeste do Brasil está relacionada ao fotoperíodo de 12,5 a 12 horas (fevereiro a março) e a valores de temperatura entre 31°C (dia) e 18°C (noite), desde que tenha bom suprimento de água (BARBIERI et al., 1981). Porém, a ocorrência de florescimento na cana-de-açúcar é indesejada para plantios comerciais, pois resulta na paralisação do crescimento vegetativo do

colmo, diminuição do rendimento em açúcar devido à formação da folha bandeira, emissão de brotações laterais, redução do volume de caldo no período útil à industrialização e na quantidade de açúcar produzido por área (ALEXANDER, 1973). A intensidade do processo de florescimento e as consequências à qualidade da matéria-prima são variáveis com a variedade e com as condições climáticas (CAPUTO et al., 2007).

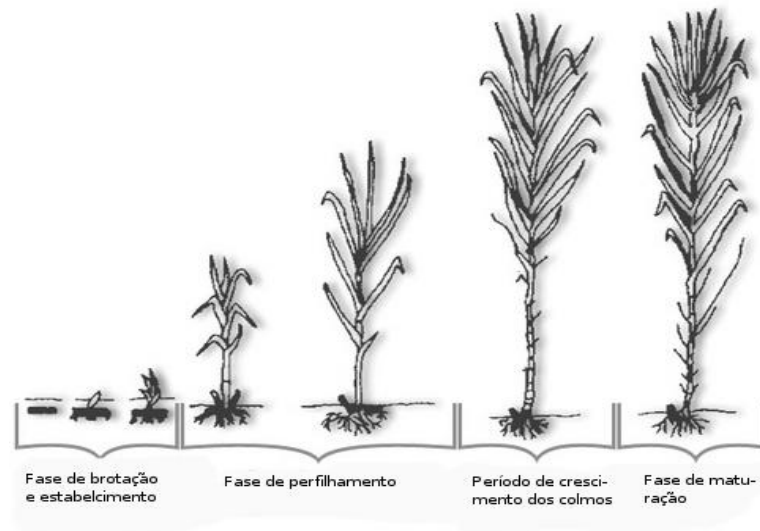


Figura 2 - Ilustração das fases de brotação e emergência, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação dos colmos para cana-de-açúcar. Adaptado de Gascho e Shih (1983)

2.2.4 Maturação

A maturação da cana-de-açúcar é entendida como a fase onde ocorre o acúmulo de sacarose nos colmos, ocorrendo a partir dos entrenós da base até atingir o ponteiro, sendo que, ao final de um processo "ideal" de maturação, tanto base como ponteiro, atingem o mesmo teor de sacarose (ALEXANDER, 1973). Assim, em condições favoráveis, é acumulada grande quantidade de sacarose e o colmo da cana se comporta como um "reservatório" (CARDOZO, 2012).

Para Rosseto (2007), o processo de maturação é o processo fisiológico que envolve a formação de açúcares nas folhas e seu deslocamento e armazenamento no colmo, sendo que a autora define a maturação sobre três aspectos:

Botânico: São consideradas maduras as plantas que emitiram flores e formaram sementes. Entretanto, na reprodução por toletes, podem ser consideradas maduras as plantas que apresentam gemas em condições de dar origem a novas plantas;

Fisiológico: As plantas estão maduras quando o colmo atinge seu máximo armazenamento de açúcar (sacarose);

Econômico: As plantas estão maduras quando o teor de sacarose nos colmos é no mínimo 13% do peso do colmo, sendo a utilização deste material viável industrialmente.

De acordo com as normas do Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo - CONSECANA (2006), a “cana-padrão”, em condições tecnológicas e econômicas de processamento industrial, deve apresentar uma pureza (relação entre teor de sólidos solúveis - Brix e teor de sacarose - Pol%cana) superior a 75%. Lavanholi (2008) ressalta que o ponto de maturação é determinado principalmente pelos teores de sacarose, açúcares redutores e umidade do colmo durante o ciclo da cultura e também cita o CONSECANA (1998) para indicar que, em condições tecnológicas e econômicas de processamento industrial, o teor de sacarose (Pol%cana) deve ser no mínimo de 12,257%.

Segundo Rosseto (2007), antes da colheita, utilizando-se um refratômetro de campo, pode-se utilizar o critério do índice de maturação (IM) para averiguar qual o "ponto" de maturação do colmo, pois este fornece a relação entre os teores de sólidos solúveis na ponta e na base do colmo. Para a cana-de-açúcar, os valores obtidos são: menor que 0,60 para cana verde; entre 0,60 e 0,85 para cana em processo de maturação; entre 0,85 e 1 para cana madura; e maior que 1 para cana em processo de declínio de sacarose (ROSSETO, 2007).

Os papéis do nitrogênio, idade da cultura, temperatura e déficit hídrico são discutidos como os principais fatores que influenciam a acumulação de sacarose durante um processo natural de maturação (van HEERDEN, 2014). Van Heerden (2014) ainda destaca que, em muitas áreas comerciais, os fatores ambientais que induzem naturalmente a maturação não são "eficientes" durante parte do período de colheita. Assim, as práticas alternativas de maturação, inclusive utilizando produtos químicos, têm sido desenvolvidas.

O aumento dos teores de sacarose se reflete frequentemente num aumento no rendimento bruto de açúcar ("produtividade de sacarose" - $t\ ha^{-1}$). Porém, os aumentos no rendimento bruto de açúcar estão muitas vezes ligados também ao aumento na produtividade da cana. Por causa disso, o aumento no teor de sacarose não pode ser associado com um aumento direto no rendimento de açúcar (Van HEERDEN, 2014). O aumento de sólidos solúveis (Brix) está associado concomitantemente a uma diminuição na umidade do colmo (LINGLE, 1999), sendo que durante a maturação ocorre um aumento da relação sacarose:brix, que também pode ser expressa como porcentagem de pureza do caldo (Van HEERDEN, 2014).

O verdadeiro amadurecimento da cana é reflexo do aumento do rendimento de açúcar (sacarose) e não apenas um aumento de teor (GLOVER, 1971). A interpretação de respostas das culturas às baixas temperaturas e aos diferentes manejos agrícolas, tais como o corte da irrigação para causar déficit hídrico no solo ou maturadores químicos, se confunde quando o aumento no teor de sacarose é expresso em termos de massa fresca (MUCHOW et al., 1996).

A complexidade do processo de maturação pode ser ocultada por um modelo conceitual mais simples, que indica que a porção de fotoassimilados que não é consumida no crescimento e na respiração é armazenada como sacarose e não é facilmente remobilizada após este armazenamento. Assim, quando a produção excede o consumo de fotoassimilados, ocorre o armazenamento de sacarose, implicando que um fator de estresse indutor da maturação teria um efeito maior sobre o consumo do que a produção de fotoassimilados (van HEERDEN, 2014).

As invertases têm função fundamental na partição dos fotoassimilados entre armazenamento e crescimento, sendo consideradas as enzimas reguladoras da maturação da cana-de-açúcar segundo Glasziou e Waldron (1964), citados por Cardozo (2012). O armazenamento ou crescimento será resultado de um balanço hormonal, pois nos tecidos maduros do colmo, em que os processos de crescimento estão praticamente terminados, ocorre um declínio na concentração da invertase ácida vacuolar e, então, a invertase neutra se torna predominante, enquanto que, nos tecidos em crescimento, a invertase ácida é predominante (CARDOZO, 2012). Para Alexander (1973) os níveis elevados de invertase ácida e baixos níveis de invertase neutra estão associados com vigoroso crescimento vegetativo enquanto que, o padrão oposto, está associado à maturação. Segundo Vieira (1988), a atividade das invertases na cana-de-açúcar é influenciada pelas condições ambientais e pode resultar em crescimento desordenado, redução no acúmulo de sacarose e maturação retardada.

Apesar de a cana poder ser forçada a amadurecer quando é relativamente jovem, por exemplo, por falta de água no solo (INMAN-BAMBER, 2004), a indução da maturação é geralmente associada a um curto período que antecede a colheita. Na maioria das regiões tropicais e subtropicais, à medida que a cultura aproxima-se da colheita, a estação seca e as baixas temperaturas retardam o crescimento da cana-de-açúcar e forçam a conversão parcial dos açúcares redutores em sacarose (CLEMETS et al., 1952). Legendre (1975) menciona que são necessários mais estudos para compreender a influência não só da temperatura do ar e umidade do solo, como também do fotoperíodo e da radiação solar. Citados por Oliveira (2008), Delgado e César (1977) relatam que é necessário que haja no mínimo uma deficiência

térmica ou hídrica para que a cana-de-açúcar entre em maturação, caso contrário ela permanece vegetando com mínima acumulação de sacarose.

2.3 Relações hídricas para cana-de-açúcar

2.3.1 Aspectos gerais

Scardua e Rosenfeld (1987) destacam que o consumo de água da cana-de-açúcar varia em função do ciclo da cultura (cana planta ou soca), do estágio de desenvolvimento da cultura (fase fenológica), das condições climáticas, da disponibilidade de água no solo e da variedade cultivada. Segundo Inman-Bamber (2004), a disponibilidade de água no solo e a temperatura são os fatores que mais afetam o crescimento da cultura. Temperaturas elevadas podem proporcionar aumento na evapotranspiração em plantas bem supridas com água, mas, em plantas sob estresse hídrico, causam redução na área foliar e no crescimento dos perfilhos, além de estimular a senescência de folhas (INMAN-BAMBER, 2004).

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento dos cultivos agrícolas e é a principal causa da redução da produtividade segundo Pimentel (2004). Para Doorenbos e Kassam (1979), a primeira fase de desenvolvimento é a mais sensível a deficiência hídrica, sendo confirmado por Rosenfeld (1989), relatando que para cana-de-açúcar, o início do desenvolvimento da cana-planta é o período mais sensível ao déficit hídrico. Para Doorenbos e Kassam (1979), o valor limiar do potencial de água no solo fica na faixa de -8 a -15 kPa, mas atualmente Steduto et al. (2012) aceitam valores até -40 kPa como potencial limiar.

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a umidade adequada do solo durante todo o período de crescimento é importante para se obter rendimentos máximos, visto que o crescimento vegetativo é diretamente proporcional à água evapotranspirada. Os autores também afirmam que a necessidade hídrica da cana-de-açúcar é de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo e o manejo da irrigação deve ser feito de acordo com as fases fenológicas de cada variedade.

Os benefícios da irrigação na cultura da cana-de-açúcar podem ser divididos em benefícios diretos e indiretos. Segundo Matioli (1998), os benefícios diretos consistem no aumento de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados com redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados pelo aumento de produtividade, tais como: a dispensa de arrendamentos, o

plantio desses arrendamentos dispensados, os tratos culturais dos arrendamentos dispensados e transporte, se os arrendamentos dispensados forem mais distantes da unidade industrial que a área irrigada.

Assim, a irrigação se torna importante não só para as regiões tradicionais de plantio, onde os problemas com falta de água estão se intensificando nos últimos anos, mas também, e principalmente, para as áreas de novos plantios, nas chamadas áreas de expansão, onde se faz necessário o uso da irrigação.

Ressalta-se que a prática da irrigação é considerada um instrumento tão importante quanto a aplicação de fertilizantes e o controle de plantas invasoras, pragas e doenças para o aumento da produtividade e da rentabilidade agrícola (DALRI, 2006), e isto não somente em regiões com fortes índices de deficiência hídrica, uma vez que o déficit hídrico não é limitado apenas às regiões áridas e semi-áridas, pois, mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, ocorrem períodos em que a distribuição irregular das chuvas limita o crescimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Para dar suporte à formulação de calendários de irrigação, as pesquisas tem sido guiadas sob quatro enfoques de manejo da irrigação: irrigação total, irrigação suplementar, irrigação com déficit e irrigação de “salvação” (FRIZZONE, 2007). Para a cultura da cana-de-açúcar, o manejo da irrigação é realizado das seguintes formas (REZENDE; ANDRADE JÚNIOR, 2012):

Irrigação total: É quando toda a água necessária para atender a demanda hídrica da cultura é aplicada via irrigação. Deve ser praticada em regiões áridas ou onde a precipitação (chuva) é insignificante;

Irrigação suplementar: É quando parte da água utilizada para atender a demanda hídrica da cultura vem da irrigação e parte vem da precipitação efetiva, ou seja, a irrigação suplementará a precipitação efetiva no atendimento da demanda hídrica da cultura;

Irrigação com déficit: É quando se planeja atender somente uma fração da demanda hídrica da cultura, podendo ser praticada com irrigação total e suplementar. O déficit hídrico pode ocorrer durante todo o ciclo da cultura ou somente nas fases menos críticas, obtendo-se neste ultimo caso, menores quedas na produtividade potencial da cultura.

Irrigação de "salvação": É quando planeja-se irrigar somente num período relativamente curto ou em um estágio específico do cultivo, no caso da cana-de-açúcar, a aplicação é feita em duas ou três irrigações de 60 milímetros por mês, após o plantio, para cana-planta, ou após os cortes, para cana-soca.

A irrigação para cana-de-açúcar é menos atrativa, economicamente, para áreas pequenas e médias, com nível tecnológico intermediário. Os custos de implantação do sistema tornam economicamente inviável a utilização da irrigação para pequenos aumentos de produtividade, na faixa de 10 a 20%, comparado ao sequeiro. Porém, em grandes áreas, sobretudo em usinas que utilizam mais tecnologia as vantagens de tais sistemas são mais evidentes (COELHO et al., 2009).

2.3.2 Déficit hídrico

As plantas são frequentemente submetidas a condições externas adversas, resultando em estresses, que afetam de maneira desfavorável seu crescimento, desenvolvimento e/ou produtividade. Tais estresses podem ser bióticos (resultantes da ação de microrganismos) e abióticos (resultantes do excesso ou déficit de algum fator físico ou químico do ambiente), podendo ocorrer de forma isolada ou concomitante (GONÇALVES, 2008).

Cambraia (2005) e Bray (1997) destacam como estresses abióticos a salinidade, o estresse hídrico (deficiência ou excesso), nutrientes minerais (deficiência ou excesso) e temperaturas (altas ou baixas). As respostas das plantas ao estresse dependem da espécie, do genótipo, da duração e da severidade, da idade e estágio de desenvolvimento, do órgão e tipo de célula e do comportamento subcelular. Dessa forma, as plantas podem apresentar tolerância ou resistência (quando sobrevive às adversidades) ou suscetibilidade (quando sofre redução em seu crescimento, podendo chegar à morte, dependendo da intensidade do estresse ao qual a planta é submetida) (CAMBRAIA, 2005).

O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo que, Artlip e Wisniewski (2001) separam os mecanismos de resistência das plantas ao estresse hídrico em quatro tipos: limitação do crescimento, para minimizar a perda de água; adaptações morfológicas; adaptações fisiológicas; e alterações metabólicas. Os três primeiros são processos complexos, conhecidos incompletamente, porém, progressos significantes já foram obtidos no entendimento das alterações metabólicas. A capacidade da planta em responder e sobreviver ao estresse hídrico celular depende dos mecanismos internos que integram as respostas celulares, sendo que tais repostas podem ocorrer em alguns segundos ou em poucos minutos ou horas (BRAY, 1997).

A taxa fotossintética é uma das variáveis metabólicas que apresentam maior sensibilidade ao déficit hídrico. Porém, as plantas podem continuar realizando fotossíntese por tempo superior àquele destinado ao crescimento em expansão, pois o estômato responde mais lentamente no início do estresse hídrico que o turgor celular, responsável pelo alongamento de células que causa à expansão foliar (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Larcher (2004) relata que um organismo vegetal atravessa uma sucessão de fases características em resposta a estresses: a fase de alarme, em que ocorre a perda de estabilidade das estruturas e das reações que mantêm as funções vitais (processos bioquímicos e metabolismo de produção de energia), na qual também a planta pode reagir e se restituir do estresse imposto; a fase de resistência, a qual é aumentada sob estresse contínuo, iniciando um processo de rusticidade, no qual, dependendo da duração, a planta pode apresentar adaptação através de ajustamento osmótico; e a fase de exaustão, que ocorre quando o estresse é muito demorado ou sua intensidade aumenta rapidamente, deixando a planta suscetível às transformações que ocorrem como consequência da diminuição das defesas e levando ao colapso prematuro.

Thompson (1976) afirma que os períodos de deficiência hídrica podem ocorrer durante todo ciclo da cultura, mas seu efeito sobre a produtividade de cana-de-açúcar varia em função da interação entre época do ano em que ocorrem e a fase do ciclo fenológico da cultura.

Inman-Bamber (2004) ressalta que o tempo de exposição ao déficit hídrico afeta negativamente o crescimento da parte aérea, sobretudo a produção de folhas, acelerando a senescência foliar e da planta como um todo, podendo, ainda, levar a uma redução na interceptação da radiação, na eficiência do uso de água e na fotossíntese, bem como ao aumento da radiação transmitida para a superfície do solo. O mesmo autor, em um trabalho anterior, relata que ocorre um aumento na taxa de alongação de colmos de até 1,6 vezes para plantas irrigadas após a ocorrência de um período de déficit hídrico em comparação às plantas não submetidas à restrição hídrica (INMAN-BAMBER, 1994). Esta característica também foi relatada por Robertson et al. (1999), que afirmam que ocorre um crescimento compensatório quando a cultura é submetida a um período de déficit hídrico no início de seu desenvolvimento e posteriormente recebe irrigação, sendo que muitas vezes os efeitos deletérios do déficit hídrico são compensados pelo aumento na taxa de perfilhamento e aparecimento de novas folhas se reestabelecidas condições hídricas favoráveis. Porém, esse aumento na taxa de alongação (crescimento compensatório) se mantém por um curto período e, na maioria dos casos, não é suficiente para que as plantas submetidas à restrição hídrica

superem as plantas não submetidas à restrição hídrica quanto ao crescimento total do colmo ou acúmulo total de biomassa.

Inman-Bamber e Smith (2005) relatam que as folhas tendem a se acumular no cartucho durante períodos de estresse hídrico e boa parte dessas folhas retoma novamente o crescimento quando passado o período de estresse. Porém, para a cana-de-açúcar, com o agravamento do déficit hídrico, as reações bioquímicas da fotossíntese podem ser afetadas, o que acarreta limitações de origem não estomática, em condição de déficit máximo (CORNIC et al., 1992).

O déficit hídrico na planta ocorre, na maioria das vezes, quando a taxa de transpiração é superior à de absorção de água, sendo comum durante o ciclo de diversas culturas agrícolas, inclusive em cana-de-açúcar. Assim, um conhecimento adequado de como as culturas respondem a tal estresse abiótico é um dos pré-requisitos para escolher tanto a melhor variedade quanto as melhores práticas de manejo, visando, sobretudo, aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais (BRAY, 1997) e (SMIT; SINGELS, 2006).

2.3.3 Déficit hídrico relacionado à maturação

Em regiões tropicais onde a temperatura não é o fator limitante para o crescimento, a maturação é induzida principalmente pela baixa disponibilidade de água no solo (ALEXANDER, 1973), pois a suspensão ou a redução na lâmina de irrigação por um período antes da colheita pode elevar o teor de sacarose de colmos (CLEMENTS, 1980). Para Van Heerden et al. (2014), quando a demanda atmosférica não é suprida pela evapotranspiração da cultura, devido à baixa disponibilidade de água no solo, várias respostas protetoras são induzidas na planta para proteger e manter sua integridade, uma delas seria a maturação. Inman-Bamber (2004) descreveu que a maturação do colmo ocorre quando o potencial de água na folha estiver entre -0,2 e -1,2 MPa, este estresse moderado reduz o crescimento da planta, mas é insuficiente para aumentar substancialmente a resistência estomática, a qual poderia reduzir a assimilação de CO₂ pelas folhas. Neste mesmo sentido, Alexander (1973) afirma que o déficit hídrico reduz a síntese de carboidratos para a expansão foliar e na alongação dos entrenós, assim, ocorre um aumento no conteúdo de sacarose do colmo pela redução na demanda dos fotoassimilados para as demais partes da planta.

Robertson e Donaldson (1998) sugeriram que o aumento no rendimento de sacarose utilizando o déficit hídrico no solo (drying-off) é mais indicado para locais onde a produtividade da cana (t de colmos ha⁻¹) não é muito afetada pelo déficit hídrico, pois quando

o rendimento de colmos em matéria seca é reduzido em mais de 10% (comparado com plantio plenamente irrigado), o rendimento de sacarose é reduzido linearmente com essa redução na matéria seca do colmo. Esta análise de Robertson e Donaldson (1998) forneceu a estrutura básica para o desenvolvimento das recomendações e análises de risco na Austrália (ROBERTSON et al., 1999) e África do Sul (DONALDSON; BEZUIDENHOUT, 2000).

Singels et al. (2000) observaram que o particionamento da biomassa em relação a sacarose foi favorecido quando o teor médio de água disponível no solo ficou abaixo de 55%, sendo que o particionamento para sacarose ocorreu antes da redução no acúmulo de biomassa, pois a redução no acúmulo de biomassa foi evidente quando o teor médio de água disponível no solo ficou abaixo de 35%. E neste mesmo contexto, Inman-Bamber (2004) ressalta que o acúmulo de biomassa nos colmos é afetado com um déficit hídrico de aproximadamente 120 mm ou mais, enquanto que o acúmulo de sacarose só é afetado com déficit hídrico de 145 mm ou mais. Assim, o acúmulo de sacarose é favorecido com um déficit inferior ao prejudicial ao acúmulo de biomassa e somente será afetado (prejudicado) quando o déficit hídrico já estiver comprometido o acúmulo de biomassa.

Apesar de o déficit hídrico ser recomendado também como uma prática para evitar danos no solo e na cultura, durante as operações de colheita, pode resultar nos efeitos desejados como indutor natural da maturação, sendo que as práticas alternativas com utilização de produtos químicos (maturadores) têm sido mais empregadas (VAN HEERDEN et al., 2014).

Assim, segundo Scarpari (2007) o déficit hídrico ideal para induzir/maximizar o processo de maturação não está devidamente esclarecido, sendo dependente também da taxa de evapotranspiração, da disponibilidade de água no solo e da fase fenológica da cultura. E sendo um processo complexo e ainda pouco conhecido, estudos que auxiliem na compreensão dos fatores envolvidos na maturação da cana-de-açúcar podem propiciar melhor uso das variedades existentes no mercado, trazendo retornos às empresas agrícolas, programas de melhoramento e à comunidade científica (CARDOZO, 2012).

2.3.4 Produtividade da água

O aumento na produtividade da cana, e conseqüentemente no rendimento de açúcar, é uma realidade para as áreas irrigadas. Mas a água atualmente é um fator limitante tanto para o consumo das famílias e dos animais como para a produção de alimentos (BRITO et al., 2009). Assim, o manejo da irrigação com disponibilidade hídrica plena para a cultura,

suprindo toda a demanda, raramente será viável, sendo que a irrigação com déficit pode ser uma alternativa interessante, e informações sobre a utilização da água pelas culturas são essenciais para eficiência deste manejo (LEAL, 2012).

Muitos pesquisadores têm proposto indicadores para avaliar a utilização da água na produção de culturas agrícolas, bem como avaliar o desempenho de sistemas agrícolas irrigados (BOS et al., 1994; PERRY, 1996), sendo a produtividade da água, também descrita por alguns autores como eficiência do uso da água, um destes fatores. Cabe salientar que ocorrem algumas confusões com o conceito de eficiência do uso da água, pois é um termo muitas vezes utilizado para analisar o desempenho da planta, quando se utiliza a razão entre a assimilação e as taxas de transpiração, bem como algumas vezes utilizado como sinônimo de eficiência da aplicação de água ou eficiência dos sistemas de irrigação (PEREIRA et al., 2002). Assim, o termo produtividade da água para análise do desempenho da planta é mais indicado. Monteith (1984) também já havia criticado o uso do termo eficiência no uso da água, salientando que não existem limites teóricos como referência, como deveria ser para um termo no contexto de engenharia.

E a produtividade da água é definida como a razão entre a produção de biomassa (kg) e a quantidade de água consumida pela cultura (m^3), incluindo a precipitação pluvial e água aplicada pela irrigação, ou a evapotranspiração total do período de cultivo (PEREIRA et al., 2002), sendo um indicador de suma importância para melhorar o uso e gestão dos recursos hídricos (AYARS et al., 1999). Também se deve destacar sua importância na escolha do manejo da irrigação, incluindo irrigação sob déficit como descrevem Howell et al. (1995) e irrigação suplementar conforme descrito por Zhang e Oweis (1999). Segundo Inman-Bamber e Smith (2005), o manejo adequado e estratégico da água ao longo de todo o ciclo da cana-de-açúcar tem importância fundamental, podendo a produtividade da água ser utilizada para ajustar o planejamento e a tomada de decisão da irrigação, aumentando a produtividade de colmos, açúcar e álcool. Desta forma, a produtividade da água é um ótimo indicador para a análise e tomada de decisão, pois permite avaliar a variação da razão entre a produção e a quantidade de água utilizada, sugerindo valores que maximizem a utilização deste recurso natural (MASCHIO, 2011).

Doorenbos e Kassam (1979) relatam que com a utilização da irrigação nos trópicos e subtropicais secos, a produtividade da água pela cultura da cana-de-açúcar, em solos com 80% de disponibilidade hídrica, varia entre 5,0 e 8,0 $kg\ m^{-3}$ para biomassa de colmos, e entre 0,6 e 1,0 $kg\ m^{-3}$ para biomassa de sacarose. E, segundo Dinar (1993), existem meios para se elevar

os valores da produtividade da água de um cultivo, destacando-se, entre esses, o manejo adequado de irrigação.

Para Inman-Bamber et al. (1999), a cana-de-açúcar responde bem às condições irrigadas, podendo apresentar altos valores de produtividade da água, atingindo até 27,5 kg de matéria seca para cada m^{-3} aplicado. Com o aumento no volume de água aplicado via irrigação em torno de 9% do total recebido pelas plantas, a cultura apresentou expressivo aumento no crescimento do dossel, resultando em um incremento considerável da biomassa (em torno de 31%), juntamente com a produtividade de colmos (41%). Este resultado pode ser atribuído à melhoria na partição de biomassa para os colmos, proporcionada pela irrigação (INMAM-BAMBER; SMITH, 2005). Contudo, para a cana-de-açúcar, a magnitude das variações da produtividade da água depende, também, da variedade, tipo (cana-planta ou cana-soca), condições ambientais e práticas de manejo adotadas (SMITH; SINGELS, 2006). Kingston (1994), em uma revisão sobre o tema, verificou que produtividade da água variou de 8,37 a 20,94 kg m^{-3} (colmos frescos), já Robertson e Muchow (1994) relatam valores variando entre 4,8 e 12,1 kg m^{-3} (colmos frescos) e, em outro trabalho, Robertson et al. (1997) verificaram variação de 5,3 a 15,4 kg m^{-3} (colmos frescos).

Trabalhando em casa de vegetação, com 24 variedades, Maschio (2011) apresenta valores de produtividade da água em açúcar com variação entre 1,95 e 3,84 kg m^{-3} e de produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea variando entre 6,98 e 11,94 kg m^{-3} . O autor destaca que, em termos médios, a produtividade da água em biomassa para o tratamento com lâmina de 70% da demanda foi maior que na condição do tratamento 100%. Na continuidade do experimento, segunda soca, Leal (2012) encontrou valores de produtividade da água em biomassa de açúcar na faixa de 0,99 a 3,52 Kg m^{-3} e de produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea variando de 5,4 a 8,29 Kg m^{-3} .

Para Steduto et al. (2007), existe um limite na quantidade de biomassa produzida por unidade de água consumida pela cultura, relatando que a produtividade da água é aproximadamente constante para uma dada espécie de cultura após uma normalização da demanda evaporativa e da concentração de dióxido de carbono na atmosfera (Figura 3A). No trabalho, os autores destacam a necessidade de normalizar a produtividade da água em função das diferenças entre o clima, especificamente para a demanda evaporativa da atmosfera, podendo extrapolar valores de produtividade da água entre zonas climáticas, e também para a concentração de CO_2 na atmosfera, explicando as mudanças na concentração de CO_2 com o tempo, podendo explicar as variações quando se compara o passado e o futuro.

Outros trabalhos citados por Steduto et al. (2007) confirmam que a relação entre a biomassa produzida e água consumida por uma determinada espécie é linear, indicando que a produtividade da água é aproximadamente constante, uma característica muito importante para a análise de produtividade das culturas quando limitado o volume de água disponível para a planta. Os autores citam Briggs e Shantz (1913) como os pioneiros em observar esta linearidade nos resultados, mas ressaltam que a primeira abordagem analítica sobre o tema foi desenvolvida por De Wit (1958), seguido por outros como Arkley (1963), Bierhuizen e Slatyer (1965), Stewart (1972), Hanks (1974, 1983) e Stanhill (1986), que descreveram esta relação linear, sendo que Tanner e Sinclair (1983) apresentaram uma análise detalhada que forneceu uma base teórica e confirmou a constância observada anteriormente para um determinado ambiente. Porém, poucas tentativas foram feitas com o objetivo de combinar os avanços científicos e as novas evidências experimentais para melhorar a compreensão do comportamento da produtividade da água, tendo grande importância para o desenvolvimento de modelos para estimativa de produção das culturas.

O comportamento linear da relação biomassa produzida e água consumida (Figura 3A) será mantido em campo desde que o nível de nutrientes do solo seja "adequado", a disponibilidade de água não seja "excessiva" e o dossel não seja "muito denso" (De WIT, 1958). A tendência linear da relação biomassa produzida e água consumida difere do comportamento típico de uma função de produção (Figura 3B), esta muito utilizada para relacionar produção com consumo hídrico. Porém, o conceito de função de produção é a relação física entre as quantidades utilizadas de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que podem ser obtidas do produto, para uma dada tecnologia conhecida (FRIZZONE; ANDRADE JUNIOR, 2005). Assim, não apenas a água consumida pela planta é considerada, sendo um dado que representa a produção máxima alcançada considerando o manejo da cultura e o sistema de irrigação utilizado, não somente as características relacionadas à planta.

No programa Aquacrop[®], o mais recente modelo para culturas da FAO (STEDUTO et al., 2009), o acúmulo de biomassa é simulado usando os valores, entre outros parâmetros, de produtividade da água normalizados (SINGELS, 2014), existindo ainda lacunas de conhecimento e necessidade de melhor investigação, mas o potencial para uso da produtividade da água normalizada na modelagem de culturas é destacado por Steduto et al. (2007).

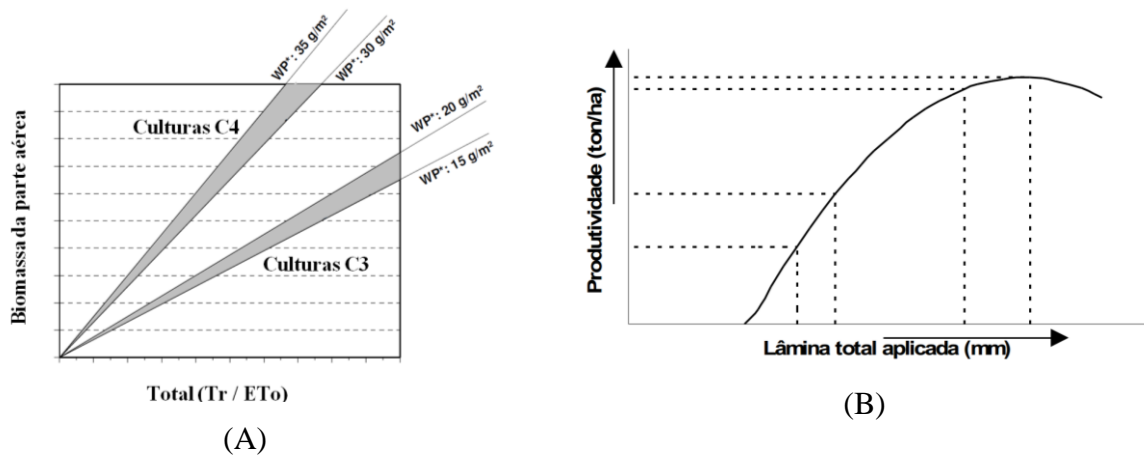


Figura 3 - Relação entre biomassa da parte aérea e água transpirada para as culturas C3 e C4 após a normalização para o CO_2 e ETo (Produtividade da água normalizada - WP^*) (RAES et al., 2011) (A); e exemplo típico de função de produção “Água – Cultura” (BERNARDO, 2006) (B)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento apresentado nesta tese está vinculado ao projeto de pesquisa *FAPESP 2012/50083-7: "Produtividade da Água em Biomassa e Energia para Variedades de Cana-de-açúcar em Função dos Níveis de Irrigação: Experimentação e Simulação"*, aprovado em edital específico do Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) junto à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Assim, a metodologia adotada e os resultados apresentados foram definidos e redigidos em comum acordo, seguindo as cláusulas do Termo de Convênio de Cooperação firmado entre FAPESP, Odebrecht Agroindustrial (Empresa parceira) e a Universidade de São Paulo - USP (Instituição sede do projeto).

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em uma estufa instalada na área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), em Piracicaba, no estado de São Paulo (Figura 4). As coordenadas geográficas do local de instalação são: 22° 43' 30" de latitude Sul e 47° 38' 00" de longitude Oeste, sendo a altitude local de aproximadamente 546 m. A estufa é constituída de três vãos conjugados, com área total de aproximadamente 400 m² e pé-direito de 5,2 m, tendo cobertura plástica transparente (Ginegar Plastic Products® - Kibbutz Ginegar, Israel) e laterais fechadas com tela tipo "sombrite" preta, com 50% de interceptação da radiação global. Sendo o trabalho realizado com a cultura de cana-de-açúcar, essas características tanto de área quanto principalmente de altura (pé-direito) foram necessárias para adequação das plantas com o mínimo de restrição ao crescimento.

Uma estufa anexa (Estufa de Apoio) com aproximadamente 110 m² também foi utilizada para abrigar os quadros de comandos do sistema de irrigação, conjuntos moto-bombas, sistemas de aquisição de dados (dataloggers), além de servir de apoio na realização das análises, colheita e armazenamento do material coletado.

O conjunto formado pela estufa contendo a cultura e a estufa de apoio, contendo parte da instrumentação e automação (Apêndice A), foi denominado de plataforma de pesquisa para Produtividade da Água na Conversão de Biomassa e Energia em Variedades Comerciais Atuais e Futuras de Cana-de-açúcar (PAC-CANA), de modo a otimizar o uso da água aduzida nos projetos de irrigação.



Figura 4 - Localização e imagem frontal da estufa instalada no Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos inteiramente aleatorizados, com 3 blocos completos, sendo um bloco instalado em cada vão da estufa. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (4x4x8) com parcelas sub-subdivididas (split-split-plot), totalizando-se assim 128 tratamentos e 384 parcelas experimentais. As parcelas experimentais foram compostas por duas plantas (touceiras) alocadas em um "vaso/caixa" com aproximadamente 330 litros de solo. Os tratamentos testados foram: lâmina de irrigação ao longo do ciclo, com 4 níveis (Lâmina, subparcela); variedade comercial de cana-de-açúcar, com 8 variedades (Variedade, sub-subparcela) e intensidade do déficit hídrico na fase final do ciclo para maturação da cana-de-açúcar, com 4 estratégias de restrição hídrica (Maturação, parcela). Na Tabela 1 é apresentado o resumo da distribuição dos graus de liberdade para análise de variância e as interações analisadas.

As variedades comerciais de cana-de-açúcar utilizadas no experimento foram definidas de comum acordo com os responsáveis técnico e administrativo da empresa parceira no projeto, contemplando as principais variedades de interesse científico e comercial disponíveis para o momento. Foram utilizadas 8 variedades atualmente representativas dos três principais (mais tradicionais) programas de melhoramento do país: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA); Instituto Agrônomo de Campinas (IAC); Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Entre as oito variedades, foi incluída uma variedade sul-africana, considerada como um padrão internacional para modelagem dessa cultura.

Tabela 1 - Esquema de distribuição dos graus de liberdade (G.L.) para as fontes de variação (F.V.), de acordo com o delineamento experimental e o arranjo de distribuição dos tratamentos

	F.V.	G.L.
Parcela	Blocos (B)	2
	Maturação (M)	3
	Erro (a)	6
Subparcela	Lâmina (L)	3
	M x L	9
	Erro (b)	24
Sub-subparcela	Variedade (V)	7
	M x V	21
	L x V	21
	M x L x V	63
	Erro (c)	224
Total		383

Maturação: Intensidade do déficit hídrico na fase final do ciclo para maturação da cana-de-açúcar; Lâmina: lâmina de irrigação ao longo do ciclo; Variedade: variedade comercial de cana-de-açúcar

Ressalta-se que, atendendo à cláusula terceira do termo de convênio de cooperação firmado entre FAPESP, Odebrecht Agroindustrial e USP (*"Respeitar e fazer respeitar as restrições à divulgação de informações e as limitações impostas por direitos autorais e de propriedade intelectual"*), as variedades foram codificadas aleatoriamente como V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7 e V8, respeitando o direito de exclusividade para a empresa parceira do projeto.

Para o tratamento lâmina de irrigação ao longo do ciclo (Lâmina) foram definidos 4 níveis, representados por diferentes manejos da lâmina aplicada ao longo do ciclo. Os níveis de Lâmina adotados foram aplicados sempre com referência na demanda potencial de cada variedade (ETc). Assim, no nível de referência (L100), manteve-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo (θ_{cc}) ao longo de todo experimento, sendo este correspondente à reposição de 100% da ETc. Os demais níveis para o tratamento Lâmina (L50, L75 e L125) foram variações na fração aplicada ao longo do tempo tomando como referência o tratamento L100. Observa-se que cada variedade teve seu nível 100% de irrigação individualizado, ou seja para cada variedade a quantidade total de água aplicada ao longo do experimento foi aquela que cada variedade conseguia extrair do solo com umidade próxima à capacidade de campo (θ_{cc}); este monitoramento individualizado do potencial de água no solo via tensiometria digital foi imprescindível para o cálculo exato da produtividade da água de cada variedade avaliada.

A diferenciação dos níveis de Lâmina iniciou-se após a fase de intenso perfilhamento (~110 dias após o plantio - DAP), considerando-se que essa é a fase crítica na determinação da produção (INMAN-BAMBER, 2004) e que pode reduzir drasticamente a população final

de plantas com uma pequena variação de déficit hídrico no solo (BARBOSA et al., 2014). Antes da diferenciação das lâminas todo o experimento foi mantido em condições ótimas de disponibilidade hídrica com umidade do solo mantida próxima à capacidade de campo (θ_{cc}) para todas as parcelas. Em resumo, o tratamento de Lâmina pode ser descrito com os seguintes níveis (manejos): L100 - Reposição de 100% da demanda hídrica ao longo de todo o ciclo da cultura; L50 - Reposição de 100% da demanda hídrica durante a fase inicial de desenvolvimento (~110 DAP) e aplicação de 50% da lâmina demandada no tratamento referência durante a fase de crescimento dos colmos; L75 - Reposição de 100% da demanda hídrica durante a fase inicial de desenvolvimento (~110 DAP) e aplicação de 75% da lâmina demandada no tratamento referência durante a fase de crescimento dos colmos; L125 - Reposição de 100% da demanda hídrica durante a fase inicial de desenvolvimento (~110 DAP) e aplicação de 125, 100 e 75% da lâmina demandada no tratamento referência durante a fase de crescimento dos colmos, correspondendo a um período de 64, 41 e 104 dias respectivamente para cada fração.

É importante ressaltar que os níveis do tratamento Lâmina não são doses de irrigação, mas sim manejos com variação do volume aplicado ao longo do tempo. Assim, não é possível formular conclusões considerando que as codificações dos tratamentos (L50, L75, L100 e L125) representam de forma crescente o volume total de água aplicado para cada tratamento. Na Figura 5 é apresentado um resumo de como se deu a variação das lâminas ao longo do tempo para cada tratamento de Lâmina.

Quanto aos níveis do tratamento intensidade do déficit hídrico na fase final do ciclo para maturação da cana-de-açúcar (Maturação), pode-se descrevê-los da seguinte forma: um dos níveis propostos foi um nível de referência (M3) sem déficit hídrico, mantendo a irrigação sem alterar a lâmina aplicada até a data de colheita do experimento, ou seja, teoricamente não houve mudança no manejo da irrigação que estimulasse/induzisse a maturação; também foi proposta uma metodologia similar a australiana de "drying-off" (ROBERTSON et al., 1999), com um déficit hídrico severo de curta duração, que consiste no corte total da irrigação 15 dias antes do início da colheita, metade do número de dias necessários para "esgotar" a CAD do solo para uma E_{To} média de $2,6 \text{ mm dia}^{-1}$ (M4); outro nível proposto foi com um déficit hídrico moderado de longa duração (M1), que consiste em uma leve diminuição da lâmina de referência de forma gradativa durante os últimos 60 dias antes da colheita, sendo as frações de lâminas reduzidas para 80 e 60% para L100 e 60 e 45% para L75; o último nível proposto para o tratamento Maturação foi com um déficit hídrico intensivo de longa duração (M2), que consiste na diminuição mais severa da lâmina de referência de forma gradativa durante os

últimos 60 dias antes da colheita, sendo as frações de lâminas reduzidas para 80, 60, 40 e 30% para L100 e 60, 45, 30 e 22,5% para L75. Os dois últimos manejos descritos (M1 e M2) foram impostos 60 dias antes da colheita, pois o experimento foi conduzido em estufa, com sistema radicular confinado e as plantas não poderiam ser mortas. Assim, adotou-se metade do período (120 dias) que Cardozo (2012) observou os melhores ajustes entre precipitação acumulada e análises tecnológicas. Na Figura 6 é apresentado um resumo na forma de gráfico com as frações aplicadas durante a imposição dos tratamentos de Maturação.

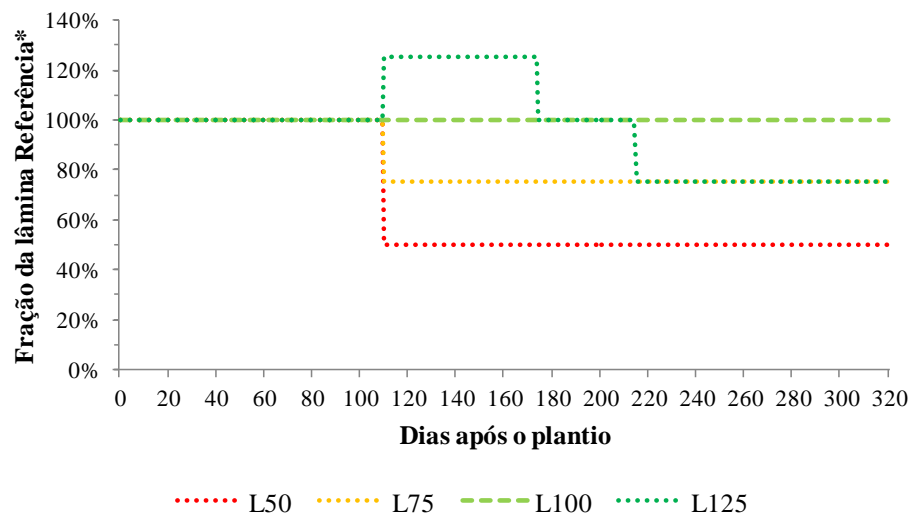


Figura 5 - Representação gráfica das frações das lâminas aplicadas durante a fase inicial de desenvolvimento e de crescimento dos colmos. * A lâmina referencial é a lâmina do tratamento L100 de cada variedade

Destaca-se que, para os tratamentos de Lâmina L50 e L125 não houve imposição dos tratamentos de Maturação (Tabela 2), tendo em vista que a redução ainda maior na fração de água aplicada para esses tratamentos poderia ocasionar a perda/morte de algumas plantas, inviabilizando a continuidade do experimento com a cana soca. Com isso, esses tratamentos serviram como fonte de dados para uma análise mais detalhada da variabilidade espacial no interior da estufa, uma vez que não havendo imposição de Maturação têm-se quatro repetições de L50 e L125 dentro de cada bloco, totalizando 12 repetições para cada combinação entre Lâmina e Variedade.

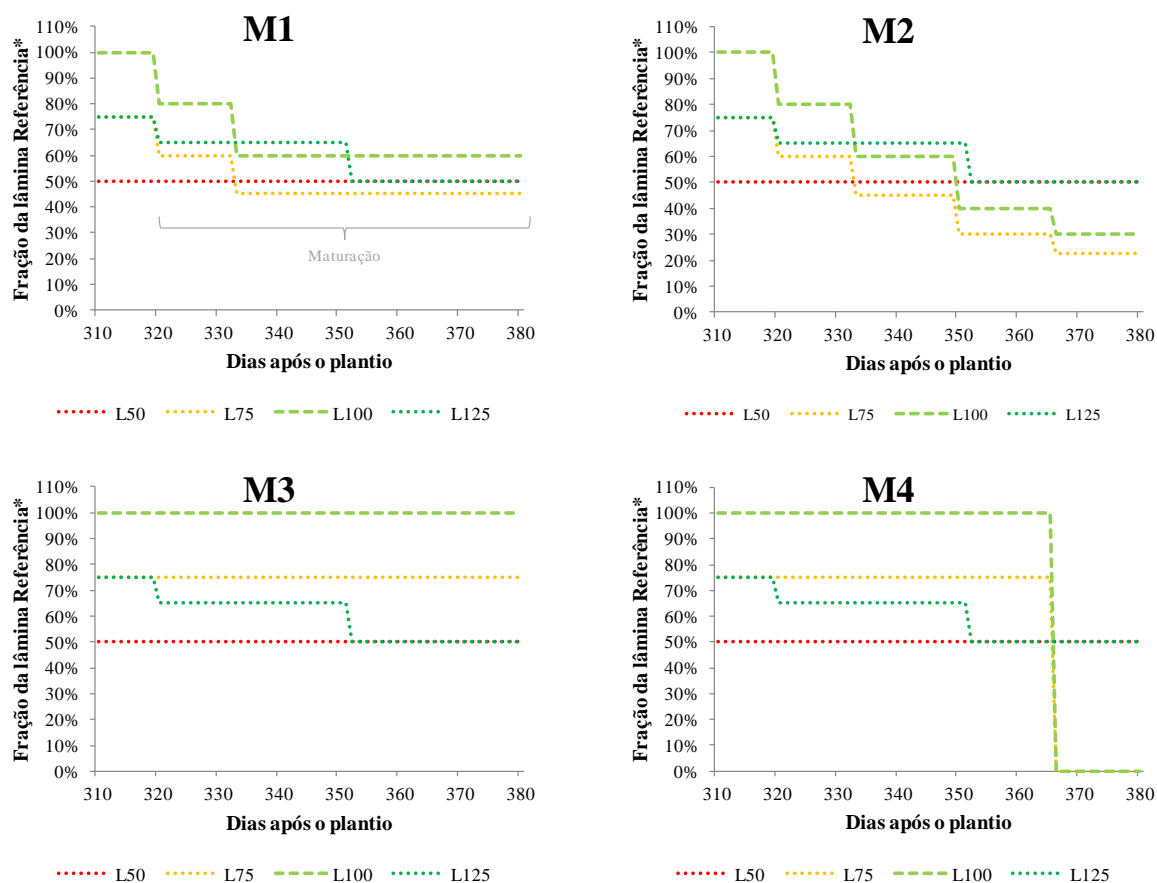


Figura 6 - Representação gráfica das frações das lâminas aplicadas durante a fase de maturação para os tratamentos M1, M2, M3 e M4. * A lâmina referência é a lâmina do tratamento L100 de cada variedade

Tabela 2 - Resumo das frações (%) das lâminas aplicadas para todo o período de condução do experimento

DATA	DAP	L50	L75				L100				L125
			M3	M1	M2	M4	M3	M1	M2	M4	
31/01/2014	0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
21/05/2014	110	50,0	75,0	75,0	75,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	125,0
24/07/2014	174	50,0	75,0	75,0	75,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
03/09/2014	215	50,0	75,0	75,0	75,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	75,0
17/12/2013	320	50,0	75,0	60,0	60,0	75,0	100,0	80,0	80,0	100,0	65,0
30/12/2013	333	50,0	75,0	45,0	45,0	75,0	100,0	60,0	60,0	100,0	65,0
16/01/2014	350	50,0	75,0	45,0	30,0	75,0	100,0	60,0	40,0	100,0	65,0
18/01/2014	352	50,0	75,0	45,0	30,0	75,0	100,0	60,0	40,0	100,0	50,0
01/02/2014	366	50,0	75,0	45,0	22,5	0,0	100,0	60,0	30,0	0,0	50,0
15/02/2014	380	50,0	75,0	45,0	22,5	0,0	100,0	60,0	30,0	0,0	50,0

Na Figura 7 está o croqui com a distribuição dos tratamentos seguindo o delineamento experimental apresentado anteriormente. Na face frontal da estufa foi plantada uma linha de plantas que serviram como bordadura. Os tratamentos que, teoricamente, estariam sob

estresse não foram instalados nas laterais da estufa para evitar interferência de possível deriva da chuva para o interior da estufa, pois não tinha cortina lateral para servir como proteção.

Para análise de variância dos resultados foi utilizado o software livre SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2011) (Apêndice B). As variáveis que apresentaram valores de F significativo, no mínimo, a 5% de probabilidade na análise de variância foram submetidas ao teste de médias do tipo Scott Knott a um nível de 5% de probabilidade. Como o delineamento experimental é regido por um modelo estatístico (ou matemático) e para validar os testes de hipótese e inferências os modelos devem ter suas pressuposições atendidas (SILVA, 2007), foi avaliada a ocorrência de observações atípicas graficamente, com gráficos do tipo box-plot utilizando o software livre Action (ESTATCAMP[®], 2014). A independência dos resíduos foi garantida pela casualização na distribuição dos tratamentos, observada no croqui do experimento. Como não houve efeito multiplicativo (não teve interação) dos blocos com os tratamentos foi garantida a aditividade dos efeitos do modelo. Para análise de normalidade dos resíduos, foi utilizado o teste de normalidade W de Shapiro-Wilk, utilizando também o software SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2011), no caso, não foi necessária a transformação para as variáveis estudadas. Quanto à Homogeneidade de variância dos resíduos, Silva (2007) afirma que é a pressuposição usualmente mais crítica, mas que o teste F na análise de variância é muito robusto para situações de modelo estatístico fixo com estrutura balanceada, ou seja, igual número de repetições para as combinações dos níveis dos fatores experimentais.

3.3 Montagem da plataforma experimental (*PAC-Cana*)

3.3.1 Adequação da estrutura interna da estufa

Para condução do experimento foram necessárias algumas modificações e adaptações na estrutura original da estufa. Inicialmente, foi rebaixado o nível do solo em aproximadamente 0,80 m do nível original, ficando assim dois níveis de piso no interior da estufa, um nível inferior no centro dos vãos e um nível superior nos corredores laterais de cada vão (Figura 8A).



Figura 7 - Croqui da distribuição dos tratamentos pelo delineamento em blocos inteiramente aleatorizados com parcelas sub-subdivididas (split-split-plot)

A diferenciação do piso em dois níveis foi pensada no intuito de realizar as avaliações tanto do solo (ex: tensiometria) quanto das plantas (ex: biometria) de forma mais fácil, prática e segura. No nível inferior o chão foi impermeabilizado, formando duas rampas de concreto de aproximadamente 0,10 m de espessura com inclinação de 1% para o centro de cada vão. No centro, foi mantido um corredor com aproximadamente 0,60 m de largura, apenas com brita (Figura 8B), possibilitando a drenagem de qualquer excesso de água do fundo dos vasos. As bases de concreto foram fundamentais para a impermeabilização e isolamento das raízes das plantas acondicionadas nos vasos, principalmente da umidade vinda do solo externo ao vaso após um período de chuvas, que prejudicaria de forma irreversível os resultados obtidos com o experimento. Tanto as bases de concreto quanto o corredor com brita foram implantados também para o escoamento e drenagem do excesso de água que ocorresse no interior da estufa.

Buscando o melhor desenvolvimento das plantas a serem estudadas, optou-se pela fabricação de um "vaso/caixa" suficientemente grande que não prejudicaria e/ou limitaria de forma considerável o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Sabendo-se que 90,0% da matéria seca das raízes fica nos primeiros 0,60 m de profundidade em um cultivo irrigado (FARIAS et al., 2008), foi construído um total de 132 vasos em concreto armado com dimensões de 1,04 m de comprimento, 1,24 m de largura e 0,76 m de altura, resultando em um volume interno aproximado de $1,0 \text{ m}^3/\text{vaso}$, para isso foi utilizado um molde idealizado para esta finalidade (Figura 8C), visando manter a uniformidade entre os vasos.

Os vasos foram fabricados fora da estufa e posteriormente transportados e posicionados sobre a base de concreto no interior da mesma. Para esse transporte foi utilizado um trator com braço hidráulico que posicionava o vaso na porta da estufa, onde ele era carregado manualmente (aproximadamente 8 pessoas) até um "carrinho de 4 rodas" para que assim fosse arrastado até sua posição final no interior da estufa (Figura 8D). Em cada vão da estufa (Bloco experimental), foram alocados 44 vasos, sendo metade deles (22 vasos) posicionados em cada uma das duas rampas de concreto. Na Figura 8F, observa-se o detalhe da distribuição dos vasos, que foram posicionados dois a dois mantendo uma distância de 0,42 m como corredor lateral e 0,60 m como corredor central.

Após o posicionamento de todos os vasos, estes receberam a aplicação de um impermeabilizante (SikaTop[®]) na face interna para que o solo e a umidade contidos no vaso durante a condução dos experimentos não prejudicassem ou danificassem os vasos (Figura 8E).

Para finalizar a adequação interna da estufa, foi distribuída pedra brita nos corredores laterais e centrais para evitar o nascimento de plantas daninhas e também diminuir a incidência de poeira nas folhas das plantas, que poderia ocasionar ou facilitar a propagação de pragas e doenças (Figura 8F). Prevendo futuros problemas de tombamento, foram instalados postes de concreto nas extremidades da estufa para o tutoramento das plantas quando necessário.

3.3.2 Enchimento dos Vasos

Para a condução do experimento, optou-se por um solo representativo das áreas de expansão da cultura de cana-de-açúcar no Brasil, o Latossolo Vermelho Amarelo, textura franco-arenosa (Série “Sertãozinho”), disponível na região de Piracicaba - SP, facilitando o transporte para montagem do experimento. Preventivamente, foram coletadas amostras de solo para análise físico-química e detecção da presença de nematóides e também confirmou-se a ausência de plantas daninhas de difícil controle (ex: Tiririca - *Cyperus rotundus*), visando garantir que o solo que seria coletado apresentava todas as características de fertilidade e de sanidade desejadas para a condução do experimento.

Quanto à detecção da presença de nematóides, foram utilizados como amostra o solo e as raízes da cultura de milho que fora colhida anteriormente na área. A contagem de *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zae*, principais espécies que parasitam a cultura da cana-de-açúcar, resultou em um número mínimo de indivíduos, não necessitando de controle, segundo a análise dos responsáveis pelo Laboratório de nematologia da Cooperativa dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo - COPLACANA[®].

Para análise química, foi retirada uma amostra composta representando a camada de 0 a 0,20 m de profundidade de toda área e enviada ao laboratório de análises químicas Pirasolo[®]. De acordo com o resultado (Tabela 3), não foi necessária correção com calagem para adequação do solo antes do transporte para estufa. Com a mesma amostra, foi retirada parte do material para caracterização física, sendo que para essa análise preliminar o solo continha 24% de argila, 5% de silte e 71% de areia.

Tabela 3 - Resultado da análise química preliminar do solo para definição da coleta do solo

pH	M.O.	P-resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B.	CTC	Sat. bases	Sat. Al	S- SO ₄
<i>CaCl</i> ₂	<i>g dm</i> ⁻³	<i>mg dm</i> ⁻³				<i>mmolc dm</i> ⁻³				V%	m%	<i>mg dm</i> ⁻³
6,2	27	46	1,5	45	18	18	0	65	83	78	0	8

Matéria orgânica (M.O.); fósforo (P-resina); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); hidrogênio + alumínio (H+Al); soma de bases (S.B.); capacidade de troca catiônica (CTC); enxofre (S) na forma de sulfato (S-SO₄)



(A)



(B)



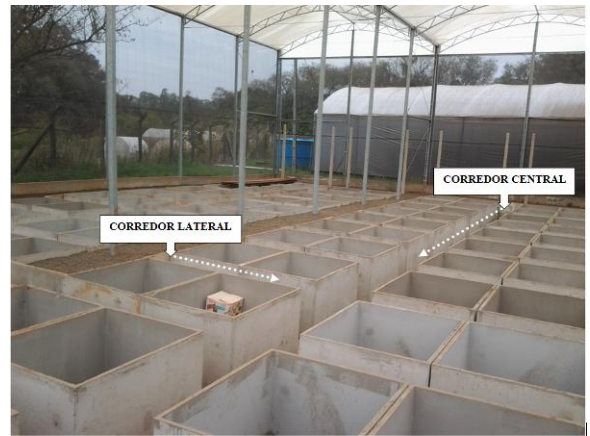
(C)



(D)



(E)



(F)

Figura 8 - Imagens da adequação da estrutura interna da estufa. Vista do piso inferior nivelado e do piso superior nos corredores (A); Construção das bases de concreto (B); Molde para construção dos vasos (C); Posicionamento dos vasos no interior da estufa (D); Impermeabilização do interior dos vasos (E); Vista geral da estufa com os vasos posicionados e corredores preenchidos com pedra brita

Após a confirmação de que o solo apresentava todas as características químicas e sanitárias adequadas, antes de ser transportado, foi realizado um processo de uniformização do solo, iniciando com uma subsolagem seguida por aração e gradagem para o revolvimento e

destruição de restos culturais. Após este processo, foi realizado o encanteiramento da camada de 0 a 0,20 m com enxada rotativa, para melhorar a estrutura do solo e facilitar a coleta e transporte. A coleta e transporte do solo foram realizados utilizando uma máquina pá-carregadeira e caminhões com carroceria do tipo caçamba basculante para o transporte até a entrada da estufa, transportando no total aproximadamente 150 m³ de solo (Figura 9).



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 9 - Imagens relativas ao preparo do solo, carregamento e transporte do material até a área experimental. Subsolação do solo (A); Solo uniformizado e encanteirado (B); Carregamento (C); Descarregamento (D)

Para adequar a quantidade de vasos às características e ao número total necessário para as parcelas, os 132 vasos (volume de 1,0 m³) foram subdivididos em três partes iguais, totalizando 396 vasos menores (Parcelas), com volume aproximado de 0,33 m³ e dimensões de 1,04 x 0,41 x 0,76 m de largura, comprimento e profundidade, respectivamente. A divisão foi realizada com a inserção de placas de PVC e lonas plásticas dupla face devidamente coladas nas laterais do vaso com cola tipo silicone, para impermeabilizar e isolar o contato entre as parcelas, evitando que as raízes e também a umidade de uma parcela não

prejudicassem a parcela ao lado. Foi colocada uma camada de 0,10 m de brita no fundo dos vasos e acima desta uma manta geotêxtil (Bidim) para facilitar a drenagem e também isolar as parcelas. Para que fosse mantida a igualdade na dimensão dos vasos, utilizou-se como molde um material mais rígido durante o enchimento com solo. Foram utilizadas vigas de madeira fixadas nas bordas dos vasos e também placas de madeiras como suporte/guia até que o vaso fosse completamente cheio e o solo igualmente distribuído nas três parcelas (Figura 10).

O enchimento dos vasos foi realizado logo após o descarregamento do solo próximo à estufa. Com o auxílio de um “carrinho de mão”, foi realizado o enchimento individual dos mesmos (Figura 10C). De maneira a obter o mesmo volume de solo em todos os vasos, foi distribuído o mesmo número de “carrinhos” com solo em cada vaso. Após este processo de enchimento, uma alta lâmina de água foi aplicada sobre o solo, para promover a acomodação. Em seguida, mais um pouco de solo foi adicionado para que cada vaso tivesse uma camada de aproximadamente 0,60 m.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 10 - Imagens da divisão interna dos vasos. Ajuste das placas de PVC no molde de madeira (A); Instalação e colagem das lonas plásticas para impermeabilização (B); Enchimento do vaso com solo utilizando "carrinho de mão" (C); Vista geral da estufa com todos os vasos preenchidos com solo (D)

3.3.3 Caracterização química do solo

Após o enchimento dos vasos e antes do transplântio das mudas, foram coletadas amostras de solo utilizando um trado de rosca. Foram coletadas amostras simples em todas as 396 parcelas, na camada de solo entre 0 e 0,30 m. Como o solo havia sido homogeneizado antes do transporte, o volume coletado, teoricamente, representou o volume total de solo presente no vaso. As amostras simples foram agrupadas em 3 amostras compostas correspondentes aos 3 blocos descritos no delineamento experimental. Os resultados, tanto de macronutrientes (Tabela 4) quanto de micronutrientes (Tabela 5), foram interpretados e a recomendação de adubação foi feita de acordo com Raij et al. (1997).

Tabela 4 - Resultado da análise química do solo para macronutrientes das amostras coletadas nos três blocos do experimento

Bloco	pH	M.O.	P-resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B.	CTC	Sat. bases	Sat. Al	S- SO ₄
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³					V%	m%	mg dm ⁻³		
1	5,3 c	9,0	41,5 d	2,7 c	24,0 d	11,3 d	24,3	0,0	38,3	62,5	61,0 c	0,0	11,5 d
2	5,3 c	9,0	44,0 d	3,2 d	22,5 d	9,8 d	24,3	0,0	35,3	59,5	59,3 c	0,0	13,0 d
3	5,6 c	10,0	38,0 d	2,1 c	25,8 d	12,8 d	19,5	0,0	40,5	60,0	67,8 c	0,0	11,5 d

Potencial hidrogeniônico (pH); matéria orgânica (M.O.); fósforo (P-resina); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); hidrogênio + alumínio (H+Al); soma de bases (S.B.); capacidade de troca catiônica (CTC); enxofre (S) na forma de sulfato (S-SO₄). Letras minúsculas indicam as classes de teores de nutrientes: a - teores muito baixos; b - teores baixos; c - teores médios; d - teores altos; e - teores muito altos. IAC (2014) e Raij et al. (1997)

Tabela 5 - Resultado da análise química do solo para micronutrientes das amostras coletadas nos três blocos do experimento

Bloco	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	DTPA				(água quente)
	mg dm ⁻³				
1	0,7 c	26,3 d	1,4 d	5,2 d	0,4 c
2	0,7 c	42,8 d	1,6 d	7,0 d	0,5 c
3	0,7 c	26,0 d	1,7 d	4,2 c	0,5 c

Cobre (Cu); ferro (Fe); zinco (Zn); manganês (Mn); boro (B). Letras minúsculas indicam as classes de teores de nutrientes: a - teores muito baixos; b - teores baixos; c - teores médios; d - teores altos; e - teores muito altos, segundo IAC (2014) e Raij et al. (1997)

Para caracterização físico-hídrica do solo, foram coletadas amostras indeformadas. Para isto, foi utilizado um trado para amostra indeformada com cilindros de aço inox de 50 cm³. As amostras foram retiradas em 3 profundidades, 0,10, 0,30 e 0,50 m, representando as camadas de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, respectivamente. Foram amostradas aleatoriamente 4 parcelas em cada bloco, resultando em 12 pontos amostrados com um total de 36 amostras (cilindros) coletadas. A determinação das curvas de retenção de água no solo se deu através de mesa de tensão (para tensões de 1, 2, 4 e 6 kPa) e extratores de “Richards”

com placas porosas (para tensões de 10, 30, 50, 100, 500, 1000 e 1500 kPa), bem como determinações da densidade global (D_s), densidade das partículas (D_p), porosidade total (PT) e análise granulométrica.

Tendo em vista que para coleta das amostras indeformadas o solo necessitaria de uma estrutura estável/"definitiva", pois foi revolvido e transportado para o enchimento dos vasos, foi necessário aguardar um bom período de estabilização (aproximadamente 3 meses) para que essa estrutura fosse consolidada e assim as amostras retiradas. Também se deve levar em conta que este tipo de análise para obtenção da curva de retenção tem uma metodologia lenta, principalmente para obtenção dos pontos de maior tensão (500, 1000 e 1500 kPa). Assim, optou-se por iniciar o experimento com a caracterização físico-hídrica (Tabela 6) e os parâmetros do modelo van Genuchten (Tabela 7) foram determinados em um experimento anterior, feito pelo mesmo grupo e linha de pesquisa, utilizando este mesmo solo e mesma metodologia de enchimento dos vasos, porém com condução da cultura da pimenta 'Tabasco'. Após os resultados das análises serem emitidos, os mesmos foram interpretados e comparados com os dados que estavam sendo utilizados até o momento. Devido à semelhança entre os resultados e também pela praticidade do manejo (Tabelas e planilhas) montado com a caracterização feita por Chaves (2008), foram mantidos os dados apresentados abaixo para condução do manejo da irrigação ao longo de todo o experimento.

Tabela 6 - Caracterização físico-hídrica do solo

Camada (m)	θ_{cc}	θ_{pmp}	CAD (mm)	D_s	D_p	PT (%)	Frações granulométricas		
							Areia	Silte	Argila
	$cm^3 cm^{-3}$			$g cm^{-3}$			%		
0,00 - 0,20	0,227	0,106	24,2	1,53	2,65	42,3	75,1	7,8	17,1
0,20 - 0,40	0,226	0,098	25,6	1,50	2,65	43,4	74,5	8,0	17,5
0,40 - 0,60	0,241	0,132	21,8	1,69	2,64	36,0	74,4	8,6	17,0

θ_{cc} : umidade na capacidade de campo (correspondente ao potencial mátrico (ψ_m) de 4,85 kPa). θ_{pmp} : umidade no ponto de murcha permanente (correspondente ao potencial mátrico (ψ_m) de 1500 kPa). CAD: capacidade de água disponível. D_s : densidade do solo. D_p : densidade de partículas do solo. PT: porosidade total do solo. Adaptado de Chaves (2008)

Tabela 7 - Valores de umidade de saturação (θ_s) e residual (θ_r), e dos parâmetros empíricos (α , n e m) do modelo de van Genuchten (1980)

Camada (m)	$\theta_s (cm^3 cm^{-3})$	$\theta_r (cm^3 cm^{-3})$	$\alpha (kPa^{-1})$	m	n
0,00-0,20	0,421	0,098	1,3464	0,1799	2,7175
0,20-0,40	0,412	0,085	1,5708	0,1648	2,5028
0,40-0,60	0,374	0,122	1,1291	0,2749	1,5619

Adaptado de Chaves (2008)

3.3.4 Instalação do sistema de irrigação

O sistema de irrigação adotado foi o gotejamento, utilizando tubo gotejador com emissor autocompensante, anti-sifão e antidrenante. Para controlar individualmente cada parcela experimental, foi instalada uma linha de gotejo com 5 emissores espaçados em 0,20 m e com vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$ em cada uma das 396 parcelas (Figura 11A). Assim, foi utilizado aproximadamente 1,0 m de tubo gotejador em cada parcela, somando uma vazão de 8 L h^{-1} por parcela e totalizando aproximadamente $3,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ para todas as parcelas. Para que um pequeno seguimento de tubo gotejador (1,0 m) se fixasse linearmente e centralmente na parcela, antes da instalação, toda a bobina do tubo gotejador foi desenrolada e esticada em uma superfície plana para o tubo "perder" o formato curvilíneo. Também se utilizou hastes de PCV para fixar o tubo gotejador nas extremidades de cada parcela (Figura 11B) garantindo que os emissores ficassem voltados para cima, evitando o entupimento por partículas sólidas (FARIA, 2013). Para fechamento das extremidades dos tubos foram dobradas as pontas e lacradas com arame fino de aço inox, e para diminuir o risco de danificar o tubo com o arame foi passada uma camada de fita isolante abaixo do arame (Figura 11B).

A água para abastecimento das linhas gotejadoras de cada parcela foi escoada individualmente via microtubo (Tubo de comando) identificado com o número da parcela (Figura 11C), partindo da estufa de apoio até a estufa de experimentação, sendo necessários mais de 10.000 m de microtubo. Na extremidade da estufa experimental cada microtubo se conectava ao tubo gotejador por um microconector de 90 graus próprio para esta finalidade (Figura 11D), não necessitando de nenhum tipo de cola ou produto para vedação. Na extremidade da estufa de apoio cada microtubo se conectava a um painel de controle ("main folder") por um microrregistro plástico (Figura 11E) podendo ser aberto individualmente. Para facilitar o controle da irrigação, todos os microrregistros foram agrupados na estufa de apoio no painel de controle mencionado acima (Figura 11F), tendo o pesquisador o controle e a visualização simultânea de todos os registros das 396 parcelas (Figura 11G).

Para a pressurização do sistema foi instalada uma motobomba KSB HYDROBLOC C1010[®] com potência do motor de 1,0 cv e pressão de aproximadamente 20,0 mca para vazão de $3,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. A motobomba utilizada apresenta uma curva característica (vazão x pressão) com pouca variação de pressão na faixa de vazão que foi utilizada para o experimento. Assim, mesmo com todas as parcelas abertas ($3,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) ou apenas um tratamento aberto (3 parcelas abertas com vazão de $0,024 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), a variação de pressão foi mínima, não exigindo grandes mudanças na abertura do retorno. A água a ser utilizada para irrigação foi armazenada em

duas caixas d'água de 5,0 m³ antes de ser pressurizada pela motobomba. Também foi acoplada ao sistema de irrigação uma motobomba GRUNDFOS CM3[®] com potência de 1,0 cv e carcaça em aço inox, que foi utilizada para pressurizar a solução fertilizante quando foram realizadas as fertirrigações. Para preparar a solução fertilizante e armazenar durante a aplicação, foi utilizada uma caixa d'água com capacidade de 500 litros, instalada paralelamente ao sistema no interior da estufa de apoio. O sistema de irrigação também contava com chave de partida e sistema de filtragem de discos para garantir a segurança e eficiência da irrigação. Não houve tempo suficiente para testar previamente a implantação do sistema automatizado de irrigação que havia sido desenvolvido, de tal forma que se optou pela operação manual do sistema por questões de segurança na condução do experimento.

3.3.5 Instalação dos sensores de solo e sensores meteorológicos

Os sensores de solo instalados foram os tensiômetros (Figura 12A), que serviram para o monitoramento do potencial mátrico do solo e subsequente manejo da irrigação. Os tensiômetros foram instalados imediatamente após o transplântio das mudas nas parcelas, nas 3 repetições das oito variedades que foram manejadas com tratamentos de lâmina L100 e maturação M3, servindo como referência para o manejo dos demais níveis de irrigação como detalhado anteriormente na descrição dos tratamentos. Uma bateria com três tensiômetros foi instalada no centro das parcelas e entre as duas plantas (Figura 12B) nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, representando as camadas de 0,0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, respectivamente. Assim, foram utilizados 72 tensiômetros, com as leituras realizadas manualmente com tensímetro de punção em intervalos máximos de 2 dias.

Visando o monitoramento de alguns elementos meteorológicos, foram instalados sensores no interior da casa de vegetação. Os elementos monitorados foram: densidade de fluxo ($W m^{-2}$) da radiação solar global (Rg), por meio de piranômetro de silício (LI200X - Licor) e temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), por meio de sensor Vaissala (HMP45C - Vaissala) (Figura 12C). Foi elaborada uma programação para armazenamento dos dados em intervalos de 15 minutos e obtenção dos valores máximos, mínimos e médios a cada 15 minutos das variáveis temperatura e umidade relativa (Figura 12D). Para adequação dos sensores ao dossel da cultura, eles foram instalados em um tripé com haste de aço inox de forma que os sensores foram elevados periodicamente acompanhando o nível do dossel das plantas.



Figura 11 - Detalhes da montagem do sistema de irrigação. Linha de gotejo posicionada centralmente nas parcelas (A); Fixação da linha de gotejo com haste de PVC e lacramento das extremidades com fita veda-rosca e arame de aço inox (B); Anilha de identificação do microtubo (C); Microjoelho para ligação do microtubo à linha de gotejadores (D); Microrregistro instalado no painel de controle (E); Vista geral do painel de controle com 396 microrregistros (F); Vista geral da saída dos microtubos na estufa experimental para conexão com a linha de gotejo das parcelas (G)

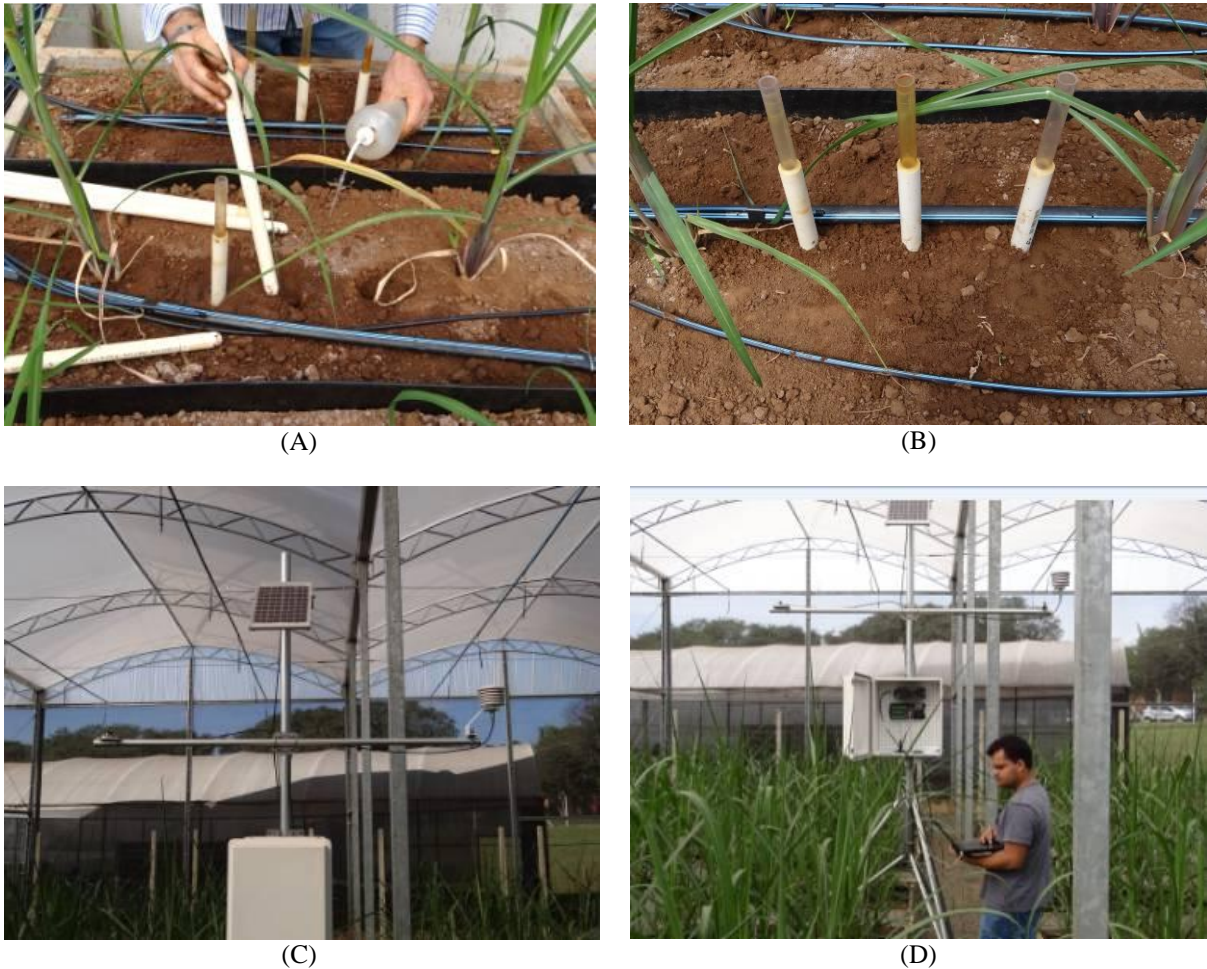


Figura 12 – Instalação dos sensores de solo e clima. Instalação dos sensores de solo (tensiômetros) (A); Posição final dos tensiômetros no centro da parcela e entre as duas plantas (B); Vista geral da estação meteorológica no interior da estufa (C); Operação/programação da estação meteorológica no interior da estufa (D)

3.3.6 Instalação do sistema de microaspersão para pulverização

Apesar das irrigações serem realizadas por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, fez-se necessário a instalação de um sistema de irrigação por microaspersão, com o objetivo principal de aplicar defensivos agrícolas (inseticidas, acaricidas e fungicidas), bem como fertilizantes foliares, que devem ser aplicados sob o dossel das plantas, criando uma película da solução sobre as folhas. Assim, para evitar o contato dos pesquisadores com esses produtos e também pela dificuldade de aplicação com o dossel das plantas chegando a uma altura acima de 2,0 m, optou-se pelo sistema de microaspersão com as linhas laterais instaladas no ponto mais alto da estufa, aproximadamente 5,2 m acima do solo.

Foi contratada uma equipe técnica terceirizada para montagem do sistema, principalmente devido ao risco de trabalho em altura. É necessário experiência para este tipo

de trabalho e foi obrigatório o uso de equipamentos de segurança (Figura 13A). O sistema foi constituído de 6 linhas laterais com 12 microaspersores em cada linha espaçados em 1,6 m, sendo que em cada bloco experimental foram instaladas duas linhas espaçadas em 3,2 m (Figura 13B). Os microaspersores utilizados foram do grupo modular com válvula anti-gota (Figura 13C), para garantir melhor recobrimento e uniformidade durante a aplicação, assim como o estancamento imediato após o desligamento do sistema.

Para pressurização, semelhante ao sistema de fertirrigação, foi utilizada uma motobomba GRUNDFOS CM3[®], com potência de 1,0 cv e carcaça em aço inox. Além disso, foi utilizada uma caixa d'água com capacidade de 500 litros para o preparo da solução defensiva e/ou fertilizante e seu armazenamento durante a aplicação.

Como esse sistema foi instalado acima do dossel das plantas, também serviu de alternativa para o controle de um possível incêndio. As caixas d'água foram mantidas sempre com o máximo da capacidade de armazenamento e os registros na posição "aberta", facilitando a aplicação de água pelo sistema de microaspersão em caso de incêndio.

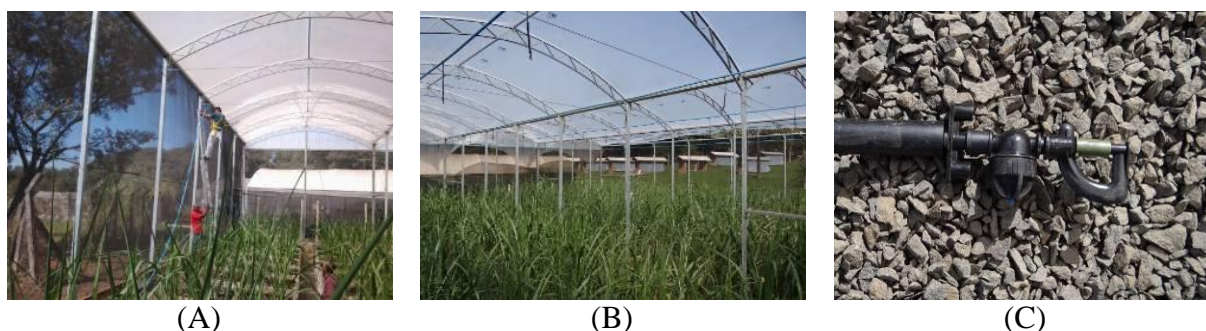


Figura 13 - Montagem do sistema de irrigação por microsaspersão. Detalhe da equipe de instalação durante a montagem das linhas laterais (A); Vista geral das linhas laterais acima do dossel das plantas (B); Detalhe do microaspersor com sistema anti gota (C)

3.4 Condução do experimento

3.4.1 Plantio e transplântio das mudas

Para evitar qualquer tipo de problema com a sanidade das mudas, assim como ter certeza de que o material genético selecionado era exatamente o material plantado, optou-se por coletar cada material ou grupo de materiais (variedades) em seu programa original de melhoramento genético. Assim, os colmos que deram origem às mudas para as variedades estudadas foram coletados no CTC (Piracicaba-SP), RIDESA (Araras-SP) e IAC (Ribeirão Preto-SP), com a garantia dos programas de origem de que se tratavam de colmos propícios

para produção das mudas, ou seja, idade entre 10 e 12 meses, sem problemas de sanidade e principalmente, com a identificação correta da variedade fornecida. A exceção ficou por conta da variedade sul-africana (NCo 376), considerada como um padrão internacional, que foi coletada na Estação de Cruzamentos do CTC (Camamu-BA) e não no seu programa de origem.

Os colmos foram transportados em feixes identificados, mas ainda com parte das folhas e bainhas, evitando a danificação das gemas (Figura 14A). Após o transporte, foram retiradas as folhas e bainhas para que as gemas ficassem totalmente expostas (Figura 14B), facilitando a identificação de gemas danificadas e também a brotação, uma vez que o impedimento físico exercido pela bainha retarda e pode prejudicar a brotação. Destes colmos selecionados, foram descartadas as gemas da base e ponteiro, sendo utilizadas para o plantio as 4 gemas centrais (Figura 14C), pois o terço médio do colmo apresenta as gemas mais uniformes.

A metodologia de plantio utilizada foi semelhante à empregada e recomendada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), denominada de sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB). Assim, com auxílio de uma guilhotina (Figura 14D), o terço médio do colmo de todas as variedades foi dividido em minitoletes de aproximadamente 4,0 cm com apenas uma gema (Figura 14E). Os minitoletes foram plantados no dia 31 de janeiro de 2013, inicialmente em bandejas plásticas de 32 células (Figura 14F) com volume interno de 190,0 cm³ preenchidos com substrato para plantas (Tropstrato[®]). Mesmo plantando apenas as gemas do terço médio, foram plantadas um total de 160 gemas de cada variedade (5 bandejas), aproximadamente 60% a mais de mudas do que foi necessário para o experimento, garantindo que as mudas transplantadas fossem selecionadas após a brotação, descartando as que não estavam com características padrão (Figura 14G) para o transplantio. Outro detalhe adotado para uniformizar a emergência das plantas foi o posicionamento de todas as gemas lateralmente dentro da célula de plantio (Figura 14H).

Durante o período em que as gemas brotavam e emitiam o perfilho principal, as bandejas foram instaladas sobre estrutura de telado suspensa de modo a facilitar o manejo das mesmas e também propiciar uma perfeita drenagem da água de irrigação (Figura 14I). Toda a fase de produção das mudas foi conduzida em casa de vegetação com cobertura plástica transparente e laterais fechadas com tela tipo sombrite com 30% de interceptação luminosa. As irrigações das mudas foram realizadas diariamente, de modo a manter a umidade do substrato sempre próxima da umidade na capacidade de campo (aproximadamente 5 mm dia⁻¹), favorecendo assim o pleno desenvolvimento das mudas.

Durante o período de condução das mudas, o monitoramento visual era realizado diariamente de modo a identificar possíveis problemas sanitários e nutricionais que pudessem, posteriormente, dificultar o estabelecimento e desenvolvimento na fase seguinte ao transplântio. Para este caso, foram necessárias adubações foliares, suprimindo as necessidades nutricionais das mudas que não estavam sendo supridas com o substrato utilizado. Assim, foram preparados 5 litros de calda contendo 35 ml de Concorde[®], 30 ml de Improver[®] e 2,5 ml de Triunfo[®], que foi pulverizado com bomba costal aos 30 dias após o plantio.



Figura 14 - Plantio das mudas. Feixes para o transporte dos colmos com identificação das variedades (A); Colmos após a retirada das folhas e bainhas (B); Ilustração destacando as gemas utilizadas para o plantio (C); Guilhotina utilizada para o corte do minitolete (D); Detalhe do minitolete utilizado para o plantio (E); Vista geral das bandejas preenchidas com substrato (F); Detalhe de uma das mudas fora do padrão (G); Detalhe da posição lateral (2) adotada para o plantio e a desuniformidade no tamanho do perfilho em função da posição da gema (H); Vista geral das mudas na estufa no ponto de transplântio (I)

O transplântio das mudas pré-brotadas foi realizado no dia 12 de março de 2013. Nesta data, as mudas se encontravam com altura média entre 0,30 e 0,40 m e número médio de três a cinco folhas expandidas (Figura 15A). Estes valores foram apenas referenciais, de modo que, em função da variabilidade destes parâmetros para as diferentes variedades estudadas, optou-se pelo número de dias após o plantio da gema (40 DAP) como indicativo do momento de transplântio.

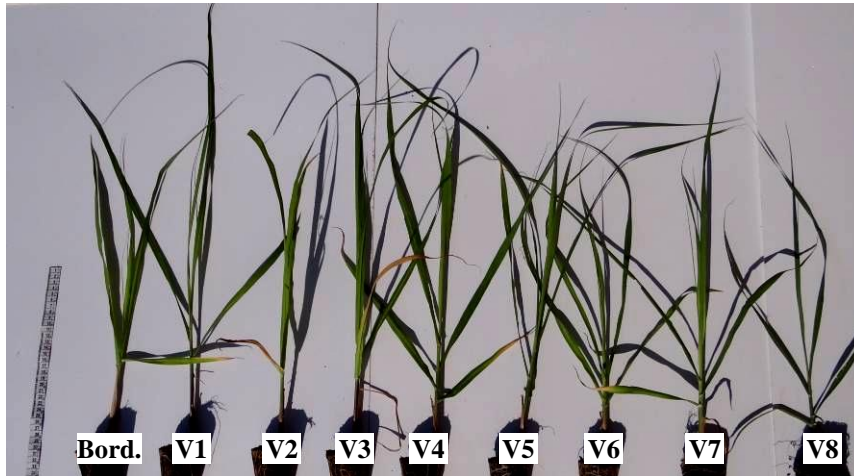
Foram transplântadas duas mudas por parcela (vaso de 0,33 m³). Incluindo a bordadura, foram 396 vasos, totalizando 792 mudas transplântadas, tendo ao final do experimento 792 touceiras formadas. Para posicionar as mudas no centro da parcela e garantir que cada uma teria a mesma área de solo disponível dentro da parcela (0,21 m² planta⁻¹), foi utilizado um molde para marcação das covas (Figura 15B). Após a marcação, as covas que receberam as mudas foram abertas com o auxílio de um trado do tipo holandês, com uma profundidade média de 0,15 m (Figura 15C). Assim, as mudas ficaram igualmente distribuídas com uma distância de 0,20 e 0,26 m das laterais da parcela e 0,52 m entre si (Figura 15D).

O solo foi umedecido anteriormente ao transplântio e estava com umidade próxima a capacidade de campo, porém, para garantir um melhor pegamento das mudas e acomodar o solo revolvido para o transplântio, retirando possíveis bolhas de ar contidas entre o solo e as raízes, foi aplicada uma lâmina mínima de 10 mm (Figura 15E).

3.4.2 Condução da cultura

Durante todo o ciclo da cultura as plantas foram constantemente monitoradas de modo a assegurar a sua sanidade (Figura 16A), garantindo que os efeitos dos tratamentos aplicados não tivessem influência de fatores não mensurados neste experimento.

As plantas daninhas, que aparentemente não causariam grande influência, poderiam prejudicar o desenvolvimento das plantas competindo pela área da parcela e, principalmente, estariam utilizando (transpirando) a água disponibilizada para a cultura, influenciando assim a disponibilidade hídrica da parcela e o consumo hídrico contabilizado para a cultura. Para tanto, o controle sempre foi preventivo, nunca chegando ao ponto de competição crítica entre a cultura e as plantas daninhas.



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

Figura 15 - Detalhes do transplântio das mudas pré-brotadas para a área experimental. Mudanças das oito variedades estudadas, mais a variedade bordadura, utilizadas no transplântio (A); Marcação das covas utilizando o molde para uniformizar o posicionamento das mudas (B); Abertura das covas utilizando trado do tipo holandês (C); Ilustração do posicionamento final das mudas dentro das parcelas (D); Vista geral da estufa no momento da irrigação realizada após o transplântio de todas as mudas (E)

No dia anterior ao transplântio, 11/03/2013 (39 DAP), foi realizada uma capina manual em todas as parcelas, garantindo que as mudas não tivessem competição desde o início do seu desenvolvimento na área experimental (Figura 16B). Após o transplântio, no dia 16/03/2013 (44 DAP), foi aplicado o herbicida pr-emergente DualGold[®] na dose de 2 L ha⁻¹, utilizando-se de uma bomba costal de 20 litros com protetor para pulverização (Chapéu de Napoleão), sendo que para aplicação em toda área experimental foram preparados 40 litros de calda. Esta aplicação se repetiu em 07/04/2013 (66 DAP), incluindo a aplicação do herbicida seletivo Sencor 480[®], na dose de 4 L ha⁻¹. Para o controle durante o restante do experimento, foram realizadas apenas capinas manuais, em virtude da baixa infestação de plantas daninhas e a dificuldade de efetuar a pulverização dos herbicidas com o crescimento da cultura, podendo a aplicação não ser eficiente ou até causar toxidez na cultura.

Quanto às pragas, houve incidência de lagartas (*Spodoptera frugiperda*), pulgões (*Melanaphys sacchari*) (Figura 16C) e ácaros (*Abacarus sacchari*). Já as doenças, estas não causaram danos ao experimento, apenas houve ocorrência de doenças secundárias ainda na fase de mudas e também a incidência de fumagina nas folhas (Figura 16D), decorrente da colonização de fungos nas secreções produzidas pelos pulgões. Uma vez que se optou por intervenções curativas, evitando aplicações desnecessárias que aumentariam o risco de contaminação/intoxicação dos pesquisadores que constantemente se encontravam na área experimental, foram necessárias apenas duas aplicações de defensivos. A primeira logo após o transplântio, no dia 25/03/2013 (53 DAP), aplicando-se 7,5 ml de Vertimec[®], 7,0 ml de Opera[®] e 0,5 ml de Certoiro[®] para o controle de ácaros, fungos e lagartas, respectivamente. Para aplicação foi utilizada bomba costal com volume de calda de 30 L para aplicação de ambos os defensivos. A segunda aplicação ocorreu em 13/07/2013 (163 DAP), sendo aplicados 17,0 g de Actara[®], 14,0 ml de Opera[®] e 1,0 ml de Certoiro[®], para controle de pulgões, fumagina e lagartas, respectivamente. Em função da altura alcançada pelas plantas e a grande massa foliar, nesta aplicação foi utilizado o sistema de microaspersão instalado acima da cultura, aplicando-se um volume de aproximadamente 300 L de calda para ambos os defensivos.

As adubações foram realizadas via fertirrigação e aplicação foliar e todas as variedades foram adubadas com base na mesma recomendação, tomando-se o devido cuidado para que nenhuma das variedades fosse submetida a qualquer restrição de nutrientes. Desta forma, o experimento não teve como objetivo ser eficiente no uso dos fertilizantes, mas sim proporcionar a melhor disponibilidade de nutrientes possível para que isso não fosse um fator limitante para nenhum dos tratamentos (Figura 16E). Tendo em vista que o excesso também é

um fator limitante (prejudicial), foram feitas coletas de solução do solo, análises foliares e análise química do solo durante a condução do experimento para que fosse garantido que não ocorresse toxidez por excesso de adubação nas plantas. Devido à pouca disponibilidade para análises ao longo do ciclo, priorizou-se a coleta das amostras entre as variedades mais discrepantes, adotando como critério o consumo hídrico (total de irrigação) até o momento da coleta.

O pacote tecnológico de adubação utilizado foi o recomendado pela Produquímica[®], utilizando-se produtos próprios para sistemas de fertirrigação, não prejudicando a vazão do sistema pelo baixo risco de entupimento. As quantidades e datas de aplicação estão detalhadas na Tabela 8 para as aplicações via fertirrigação e na Tabela 9 para as aplicações foliares. As duas primeiras aplicações foliares (aos 40 e 107 DAP) foram feitas com bomba costal e volume de calda de 60 L, as demais com o sistema de microaspersão e volume de calda de 300 L. Para as fertirrigações, os fertilizantes foram diluídos em aproximadamente 400 L de água, sendo esta solução injetada no sistema já pressurizado. Após a injeção de toda a solução fertilizante, o sistema recebia novamente água "pura" para limpeza do sistema e melhor distribuição dos fertilizantes no solo.

Tabela 8 - Quantidades e datas de aplicação dos fertilizantes pelo sistema de fertirrigação para nutrição das plantas via solo

Produto	Dias após o plantio (Data)						
	45 (17/mar)	83 (24/abr)	137 (17/jun)	189 (08/ago)	240 (28/set)	291 (18/nov)	318 (15/dez)
ProAcqua Inicial [®]	3,8 kg	-	1,0 kg	-	1,0 kg	-	-
ProAcqua Crescimento [®]	-	1,0 kg	-	1,0 kg	-	1,0 kg	1,0 kg
CanaMicros [®]	-	200,0 ml	-	-	-	-	-
Improver [®]	-	20,0 ml	20,0 ml	-	-	-	-
Ácido Húmico	-	-	-	-	300,0 ml	300,0 ml	300,0 ml
Ever [®]	-	-	-	-	10,0 ml	10,0 ml	10,0 ml

Tabela 9 - Quantidades e datas de aplicação dos fertilizantes foliares para complementação nutricional das plantas

Produto	Dias após o plantio (Data)				
	40 (12/mar)	107 (18/mai)	128 (08/jun)	240 (28/set)	291 (18/nov)
Concorde [®]	35,0 ml	60,0 ml	100,0 ml	100,0 ml	100,0 ml
Improver [®]	30,0 ml	-	-	-	-
Triunfo [®]	2,5 ml	30,0 ml	150,0 ml	150,0 ml	150,0 ml
CanaMicros [®]	-	210,0 ml	400,0 ml	400,0 ml	400,0 ml

É importante salientar que, durante a condução da cultura foram coletadas as folhas secas (fotossinteticamente inativas). Como as folhas mais velhas senescem naturalmente e tendem a se soltar do colmo, e nem sempre caem sobre a parcela, isso dificultaria a identificação de qual parcela seria a folha caída para a determinação da matéria seca das folhas. Assim, foram coletados e armazenados em sacos de papel identificado apenas os limbos foliares, mantendo-se as bainhas junto ao colmo (Figura 16F) para não induzir a brotação das gemas. Esse processo de retirada das folhas secas também serviu para reduzir o risco de incêndio na estufa e facilitar a colheita final do experimento. Outro detalhe importante de ser ressaltado é que no caso deste experimento, conduzido em estufa, as folhas não sofreram degradação/decomposição pelos agentes do clima e/ou solo (principalmente chuva e microorganismos). Assim, o resultado de matéria seca de folhas é realmente condizente com o total de matéria seca alocado nas folhas pela planta.

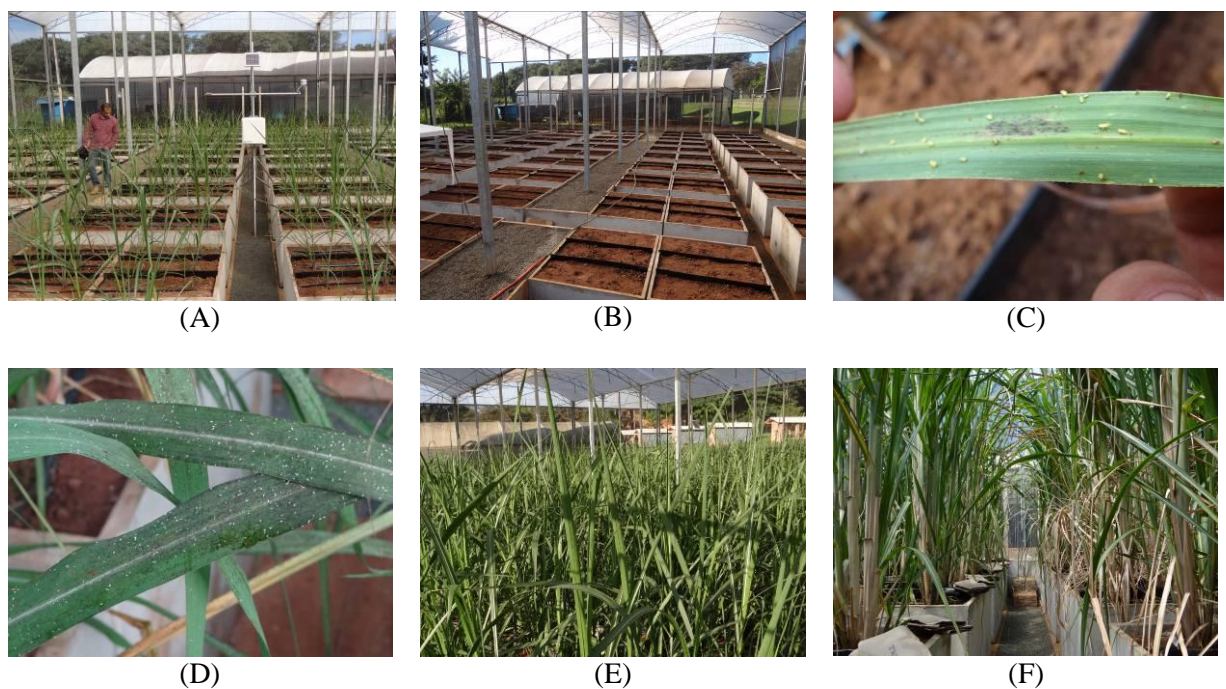


Figura 16 - Imagens da condução da cultura. Monitoramento das plantas para assegurar a sanidade durante o experimento (A); Vista geral da estufa antes do transplante das mudas e após a capina manual (B); Detalhe de uma folha com incidência de pulgões (C); Detalhe de uma folha com incidência de fumagina (D); Vista geral do dossel das plantas sem sintomas de deficiência ou toxidez nutricional (E); Detalhe da coleta dos limbos foliares secos e seu armazenamento em sacos de papel identificados nas parcelas à esquerda da imagem e parcelas ainda com limbos foliares secos à direita da imagem (F)

3.4.3 Manejo da Irrigação

Para identificar as diferentes necessidades hídricas de cada variedade, adotou-se o manejo da irrigação via solo, repondo o volume de água consumido de cada variedade em função dos dados de tensão de água no solo (tensiometria), medidos nos 72 tensiômetros (sensores de solo) instalados nas parcelas com os tratamentos de Lâmina-L100 e Maturação-M3 (Figura 17A). Para coleta destes dados, utilizou-se um tensímetro digital de punção (Figura 17B) devidamente calibrado em um manômetro de coluna de mercúrio. O intervalo máximo entre as leituras foi de 2 dias, sempre coletando os dados no período da manhã, entre 7:00 e 8:00 h, quando a variação nos dados é menor em função da temperatura do ambiente (CAMARGO, 2012).

Os dados coletados com o tensímetro digital foram inicialmente transformados em potencial matricial da água no solo (ψ_m) (Equação 1), descontando-se a pressão equivalente à altura da coluna d'água no tensiômetro para cada profundidade medida. A pressão equivalente descontada foi de 3,0, 5,0 e 7,0 kPa para os tensiômetros que representam as camadas de 0,00-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, respectivamente.

$$\Psi_m = L_t - h_c \quad (1)$$

em que:

ψ_m - potencial matricial da água no solo (kPa);

L_t - leitura do tensiômetro ou tensão da água no solo (kPa);

h_c - pressão equivalente à altura da coluna d'água no tensiômetro (kPa);

Após obter os dados do potencial matricial da água no solo (ψ_m) foi calculada a média entre as leituras dos três blocos, obtendo uma leitura para cada camada para cada variedade (24 valores de ψ_m). Com estes valores, foi estimada a umidade (θ), em $m^3 m^{-3}$, através do modelo proposto por van Genuchten (1980) (Equação 2), que relaciona os valores de ψ_m com os respectivos valores de θ , utilizando os parâmetros característicos deste solo apresentados na Tabela 7.

$$\theta(\Psi_m) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot |\Psi_m|)^n]^m} \quad (2)$$

em que:

$\theta(\psi_m)$ - umidade volumétrica em função do potencial mátrico, em $m^3 m^{-3}$;

θ_r - umidade volumétrica residual do solo, em $m^3 m^{-3}$;

θ_s - umidade volumétrica do solo saturado, em $m^3 m^{-3}$;

m e n - parâmetros de regressão da equação, adimensionais;

α - parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, em kPa^{-1} ; e

ψ_m - potencial mátrico, em kPa.

Assim, com os dados de umidade estimados acima e a caracterização físico-hídrica do solo de cada camada (Tabela 6), foram calculadas as lâminas de irrigação necessárias para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo (θ_{cc}) para cada variedade do tratamento L100 (Equação 3).

$$L_x = (\theta_{cc} - \theta) \cdot Z \quad (3)$$

em que:

L_x - lâmina necessária para elevar a umidade da camada x até a capacidade de campo, em mm;

θ_{cc} - umidade volumétrica na capacidade de campo para a camada x , em $m^3 m^{-3}$;

θ - umidade volumétrica atual estimada para a camada x , em $m^3 m^{-3}$; e

Z - Espessura da camada x , em mm.

A somatória das lâminas necessárias de cada camada (Equação 4) resultou na lâmina de irrigação a ser aplicada para cada variedade.

$$LI = L_{0,0-0,2} + L_{0,2-0,4} + L_{0,4-0,6} \quad (4)$$

em que:

LI - lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, em mm;

$L_{0,0-0,2}$ - lâmina necessária para elevar a umidade da camada 0,0 a 0,2 m até a capacidade de campo, em mm;

$L_{0,2-0,4}$ - lâmina necessária para elevar a umidade da camada 0,2 a 0,4 m até a capacidade de campo, em mm; e

$L_{0,4-0,6}$ - lâmina necessária para elevar a umidade da camada 0,4 a 0,6 m até a capacidade de campo, em mm.

Para facilitar o manejo e os cálculos, foi utilizada uma planilha montada no Software Microsoft Excel[®] (Figura 17C), sendo o último passo o cálculo do tempo de irrigação necessário para cada variedade (Equação 5). Para o cálculo do tempo de irrigação, adotou-se a vazão do sistema de $8 L h^{-1}$ para cada parcela e a área de solo da parcela de $0,43 m^2$.

$$TI = \frac{LI \cdot A}{Q} \cdot 60 \quad (5)$$

em que:

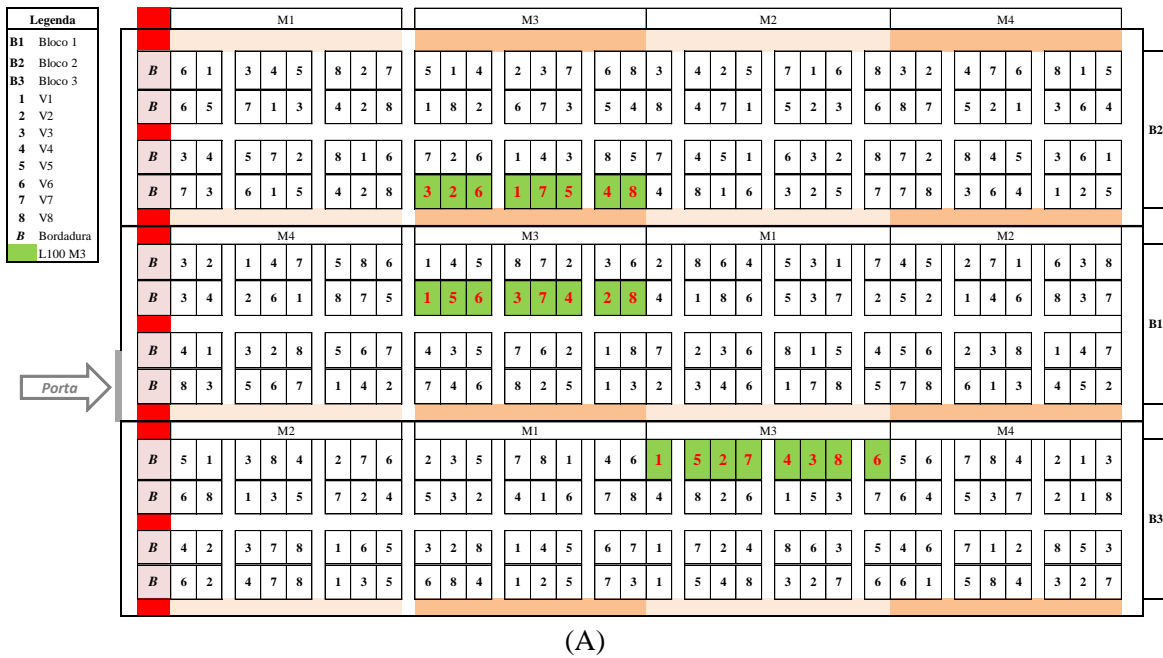
TI - tempo de irrigação, em minutos;

LI - lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, em mm;

A - área de solo da parcela, em m^2 ; e

Q - vazão do sistema, em $L h^{-1}$.

Assim, a lâmina de irrigação (LI) de cada variedade foi adotada como lâmina referência, bem como o tempo de irrigação (TI). Para a irrigação dos demais tratamentos (L50, L75 e L125), foi calculada a fração do tempo de irrigação que deveria ser aplicada de acordo com o tratamento e fase do experimento, como descrito no tópico 3.2 (Delineamento experimental e tratamentos). Nos tratamentos de maturação (M1, M2, M3 e M4), seguiu-se o mesmo critério de cálculo da fração do tempo de irrigação, também detalhado no tópico 3.2.



(A)



(B)

Classe Textural: Franco-Arenoso		ψcc (kPa)		ψppm (kPa)		Variedade			Umidade Atual (cm ³ /cm ³)			Lamina de Rep. (mm)			Tempo de Irr. (min)		
Prof. Tens.	Prof. Repr.	Z (mm)	4.85	1500	CAD (mm)	ψ10	ψ30	ψ50	ε10	ε30	ε50	Lc1	Lc2	Lc3	LPI	TirPI	
10 cm	0	20 cm	200	0.2269	0.1058	24.220	1	9.5	18.5	25.6	0.210	0.178	0.190	3.4	9.7	23.4	75
30 cm	70	40 cm	700	0.2764	0.0983	25.616	2	6.2	8.1	6.8	0.255	0.255	0.374	0.0	0.0	0.0	0
50 cm	40-50 cm	200	0.2411	0.1323	22.760	3	4.7	5.2	15.2	0.310	0.408	0.215	0.0	0.0	4.6	4.6	15
71.597						4	3.6	8.2	12.3	0.369	0.253	0.237	0.0	0.0	0.9	0.9	3
Parâmetros						5	5.6	5.9	16.9	0.273	0.355	0.211	0.0	0.0	6.1	6.1	19
0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm															
θ	1.8464	1.5708	1.1291														
m	0.1799	0.1648	0.2149														
n	2.7175	2.5028	1.5629														
Br	0.0980	0.0850	0.1220														
Bs	0.4210	0.4120	0.3740														
Van Genuchten (1980) $\psi \geq 0$ $\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m}$																	
Prof. Tens. cmCADtotal kPa																	
10 cm	30	3															
30 cm	50	5															
50 cm	70	7															

(C)

Figura 17 - Manejo da irrigação. Croqui do experimento destacando as parcelas onde foram coletados os dados de tensão de água no solo (A); Tensímetro digital de punção utilizado para coleta dos dados de tensão (B); Imagem da planilha no Software Microsoft Excel® utilizada para o manejo da irrigação (C)

Para o caso do tratamento M4 (Drying off) o corte total da irrigação 15 dias antes do início da colheita é resultado da Equação 6, que relaciona o volume total de água disponível na parcela (72,0 mm) com a evapotranspiração de referência média calculada pelo método de Penman-Monteith (2,5 mm).

$$TSI = \frac{CAD}{ET_o \cdot 2} \tag{6}$$

em que:

TSI - tempo sem irrigação no final do ciclo, em dias;

CAD - capacidade de água disponível para a camada de 0,0 a 0,6 m, em mm; e

ET_o - evapotranspiração de referência média dos 30 dias anteriores ao corte da irrigação, em mm.

3.4.4 Manutenções e adversidades ao longo do experimento

O trabalho de experimentação no interior de uma estufa agrícola requer limpezas periódicas do plástico de cobertura e eventualmente até mesmo a sua troca. Para manter um padrão de radiação dentro do ambiente interno que fosse compatível com um bom desenvolvimento das plantas, o plástico de cobertura da estufa foi lavado (Figura 18A) antes do transplante das mudas (Fevereiro de 2013) e trocado (Figura 18B) no final do inverno (Agosto de 2013), garantindo o máximo da radiação disponível nas fases em que esse seria o fator mais limitante para o crescimento das plantas. Para o trabalho em altura, foi necessária a contratação de uma empresa especializada, além da implantação de “Linhas de Vida” para suporte dos equipamentos de segurança dos trabalhadores.

Durante a condução do experimento, ocorreram tempestades muito fortes em Piracicaba-SP, sendo que em uma delas a velocidade dos ventos atingiu o valor de 180 km h^{-1} , ocasionando diversos estragos na Universidade e na cidade. Nesta ocasião, a cana-de-açúcar dentro da estufa sofreu tombamento parcial (Figura 18C), tendo sido necessário reposicionar as plantas na posição vertical manualmente (Figura 18D), para evitar prejuízos ao experimento em andamento.

Na fase final de condução do experimento, o peso dos colmos e os danos das tempestades anteriores fez com que as plantas de algumas variedades iniciassem o processo de acamamento natural dentro da estufa. Para evitar que as variedades ainda eretas e os tratamentos com menores níveis de irrigação fossem prejudicados, optou-se por amarrar as plantas (Figura 18E), de modo a estabilizar o processo de acamamento, através de uma operação manual moita a moita, com a utilização de fitilhos plásticos (Figura 18F) e arames de suporte internos dentro da estufa.

3.5 Colheita do experimento e variáveis analisadas

Iniciou-se a colheita do experimento no dia 16 de fevereiro de 2014 (381 DAP) e, devido ao grande número de amostras, se estendeu até 27 de fevereiro de 2014 (392 DAP). Para minimizar os erros experimentais do longo período de colheita, o experimento foi colhido bloco a bloco, colhendo-se 32 parcelas (64 touceiras) por dia. Também se observou durante a condução do experimento que, mesmo com todos os cuidados de seleção das mudas, as duas touceiras formadas em algumas parcelas apresentavam comportamentos diferenciados de crescimento. Assim, optou-se por coletar e analisar a biomassa de cada touceira

individualmente, resultando num benefício direto para as análises estatísticas, com informações sobre a variabilidade entre as touceiras da mesma parcela e identificação de "outliers".

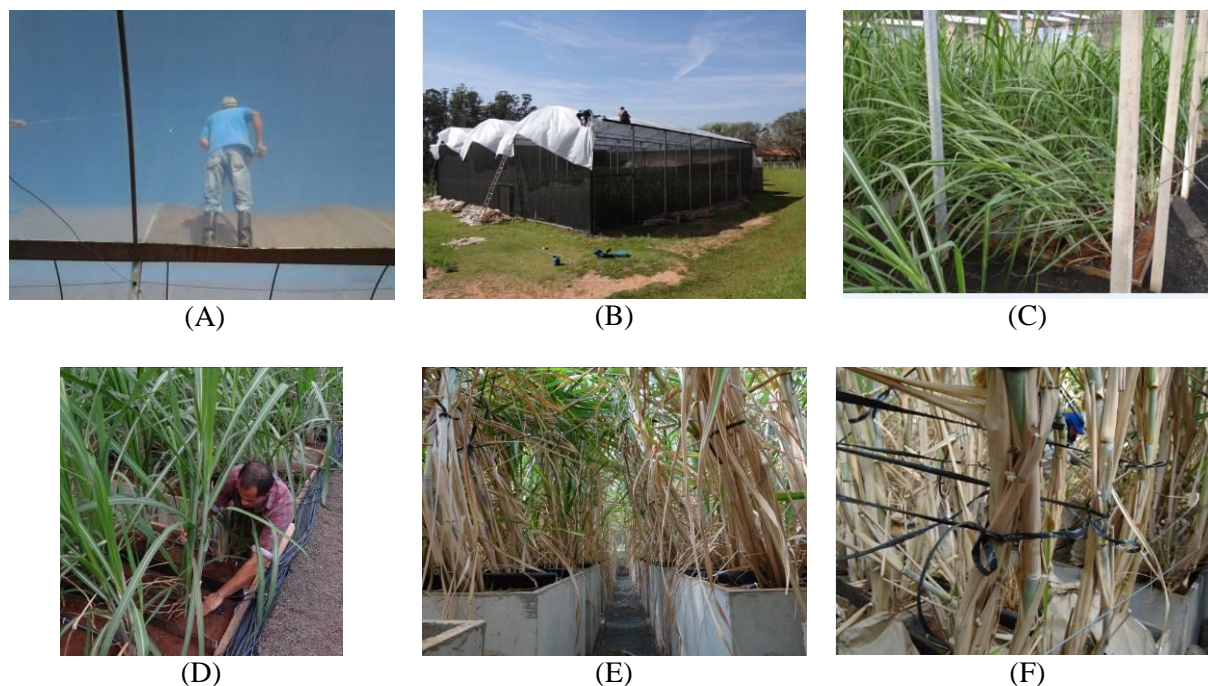


Figura 18 - Manutuições e adversidades ao longo do experimento. Limpeza do plástico de cobertura da estufa (A); Troca do plástico de cobertura da estufa (B); Vista geral com as plantas parcialmente tombadas (C); Reposicionamento manual das plantas após o tombamento (D); Vista geral com as plantas amarradas (E); Detalhe das plantas amarradas com fitilho plástico (F)

Em resumo, o procedimento de colheita iniciou-se com a contagem dos perfilhos produtivos e perfilhos improdutivos da touceira, adotando-se o critério de que todo perfilho sem a presença de colmo desenvolvido foi considerado como improdutivo. Posteriormente a contagem, os perfilhos improdutivos foram coletados e armazenados em sacos de papel identificados (Figura 19A).

Os perfilhos produtivos foram cortados e levados até uma bancada (Figura 19B) para retirar e separar o desponte, bainha e limbo foliar dos colmos. Este trabalho foi realizado manualmente (Figura 19C) sendo cada uma das partes retiradas armazenada separadamente em saco de papel identificado para posterior secagem em estufa e quantificação da matéria seca. Os colmos "limpos" foram pesados, amarrados em feixes e identificados (Figura 19D) seguindo posteriormente para análise tecnológica. Para realizar todo este procedimento de colheita foram necessários aproximadamente 12 colaboradores, sendo a equipe formada por alunos da pós-graduação e graduação da ESALQ, e também estagiários do Instituto Federal Goiano.

Para determinação das análises tecnológicas, utilizou-se a metodologia preconizada pelo CONSECAN (2006). Assim, os colmos de cada parcela (duas touceiras) foram desintegrados (Engehidro DCE 2600[®]) e este material desintegrado foi homogeneizado (Engehidro HCE-250[®]) (Figura 19E), obtendo-se uma amostra mínima de 2,0 kg, representativa de cada parcela (Figura 19F). Da amostra homogeneizada foi pesado 0,50 kg de material, em balança analítica digital, sendo esta quantidade de material submetido a uma pressão de 250 kgf cm⁻², durante um minuto, utilizando-se de uma prensa hidráulica (MA098/CANA - Marconi[®]) (Figura 19G). Após a prensagem, foram obtidos dois produtos, o caldo (CA), que foi armazenado em Becker de 600 ml, e o bagaço úmido ou bolo úmido (BU), que foi armazenado em recipientes descartáveis (marmitas) de alumínio (Figura 19H).

Assim, após o procedimento de colheita, ou até mesmo durante o procedimento para alguns casos, foram analisadas as seguintes variáveis:

3.5.1 Brix do caldo - Brix (°Brix)

Com uma amostra do volume de caldo extraído, realizaram-se as medidas de Brix do caldo em °Brix, que representa o teor de sólidos solúveis por cento, em peso de caldo. Para esta análise, utilizou-se um refratômetro digital de bancada (Rudolph J47[®]) com correção automática de temperatura (20 °C) (Figura 19I).

3.5.2 POL do caldo - POL (%)

Para calcular a POL do caldo, inicialmente parte da amostra de caldo extraída foi levada para o processo de clarificação (Figura 19J). Para isso, utilizou-se aproximadamente 6,0 g da mistura clarificante à base de alumínio em 200 ml de caldo. Após agitação da mistura e filtragem, obteve-se o caldo clarificado (Figura 19K), no qual foram realizadas as leituras sacarimétricas - LPb (°Z), utilizando-se um sacarímetro digital (Autopol I Rudolph[®]) (Figura 19L). Com os dados das leituras sacarimétricas, foi calculada a POL pela Equação 7.

$$POL_{\text{caldo}} = (1,00621 \cdot LAI + 0,05117) \cdot (0,2605 - 0,0009882 \cdot \text{Brix}) \quad (7)$$

em que:

POL_{caldo} - teor de sacarose aparente, por cento, em peso de caldo;

LAI - leitura sacarimétrica obtida com a mistura clarificante à base de alumínio, em °Z; e

Brix - brix do caldo, em °Brix.

3.5.3 Pureza aparente do caldo - Pureza (%)

Com os valores de POL e Brix dos itens anteriores, foi realizado o cálculo da pureza aparente do caldo pela Equação 8.

$$\text{Pureza} = \frac{\text{POL}_{\text{caldo}}}{\text{Brix}} \cdot 100 \quad (8)$$

em que:

Pureza - pureza aparente do caldo, em %;

POL_{caldo} - teor de sacarose aparente, por cento em peso de caldo; e

Brix - brix do caldo, em °Brix.

3.5.4 Fibra da cana-de-açúcar - Fibra (%)

Para determinação da fibra da cana-de-açúcar optou-se pelo método de Tanimoto (Equação 9). Para isso, obteve-se o peso do bagaço ou bolo úmido (PBU) imediatamente após a prensagem do material e também o peso do bagaço ou bolo seco (PBS) após o material ser seco em estufa com circulação forçada de ar.

$$\text{Fibra} = \frac{(100 \cdot \text{PBS}) - (\text{PBU} \cdot \text{Brix})}{5 \cdot (100 - \text{Brix})} \quad (9)$$

em que:

Fibra - fibra da cana-de-açúcar, em %;

PBS - peso do bolo seco, em g;

PBU - peso do bolo úmido, em g; e

Brix - brix do caldo, em °Brix.

3.5.5 Açúcares redutores da cana - AR (%)

Para determinação dos açúcares redutores da cana (Equação 11), foram primeiramente calculados os açúcares redutores do caldo, pela equação 10.

$$\text{AR}_{\text{caldo}} = 3,641 - (0,0343 \cdot \text{Pureza}) \quad (10)$$

$$\text{AR}_{\text{cana}} = \text{AR}_{\text{caldo}} \cdot (1 - 0,01 \cdot \text{Fibra}) \cdot (1,0113 - 0,00575 \cdot \text{Fibra}) \quad (11)$$

em que:

AR_{caldo} - açúcares redutores do caldo, em %;

AR_{cana} - açúcares redutores da cana, em %;

Pureza - pureza aparente do caldo, em %; e

Fibra - fibra da cana-de-açúcar, em %.



Figura 19 - Imagens da colheita do experimento e da análise tecnológica dos colmos. Coleta e armazenamento dos perfilhos improdutivos (A); Perfilhos produtivos cortados e já posicionados sobre a bancada (B); Detalhe da separação manual das diferentes partes do perfilho produtivo (C); Identificação dos colmos "limpos" após o trabalho de separação (D); Desintegração e homogeneização dos colmos (E); Detalhe da coleta da amostra homogeneizada representativa da parcela (F); Pesagem e prensagem do material para extração do caldo (G); Detalhe do caldo e bolo úmido obtidos após a prensagem (H); Refratômetro digital de bancada (Rudolph J47[®]) para leitura de Brix (I); Vista geral do processo de clarificação (J); Detalhe do caldo clarificado (K); Sacarímetro digital (Autopol I Rudolph[®]) para leitura sacarimétrica (L)

3.5.6 Açúcar total recuperável - ATR (kg t⁻¹)

Para determinação do açúcar total recuperável (Equação 13), definido como medida para remuneração ao produtor de cana-de-açúcar, considerando-se as perdas industriais, foi primeiramente calculada a POL da cana-de-açúcar, pela Equação 12.

$$POL_{cana} = POL_{caldo} \cdot (1 - 0,01 \cdot Fibra) \cdot (1,0313 - 0,00575 \cdot Fibra) \quad (12)$$

$$ATR = (10 \cdot POL_{cana} \cdot 1,05263 \cdot 0,905) + (10 \cdot AR_{cana} \cdot 0,905) \quad (13)$$

em que:

POL_{cana} - teor de sacarose aparente, por cento em peso de cana

POL_{caldo} - teor de sacarose aparente, por cento em peso de caldo

Fibra - fibra da cana-de-açúcar, em %;

ATR - açúcar total recuperável, em kg t⁻¹;

1,05263 - coeficiente estequiométrico de conversão da sacarose em açúcares redutores;

0,905 - coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 9,5%; e

AR_{cana} - açúcares redutores da cana, em %.

3.5.7 Umidade do colmo - Umidade (%)

Para determinação da umidade do colmo, foi utilizada a Equação 14, que desconta da massa total do colmo a porcentagem de fibra e também de sólidos solúveis, chegando ao resultado da porcentagem de água presente no colmo.

$$Umidade = 100 - Fibra - \left[Brix \cdot \left(1 - \frac{Fibra}{100} \right) \right] \quad (14)$$

em que:

Umidade - teor de umidade do colmo, em %;

Fibra - fibra da cana-de-açúcar, em %; e

Brix - brix do caldo, em °Brix.

3.5.8 Produtividade de colmos por hectare - TCH (t ha⁻¹)

Imediatamente após o corte e a limpeza, os colmos foram pesados em balança digital semianalítica, obtendo-se a biomassa fresca de colmos (BFC) de cada touceira. A produtividade de colmos por hectare - TCH (t ha⁻¹) foi extrapolada considerando-se a soma da biomassa fresca de colmo das duas touceiras e a área útil ocupada pelo dossel das plantas em cada parcela. Não foi considerada somente a área de solo da parcela, para não superestimar o

valor de produtividade extrapolado. Para isso, foi calculada a produtividade para a área de solo da parcela ($0,43 \text{ m}^2 \text{ parcela}^{-1}$) e também para a área total disponível para o dossel, considerando os corredores ($0,81 \text{ m}^2 \text{ parcela}^{-1}$) com a Equação 15, a primeira "superestimando" e a segunda "subestimando" os resultados. Assim, o valor de produtividade considerado/ajustado é o resultado da média entre os dois valores calculados anteriormente, representando o valor de produtividade médio para a área útil ocupada pelo dossel das plantas da parcela (aproximadamente $0,62 \text{ m}^2 \text{ parcela}^{-1}$). Esta metodologia foi adotada em função da dificuldade e incerteza nas extrapolações de cultivos em ambiente protegido para os padrões geralmente adotados no campo (efeito "bouquet"), ressaltando que o objetivo é a comparação dos tratamentos sob a mesma condição de cultivo, porém, mantendo os valores/parâmetros medidos dentro de uma ordem de grandeza aceitável.

$$\text{TCH} = \frac{\left(\frac{\text{BFC}}{0,43} \cdot 10 \right) + \left(\frac{\text{BFC}}{0,81} \cdot 10 \right)}{2} \quad (15)$$

em que:

TCH - produtividade de colmos por hectare, em t ha^{-1} ;

BFC - biomassa fresca de colmos, em kg;

0,43 e 0,81 - área de solo da parcela e área disponível para o dossel das plantas, em m^2 ; e

10 - Fator para conversão de kg m^{-2} para t ha^{-1} .

3.5.9 Rendimento bruto de açúcar - RBA (t ha^{-1})

O cálculo do rendimento bruto de açúcar por área foi extrapolado com a Equação 16, levando-se em consideração os cálculos anteriores de TCH e de ATR.

$$\text{RBA} = \frac{\text{TCH} \cdot \text{ATR}}{1000} \quad (16)$$

em que:

RBA - rendimento bruto de açúcar, em t ha^{-1} ;

TCH - produtividade de colmos por hectare, em t ha^{-1} ; e

ATR - açúcar total recuperável, em kg t^{-1} .

3.5.10 Produtividade da água para açúcar - PAA (kg m^{-3})

Para calcular a produtividade da água (eficiência no uso da água), foi necessário calcular a quantidade total de açúcar produzida em cada parcela (Equação 17) e estimar o volume total de água aplicado em cada parcela, somando-se todas as irrigações realizadas ao longo do experimento. De posse destes dados, a PAA foi calculada pela Equação 18.

$$AT_{\text{parcela}} = \frac{BFC}{1000} \cdot ATR \quad (17)$$

$$PAA = \frac{AT_{\text{parcela}}}{VT_{\text{irrigação}}} \quad (18)$$

em que:

AT_{parcela} - total de açúcar produzido na parcela, em kg;

BFC - biomassa fresca de colmos, em kg;

ATR - açúcar total recuperável, em kg t^{-1} ;

PAA - produtividade da água para açúcar; em kg m^{-3} ; e

$VT_{\text{irrigação}}$ - volume total de água aplicado na parcela, em m^{-3} .

3.5.11 Biomassa seca da parte aérea das plantas - BIOM (g)

A biomassa seca total da parte aérea das plantas foi obtida somando-se a matéria seca de todas as partes amostradas da planta durante a colheita e também dos limbos foliares secos coletados ao longo do experimento. Sendo assim, após a secagem do material em estufa de circulação forçada de ar, somou-se a matéria seca de perfilho improdutivo, limbo foliar total, bainha, desponte, e colmo de cada parcela. Ressalta-se que, para obtenção da matéria seca de colmo, o valor foi estimado adotando-se os valores de umidade calculados no item 3.5.7. Assim, a matéria seca de colmo representa a somatória de fibras e sólidos solúveis, descontando-se apenas a água. As demais partes tiveram todo seu material seco em estufa, sendo o peso medido em balança analítica digital.

3.5.12 Produtividade da água para biomassa - PAB (kg m^{-3})

Para calcular a produtividade da água (eficiência no uso da água) para biomassa, foi necessário converter os dados de BIOM de gramas para quilogramas, simplesmente dividindo os valores originais por 1000. De posse dos dados de BIOM convertidos, a PAB foi calculada pela Equação 19.

$$PAB = \frac{BIOM}{VT_{\text{irrigação}}} \quad (19)$$

em que:

PAB - produtividade da água para biomassa; em kg m^{-3} ;

BIOM - biomassa seca da parte aérea das plantas; em kg; e

$VT_{\text{irrigação}}$ - volume total de água aplicado na parcela, em m^{-3} .

3.5.13 Número de folhas do perfilho principal - $F_{\text{Ref -1}} / FV$

Durante o procedimento da colheita, identificamos e separamos o perfilho principal de cada touceira, aquele perfilho que foi o primeiro a ser emitido pela gema e que foi conduzido ao longo de todo o experimento. Neste perfilho, foi contado o número de folhas, utilizando a identificação foliar do “sistema Kuijper” (Figura 20A), contabilizando todas as folhas expostas (até a Folha -1), tanto secas como verdes e desconsiderando apenas as folhas ainda "enroladas" no cartucho. Também foi contabilizado o número de folhas verdes (FV), adotando-se um critério visual (Figura 20B) de que as folhas poderiam estar totalmente verdes (atribuído valor 1), parcialmente verdes (atribuído valor 0,5) ou totalmente secas (atribuído valor 0,0). Com a quantidade de folhas aferidas em cada perfilho, foi calculada a média entre os dois perfilhos principais da parcela obtendo os valores médios do número de folhas total até a folha -1 ($F_{\text{Ref -1}}$), representando folhas secas e verdes, e o número total de folhas verdes (FV) do perfilho principal de cada parcela.

3.5.14 Índice de colheita - IC

O índice de colheita (IC) é um quociente frequentemente utilizado para medir a eficiência de conversão de produtos sintetizados em material de importância econômica (MARAFON, 2012). Foi calculado inicialmente o índice com base na biomassa da parte aérea (IC-A), sendo a razão entre a massa total de açúcar produzido na parcela (fração economicamente rentável) e a biomassa seca da parte aérea (Equação 20). Na sequência, foi calculado também o índice com base na biomassa total (IC-T), considerando a biomassa seca total das plantas: parte aérea mais sistema radicular (Equação 21). Para isso, adotou-se a biomassa do sistema radicular como 22,0% da biomassa total da planta (FARIAS et al., 2008), ou seja, acrescentou-se 28,0 % na biomassa da parte aérea.

$$IC-A = \frac{AT_{\text{parcela}}}{BIOM} \quad (20)$$

$$IC-T = \frac{AT_{\text{parcela}}}{BIOM \cdot 1,28} \quad (21)$$

em que:

AT_{parcela} - total de açúcar produzido na parcela, em kg; e

$BIOM$ - biomassa seca da parte aérea das plantas; em kg.

3.5.15 Índice de maturação do colmo principal - IM

O índice de maturação foi medido no colmo do perfilho principal, o mesmo perfilho separado para contagem do número de folhas. Todos os colmos identificados foram levados para o laboratório e individualmente tiveram seu caldo extraído em quatro porções do colmo (Figura 20C): base, intermediário inferior, intermediário superior e ponta. Como o tamanho dos colmos e o número de entrenós foram variáveis dependendo dos tratamentos, adotou-se como critério extrair o caldo do segundo entrenó acima do corte do colmo (representando a base), do penúltimo entrenó anterior ao ponto de desponte do colmo (representando a ponta) e, visualmente, nos entrenós centrais da parte inferior e superior do colmo. Considerando-se que em média os colmos tiveram 21 entrenós, foram amostrados os entrenós 2, 7, 15 e 20, representando a base, intermediário inferior, intermediário superior e ponta, respectivamente.

O caldo extraído foi analisado no refratômetro digital de bancada (Rudolph J47[®]) e com o valor de Brix medido, foram calculados os índices de maturação pelas equações abaixo.

$$IM-1 = \frac{Brix_{inferior}}{Brix_{base}} \quad (22)$$

$$IM-2 = \frac{Brix_{superior}}{Brix_{base}} \quad (23)$$

$$IM-3 = \frac{Brix_{ponta}}{Brix_{base}} \quad (24)$$

em que:

IM-1, IM-2 e IM-3 - índices de maturação para as diferentes porções do colmo;

Brix_{base} - brix representativo da base do colmo, em °Brix;

Brix_{inferior} - brix representativo da porção média inferior do colmo, em °Brix;

Brix_{superior} - brix representativo da porção média superior do colmo, em °Brix; e

Brix_{ponta} - brix representativo da ponta do colmo, em °Brix.

3.5.16 Índice de clorofila FALKER - ICF

Para a determinação do índice de clorofila, foi utilizado o aparelho Clorofilog CFL1030 Falker[®], sendo as leituras de clorofila total (Clorofila A mais Clorofila B) expressas em Índice de Clorofila Falker (ICF). As medidas foram feitas de forma não destrutiva, apenas pinçando as folhas das plantas (Figura 20D). Foram realizadas três medidas por planta (duas

plantas por parcela) ao longo do terço médio do limbo foliar da folha +1 (a folha mais jovem totalmente expandida), desconsiderando a nervura central. Assim, foram obtidas 6 leituras por parcela, sendo a média das leituras o valor de ICF representativo da parcela.

Foram realizadas três avaliações ao longo do experimento. A primeira (ICF-1) no dia 15 de julho de 2013 (165 DAP), 30 dias após a imposição dos tratamentos de Lâmina de irrigação. A segunda (ICF-2) no dia 23 de outubro de 2013 (265 DAP), 100 dias após a primeira leitura, porém ainda sem imposição dos tratamentos de Maturação. E a terceira (ICF-3) durante a colheita, aproximadamente 100 dias após a segunda e já com o resultado da imposição do tratamento de Maturação. Na obtenção do ICF-3, algumas plantas apresentavam a folha +1 completamente seca. Assim, o critério adotado foi de realizar a leitura na folha verde subsequente. No caso de todas as folhas estarem secas, adotou-se valor zero de ICF para esta planta.

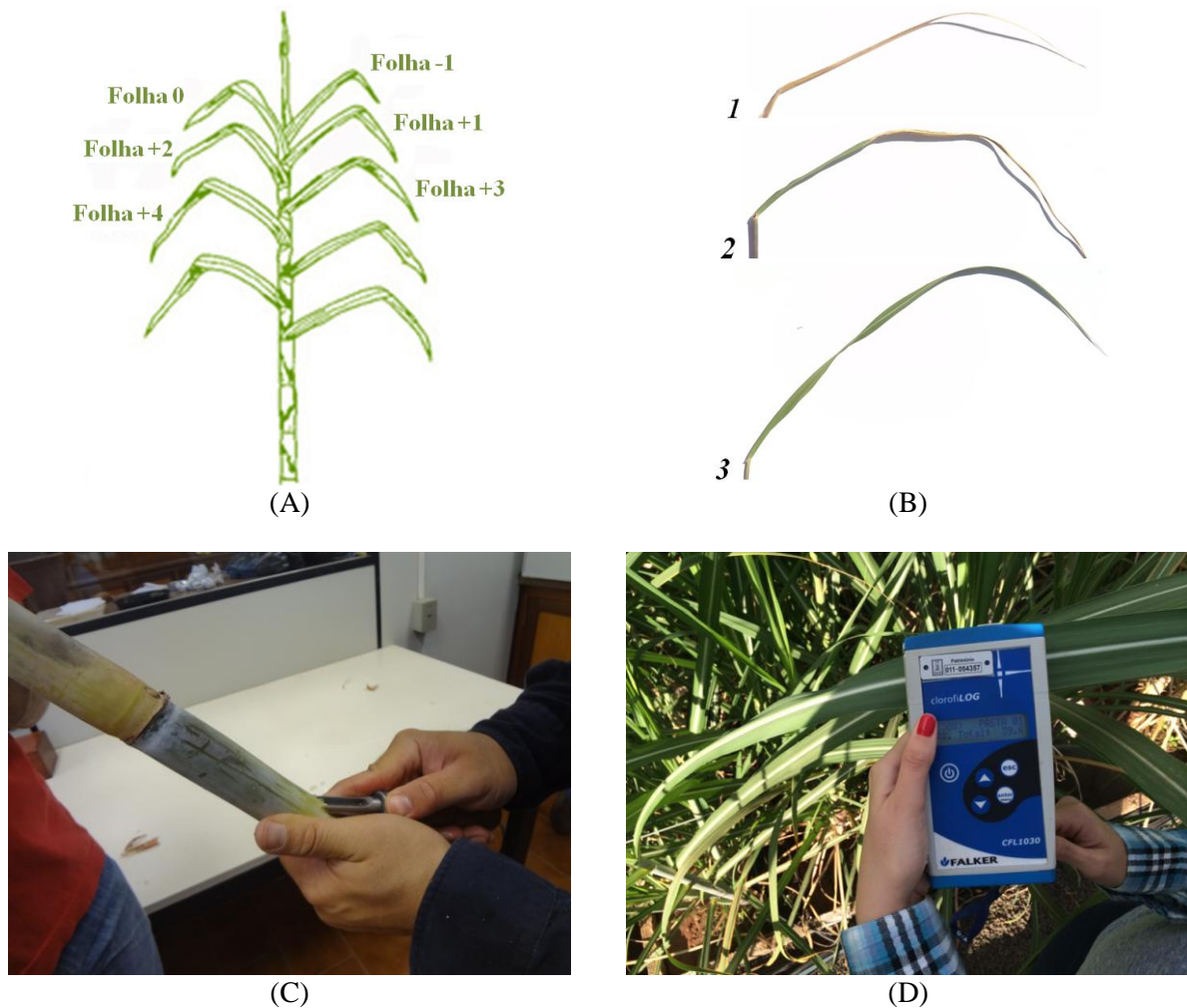


Figura 20 - Imagens com detalhes de algumas das variáveis analisadas. Ilustração com a identificação foliar do “sistema Kuijper” (A); Critério visual utilizado para quantificar folhas verdes exemplificando uma folha totalmente seca (1), parcialmente verde (2) e totalmente verde (3) (B); Extração do caldo para determinação do Brix representativo de cada porção do colmo (C); Leitura do índice de clorofila FALKER utilizando o Clorofilog (D)

3.6 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c)

Para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) utilizou-se a equação de Penman-Monteith (Equação 25), método padrão proposto pela FAO (ALLEN, et al. 1998) e os dados do Posto Meteorológico (PM) de Piracicaba/LEB-ESALQ, disponíveis na base de dados da estação meteorológica automática da área de física e meteorologia (<http://www.leb.esalq.usp.br/automatica/pagina6.html>).

Importante destacar que, como no interior da estufa não foi medida a velocidade do vento, o Boletim FAO 56 recomenda que, a velocidade do vento a 2,0 m (u_2) deve ser mantida em um valor mínimo de cerca de $0,5 \text{ m s}^{-1}$, quando utilizado a equação de Penman-Monteith. Pois, é necessário para explicar os efeitos da instabilidade da camada limite e fluatibilidade do ar que promovem a troca de vapor à superfície quando o ar está calmo. Ao estabelecer o valor de u_2 em cerca de $0,5 \text{ m s}^{-1}$, a precisão da estimativa melhora, para condições de velocidade do vento muito baixas (ALLEN et al., 1998). Porém, a utilização dos dados meteorológicos medidos no interior da estufa (temperatura, radiação e umidade) e um valor próximo de $0,5 \text{ m s}^{-1}$ para o vento, não apresentaram bons resultados para a estimativa da ET_o no interior da estufa (ET_o - Estufa), com valores diários subestimados. A subestimativa pode ser explicada, principalmente, pelas características estruturais da estufa, que apresenta um pé direito de 5,2 m, que melhora a circulação de ar no interior da estufa, quando comparada a estufas com pé direito menor, e também, uma cobertura plástica de alta qualidade (Ginegar Plastic Products® - Kibbutz Ginegar, Israel) que aumenta a porcentagem de luz difusa que é transmitida para dentro da estufa (cerca de 60%) melhorando sua distribuição sem que haja perda significativa na transmissão total de luz, sendo que esse processo potencializa o processo de fotossíntese e na prática, quase não se vê sombra na estufa (MONTEIRO, 2011).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (DPV)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (25)$$

em que:

ET_o - evapotranspiração de referência, em mm dia^{-1} ;

R_n - saldo de radiação na superfície, em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$;

G - fluxo de calor no solo, em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$;

T - temperatura média do ar a 2 m de altura, em °C;

u_2 - velocidade do vento a 2 m de altura, em m s^{-1} ;

DPV - déficit de pressão de vapor, em kPa;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor, em $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; e

γ - constante psicrométrica, em $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$;

Assim, calculou-se a ETo diária com os dados obtidos no Posto Meteorológico (ETo - PM), desprezando o fluxo diário de calor no solo (G), pois de acordo com Allen et al. (1998), como sua magnitude é relativamente pequena, ele pode ser desconsiderado para períodos de 24 horas. E estimou-se a ETo - Estufa como sendo 77% do valor calculado para a ETo - PM, de acordo com os resultados obtidos por Farias et al. (1994), obtendo assim, valores mais coerentes para ETo - Estufa.

Para a estimativa do coeficiente de cultura (Kc) foi inicialmente determinada a lâmina total de irrigação aplicada para cada parcela ao longo de todo o experimento, para isto utilizou-se a Equação 26.

$$LT = \frac{VT_{\text{irrigação}}}{AT_{\text{estufa}} / N_{\text{parcela}}} \cdot 1000 \quad (26)$$

em que:

LT - lâmina total de irrigação aplicada na parcela, em mm;
 VT_{irrigação} - volume total de água aplicado na parcela, em m³;
 AT_{estufa} - área total da estufa, 400,0 m²;
 N_{parcela} - número total de parcelas, 396 parcelas.

Com o valor de lâmina total de irrigação aplicada foi calculada a lâmina real de irrigação disponibilizada em cada parcela, para isto, adotou-se a eficiência de aplicação do sistema de 90,0 %.

$$LR = \frac{LT}{E_a} \quad (27)$$

em que:

LR - lâmina real de irrigação disponibilizada na parcela, em mm;
 LT - lâmina total de irrigação aplicada na parcela, em mm;
 E_a - eficiência de aplicação do sistema, em decimal.

Após o cálculo da lâmina real de irrigação disponibilizada em cada parcela, os coeficientes de cultura foram calculados individualmente para cada parcela com a Equação 28.

$$Kc = \frac{LR}{EToAc} \quad (28)$$

em que:

Kc - coeficiente de cultura, adimensional;
 LR - lâmina real de irrigação disponibilizada na parcela, em mm;
 EToAc - evapotranspiração de referência acumulada, 1152,8 mm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados meteorológicos

O experimento foi conduzido durante 380 dias (31/01/2013 a 15/02/2014) e neste período os valores mínimos e máximos de temperatura no interior da estufa ocorreram respectivamente aos 210 DAP (5,97 °C) e aos 374 DAP (43,91 °C). Para a temperatura média diária, os valores variaram de 10,82 °C (175 DAP) a 31,13 °C (368 DAP) (Figura 21A). Observando as médias mensais (Figura 22), o mês de julho de 2013 teve a menor média, com valor de 17,52 °C, e janeiro de 2014 a maior média, com valor de 27,68 °C, confirmando o padrão climático tropical de altitude (*Cwa*) da região segundo a classificação de Köppen (CEPAGRI, 2014), com a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio, inferior a 18 °C. Segundo Alexander (1973), esta amplitude térmica é uma das características importantes para a maturação da cana-de-açúcar. Cardozo (2012), avaliando os efeitos das variáveis meteorológicas na maturação para a região de Piracicaba (safra 2002/2003), afirma que as variáveis meteorológicas apresentam grande correlação entre si, de tal forma que apenas a precipitação é suficiente para explicar a variabilidade da maturação.

Reforçando a aptidão da região de Piracicaba para o cultivo de cana-de-açúcar, o regime hídrico é caracterizado por apresentar chuvas no verão e seca no inverno, sendo os três meses mais secos junho, julho e agosto, e essa gradativa queda da temperatura e a diminuição das precipitações no inverno fazem com que este período seja determinante para que o processo de maturação ocorra de forma adequada (CARDOZO, 2012). Porém, quanto ao regime hídrico, durante o período de condução do experimento ocorreu um ano agrícola atípico para a região de Piracicaba. Segundo Sentelhas (2014), seria considerado um ano neutro do ponto de vista do fenômeno El Niño, mas ocorreram chuvas significativas no período de inverno e, durante o final de 2013 e início de 2014, ocorreu o verão mais seco desde o início dos registros meteorológicos, ano de 1890 (SENTELHAS, 2014). Mesmo o experimento sendo conduzido com regime hídrico controlado (irrigação) no interior de uma estufa, o ambiente/atmosfera para o desenvolvimento das plantas reflete em parte as condições externas ao experimento, neste caso explicando os valores próximos a 50% da umidade relativa do ar nos meses de janeiro e fevereiro de 2014 (Figura 21A).

A temperatura exerce influência não só na maturação como no crescimento dos colmos, sendo que o crescimento torna-se lento em temperaturas abaixo de 25 °C e praticamente nulo para valores inferiores a 20 °C. Quanto a temperaturas máximas, o

crescimento se torna lento a partir de 35 °C e nulo acima de 38 °C. Com isso, assume-se que a temperatura ideal para o crescimento da cana está na faixa entre 25 e 35 °C (RODRIGUES, 1995).

Os valores de evapotranspiração de referência diária (ET_o), calculados pelo método de Penman-Monteith com os dados do Posto Meteorológico (PM) de Piracicaba/LEB-ESALQ estão no gráfico da Figura 21B, assim como os valores estimados de ET_o para o interior da estufa, considerando que no interior da estufa a ET_o corresponde a 77% do valor obtido no PM (FARIAS et al., 1994). O valor máximo de ET_o para o interior da estufa foi de 6,61 mm dia⁻¹, o mínimo de 0,45 mm dia⁻¹, a média 3,03 mm dia⁻¹ e, a ET_o acumulada (somatória) para o período do experimento, de 1152,8 mm.

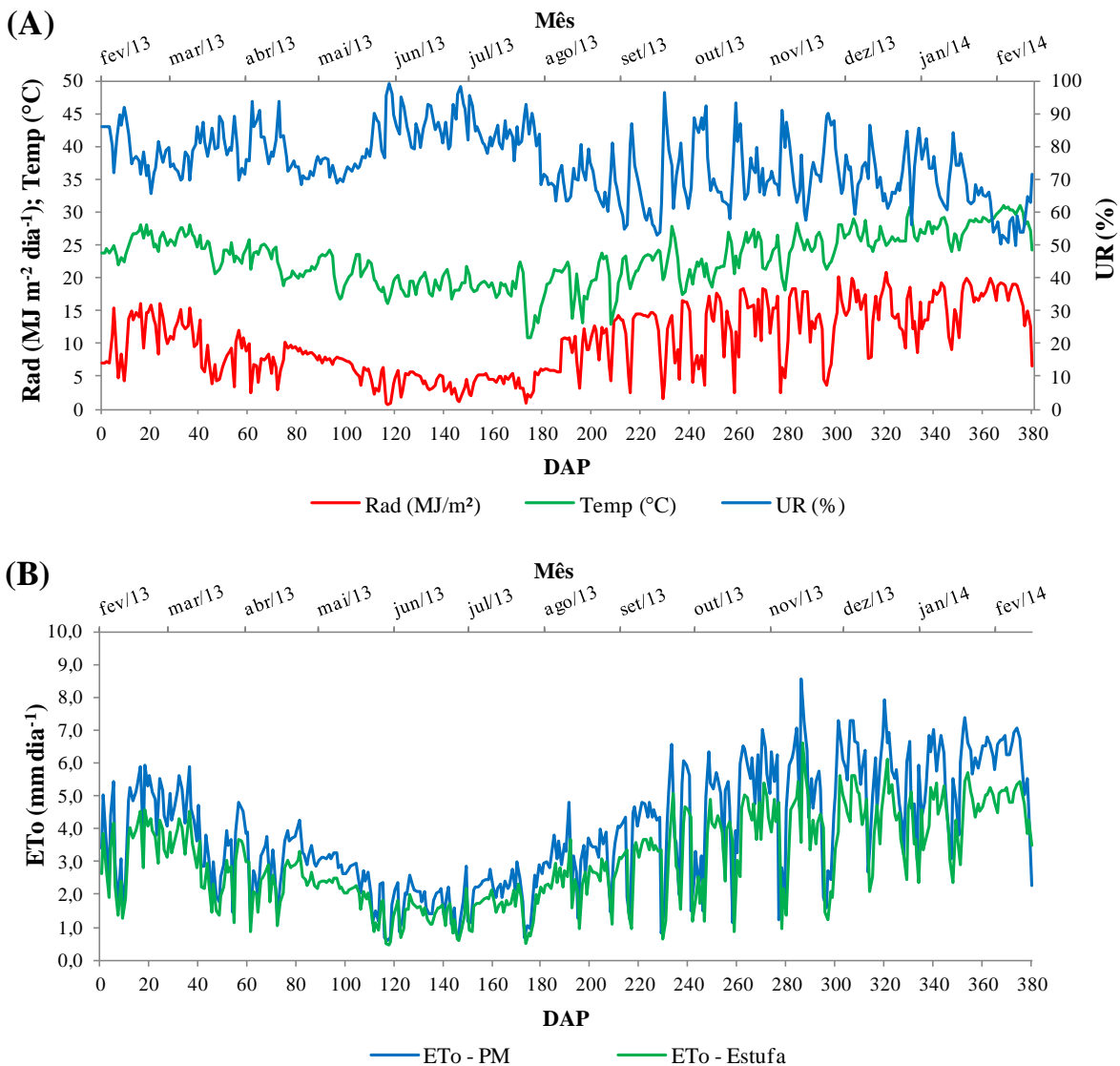


Figura 21 - Variação diária da temperatura média (Temp), radiação solar global (Rad) e Umidade relativa média (UR) no interior da estufa para o período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014 (A); Variação diária da evapotranspiração de referência (ET_o) no Posto Meteorológico (PM) de Piracicaba/LEB-ESALQ e valores estimados para o interior da estufa (B)

Observando-se o gráfico com as médias mensais de temperatura (Figura 22), nota-se que apenas os meses de fevereiro e dezembro de 2013, assim como janeiro e fevereiro de 2014, chegaram a valores ideais de temperatura para o crescimento da cultura. No entanto, observando-se os dados de temperatura ao longo do dia para cada mês, apresentado na Figura 23, durante o período diurno (adotado como padrão das 6:00 às 18:00 hs) apenas os meses de junho e julho de 2013 não apresentaram, na média, temperaturas ideais, restringindo o crescimento das plantas.

Analisando o total de dados coletados de temperatura média, aproximadamente 55% das leituras ficaram dentro da faixa ideal de crescimento para a cultura, considerando-se os dados coletado no período diurno, e 10% para os dados coletados no período noturno, sendo que 52% dos dados se concentraram na faixa entre 20 e 25 °C para o período noturno (Figura 24).

Para a radiação solar global no interior da estufa, os valores mínimo e máximo ocorreram aos 117 DAP ($0,59 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e 320 DAP ($20,81 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), respectivamente. Porém, os valores de radiação médios mensais foram inferiores aos medidos externamente, adotando-se o posto meteorológico da ESALQ como referência (Figura 22). Folegatti et al. (1997) já destacavam a grande amplitude nos valores de radiação solar global determinados dentro e fora de estufas, descrevendo que em média 37% da radiação solar global era perdida por reflexão ou absorção, ou seja, apenas 63% da radiação chega ao dossel da cultura.

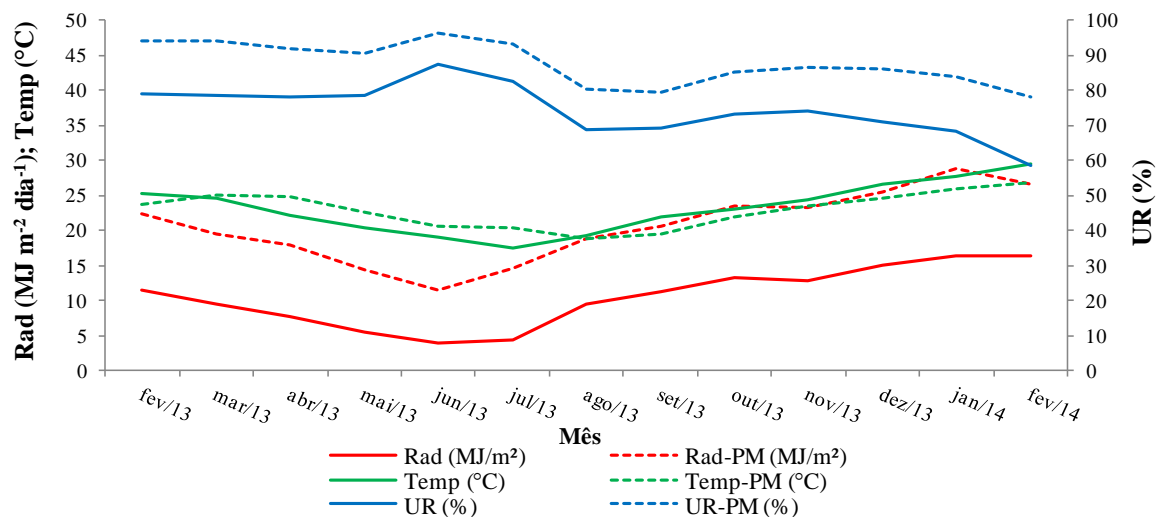


Figura 22 - Valores mensais da temperatura média (Temp), radiação solar global (Rad) e Umidade relativa média (UR) no interior da estufa e no Posto Meteorológico (PM) de Piracicaba/LEB-ESALQ (Temp-PM, Rad-PM e UR-PM) para o período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014

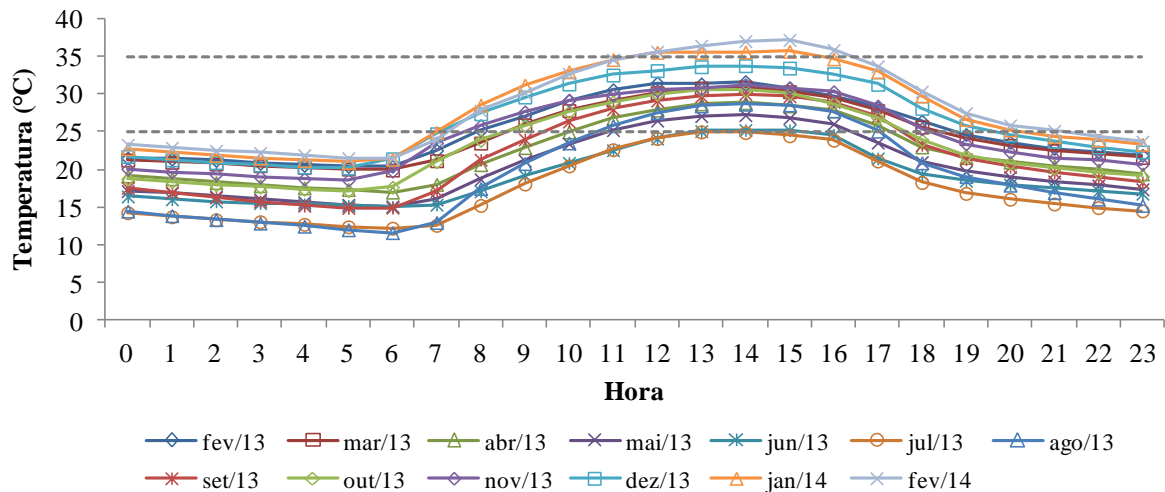


Figura 23 - Variação horária da temperatura média ao longo do dia no interior da estufa para cada mês do período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014

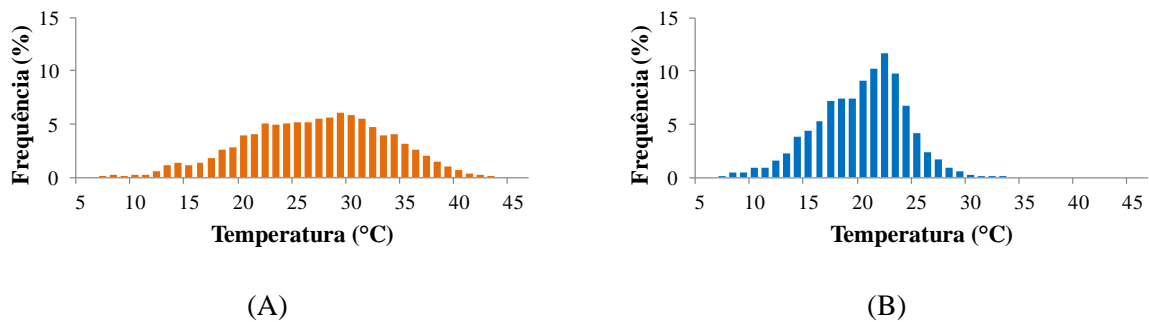


Figura 24 - Histogramas com a distribuição de frequência dos dados de temperatura média para o período diurno (A) e período noturno (B) coletados entre fevereiro de 2013 e fevereiro de 2014

Como pode ser visto na Figura 25, ao longo do experimento a relação entre a radiação no interior da estufa e os dados de radiação do posto meteorológico variaram consideravelmente, chegando ao valor mínimo de 30% no mês de julho de 2013, ou seja, 70% da radiação foi refletida ou absorvida pela cobertura. Analisando a variação ao longo do tempo, nota-se que em fevereiro de 2013 a relação foi próxima de 50%, pois o plástico havia sido lavado antes do transplante das mudas. Com o passar dos meses, a poeira/sujeira acumulada sobre a cobertura e também a maior declinação do sol até a data do solstício de inverno (21 de junho) fizeram com que a relação chegasse a um valor mínimo próximo de 30%. Em julho de 2013, a cobertura plástica foi trocada (Ginegar Plastic Products[®] - Kibbutz Ginegar, Israel), assim a radiação incidente no dossel se aproximou novamente de 50% do valor medido externamente na estufa. De setembro de 2013 a fevereiro de 2014, a relação descrita acima se manteve acima de 50%, com um leve aumento devido à menor declinação do sol, sendo a radiação incidente no dossel próxima de 60% em fevereiro de 2014. A menor

relação, ou a baixa incidência de radiação durante os meses de junho e julho de 2013 não prejudicaram de forma considerável o experimento, porque foram exatamente os meses com menor temperatura, quando as plantas apresentam um crescimento limitado principalmente pela temperatura.

Quanto à relação entre temperatura no interior da estufa e os dados de temperatura do posto meteorológico, não ocorreu grande variação ao longo do experimento; nos meses com temperatura mais amena, a temperatura do posto meteorológico foi superior à da estufa e, nos meses mais quentes, a temperatura interna da estufa ficou acima da temperatura aferida no posto meteorológico. A relação para umidade relativa se manteve sempre próxima de 85%, ou seja, a umidade relativa no interior da estufa sempre ficou abaixo da aferida no posto meteorológico.

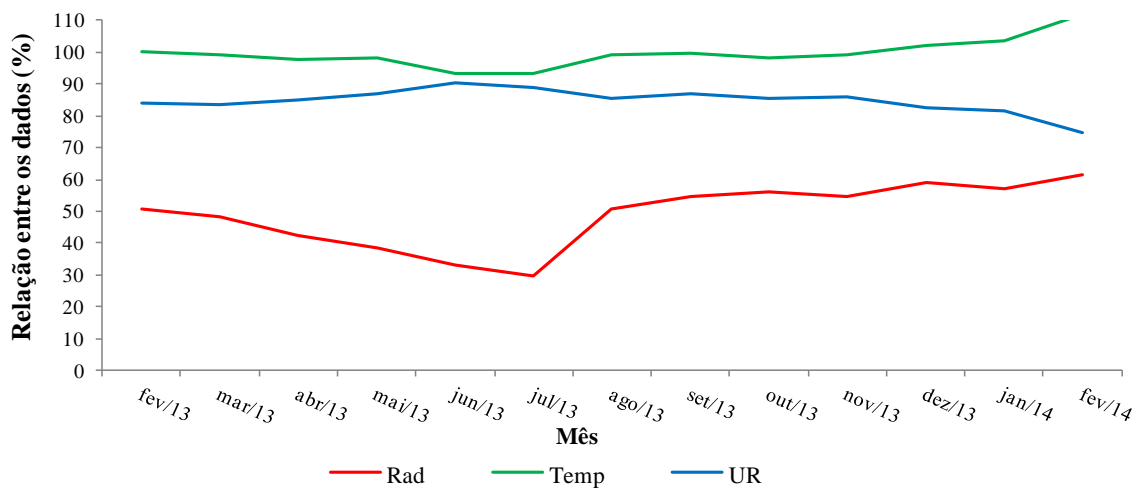


Figura 25 - Relação entre os dados de Radiação (Rad), Temperatura (Temp) e Umidade Relativa (UR) obtidos no interior da estufa do experimento e os dados coletados no Posto Meteorológico de Piracicaba/LEB-ESALQ para o período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014

4.2 Fertilidade do solo e nutrição das plantas

Como pode ser observado na Tabela 10, nas amostras coletadas para análise química do solo durante a condução do experimento (junho de 2013), houve alteração nos valores de alguns macronutrientes, quando comparadas as amostras retiradas no início do experimento (Tabela 4). Porém, a redução observada principalmente para fósforo, potássio e magnésio foi proporcional entre as variedades analisadas. Mesmo com alta demanda hídrica (V4) ou baixa demanda hídrica (V8), as condições de fertilidade do solo não se diferenciaram, mantendo-se a mesma disponibilidade de nutrientes para ambas as variedades. Já a matéria orgânica teve aumento em função dos ácidos húmicos presentes nos produtos utilizados para a adubação e

os demais parâmetros não sofreram alterações significativas, mantendo-se os padrões iniciais de fertilidade do solo, isto se repetindo para as quatro variedades analisadas.

Tabela 10 - Resultado da análise química do solo para macronutrientes no quarto mês de condução do experimento (junho de 2013), para amostras compostas pelo solo coletado nas parcelas do tratamento L100 das variedades V1, V3, V4 e V8

Variedade	pH	M.O.	P-resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B.	CTC	Sat. bases	Sat. Al	S-SO ₄
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmolc dm ⁻³					V%	m%	mg dm ⁻³
V1	5,3 c	14,0	18,0 c	1,0 b	22,0 d	8,0 c	22,0	0,0	31,0	53,0	58,0 c	0,0	15,0 d
V3	5,5 c	14,0	20,0 c	1,0 b	21,0 d	7,0 c	20,0	0,0	29,0	49,0	59,0 c	0,0	21,0 d
V4	5,6 c	9,0	20,0 c	0,8 b	20,0 d	7,0 c	18,0	0,0	28,0	46,0	61,0 c	0,0	15,0 d
V8	5,6 c	14,0	17,0 c	1,0 b	21,0 d	7,0 c	18,0	0,0	29,0	47,0	62,0 c	0,0	21,0 d

Potencial hidrogeniônico (pH); matéria orgânica (M.O.); fósforo (P-resina); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); hidrogênio + alumínio (H+Al); soma de bases (S.B.); capacidade de troca catiônica (CTC); enxofre (S) na forma de sulfato (S-SO₄). Letras minúsculas indicam as classes de teores de nutrientes: a - teores muito baixos; b - teores baixos; c - teores médios; d - teores altos; e - teores muito altos. IAC (2014) e Raij et al. (1997)

Quanto aos teores de micronutrientes no solo (Tabela 11), a variação também manteve-se semelhante entre as variedades para as amostras coletadas durante a condução do experimento (junho de 2013), independente da demanda hídrica de cada variedade. Os valores encontrados nesta análise para micronutrientes não tiveram alterações significativas quando comparados com as amostras iniciais (Tabela 5).

O bom estado nutricional das plantas ao longo do experimento também foi confirmado com a análise foliar, a qual tem os resultados apresentados na Tabela 12 para cada variedade. Tanto macro quanto micronutrientes não causaram deficiência, ficando com os teores médios dentro da faixa ideal para a cultura (RAIJ et al., 1997). Houve exceção apenas para o potássio, com valores acima dos ideais, mas que não causaram sintomas de toxidez nem induziram a deficiência de magnésio, como ocorre em casos extremos.

Tabela 11 - Resultado da análise química do solo para micronutrientes durante a condução do experimento (junho de 2013), para amostras compostas pelo solo coletado nas parcelas do tratamento L100 das variedades V1, V3, V4 e V8

Variedade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- DTPA -----				(água quente)
	----- mg dm ⁻³ -----				
V1	0,5 c	26,0 d	1,2 d	5,8 d	0,44 c
V3	0,6 c	30,0 d	1,7 d	7,6 d	0,29 c
V4	0,5 c	26,0 d	1,7 d	4,8 d	0,31 c
V8	0,6 c	29,0 d	1,9 d	5,5 d	0,33 c

Cobre (Cu); ferro (Fe); zinco (Zn); manganês (Mn); boro (B). Letras minúsculas indicam as classes de teores de nutrientes: a - teores muito baixos; b - teores baixos; c - teores médios; d - teores altos; e - teores muito altos, segundo IAC (2014); Raij et al. (1997);

Tabela 12 - Resultado da análise química para macro e micronutrientes das folhas coletadas em maio de 2013 nas parcelas do tratamento L100 para todas as variedades

Variedade	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	g/kg						mg/kg				
V1	21,0 c	1,8 c	20,5 e	6,6 c	2,4 c	4,6 c	6,0 c	240,0 c	14,0 c	106,0 c	23,0 c
V2	21,0 c	1,9 c	19,8 e	7,6 c	2,0 c	4,3 c	6,0 c	232,0 c	16,0 c	118,0 c	25,0 c
V3	20,3 c	1,5 c	16,4 d	8,0 c	2,4 c	4,9 c	6,0 c	204,0 c	17,0 c	108,0 c	22,0 c
V4	21,0 c	1,6 c	15,0 c	5,2 c	1,6 c	4,0 c	6,0 c	192,0 c	15,0 c	68,0 c	25,0 c
V5	19,6 c	1,7 c	16,4 d	7,6 c	1,9 c	4,1 c	6,0 c	200,0 c	17,0 c	130,0 c	17,0 c
V6	20,3 c	1,7 c	17,7 d	7,8 c	2,1 c	5,1 c	6,0 c	224,0 c	17,0 c	128,0 c	19,0 c
V7	21,0 c	2,1 c	17,7 d	8,5 d	2,5 c	4,6 c	6,0 c	216,0 c	20,0 c	116,0 c	21,0 c
V8	23,8 c	2,3 c	17,7 d	6,6 c	2,7 c	3,3 c	6,0 c	256,0 c	21,0 c	152,0 c	26,0 c

Nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S); cobre (Cu); ferro (Fe); zinco (Zn); manganês (Mn); boro (B). Letras minúsculas indicam as classes de teores de nutrientes: a - teores muito baixos; b - teores baixos; c - teores médios; d - teores altos; e - teores muito altos, segundo Raij et al. (1997)

A condutividade elétrica média da solução do solo (CE) das parcelas manteve-se abaixo de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ nas duas coletas efetuadas durante a condução do experimento para as variedades V1, V4 e V8 (Tabela 13), onde foram instalados os extratores de solução. Como Tanji e Kielen (2002) descrevem no Boletim FAO 61, se o valor de condutividade elétrica superasse o limiar de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$, poderia ocorrer um decréscimo de 5,9% na produção para cada $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ acima do limiar, ou seja, a cana-de-açúcar é uma cultura moderadamente sensível. Assim, as doses e metodologia utilizadas para adubação do experimento não limitaram o crescimento das plantas com o aumento da CE. Grande parte dos dados referentes aos teores de nitrato e sódio, principalmente na primeira coleta, ficaram acima dos observados por Lelis Neto (2012), trabalhando em um Nitossolo com fertirrigação e aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. No trabalho, o autor encontrou valores na faixa entre 0,12 a $289,0 \text{ mg L}^{-1}$ para nitrato e 1,0 a $33,0 \text{ mg L}^{-1}$ para sódio. Os valores mais discrepantes do íon nitrato podem estar relacionados com a dosagem de fertilizante aplicada, mas também com o tipo de solo, pois Lelis Neto (2008) afirma que em solos argilosos (Nitossolo) os íons apresentam maior interação com a fração sólida quando comparados aos solos arenosos. O excesso de nitrogênio na primeira amostragem não foi prejudicial, pois a planta ainda não estava na fase de maturação. Se os valores se mantivessem elevados no decorrer do experimento, poderiam ter prejudicado a maturação, pois segundo Oliveira (2008), na maturação, o nitrogênio em excesso é a maior causa da baixa qualidade em termos de conteúdo de sacarose e promove o crescimento vegetativo exagerado.

Quanto aos dados para CE, pH e potássio apresentados na Tabela 13, os valores foram similares aos encontrados por Lelis Neto (2012), que encontrou faixa de variação entre 0,05 a $3,36 \text{ dS m}^{-1}$, 6,01 a 7,99 e 0,3 a $388,0 \text{ mg L}^{-1}$ para CE, pH e potássio, respectivamente.

Tabela 13 - Resultado da análise química da solução do solo extraída em três profundidades das parcelas do tratamento L100 para as variedades V1, V4 e V8 nos meses de maio e julho de 2013

Variedade	Prof m	Maio de 2013					Julho de 2013				
		Ce	pH	NO ₃	K	Na	Ce	pH	NO ₃	K	Na
		dS m ⁻¹		ppm					dS m ⁻¹	ppm	
V1	0,10	1,15	7,1	378,8	33,1	88,3	0,44	6,5	95,1	13,3	41,6
	0,30	1,06	7,2	577,2	33,6	37,9	0,56	6,7	237,7	15,3	23,4
	0,50	1,52	7,3	1406,9	36,0	35,5	0,53	6,8	209,2	20,7	13,0
	0,10	0,83	7,2	469,0	36,4	48,1	0,46	6,9	171,2	9,5	47,6
V4	0,30	1,31	7,1	928,9	51,4	33,7	0,35	6,9	76,1	9,8	32,5
	0,50	1,67	7,3	1578,3	56,7	42,8	1,03	6,7	646,6	10,8	21,4
	0,10	0,92	6,8	450,9	80,4	74,9	0,73	6,8	494,4	34,0	35,6
V8	0,30	1,73	7,0	1415,9	69,0	42,3	0,53	7,1	218,7	23,8	26,1
	0,50	1,61	7,1	1361,8	57,3	24,7	0,97	6,9	665,6	37,9	14,6

Condutividade elétrica (Ce); potencial de hidrogeniônico (pH); nitrato (NO₃); potássio (K); sódio (Na)

Mais uma vez ressalta-se que não ocorreram diferenças significativas entre as variedades quanto a nutrição independente da demanda hídrica, reforçando que as doses e o manejo da adubação foram adequados para manter a fertilidade do solo e a nutrição das plantas para todas as variedades em níveis aceitáveis, não interferindo negativamente no crescimento das plantas.

4.3 Manejo da irrigação

Como o manejo da irrigação foi realizado com base no tratamento L100 M3 (100% de reposição hídrica e sem corte da irrigação para maturação), os dados de potencial de água no solo apresentados para as oito variedades na Figura 26 são o resultado dos valores médios de potencial de água no solo para um período de 10 dias, mensurados apenas neste tratamento. Nota-se que, na média, os valores se mantiveram abaixo do potencial limiar de 40 kPa (STEDUTO et al., 2012) para todas as variedades. No início do experimento, a baixa demanda hídrica devida ao pequeno porte das plantas e clima mais ameno resultaram em um menor consumo e assim menores potenciais hídricos médios, como pode ser visto até aproximadamente os 180 DAP. Após esta data, com os dias mais longos e quentes, a maior área foliar das plantas e também a troca do plástico de cobertura da estufa, a demanda hídrica foi aumentando constantemente até o final do experimento e, como os intervalos entre as irrigações foram fixos, resultou em maiores valores de potenciais médios com o decorrer do experimento. Manualmente não foi possível evitar/sanar esta variação, apenas com a ativação do sistema automático de acionamento da irrigação poderia ter diminuído esta variação. Embora o sistema automático tenha sido desenvolvido no projeto PAC Cana, ele não foi implementado no experimento, pois não houve tempo hábil para teste de longa duração do

equipamento. Assim, com receio de que algum imprevisto ocorresse no controlador automático que viesse a prejudicar o experimento, decidiu-se pela condução das irrigações no modo manual de operação.

O potencial mátrico na camada inferior do solo (0,40 a 0,60 m) se manteve sempre com valor acima (tensão mais negativa) comparado às camadas superiores. Na média de todo o experimento o valor foi de aproximadamente -10,0, -12,0 e -17,0 kPa para as camadas de 0,00 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m, respectivamente, reforçando que o manejo da irrigação não causou drenagem nem acúmulo de umidade na camada inferior dos vasos/parcelas, assim as plantas não tiveram problemas com falta de aeração no solo. O potencial de água no solo manteve-se nestes valores em função da alta frequência de irrigação, e também, da camada (0,60 m) e volume ($0,33 \text{ m}^3$) de solo alocado para cada parcela. Souza et al. (2013) relatam que para condições de irrigação por gotejamento subsuperficial, com aplicação de diferentes lâminas, 80,0% das raízes estão até 0,40 m. Assim, o volume de solo utilizado foi suficiente para armazenar e disponibilizar a água durante a condução do experimento mesmo nos períodos de maior demanda.

Como o resultado das tensões foi aplicado no manejo da irrigação na forma de lâmina necessária para irrigação, as curvas que apresentam o volume de irrigação acumulado (Figura 27) têm os dados dispostos de forma exponencial, ou seja, com o passar do tempo a demanda hídrica foi aumentando e conseqüentemente o volume de irrigação também. Essa variação ao longo do tempo não foi idêntica para todas as variedades, possibilitando separá-las em três grupos de consumo hídrico: um grupo composto pelas variedades V1, V2 e V4, com total de irrigação aplicado acima de 1000,0 litros por parcela; outro "grupo" composto pela variedade V8, com total de irrigação aplicado próximo de 700,0 litros por parcela; e um grupo intermediário formado pelas variedades V3, V5, V6 e V7, com volume total de irrigação aplicado variando aproximadamente entre 800,0 e 900,0 litros por parcela.

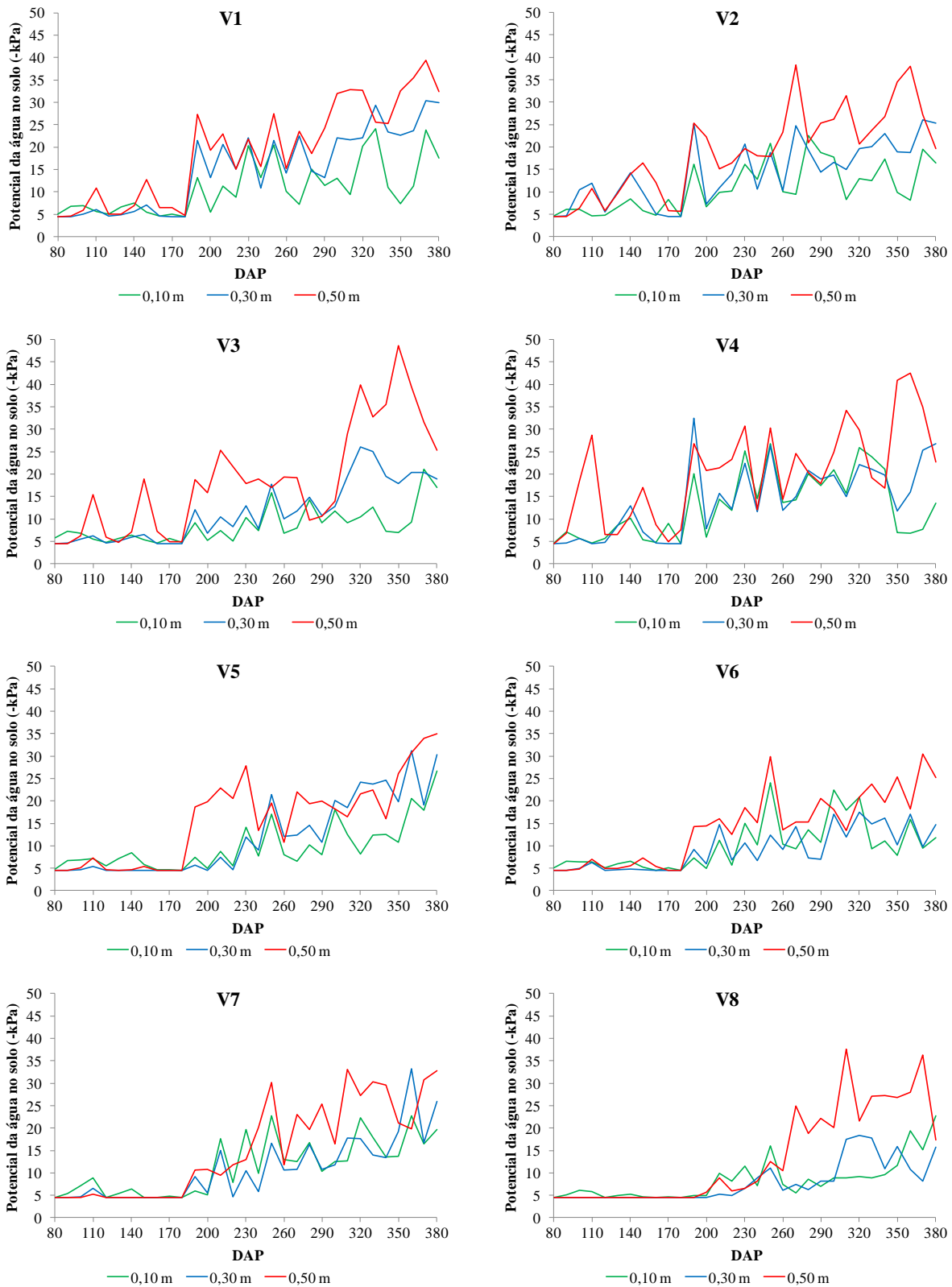


Figura 26 - Variação do potencial hídrico no solo (-kPa) no tratamento L100 M3, representado pela média decendial das leituras realizadas nas profundidades de 0,10, 0,30 e 0,50 m (camadas de 0,00 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m, respectivamente) para as oito variedades estudadas

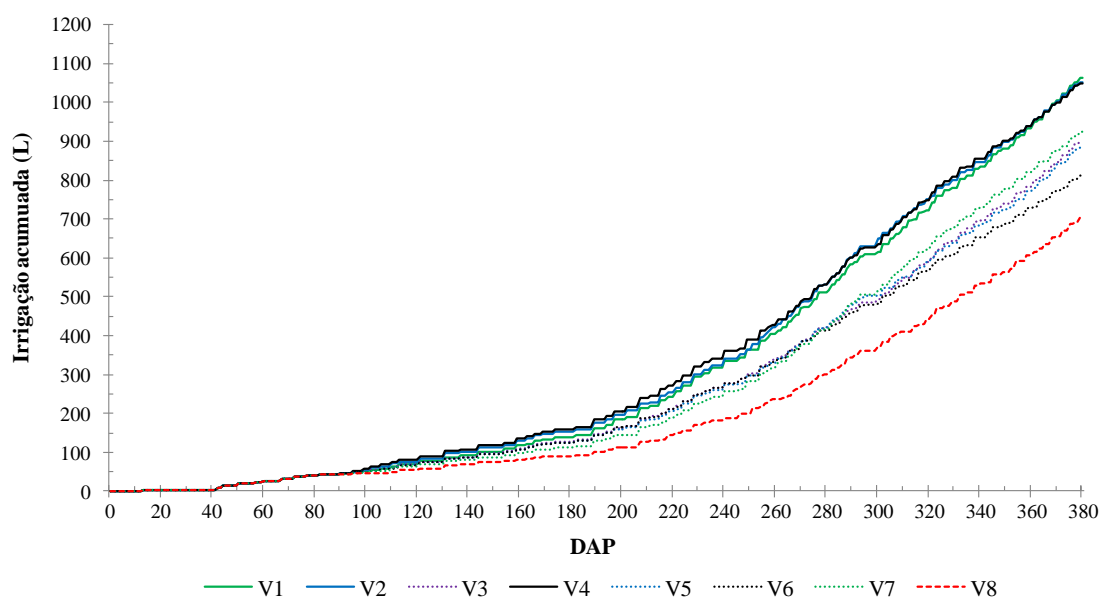


Figura 27 - Irrigação total acumulada (litros) por parcela no tratamento referência (L100 M3) para as oito variedades estudadas

Na Figura 28 estão os gráficos com os dados detalhados, por tratamento, da irrigação acumulada para cada variedade. Nestes gráficos, fica claro o início da diferenciação dos tratamentos de lâmina aos 110 DAP e a imposição dos tratamentos de maturação M1 e M2 próximo aos 320 DAP e do M4 já nos últimos dias do experimento para L100 e L75. Como foi previsto na metodologia, o tratamento L125 manteve-se a maior parte do experimento com um volume de irrigação acumulado acima do L75, mas a variação na fração de irrigação aplicada em L125 resultou, no final, em um volume total similar ao aplicado em L75.

Analisando apenas os dados finais do volume total de irrigação aplicado em litros por parcela e a estimativa em milímetros (Tabela 14), o maior consumo foi da variedade V1 no tratamento L100 M3, foram 1063,4 litros, equivalendo a aproximadamente 1055 mm, e o menor consumo foi da variedade V8 no tratamento L50, foram 385,0 litros, equivalendo a aproximadamente 382 mm. Segundo Steduto et al. (2012), a evapotranspiração anual para a cultura em campo está na faixa de 800 a 2000 mm, e dos valores encontrados neste experimento conduzido em estufa, aproximadamente 30% estão dentro dessa faixa. A exceção está principalmente nos dados dos tratamentos L50, L75 e L125, onde a cultura passou por déficit e teve a transpiração limitada. Também se deve considerar que, foi um valor estimado com a área teórica ocupada pelo dossel da cultura, e principalmente, que a cobertura plástica da estufa altera o balanço de radiação e o balanço energético com relação ao exterior, e a evapotranspiração poderá reduzir, ficando na faixa entre 45 e 77% da observada no exterior da estufa (FARIAS et al., 1994).

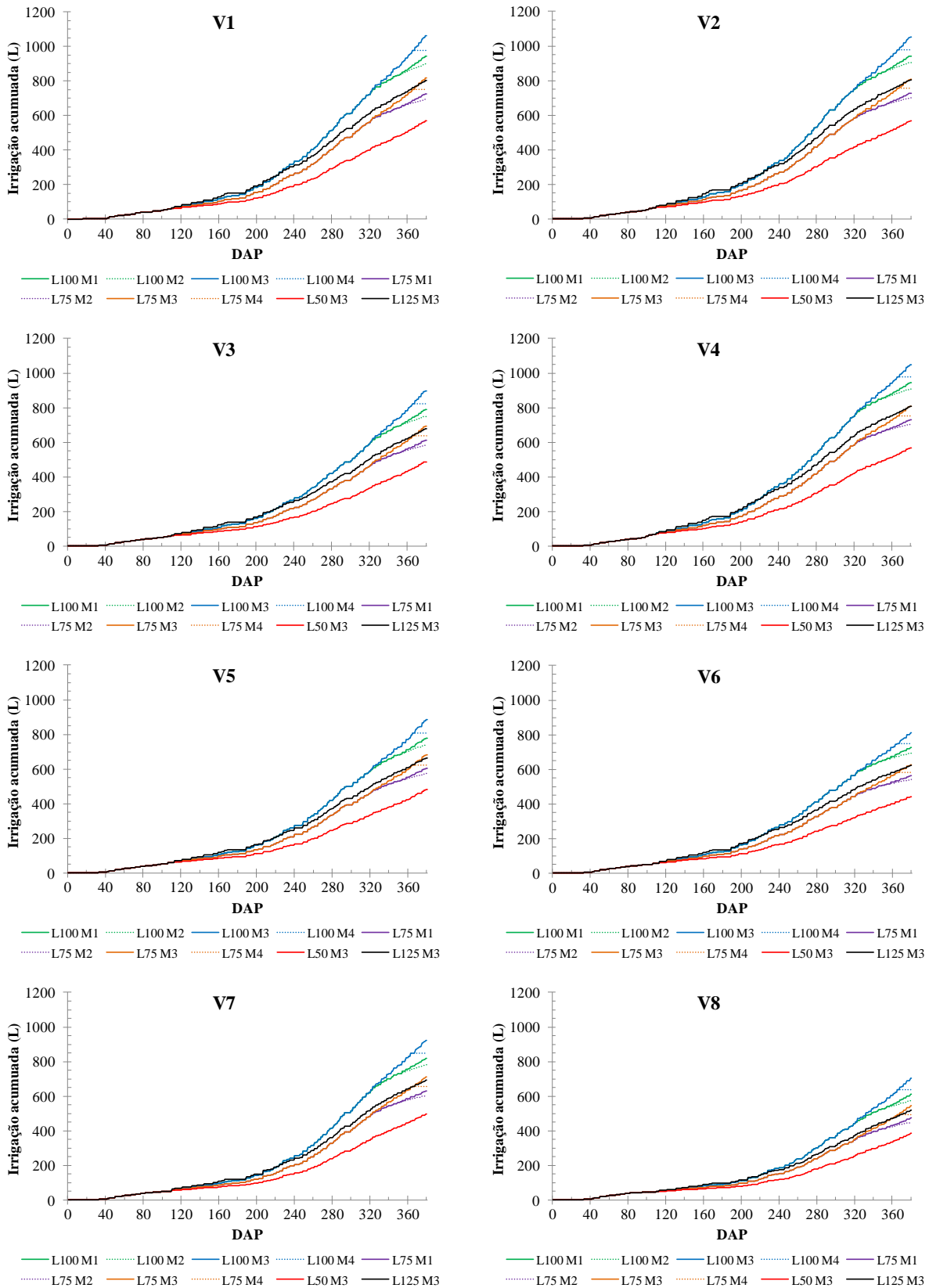


Figura 28 - Irrigação total acumulada (litros) por parcela nos diferentes tratamentos de lâmina para as oito variedades estudadas

A diferença nos tratamentos de lâminas ocorreu com a variação das frações ao longo do tempo e as variedades têm consumos variados ao longo do tempo em função de diferentes valores de K_c (taxa de transpiração) para cada nível de produtividade (LEAL, 2012), a variedade V1 não foi a que teve o maior volume aplicado para todos os tratamentos.

Como pode ser visto na Tabela 15, com a comparação da fração de irrigação aplicada em cada variedade para todos os tratamentos, a variedade V1 teve o maior volume, ou fração 100%, nos tratamentos L100 M3, L75 M3 e L50. Já nos tratamentos L100 M4 e L75 M4 foi a variedade V2 e, nos demais tratamentos a variedade V4. Esse resultado indica que inicialmente a variedade V4 apresentou uma taxa de transpiração maior comparada às variedades V1 e V2. Porém, no decorrer do experimento, com o crescimento das plantas, a variedade tende a diminuir sua taxa de transpiração em detrimento da variedade V1, que tende a aumentar, podendo ser vista com detalhe na Figura 27 para o tratamento L100 M3. Assim, nos tratamentos onde a fração de água aplicada não foi reduzida no final do ciclo (L100 M3, L75 M3 e L50), a variedade V1 superou o volume total de irrigação da variedade V4. Já nos tratamentos em que foi reduzida a fração de água aplicada no final do ciclo (L100 M1, L100 M2, L75 M1, L75 M2 e L125), o volume de irrigação aplicado não foi suficiente para a variedade V1 superar o consumo da variedade V4.

No caso dos tratamentos L100 M4 e L75 M4, em que a irrigação foi totalmente cortada antes da colheita, o maior volume de irrigação aplicado foi para a variedade V2. Mesmo sendo uma diferença sutil, em resumo, a variedade V4 inicialmente foi a que teve maior consumo diário, posteriormente foi a variedade V2 e, no final do experimento, a variedade V4.

A diferença na taxa de transpiração entre as variedades também fica bem clara comparando-se o consumo das variedades V6 e V7 (Figura 27). Neste caso, a variedade V6 teve um maior consumo no início do experimento, mas foi superado pela variedade V7 no final do ciclo da cultura. Segundo Scarpari e Beauclair (2008), ocorre uma grande variabilidade temporal no índice de área foliar e coeficiente de extinção das variedades de cana-de-açúcar, justificando essas diferenças de consumo hídrico que ocorreram ao longo do experimento.

Tabela 14 - Volume total de irrigação aplicado (litros) por parcela para todos os tratamentos e valor estimado (mm) considerando a área total da estufa (aproximadamente 1,01 m² parcela⁻¹)

Variedade	L50	L75				L100				L125
		M3	M1	M2	M4	M3	M1	M2	M4	
V1	569,9 (565,4)	816,7 (810,1)	726,0 (720,2)	693,6 (688,1)	752,1 (746,1)	1063,4 (1054,9)	942,5 (934,9)	897,6 (890,4)	977,3 (969,5)	803,3 (796,9)
V2	566,5 (562,0)	809,0 (802,5)	727,4 (721,6)	699,7 (694,1)	754,3 (748,2)	1051,5 (1043,1)	942,7 (935,2)	904,6 (897,3)	978,5 (970,7)	804,5 (798,1)
V3	486,5 (482,6)	692,2 (686,6)	610,0 (605,1)	581,6 (576,9)	636,6 (631,5)	897,9 (890,7)	788,3 (782,0)	749,2 (743,2)	823,7 (817,1)	676,8 (671,4)
V4	567,3 (562,8)	807,8 (801,3)	729,7 (723,9)	703,1 (697,4)	753,9 (747,8)	1048,3 (1039,9)	944,2 (936,6)	907,3 (900,0)	976,4 (968,6)	806,5 (800,0)
V5	480,6 (476,8)	682,2 (676,8)	602,7 (597,9)	573,9 (569,4)	624,0 (619,0)	883,9 (876,8)	777,9 (771,6)	738,5 (732,6)	806,2 (799,7)	664,6 (659,3)
V6	443,1 (439,5)	626,7 (621,7)	562,7 (558,2)	540,8 (536,5)	581,5 (576,8)	810,3 (803,8)	725,0 (719,2)	694,6 (689,1)	750,0 (744,1)	623,1 (618,1)
V7	496,8 (492,8)	710,6 (704,9)	630,6 (625,6)	603,6 (598,8)	655,0 (649,7)	924,4 (917,0)	817,7 (811,2)	780,8 (774,6)	850,2 (843,4)	691,9 (686,3)
V8	385,0 (382,0)	545,0 (540,6)	473,8 (470,0)	448,6 (445,0)	493,4 (489,4)	705,0 (699,3)	610,1 (605,2)	575,0 (570,4)	636,1 (631,0)	519,8 (515,6)

⁽¹⁾: Dados fora dos parênteses representam o volume total de irrigação em litros; ⁽²⁾: Dados entre parênteses representam a estimativa do volume total de irrigação em milímetros adotando área de 1,01 m² parcela⁻¹

Tabela 15 - Fração do volume total de irrigação aplicado (%) em cada tratamento comparado com o tratamento referência (L100 M3) dentro de cada variedade, e fração do volume total de irrigação aplicado (%) comparando-se as variedades dentro de cada tratamento

Variedade	L50	L75				L100				L125
		M3	M1	M2	M4	M3	M1	M2	M4	
V1	53,6% ⁽¹⁾ (100%) ⁽²⁾	76,8% (100%)	68,3% (99,5%)	65,2% (98,7%)	70,7% (99,7%)	100% (100%)	88,6% (99,8%)	84,4% (98,9%)	91,9% (99,9%)	75,5% (99,6%)
V2	53,9% (99,4%)	76,9% (99,1%)	69,2% (99,7%)	66,5% (99,5%)	71,7% (100%)	100% (98,9%)	89,7% (99,8%)	86% (99,7%)	93,1% (100%)	76,5% (99,8%)
V3	54,2% (85,4%)	77,1% (84,8%)	67,9% (83,6%)	64,8% (82,7%)	70,9% (84,4%)	100% (84,4%)	87,8% (83,5%)	83,4% (82,6%)	91,7% (84,2%)	75,4% (83,9%)
V4	54,1% (99,5%)	77,1% (98,9%)	69,6% (100%)	67,1% (100%)	71,9% (99,9%)	100% (98,6%)	90,1% (100%)	86,6% (100%)	93,1% (99,8%)	76,9% (100%)
V5	54,4% (84,3%)	77,2% (83,5%)	68,2% (82,6%)	64,9% (81,6%)	70,6% (82,7%)	100% (83,1%)	88% (82,4%)	83,6% (81,4%)	91,2% (82,4%)	75,2% (82,4%)
V6	54,7% (77,7%)	77,3% (76,7%)	69,4% (77,1%)	66,7% (76,9%)	71,8% (77,1%)	100% (76,2%)	89,5% (76,8%)	85,7% (76,6%)	92,6% (76,7%)	76,9% (77,3%)
V7	53,7% (87,2%)	76,9% (87%)	68,2% (86,4%)	65,3% (85,9%)	70,9% (86,8%)	100% (86,9%)	88,5% (86,6%)	84,5% (86,1%)	92% (86,9%)	74,8% (85,8%)
V8	54,6% (67,6%)	77,3% (66,7%)	67,2% (64,9%)	63,6% (63,8%)	70% (65,4%)	100% (66,3%)	86,5% (64,6%)	81,6% (63,4%)	90,2% (65%)	73,7% (64,5%)

⁽¹⁾: Dados fora dos parênteses representam na mesma linha a fração do volume total aplicado para cada tratamento dentro da mesma variedade, expresso em porcentagem; ⁽²⁾: Dados entre parênteses representam na mesma coluna a fração do volume total aplicado para cada variedade dentro do mesmo tratamento, expresso em porcentagem

4.4 Variáveis de qualidade da cana

Nos resultados da análise de variância para variáveis de qualidade da cana (Tabela 16), observa-se que houve diferença significativa a um nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis (Brix, POL, Pureza, Fibra, AR, ATR e Umidade) quando comparam-se as variedades. Comparando-se as lâminas, essa diferença não se repetiu para POL e ATR. Para os tratamentos de maturação, não houve diferença significativa em nenhuma das variáveis aqui analisadas. Como o coeficiente de variação (CV) foi maior dentro da parcela (maturação) do que na sub-subparcela (variedade), o teste estatístico adotado não teve sensibilidade para garantir/confirmar as diferenças nos valores médios encontrados para cada maturação, não indicando assim diferença significativa para este tratamento.

Não houve interação tripla para nenhuma das variáveis, porém as variáveis que se diferenciaram com o tratamento de lâminas apresentaram interação entre maturação e lâmina. Para os resultados das variedades, não houve interação para Brix, POL e ATR, mas houve interação com a maturação para Pureza e AR, e interação com lâmina para Pureza, Fibra, AR e Umidade.

Tabela 16 - Resumo da análise de variância com os valores calculados de F e sua significância para as variáveis de qualidade da cana

Fontes de Variação		Brix	POL	Pureza	Fibra	AR	ATR	Umidade
		----- Valores de F -----						
Parcela	Blocos (B)	2,47 ^{ns}	2,08 ^{ns}	0,69 ^{ns}	6,44 [*]	0,82 ^{ns}	1,74 ^{ns}	4,95 ^{ns}
	Maturação (M)	0,85 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,65 ^{ns}	4,14 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,83 ^{ns}
Subparcela	Lâmina (L)	5,64 ^{**}	2,03 ^{ns}	11,52 ^{**}	5,68 ^{**}	10,25 ^{**}	2,04 ^{ns}	7,23 ^{**}
	M x L	2,56 [*]	0,54 ^{ns}	3,96 ^{**}	4,10 ^{**}	3,34 ^{**}	0,61 ^{ns}	3,57 ^{**}
Sub-subparcela	Variedades (V)	68,95 ^{**}	88,15 ^{**}	89,84 ^{**}	97,84 ^{**}	96,46 ^{**}	75,64 ^{**}	108,76 ^{**}
	M x V	0,79 ^{ns}	1,42 ^{ns}	2,21 ^{**}	0,90 ^{ns}	2,16 ^{**}	1,32 ^{ns}	0,89 ^{ns}
	L x V	1,48 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,62 [*]	2,20 ^{**}	1,65 [*]	1,23 ^{ns}	1,81 [*]
	M x L x V	1,17 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,27 ^{ns}
CV (%)	Parcela	32,22	41,98	14,07	10,87	28,92	36,52	5,68
	Subparcela	13,06	19,41	7,65	8,64	16,05	15,78	2,97
	Sub-subparcela	5,77	9,63	5,08	4,64	10,42	7,84	1,27
Média geral		15,90	11,39	71,28	10,03	1,08	104,73	75,67

Brix do caldo (Brix - °Brix); POL do caldo (POL - %); Pureza aparente do caldo (Pureza - %); Fibra da cana-de-açúcar (Fibra - %); Açúcares redutores da cana (AR - %); Açúcar total recuperável (ATR - kg t⁻¹); Umidade do colmo (Umidade - %). ^{ns}: não significativo; ^{*}: significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{**}: significativo ao nível de 1% de probabilidade

4.4.1 Brix do caldo - Brix (°Brix)

Sendo o Brix a porcentagem de sólidos solúveis contidos em uma solução, este apresenta relação direta com o conteúdo de sacarose no caldo da cana-de-açúcar (LAVANHOLI, 2008). O valor médio de brix para todo o experimento foi de 15,9 °Brix, abaixo dos 18,0 °Brix considerado ideal para industrialização (FERNANDES, 2011), mas coerente com os valores levantados junto aos fornecedores de cana da CANAOEST por Silva (2014) para o mês de março, tanto da safra 2013/2014 com valor de 13,23 °Brix, quanto da safra 2014/2015, com valor de 13,29 °Brix. Analisando individualmente os tratamentos e seus desdobramentos, houve diferença significativa. O tratamento de maturação M4 elevou o teor de sólidos solúveis nos tratamentos de lâmina onde foi aplicado, L100 e L75, sendo a média do Brix de 17,2 e 17,9 Brix para L100 M4 e L75 M4 (Figura 29), respectivamente, bem próximo do valor ideal sugerido por Fernandes (2011), enquanto a média para L50 M4 e L125 M4 foi de 15,4 Brix. As demais maturações não tiveram diferenças entre as lâminas, sendo em média 15,9 Brix para M1, 16,0 Brix para M2 e 15,3 Brix para M3. Mesmo não sendo diferentes significativamente, os dados mostram uma tendência de maior teor de sólidos solúveis quanto maior o estresse hídrico imposto no final do ciclo, com valor crescente na seguinte ordem, M3, M1, M2 e M4.

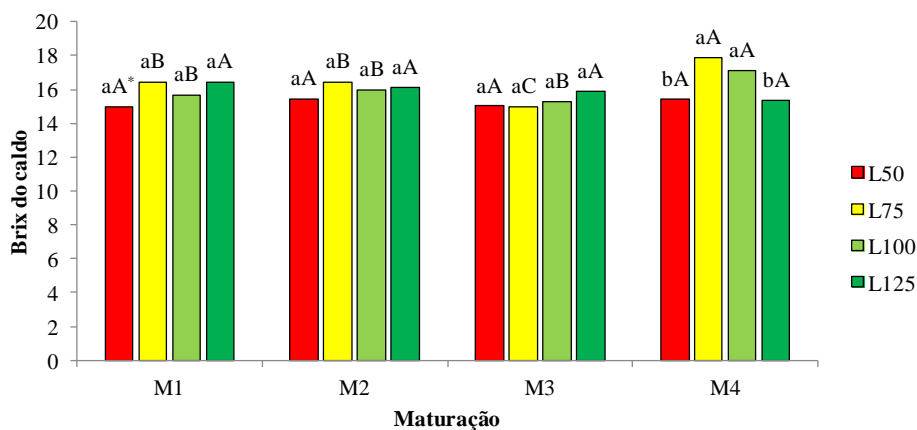


Figura 29 - Desdobramento dos valores de Brix no caldo para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro de uma mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Quanto à diferença observada entre as variedades (Figura 30), não houve influência das lâminas nem dos procedimentos de maturação, sendo as maiores médias encontradas para as variedades V6 (17,3 Brix) e V7 (17,0 Brix), variedades de dois programas de

melhoramento distintos, sendo V6 classificada como precoce e V7 como média. Diferenciando-se significativamente das duas anteriores, ficou classificada a variedade V1 (16,4 Brix), seguida por um grupo de variedades, V2, V3, V4 e V5, que não se diferenciaram entre si e ficaram com valores médios de Brix entre 15,4 e 15,9 Brix. A variedade V8 teve a menor média, 13,7 Brix.

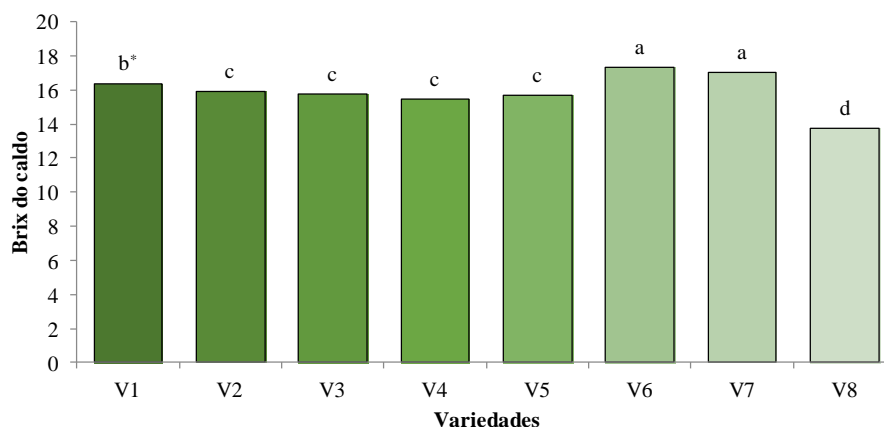


Figura 30 - Valores de Brix no caldo para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.4.2 POL do caldo - POL (%)

A POL é a variável que indica o teor de sacarose no caldo, sendo portanto a variável diretamente ligada com o nível de maturação da cana. Porém, a variabilidade dos dados foi elevada, tendo o coeficiente de variação mais alto (42%) entre as variáveis de qualidade da cana mensuradas nesse experimento (Tabela 16). Assim, a variação dos dados de 6,47 a 16,27%, com média geral de 11,39%, não seguiu um padrão para os tratamentos de lâmina e maturação, provavelmente em função dos níveis de lâminas adotadas e da colheita "antecipada", pois segundo Cardozo (2012) o coeficiente de variação para POL do caldo diminui com o passar da safra, chegando ao valor mínimo no seu final (outubro). Isto porque, em função das condições meteorológicas, o processo de maturação da cana-de-açúcar ocorre naturalmente no início de maio, atingindo seu ponto máximo em outubro (DEUBER, 1988). Silva (2014) também apresenta dados crescentes de POL do caldo ao longo da safra, sendo o valor mínimo de 9,07% em março de 2014 e o máximo de 18,32% em agosto de 2014.

Com isto, para POL ocorreu diferença significativa apenas entre as variedades (Figura 31). A variedade precoce V6 teve o maior teor de sacarose no caldo (13,8%), ficando na faixa ideal, acima de 12,25%, segundo o CONSECANA (2006). As demais variedades, mesmo a

V2, também considerada precoce, não chegaram a este valor. As variedades V1 e V7 foram similares, com 12,1 e 12,0%, respectivamente, seguidas pelas variedades V2 e V3 que não se diferenciaram, com 11,6%. As variedades V4 e V5 também não tiveram diferença, apresentando média de 10,7 e 10,9%, respectivamente, e a variedade V8 foi a que teve o menor teor de sacarose, não passando dos 8,5%.

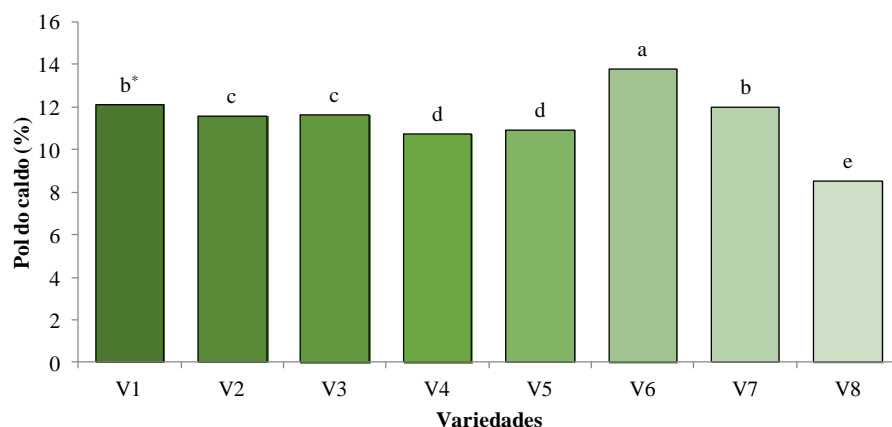


Figura 31 - Teores de sacarose no caldo para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.4.3 Pureza aparente do caldo - Pureza (%)

A Pureza é a variável que indica a percentagem de sacarose que existe no total de sólidos solúveis, relacionando o valor da Pol com o Brix do caldo. Segundo Fernandes (2011), essa variável deve apresentar valor mínimo de 80% (início da safra) ou 85% (durante a safra) para que seja viável a industrialização da cana com finalidade de produção de açúcar, pois irá prejudicar a recuperação da sacarose no processo de cristalização. Valores inferiores aos citados acima indicam que se tem grande quantidade de açúcares redutores e a cultura ainda se encontra em crescimento vegetativo pleno. O valor médio encontrado neste experimento foi de 71,3% (Tabela 16), ou seja, em média, quase 30,0% do valor de sólidos solúveis presentes no caldo não era sacarose, indicando que a cultura ainda estava em fase de crescimento para maioria dos tratamentos. Cardozo (2012) encontrou valores semelhantes para o início da safra de 2003 (março e abril) com médias de 68,0 e 76,0% respectivamente. Silva (2014) também apresenta valores abaixo de 80% para o início da safra 2014/2015, apenas 68,03% de pureza em março, mas em abril já chega a 83,09% e se mantém acima deste valor até o máximo de 87,57% em agosto.

Quanto aos tratamentos aplicados, ocorreu diferença significativa pelo teste F (Tabela 16) para as lâminas e as variedades, ambas com interações significativas com a maturação. Assim, na Figura 32 estão os dados resultantes da análise para a interação entre lâminas e maturação. Para maturação M1 e M3, não houve diferença entre as lâminas, ficando a média da pureza em 72,0% para ambos os tratamentos. Na maturação M2, a lâmina L100 teve a menor pureza (68,1%), enquanto as demais lâminas não se diferenciaram, com média de 72,7%. A maturação M4 foi o tratamento com maiores diferenças. As lâminas em que não houve corte da irrigação, L50 e L125, ficaram com média de 73,2%, enquanto as lâminas L75 e L100 ficaram com média de 65,4%. Esta diferença deixa claro que, mesmo com um maior valor de Brix encontrado para L75 e L100 no tratamento M4 (Figura 29), não significa que terá maior teor de sacarose. Para estes casos, o corte da irrigação no final do ciclo resultou em uma perda de água (redução da umidade) e "concentração" dos sólidos solúveis, porém não resultou em um ganho efetivo na qualidade da matéria prima, pois os altos valores de pureza na matéria-prima é que indicam uma maior facilidade no processamento e na obtenção de açúcar de qualidade com alto rendimento (LAVANHOLI, 2008).

Mesmo com valores médios abaixo do ideal, houve algumas combinações de tratamentos (desdobramentos) com as variedades que foram mais "eficientes", obtendo valores de pureza próximos de 80%, valor considerado aceitável para o início da safra. Para o desdobramento das variedades dentro das maturações (Figura 33), destacou-se positivamente a variedade V6, com média de 79,3% de pureza, e negativamente a variedade V8, com média de 62,0% de pureza. Mas a interação foi significativa em função das variedades V5 e V7, que não tiveram o mesmo comportamento para todos os tratamentos de maturação. A variedade V5 respondeu melhor ao corte total da irrigação (maturação M4), com média de 70,5%, não se diferenciando das variedades V1, V2 e V3. A variedade V7 respondeu melhor mantendo-se a irrigação até a colheita (M3) ou reduzindo levemente no final do ciclo (M1), com média de 72,0% e 74,2% para M1 e M3, respectivamente.

Para o desdobramento das variedades dentro das lâminas (Figura 34), destacou-se novamente a variedade V6 com os maiores valores de pureza, e a variedade V8 com os menores valores. Nesta combinação, a interação foi significativa em função das variedades V2 e V7. A variedade V2 respondeu melhor às lâminas L75 e L125, com média de 72,6% e 75,1% para L75 e L125, respectivamente, e não se diferenciando das variedades V1 e V3 neste caso. A variedade V7 respondeu melhor à lâmina L125, com média de 73,7%.

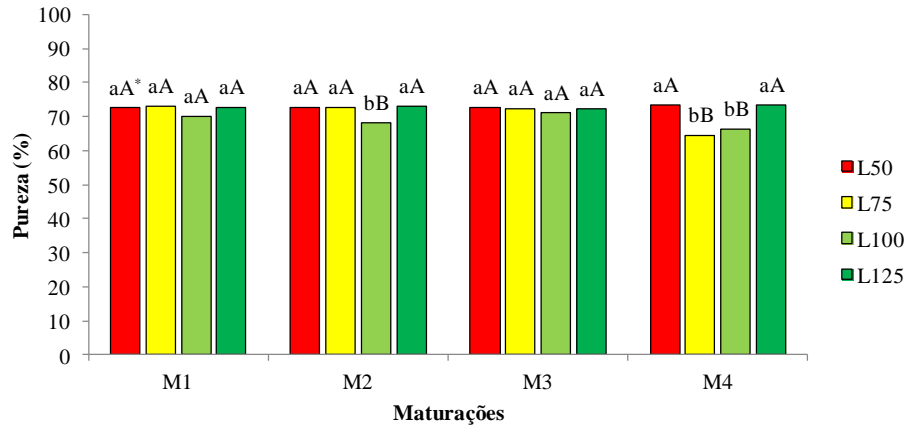


Figura 32 - Desdobramento dos teores de pureza do caldo para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro de mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

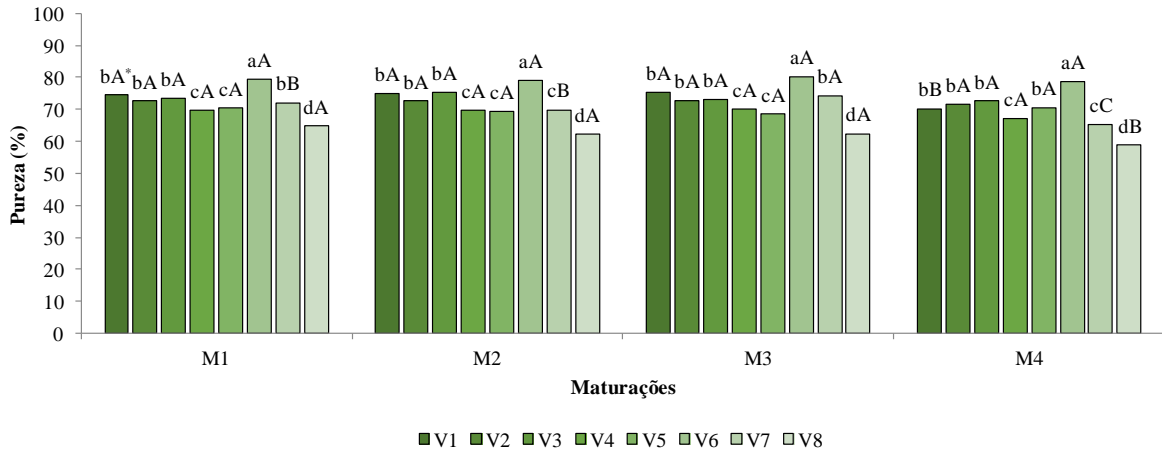


Figura 33 - Desdobramento dos teores de pureza do caldo para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro de mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

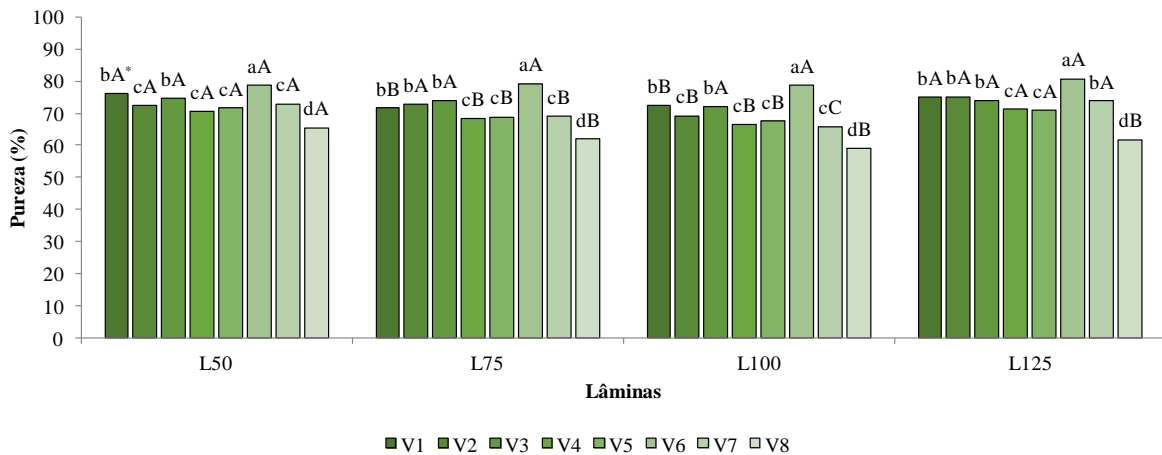


Figura 34 - Desdobramento dos teores de pureza do caldo para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina. * Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro de mesma lâmina e lâminas identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.4.4 Fibra da cana-de-açúcar - Fibra (%)

Fibra é a variável que indica a proporção de todas as substâncias insolúveis em água contidas na matéria-prima cana, sendo os níveis encontrados em campo de 8 a 14% (LAVANHOLI, 2008), influenciando principalmente a moagem e o balanço térmico da usina. Atualmente, essa variável tem ganhado destaque nas pesquisas e sua caracterização química (cinzas) e energética (poder calorífico) é fundamental para o estudo e o dimensionamento de indústrias dedicadas à produção de energia, seja pela queima da biomassa ou pela produção de etanol de segunda geração.

Em campo, as impurezas vegetais, como parte do desponte (palmito), bainhas e folhas (palha), são transportadas junto com os colmos e, segundo dados experimentais de Furlani Neto et al. (1980), variaram de 2,0 a 5,5% do total da matéria-prima transportada para a usina, dependendo principalmente do método de colheita, podendo assim elevar a quantidade de fibra presente na cana. Porém, neste experimento os colmos foram "limpos" manualmente, retirando-se as folhas, bainhas e desponte, sendo que o valor médio encontrado de 10,03% (Tabela 16) é resultado do teor de fibras apenas da matéria-prima (colmos), sem influência das impurezas, ficando abaixo dos 13,25% encontrados para o início da safra 2014/2015 (SILVA, 2014).

No estudo realizado por Cardozo (2012), o teor de fibra se manteve constante durante o período de safra para as variedades analisadas, concluindo o autor que a fibra é uma variável muito mais relacionada às características da variedade do que à época do ano ou às condições meteorológicas locais. Porém, no presente trabalho, além das diferenças significativas entre variedades (Tabela 16), também houve diferenças entre os tratamentos de lâminas, com interação significativa para as maturações (Figura 35), confirmando assim que, para este caso, o teor de fibra é uma característica varietal, mas também é influenciado por outros fatores, como clima (chuva e temperatura), umidade e fertilidade do solo, época de corte e método de determinação (FERNANDES, 2011).

Entre as lâminas, a diferença ocorreu apenas para a maturação M4 (Figura 35), onde as lâminas L75 e L100 ficaram com 10,9% de fibra em média e as lâminas L50 e L125 com 9,7% em média. Como na maturação M4 as lâminas L75 e L100 tiveram a irrigação completamente cortada antes da colheita, isto causou uma diminuição da umidade dos colmos e proporcionalmente um aumento no teor de "sólidos insolúveis" (Fibra) comparado aos demais tratamentos.

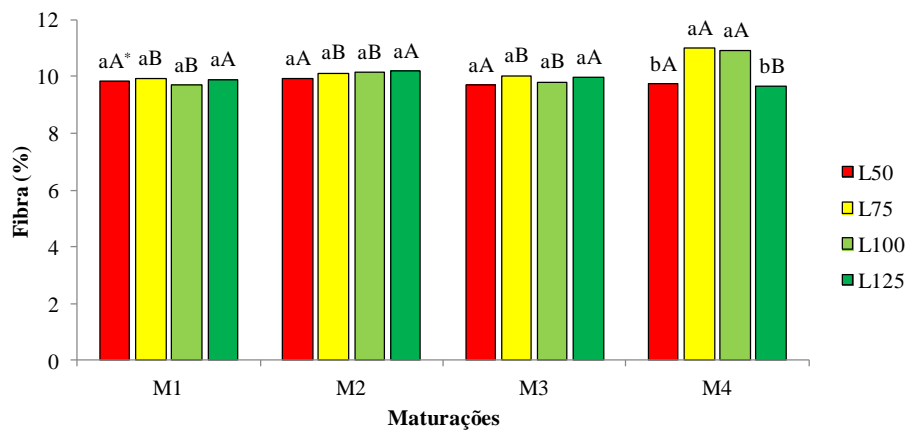


Figura 35 - Desdobramento dos teores de fibra para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Quanto à diferença entre as variedades (Figura 36), estatisticamente a variedade V1 foi a que apresentou maior teor de fibra para todas as lâminas, quando comparada às demais. A média de fibra para essa variedade foi de 10,7%, enquanto a menor média foi de 8,8% para a variedade V8. Segundo as informações do programa de melhoramento responsável pela variedade V1, ela realmente apresenta alto teor de fibra, assim como deveria ser a variedade V2, que neste experimento não se destacou, ficando apenas com um bom teor de fibra, média de 9,5%, mas estatisticamente no segundo grupo de variedades para a lâmina L50 e no terceiro grupo para as lâminas L75, L100 e L125.

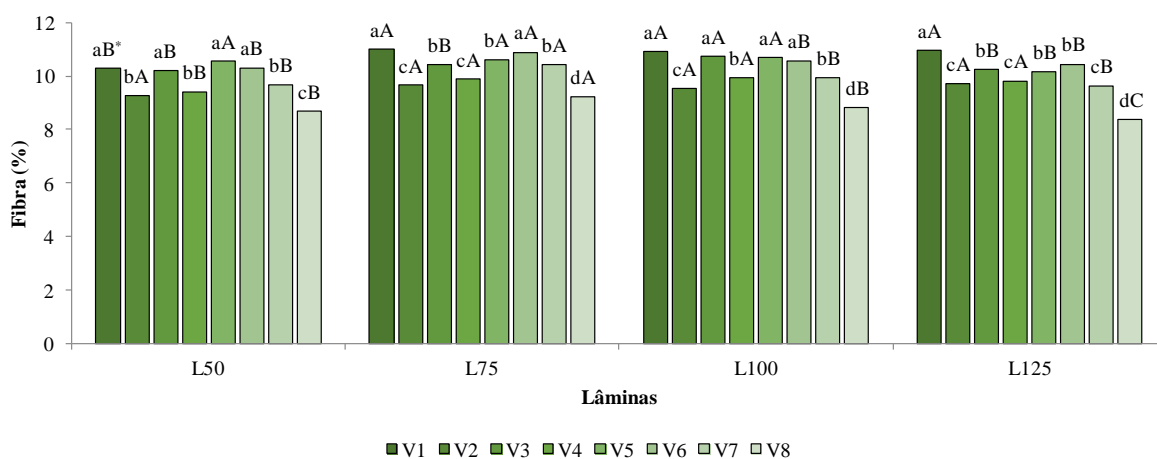


Figura 36 - Desdobramento dos teores de fibra para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina. * Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma lâmina e lâminas identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

A fibra foi uma das variáveis com menor coeficiente de variação, 4,64% ao nível de sub-subparcela (Tabela 16), porém a variabilidade dos dados pode ser observada em maior detalhe na Figura 37. De modo geral, a lâmina L100 teve os dados com as maiores variabilidades, e a L50, com as menores. A V3 na L100 teve a maior variação entre todas as variedades, com valores variando de 8,8 a 12,3%.

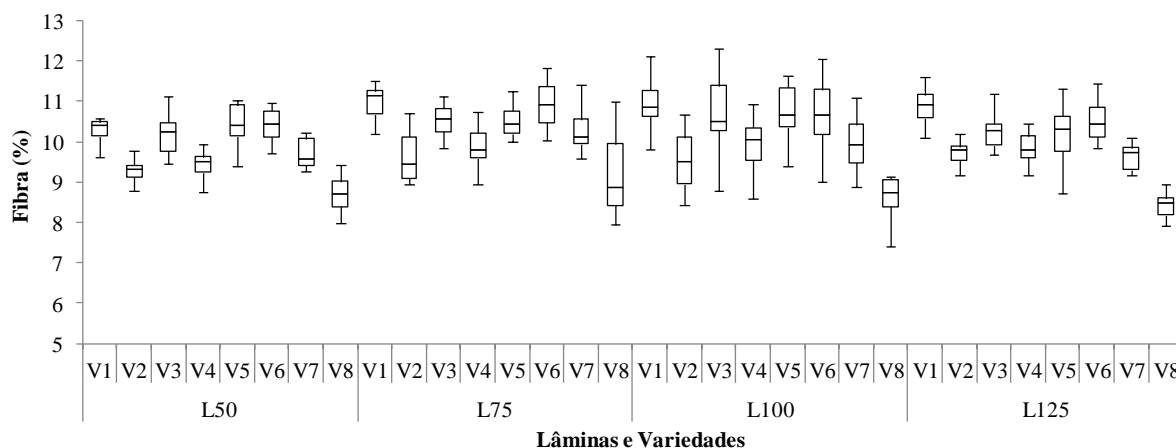


Figura 37 - Gráfico box-plot para os teores de fibra das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina

4.4.5 Açúcares redutores da cana - AR (%)

O teor de açúcares redutores é uma variável diretamente ligada ao nível de maturação da cana-de-açúcar, sendo mais elevado quanto menor o grau de maturação da cana e reduzindo ao longo da maturação conforme ocorre o acúmulo de sacarose nos internódios (LAVANHOLI, 2008). Assim, em campo, o início da safra (março e abril) é o período em que ocorrem os maiores teores, implicando o aumento da cor do açúcar durante o processo industrial, depreciando a qualidade do produto (FERNANDES, 2011). Como se observa nas Figuras 38, 39 e 40, esta variável é o reflexo da pureza discutida no Item 4.4.3, sendo os maiores valores encontrados para os tratamentos com menor pureza, ou seja, onde as plantas estavam em condições mais favoráveis ao crescimento vegetativo, ou pela própria característica varietal de maturação precoce, média e tardia.

A média dos valores encontrados para o teor de açúcares redutores para todo o experimento foi de 1,08% (Tabela 16), similar ao valor de 1,09% encontrado por Silva (2014) para o mês de março de 2014 e também próximo ao valor médio de 1,15% achado por Cardozo (2012) para o mês de março de 2003, quando este autor avaliou oito variedades na região de Piracicaba. Neste mesmo experimento, Cardozo (2012) encontrou uma variação de

0,93 a 1,37% de AR entre as oito variedades. Para o presente estudo, a variação do teor de AR entre as variedades foi de 0,80 a 1,48% para o desdobramento das variedades dentro das maturações (Figura 39) e de 0,78 a 1,47% para o desdobramento das variedades dentro das lâminas (Figura 40). Os menores teores médios foram encontrados para a variedade V6, 0,80 e 0,78 para a combinação com maturação M3 (Figura 39) e lâmina L125 (Figura 40), respectivamente. Os maiores teores médios foram encontrados para a variedade V8, 1,48 e 1,47, para a combinação com maturação M4 (Figura 39) e lâmina L100 (Figura 40), respectivamente.

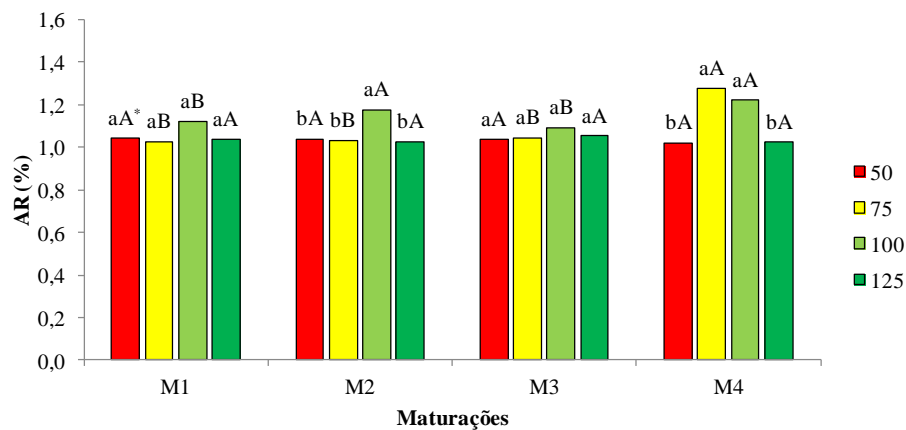


Figura 38 - Desdobramento dos teores de açúcares redutores (AR) na cana para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

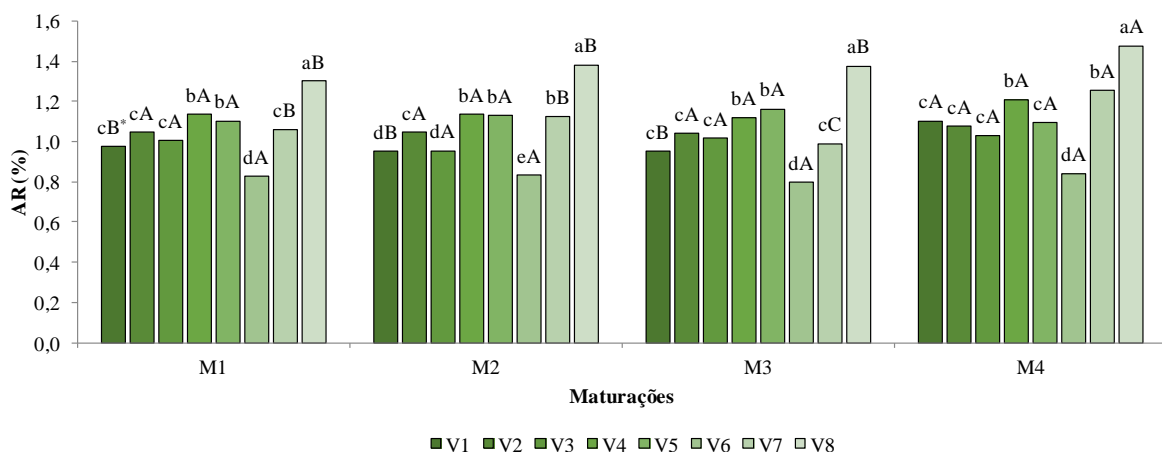


Figura 39 - Desdobramento dos teores de açúcares redutores (AR) na cana para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

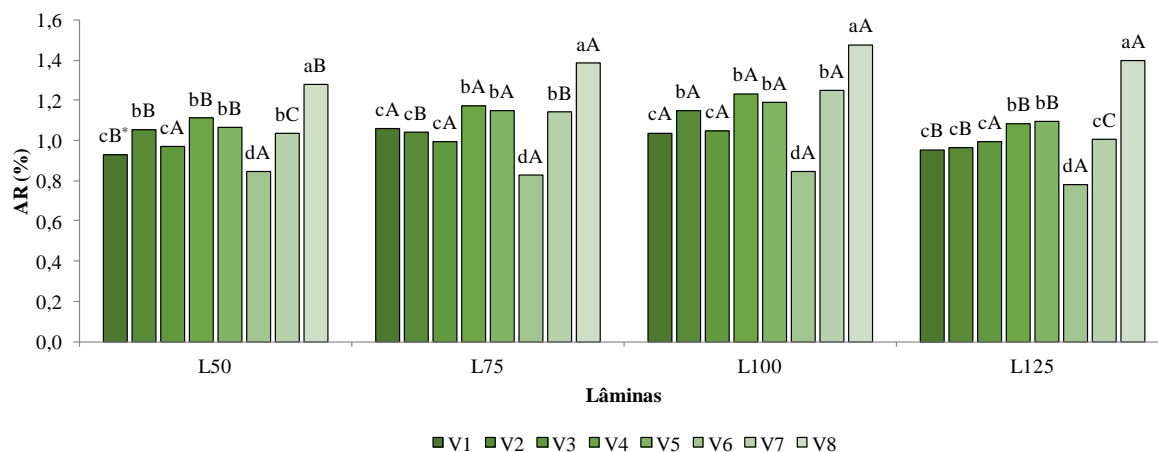


Figura 40 - Desdobramento dos teores de açúcares redutores (AR) na cana para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina. * Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma lâmina e lâminas identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.4.6 Açúcar total recuperável - ATR (kg t⁻¹)

A variável açúcar total recuperável, ou simplesmente ATR, indica a qualidade da matéria-prima entregue para a indústria, relacionando/estimando a quantidade de açúcar (kg) produzido/contido para cada tonelada de matéria-prima processada pela indústria. Assim, é a principal variável adotada para o pagamento aos fornecedores do setor sucroenergético (CONSECANA, 2006). Mesmo com as variações e diferenças encontradas para os tratamentos de maturação e lâmina, na maioria das variáveis de qualidade discutidas nos tópicos anteriores, o resultado final na qualidade da matéria-prima implicou diferenças significativas para a quantidade de açúcar produzido/acumulado apenas em função das variedades (Tabela 16), não sendo significativo para os demais tratamentos.

Estudando quatro períodos de interrupção da irrigação (pivô central) na fase de maturação para a variedade RB 86-7515 em Jaíba-MG, Vieira (2012) não encontrou diferenças significativas nos valores de ATR mesmo com tratamentos variando de 7 (T4) a 51 (T1) dias sem irrigação ou chuva efetiva antes da colheita. O autor obteve valores entre 168,6 e 175,0 kg t⁻¹ para T1 e T4, respectivamente.

Com um ATR médio para todo o experimento de 104,73 kg t⁻¹ (Tabela 16), os valores ficaram abaixo dos encontrados por Vieira (2012). A variedade que se destacou foi a V6, com média de 121,3 kg t⁻¹, enquanto a variedade V8 teve apenas 85,1 kg t⁻¹ (Figura 41), uma diferença de 36,2 kg t⁻¹, aproximadamente 30% a menos de rendimento por tonelada de cana processada. As demais variedades se diferenciaram em três grupos; um grupo formado pelas

variedades V1 e V7 (108,6 e 110,2 kg t⁻¹, respectivamente), outro formado pelas variedades V2 e V3 (106,7 e 105,3 kg t⁻¹, respectivamente) e um último formado pelas variedades V4 e V5 (100,1 e 100,6 kg t⁻¹, respectivamente). Esta classificação coincide em grande parte com a descrição dos materiais pelos seus programas de melhoramento, pois a V6 é uma variedade precoce e a V5 é classificada como tardia. Assim, como a colheita foi realizada "antecipadamente", as características varietais foram as que se destacaram, sendo que essas diferenças entre variedades tendem a diminuir ao longo do tempo, quanto mais próximo do final de safra (CARDOZO, 2012).

Os valores encontrados também estão abaixo dos encontrados por Maschio (2011) e Leal (2012), que, trabalhando em estufa com 14 variedades neste mesmo tipo de solo, obtiveram valores médios para ATR de 129,3 kg t⁻¹ (MASCHIO, 2011) e 148,0 (LEAL, 2012). Porém, os valores de ATR estão acima dos encontrados por Cardozo (2012) para o início de safra em campo, com uma média de 78,0 kg t⁻¹ para o mês de março de 2003, avaliando oito variedades, mas praticamente dobrando este valor para 157,8 kg t⁻¹ para o mês de outubro. Seguindo a mesma lógica, o valor encontrado por Silva (2014) para o mês de março 2014 também foi inferior, apenas 82,18 kg t⁻¹, mas praticamente dobrando para 152,91 para o mês de agosto. Assim, o ATR poderia chegar a valores mais elevados caso a colheita fosse realizada em uma data posterior, uma vez que as plantas acumulariam açúcar durante um período com característica meteorológica (temperatura) mais favorável.

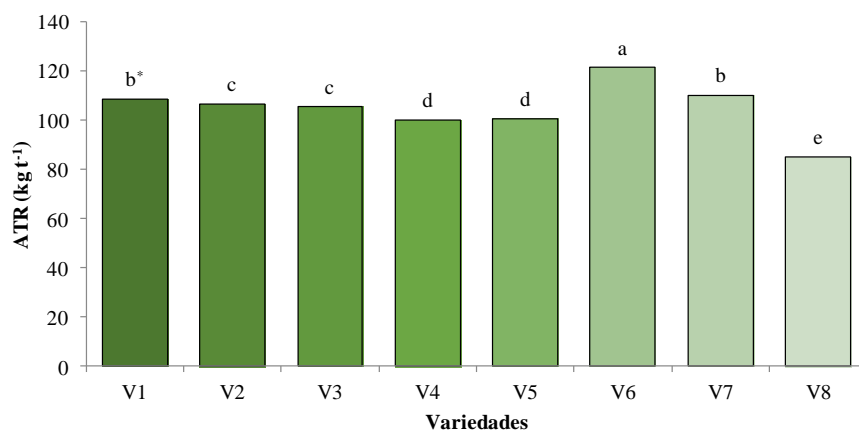


Figura 41 - Valores de açúcar total recuperável (ATR) para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

O ATR teve um valor de coeficiente de variação de 7,84% em nível de sub-subparcela (Tabela 16). A variabilidade dos dados pode ser observada em maior detalhe na Figura 42, observando-se que a variabilidade foi semelhante para todas as variedades independente da lâmina aplicada. A V5 na lâmina L75 teve a maior variação entre todas as variedades, com valores variando de 76 a 123 kg t⁻¹. Assim, a análise estatística não indica diferença, pois devido à variância dos resultados não se pode afirmar que as médias são diferentes. Neste caso, houve algum fator não controlado que dificulta confirmar a diferença observada entre os dados médios.

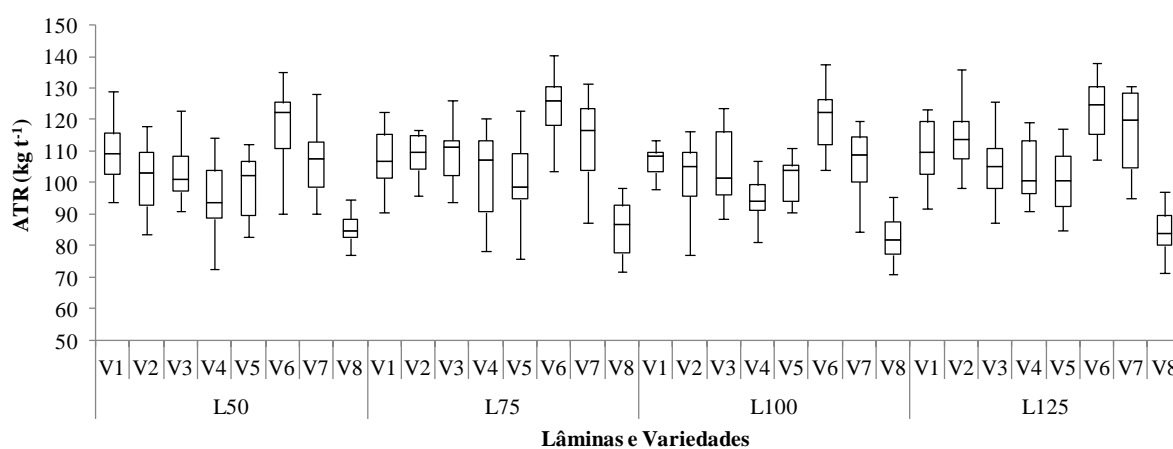


Figura 42 - Gráfico box-plot para os valores de açúcar total recuperável (ATR) das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina

4.4.7 Umidade do colmo - Umidade (%)

A variável umidade do colmo indica o teor de água presente nos colmos descontando-se da massa total a porcentagem de fibra e sólidos solúveis. Está diretamente ligada com o rendimento da indústria, principalmente nos gastos com logística e transporte da matéria-prima do campo até a indústria. O valor médio encontrado foi de 75,67% (Tabela 16) indicando que, para cada tonelada de colmo transportado, aproximadamente 757,0 kg são água. A maturação M4 foi a que resultou em um menor valor de umidade nos tratamentos em que foi aplicada, 73,1% para a combinação L75 M4 e 73,8% para L100 M4 (Figura 43).

Observando-se a Figura 44, é nítido o destaque para a variedade V8 com o maior valor de umidade em todas as combinações de lâminas, com média de 78,7 %. Já a variedade V6 foi a que teve os menores valores, em média 73,9% de umidade. Assim, os resultados ficam inversos aos encontrados para fibra e ATR, pois se os colmos são formados por fibra,

açúcares e água, uma variedade que apresenta baixo teor de umidade terá alto teor de fibra e/ou açúcares.

Apesar da grande importância, existem poucos estudos sobre a dinâmica do conteúdo de água nos colmos da cana-de-açúcar (CARDOZO, 2012), sendo os valores encontrados na literatura na ordem de 80% para o início da safra (março) e de 65% para o final da safra (outubro), diminuindo gradativamente conforme avança o processo de maturação, aumentando a concentração de açúcares e fibra.

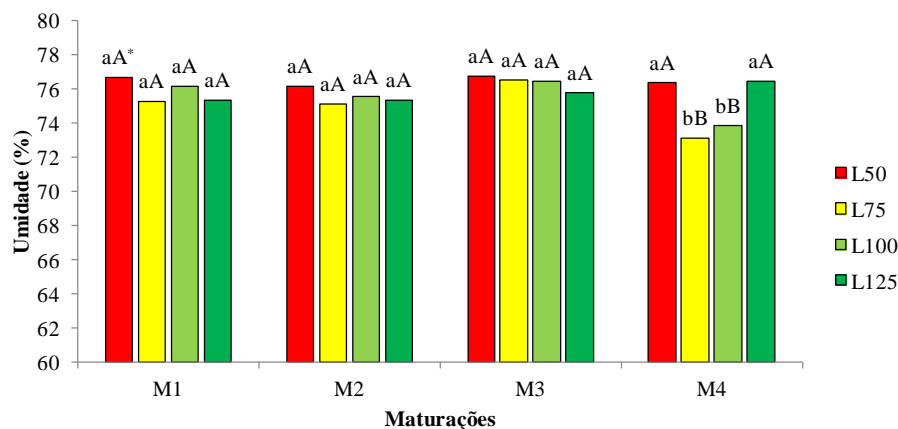


Figura 43 - Desdobramento dos teores de umidade nos colmos para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

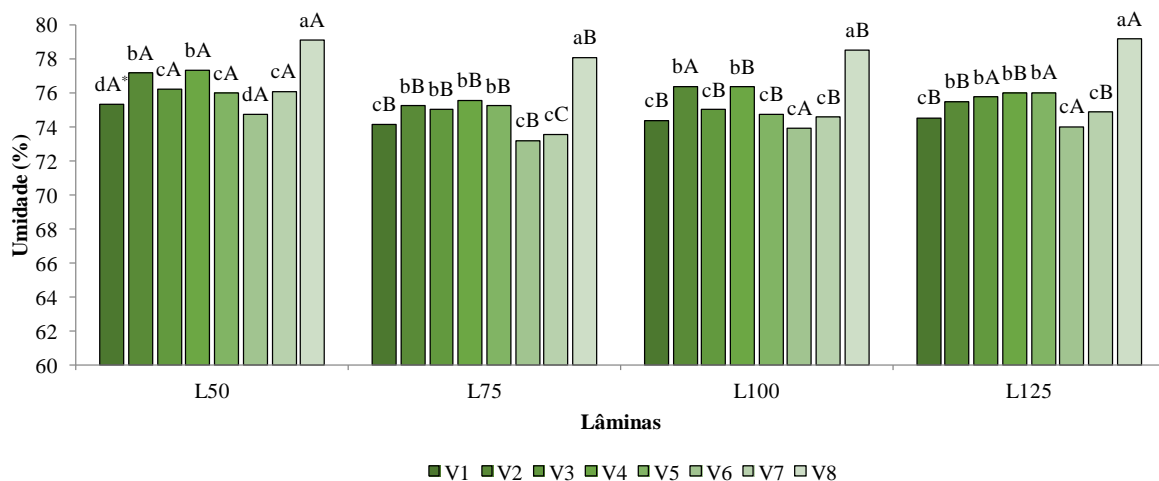


Figura 44 - Desdobramento dos teores de umidade nos colmos para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina. * Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma lâmina e lâminas identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.5 Variáveis de rendimento e produção da cana

Nos resultados da análise de variância para variáveis de rendimento e produção da cana (Tabela 17) observa-se que houve diferença significativa a um nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis (TCH, RBA, PAA, BIOM, PAB, $F_{\text{Ref-1}}$ e FV) quando comparam-se as variedades. Comparando-se as lâminas, essa diferença não se repetiu para PAA, PAB e $F_{\text{Ref-1}}$. Nos tratamentos de maturação, houve diferença significativa apenas para TCH e FV de todas as variáveis aqui analisadas. Não houve interação tripla para nenhuma das variáveis, porém as variáveis que se diferenciaram com o tratamento de lâminas apresentaram interação entre maturação e lâmina. Nos resultados das variedades, houve interação com a lâmina para RBA e BIOM.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância com os valores calculados de F e sua significância para as variáveis de rendimento e produção da cana

Fontes de Variação		TCH	RBA	PAA	BIOM	PAB	$F_{\text{Ref-1}}$	FV
		----- Valores de F -----						
Parcela	Blocos (B)	5,03 ^{ns}	1,65 ^{ns}	1,34 ^{ns}	2,90 ^{ns}	2,47 ^{ns}	0,71 ^{ns}	2,00 ^{ns}
	Maturação (M)	9,02 [*]	0,98 ^{ns}	0,12 ^{ns}	2,25 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,64 ^{ns}	38,62 ^{**}
Subparcela	Lâmina (L)	99,61 ^{**}	125,17 ^{**}	1,36 ^{ns}	191,20 ^{**}	1,82 ^{ns}	0,75 ^{ns}	36,41 ^{**}
	M x L	2,50 [*]	2,69 [*]	2,18 ^{ns}	2,78 [*]	1,58 ^{ns}	2,27 ^{ns}	22,38 ^{**}
Sub-subparcela	Variedades (V)	73,51 ^{**}	86,99 ^{**}	26,93 ^{**}	123,52 ^{**}	3,58 ^{**}	41,64 ^{**}	26,95 ^{**}
	M x V	0,58 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,94 ^{ns}
	L x V	1,44 ^{ns}	1,91 [*]	1,01 ^{ns}	1,97 ^{**}	0,60 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,55 ^{ns}
	M x L x V	0,99 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,19 ^{ns}
CV (%)	Parcela	17,83	36,89	38,29	24,41	25,28	24,02	32,49
	Subparcela	20,69	18,32	19,05	14,68	14,88	11,92	29,35
	Sub-subparcela	11,61	13,05	12,61	9,89	9,23	8,67	17,17
Média geral		164,20	17,18	1,43	3563,92	5,29	21,10	5,54

Produtividade de colmos por hectare (TCH - t ha⁻¹); Rendimento bruto de açúcar (RBA - t ha⁻¹); Produtividade da água para açúcar (PAA - kg m⁻³); Biomassa seca da parte aérea das plantas (BIOM - g); Produtividade da água para biomassa (PAB - kg m⁻³); Número de folhas do colmo principal ($F_{\text{Ref-1}}$); Número de folhas verdes do colmo principal (FV). ^{ns}: não significativo; ^{*}: significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{**}: significativo ao nível de 1% de probabilidade

4.5.1 Produtividade de colmos por hectare - TCH (t ha⁻¹)

A variável produtividade de colmos por hectare indica o rendimento em peso (toneladas) dos colmos por área colhida (hectare). Neste caso, como descrito no Item 3.5.8 da metodologia, foi estimada a área ocupada por cada parcela (0,62 m²) para extrapolar os valores encontrados no experimento para uma área representativa de um hectare. O valor médio encontrado, 164,2 t ha⁻¹ (Tabela 17), indica que a extrapolação foi satisfatória, pois é

um valor que representa a ordem de grandeza encontrada para cultivo em campo. Pedrozo (2014), estudando aplicação de lâminas em 4 variedades cultivadas em campo (Goianésia - GO), encontrou valores médios na faixa de 130 a 140 t ha⁻¹, sendo o mínimo 128,6 t ha⁻¹ para a variedade CTC 18 sem irrigação complementar e o máximo de 233,4 t ha⁻¹ para a variedade RB 96 6928 com regime hídrico de 125%.

A diferença estatística encontrada entre as maturações (Figura 45) indica que o manejo sem redução da irrigação antes do corte (M3) resultou na maior produtividade média, com aproximadamente 177,0 t ha⁻¹, enquanto os demais tratamentos não se diferenciaram e tiveram, em média, produtividade de 160,0 t ha⁻¹. Vieira (2012) obteve resultados semelhantes, com redução de até 26 t ha⁻¹ quando interrompida a irrigação 51 dias antes da colheita, não recomendando o corte da irrigação para estes casos. O tratamento M3 apresentou qualidade inferior para as variáveis pureza e açúcares redutores analisadas anteriormente, indicando que realmente não é possível se obter valores máximos de produtividade agrícola com os maiores teores de sacarose, pois um dos processos sempre será beneficiado em detrimento do outro (CARDOZO, 2012).

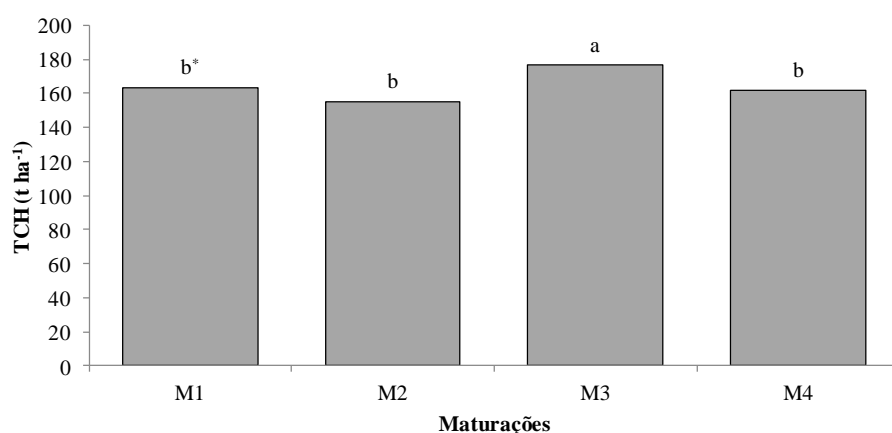


Figura 45 - Valores de produtividade de cana em toneladas de colmos por hectare (TCH) para os 4 tratamentos de maturação. * Maturações identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Analisando o desdobramento das lâminas em cada maturação (Figura 46), o tratamento de lâmina L100 se destaca com maior produtividade em todas as combinações, 207,1 t ha⁻¹ para L100 M1, 189,7 t ha⁻¹ para L100 M2, 232,2 t ha⁻¹ para L100 M3 e 197,3 t ha⁻¹ para L100 M4. Com um valor médio correspondendo a aproximadamente 55% do encontrado para L100 M3, a lâmina L50 apresentou as menores produtividades, média de 122,0 t ha⁻¹ para todas as maturações. Ressalta-se que tanto L50 como L125 não tiveram

tratamentos de maturação impostos no final do ciclo (detalhes no item 3.2 da metodologia), tendo assim valores bem próximos entre as maturações, que na prática foram repetições. Para L50, a produtividade variou de 115,7 a 125,9 t ha⁻¹ e para L125 variou de 156,9 a 174,9 t ha⁻¹, ambas com menor valor numérico de produtividade para M2 e maior para M4, provavelmente em função do posicionamento destes tratamentos na estufa.

O tratamento L75 teve comportamento intermediário, variando sua resposta em função da combinação das maturações, ficando sempre com produtividades abaixo de L100, porém para M2 e M3 (158,9 e 184,0 t ha⁻¹, respectivamente) não se diferenciou da lâmina L125. Já para M1 e M4, se diferenciou significativamente das demais lâminas, teve médias de 153,5 e 148,2 t ha⁻¹, respectivamente, produtividades estas inferiores às encontradas para L125 e superiores às encontradas para L50. Em resumo, os tratamentos L50 e L125, que não tiveram tratamentos de maturação, ficaram respectivamente com a produtividade inferior e média em todas as maturações, em função apenas do volume total de irrigação aplicado.

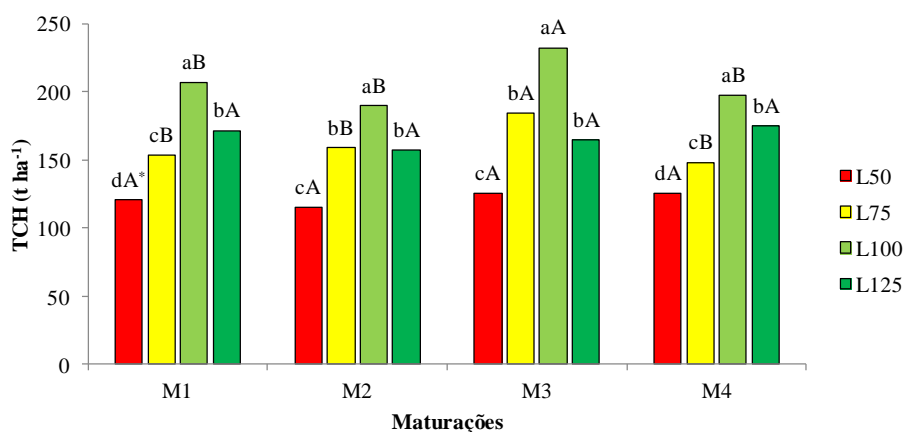


Figura 46 - Desdobramento dos valores de produtividade de cana em toneladas de colmos por hectare (TCH) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Os valores de produtividade próximos de 200,0 t ha⁻¹ encontrados neste trabalho, principalmente para a lâmina L100, correspondem aos valores de produtividade potencial da cana para as regiões canavieiras tradicionais do estado de São Paulo segundo Monteiro e Sentelhas (2014). Os autores relatam que as regiões de Piracicaba, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, apresentam potencial de produtividade acima de 170,0 t ha⁻¹, com máximas atingindo valores próximos de 200,0 t ha⁻¹.

Também corroboram com estes resultados os trabalhos de Maule et al. (2001) e Darli et al. (2008). Estudando a produtividade agrícola da cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita, Maule et al. (2001) encontraram valores para produtividade da variedade RB-72454 que chegaram a 207,0 t ha⁻¹ em um experimento conduzido no noroeste do estado de São Paulo. Darli et al. (2008) avaliaram os efeitos da irrigação por gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar e obtiveram produtividades próximas de 300 t ha⁻¹ para a variedade RB-72454 conduzida com irrigação plena.

Quanto às diferenças entre variedades (Figura 47), destaca-se a V4 com maior produtividade, 202,9 t ha⁻¹, seguida por V1 e V2 (184,7 e 183,1 t ha⁻¹, respectivamente), e posteriormente um grande grupo formado por V3, V5, V6 e V7 (158,1, 151,8, 150,7 e 151,0 t ha⁻¹, respectivamente) e, por fim, V8 com 131,5 t ha⁻¹. Esses resultados refletem praticamente o que foi observado no consumo hídrico de cada variedade (Figura 27, no item 4.3), porém deve-se resaltar o comportamento de V4, V1 e V2, pois, mesmo com V1 e V2 tendo maior consumo hídrico que V4, esta última obteve maior produtividade final em virtude do maior consumo durante a fase de pleno desenvolvimento, confirmando o destaque que tem quando plantada em áreas irrigadas.

A variabilidade dos dados estimados de TCH foi alta dentro das variedades para as lâminas estudadas, com coeficiente de variação próximo de 20% (Tabela 17) a nível de subparcela. Na Figura 48 o gráfico box-plot, com os valores de TCH das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina, confirma essa variabilidade. Para uma mesma combinação de variedade e lâmina a diferença média foi de 63 t ha⁻¹, mas a combinação L100 V4 chegou a uma diferença acima de 120 t ha⁻¹, com valor inferior próximo de 200 t ha⁻¹ e superior próximo de 325 t ha⁻¹. Proporcionalmente a maior variação ocorreu para L100 V8, sendo o valor superior (228,3 t ha⁻¹) maior que o dobro do valor inferior (113,4 t ha⁻¹).

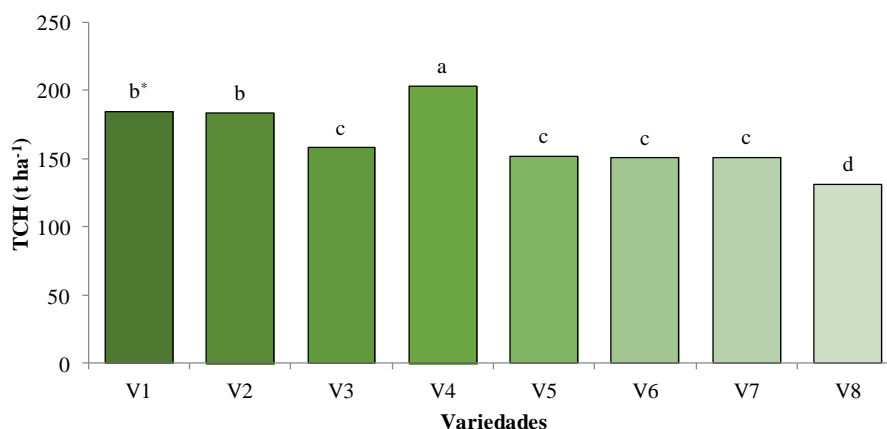


Figura 47 - Valores de produtividade média para as 4 lâminas de irrigação (L50, L75, L100 e L125) de cana em toneladas de colmos por hectare (TCH) para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

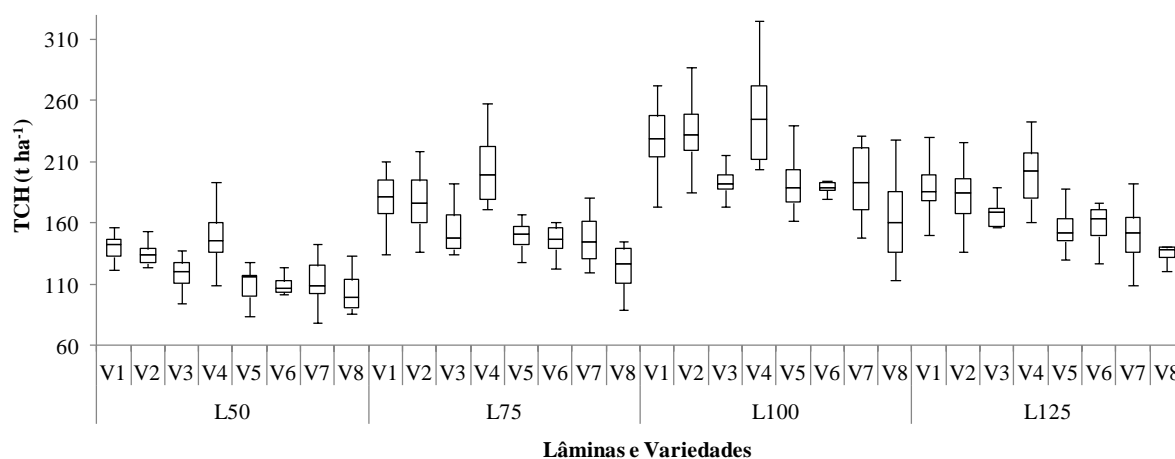


Figura 48 - Gráfico box-plot para os valores de produtividade de cana em toneladas de colmos por hectare (TCH) das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina

4.5.3 Rendimento bruto de açúcar - RBA ($t\ ha^{-1}$)

A variável rendimento bruto de açúcar por hectare indica o rendimento em peso (quilogramas) do açúcar por área colhida (hectare). Neste caso, repete-se o que foi descrito no Item 3.5.8 da metodologia, em que estima-se a área ocupada por cada parcela ($0,62\ m^2$) para extrapolar os valores encontrados no experimento para uma área representativa de um hectare. Em média, o rendimento bruto de açúcar foi de $17,18\ t\ ha^{-1}$ (Tabela 17), porém houve interação significativa para lâmina e maturação (Figura 49), assim como variedade e lâmina (Figura 50).

Sendo uma variável resultante da combinação de variáveis de qualidade com a produtividade de colmos, nota-se que a resposta final foi muito mais influenciada pela produtividade do que pela qualidade da matéria-prima, pois os resultados são similares aos encontrados e discutidos no item anterior, sendo maior o RBA quanto maior o volume hídrico consumido pela cultura (Figura 49), com valor mínimo de $12,0\ t\ ha^{-1}$ (L50 M2) e máximo de $23,4\ t\ ha^{-1}$ (L100 M3). Pedrozo (2014) também observou essa relação nas variedades estudadas, como exemplo, os valores de $19,73\ t\ ha^{-1}$ e $31,9\ t\ ha^{-1}$ para regime hídrico 0% (sem irrigação) e 125%, respectivamente, na variedade RB 96 6928. Avaliando 14 variedades com duas lâminas (100% e 70%), Maschio (2011) encontrou valores médios de $20,1$ e $15,9\ t\ ha^{-1}$ para lâmina de 100% e 70%, respectivamente. No ciclo seguinte (segunda soca) do mesmo experimento, Leal (2012) encontrou valores de $12,3$ e $9,4\ t\ ha^{-1}$ para 100% e 70%, respectivamente.

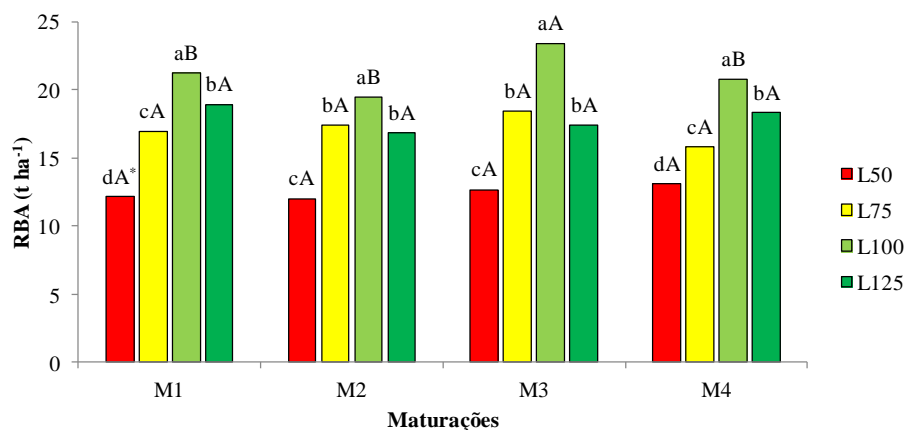


Figura 49 - Desdobramento dos valores de rendimento bruto de açúcar por hectare (RBA) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

O desdobramento das variedades para cada lâmina (Figura 50) ilustra bem as variedades mais responsivas/adaptadas para a irrigação e as mais sensíveis/críticas para irrigação sob déficit (sublâmina). A V4, com histórico de boa resposta à irrigação, também atingiu os maiores valores de RBA quando manejada com irrigação sob déficit, assim como V1 e V2, pois se mantiveram sempre acima das demais variedades, independente da lâmina aplicada. A V6, variedade que teve ótimo desempenho nas variáveis de qualidade, foi sensível à irrigação sob déficit. Para L100, ela não se diferenciou significativamente de V1, V2 e V4, tendo um rendimento de 23,1 t ha⁻¹, reduzido para 54,1% deste valor (12,5 t ha⁻¹) quando avaliada no tratamento L50. Como exemplo, a variedade V1 teve uma variação para esta mesma comparação (L100 para L50) de 61,4%, com produção de 24,9 e 15,3 t ha⁻¹, para L100 e L50, respectivamente. A variedade com menor RBA foi a V8, 13,7 t ha⁻¹ para L100 e 8,9 t ha⁻¹ para L50, também sendo a menos sensível à redução na lâmina. O valor para L50 foi 65,1% do encontrado para L100.

Quanto a variabilidade dos dados, os valores de RBA das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina ilustram a semelhança entre variabilidade dos valores de RBA e TCH (Figura 51). Para uma mesma combinação de variedade e lâmina a diferença média foi de 7,8 t ha⁻¹, mas a combinação L125 V4 chegou a uma diferença acima de 14 t ha⁻¹, com valor inferior próximo de 16 t ha⁻¹ e superior próximo de 30 t ha⁻¹. Proporcionalmente a maior variação ocorreu na combinação L100 V7, sendo o valor superior (27,0 t ha⁻¹) maior que o dobro do valor inferior (13,1 t ha⁻¹).

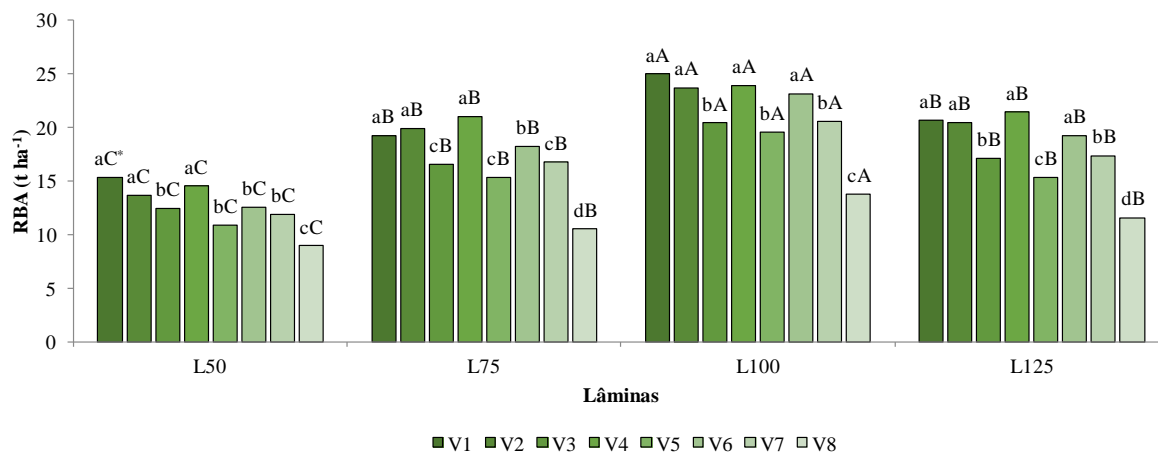


Figura 50 - Desdobramento dos valores de rendimento bruto de açúcar por hectare (RBA) para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina. * Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma lâmina e lâminas identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

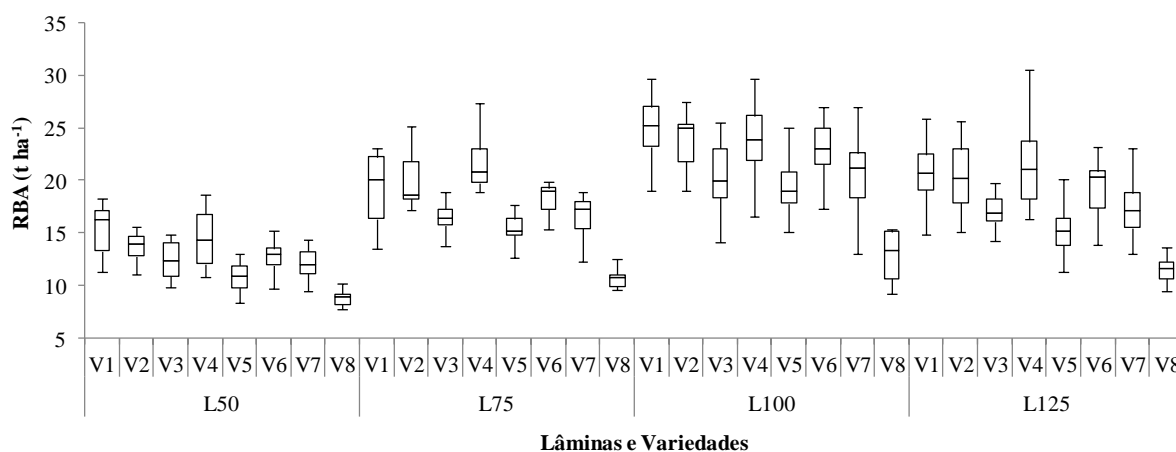


Figura 51 - Gráfico box-plot para os valores de rendimento bruto de açúcar por hectare (RBA) das 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina

4.5.4 Produtividade da água para açúcar - PAA (kg m^{-3})

A variável produtividade da água para açúcar é a relação entre a produção de açúcar (quilogramas) e o volume de água consumido pela planta (m^3) para atingir esta produção, ou seja, quanto maior a PAA mais eficiente será a cultura no uso da água. O valor médio encontrado para o experimento foi de $1,43 \text{ kg m}^{-3}$ (Tabela 17), e houve diferença estatística apenas entre as variedades (Figura 52). A V6 teve o maior valor, $1,71 \text{ kg m}^{-3}$, e V1, V2, V3, V4 e V7 não se diferenciaram significativamente entre si, ficando no segundo grupo, com PAA de $1,46$, $1,41$, $1,44$, $1,47$ e $1,39 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente. A V5 teve PAA de $1,33 \text{ kg m}^{-3}$ e, com a menor PAA, a menos eficiente foi a V8, $1,24 \text{ kg m}^{-3}$.

Analisando os dados de rendimento bruto de açúcar, apresentados no tópico anterior, de um ponto de vista "inverso", ou seja, partindo da lâmina L50, a variedade mais sensível (V6) é a que apresenta maior ganho no RBA quando irrigada com L100, apresentando maior eficiência em produzir açúcar quando o volume de irrigação é aumentado, sendo a mais responsiva ao aumento de lâmina. Utilizando o ponto de vista de variedade responsiva, os resultados são coincidentes com a PAA; as variedades menos sensíveis (V1 e V8) são as menos responsivas e conseqüentemente não se destacam para PAA.

Para o caso de irrigação sob déficit utilizando gotejamento (alta frequência), as plantas recebem água constantemente, porém em um volume reduzido, mas se adaptam, evitando o estresse hídrico e mantendo taxa de conversão de água em açúcar (PAA) praticamente constante, não se diferenciando entre os tratamentos de lâmina, como também foi observado por Maschio (2011) com PAA médias entre as variedades de $2,74 \text{ kg m}^{-3}$ para 100% de reposição e $2,86 \text{ kg m}^{-3}$ para 70% de reposição hídrica neste mesmo solo. No ano seguinte, Leal (2012) encontrou valores de 2,10 e $2,13 \text{ kg m}^{-3}$ para 100 e 70% de reposição, respectivamente.

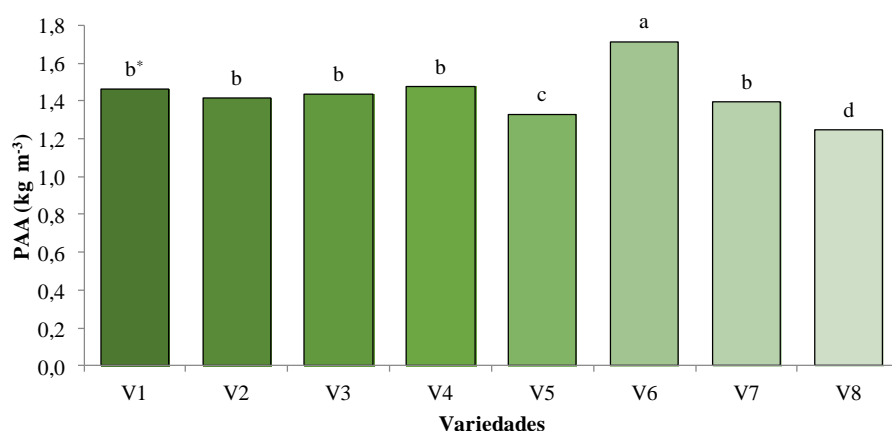


Figura 52 - Valores de produtividade da água para açúcar (PAA) em quilogramas de açúcar por metro cúbico de água aplicada para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.5.5 Biomassa seca da parte aérea das plantas - BIOM (g)

A variável biomassa seca da parte aérea das plantas representa a somatória da matéria seca de perfilho improdutivo, limbo foliar total, bainha, desponte, e colmo, de cada parcela. Segundo Evensen et al. (1997) citado por Cardozo (2012), um dos principais problemas das amostragens para determinação de acúmulo de biomassa em cana-de-açúcar é que raramente

são feitas em termos de matéria seca com todos os seus componentes, incluindo ponteiros, colmos, palha, folhas e raízes. Para o caso da BIOM não foi mensurada apenas a biomassa das raízes.

O valor médio encontrado para BIOM foi de 3.563,92 g parcela⁻¹, resultando em um valor estimado de 57,5 toneladas em um hectare, adotando-se área da parcela de 0,62 m². Analisando a diferença no acúmulo de biomassa entre os tratamentos, na escala de parcela (Figura 53), a lâmina L100 resultou nos maiores valores de BIOM, 4.368,45, 4.067,87, 4.853,80 e 4.448,79 g parcela⁻¹, para o desdobramento com M1, M2, M3 e M4, respectivamente. Os menores valores foram encontrados para L50, 2.626,69, 2.511,23, 2.639,80 e 2.740,87 g parcela⁻¹, para o desdobramento com M1, M2, M3 e M4, respectivamente, sendo em média aproximadamente 60% da BIOM encontrada para L100.

As lâminas L75 e L125 ficaram intermediárias, seguindo também o mesmo comportamento do TCH e RBA, pois o peso seco dos colmos, incluindo os sólidos solúveis que estavam diluídos no caldo, representou aproximadamente 63% da BIOM na média de todo o experimento. Assim, o comportamento do desdobramento das variedades para cada lâmina (Figura 54) é semelhante ao apresentado para RBA, sendo as variedades que mais demandaram água as que mais converteram em biomassa, V1, V2 e V4, para todas as lâminas avaliadas.

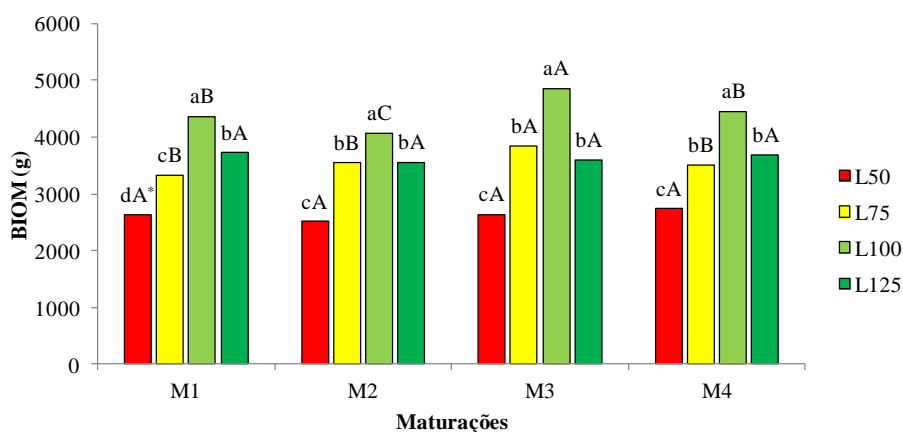


Figura 53 - Desdobramento dos valores de biomassa total da parte aérea por parcela em gramas (BIOM) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

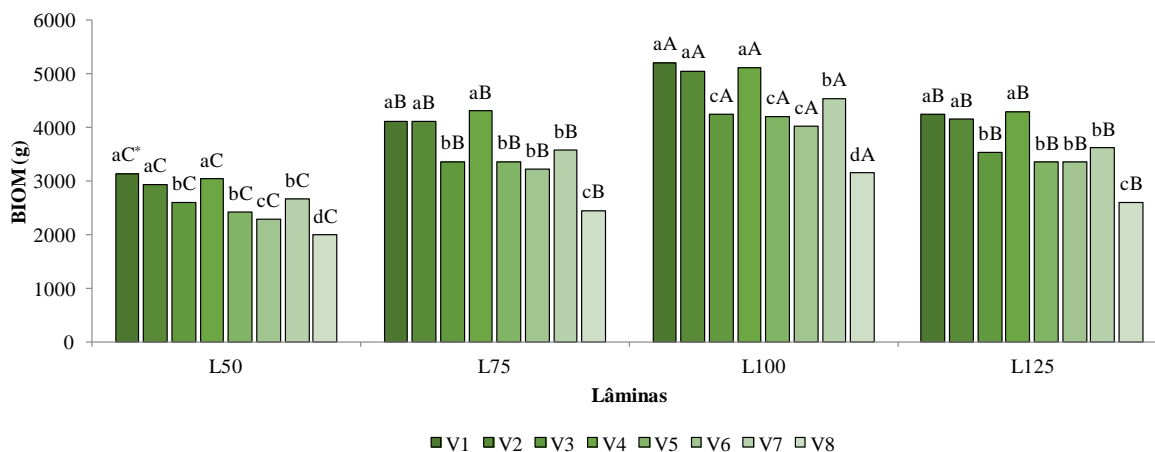


Figura 54 - Desdobramento dos valores de biomassa total da parte aérea por parcela em gramas (BIOM) para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina. * Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma lâmina e lâminas identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.5.6 Produtividade da água para biomassa - PAB (kg m^{-3})

A variável produtividade da água para biomassa é a relação entre a produção de biomassa seca da parte aérea (quilogramas) e o volume de água consumido pela planta (m^3) para atingir esta produção, ou seja, quanto maior a PAB mais eficiente será a cultura no uso da água. O valor médio encontrado para o experimento foi de $5,29 \text{ kg m}^{-3}$ (Tabela 17), e houve diferença estatística apenas entre as variedades (Figura 55). As variedades V1, V2, V3, V4, V6 e V7 não se diferenciaram significativamente com valores de PAB iguais a 5,41, 5,26, 5,27, 5,42, 5,37 e $5,36 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, e V5 ($5,17 \text{ kg m}^{-3}$) e V8 ($5,03 \text{ kg m}^{-3}$) não se diferenciaram entre si. Essas duas últimas não se enquadraram no grupo anterior provavelmente por V5 ser uma variedade tardia, que estava ainda em pleno desenvolvimento, o que é confirmado pelos altos valores de AR, 1,1 a 1,2%, e V8 por ser uma variedade antiga e desenvolvida em um programa fora do país.

Assim, observa-se que os programas de melhoramento não conseguem alterar a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, pois a BIOM, que representa a fotossíntese acumulada ao longo do desenvolvimento das plantas, apresenta uma taxa de acúmulo em função do volume de água consumido semelhante para todas as variedades. A grande diferença está no particionamento que cada variedade faz para aumentar seu rendimento em açúcar ou biomassa, podendo também ter uma pequena diferença na fenologia (maturação) com o melhoramento das variedades.

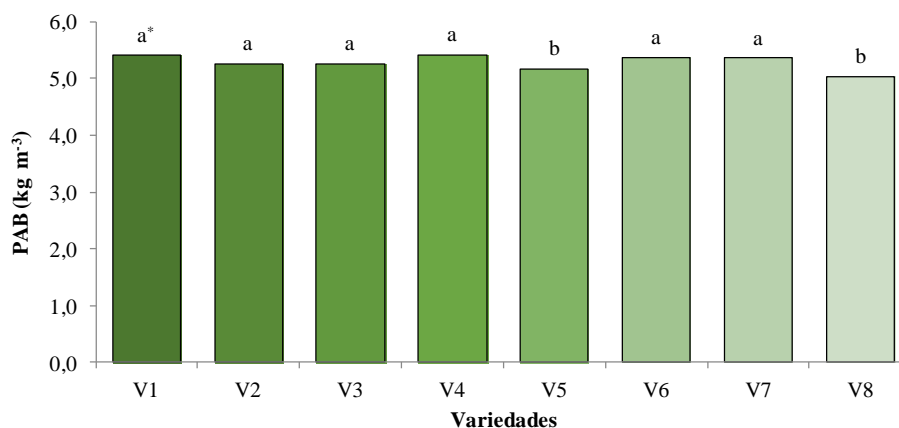


Figura 55 - Valores de produtividade da água para biomassa total da parte aérea (PAB) em quilogramas de biomassa por metro cúbico de água aplicada para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.5.7 Número de folhas do perfilho principal - F_{Ref-1}

A variável número de folhas do perfilho principal é a média, para as duas plantas da parcela, do total de folhas completamente expandidas no perfilho principal. Foram contadas 21 folhas, em média (Tabela 17), para cada perfilho principal, porém foi significativa a diferença entre variedades (Figura 56), com o maior valor médio de 23,6 folhas para a V6 e o menor de 18,5 folhas para a V5. Também foi adicionada no gráfico da Figura 56 uma estimativa das folhas do desponte (folhas enroladas no cartucho), para se obter uma ordem de grandeza do total de folhas por perfilho. As folhas do desponte variaram de 4,4 (V1) a 6,2 (V8).

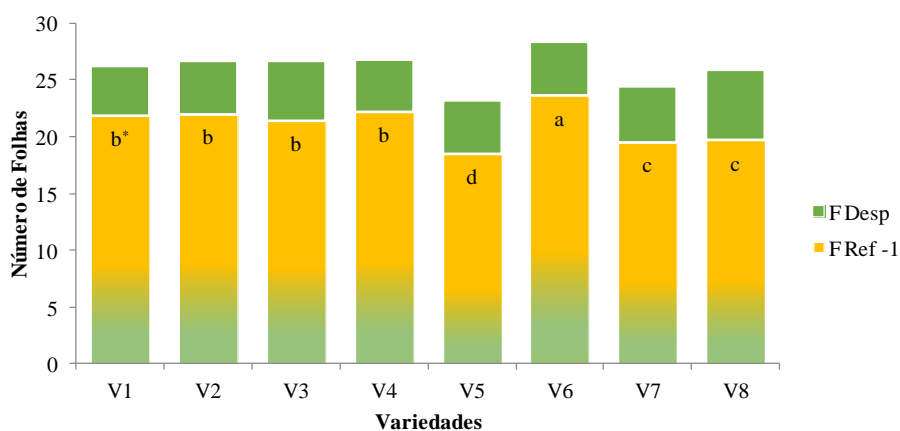


Figura 56 - Número de folhas do desponte (F_{Desp}) e do perfilho principal (F_{Ref-1}) para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott para a variável número de folhas do perfilho principal (F_{Ref-1})

4.5.8 Número de folhas verdes do perfilho principal - FV

A variável número de folhas verdes do perfilho principal é a média, para as duas plantas da parcela, do total de folhas verdes completamente expandidas no perfilho principal. O valor médio encontrado para todo o experimento foi de 5,54 folhas para cada perfilho principal (Tabela 17). Houve diferença significativa entre as maturações (Figura 57), sendo que numericamente o FV decresceu simultaneamente com o decréscimo do volume de água aplicado nos últimos dias antes da colheita, ou seja, M3 teve o maior valor (6,6), seguido por M1 (6,0) e M2 (5,6), e finalizando com M4 (4,0).

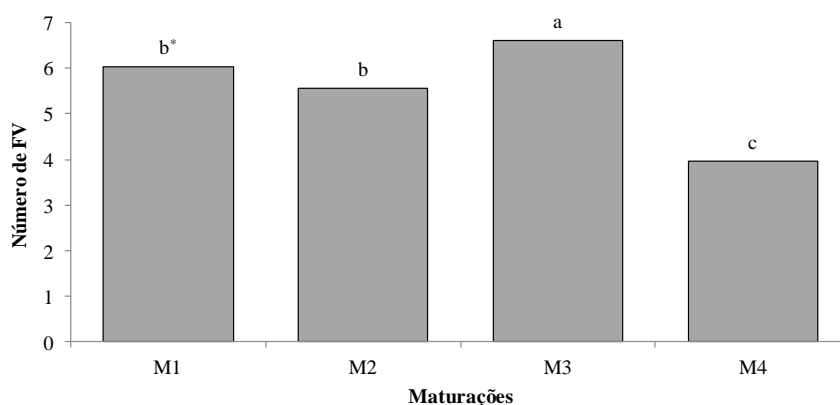


Figura 57 - Número de folhas verdes do perfilho principal (FV) para os 4 tratamentos de maturação. * Maturações identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Na Figura 58 está o desdobramento das lâminas para cada maturação, porém o resultado apenas confirma que a restrição hídrica nos últimos dias antes da colheita (M4) causa redução acentuada no FV, e os tratamentos L50 e L125 que não tiveram redução da irrigação mantiveram mais de 6,0 folhas verdes mesmo na maturação M4.

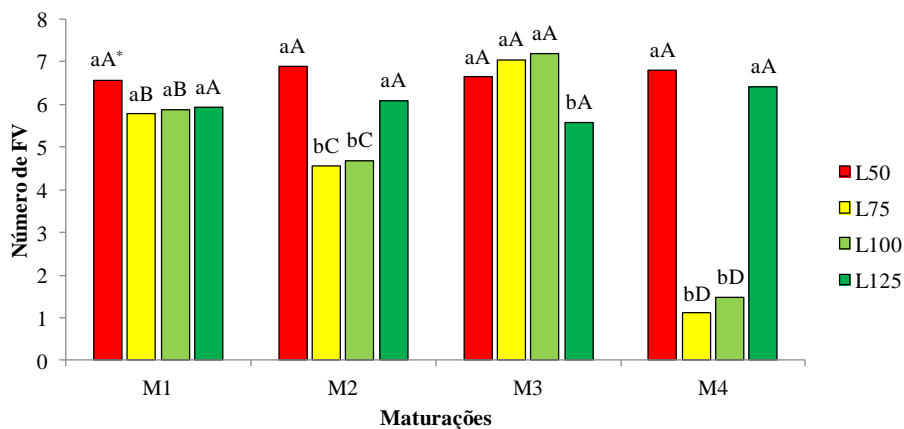


Figura 58 - Número de folhas verdes do perfilho principal (FV) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Analisando as variedades (Figura 59), os maiores valores de FV foram para V6 e V8, 6,2 e 6,4, respectivamente. Os menores para V2 (4,0) e um grupo intermediário formado por V1, V3, V4, V5 e V7, com média de 5,5 folhas verdes.

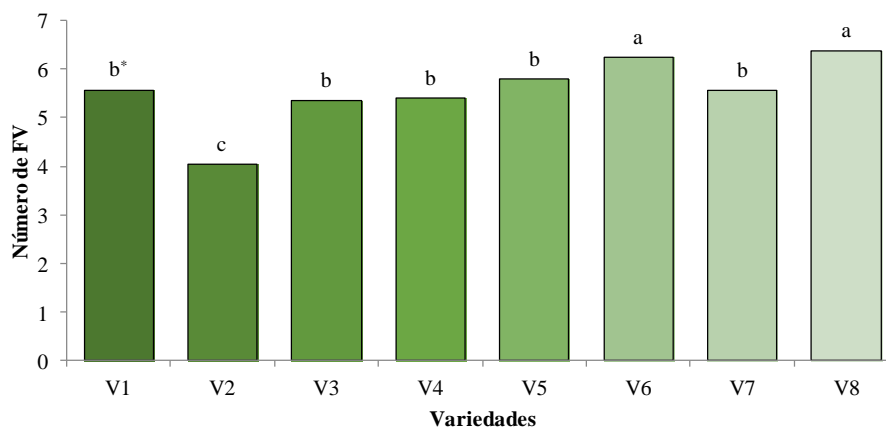


Figura 59 - Número de folhas verdes do perfilho principal (FV) para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.6 Índices relacionados com a produção e maturação da cana-de-açúcar

Nos resultados da análise de variância para índices relacionados com a produção e maturação (Tabela 18), observa-se que houve diferença significativa a um nível de 1% de probabilidade comparando-se as variedades para os índices de colheita (IC-A e IC-T), com interação significativa a 5% de probabilidade para o desdobramento de lâminas dentro de cada maturação (Figuras 60 e 62). Também se observa diferença significativa a um nível de 1% de probabilidade para as variedades no índice de maturação para a porção média inferior do colmo (IM-1), índice de maturação para a porção média superior do colmo (IM-2) e índice de maturação para a ponta do colmo (IM-3), assim como para os índices de clorofila Falker nas três avaliações (ICF-1, ICF-2 e ICF-3). Entre as maturações, a diferença foi significativa apenas para ICF-3. Para lâminas, houve diferença no IM-1, IM-3 e ICF-3. Não houve interação tripla para nenhum dos índices, porém ICF-3 teve interação significativa entre maturação e lâmina, e IM-3 teve interação significativa entre lâmina e variedade.

4.6.1 Índice de colheita - IC

Sendo a relação que representa a eficiência de conversão de produtos sintetizados em material de importância econômica (MARAFON, 2012), o índice de colheita (IC) é um dado utilizado para estimativa da partição da biomassa total produzida em açúcar no modelo

Aquacrop (STEDUTO et al., 2009). Neste caso, os autores indicam a utilização do índice de colheita considerando apenas a biomassa seca da parte aérea.

Tabela 18 - Resumo da análise de variância com os valores calculados de F e sua significância para índices relacionados com a produção e maturação

Fontes de Variação		IC-A	IC-T	IM-1	IM-2	IM-3	ICF-1	ICF-2	ICF-3
----- Valores de F -----									
Parcela	Blocos (B)	0,86 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,69 ^{ns}	60,17 ^{**}	3,48 ^{ns}	6,22 [*]
	Maturação (M)	0,73 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,97 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,15 ^{ns}	25,32 ^{**}
Subparcela	Lâmina (L)	1,86 ^{ns}	1,86 ^{ns}	3,55 [*]	1,06 ^{ns}	4,49 [*]	1,40 ^{ns}	1,68 ^{ns}	53,49 ^{**}
	M x L	2,93 [*]	2,93 [*]	1,54 ^{ns}	1,13 ^{ns}	2,07 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,54 ^{ns}	35,82 ^{**}
Sub-subparcela	Variedades (V)	67,56 ^{**}	67,56 ^{**}	6,44 ^{**}	18,50 ^{**}	16,37 ^{**}	7,82 ^{**}	8,90 ^{**}	11,13 ^{**}
	M x V	1,29 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,55 ^{ns}
	L x V	1,25 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,66 [*]	0,97 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,94 ^{ns}
	M x L x V	0,99 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,16 ^{ns}
CV (%)	Parcela	18,69	18,69	10,82	14,19	43,63	13,72	9,60	32,01
	Subparcela	9,69	9,69	6,32	11,36	19,10	20,09	7,98	19,75
	Sub-subparcela	6,62	6,62	5,82	6,51	10,66	10,57	6,92	17,19
Média geral		27,01	21,10	0,92	0,85	0,67	34,57	60,53	29,25

Índice de colheita com base na biomassa seca da parte aérea (IC-A); Índice de colheita com base na biomassa seca total (IC-T); Índice de maturação para a porção média inferior do colmo (IM-1); Índice de maturação para a porção média superior do colmo (IM-2); Índice de maturação para a ponta do colmo (IM-3); Índice de clorofila FALKER para a primeira avaliação (ICF-1); Índice de clorofila FALKER para a segunda avaliação (ICF-2); Índice de clorofila FALKER para a terceira avaliação (ICF-3). ^{ns}: não significativo; ^{*}: significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{**}: significativo ao nível de 1% de probabilidade

Houve diferença entre as lâminas nas maturações M1 e M4 (Figura 60), sendo uma interação resultante não somente da produção de biomassa, mas também do rendimento de açúcar proporcionado pela combinação dos tratamentos. Assim, os tratamentos M2 e M3 proporcionaram condições, ou restrições, que mantiveram a partição de fotoassimilados para açúcar constante. Independente da lâmina aplicada, os valores encontrados foram de aproximadamente 27,0%. O tratamento M1 favoreceu a partição para açúcar na combinação com as lâminas L75 e L125, com valores de 28,6 e 28,5%, respectivamente. Para o tratamento M4, as combinações com maior partição para açúcar foram com L50 e L125, respectivamente, com valores de 26,9 e 27,9%.

Os valores encontrados para as diferentes variedades estão apresentados na Figura 61, sendo que a maior partição para açúcar foi encontrada na V6, com valor de 31,8%. O menor valor foi de 24,7% para a variedade V8. As variedades V1, V2, V3 e V4 não se diferenciaram significativamente, tendo em média 27,0% da biomassa da parte aérea alocada na forma de

açúcar. As variedades V5 e V7 também não se diferenciaram entre si, com valor médio de IC-A de 25,8%.

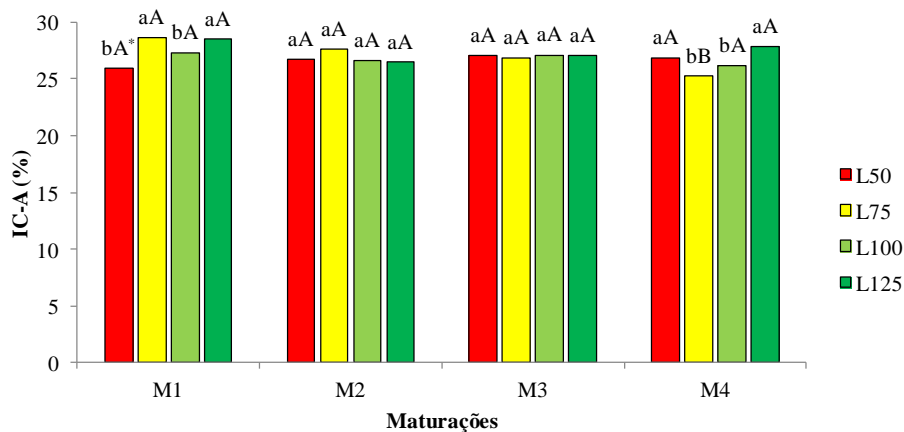


Figura 60 - Índice de colheita com base na biomassa da parte aérea da planta (IC-A) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

O teor de sacarose do colmo, ideal para a colheita, gira em torno de 12,5% em uma base de matéria fresca e, cerca de 50%, em base de matéria seca. Já o teor de sacarose por unidade de matéria seca total da parte aérea (índice de colheita) varia em torno de 35% (THOMPSON, 1976; INMAN-BAMBER et al.; 2002; CARR; KNOX, 2011). Os valores encontrados neste experimento ficaram abaixo dos apresentados na bibliografia consultada, porém essa menor partição para açúcar era esperada, pois as variáveis de qualidade, como pureza e ATR, não atingiram seus valores máximos, como descrito nos respectivos tópicos.

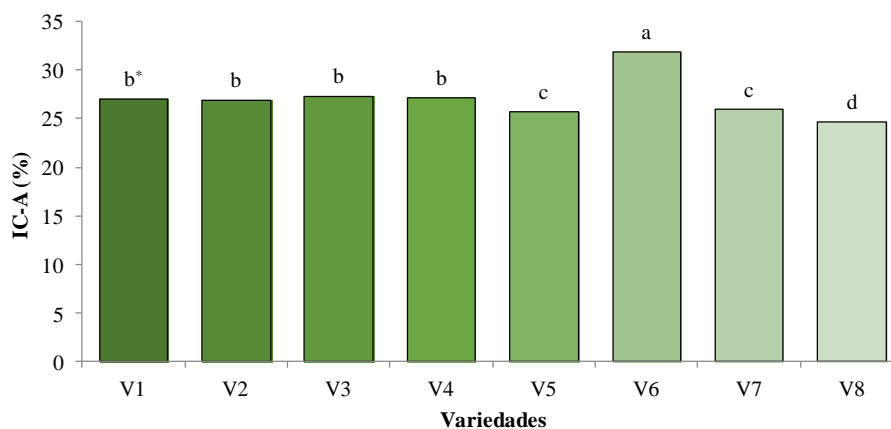


Figura 61 - Índice de colheita com base na biomassa da parte aérea da planta (IC-A) para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Como inicialmente o índice de colheita foi calculado com base na biomassa da parte aérea (IC-A) e o índice de colheita com base na biomassa total (IC-T) foi calculado adotando-se a biomassa do sistema radicular como 22,0% da biomassa total da planta (FARIAS et al., 2008), apenas acrescentando 28,0% na biomassa da parte aérea, os valores e a análise para o IC-T são similares aos de IC-A. Assim, nas Figuras 62 e 63 estão os resultados de IC-T, sendo apenas um indicativo de ordem de grandeza, com valores variando de 24,8% (V6) e 19,2% (V8), mas com as mesmas interações e relação apresentadas para o IC-A.

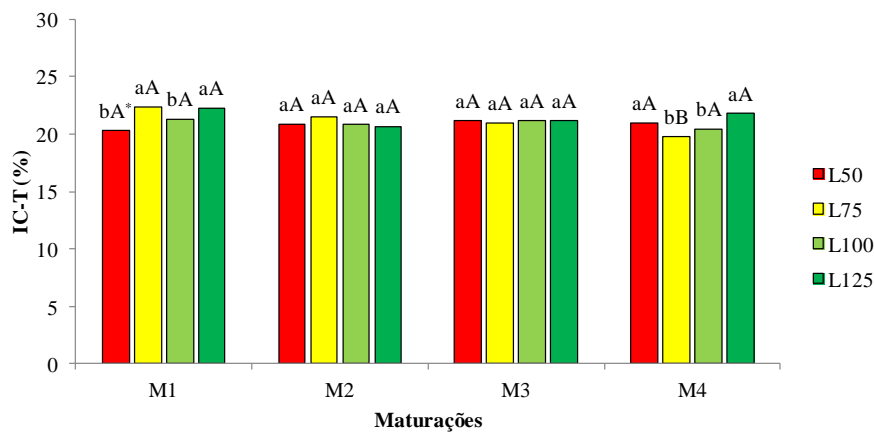


Figura 62 - Índice de colheita com base na biomassa total da planta (IC-T) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. Adotou-se como padrão que a biomassa do sistema radicular representa 22,0 % da biomassa total da planta (FARIAS et al., 2008). * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

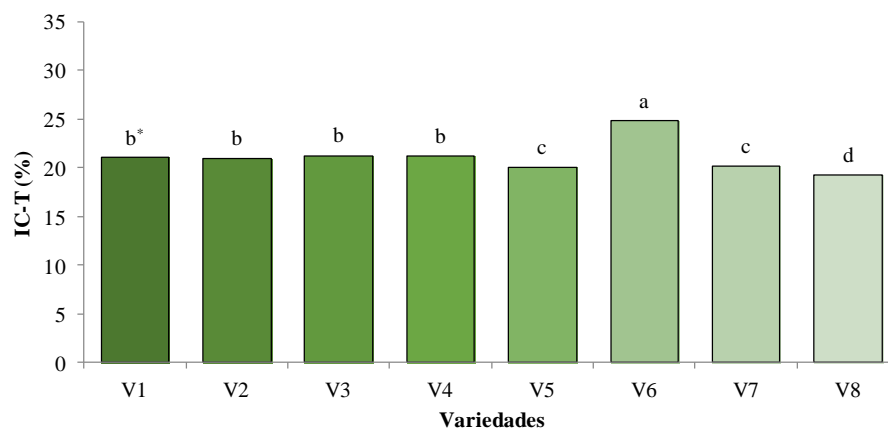


Figura 63 - Índice de colheita com base na biomassa total da planta (IC-T) para as 8 variedades estudadas. Adotou-se como padrão que a biomassa do sistema radicular representa 22,0 % da biomassa total da planta (FARIAS et al., 2008). * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.6.2 Índice de maturação do colmo principal - IM

O índice de maturação indica como está a "uniformidade" da maturação ao longo do colmo, ou seja, se os entrenós têm um valor semelhante de Brix em todas as porções do colmo principal. Avaliando-se a base com a porção média inferior (IM-1), os melhores resultados foram para a L75, valor médio de 0,94, quando comparadas as lâminas (Figura 64). Para as variedades, V3, V6 e V7 tiveram os melhores resultados, não se diferenciando significativamente entre si, com valor médio de 0,94 (Figura 65).

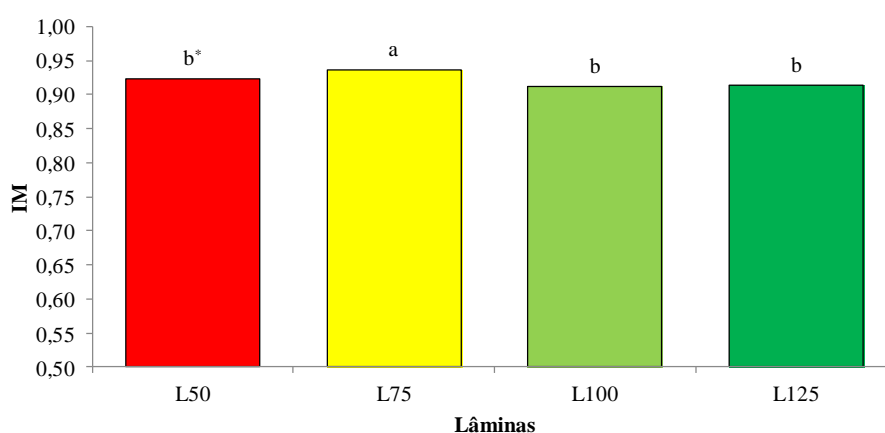


Figura 64 - Índice de maturação para a porção média inferior do colmo (IM-1) para os 4 tratamentos de Lâmina.
* Lâminas identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

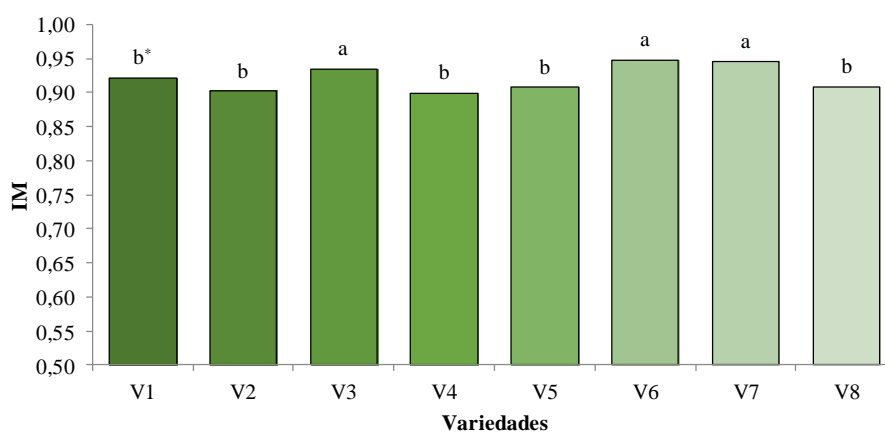


Figura 65 - Índice de maturação para a porção média inferior do colmo (IM-1) para as 8 variedades estudadas.*
Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Comparando-se a base com a porção média superior do colmo, houve diferença significativa apenas para variedades (Figura 66). As variedades V6 e V7 não diferiram significativamente e tiveram os melhores resultados, com valor médio de 0,89. A variedade V1 teve valor médio para IM-2 de 0,86. As variedades V2, V3, V5 e V8 não se diferenciaram significativamente, com valor médio de 0,84. E por fim, com o menor valor encontrado, ficou a V4, com valor médio de 0,79.

Sendo o índice de maturação para a porção média superior do colmo (IM-2) o adotado como padrão no campo, os valores descritos acima demonstram que as variedades V1, V6 e V7 estão maduras e as demais variedades em fase de maturação. Para isto, adotou-se o critério em que valores entre 0,60 e 0,85 indicam que a cana-de-açúcar está em processo de maturação e entre 0,85 e 1,00 que a cana está madura (ROSSETO, 2007).

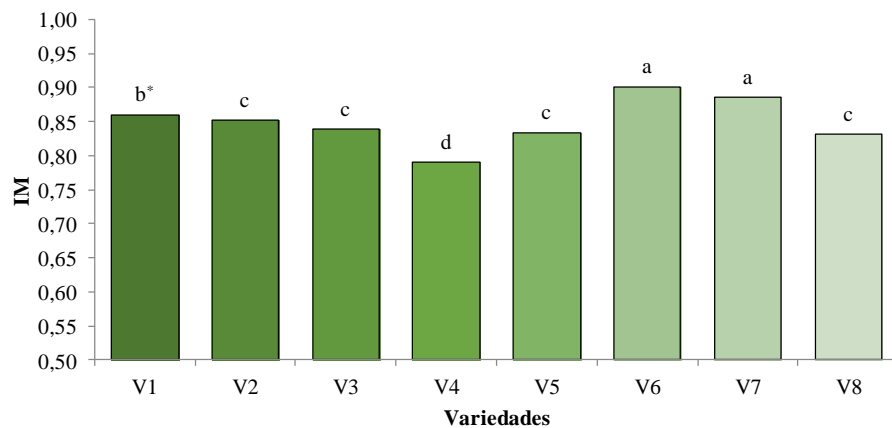


Figura 66 - Índice de maturação para a porção média superior do colmo (IM-2) para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Comparando-se a base com a ponta do colmo (IM-3), houve diferença entre lâminas (Figura 67), sendo que L75 e L100 tiveram os maiores valores, 0,69 e 0,68, respectivamente. Provavelmente por serem os tratamentos que receberam diferentes maturações e nos quais o ponteiro se desidratou com o déficit hídrico imposto, houve um aumento no valor de Brix da ponta e consequentemente os maiores valores de IM-3.

A diferença entre as variedades, considerando a interação lâmina com variedade, resultou na diferenciação significativa apenas de dois grupos de variedades para cada combinação de lâmina (Figura 68). Na lâmina L75, a maioria das variedades ficou agrupada no patamar de valores mais elevados, média geral de 0,72, e apenas V3 e V4, com índices de 0,60 e 0,65, respectivamente, formaram o conjunto de variedades com menores índices. Na

lâmina L125, o comportamento das variedades se inverteu, apenas as variedades V2, V5 e V6 mantiveram-se no patamar de valores mais elevados, média geral de 0,70.

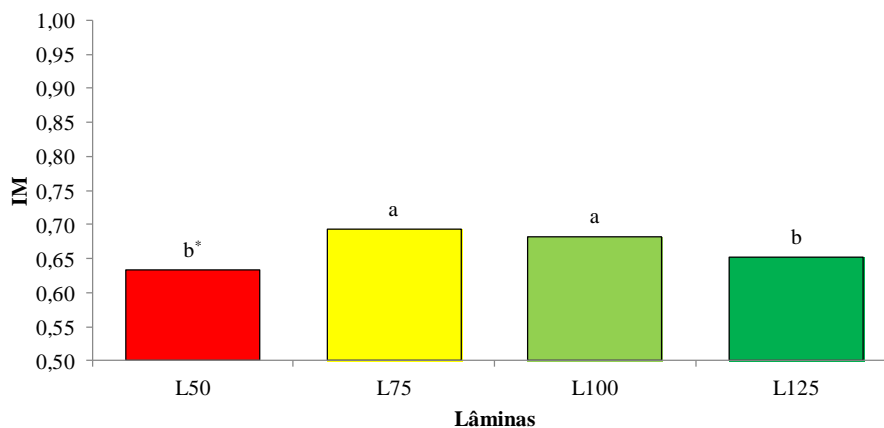


Figura 67 - Índice de maturação para a ponta do colmo (IM-3) para os 4 tratamentos de Lâmina. * Lâminas identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Independente das diferenças e variações observadas no IM-3, este índice apresentou valores bem inferiores aos demais índices (IM-1 e IM-2), raramente superior a 0,70, indicando que o ponteiro ainda estava em processo inicial de maturação.

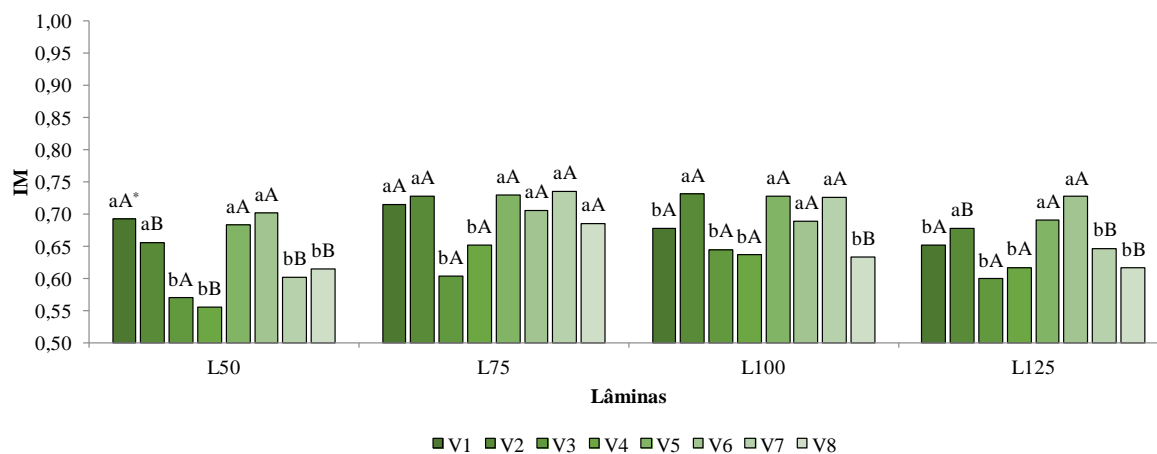


Figura 68 - Desdobramento do índice de maturação para a ponta do colmo (IM-3) para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina. * Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma lâmina e lâminas identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.6.3 Índice de clorofila FALKER - ICF

Segundo Barbieri Junior (2009), o clorofilômetro é um instrumento que indica de forma indireta o teor de clorofila, com base nas propriedades óticas das folhas, sendo que os teores de clorofila total relacionaram-se diretamente com as leituras do clorofilômetro para um experimento realizado com Capim-Tifton 85, com coeficiente de determinação (r^2) acima de 85%. O autor ainda relata que a atividade fotossintética, o conteúdo de proteínas e carboidratos solúveis, o nitrogênio total e os teores de micronutrientes existentes nas folhas são algumas das variáveis que podem ser correlacionadas com o conteúdo de clorofila no tecido foliar. Para Ritchie (2008), citado por Barbieri Junior (2009), a clorofila exerce um controle dominante sobre a quantidade de radiação solar que uma folha absorve. Assim, as concentrações foliares desse pigmento podem indicar o potencial fotossintético e, conseqüentemente, a produção.

Para as três avaliações realizadas ao longo deste experimento, a variedade V8 teve os maiores ICF comparada às demais, com valores de 37,6 (ICF-1) 30 dias após a imposição dos tratamentos de lâmina de irrigação, 63,2 (ICF-2) 100 dias após a primeira leitura e 33,1 (ICF-3) durante a colheita, aproximadamente 100 dias após a segunda e já com o resultado da imposição do tratamento de maturação. Entre as avaliações, não só a V8 como as demais variedades avaliadas apresentaram um maior índice para ICF-2, isto porque foi um período com intensas adubações, o que eleva o índice de clorofila na folha, principalmente pelo aumento na disponibilidade de nitrogênio (BARBIERI JUNIOR, 2009), porém as diferenças entre as variedades se mantiveram. As diferenças entre as variedades na primeira e segunda avaliação (Figura 69 e Figura 70) estão inversamente relacionadas com a biomassa total acumulada. Como não houve diferença de nutrição entre as variedades, a que apresentou maior biomassa teve sua clorofila total "diluída" em um volume maior de matéria verde, implicando um menor índice. Jarrell e Beverly (1981) e Mishra e Kurchania (2001), citados por Reis et al. (2008), já observaram o mesmo efeito com nutrientes, relatando que a reduções podem ser explicadas por um efeito de diluição, onde as concentrações dos nutrientes são diluídas com o crescimento da planta.

Estudando o efeito da aplicação de nitrogênio na produção de cana-de-açúcar, Vale (2009) afirma que não houve efeito significativo da leitura do índice de clorofila com o aumento da aplicação de nitrogênio, mesmo com aumento significativo na biomassa das plantas. Neste caso, o autor trabalhou em campo e não utilizou um equipamento idêntico, mas

sim um SPAD (Minolta SPAD-502[®]) para as leituras de índice de clorofila, encontrando valores de 42,4 e 40,6 para as doses de 0 e 240 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

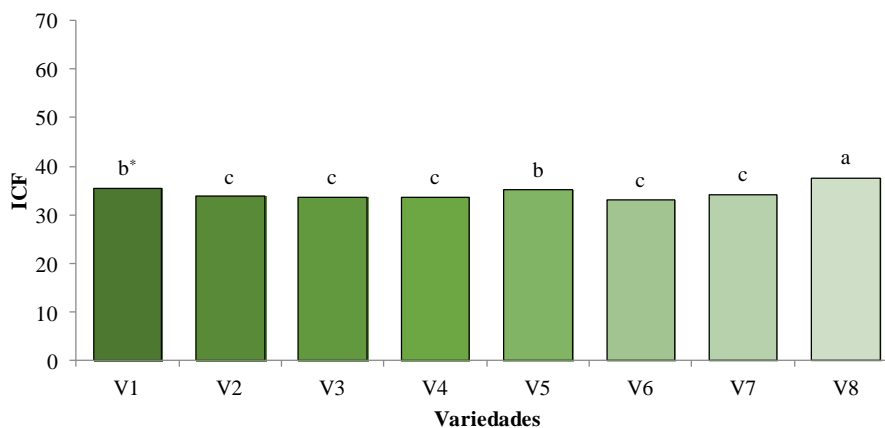


Figura 69 - Índice de clorofila FALKER da primeira avaliação (ICF-1) para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

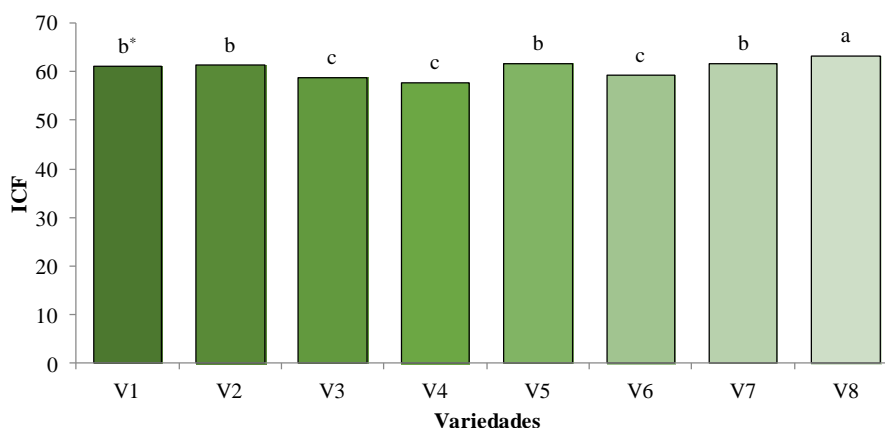


Figura 70 - Índice de clorofila FALKER da segunda avaliação (ICF-2) para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Correlacionando a produção de biomassa com os teores de clorofila para variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes tratamentos de irrigação, porém nas mesmas condições de adubação, Oliveira et al. (2014) encontrou que os maiores teores de clorofila total nas folhas ($\mu\text{mol m}^{-2}$ de folha) correspondem às variedades com menor produção de matéria seca e menor rendimento bruto de açúcar. As maiores quantidades de clorofila total na planta (μmol) se correlacionam com as maiores produções de biomassa e é possível classificar o nível de produtividade esperado de açúcar e biomassa somente com base na leitura média do teor de clorofila na folha.

Para a última avaliação, ICF-3, os resultados estão mais relacionados com o estresse gerado pelo tratamento de maturação, assim mudando um pouco o comportamento e se relacionando em parte com o número de folhas verdes. Houve diferença entre maturações (Figura 72), sendo menor o índice quanto maior o estresse aplicado, decrescendo na sequência M3, M1, M2 e M4.

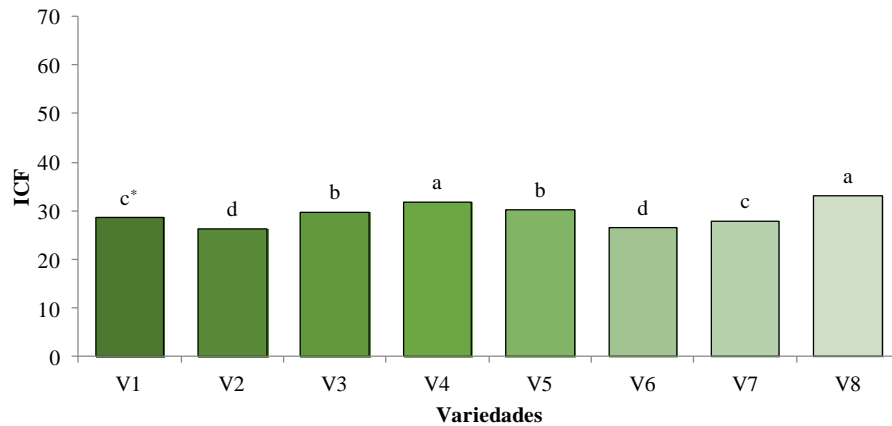


Figura 71 - Índice de clorofila FALKER da terceira avaliação (ICF-3) para as 8 variedades estudadas. * Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

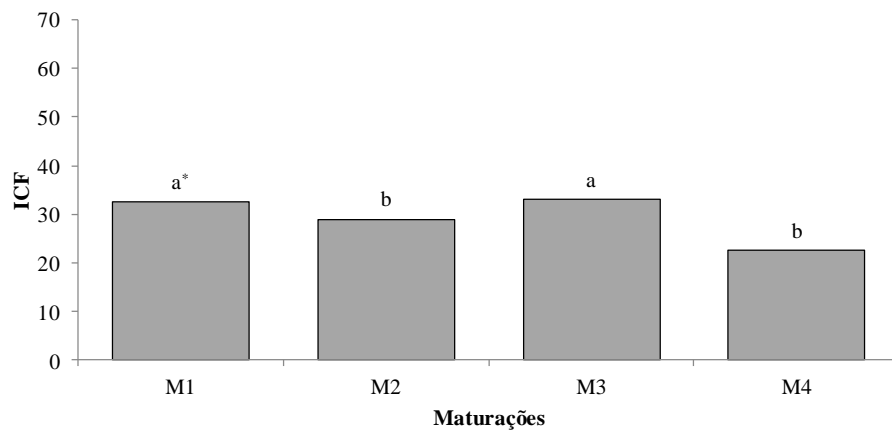


Figura 72 - Índice de clorofila FALKER da terceira avaliação (ICF-3) para os 4 tratamentos de maturação. * Maturações identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Utilizando um ClorofiLOG, Barbosa et al. (2010) avaliaram o índice de clorofila total Falker (ICF) para as variedades RB867515 e SP89-1115, submetidas a dois níveis de irrigação (plena e parcial) em ambiente protegido. Nas condições do experimento, os tratamentos de lâminas de irrigação para o período de 110 a 216 DAP não apresentaram diferenças no ICF, tanto para a variedade RB867515 quanto para a SP89-1115, com valores

médios variando de 40,0 a 60,0 ao longo do ciclo da cultura, independente da lâmina aplicada. Assim, as diferenças observadas entre as lâminas na última avaliação, ICF-3 (Figura 73), estão relacionadas não somente com o efeito das lâminas, mas principalmente com o déficit hídrico causado pela imposição dos tratamentos de maturação.

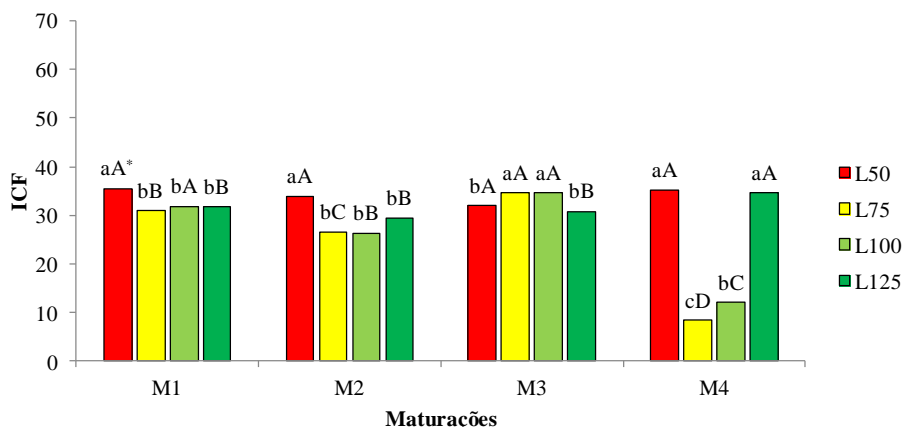


Figura 73 - Índice de clorofila FALKER da terceira avaliação (ICF-3) para as 4 lâminas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. * Lâminas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma lâmina diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.7 Análises complementares e considerações finais

4.7.1 Tratamentos de maturação e lâmina combinados em 10 estratégias de irrigação

Com o intuito de realizar uma análise mais prática e direta, foram agrupadas as combinações dos tratamentos de lâmina L75 e L100 com os respectivos tratamentos de maturação (M1, M2, M3 e M4) e os tratamentos de Lâmina L50 e L125 com a maturação M3, formando assim 10 estratégias de manejo da irrigação ao longo do ciclo da cultura de cana-de-açúcar. Com essa nova combinação de tratamentos, realizou-se uma análise estatística com delineamento fatorial 10 x 8, em que os fatores analisados foram 10 estratégias de manejo da irrigação combinadas com 8 variedades. Foi realizado teste de médias (Scott Knott) para as variáveis rendimento bruto de açúcar, produtividade da água para açúcar e biomassa total da parte aérea.

Na Tabela 19 estão os resultados de RBA levando em consideração as diferenças entre as variedades para cada estratégia de manejo adotada. Observa-se que, independente da estratégia adotada, a variedade V8 sempre apresenta os piores resultados, enquanto as

variedades V1, V2 e V4 destacam-se com os maiores valores praticamente para todas as estratégias, com exceção para a estratégia E5 (L75 com M4), onde se destacaram V6 e V3.

Tabela 19 - Rendimento bruto de açúcar ($t\ ha^{-1}$) e teste de médias para as variedades classificadas dentro cada estratégia (E) de manejo da irrigação

E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
L50 M3	L75 M1	L75 M2	L75 M3	L75 M4	L100 M1	L100 M2	L100 M3	L100 M4	L125 M3
V1 (15,52a)*	V4 (20,19a)	V4 (21,94a)	V2 (23,37a)	V6 (19,00a)	V2 (24,54a)	V2 (23,38a)	V4 (27,37a)	V1 (28,37a)	V2 (21,62a)
V2 (14,25a)	V2 (19,35a)	V7 (20,51a)	V1 (22,49a)	V3 (18,2a)	V4 (23,22a)	V1 (22,32a)	V1 (26,22a)	V2 (24,77b)	V1 (21,24a)
V4 (14,22a)	V1 (18,53a)	V1 (19,83a)	V4 (21,6a)	V2 (16,86b)	V7 (23,03a)	V6 (19,66b)	V7 (23,93b)	V6 (24,59b)	V4 (21,22a)
V6 (12,43b)	V6 (17,17b)	V6 (19,01a)	V3 (19,16b)	V1 (16,19b)	V1 (22,21a)	V3 (19,18b)	V5 (23,42b)	V4 (22,54c)	V6 (19,06b)
V3 (12,22b)	V3 (16,5b)	V2 (18,85a)	V6 (19,08b)	V5 (15,99b)	V6 (21,56b)	V4 (18,46b)	V6 (23,04b)	V3 (20,21c)	V3 (18,32b)
V7 (11,38b)	V7 (15,62b)	V3 (16,02b)	V7 (17,86b)	V4 (15,62b)	V3 (21,22b)	V5 (17,73b)	V2 (22,21b)	V7 (16,98d)	V7 (17,46b)
V5 (10,96b)	V5 (12,76c)	V5 (14,31b)	V5 (14,75c)	V7 (14,6b)	V5 (18,86b)	V7 (14,74c)	V3 (22,17b)	V5 (16,67d)	V5 (15,31c)
V8 (8,23c)	V8 (10,05c)	V8 (10,13c)	V8 (12,29c)	V8 (8,10c)	V8 (12,28c)	V8 (11,89d)	V8 (15,01c)	V8 (10,82e)	V8 (11,66d)

*Dados entre parênteses indicam o valor médio de rendimento bruto de açúcar ($t\ ha^{-1}$) e variedades identificadas com letras distintas dentro da mesma estratégia diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Na Tabela 20 estão os resultados de RBA levando em consideração a combinação das lâminas e maturações (estratégias de manejo) nas 8 variedades. Observa-se que, independente da variedade, a combinação L50 M3 (E1) sempre apresenta os piores resultados, com valores variando de 8,2 (V8) a 15,5 $t\ ha^{-1}$ (V1). A combinação L100 M3 (E8) em todas as variedades, estatisticamente, tem os maiores valores, mantendo-se sempre entre as variedades com maior rendimento.

Quanto à produtividade da água para açúcar (Tabela 21), a variação entre as variedades foi pequena, sendo que para as combinações L50M3 e L75M4 nem houve diferença estatisticamente significativa. Semelhante ao observado para rendimento bruto de açúcar, a variedade V8 apresentou os menores valores também para a produtividade da água para açúcar. A variedade V6 foi a que teve os maiores valores de produtividade da água para açúcar, independente das estratégias adotadas. Observando a Tabela 22, com o teste de médias comparando as estratégias de manejo dentro de cada variedade, apenas as variedades V4, V7 e V8 apresentaram diferença estatisticamente significativa entre as estratégias de manejo, porém uma diferença pequena que separou as estratégias apenas em dois grupos.

Tabela 20 - Rendimento bruto de açúcar (t ha⁻¹) e teste de médias para as combinações de lâmina e maturação classificadas dentro de cada variedade

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
L100 M4 (28,37a)*	L100 M4 (24,77a)	L100 M3 (22,17a)	L100 M3 (27,37a)	L100 M3 (23,42a)	L100 M4 (24,59a)	L100 M3 (23,93a)	L100 M3 (15,01a)
L100 M3 (26,22a)	L100 M1 (24,54a)	L100 M1 (21,22a)	L100 M1 (23,22b)	L100 M1 (18,86b)	L100 M3 (23,04a)	L100 M1 (23,03a)	L75 M3 (12,29b)
L75 M3 (22,49b)	L100 M2 (23,38a)	L100 M4 (20,21a)	L100 M4 (22,54b)	L100 M2 (17,73b)	L100 M1 (21,56a)	L75 M2 (20,51b)	L100 M1 (12,28b)
L100 M2 (22,32b)	L75 M3 (23,37a)	L100 M2 (19,18b)	L75 M2 (21,94b)	L100 M4 (16,67c)	L100 M2 (19,66b)	L75 M3 (17,86c)	L100 M2 (11,89b)
L100 M1 (22,21b)	L100 M3 (22,21a)	L75 M3 (19,16b)	L75 M3 (21,6b)	L75 M4 (15,99c)	L75 M3 (19,08b)	L125 M3 (17,46c)	L125 M3 (11,66b)
L125 M3 (21,24b)	L125 M3 (21,62a)	L125 M3 (18,32b)	L125 M3 (21,22b)	L125 M3 (15,31c)	L125 M3 (19,06b)	L100 M4 (16,98c)	L100 M4 (10,82c)
L75 M2 (19,83c)	L75 M1 (19,35b)	L75 M4 (18,2b)	L75 M1 (20,19b)	L75 M3 (14,75c)	L75 M2 (19,01b)	L75 M1 (15,62d)	L75 M2 (10,13c)
L75 M1 (18,53c)	L75 M2 (18,85b)	L75 M1 (16,5c)	L100 M2 (18,46c)	L75 M2 (14,31c)	L75 M4 (19,00b)	L100 M2 (14,74d)	L75 M1 (10,05c)
L75 M4 (16,19d)	L75 M4 (16,86b)	L75 M2 (16,02c)	L75 M4 (15,62d)	L75 M1 (12,76d)	L75 M1 (17,17b)	L75 M4 (14,60d)	L50 M3 (8,23c)
L50 M3 (15,52d)	L50 M3 (14,25c)	L50 M3 (12,22d)	L50 M3 (14,22d)	L50 M3 (10,96d)	L50 M3 (12,43c)	L50 M3 (11,38e)	L75 M4 (8,10c)

*Dados entre parênteses indicam o valor médio de rendimento bruto de açúcar (t ha⁻¹) e combinações de lâmina e maturação identificadas com letras distintas dentro da mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Tabela 21 - Produtividade da água para açúcar (kg m⁻³) e teste de médias para as variedades classificadas dentro cada estratégia (E) de manejo da irrigação

E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
L50 M3	L75 M1	L75 M2	L75 M3	L75 M4	L100 M1	L100 M2	L100 M3	L100 M4	L125 M3
V6 (1,56a)*	V6 (1,75a)	V6 (1,96a)	V6 (1,70a)	V6 (1,93a)	V6 (1,72a)	V6 (1,62a)	V6 (1,58a)	V6 (1,88a)	V6 (1,82a)
V1 (1,56a)	V2 (1,60a)	V7 (1,82a)	V2 (1,69a)	V3 (1,57b)	V7 (1,67a)	V3 (1,45a)	V5 (1,49a)	V1 (1,67a)	V2 (1,56a)
V4 (1,51a)	V3 (1,60a)	V4 (1,65a)	V1 (1,56a)	V5 (1,41c)	V3 (1,63a)	V2 (1,43a)	V4 (1,43a)	V3 (1,43b)	V3 (1,50a)
V2 (1,45a)	V4 (1,51a)	V1 (1,58b)	V4 (1,50a)	V7 (1,29c)	V5 (1,48b)	V1 (1,40a)	V7 (1,40a)	V2 (1,37b)	V1 (1,47a)
V8 (1,38a)	V1 (1,46a)	V3 (1,48b)	V3 (1,49a)	V2 (1,21c)	V2 (1,46b)	V5 (1,35a)	V3 (1,40a)	V4 (1,31b)	V4 (1,45a)
V7 (1,37a)	V7 (1,44a)	V2 (1,47b)	V7 (1,38b)	V1 (1,17c)	V1 (1,33b)	V7 (1,14b)	V1 (1,35a)	V5 (1,22b)	V7 (1,43a)
V5 (1,36a)	V8 (1,38a)	V5 (1,35b)	V8 (1,28b)	V4 (1,13c)	V8 (1,31b)	V4 (1,14b)	V8 (1,29a)	V7 (1,14b)	V5 (1,37a)
V3 (1,35a)	V5 (1,25a)	V8 (1,20b)	V5 (1,20b)	V8 (0,95c)	V4 (1,30b)	V8 (1,04b)	V2 (1,23a)	V8 (0,99b)	V8 (1,06b)

*Dados entre parênteses indicam o valor médio de produtividade da água para açúcar (kg m⁻³) e variedades identificadas com letras distintas dentro da mesma estratégia diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Tabela 22 - Produtividade da água para açúcar (kg m^{-3}) e teste de médias para as combinações de lâmina e maturação classificadas dentro de cada variedade

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
L100 M4 (1,67a)*	L75 M3 (1,69a)	L100 M1 (1,63a)	L75 M2 (1,65a)	L100 M3 (1,49a)	L75 M2 (1,96a)	L75 M2 (1,82a)	L75 M1 (1,38a)
L75 M2 (1,58a)	L75 M1 (1,6a)	L75 M1 (1,6a)	L75 M1 (1,51a)	L100 M1 (1,48a)	L75 M4 (1,93a)	L100 M1 (1,67a)	L50 M3 (1,38a)
L50 M3 (1,56a)	L125 M3 (1,56a)	L75 M4 (1,57a)	L50 M3 (1,51a)	L75 M4 (1,41a)	L100 M4 (1,88a)	L75 M1 (1,44b)	L100 M1 (1,31a)
L75 M3 (1,56a)	L75 M2 (1,47a)	L125 M3 (1,5a)	L75 M3 (1,5a)	L125 M3 (1,37a)	L125 M3 (1,82a)	L125 M3 (1,43b)	L100 M3 (1,29a)
L125 M3 (1,47a)	L100 M1 (1,46a)	L75 M3 (1,49a)	L125 M3 (1,45a)	L50 M3 (1,36a)	L75 M1 (1,75a)	L100 M3 (1,4b)	L75 M3 (1,28a)
L75 M1 (1,46a)	L50 M3 (1,45a)	L75 M2 (1,48a)	L100 M3 (1,43a)	L75 M2 (1,35a)	L100 M1 (1,72a)	L75 M3 (1,38b)	L75 M2 (1,2a)
L100 M2 (1,4a)	L100 M2 (1,43a)	L100 M2 (1,45a)	L100 M4 (1,31b)	L100 M2 (1,35a)	L75 M3 (1,7a)	L50 M3 (1,37b)	L125 M3 (1,06b)
L100 M3 (1,35a)	L100 M4 (1,37a)	L100 M4 (1,43a)	L100 M1 (1,3b)	L75 M1 (1,25a)	L100 M2 (1,62a)	L75 M4 (1,29b)	L100 M2 (1,04b)
L100 M1 (1,33a)	L100 M3 (1,23a)	L100 M3 (1,4a)	L100 M2 (1,14b)	L100 M4 (1,22a)	L100 M3 (1,58a)	L100 M4 (1,14b)	L100 M4 (0,99b)
L75 M4 (1,17a)	L75 M4 (1,21a)	L50 M3 (1,35a)	L75 M4 (1,13b)	L75 M3 (1,2a)	L50 M3 (1,56a)	L100 M2 (1,14b)	L75 M4 (0,95b)

*Dados entre parênteses indicam o valor médio de produtividade da água para açúcar (kg m^{-3}) e combinações de lâmina e maturação identificadas com letras distintas dentro da mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Estatisticamente, a variedade V1 se manteve no grupo das variedades com maior produção de biomassa para todas as estratégias de manejo adotadas (Tabela 23) e a variedade V8 manteve-se no grupo com a menor produção biomassa. Na média geral do experimento, a variedade V1 teve uma produção estimada de $21,3 \text{ t ha}^{-1}$ de biomassa da parte aérea, enquanto a produção estimada para a variedade V8 foi de apenas $11,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Para a estratégia com maior volume de água aplicado (E8 - L100 M3), as variedades que se destacaram foram a V4 e V1, com produção estimada para biomassa seca da parte aérea de $44,1$ e $43,7 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. Na estratégia com menor volume de água aplicado (E1 - L50 M3), as variedades V1, V2, V4 e V3 não se diferenciaram estatisticamente, com produção estimada para biomassa seca da parte aérea de $25,1$, $24,2$, $23,6$ e $21,0 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 23).

Analisando-se os dados de biomassa seca da parte aérea para cada variedade, apresentados na Tabela 24, fica evidente que as combinações de lâmina e maturação com maior volume de água aplicada ao final do ciclo (E8 - L100 M3 e E9 - L100 M4), proporcionaram o maior acúmulo de biomassa para todas as variedades. E a combinação L50

M3 (E1), teve o menor acúmulo de biomassa para todas as variedades, mas sendo essa combinação a que mais restringiu o volume de água disponibilizado para a cultura durante o cultivo.

Tabela 23 - Biomassa seca da parte aérea ($t\ ha^{-1}$) e teste de médias para as variedades classificadas dentro cada estratégia (E) de manejo da irrigação

E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
L50 M3	L75 M1	L75 M2	L75 M3	L75 M4	L100 M1	L100 M2	L100 M3	L100 M4	L125 M3
V1 (25,1a)*	V2 (30,0a)	V4 (34,9a)	V2 (35,9a)	V1 (31,3a)	V2 (39,5a)	V2 (37,5a)	V4 (44,1a)	V1 (45,9a)	V1 (34,4a)
V2 (24,2a)	V4 (29,9a)	V1 (32,1a)	V1 (35,8a)	V2 (30,9a)	V4 (37,7a)	V1 (35,1a)	V1 (43,7a)	V2 (39,3b)	V4 (32,2a)
V4 (23,6a)	V1 (28,7a)	V7 (31,4a)	V4 (34,3a)	V3 (28,8a)	V7 (36,9a)	V3 (31,6b)	V7 (38,4b)	V4 (37,1c)	V2 (31,9a)
V3 (21,0a)	V3 (25,2b)	V2 (29,2a)	V3 (30,4b)	V5 (27,7a)	V1 (36,0a)	V4 (30,5b)	V2 (37,8b)	V6 (33,7c)	V3 (28,2b)
V7 (19,2b)	V7 (24,9b)	V6 (25,7b)	V7 (28,3c)	V7 (27,0a)	V3 (32,8a)	V5 (29,9b)	V5 (37,1b)	V3 (33,7c)	V7 (27,9b)
V6 (19,0b)	V6 (23,5b)	V3 (24,5b)	V6 (26,6c)	V4 (26,3a)	V5 (30,2b)	V6 (26,7c)	V3 (35,7b)	V7 (31,4c)	V5 (26,2b)
V5 (17,9b)	V5 (21,3c)	V5 (23,5b)	V5 (25,8c)	V6 (25,1a)	V6 (29,1b)	V7 (25,6c)	V6 (32,1c)	V5 (26,2d)	V6 (25,3b)
V8 (13,7c)	V8 (16,0d)	V8 (17,9c)	V8 (21,4d)	V8 (15,4b)	V8 (21,8c)	V8 (23,1c)	V8 (26,2d)	V8 (21,6d)	V8 (21,1c)

*Dados entre parênteses indicam o valor médio de biomassa seca da parte aérea ($t\ ha^{-1}$) e variedades identificadas com letras distintas dentro da mesma estratégia diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

4.7.2 Análise gráfica para os dados de biomassa seca da parte aérea

Quando a análise estatística não indica diferença significativa entre os fatores analisados, não se pode afirmar que as médias são iguais, pois a indicação da análise é de que, devido à variabilidade dos dados, não se pode afirmar que as médias diferem significativamente entre si, pois algum fator não controlado (erro experimental) ocorreu, impedindo a detecção da diferença estatística pelo teste de análise de variância e teste de médias. Sendo a variabilidade fenotípica um destes fatores não controlados, analisou-se a variabilidade dos dados dentro da mesma parcela, comparando-se os dados de biomassa seca da parte aérea (BIOM) obtidos em cada planta (touceira), agrupando-os para as oito variedades (Figura 74) e também para as quatro lâminas estudadas (Figura 75).

Tabela 24 - Biomassa seca da parte aérea (t ha⁻¹) e teste de médias para as combinações de lâmina e maturação classificadas dentro de cada variedade

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
L100 M4 (45,9a)*	L100 M1 (39,5a)	L100 M3 (35,7a)	L100 M3 (44,1a)	L100 M3 (37,1a)	L100 M4 (33,7a)	L100 M3 (38,4a)	L100 M3 (26,2a)
L100 M3 (43,7a)	L100 M4 (39,3a)	L100 M4 (33,7a)	L100 M1 (37,7b)	L100 M1 (30,2b)	L100 M3 (32,1a)	L100 M1 (36,9a)	L100 M2 (23,1a)
L100 M1 (36b)	L100 M3 (37,8a)	L100 M1 (32,8a)	L100 M4 (37,1b)	L100 M2 (29,9b)	L100 M1 (29,1a)	L100 M4 (31,4b)	L100 M1 (21,8a)
L75 M3 (35,8b)	L100 M2 (37,5a)	L100 M2 (31,6b)	L75 M2 (34,9b)	L75 M4 (27,7c)	L100 M2 (26,7b)	L75 M2 (31,4b)	L100 M4 (21,6a)
L100 M2 (35,1b)	L75 M3 (35,9a)	L75 M3 (30,4b)	L75 M3 (34,3b)	L100 M4 (26,2c)	L75 M3 (26,6b)	L75 M3 (28,3c)	L75 M3 (21,4a)
L125 M3 (34,4b)	L125 M3 (31,9b)	L75 M4 (28,8b)	L125 M3 (32,2c)	L125 M3 (26,2c)	L75 M2 (25,7b)	L125 M3 (27,9c)	L125 M3 (21,1a)
L75 M2 (32,1b)	L75 M4 (30,9b)	L125 M3 (28,2b)	L100 M2 (30,5c)	L75 M3 (25,8c)	L125 M3 (25,3b)	L75 M4 (27c)	L75 M2 (17,9c)
L75 M4 (31,3b)	L75 M1 (30b)	L75 M1 (25,2c)	L75 M1 (29,9c)	L75 M2 (23,5c)	L75 M4 (25,1b)	L100 M2 (25,6c)	L75 M1 (16c)
L75 M1 (28,7c)	L75 M2 (29,2b)	L75 M2 (24,5c)	L75 M4 (26,3d)	L75 M1 (21,3d)	L75 M1 (23,5b)	L75 M1 (24,9c)	L75 M4 (15,4c)
L50 M3 (25,1c)	L50 M3 (24,2c)	L50 M3 (21c)	L50 M3 (23,6d)	L50 M3 (17,9d)	L50 M3 (19c)	L50 M3 (19,2d)	L50 M3 (13,7c)

*Dados entre parênteses indicam o valor médio de biomassa seca da parte aérea (t ha⁻¹) e combinações de lâmina e maturação identificadas com letras distintas dentro da mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

Como as plantas (planta 1 e planta 2) estavam na mesma parcela (vaso com duas touceiras), com a mesma combinação de tratamentos, mesmo sistema de irrigação, mesmo solo e mesma posição na estufa, os dados de acúmulo de biomassa seca da parte aérea diferem entre as plantas pela variação fenotípica, ou seja, o mesmo genótipo no mesmo ambiente apresenta respostas fenotípicas diferenciadas devido à instabilidade genotípica associada ao material poliplóide da cana-de-açúcar. Observando-se a dispersão dos dados para as variedades (Figura 74), a maior dispersão ocorreu nas variedades V1, V2 e V4, as mesmas que apresentaram os maiores valores de BIOM quando feita a análise pelo teste de médias (Figura 54).

Segundo Silva (2008), o ideal seriam variedades com um baixo grau de variação em seu desempenho quando cultivadas sob diversas condições ambientais, mas a interação genótipos por ambientes resulta em alterações na produção de um local para outro e, no caso deste experimento, observou-se que, analisando planta a planta, não há estabilidade nos materiais mesmo quando cultivados em locais idênticos, reforçando que as pesquisas sobre

estabilidade de genótipos de cana-de-açúcar são escassas (SILVA, 2008) e devem ser aprimoradas.

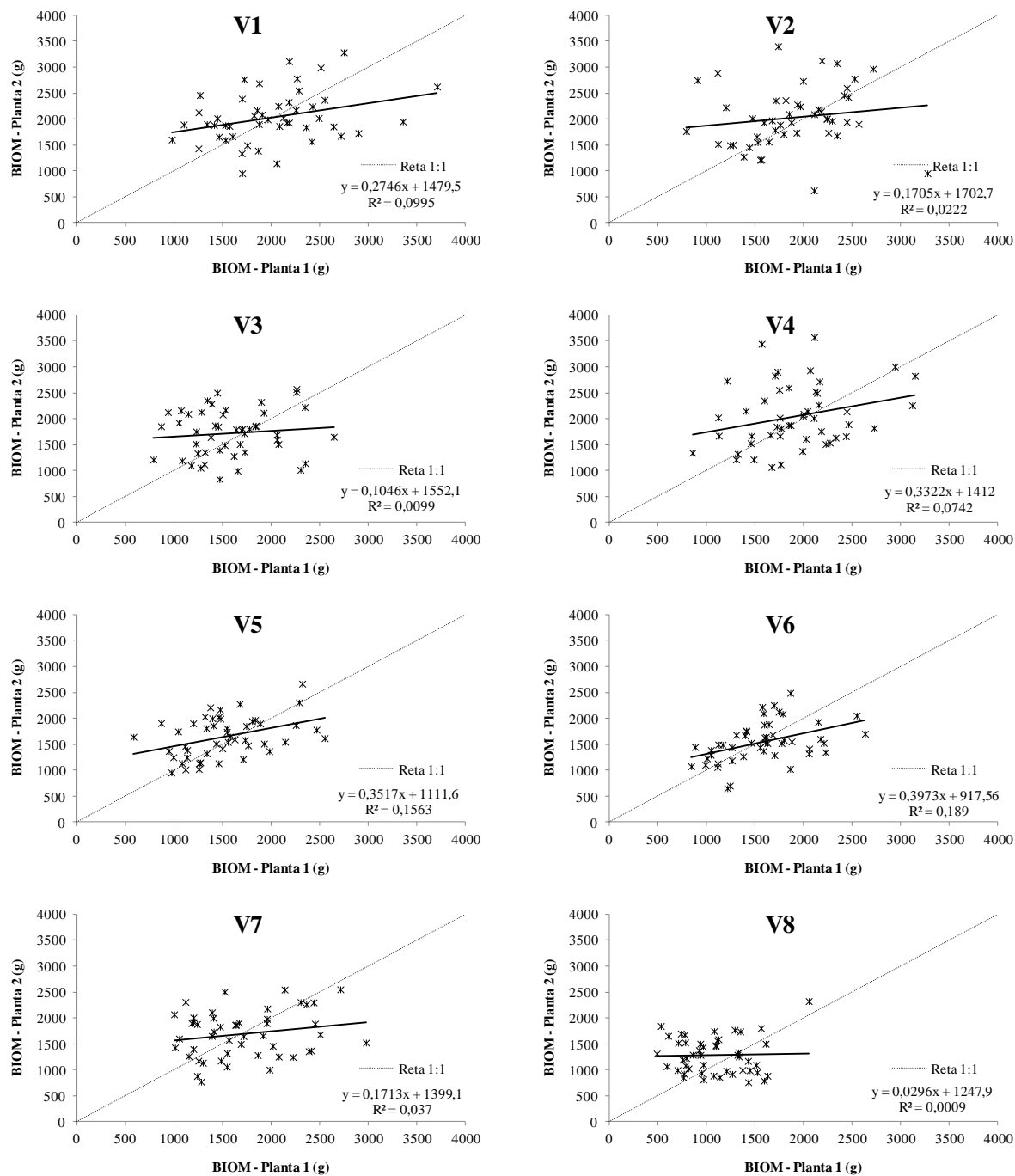


Figura 74 - Gráficos de dispersão para os dados de biomassa seca da parte aérea (BIOM) comparando os valores obtidos em cada uma das duas plantas da parcela para as oito variedades estudadas

Na Figura 75 estão os dados de dispersão da BIOM comparando os valores obtidos em cada uma das duas plantas da parcela para os quatro tratamentos de lâmina. A maior dispersão é observada quando aplicado o tratamento L100 e a menor dispersão para o tratamento L50,

respectivamente, os tratamentos que proporcionaram o maior e menor valor de BIOM quando realizado o teste de médias (Figura 53).

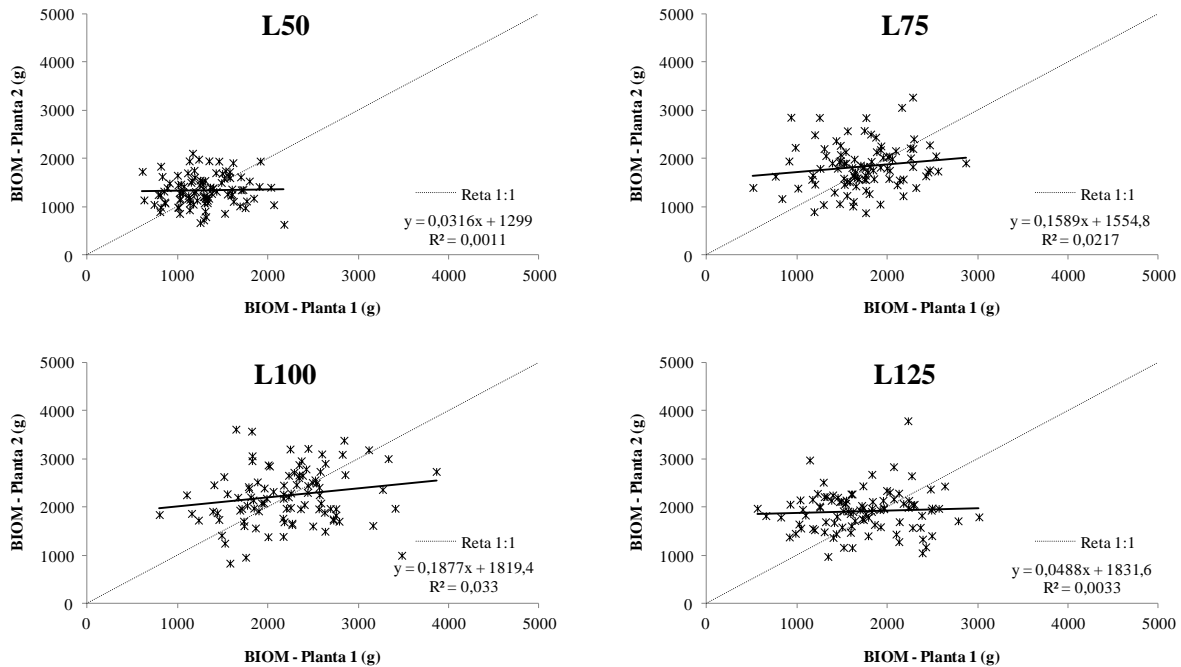


Figura 75 - Gráficos de dispersão para os dados de biomassa seca da parte aérea (BIOM) comparando os valores obtidos em cada uma das duas plantas da parcela para os quatro tratamentos de lâmina

Uma análise mais detalhada dos dados será necessária para conclusões mais específicas, mas, como análise preliminar, nota-se que a variabilidade entre as plantas na mesma parcela foi maior quanto maior o valor de BIOM. Assim, as condições de cultivo que proporcionam maior acúmulo de biomassa e as variedades com maior potencial de acúmulo de biomassa resultaram em maior variabilidade entre as plantas, sendo fundamental um estudo preliminar para escolha da planta representativa a ser amostrada para o caso de análises pontuais, tais como trocas gasosas (IRGA), biometria, coleta de material para análise genômica, proteômica e metabolômica que extrapolarão os dados de uma planta como representativos de uma parcela ou de uma área agrícola.

4.7.3 Produtividade da água, análise gráfica e valores normalizados pela ETo

Durante a colheita foi avaliada separadamente a matéria seca de cada planta da parcela e mensurado o peso das diferentes partes das plantas. Assim, obteve-se o valor de matéria seca de folhas (limbo foliar) de cada planta da parcela. Com estes dados, foi estimado o volume de irrigação aplicado para cada planta da parcela, admitindo-se que, do volume total

aplicado na parcela, a fração "consumida" por cada uma das plantas é proporcional à sua matéria seca de folhas. Como exemplo, se a matéria seca de folhas de uma "planta 1" representa 60% do total de matéria seca de folhas da parcela (planta 1 + planta 2) o volume de irrigação estimado para ela é de 60% do volume total aplicado na parcela.

Com estes dados, foi possível relacionar a biomassa seca da parte aérea (BIOM) com os volumes de irrigação aplicados para cada uma das duas plantas da parcela (Figura 76). Esta relação é a representação gráfica da produtividade da água para biomassa, sendo que o coeficiente angular das retas apresentadas para cada variedade é similar ao valor médio da produtividade da água em kg m^{-3} , como apresentado no Item 4.5.6 dos resultados e discussão.

A maneira como ficaram dispersos os dados nos gráficos coincide com a abordagem feita inicialmente por Briggs e Shantz (1913) e, mais recentemente, por Steduto et al. (2007), em que a relação entre a biomassa produzida e água transpirada por uma determinada espécie é linear, com pequena variação entre variedades e pouca variabilidade nos dados, ao contrário da variabilidade encontrada quando comparamos planta a planta. Isto indica que realmente a produtividade da água é aproximadamente constante para a água transpirada, sendo uma característica muito importante para a análise de produtividade das culturas quando limitado o volume de água disponível para a planta (STEDUTO et al., 2007).

As variedades V5 e V8 apresentaram os menores coeficientes angulares, respectivamente 5,19 e 5,01, sendo que os valores médios encontrados quando avaliada a produtividade por parcela foram respectivamente 5,17 e 5,03 kg m^{-3} , bem próximos aos encontrados com a análise gráfica. A similaridade entre os resultados obtidos com a análise das médias (Figura 55) e análise gráfica (Figura 76) da produtividade da água para biomassa também confirmam que a estimativa do volume transpirado ("consumido") para cada planta foi satisfatória quando utilizada como referência a proporção da matéria seca de folhas de cada planta. Como a matéria seca de folhas é uma das frações que compõem a BIOM, a menor variabilidade nos dados poderia ser resultado do ajuste proporcional quando estimado os valores para cada planta. Porém, na média geral do experimento, a biomassa seca de folhas representou apenas 18% da biomassa seca total da parte aérea, não sendo a porção predominante, e sim o colmo, que em média representou 63% da biomassa seca da parte aérea.

Steduto et al. (2007) destacam a necessidade de normalizar a produtividade da água em função das diferenças de clima, especificamente, para a demanda evaporativa da atmosfera, podendo extrapolar valores de produtividade da água entre zonas climáticas. Para normalização da produtividade da água seguindo a metodologia descrita pelos autores, é

necessário o valor médio de K_c para ciclo da cultura. Assim, os dados de K_c estimados para as oito variedades estão apresentados na Tabela 25.

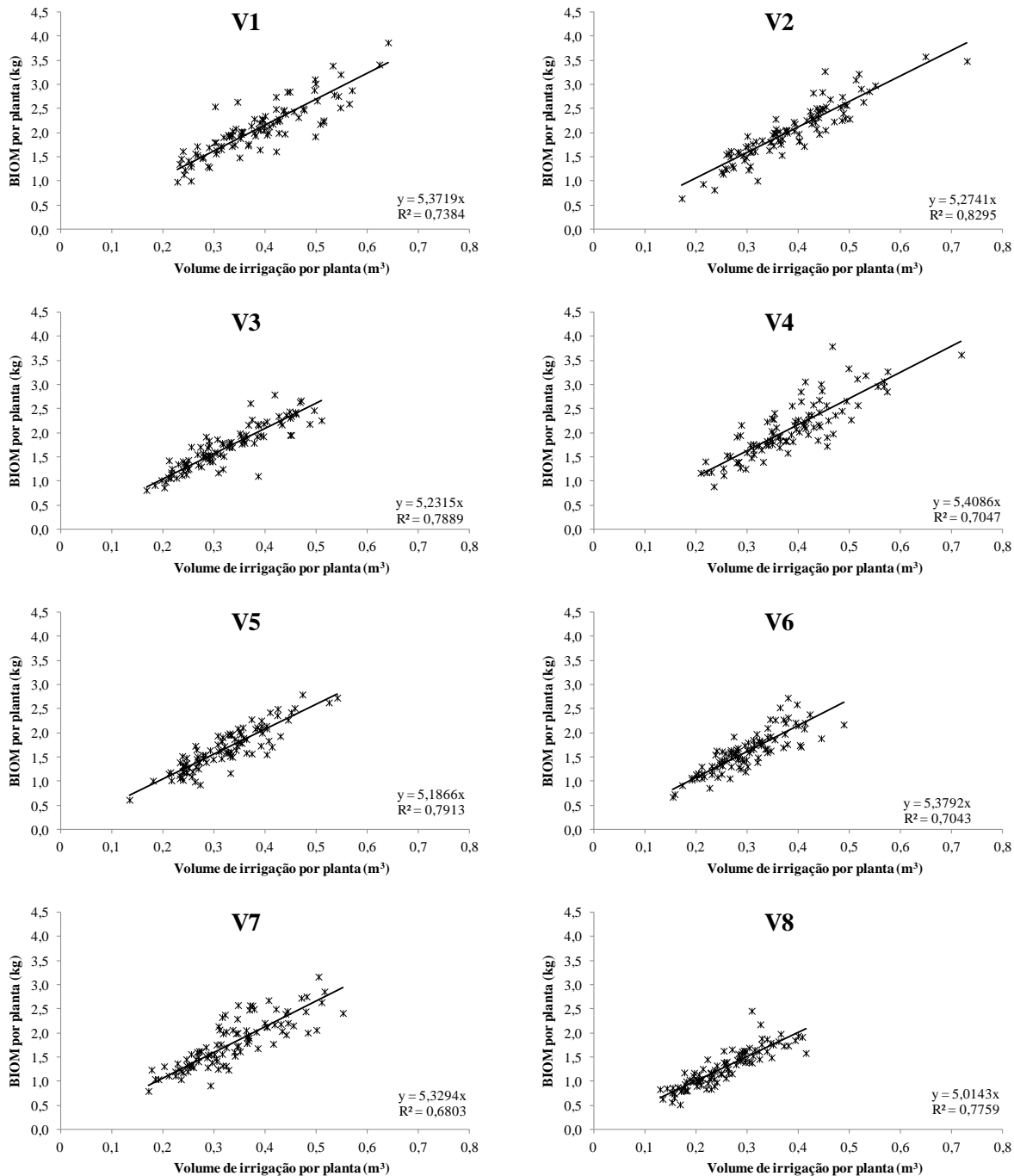


Figura 76 - Gráficos de dispersão relacionando os dados de biomassa seca da parte aérea (BIOM) com os volumes estimados de irrigação aplicados para cada uma das duas plantas da parcela para as oito variedades estudadas

Os valores encontrados de K_c variaram de 0,30 a 0,82, sendo diretamente relacionado com o nível de produção de biomassa alcançado pela cultura, como pode ser visto na Figura (76). Assim, semelhante a BIOM, os maiores valores médios ocorreram para as variedades

V1, V2 e V4 e os menores para a V8. Os resultados de Kc obtidos neste estudo em estufa foram coerentes com os dados obtidos em um experimento de campo, utilizando os métodos de EddyCovariance e Balanço de Energia para estimar os valores de Kc para cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subterrâneo em Juazeiro-BA (CARMO, 2013); calculando o valor de Kc médio ponderado para cada fase da cultura, o valor encontrado pelo autor é de 0,74 para todo o ciclo utilizando o método de correlação de turbilhões, sendo que para a mesma variedade deste trabalho o valor médio de Kc para L100 foi de 0,75.

Silva (2009) observou que os valores de Kc da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subterrâneo foram inferiores aos recomendados no boletim 56 da FAO (irrigação de superfície e aspersão). E Gonçalves (2010) encontrou valores de 0,23, 1,03 e 0,50, para as fases de crescimento inicial, intermediária e final da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subterrâneo, em Paraipaba-CE.

Tabela 25 - Valores estimados de Kc médio ao longo do ciclo para as 8 variedades para todas as combinações de lâmina e maturação estudadas neste experimento

Variedades	Tratamentos										Média
	L100 M1	L100 M2	L100 M3	L100 M4	L75 M1	L75 M2	L75 M3	L75 M4	L50 M3	L125 M3	
V1	0,73	0,70	0,82	0,76	0,56	0,54	0,63	0,58	0,44	0,62	0,64
V2	0,73	0,70	0,81	0,76	0,56	0,54	0,63	0,58	0,44	0,62	0,64
V3	0,61	0,58	0,70	0,64	0,47	0,45	0,54	0,49	0,38	0,52	0,54
V4	0,73	0,70	0,81	0,76	0,57	0,54	0,63	0,58	0,44	0,62	0,64
V5	0,60	0,57	0,68	0,62	0,47	0,44	0,53	0,48	0,37	0,51	0,53
V6	0,56	0,54	0,63	0,58	0,44	0,42	0,49	0,45	0,34	0,48	0,49
V7	0,63	0,60	0,72	0,66	0,49	0,47	0,55	0,51	0,38	0,54	0,55
V8	0,47	0,45	0,55	0,49	0,37	0,35	0,42	0,38	0,30	0,40	0,42

Adotada ETo no interior da estufa como 77% da ETo do posto meteorológico da ESALQ, valor total acumulado no ano de 1152,8 mm; Área interna total da estufa (400 m²) utilizada pelo dossel das plantas; fator de correção do volume aplicado para volume transpirado de 90%, adotando 10% para perdas por evaporação e eficiência do sistema

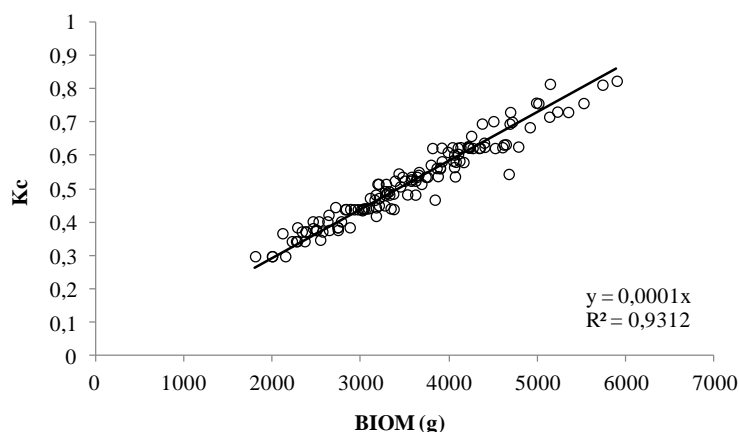


Figura 77 - Gráfico de dispersão dos dados de biomassa seca da parte aérea (BIOM) relacionados com os respectivos coeficientes de cultura (Kc) para todos os tratamentos avaliados

Seguindo a metodologia proposta por Steduto et al. (2007), os dados de produtividade da água para biomassa seca da parte aérea foram normalizados e os resultados estão apresentados na Tabela 26. Segundo os autores, os valores para uma cultura C4 devem estar na faixa de 30 a 32 g m⁻², sendo que os valores obtidos variaram de 25 a 37 g m⁻². Como a produtividade da água para biomassa da parte aérea normalizada é um parâmetro considerado constante para as espécies vegetais (RAES et al., 2011), os valores obtidos para este parâmetro reforçam a consistência nas estimativas da evapotranspiração e coeficiente de cultura realizadas neste trabalho.

Tabela 26 - Valores de produtividade da água para biomassa da parte aérea normalizados (g m⁻²) seguindo a metodologia de Steduto et al. (2007)

Variedades	Tratamentos										Média
	L100 M1	L100 M2	L100 M3	L100 M4	L75 M1	L75 M2	L75 M3	L75 M4	L50 M3	L125 M3	
V1	28,40	29,78	31,63	32,23	30,33	33,46	32,27	29,72	31,35	30,07	30,92
V2	32,36	29,73	27,89	29,07	30,57	29,80	33,73	31,15	29,53	29,42	30,32
V3	28,84	31,71	27,78	30,45	30,00	31,46	30,79	29,38	30,43	29,66	30,05
V4	31,57	28,31	31,21	29,28	31,72	37,94	31,09	30,62	30,48	30,36	31,26
V5	29,77	29,31	31,72	28,57	29,89	31,54	29,86	32,25	28,67	28,69	30,03
V6	30,67	31,81	29,68	31,00	30,60	33,48	30,67	32,10	29,43	30,66	31,01
V7	32,39	29,97	31,68	28,52	29,85	36,28	29,37	30,03	30,56	29,76	30,84
V8	29,05	26,93	27,76	29,78	25,48	32,35	27,61	28,46	29,47	28,51	28,54

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o presente estudo foi desenvolvido e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. Confirmou-se parcialmente a hipótese do trabalho, de que existe para cada variedade uma combinação mais adequada entre a lâmina total de irrigação evapotranspirada e a intensidade do déficit hídrico na fase de maturação, de modo a maximizar a produtividade de açúcar e biomassa por unidade de área e por unidade de água (evapo)transpirada;
2. A produtividade de colmos (TCH - t ha⁻¹) é favorecida pela combinação da lâmina de irrigação L100 (solo mantido continuamente à capacidade de campo) e intensidade do déficit hídrico M3 (sem déficit hídrico), independente da variedade estudada. O valor médio estimado de todas as variedades para esta combinação (232,2 t ha⁻¹) equivale ao dobro do menor valor estimado (115,7 t ha⁻¹), este para a combinação de lâmina de irrigação L50 e intensidade do déficit hídrico M2 (déficit hídrico intensivo de longa duração). Considerando-se a média para L100, a variedade V4 apresentou a maior produtividade de colmos (250,4 t ha⁻¹) e a V8 a menor (162,1 t ha⁻¹);
3. O rendimento bruto de açúcar (RBA - t ha⁻¹) está diretamente ligado à produtividade de colmos, sendo igualmente favorecido pela combinação de lâmina L100 e intensidade do déficit hídrico M3. O valor médio para esta combinação de tratamentos é de 23,4 t ha⁻¹ e para a combinação L50 M2, menor média obtida, é de 12,0 t ha⁻¹. Entre as variedades, a maior média foi de 23,9 t ha⁻¹, para as variedades V1, V2, V4 e V6 na lâmina L100, não diferindo significativamente entre si;
4. O teor de fibra do colmo difere significativamente entre as lâminas aplicadas apenas quando combinado com a intensidade de déficit hídrico para maturação M4 (déficit hídrico severo de curta duração), sendo o valor médio de 10,9% para as lâminas L75 e L100 e de 9,7% para as lâminas L50 e L125. Entre as variedades, há interação entre as lâminas, sendo que a V1 tem os maiores teores de fibra independente da lâmina aplicada, com valor médio de 10,3% para L50 e de 10,9% para L75, L100 e L125, que não diferiram estatisticamente entre si;
5. O número de folhas verdes reduz drasticamente com a variação do déficit hídrico imposto durante a fase de maturação. Estatisticamente, as lâminas L75 e L100 não diferem entre si e têm número médio de folhas verdes de 7,1 para combinação com

- M3, 5,8 para M1 (déficit hídrico moderado de longa duração), 4,6 para M2 e 1,3 para M4. Entre as variedades, V6 e V8 não se diferenciam entre si e têm média de 6,3 folhas verdes e V2 tem a menor média, 4,0 folhas verdes;
6. Com base na irrigação plena durante todo o ciclo (L100 M3), as variedades diferem em três grupos de demanda hídrica. Variedades V1, V2 e V4 apresentam uma demanda acima de 1000 mm por ciclo, variedades V3, V5, V6 e V7, demanda entre 800 e 900 mm e a variedade V8, demanda próxima de 700 mm;
 7. Os valores estimados de Kc médio para todo o ciclo da cultura diferem entre as variedades e entre os manejos adotados, sendo diretamente relacionados com o nível de produção de biomassa alcançado pela cultura. As variedades V1, V2 e V4 têm os maiores valores de Kc, acima de 0,80 e a variedade V8 tem o menor valor, 0,55;
 8. A produtividade da água para biomassa da parte aérea normalizada pela ETo para as diferentes variedades apresenta um valor médio de 30,4 g m⁻². O maior valor encontrado é para a variedade V4, 31,3 g m⁻² e o menor para a variedade V8 com valor de 28,5 g m⁻², considerando-se a média de todos os tratamentos.
 9. A produtividade da água para biomassa é uma variável que reflete a capacidade fotossintética da cultura em função do volume de água transpirado, diferenciando-se apenas em dois grupos para o caso das variedades estudadas, com valores médios de 5,10 kg m⁻³ para o grupo formado pelas variedades V5 e V8 e valores médios de 5,35 kg m⁻³ para o grupo formado pelas variedades V1, V2, V3, V4, V6 e V7;
 10. A produtividade da água para açúcar diferenciou-se significativamente entre as variedades. A variedade V6 apresenta o maior valor, 1,71 kg m⁻³ e a variedade V8 o menor, 1,24 kg m⁻³. A variedade V5 tem valor de 1,33 kg m⁻³ e as demais variedades (V1, V2, V3, V4 e V7) não se diferenciaram entre si com valor médio de 1,44 kg m⁻³;
 11. Para produtividade da água em açúcar e biomassa, não existe uma combinação mais adequada entre lâmina e intensidade do déficit hídrico na fase de maturação que maximize os resultados para cada variedade. Independentemente do manejo adotado, a produtividade da água é uma variável constante, diferenciando-se apenas entre as variedades;
 12. Na irrigação por gotejamento, a minimização das perdas por evaporação e a inexistência de retenção de água no dossel das plantas, mesmo com a alta frequência de irrigação, disponibiliza a água de maneira adequada para que as plantas transpirem o máximo do volume de água aplicado. Deste modo, a produtividade da água independe da lâmina de irrigação aplicada na faixa de 50 a 100% da demanda, o que

abre novos horizontes para a irrigação de cana-de-açúcar no Brasil com base na irrigação por gotejamento. Assim, para que se tenha um maior ganho em produtividade de colmos (TCH - t ha⁻¹) e açúcar (RBA - t ha⁻¹), recomenda-se a irrigação total ou suplementar para cana-de-açúcar irrigada por gotejamento, em contraste à irrigação com déficit, tradicionalmente aplicada na irrigação por aspersão.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, A.G. **Sugarcane physiology**: a comprehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.

ALFONSI, R.R.; PEDRO JR., M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, U. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar**; cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 42-55.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, D. **Crop evapotranspiration**: guides for computing crop water requirements Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALONSO, O. Raio X dos canaviais: censo revela variedades mais cultivadas. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, ano 4, n. 39, p. 20-21, set. 2009.

ARKLEY, J. Relationships between plant growth and transpiration. **Hilgardia**, Berkeley, v. 34, p 559–584. 1963.

ARTLIP, T.S.; WISNIEWSKI, M.E. Induction of proteins in response to biotic stresses. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 2001. p. 657-680.

AYARS, J.E.; PHENE, C.J.; HUTMACHER, R.B.; DAVIS, K.R.; SCHONEMAN, R.A.; VAIL, S.S.; MEAD, R.M. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years research at the Water Management Research Laboratory. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 42, p. 1-27, 1999.

BARBIERI JUNIOR, E. **Características estruturais, teores de clorofila e suas relações com o nitrogênio foliar e a biomassa em Capim-Tifton 85**. 2009. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

BARBIERI, V.; BACCHI, O.O.S.; BASSINELO, A.I.; VILLA NOVA, N.A. Estudos dos efeitos do clima no florescimento da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 3., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: STAB, 1981. v. 3, p. 341-362.

BARBOSA, F.S.; COELHO, R.D.; MASCHIO, R.; LIMA, C.J.G.S.; SILVA, E.M. Drought resistance of sugar-cane crop for different levels of water availability in the soil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 203-210, 2014.

BARBOSA, F.S.; COELHO, R.D.; ROCHA, F.J.; MASCHIO, R.; LEME FILHO, J.R.A. Índices de clorofila para variedades de cana-de-açúcar sob dois níveis de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 9., 2010, Vitória. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2010. 1 CD-ROM.

BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana-de-açúcar**. 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3jwlwle6b8.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2014.

BIERHUIZEN, J.F.; SLATYER, O.R. Effect of atmosphere concentration of water vapor and CO₂ in determining transpiration-photosynthesis relationships of cotton leaves. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 2, p. 259–270, 1965.

BONNETT, G.D. Developmental stages (phenology). In: MOORE, P.H.; BOTHA, F.C. (Ed.). **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**. New Delhi: John Wiley, 2014. p. 35-53.

BOS, M.G.; MURRAY-RUST, D.H.; MERREY, D.J.; JOHNSON, H.G.; SNELLEN, W.B. Methodologies for assessing performance of irrigation and drainage management. **Irrigation and Drainage Systems**, New York, v. 5, p. 231-261, 1994.

BRAY, E.A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Killington, v. 2, p. 48-54, 1997.

BRIGGS, I.J.; SHANTZ, H.L. **The water requirement of plants: II**. A review of the literature. Washington: USDA Bureau, 1913. 96 p. (Plant Industry Bulletin, 285).

BRITO, L.T.L.; CAVALCANTI, N.B.; SILVA, A.S.; PEREIRA, L.A. Produtividade da água de chuva na cultura do feijão caupi em condições semiáridas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 7., 2009, Caruaru. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/573734/1/OPB2499.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2011.

BRODIE, H.W.; YOSHIDA, R.; NICKELL, L.G. Effect of air and root temperatures on growth of four sugarcane clones. **Hawaiian Planters Record**, Honolulu, v. 58, p. 21-52, 1969.

CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 31-64.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E.L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U.M.T. (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. cap. 2, p. 95-104.

CAPUTO, M.M.; SILVA, M.A.; BEAUCLAIR, E.G.F.; GAVA, G.J.C. Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. **Interciência: Revista de Ciências e Tecnologias da Américas**, Caracas, v. 32, n. 12, p. 834. 2007.

CARDOZO, N.P. **Modelagem da maturação da cana-de-açúcar em função de variáveis meteorológicas**. 2012. 201 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CARMO, J.F.A. **Evapotranspiração da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial no submédio do Vale São Francisco**. 2013. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2013.

CARR, M.K.V.; KNOX, J.W. The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): a review. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, p. 1-25, 2011.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_436.html>. Acesso em: 13 jun. 2014.

CHAPOLA, R.G. (Ed.). **Censo varietal**. Araras: UFSCar, CCA, 2013. 55 p. Disponível em: <<http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/dow/Revista%20Censo%20Varietal%202012.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

CHAVES, S.W.P. **Efeito da alta frequência de irrigação e do “mulching” plástico na produção da pimenta ‘Tabasco’ fertirrigada por gotejamento**. 2008. 153 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CLEMENTS, H.F. **Sugarcane crop logging and control: principles and practices**. London: Pitman Publ., 1980. 520 p.

CLEMENTS, H.F.; SHIGUERA, G.; AKAMINE, E.K. **Factors affecting the growth of sugarcane**. Honolulu: University of Hawaii, 1952. 90 p. (Technical Bulletin, 18).

COELHO, R.D.; LELIS NETO, J.A.; BARROS, A.C. Cana irrigada produz mais, mas custo de produção aumenta. In: FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2009**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2009. p. 240-242.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: quarto levantamento. Brasília, 2014. p. 1-14. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 112 p.

CORNIC, G.; GHASHGHAIE, J.; GENTY, B.; BRITANTAIS, J.M. Leaf photosynthesis is resistant to a mild drought stress. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 27, p. 295-309, 1992.

DALRI, A.B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Ceres, 2006. p. 157-170.

DANIELS, J.; ROACH, B.T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, D.J. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84.

DARLI, A.B.; CRUZ, R.L.; GARCIA, C.J.B.; DUENHAS, L.H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 13, p. 1-11, 2008.

De WIT, C.T. **Transpiration and crop yields**. Verson I. Landbouwk. Onderz. 64.6 Wageningen: Inst. Biol. Chem. Res. on Field Crops and Herbage, 1958. 88 p.

DINAR, A. Economic factors and opportunities as determinants of water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, New York, v. 14, p. 47-52, 1993.

DONALDSON, R.A.; BEZUIDENHOUT, C.N. Determining the maximum drying off periods for sugarcane grown in different regions of the South African industry. **Proceedings of the South African Sugar Cane Technologists Association**, Mount Edgecombe, v. 74, p. 162–166, 2000.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 197 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

ESTATCAMP[®]. **Portal action**: software action. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/content/sobre-o-action>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

FAO. **Statistical yearbook 2013**: world food and agriculture. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-publications/ess-yearbook/en/#.VDwCm_ldV-4>. Acesso em: 01 ago. 2014.

FARIA, L.A. **Proposta de norma técnica de ensaio para tubogotejadores de irrigação**: resistência ao entupimento por particulados sólidos em suspensão. 2013. 129 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FARIAS, J.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 17-22, 1994.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azúcar**: técnicas agrícolas y producciones tropicales. Barcelona: Blume, 1975. 433 p.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2011. 416 p.

FERRARI, F. **Caracterização cromossômica em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*, *Poaceae*)**. 2010. 91 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/software.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. Cana-de-açúcar. In: _____. **AGRIANUAL 2014**: anuário estatístico da agricultura. São Paulo, 2014. p. 197-227.

FOLEGATTI, M.V.; SCATOLINI, M.E.; PAZ, V.P.; PEREIRA, A.R.; FRIZZONE, J.A. Efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura do crisântemo em estufa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 155-163, 1997.

FRIZZONE, J.A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24-49, 2007.

FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Planejamento de irrigação**: análise de decisão de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

FURLANI NETO, V.L.; FERNANDES, J.; MIALHE, L.G. Avaliações nas cargas de cana-de-açúcar colhidas mecanicamente. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 3, p. 25-30, 1980.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GLOBO RURAL. **Em SP, crise nas usinas de cana fecha centenas de postos de trabalho**. Rio de Janeiro: Rede Globo, 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2014/08/em-sp-crise-nas-usinas-de-cana-fecha-centenas-de-postos-de-trabalho.html>>. Acesso em: 28 set. 2014.

GLOVER, J. Changes in sucrose % cane and yield of sucrose per unit area associated with cold, drought and ripening. **Proceedings of the South African Sugar Cane Technologists Association**, Mount Edgecombe, v. 46, p. 158-164, 1971.

GONÇALVES, E.R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2008.

GONÇALVES, F.M. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana de açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial**. 2010. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

HANKS, R.J. Model for predicting as influenced by water use. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, n. 5, p. 660-665, 1974.

_____. Yield and water-use relationships: an overview. In: TAYLOR, H.M.; JORDAN, W.A.; SINCLAIR, T.R. (Ed.). **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison: ASA, 1983. p. 393-411.

HERNANDEZ, F.B.T. Irrigar os canaviais é parte das ferramentas para ganhos de produtividades do setor. In: UNESP. **Agricultura irrigada, recursos hídricos e muito mais**. Ilha Solteira: UNESP, Área de Hidráulica e Irrigação, 2014. Disponível em: <<http://irrigacao.blogspot.com.br/2014/08/agricultura-irrigada-recursos-hidricos.html>>. Acesso em: 28 set. 2014.

- HOWELL, T.A.; YAZAR, A.; SCHENEIDER, A.D.; DUSEK, D.A.; COPELAND, K.S. Yield an water use efficiency of corn in response to LEPA irrigation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 6, p. 1737-1747, 1995.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Culturas temporárias e permanentes. In: _____. **Produção Agrícola Municipal 2012**. Rio de Janeiro, 2012. 98 p.
- INMAN-BAMBER, N.G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 41-51, 1994.
- _____. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p. 107-122, 2004.
- INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.
- INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C; ROBERTSON, M.J. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71-84, 2002.
- INMAN-BAMBER, N.G.; ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W.; PACE, R.; SPILLMAN, M.F. Boosting yields with limited irrigation water. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, Townsville, v. 21, p. 203-211, 1999.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>>. Acesso em: 14 set. 2014.
- KINGSTON, G. Benchmarking yield of sugarcane from estimates of water use. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, Brisbane, v. 16, p. 201-209, 1994.
- LANDELL, M.G.A.; BRESSIANI, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 101-155.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMa, 2004. 531 p.
- LAVANHOLI, M.G.D.P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 697-722.
- LEAL, D.P.V. **Evapotranspiração da cana-de-açúcar e fotossíntese acumulada em biomassa e energia, para diferentes variedades, disponibilidades hídricas no solo e ciclos de cultivos**. 2012. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- LEGENDRE, B.L. Ripening of sugarcane: effects of sunlight, temperature, and rainfall. **Crop Science**, Madison, v. 15, p. 349-352, 1975.

LEITÃO, M. **Apagar com gasolina**. Rio de Janeiro: Jornal O Globo, 2014. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/miriam/posts/2014/10/03/apagar-com-gasolina-551475.asp>>. Acesso em: 05 out. 2014.

LELIS NETO, J.A. **Monitoramento de componentes químicos da vinhaça aplicados em diferentes tipos de solos**. 2008. 88 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

_____. **Aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial e seus efeitos nos perfis de distribuição iônica e atributos físicos e químicos de um Nitossolo**. 2012. 138 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

LINGLE, S.E. Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 480–486. 1999.

LISSON, S.N. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 321-336, 2005.

MARAFON, A.C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168).

MARIN, F.R. **Fenologia**. EMBRAPA, Agência de Informação, 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_68_22122006154840.html>. Acesso em: 12 jun. 2014.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 2011. 87 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MATIOLI, C.S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) ciclo cana soca: um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 98 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA, J.R.G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 295-301, 2001.

MONTEIRO, I. Plasticultura: eficaz aliada na transmissão de luz às plantas. **Revista Plasticultura**, Campinas, ano 5, n. 21, p. 12-19, nov. 2011.

MONTEIRO, L.A.; SENTELHAS, P.C. Potential and actual sugarcane yields in Southern Brazil as a function of climate conditions and crop management. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, n. 3, p. 264-276, 2014.

MUCHOW, R.C.; ROBERSTON, M.J.; WOOD, A.W. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia II: sucrose accumulation and commercial yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 27–36. 1996.

OLIVEIRA, E.C.A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2008.

OLIVEIRA, L.R.; BARBOSA, F.S.; LEAL, D.P.V.; COELHO, R.D. Índice de clorofila e produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA USP, 22., 2014, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: USP, 2014. Resumo 2089.

PAOLINELLI, A. SILVA, C.R. **Área agrícola do Brasil é menor do que se supõe**. EMATER, Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária, 2013. Disponível em < <http://www.emater.go.gov.br/w/5839>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

PEREIRA, L.S.; OEWIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 57, p. 175-206, 2002.

PERRY, C.J. **Quantification and measurement of a minimum set of indicators of the performance of irrigation systems**. Sri Lanka: International Water Management Institute, 1996. 27 p.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191 p.

PURSEGLOVE, J.W. **Tropical crops: monocotyledons**. London: Longman, 1979. 607 p.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E. FAO crop water productivity model to simulate yield response to water. AquaCrop Version 3.1plus. 2011. In: FAO. **Reference manual**. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/docs/AquaCropV31plusChapter1.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2014.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

REIS, M.R.; SILVA, A.A.; GUIMARÃES, A.A.; KHOURI, C.R.; FERREIRA, E.A.; FERREIRA, F.A.; FREITAS, M.A.M. Dinâmica de nutrientes em tecidos foliares de cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 175-184, 2008.

REZENDE, R.S.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **Irrigação**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_56_711200516718.html>. Acesso em: 10 jun. 2014.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. 2. ed. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007. 198 p.

ROBERTSON, M.J.; DONALDSON, R.A. Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off of sugarcane before harvest. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 55, p. 201-208, 1998.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C. Future research challenges for efficient crop water use in sugarcane production. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, Brisbane, v. 16, p. 193-200, 1994.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. A physiological basis for response of sugarcane to drying-off before harvest. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Mount Edgecombe, v. 21, p. 212-218, 1999.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; INMAN-BAMBER, N.G; WOOD, A.W. Developing guidelines for the length of drying-off irrigated sugarcane before harvest in the Burdekin. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Mount Edgecombe, v. 21, p. 196-202, 1999.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; DONALDSON, R.A.; INMAN-BAMBER, N.G.; WOOD, A.W. Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 50, p. 65-77, 1999.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 99 p. Disponível em: <<http://www.malavolta.com.br/pdf/1071.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2014.

ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1989. 88 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

ROSSETO, R. **Maturação**. EMBRAPA, Agência de Informação, 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_90_22122006154841.html>. Acesso em: 20 jun. 2014.

SANTOS, V.R. dos; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A.W. de; COSTA, J.P.V. da; SANTOS, C.G. dos; SANTOS, A.C.I. dos. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 373-431.

SCARPARI, M.S. Sugarcane maturity estimation through edaphic- climatic parameters. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 486-491, 2004.

_____. **PREDPOL: um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado**. 2007. 120 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F. de. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e do brix em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 35-41, 2008.

SENTELHAS, P.C. **Clima e agricultura, os desafios da variabilidade climática**. Piracicaba: ESALQ, Casa do Produtor Rural, 2014. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/cprural/artigos.php?col_id=86>. Acesso em: 25 set. 2014.

SILVA, J.G.C. **Estatística experimental: análise estatística de experimentos; versão preliminar**. Pelotas, 2007. 531 p. Disponível em: <http://www.galileu.esalq.usp.br/arquivos/Plan_Experimentos.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2014.

SILVA, M.A. Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 109-117, 2008.

SILVA, T.A. Acompanhamento da safra 2014/2015. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, ano 4, n. 99, p. 60-62, set. 2014.

SILVA, T.G.F. **Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no submédio do Vale do São Francisco**. 2009. 176 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SINGELS, A. Crop models. In: MOORE, P.H.; BOTHA, F.C. (Ed.). **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**. New Delhi: John Wiley, 2014. p. 541-577.

SINGELS, A.; KENNEDY, A.J.; BEZUIDENHOUT, C.N. The effect of water stress on sugar cane biomass. **Proceedings of the South African Sugar Cane Technologists Association**, Mount Edgecombe, v. 74, p. 169-172, 2000.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOUZA, A.C.M.; MATSURA, E.E.; ELAIUY, M.; SANTOS, L.N.S.; MONTES, C.R.; PIRES, R.C.M. Root system distribution of sugarcane irrigated with domestic sewage effluent application by subsurface drip system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 647, 2013.

STANHILL, G. Water use efficiency. **Advances in Agronomy**, San Diego: v. 39, p. 53-85, 1986. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308604654>>. Acesso em: 18 set. 2014.

STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E. On the conservative behaviour of biomass water productivity. **Irrigation Science**, New York, v. 25, p. 189-207, 2007.

STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop yield response to water**. Rome: FAO, 2012. 503 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 66).

STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop: the FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, p. 426-437, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TANJI, K.K.; KIELEN, N.C. **Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas**. Rome: FAO, 2002. 188 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 61).

TANNER, C.B.; SINCLAIR, T.R. Efficient water use in crop production: research or research? In: TAYLOR, H.M.; JORDAN, W.A.; SINCLAIR, T.R. (Ed.). **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison: ASA, 1983. p. 1–27. 1983.

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. **The South African Sugar Journal**, Durban, v. 60, n. 11, p. 592-600, 627-635, 1976.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Dimensão da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/FAQ/>>. Acesso em: 18 set. 2014.

VALE, D.W. **Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar**. 2009. 120 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

VAN HEERDEN, P.D.R.; EGGLESTON, G.; DONALDSON, R.A. Ripening and postharvest deterioration. In: MOORE, P.H.; BOTHA, F.C. (Ed.). **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**. New Delhi: John Wiley, 2014. p. 55-84.

VIANA, M.S.; SENTELHAS, P.C. Simulação do risco de déficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 237-246, 2014.

VIEIRA, G.H.S. **Uso racional da água na cultura da cana-de-açúcar irrigada no norte de Minas Gerais**. 2012. 101 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

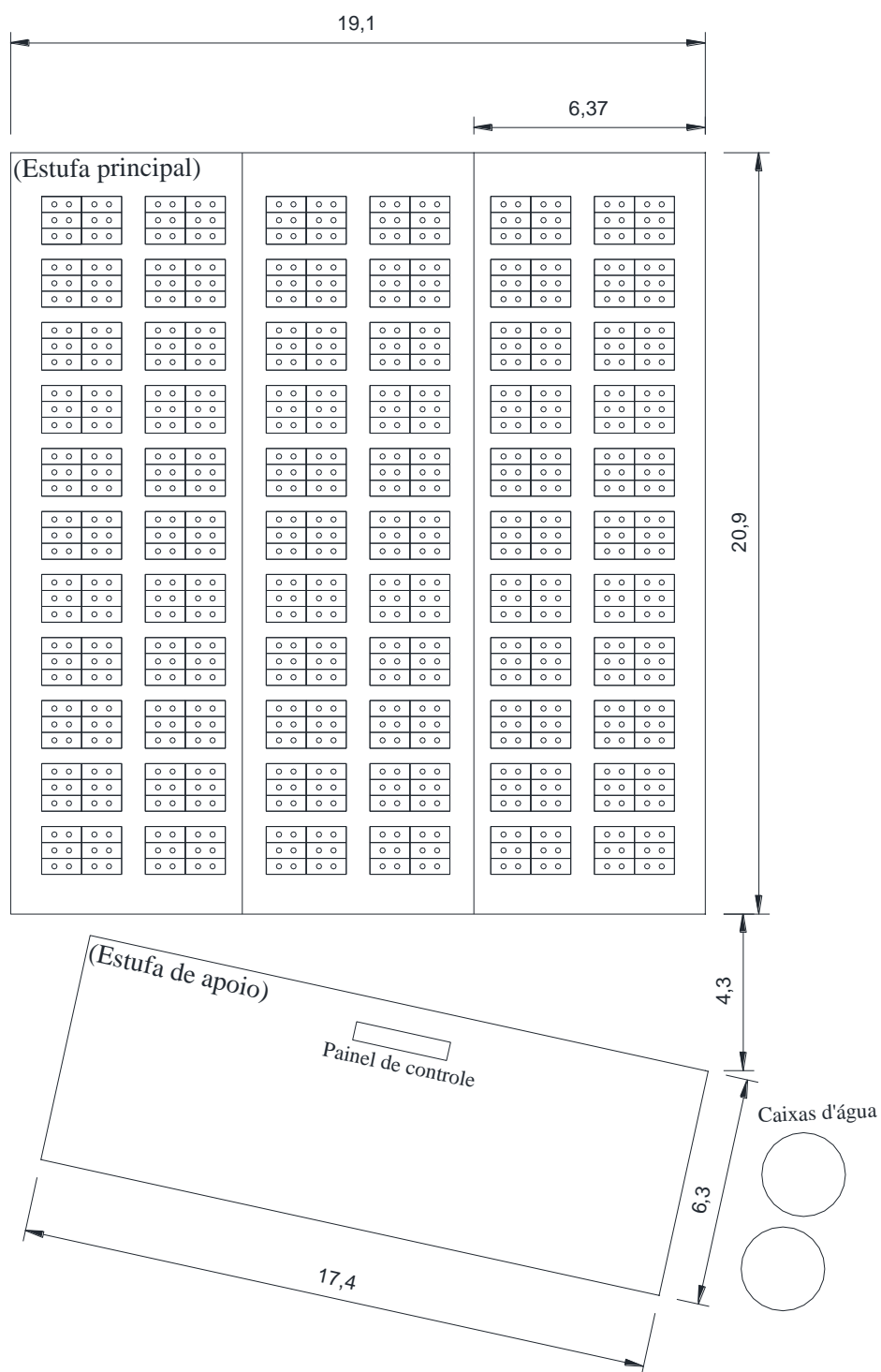
VIEIRA, I.M.S. **Relações entre níveis de açúcares e atividades das invertases em tecidos de quatro cultivares de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) cultivadas à campo**. 1988. 129 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

WRIGLEY, G. **Tropical agriculture: the development of production**. 4th ed. New York: Longman, 1982. 496 p.

ZHANG, H.; OWEIS, T. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 38, p. 195-211, 1999.

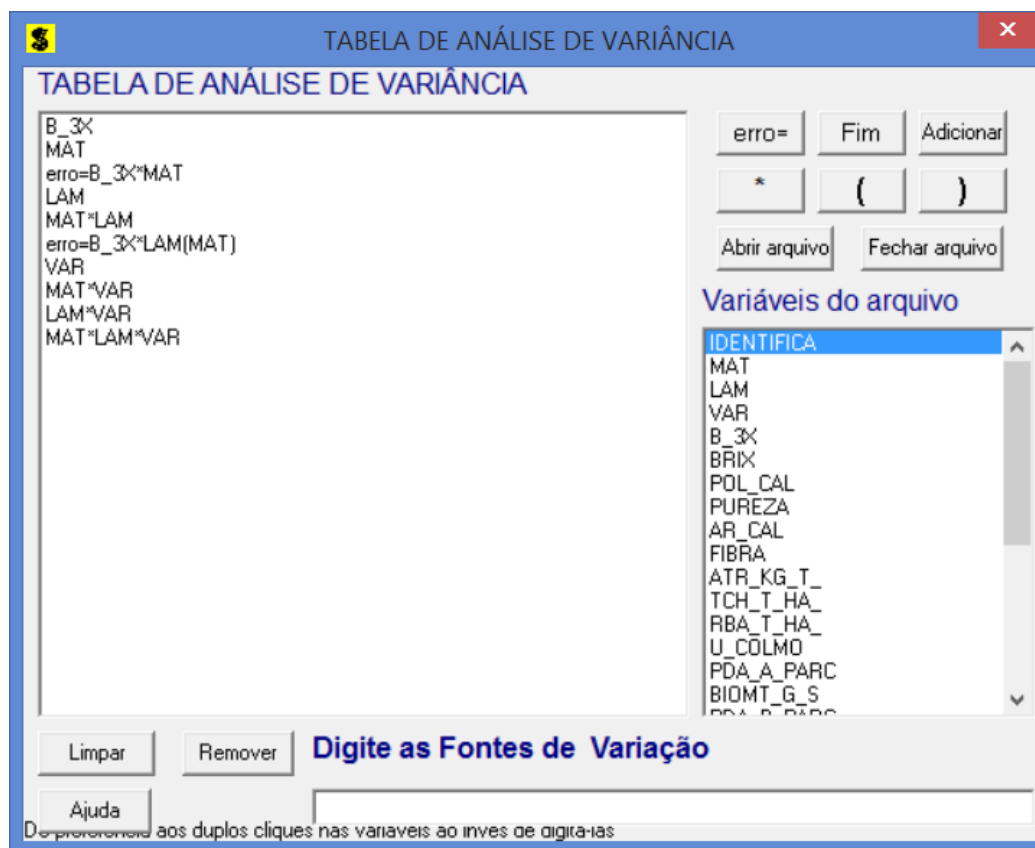
APÊNDICES

Apêndice A - Planta baixa da área experimental



Cotas em metros
Escala 1:200

Apêndice B - Exemplo da Tabela de análise de variância para parcelas sub-subdivididas no programa SISVAR[®]



Apêndice C - Imagens com detalhes da montagem, condução e finalização do experimento

