

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Meteorologia**  
**Programa de Pós-Graduação em Meteorologia**

**Dissertação**



**Caracterização morfológica e respostas às condições  
agrometeorológicas da cana-de-açúcar para o ambiente de Clima  
Temperado**

**Renã Moreira Araújo**

Pelotas, 2016

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

A111c Araújo, Renã Moreira

Caracterização morfológica e agrometeorológica da cana-de-açúcar para o ambiente de clima temperado / Renã Moreira Araújo ; Luciana Barros Pinto, orientadora ; Santiago Vianna Cuadra, coorientador. — Pelotas, 2016.

113 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Eficiência do uso da radiação. 2. Coeficiente de extinção. 3. Taxas de crescimento. I. Pinto, Luciana Barros, orient. II. Cuadra, Santiago Vianna, coorient. III. Título.

CDD : 551.5

**RENÃ MOREIRA ARAÚJO**

**Caracterização morfológica e respostas às condições  
agrometeorológicas da cana-de-açúcar para o ambiente de Clima  
Temperado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciana Barros Pinto

Co-orientador: Dr. Santiago Vianna Cuadra

Pelotas, 2016

**Renã Moreira Araújo**

**Caracterização morfológica e agrometeorológica da cana-de-açúcar para o ambiente de Clima Temperado**

**Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas.**

**Data da defesa: 11/02/2016**

**Banca examinadora:**

---

**Prof<sup>a</sup> . Dr<sup>a</sup>. Luciana Barros Pinto (Orientadora)**

**Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil**

---

**Pesquisador Dr. Santiago Vianna Cuadra (Co-orientador)**

**Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil**

---

**Pesquisador Dr. Ivan Rodrigues de Almeida**

**Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil**

---

**Pesquisador Dr. Sergio Delmar dos Anjos e Silva**

**Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil**

“Sua própria personalidade, seu próprio psique, sua própria atitude, tudo está envolvido no resultado de eventos que acontecem a você”.

Marcus Bach

*Dedico aos meus queridos  
amigos Rodolfo Colombo e  
Lucas Lorrán Pereira, in  
memoriam*

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus pela saúde e as oportunidades que tem me dado nas missões desta vida. A minha preciosa mãe, Silvana Ap. de Araújo, ao meu melhor amigo, meu pai, Leocides M. Araújo, e as minhas irmãs, Aline Ap. de Araújo e Héllen Ap. de Araújo, pela esperança em minha capacidade e pelo sacrifício destes anos longe, suportando a saudade.

Não poderia deixar de citar meus queridos orientadores, Dra. Luciana Barros Pinto e Dr. Santiago Vianna Cuadra, pelos ensinamentos, pelo tempo dedicado e principalmente pelo trabalho que conquistamos juntos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, à Embrapa Clima Temperado, ao Laboratório de Agrometeorologia, à Universidade Federal de Pelotas e a Petrobras.

Sou grato aos ensinamentos e experiências que me foram passados pelo Dr. Ivan Rodrigues de Almeida, Dr. Luís Eduardo Panozzo, Dr. Silvio Steinmetz, Dr. Carlos Reisser Júnior e Dr. Sérgio Delmar dos Anjos e Silva .

Aos amigos de trabalho João Rodrigo Castro e João Marcelo Hoffmann. Aos integrantes do Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado: Edson Kaster (Peronha), Denise Duarte dos Santos, Douglas Bermudez, Maison Seus, Christian Lima, Rodrigo Mazzaro, Alex Becker, Luciano Romano, Gustavo Leal e Pedro Husein. O meu cordial obrigado à Agroenergia: Francis Radael Tatto, Adilson Härter, Jéssica Boelter, Alexssandra Soares, Milena Peres, Vilmar Gonçalves, Willian Antunes, Elis Simon, Lucas Lemoes e Cândida R. Scherrer Montero.

E por fim, mas não menos importante, sou grato a todos os amigos que fizeram parte desta jornada: Pâmela Caye, Vitor Alves, Carlos Dias, Angel Chovert, Raidel Baez, Jeymison Bezerra e Edeon de Deus. Este trabalho só se tornou possível por vocês fazerem parte de minha vida.

## Resumo

ARAÚJO, Renã Moreira. **Caracterização morfológica e respostas às condições agrometeorológicas da cana-de-açúcar para o ambiente de Clima Temperado.** 2016. 113f. Dissertação (Pós-graduação) – Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é de grande importância para a economia brasileira e, assim como para outras culturas, seu crescimento e produtividade são fortemente afetados por fatores relacionados às práticas culturais, como seleção de cultivares, e às condições climáticas. Sendo assim, conhecer o comportamento do crescimento da cana-de-açúcar em determinada região pode contribuir para a seleção de cultivares mais adaptadas aos diferentes ambientes, e para o aperfeiçoamento das práticas de manejo da cultura. Neste contexto, o presente trabalho apresenta os resultados de um experimento agrometeorológico no qual foram caracterizadas as dinâmicas de crescimento de quatro cultivares de cana-de-açúcar (RB867515, RB966928, RB855156, RB92579) e suas relações com as condições climáticas ao longo do ciclo para o ambiente de clima temperado. Adicionalmente, foram obtidos alguns parâmetros biofísicos relacionados a interceptação e absorção da radiação solar e com o acúmulo e particionamento de biomassa, com o objetivo de contribuir para melhoria na estimativa de parâmetros utilizados pelos modelos biofísicos da cultura. O experimento de campo foi conduzido na área experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (CPACT) da Embrapa, situado no município de Pelotas, Rio Grande do Sul (31°40'23"S, 52°26'17"O e 50 m de altitude). O delineamento foi dividido em quatro parcelas com 15 linhas de 27 m cada, com espaçamento de 1,4 m entrelinhas, com plantio no dia 13/10/2014 e a colheita 07/08/2015, sem sistema de irrigação. Foram realizadas diversas medidas biométricas, destrutivas e não-destrutivas, e o monitoramento dos elementos meteorológicos, assim como da interação entre alguns destes elementos e a planta. As condições meteorológicas foram satisfatórias para o desenvolvimento e crescimento da cana-de-açúcar na safra 2014/2015, considerando as condições climáticas como propícias ao desenvolvimento da cultura e quando comparado as regiões tipicamente produtoras de cana-de-açúcar no Brasil. Diferentes taxas de produção de massa fresca e seca total foram encontradas para as variedades avaliadas. A variedade RB92579 foi a mais eficiente na conversão de energia em fotoassimilados, entretanto essa variedade apresentou o menor coeficiente de extinção (menor quantidade de radiação interceptada para um mesmo índice de área foliar). Diversos parâmetros biofísicos variaram entre as cultivares, como o fator forma da folha +3, variou de 0,476 a 0,783, e o coeficiente de extinção da radiação solar, variando de 0,62 a 0,75,. A produtividade das quatro cultivares avaliadas variaram

entre 93 e 115 t ha<sup>-1</sup>, superiores aos valores normalmente reportados para diversas regiões produtoras consolidadas do Brasil.

Palavras-chave: eficiência do uso da radiação, coeficiente de extinção, taxas de crescimento

## Abstract

ARAÚJO, Renã Moreira. **Morphological characterization and answers from agrometeorological conditions of sugarcane for the Temperate Environment.** 2016. 113f. Qualifying thesis (Graduate) - Faculty of Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is of great importance for the Brazilian economy, as well as other cultures, its growth and productivity are strongly affected by factors related to cultural practices such as selection of cultivars and conditions climate. Thus, knowing the behavior of the growth of sugarcane in a given region may contribute to the selection of more adapted cultivars to different environments, and for the improvement of crop management practices. In this context, this paper presents the results of an agrometeorological experiment in which were characterized the dynamics of growth of four cultivars of sugarcane (RB867515, RB966928, RB855156, RB92579) and its relation to climate conditions throughout the cycle to the temperate environment. In addition, it obtained some biophysical parameters related to interception and absorption of solar radiation and the accumulation and biomass partitioning in order to contribute to improvement in estimating parameters used by biophysical models of culture. The field experiment was conducted in the experimental area of Agricultural Research Centre for Temperate Climate (CPACT) of Embrapa, in the municipality of Pelotas, Rio Grande do Sul (31°40'23"S, 52°26'17"E 50 m above sea level). The experiment was divided into four plots with 15 lines of 27 m each, spaced 1.4 m lines, with planting on 13/10/2014 and harvest on 08/07/2015 without system irrigation. Were conducted various biometric measurements, destructive and non-destructive, and the monitoring of meteorological elements, as well as the interaction between some of these elements and the plant. The weather conditions were satisfactory for the development and growth of sugarcane in the 2014/2015 crop, considering the climatic conditions conducive to the development of culture and compared the typically producing regions of sugarcane in Brazil. Different fresh pasta production rates and total dry were found for the evaluated varieties. A variety RB92579 was the most efficient in energy conversion in photoassimilates, though this variety had the lowest extinction coefficient (least amount of radiation intercepted for the same leaf area index). Several biophysical parameters varied between cultivars, such as leaf shape factor +3, the varied from 0.476 0.783, and the extinction coefficient of solar radiation ranging from the 0.62 and 0.75. The productivity of the four cultivars varied between 93 and 115 t ha<sup>-1</sup>, higher than those usually reported for several consolidated producing regions of Brazil.

Keywords: the use of radiation efficiency, extinction coefficient, growth rates

## Lista de Figuras

- Figura 1 - Estádios fenológicos da cana-de-açúcar e suas respectivas durações, em dias do ciclo. DAP – Dias após o plantio. .... 26  
Fonte: Boletim da FAO nº 33, 1979
- Figura 2 - Produtividade da cana-de-açúcar ao longo dos cortes. .... 31  
Fonte: LANDELLI et al., 2003
- Figura 3 - Produtividade de cana-de-açúcar no Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico com horizonte A totalmente erodido (PVAe-1) e no Argissolo Vermelho-Amarelo com horizonte A preservado (PVAe-2). .... 32  
Fonte: PRADO, 2005a
- Figura 4 – Distribuição das áreas de cultivo das principais variedades no Brasil, em 2011. .... 33  
Fonte: CTC, 2011
- Figura 5 – Porcentagem de área cultivada com as principais variedades de cana-de-açúcar entre os produtores da região Centro-Sul, em 2011. .... 34  
Fonte: CTC, 2011
- Figura 6 - Porcentagem de área cultivada com as principais variedades de cana-de-açúcar entre os produtores da região Centro-Sul, em 2012. .... 34  
Fonte: CTC, 2012
- Figura 7 - Porcentagem de área cultivada com as principais variedades de cana-de-açúcar entre os produtores do Estado do Rio Grande do Sul para o ano de 2011 (esquerda) e 2012 (direita). .... 35  
Fonte: CTC, 2011; 2012
- Figura 8 - Imagem com destaque (polígono vermelho) da localização da área situada na Embrapa Clima Temperado (CPACT ). .... 39  
Fonte: GOOGLE EARTH, 2015

Figura 9 - Disposição das quatro cultivares, marcações para as coletas não destrutiva de dados, posição dos tubos solarímetro e localização dos pontos de medida de umidade do solo.....	41
Figura 10 – Tubos solarímetros sendo calibrados (esquerda) e instalados no campo (direita).....	44
Figura 11 – Gráficos de dispersão dos Tubos solarímetros versus piranômetro. ....	52
Figura 12 – Valores de temperatura média diária, temperatura máxima e mínima (a); Amplitude térmica diária e umidade relativa (b). (As linhas verticais tracejadas indicam a mudança de estágio das cultivares; as linhas verticais contínuas indicam data de plantio e colheita).....	53
Figura 13 – Valores diários de radiação solar global (a); velocidade média diária do vento e rajada diária do vento (b). (As linhas verticais tracejadas indicam a mudança de estágio das cultivares; as linhas verticais contínuas indicam data de plantio e colheita).....	55
Figura 14 – Evapotranspiração diária medida (a); Valores decendiais de temperatura média, máxima, mínima e precipitação (b). (As linhas verticais tracejadas indicam a mudança de estágio das cultivares; as linhas verticais contínuas indicam data de plantio e colheita). ....	57
Figura 15 – Relação entre as medidas de área foliar obtido a partir do integrador LI-300 e da área proveniente do produto do comprimento (C) pela largura (L) das referentes folhas+3 das cultivares RB867515 (a), RB966928 (b), RB855156 (c) e RB92579 (d).....	60
Figura 16 - Índice de maturação nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). (As cores de fundo indicam a maturação da cana-de-açúcar, onde azul significa cana “verde”, rosa é cana em maturação e laranja é cana madura).....	62
Figura 17 – °Brix médio nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP).....	64
Figura 18 – Índice de colheita (%) ao longo do ciclo de cana planta para as cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579. Amostras destrutivas. ....	65

Figura 19 – Diâmetro do terço médio do colmo (m) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	67
Figura 20 - Estatura média do colmo (m) (sem palmito) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.....	68
Figura 21 - Evolução do número de perfilhos ( $m^{-2}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	70
Figura 22 - Evolução do comprimento da folha +3 (m) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	71
Figura 23 - Evolução da largura da folha +3 (m) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	72
Figura 24 – Produção de biomassa fresca aérea total ( $ton\ ha^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.....	73
Figura 25 - Biomassa seca total ( $ton\ ha^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	74
Figura 26 - Taxa de crescimento relativo (TCR – $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.....	75
Figura 27 - Razão de área foliar específica (RAF – $m^2\ g^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.....	76
Figura 28 – Razão de massa foliar (RMF – $g\ g^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	77

Figura 29 – Área foliar específica (AFE – $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB 966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	78
Figura 30 – Taxa de assimilação líquida (TAL – $\text{g m}^2 \text{dia}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB 966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	79
Figura 31 - Taxa de crescimento da cultura (TCC – $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB 966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	80
Figura 32 - Taxa de crescimento absoluto (TCA – $\text{g dia}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB 966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	81
Figura 33 - Evolução do Índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. ....	82
Figura 34 – Radiação solar global transmitida das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, entre 15 de dezembro de 2014 (63 DAP) a 28 de julho de 2015 (288 DAP). Linhas coloridas indicam os valores experimentais. Linhas escuras indicam os valores estimados. ....	83
Figura 35 - Radiação solar global interceptada das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, entre 15 de dezembro de 2014 (63 DAP) a 28 de julho de 2015 (288 DAP). Linhas coloridas indicam os valores experimentais. Linhas escuras indicam os valores estimados. ....	84
Figura 36 - Radiação solar global refletida pelo dossel das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, entre 15 de dezembro de 2014 (63 DAP) a 28 de julho de 2015 (288 DAP). Linhas coloridas indicam os valores experimentais. Linhas escuras indicam os valores estimados. ....	86

- Figura 37 – Fração de radiação interceptada (%) e índice de área foliar ( $m^2 m^{-2}$ ) das cultivares RB867515 (superior) e RB966928 (inferior). Linhas e pontos coloridos indicam os dados experimentais. Linhas negras indicam os valores estimados. .... 87
- Figura 38 – Fração de radiação interceptada (%) e índice de área foliar ( $m^2 m^{-2}$ ) das cultivares RB855156 (superior) e RB92579 (inferior). Linhas e pontos coloridos indicam os dados experimentais. Linhas negras indicam os valores estimados. .... 88
- Figura 39 – Fração de radiação solar interceptada pelo dossel em função do índice de área foliar para as cultivares RB867515 (a), RB966928 (b), RB855156 (c) e RB92579 (d), segundo a Lei de Beer, usando  $k_e=0.33$  (linha tracejada),  $k_e=0.61$  (linha traço ponto),  $k_e$  experimental (pontos) e  $k_e$  estimado (linha contínua). .... 90
- Figura 40 - Fração de radiação solar interceptada pelo dossel em função do índice de área foliar estimado para as cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, segundo a Lei de Beer..... 91
- Figura 41 – Massa de matéria seca e radiação solar interceptada acumulada ( $R_g$  Int Acumulada) em função dos dias após o plantio (DAP) das cultivares RB867515 (superior) e RB966928 (inferior). .... 93
- Figura 42 – Massa de matéria seca e radiação solar interceptada acumulada ( $R_g$  Int Acumulada) em função dos dias após o plantio (DAP) das cultivares RB855156 (superior) e RB92579 (inferior). .... 94
- Figura 43 – Radiação solar global ( $R_g$ ) acumulada e temperatura média em função dos dias após o plantio, das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579 (a). Taxa de assimilação de radiação solar global ( $R_g$ ) acumulada e temperatura média em função dos dias após o plantio, das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579 (b). .... 95
- Figura 44 – Relação entre matéria seca aérea e radiação solar ( $R_g$ ) acumulada para as cultivares RB867515 (a), RB966928 (b), RB855156 (c) e RB92579 (d). (Os símbolos cheios e linha contínua incluem as folhas mortas, os símbolos vazios e linha tracejada não incluem as folhas mortas). .... 96

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Consumo hídrico médio diário da cana-de-açúcar sob diferentes locais e ciclo da cultura. ....	30
Fonte: PERES (1988)	
Tabela 2 – Características das variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579. ....	36
Fonte: RIDESA (2010)	
Tabela 3 – Variáveis medidas na amostra destrutiva (d), abreviação e unidade de medida.....	43
Tabela 4: Altura em metros do tubo inferior em relação ao solo e respectivas datas.....	45
Tabela 5: Altura em metros do tubo superior em relação ao solo e respectivas datas.....	45
Tabela 6 – Tubos solarímetros com seus respectivos valores de $R^2$ , parcela, cultivar e posicionamento de instalação em relação ao dossel. ....	51
Tabela 7 – Médias das principais variáveis meteorológicas nas respectivas fases fenológicas. ....	59
Tabela 8 - Índice de maturação nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, ciclo de cana planta, nos respectivos dias após o plantio. ....	62
Tabela 9 - °Brix nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, ciclo de cana planta, nos respectivos dias após o plantio. ....	63
Tabela 10 – Cultivares e valores da estatura média do colmo, número de perfilhos, comprimento e largura da folha +3 e biomassa fresca ao fim da fase fenológica de perfilhamento (87 DAP). ....	66

Tabela 11 – Cultivares e valores do diâmetro médio do colmo, estatura média do colmo, número de perfilhos, comprimento e largura da folha +3 e biomassa fresca ao fim da fase fenológica de crescimento vegetativo (206 DAP)..... 66

Tabela 12 – Cultivares e valores do diâmetro médio do colmo, estatura média do colmo, número de perfilhos, comprimento e largura da folha +3 e biomassa fresca ao fim da fase fenológica de maturação (284 DAP)..... 67

## Lista de Equações

Equação 1 -	TCA: Taxa de Crescimento Absoluto.....	46
Equação 2 -	TCR: Taxa de Crescimento Relativo.....	46
Equação 3 -	TAL: Taxa de Assimilação Líquida.....	46
Equação 4 -	AFE: Área Foliar Específica.....	47
Equação 5 -	RMF: Razão de Massa Foliar.....	47
Equação 6 -	RAF: Razão de Área Foliar.....	47
Equação 7 -	IAF Índice de Área Foliar (a partir do número de perfilhos)...	47
Equação 8 -	IAF: Índice de Área Foliar (a partir da biomassa).....	47
Equação 9 -	TCC: Taxa de Crescimento da Cultura.....	47
Equação 10 -	IC: Índice de Colheita.....	48
Equação 11 -	TCHe: Produtividade Estimada do Canavial.....	48
Equação 12 -	AF: Área foliar a partir da folha +3.....	48
Equação 13 -	li: Radiação interceptada.....	49
Equação 14 -	Lei de Beer.....	.
Equação 15 -	Ke: Coeficiente de extinção.....	49

## Sumário

<b>1 Introdução</b> .....	21
<b>2 Revisão de Literatura</b> .....	23
2.1 A cultura de cana-de-açúcar .....	23
2.1.1 Origem e base genética .....	24
2.1.2 Importância econômica e área plantada no Brasil.....	24
2.2 Morfologia.....	25
2.2.1. Desenvolvimento, crescimento e fenologia .....	25
2.2.2 Exigências climáticas .....	27
2.2.3 Exigências de solo .....	31
2.2.4 Tipos de cultivo .....	32
2.3 Cultivares de cana-de-açúcar.....	33
2.3.1 Cultivares mais utilizados no Brasil e na Região Centro-Sul.....	33
2.3.2 Programa de Seleção no Estado do Rio Grande do Sul - Projeto Siscana RS	35
2.4 Importância de experimentos agrometeorológicos.....	37
<b>3 Metodologia</b> .....	39
3.1 Descrição da área experimental e plantio .....	39
3.2 Levantamento de dados e Calibração de instrumentos .....	41
3.2.1 Coletas não destrutivas .....	41
3.2.2 Coletas destrutivas .....	42
3.2.3 Dados meteorológicos.....	43
3.3 Análises dos dados .....	45
3.3.1 Variáveis Meteorológicas .....	45
3.3.2 Morfologia das cultivares.....	46
3.3.3 Radiação Solar e Coeficiente de extinção.....	48
3.3.4 Comparativo entre as cultivares .....	50

<b>4 Resultados e Discussões</b> .....	51
4.1 Calibração dos instrumentos .....	51
4.2 Variáveis Meteorológicas .....	52
4.3 Análises morfológicas .....	59
4.3.1 Fator forma .....	59
4.3.2 Brix, índice de maturação e colheita .....	61
4.3.3 Fases fenológicas e morfologia .....	65
4.3.4 Taxas de Crescimento.....	74
4.4 Análise da radiação solar global.....	82
4.4.1 Radiação solar transmitida, interceptada e refletida.....	83
4.4.2 Radiação solar e o índice de área foliar .....	86
4.4.3 Coeficiente de extinção .....	89
4.4.4 Biomassa seca e radiação solar global .....	91
4.4.5 Eficiência do uso da radiação solar global .....	95
<b>5 Conclusões</b> .....	98
<b>Referências</b> .....	99
<b>Apêndices</b> .....	109

## Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é de grande importância para a economia brasileira. Em 2012 foi estimado faturamento de cerca de 58 bilhões de reais, representando cerca de 2% do PIB nacional (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2012).

Assim como outras culturas agrícolas, o crescimento e a produtividade agrícola da cana-de-açúcar pode ser afetada por fatores relacionados às práticas culturais, cultivar e, em especial, pelas condições climáticas (PARK et al., 2005; BONNET et al., 2006; GILBERT et al., 2006; MARAFON, 2012). Conhecer o comportamento do crescimento da cana-de-açúcar em determinada região pode contribuir para a seleção de cultivares mais adaptados aos diferentes ambientes, assim como para o aperfeiçoamento das práticas de manejo da cultura.

A análise do crescimento de uma cultura agrícola, descrevendo as condições morfológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, permite avaliar os principais fatores que contribuem para o crescimento final desta (MAGALHÃES, 1985). Experimentos observacionais são imprescindíveis para a caracterização e compreensão do estudo da dinâmica vegetal em condições ambientais diferentes e, assim, conhecer a respostas das cultivares às condições ambientais e determinar as regiões propícias ao seu cultivo (MARAFON, 2012).

Uma ferramenta adicional aos experimentos à campo são os modelos de desenvolvimento, crescimento e produtividade agrícola. Estes modelos podem ser aplicados, por exemplo, como ferramentas para o planejamento, monitoramento e previsão de safra das culturas (JAME; CUTFORTH, 1996). Entretanto, para simulações consistentes é necessário a obtenção de dados experimentais que possam ser usados para calibrar adequadamente os modelos. Tais experimentos visam ajustar os modelos às respostas de diferentes culturas/cultivares ao ambiente

de interesse, principalmente à resposta das plantas às condições de solo e clima da região (WALLACH et al., 2001).

São poucos os experimentos que inter-relacionam fatores como clima, solo e variedades com a fenologia da cana-de-açúcar (SUGUITANI, 2006). As dificuldades na parametrização de modelos surgem muitas vezes devido a baixa qualidade e limitação do número de amostras dos dados medidos em campo (LISSON et al., 2000).

Nesse contexto, o presente trabalho pretende caracterizar a dinâmica do crescimento de quatro cultivares de cana-de-açúcar no ambiente de produção da região Sul do Estado do Rio Grande do Sul, cujas características climáticas divergem significativamente das principais regiões produtoras do país. Assim, pretende-se avaliar a respostas das cultivares às condições meteorológicas, ao longo do ciclo de desenvolvimento na região de clima temperado. Adicionalmente, objetivou-se analisar a relação da radiação solar com a produtividade das variedades estudadas e contribuir para a melhoria na estimativa de parâmetros utilizados pelos modelos biofísicos da cultura.

## Revisão de Literatura

### 2.1 A cultura de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é considerada como semi-perene (SILVA, 2004; SIGUITANI, 2006; SANTOS, 2006), uma vez que, após o plantio, a cultura fica em média no campo durante 5 anos (cortes), ou como perene, já que não é necessário o plantio da cultura ano após ano (PARANHOS, 1987; TERRAMOTO, 2003; DIOLA; SANTOS, 2010). É uma planta do tipo C<sub>4</sub>, por formar compostos orgânicos com quatro carbonos. É adaptada a altas temperaturas e intensidade luminosa, sendo considerada de alta eficiência na assimilação e manutenção do CO<sub>2</sub> (gás carbônico) (MARAFON, 2012) nas referidas condições.

Plantas da família *Poaceae* têm como característica inflorescências em forma de panícula, crescimento do caule em colmos, folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainhas abertas. A cana-de-açúcar é levemente decumbente no estágio inicial de desenvolvimento e de hábito ereto. Nos estádios que seguem, a planta seleciona perfilhos a partir do autossombreamento. O desenvolvimento da cana-de-açúcar acontece em forma de touceira, seguido da formação de perfilhos (SCARPARI E BEAUCLAIR, 2008a). A estrutura da touceira pode ser composta por colmos decumbentes, semi-erectos e erectos, dependendo das características genéticas.

O maior interesse econômico da cultura está na parte aérea da planta, composta por colmos segmentados por nós e entrenós. A intensidade na qual ocorre o perfilhamento é importante para a produtividade. As folhas da cana-de-açúcar são completas e apresentam-se alternadas no colmo. A lâmina foliar é praticamente plana, alongada, e quando totalmente desenvolvida apresenta largura entre 2,5 a 10 cm e comprimento variando entre 0,5 e 1,5 m (MARAFON, 2012).

### 2.1.1 Origem e base genética

O cultivo da cana-de-açúcar teve início no Sul da Ásia Leste e Índia Ocidental. Por volta de 327 a.C. essa cultura era importante no subcontinente africano. A cana foi transportada para o Egito em meados de 647 d.C. e, em meados de 755 d.C. a cultura foi levada para Espanha. A partir de então, a cultura foi difundida ao Mundo Novo no início do século XVI, e foi levada a Louisiana nos EUA em aproximadamente 1741 (NETAFIM, 2014).

A cana-de-açúcar pertence à família *Poaceae* e ao gênero *Saccharum*. São conhecidas seis espécies: *S. officinarum*, *S. robustum*, *S. spontaneum*, *S. barberi*, *S. sinensi* e *S. edule*, das quais originam-se as variedades genéticas das cultivares comerciais cultivadas no Brasil (MOZAMBANI et al., 2006). O gênero é *Saccharum*, que vem do Sânscrito “sarkara”, que significa açúcar branco, herança deixada pela Índia quando a planta atingiu a região do Mediterrâneo (NETAFIM, 2014).

### 2.1.2 Importância econômica e área plantada no Brasil

A cultura da cana-de-açúcar é uma das mais importantes e antigas lavouras exploradas no Brasil (SCARPARI, 2002). Em 1973, na busca de alternativas para contornar a crise do petróleo, foi criado no Brasil o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), considerado o mais duradouro e o maior esforço de substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis a nível mundial (NITSCH, 1991).

Esta cultura é matéria prima para fabricação do etanol, indústria de açúcar e biomassa no país. No ano de 2010/2011 foram cultivados no Brasil 8,1 milhões de hectares, correspondente a maior área mundial plantada, com média de produtividade de 82,1 t ha<sup>-1</sup>. O aumento das exportações de açúcar e álcool anidro aumentou a área e a produção brasileira, tornando o Brasil líder mundial na utilização da cana-de-açúcar como fonte renovável de energia, bem como nas exportações de açúcar. Assim, esta cultura tem sido apontada não só como o principal fator, pelo elevado valor econômico e estratégico, para a produção de açúcar e álcool, mas também de grande interesse internacional como fonte de energia renovável (MONTEIRO, 2012).

Outro fator importante que explica o papel brasileiro no cultivo da cana-de-açúcar é o clima, que faz com que o país seja um dos mais propícios para a produção desta cultura, uma vez que possui condições edafo-climáticas apropriadas em parte

considerável do seu território, disponibilidade de terras para o cultivo e custos de produção relativamente baixos quando comparados a outros países, como, a Tailândia, China, Austrália, África do Sul, México, Paquistão e Índia (ARGENTON, 2006).

## **2.2 Morfologia**

### **2.2.1. Desenvolvimento, crescimento e fenologia**

A partir da fenologia (definida como a relação entre fenômenos biológicos periódicos e o clima) diz-se que os processos de desenvolvimento e crescimento resultam da ação conjunta de três níveis de controle: intracelular ou genético, intercelular e extracelular ou ambiental (MARAFON, 2012).

As diferentes fases de crescimento da planta são representadas pelas modificações na massa ou volume de toda planta, tamanho, ou, qualquer órgão desta, em função do tempo. Segundo Teruel et al. (1997), para que seja possível modelar e quantificar o crescimento das plantas em diferentes estádios fenológicos é fundamental o conhecimento da variação dos estádios da cultura.

No caso da cana-de-açúcar, pode-se dividir o desenvolvimento em quatro estádios (Figura 1): (1) brotação e estabelecimento – demora de 20 a 30 dias para a brotação, o crescimento é lento e dependente da umidade do solo; (2) perfilhamento – inicia-se próximo aos 40 dias após o plantio e pode durar até 120 dias; (3) crescimento dos colmos ou estágio vegetativo – tem início aproximadamente 120 dias após o corte ou plantio e pode durar até 270 dias para cultivos de 12 meses, sendo este estágio considerado o mais importante, pois nele acumulam-se cerca de 75% da matéria seca total da cultura; (4) maturação dos colmos – inicia-se entre 270 a 360 dias após o corte ou plantio e dura até seis meses. É neste estágio que acontece o acúmulo de sacarose nos colmos e redução nas taxas de crescimento da planta (DIOLA, SANTOS, 2010).

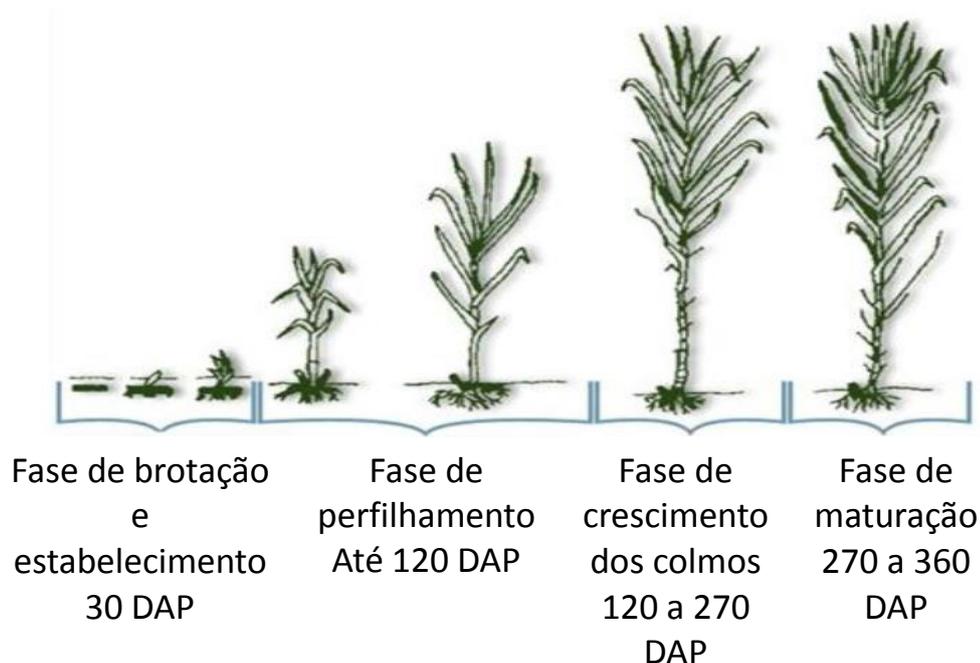


Figura 1 - Estádios fenológicos da cana-de-açúcar e suas respectivas durações, em dias do ciclo. DAP – Dias após o plantio.

Fonte: Adaptado de: Boletim da FAO nº 33, 1979.

A maior parte da fitomassa produzida pela cana-de-açúcar, no início de seu desenvolvimento, é destinada para a formação e crescimento das folhas e raízes, em conjunto à formação de novos perfilhos que, conseqüentemente, são dependentes da formação dos restolhos. Os novos perfilhos são resultados do processo de formação de novos brotos, colmos ou hastes laterais, por uma mesma planta (MARAFON, 2012).

Inicialmente, a temperatura e a radiação são os principais fatores responsáveis pelo perfilhamento, seguidos pela cultivar e densidade do plantio, ciclo da cultura, disponibilidade de água e de nitrogênio no solo. Na cana-de-açúcar, o perfilhamento tem início nas porções subterrâneas dos colmos (restolhos), segue perfilhando nos primeiros meses após o plantio ou rebrota e, intensifica-se conforme a disponibilidade hídrica, condições de temperatura e radiação benéficas. Em seguida há um decaimento do número de perfilhos, quando o perfilhamento diminui até estabilizar (SUGUITANI; MATSUOKA, 2001). Como pode ser visto na Figura 1, entre o terceiro e quinto mês após o plantio/corte, tem-se um rápido aumento no índice de área foliar que, acontece na mesma fase de grande crescimento vegetativo e atinge máximo valor durante o crescimento dos colmos (MONTEIRO, 2012).

As diferentes fases da cultura de cana-de-açúcar e sua relação fisiológica possuem a sequência (MARAFON, 2012):

- i. Ao início, a produção dos diferentes órgãos componentes da planta dependem das reservas da semente (tolete). A cada folha formada aumenta a interceptação da luz e, não ocorre o autossombreamento, por enquanto. Esta fase é caracterizada como exponencial, uma vez que a taxa de crescimento relativa é constante e a cultura é principalmente vegetativa.
- ii. Depois de expandidas as folhas e do desenvolvido das raízes, a planta é capaz de retirar nutrientes e água do solo, dando início aos processos anabólicos, altamente dependentes da fotossíntese. Nesta fase, o crescimento passa a ser linear, com maior aumento na taxa de matéria seca. As folhas vão se tornando mutuamente sombreadas, resultado na estabilização da área foliar que, quando em geral ocorre o maior aumento de fitomassa.
- iii. A planta entra na fase de senescência foliar e maturação dos colmos quando a mesma atinge o tamanho definitivo. Ocorre menor interceptação de energia, maior translocação de açúcares para os órgãos de armazenamento e decréscimo no acúmulo de matéria seca.

### **2.2.2 Exigências climáticas**

Devido ao seu efeito na velocidade das reações bioquímicas e dos processos internos de transporte, a temperatura do ar influencia vários aspectos da produtividade vegetal, no que diz respeito ao crescimento e desenvolvimento das plantas (PEREIRA et al. 2002). Temperaturas limiares inferiores que causam paralisação no crescimento da cultura, são divergentes entre alguns autores, variando entre 15 °C a 21 °C (DILLEWIJN, 1952; BARBIERI; VILLA NOVA, 1977; BACCHI; SOUZA, 1978; DOORENBOS; KASSAM, 1979; MAGALHÃES, 1987; SCARPARI, 2002). Temperaturas elevadas são relativamente bem toleráveis pela cultura se existir umidade no solo ou irrigação adequada. O estresse térmico pode ocorrer em temperaturas acima dos 35 °C e, o crescimento praticamente paralisa-se para temperaturas acima dos 38 °C (WALKER, 1969). Entre 30 e 34 °C tem-se o favorecimento das maiores taxas de crescimento. A temperatura do solo é importante, uma vez que tem influência na alongação do comprimento das raízes e na produção de biomassa radicular. Pode-se dizer, portanto, que a temperatura do solo influencia

indiretamente o processo de absorção de água. De maneira geral, a temperatura ideal para a brotação das gemas é entre 32 e 38 °C e para o melhor desenvolvimento da cultura são temperaturas médias diárias de 22 e 30 °C, ressaltando que a taxa de crescimento diminui significativamente devido à diminuição na taxa de alongamento dos colmos quando a temperatura fica abaixo de 20 °C (WALKER, 1969).

A radiação solar é a fonte de toda energia primária e necessária para a realização da fotossíntese, o que torna essa variável a base do desenvolvimento da modelagem agrometeorológica (TAIZ; ZEIGER, 2004). Por ser uma planta de metabolismo C4, a cana-de-açúcar possui maior eficiência no consumo hídrico e na taxa de crescimento em relação as plantas de metabolismo C3 (CASAGRANDE, 1996). A intensidade e insolação solar afetam o perfilhamento, de maneira que a longa duração do dia e a alta intensidade de radiação solar incentivam o perfilhamento enquanto que, dias nublados e/ou curtos causam efeito contrário. Deste modo, o fotoperíodo entre 10 e 14 horas aumenta o crescimento dos colmos e, a insolação entre 18 a 36 MJ m<sup>-2</sup> é propícia para o bom crescimento do cultura (MONTEIRO, 2012).

A proporção de produção de matéria seca por unidade de radiação solar interceptada responde quadraticamente em relação à porcentagem de radiação solar interceptada. Em até 50% de interceptação luminosa, a proporção de conversão de energia aumenta linearmente e acima deste nível de interceptação a conversão fotossintética reduz. Quando o dossel da cana-de-açúcar está plenamente desenvolvido mais de 70% da energia luminosa é interceptada pela cobertura superior da cultura, entretanto devido ao altossombreamento a proporção fotossintética das folhas diminui com a altura (VERED; RAO, 2014). Uma redução de 5% de radiação solar interceptada pela planta pode reduzir em até 26% a produção de biomassa total (ROBERTSON et al., 1999).

Esta forte relação entre radiação solar interceptada e produção de biomassa da cana-de-açúcar pode afetar a distribuição e adensamento das plantas. Folhas mais eretas permitem o adensamento da cultura, aumentando o rendimento por área e explicando parcialmente os maiores níveis de produtividade em condições de campo (MARIN et al., 2009). Outro fator é que, como a cana-de-açúcar é do tipo C4, ela apresenta eficiência elevada de conversão de radiação solar em energia química sob radiação solar intensa, associadas a condições de temperaturas e disponibilidade hídrica do solo elevadas (MONTEIRO, 2012).

Quando cultivada em regiões tropicais a disponibilidade hídrica é dada como o principal fator limitante a obtenção das mais elevadas produtividades de cana-de-açúcar (MONTEIRO, 2012). Pode ocorrer déficit hídrico durante todo o período da cultura, mas o efeito refletido na produtividade depende de qual época e estágio fenológico encontra-se a cultura, bem como a duração e intensidade do déficit hídrico (DOORENBOS; PRUITT, 1975; THOMPSON, 1976).

Para a obtenção de produtividade máxima, é importante a disponibilidade de umidade do solo adequada no período vegetativo, pois nesta fase a cultura cresce proporcionalmente à transpiração. São exigidos, dependendo do clima, de 1500 a 2500 mm preferencialmente bem distribuídos neste período (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Porém, a precipitação anual média nas principais regiões produtoras do Brasil nem mesmo chegam a esses valores pluviométricos. Assim, torna-se relevante a distribuição da chuva e disponibilidade hídrica ao longo do ano e nos estádios fenológicos de crescimento da cultura (MONTEIRO, 2012). Essas exigências hídricas fazem com que a região Centro-Sul do Brasil (Sul dos Estados do Mato Grosso e Tocantins, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais com exceção de sua região norte, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) possua condições climáticas consideradas boas para o desenvolvimento e maturação da cana-de-açúcar, devido a suas médias pluviométricas anuais de 1250 a 1750 mm (BARBIERI; VILLA NOVA, 1977).

O estresse hídrico durante o cultivo da cana-de-açúcar é resultado de uma combinação complexa de fatores da planta, solo e atmosfera. De forma geral, a relação de consumo de água e produtividade é de 8 a 12 mm t<sup>-1</sup> (SEGATO et al., 2006). Segundo Peres (1988), o consumo hídrico médio medido/parametrizado em lisímetros variou de 2,3 a 5,7 mm dia<sup>-1</sup>, dependendo das condições climáticas do local e da cultivar (Tabela 1).

Estudos relataram que um canavial com produtividade de 100 t ha<sup>-1</sup> de colmos consome durante o ciclo, aproximadamente, 1500 mm de água (FAUCONIER; BASSEREAU, 1970). Experimentos realizados no Hawaii mostraram que no verão o consumo hídrico da cana-de-açúcar foi de 7 a 9 mm dia<sup>-1</sup>, enquanto que no inverno foi de 3 a 5 mm dia<sup>-1</sup> (CHANG, 1961).

Tabela 1 – Consumo hídrico médio diário da cana-de-açúcar sob diferentes locais e ciclo da cultura.

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Ciclo da cultura</b>	<b>Consumo de água médio (mm dia<sup>-1</sup>)</b>
Campbell et al.	1959	EUA (Havaí)	Planta	5,70
Thompson et al.	1963	África do Sul	Planta	4,20
Thompson	1965	África do Sul	Planta	3,66
Chang & Wang	1968	Taiwan	Planta e Soca	4,80
Thompson e Boyce	1971	África do Sul	Planta	3,94
Early & Gregório	1974	Filipinas	Planta	3,10
Fogliata	1974	Argentina	Planta e Soca	4,36
Thompson	1976	África do Sul	1ª Soca	3,86
			2ª Soca	3,63
Shih & Gascho	1980	EUA (Flórida)	Planta e Soca	3,36
Barbieri	1981	Brasil	Planta	2,50
Chang et al.	1983	Taiwan	Planta	2,33
			1ª Soca	3,14
			2ª Soca	3,06
Yahng et al.	1985	Colômbia	Planta	3,33
			1ª Soca	3,57

Fonte: PERES (1988).

Desta maneira, fica evidente que a relação de produção de matéria seca e consumo de água é bastante variável, dependendo das condições de manejo do solo, da cultura e climáticas do local de cultivo (MONTEIRO, 2012). Além disto, o excesso de água durante a colheita interfere na qualidade industrial e nas condições apropriadas de colheita. Chuvas durante a colheita influenciam diretamente o planejamento do corte, carregamento e transporte dos colmos, bem como o tráfego de máquinas intenso sobre o canavial nesta época associados à umidade excessiva causam compactação do solo, prejudicando a produtividade da próxima safra (MARIN et al.; 2009).

Com isto, não só a produção de cana-de-açúcar nas regiões semiáridas e áridas é afetada pelo déficit hídrico, mas também em regiões onde a distribuição da precipitação não é uniforme ao longo do ano. Uma alternativa para aliviar esta questão é a aplicação de irrigação, sob diferentes métodos, que pode resultar no aumento da produtividade da cana-de-açúcar (CARRETERO, 1982; SOUZA et al., 1999; DARLI et al., 2008).

### 2.2.3 Exigências de solo

O ambiente de produção é um conjunto das interações dos atributos de superfície e subsuperfície, ponderando-se a declividade do solo somado às condições climáticas (PRADO, 2005a). A composição do solo é influenciada pela quantidade de argila, silte e tipo de areia (fina ou grossa), e a disponibilidade hídrica é, por sua vez, influenciada pela quantidade de cada componente dentro do solo (PRADO, 2005a).

Os ambientes de produção sofrem também influência direta das condições químicas do solo (EMBRAPA, 1999; PRADO, 2004). A condição química do horizonte subsuperficial é determinante na produtividade da cana-de-açúcar, e esta relação amplia-se com o decorrer dos cortes. A produtividade da soqueiras consecutivas decresce de forma significativa na sequência a seguir em relação ao tipo de solo: eutrófico, mesotrófico, distrófico e ácrico (Figura 2) (LANDELL et al., 2003).

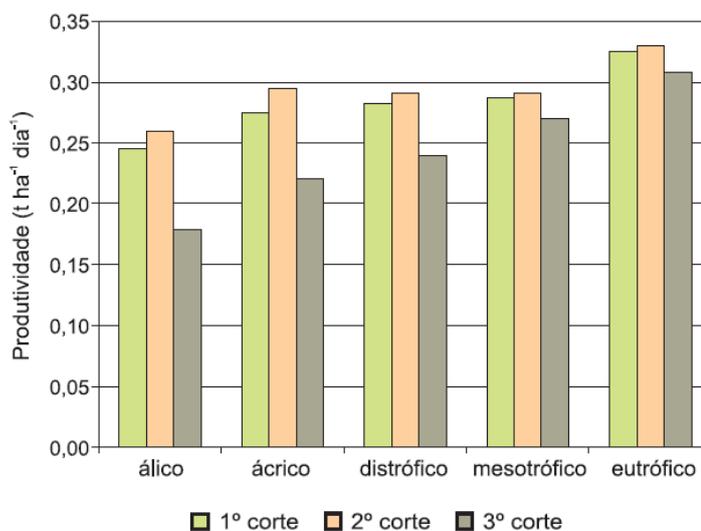


Figura 2 - Produtividade da cana-de-açúcar ao longo dos cortes.

Fonte: LANDELL et al., 2003.

A profundidade abaixo da camada arável é bastante variável e é importante conhecer o horizonte diagnóstico de subsuperfície que ocorre nessa profundidade para classificar o solo. Em um solo que ocorre erosão a tal ponto de remover o horizonte A do perfil, diminui-se a matéria orgânica da superfície. Em seus estudos, Prado (2005b) estimou que quando isso ocorre, tem-se queda significativa no peso do colmo e na produtividade de cana-de-açúcar (Figura 3).

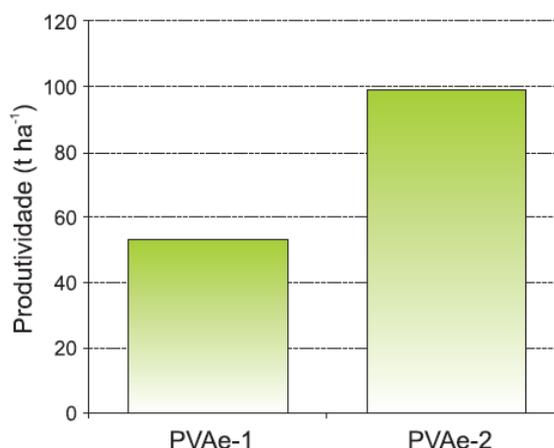


Figura 3 - Produtividade de cana-de-açúcar no Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico com horizonte A totalmente erodido (PVAe-1) e no Argissolo Vermelho-Amarelo com horizonte A preservado (PVAe-2).

Fonte: PRADO, 2005a.

#### 2.2.4 Tipos de cultivo

Existem dois tipos de ciclo da cana-de-açúcar quando relaciona-se à maneira de plantio. O plantado a partir de mudas, nomeia-se de “cana planta”, e quando a cana rebrota após a colheita, denominado “cana soca” (CARVALHO, 2009).

Na região Centro-Sul do Brasil o plantio da cultura ocorre em duas épocas: a primeira com plantio de setembro a outubro, quando a colheita será realizada em aproximadamente 12 meses, caracterizando o sistema de plantio da “cana-de-ano”; e a outra época, como plantio nos meses de janeiro a março, com a colheita programada para setembro-outubro do ano seguinte, caracterizando o ciclo de “cana de ano e meio”, ou 18 meses (BARBIERI; VILLA NOVA, 1977; MARIN et al., 2009). Para a cana-soca, desde a brotação da soqueira até o corte usa-se o ciclo de aproximadamente 12 meses. Este tipo de manejo é realizado para que as condições meteorológicas coincidam com o estabelecimento da planta, seu crescimento nos períodos de máxima radiação solar e disponibilidade hídrica, e o acúmulo de sacarose no período que antecede a colheita; a colheita ocorre de abril a setembro, quando tem-se uma queda dos totais pluviométricos e temperaturas mais baixas, o que induz o acúmulo de sacarose nos colmos. Em alguns casos, devido à demanda de matéria prima, o plantio pode ser estendido pela estação seca, chamado este de plantio de inverno (EMBRAPA, 2014).

## 2.3 Cultivares de cana-de-açúcar

### 2.3.1 Cultivares mais utilizados no Brasil e na Região Centro-Sul.

O censo realizado pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) obteve em 2011, informações de cerca de dois terços dos canaviais brasileiros, representando 307 unidades produtoras que juntas, são responsáveis por cerca de 6,6 milhões de hectares cultivados, onde destacam-se seis principais cultivares, RB867515, SP81-3250, RB855453, RB92579, RB72454, e SP83-2847, com área plantada de 23%, 13%, 6%, 6%, 4%, 4% respectivamente, representando 59% da área de cana-de-açúcar plantada (Figura 4) (CTC, 2011).

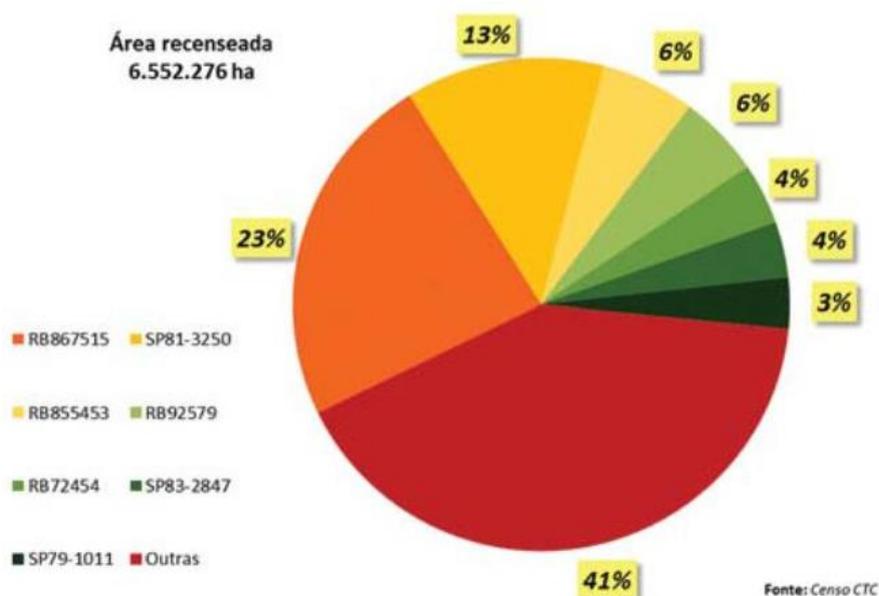


Figura 4 – Distribuição das áreas de cultivo das principais variedades no Brasil, em 2011.

Fonte: CTC, 2011.

Neste mesmo ano, a área recenseada da região Centro-Sul, que abrange os Estados do Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo foi de mais de seis milhões de hectares, onde foram obtidos dados de 186 unidades produtoras, que juntas, totalizaram 4 milhões de hectares colhidos e 274 milhões de toneladas de cana própria industrializada (CTC, 2011). Foram moídos 360 milhões de toneladas de cana, que corresponde a 73% da produção total da região Centro-Sul, segundo o censo do CTC

de 2011. Nesta região, a cultivar RB867515 passou de 24% em 2011 para 26% em 2012 da área plantada, a SP81-3250 e RB855453 mantiveram seus percentuais de 14% e 7% respectivamente. A cultivar RB72454 caiu de 5% para 3% e a SP83-2847 caiu de 4% de área plantada em 2011 para 3% em 2012 (Figuras 5 e 6) (CTC, 2011; 2012).

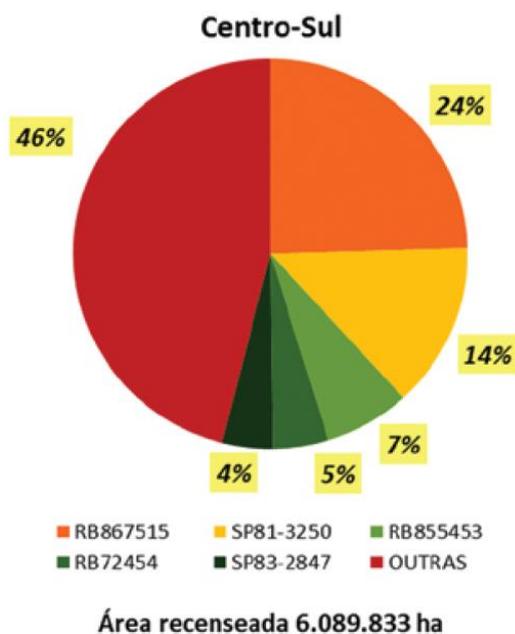


Figura 5 – Porcentagem de área cultivada com as principais variedades de cana-de-açúcar entre os produtores da região Centro-Sul, em 2011.

Fonte: CTC, 2011.

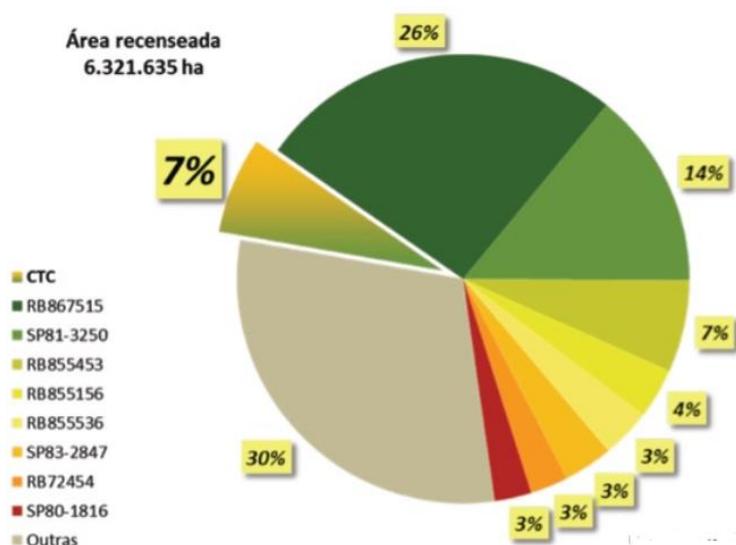


Figura 6 - Porcentagem de área cultivada com as principais variedades de cana-de-açúcar entre os produtores da região Centro-Sul, em 2012.

Fonte: CTC, 2012.

Quanto ao Estado do Rio Grande do Sul (Figura 7), a cultivar RB855156 representou 43% de toda a área plantada de cana-de-açúcar na safra de 2011 e 2012, sendo esta, portanto, a cultivar mais exercida no Estado. Em seguida, tem-se a cultivar SP81-3250 que representou 34% da área plantada em 2012, seguida da RB765418, com 8%. Nota-se que houve uma inversão de cultivares em relação à área plantada, já que o cultivar SP81-3250 ultrapassou a cultivar RB765418 em termos de área plantada (CTC, 2011; 2012).

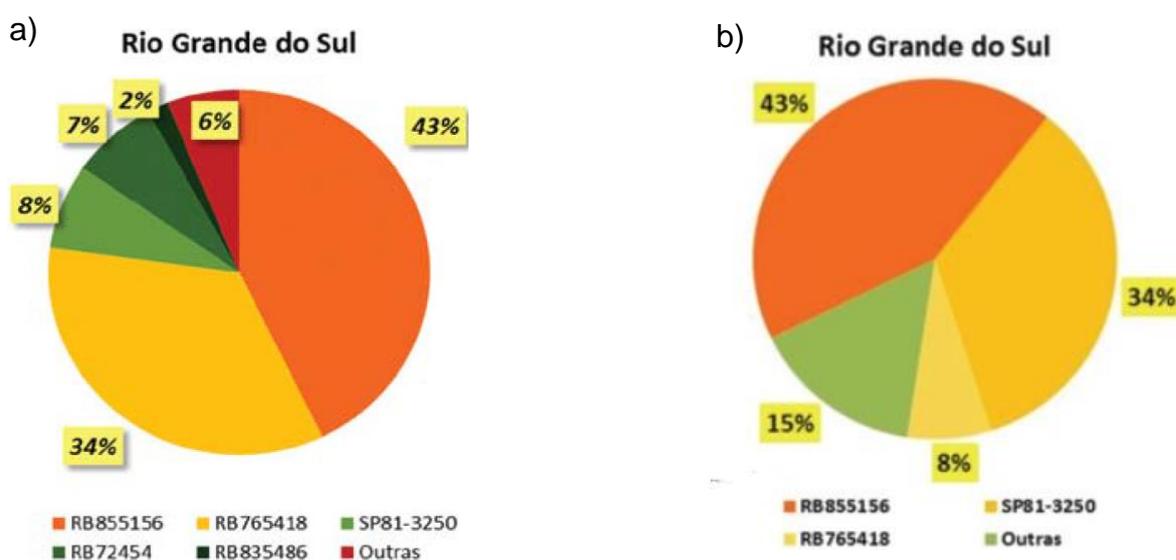


Figura 7 - Porcentagem de área cultivada com as principais variedades de cana-de-açúcar entre os produtores do Estado do Rio Grande do Sul para o ano de 2011 (a) e 2012 (b).

Fonte: CTC, 2011; 2012.

### 2.3.2 Programa de Seleção no Estado do Rio Grande do Sul - Projeto Siscana RS

Em 2011, a Embrapa e a Petrobras assinaram um termo de cooperação técnica, visando o desenvolvimento de tecnologias para a produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. O projeto intitulado “Tecnologias para o sistema de produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul – Siscana RS” tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento da agroindústria sucroenergética no Estado (EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 2013).

A presente dissertação contém os resultados de um dos experimentos relacionados ao projeto Siscana RS. O experimento foi implantado em 2014 na área da Sede da Embrapa Clima Temperado com quatro cultivares de cana-de-açúcar:

RB867515, que é a mais cultivada no Brasil e na região Centro-Sul; RB92579, que representa cerca de 6% da área de cana-de-açúcar plantada do Brasil; RB855156 que corresponde a 3% da região Centro-Sul e é a mais plantada no Estado do Rio Grande do Sul e, por fim; RB966928, que não apresenta áreas significativas (CTC, 2011; 2012).

Tabela 2 – Características das variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579.

Características		Cultivares			
		RB867515	RB966928	RB855156	RB92579
Cruzamento		RB 72454 ?	RB 855156 RB 815690	RB 72454 TUC71-7	RB 75126 RB 72199
Produtividade Agrícola		Alta	Alta	Média	Alta
Colheita		Jul-Set	Abr-Mai	Abr-Mai	Out-Jan
Perfilhamento	Cana planta	Médio	Alto	Médio	Alto
	Cana soca	Médio	Alto	Médio	Alto
Brotação da Soca	Queimada	Muito boa	Muito boa	Ótima	Muito boa
	Crua	Boa	Boa	Ótima	Boa
Fechamento entrelinhas		Boa	Bom	Bom	Bom
Velocidade de Crescimento		Rápido	Rápido	Regular	Lento
Porte		Alto	Médio	Médio	Alto
Hábito de Crescimento		Ereto	Semi decumbente	Decumbente	Semi decumbente
Tombamento		Eventual	Eventual	Eventual	Frequente
Florescimento		Eventual	Raro	Frequente	Eventual
Chochamento		Médio	Ausente	Pouco	Pouco
Maturação		Média tardia	Precoce	Precoce	Média tardia
Despalha		Média	Fácil	Média	Difícil
PUI		Médio	Médio	Curto	Longo
Exigências em Ambientes		Média restrição	Média restrição	Baixa média	Média restrição
Teor de Sacarose		Alto	Médio	Alto	Alto
Teor de Fibra		Médio	Médio	Baixo	Médio
Carvão		Tolerante	Tolerante	Resistente	-
Ferrugem Marrom		Resistente	Tolerante	Resistente	Tolerante
Escaldadura		Tolerante	Tolerante	Resistente	Resistente
Mosaico		Tolerante	Tolerante	Resistente	-

Fonte: RIDESA, 2010.

A cultivar RB867515 apresenta resistência à estiagem (SILVA et al., 2012). Destaca-se pelo alto teor de sacarose e produtividade agrícola, excelente desenvolvimento, com boa brotação na planta e socas, além de um excelente desempenho em solos arenosos. A cultivar RB966928 possui excelente brotação em cana planta, elevada sanidade às principais doenças e médio teor de sacarose aliada com a alta produtividade agrícola. A cultivar RB855156 tem como vantagem a alta precocidade e ótima capacidade de brotação de soqueiras. Não é indicada para ser

plantada como cana-de-ano. Já a cultivar RB92579 tem como destaque o alto perfilhamento e brotação de socaria, alta produtividade e rápida recuperação ao estresse hídrico (RIDESA, 2010). A Tabela 2 possui as características gerais das cultivares citadas.

## **2.4 Importância de experimentos agrometeorológicos**

O estudo do crescimento de uma planta pode ser feito a partir de medidas lineares - diâmetro de inflorescência, peso, comprimento, altura -, medidas superficiais, medidas de peso, volumétricas e número de unidades estruturais (BENINCASA, 2003). Nogueira et al. (2006) apontam que o desenvolvimento de uma cultura envolve todas as mudanças qualitativas (diferenciação) e quantitativas experimentais pela planta durante o seu ciclo. Já o crescimento é caracterizado pelo aumento de tamanho e/ou peso e tem caráter quantitativo.

Pesquisadores britânicos no início do século XX desenvolveram as técnicas de análise de crescimento (BLACKMAN, 1919; BRIGGS et al., 1920; WEST et al., 1920), em que elaboraram equações de análise de crescimento, derivações e condições exigidas para o uso adequado das análises. Discutiram alternativas e métodos matemáticos que descrevem a área foliar e o peso da matéria seca em função do tempo, e ainda relacionam tais cálculos com diferentes parâmetros de crescimento. De acordo com Magalhães (1985), esta análise tem como fundamento a medida sequencial do acúmulo de matéria orgânica na planta, determinando-se geralmente a massa de matéria seca ou fitomassa.

De maneira geral, para medir o crescimento vegetal utilizam-se os parâmetros relacionados à matéria seca (MS ou W) acumulada pela planta (em suas componentes), representando o “produto final”, e a área foliar (AF ou L), que está diretamente relacionada à produção primária. Em termos práticos, para a cultura da cana-de-açúcar as principais medidas são a área foliar total (AF) e o peso da matéria seca aérea total (MST) (MARAFON, 2012).

Uma vez que a fotossíntese é a matéria-prima para as plantas, a determinação da superfície foliar é importante, pois está diretamente relacionada à quantidade de luz interceptada. Assim a superfície foliar está relacionada a vários parâmetros fisiológicos tais como taxa assimilatória primária, taxa de crescimento, consumo hídrico, dentre outros (MARAFON, 2012).

A medida ao longo do tempo das taxas de crescimento e acúmulo de biomassa é de extrema importância para compreender como as plantas respondem às condições ambientais, de solo e de manejo.

Desta forma, estudos experimentais que visam relacionar o ambiente, solo e tipos de manejo, são de suma relevância, uma vez que permitem analisar na prática as influências mútuas entre as variáveis.

## Metodologia

### 3.1 Descrição da área experimental e plantio

O experimento de campo, com quatro cultivares da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), foi conduzido no talhão 47, pertencente à área experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (CPACT) da Embrapa, situado no município de Pelotas, Rio Grande do Sul. As coordenadas geográficas da área experimental são 31°40'24"S, 52°26'17"O e 50 m de altitude (Figura 8).



Figura 8 – Imagem com destaque (polígono vermelho) da localização da área situada na Embrapa Clima Temperado (CPACT).

Fonte: GOOGLE EARTH, 2015.

Foram utilizadas quatro cultivares de cana-de-açúcar, com ciclo de cana planta (RB867515, RB966928, RB855156, RB92579), divididas em quatro blocos (parcelas), onde cada parcela continha 15 linhas de 27 m de comprimento, com espaçamento de

1,4 m entrelinhas. Os toletes foram distribuídos de forma que o arranjo fosse, em média, 18 gemas por metro linear. O plantio ocorreu dia 13 de outubro de 2014 e a colheita foi realizada dia 07 de agosto de 2015, totalizando 298 dias de cultivo. O experimento não possuiu sistema de irrigação. Dentro do talhão foram estrategicamente instalados instrumentos para medir a radiação solar global interceptada pelo dossel (um piranômetro e 8 tubos solarímetros) e umidade do solo (sonda Diviner 2000®1 - Sentek Pty Ltda).

A figura 9 apresenta um croqui onde estão identificadas: a disposição dos quatro blocos das cultivares, as marcações para as coletas não destrutivas (onde são realizadas medidas biométricas), as posições dos tubos solarímetros e dos pontos de medida do conteúdo de água do solo. As parcelas dentro do talhão e as respectivas cultivares são: Parcela 1, RB867515; Parcela 2, RB966928; Parcela 3, RB855156; Parcela 4, RB92579. A área total de plantio foi de aproximadamente 2500 m<sup>2</sup>, proporcionalmente distribuída entre as variedades.

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-amarelo Eutrófico Abrúptico A Moderado, com horizonte A preservado (PVAe2). A calagem e adubação foram determinadas através de análise química do solo. A calagem foi realizada com calcário dolomítico com dosagem de 945,27 kg ha<sup>-1</sup>. A adubação usada foi o formulado 36-0-12, aplicado em duas doses, a primeira de 150 kg ha<sup>-1</sup> dia 22 de dezembro de 2014, e a segunda de 100 kg ha<sup>-1</sup>, aplicada no mês de janeiro de 2015.

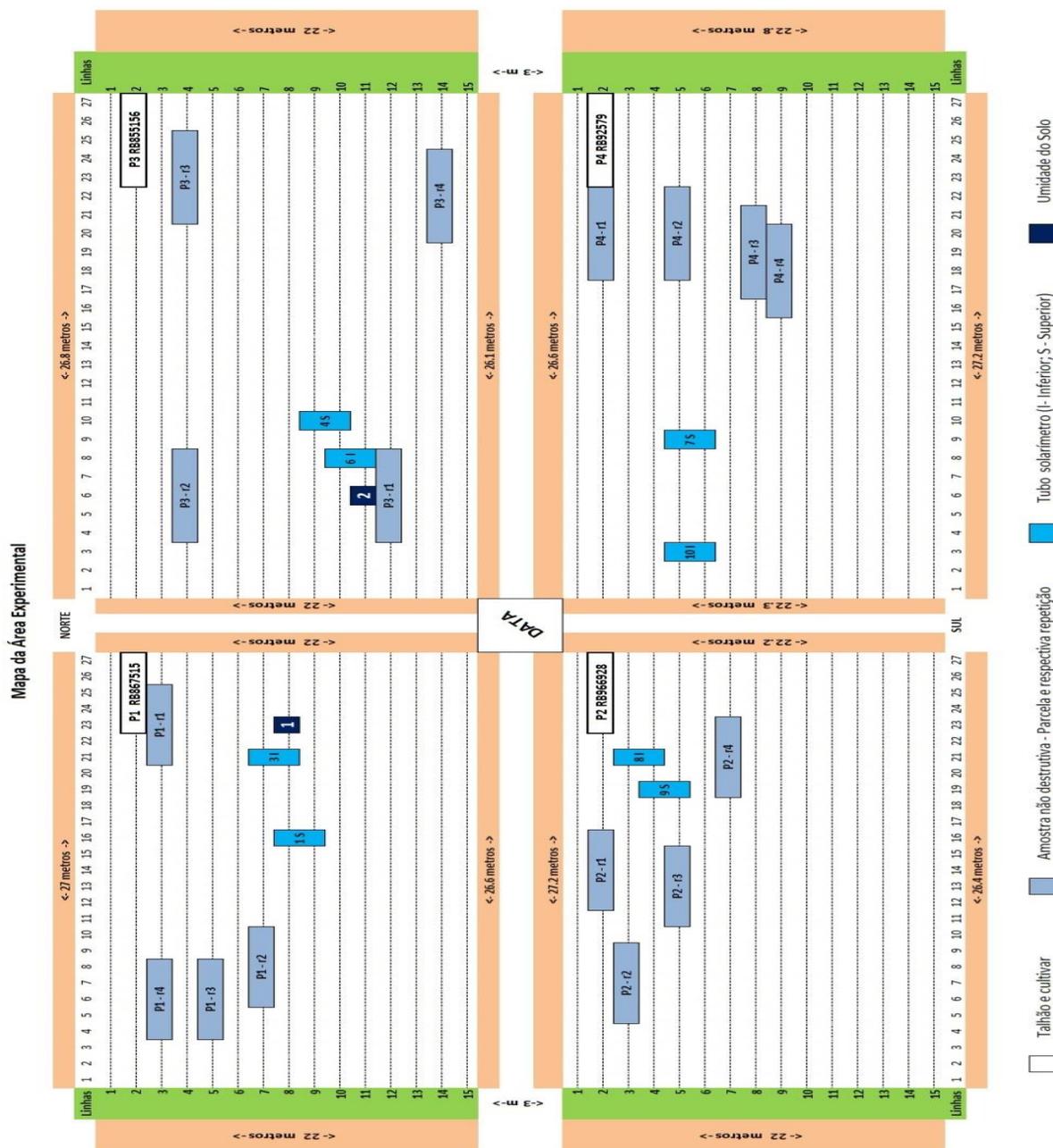


Figura 9 - Disposição das quatro cultivares, marcações para as coletas não destrutivas de dados, posição dos tubos solarímetro e localização dos pontos de medida de umidade do solo.

## 3. 2 Levantamento de dados e Calibração de instrumentos

### 3.2.1 Coletas não destrutivas

As coletas (amostras) não destrutivas foram realizadas em áreas previamente marcadas aleatoriamente nas quatro parcelas (Figura 9). Foram selecionadas 4 linhas

de cinco metros dentro de cada parcela (i.e., quatro repetições por cultivar), excluindo-se as bordaduras, totalizando 20 m lineares para cada cultivar. O início das medidas foi aos 88 Dias Após o Plantio (DAP), i.e., dia 9 de janeiro de 2015, e seguiu-se com intervalos de aproximadamente 15 dias entre as coletas. As medidas descritas a seguir foram feitas nos dias (DAP): 88, 101, 119, 133, 151, 165, 179, 193, 213, 232, 261 e 276, totalizando 12 coletas.

Foi contado o número de perfilhos por metro linear e estimada a fração de cobertura do dossel. Em cada repetição marcaram-se 5 colmos, devidamente identificados com cordões e etiquetas, que foram acompanhados durante todo o experimento, totalizando 20 colmos por cultivar. Nestes colmos, foram realizadas as medidas de Estatura Média do Colmo (EMC), Diâmetro do Terço Médio do Colmo (DMC), Número de Folhas Verdes Abertas (NFVA), Número de Folhas Mortas (NFM), Número de Folhas Emergentes (NFE), Filocrono (F, intervalo de tempo térmico necessário para a emissão de folhas consecutivas) a partir de 179 DAP, Comprimento da Folha +3 (C+3) e Largura da Folha +3 (L+3). Os instrumentos usados para estas medidas foram trenas, paquímetros, pranchetas e planilha de campo de amostra não destrutiva (Apêndice I).

### **3.2.2 Coletas destrutivas**

As coletas (amostras) destrutivas consistiram no corte de 1 m linear, escolhidos aleatoriamente, com quatro repetições de cada cultivar. O início da coleta destrutiva aconteceu aos 87 DAP, seguindo de amostragens aos 116, 142, 178, 206, 248 e 284 DAP, totalizando 7 coletas. As componentes mensuradas (Tabela 3) e a sequência das medidas foram: (i) Cada amostra, composta da biomassa aérea total de um metro linear, foi pesada; (ii) Contados o número de perfilhos total; (iii) Foram pesados cinco perfilhos sadios escolhidos aleatoriamente; (iv) Mediu-se a EMC (sem palmito), DMC, C+3 e L+3 para cada um dos cinco perfilhos; (v) Pesou-se e contou-se o NFVA, NFE, NFM; (vi) pesou-se o total dos colmos e palmitos dos cinco perfilhos; (vii) Foram medidas a Área Foliar Total (AF<sub>tot</sub>) dos cinco perfilhos e Área Foliar das Folhas +3 (AF+3), através de integrador de área foliar modelo LI-3000; (viii) As amostras de colmo, palmito, folhas verdes, folhas emergentes e folhas mortas foram empacotados separadamente e levadas à estufa para secagem e pesadas alguns dias depois (15 dias, em média), para obtenção da biomassa seca. Os dados supracitados foram

devidamente marcados em planilhas previamente elaboradas (Apêndice III).

Tabela 3 – Variáveis medidas na amostra destrutiva (d), abreviação e unidade de medida.

<b>Abreviação</b>	<b>Variável Medida</b>	<b>Unidade de Medida</b>
AF+3	Área foliar das folhas +3	cm <sup>2</sup>
AFtot	Área foliar total	cm <sup>2</sup>
C+3	Comprimento da folha +3	cm
DMC	Diâmetro médio do colmo	mm
EMC	Estatura média do colmo	cm
L+3	Largura da folha +3	cm
NFE	Número de folhas emergentes	unidade
NFM	Número de folhas mortas	unidade
NFVA	Número de folhas verdes abertas	unidade
NPI	Número de perfilhos	unidade
PFA	Peso Fresco Amostra	kg
PF5C	Peso fresco de cinco colmos	kg
Peso f. colmo	Peso fresco colmo	g
Peso s. colmo	Peso seco colmo	g
Peso f. palmito	Peso fresco palmito	g
Peso s. palmito	Peso seco palmito	g
Peso f. folhas verdes	Peso fresco folhas verdes	g
Peso s. folhas verdes	Peso seco folhas verdes	g
Peso f. folhas emergentes	Peso fresco folhas emergentes	g
Peso s. folhas emergentes	Peso seco folhas emergentes	g
Peso f. folhas mortas	Peso fresco folhas mortas	g
Peso s. folhas mortas	Peso seco folhas mortas	g

Por meio de um refratômetro portátil digital (Refractometer Pal-1), mediu-se também o teor de sólidos solúteis totais (°Brix) das cultivares, para acompanhar o grau de maturação, com início aos 178 DAP (dia 9 de abril de 2015), seguido de medidas aos 192, 206, 231, 268 e 298 DAP. As medidas foram feitas no ápice e na base de 20 colmos, selecionados aleatoriamente em cada variedade, somando 80 colmos em todo o experimento (Apêndice II). Em seguida, foram calculados o Índice de Maturação (IM) das cultivares, dividindo-se os valores de °Brix medidos no ápice pelos medidos na base e realizando-se a média dos 20 colmos de cada cultivar. A interpretação dos valores usada segue a metodologia descrita por Marafon (2012), onde considera-se que se o IM for menor 0,60 a cana está verde, se o IM estiver entre 0,60 e 0,85 a cana está em maturação, IM entre 0,85 e 1,00 representa cana madura, no ponto para ser colhida e, IM acima de 1,00 indica que a cana está em declínio de maturação.

### 3.2.3 Dados meteorológicos

Os dados de temperatura do ar (°C), temperaturas máximas e mínimas (°C),

velocidade (m/s), direção do vento ( $^{\circ}$ ), umidade do ar (%), precipitação (mm) e evapotranspiração ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) foram obtidos a partir da estação meteorológica automática, da Sede da Embrapa Clima Temperado, modelo Davis Vantage PRO2, situada a aproximadamente 1100 metros da área experimental. Os dados de radiação global ( $\text{w m}^{-2}$ ) foram coletados com um piranômetro modelo LI-200 (fabricado pela LI-COR Biosciences Incorporation), localizado no centro da área experimental e a 3 m de altura do solo.

Para estudo da radiação global interceptada por cultivar, fez-se uso de tubos solarímetros previamente calibrados (STEINMETZ; MIORI, 1997). A calibração foi realizada de 30/09/2014 à 13/10/2014, utilizando como referência o piranômetro LI-200. Os ajustes foram realizados através de diagramas de dispersão e dos ajustes dos coeficientes, que fazem a relação entre os valores medidos pelos tubos e os obtidos pelo LI-200, através das médias horárias ( $\text{J m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ). O coeficiente de calibração, ajustado para cada tubo solarímetro individualmente, foi considerado quando as medidas de radiação entre o tubo e o piranômetro, de hora em hora, apresentasse coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual ou superior a 95%. Posteriormente, foram escolhidos os tubos com maiores  $R^2$  e melhores condições físicas para serem instalados no campo.

Instalaram-se dois tubos solarímetro em cada uma das parcelas, sendo um deles posicionado acima do dossel (Superior), voltado para baixo, para medir a radiação refletida pelo ecossistema, e o outro, posicionado abaixo das folhas verdes do dossel da cana (Inferior), voltado para cima, para medir a radiação transmitida pelas folhas verdes do dossel da cana (Figura 10), que posteriormente foram utilizadas para estimar a radiação interceptada pelas folhas verdes.

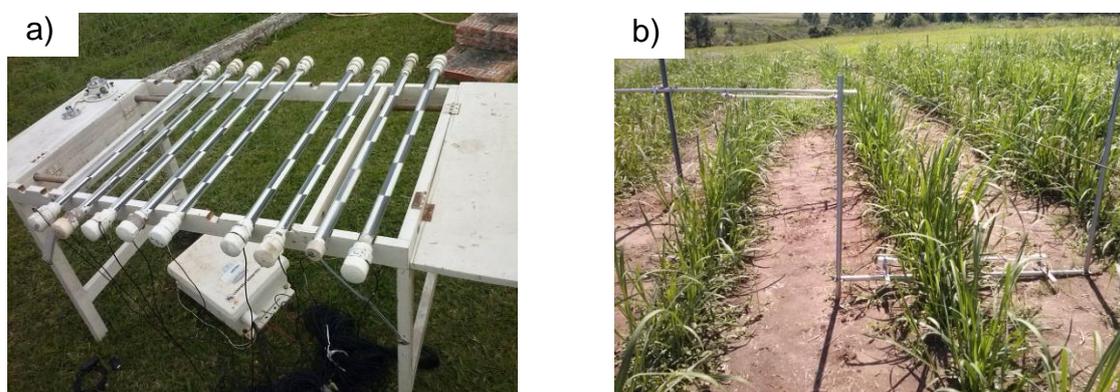


Figura 10 – Tubos solarímetros sendo calibrados (a) e instalados no campo (b).

Os tubos foram limpos, trocados a sílica gel para evitar condensação da umidade do ar no seu interior, e verificados regularmente para troca ou manutenção. Além disso, foram reposicionados verticalmente (Tabelas 4 e 5), acompanhando o crescimento do dossel (Superior) e o início das folhas verdes no colmo (Inferior) e acima das folhas mortas; os tubos superiores foram mantidos a uma distância média de 0,50 m acima do dossel e os inferiores na altura da base das folhas verdes. As medidas efetuadas pelos tubos foram armazenadas a cada hora em um Datalogger modelo CR1000, posicionado no centro dos blocos. Os dados foram descarregados do Datalogger e checados regularmente.

Tabela 4: Altura em metros do tubo inferior em relação ao solo e respectivas datas.

<b>Altura (m) em relação ao solo – Tubo Inferior</b>				
<b>Data</b>	<b>RB867515</b>	<b>RB966928</b>	<b>RB855156</b>	<b>RB96579</b>
13/10/2015	0,05	0,05	0,05	0,05
27/03/2015	0,45	0,40	0,50	0,35

Tabela 5: Altura em metros do tubo superior em relação ao solo e respectivas datas.

<b>Altura (m) em relação ao solo – Tubo Superior</b>				
<b>Data</b>	<b>RB867515</b>	<b>RB966928</b>	<b>RB855156</b>	<b>RB96579</b>
13/10/2015	1,00	1,00	1,00	1,00
05/01/2015	2,00	2,00	2,00	2,00
15/01/2015	2,50	2,50	2,50	2,50
09/02/2015	3,00	3,00	3,35	3,00
06/03/2015	3,70	3,70	3,85	3,30

### 3.3 Análises dos dados

#### 3.3.1 Variáveis Meteorológicas

As análises das variáveis meteorológicas: temperatura média diária do ar (Tmed), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), amplitude térmica, umidade relativa (UR), radiação solar global (Rg), velocidade do vento, rajada do vento e evapotranspiração potencial (ET) foram realizadas ao longo dos estádios das cultivares em questão, divididos em: brotação e estabelecimento (0 a 30 DAP), perfilhamento (31 a 80 DAP), crescimento vegetativo (81 a 199 DAP) e maturação (200 a 298 DAP), totalizando 298 dias de safra, para todas as cultivares. Foram definidos os dias de cada fase fenológica a partir das análises combinadas do comportamento morfológico das quatro variedades em estudo e com base também na

literatura. As análises tiveram início no dia 13 de outubro de 2014, data de plantio, e o término foi dia 07 de agosto 2015, data na qual realizou-se a colheita.

### 3.3.2 Morfologia das cultivares

Foram analisadas e comparadas cada uma das variáveis medidas nas amostras destrutivas ( $DMC_d$ ,  $EMC_d$ ,  $AF+3_d$ ,  $AF_{tot_d}$ , e peso seco de colmo ( $PFC_d$ ), palmito ( $PFP_d$ ), folhas verdes ( $PFFV_d$ ), folhas emergentes ( $PFFVE_d$ ) e folhas mortas( $PFFM_d$ )).

Com os dados de matéria seca (MS) e a área foliar (AF) obtidos em intervalos regulares foram calculados parâmetros para análise do crescimento (MAGALHÃES, 1985; BENINCASA, 2003). Os parâmetros considerados foram: Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Taxa Assimilatória Líquida (TAL), Área Foliar Específica (AFE), Razão de Massa Foliar (RMF), Razão de Área Foliar (RAF), Índice de Área Foliar (IAF), Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) e Índice de Colheita (IC). Foi também definida a Produtividade Estimada do Canavial (TCHe). Cada um dos parâmetros supracitados serão descritos a seguir.

**TCA:** Representa o incremento de matéria seca entre duas amostragens, indicando a velocidade de crescimento da planta. Definida por:

$$TCA \text{ (g dia}^{-1}\text{)} = \frac{(MS_2 - MS_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (01)$$

onde  $MS_2$  e  $MS_1$  são as massas secas (g) nos tempos  $t_2$  e  $t_1$  (dia) respectivamente.

**TCR:** Representa o incremento na massa de matéria seca por unidade de massa inicial, em um dado intervalo de tempo. Depende apenas da quantidade de material acumulado gradativamente. Segundo Marafon (2012) é a medida mais apropriada para avaliar o crescimento vegetal. A TCR é dada por:

$$TCR \text{ (g g}^{-1}\text{ dia}^{-1}\text{)} = \frac{(\ln MS_2 - \ln MS_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (02)$$

onde  $MS_2$  e  $MS_1$  são as massas secas (g) nos tempos  $t_2$  e  $t_1$  (dia) respectivamente e  $\ln$  é o logaritmo neperiano.

**TAL:** Ou taxa de Assimilação Aparente (TAA), representa o acréscimo de massa de matéria seca acumulada na planta (MSP) por unidade de área foliar (AF), durante um intervalo de tempo.

$$\text{TAL (g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) = \frac{(MS_2 - MS_1)}{(t_2 - t_1)} \times \frac{(\ln AF_2 - \ln AF_1)}{(t_2 - t_1)} = \text{TCA} \times \text{TCR} \quad (03)$$

**AFE:** Relaciona a área foliar (AF) com a massa da matéria seca da própria folha, fornecendo um indicativo da espessura foliar, que por sua vez é determinado pelo número e tamanho de células do mesófilo.

$$\text{AFE (m}^2 \text{ g}^{-1}) = \frac{AF}{MS_{folha}} \quad (04)$$

**RMF:** Fração da massa de matéria seca retida nas folhas em relação à massa de matéria seca acumulada na parte aérea da planta.

$$\text{RMF (g g}^{-1}) = \frac{MS_t}{MS_{folha}} \quad (05)$$

Expressa, portanto, a fração de matéria seca não exportada.  $MS_t$  representa o peso de matéria seca total da planta e  $MS_{folha}$  a massa de matéria seca da folha.

**RAF:** Representa a área foliar disponível para ocorrer fotossíntese.

$$\text{RAF (m}^2 \text{ g}^{-1}) = \frac{AFE}{RMF} \quad (06)$$

**IAF:** Representa a área foliar por unidade de área do terreno e funciona como um dos principais indicadores do crescimento das culturas, apresentando a superfície foliar disponível para interceptação e absorção de luz (MARAFON, 2012). Uma das maneiras de calcular o IAF é dada pela equação abaixo, onde NPI representa o número de perfilhos, AF é a área foliar por perfilho ( $\text{m}^2$ ) e S a área do terreno que foi usada para avaliar, também em  $\text{m}^2$ .

$$\text{IAF (m}^2 \text{ m}^{-2}) = \text{NPI} \times \frac{AF}{S} \quad (07)$$

No presente trabalho, usaremos a relação de biomassa como referência:

$$\text{IAF (m}^2 \text{ m}^{-2}) = \frac{PFT_d}{PFA_d} \times \frac{AF}{MS_{folha} \times S} = \frac{PFT_d}{PFA_d} \times \frac{AFE}{S} \quad (08)$$

onde peso fresco total é o peso referente a 1 m linear da amostra e o peso fresco da sub-amostra (cinco perfilhos), que é o peso no qual foi medida a respectiva AF da sub-amostra. S é o espaçamento entre linhas (para transformar o resultado de metro linear para  $\text{m}^2$ ).

**TCC:** Taxa de produção de matéria seca por unidade de área do solo.

$$\text{TCC (g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) = \frac{(MS_2 - MS_1)}{s(t_2 - t_1)} \quad (09)$$

**IC:** Fornece a eficiência de conversão de produtos sintetizados em material de importância econômica, ou a razão entre a massa de matéria seca economicamente rentável e a massa seca total colhida.

$$IC = \frac{MS_{econômica}}{MS_{total}} \quad (10)$$

**TChE:** Considerando a densidade do colmo igual a um (1), pode-se estimar a produtividade ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) pela fórmula abaixo (MARTINS; LANDELL, 1995):

$$TChE (\text{ton ha}^{-1}) = DMC^2 \times NPI \times EMC \times \frac{0,007854}{ESP} \quad (11)$$

No qual DMC e EMC são diâmetro e estatura média dos colmos em cm, respectivamente, NPI é o número de perfilhos industrializáveis por metro linear, 0.007854 é um fator de correção e, ESP é o espaçamento entrelinhas, dado em metros. Esta avaliação é feita no momento da colheita ou aos 8 a 10 meses da cultura, pois nesse período o número de colmos industrializáveis está definido e ainda eretos (MARAFON, 2012).

Para o cálculo da AF pelo método não destrutivo usa-se a equação abaixo:

$$AF_{nd} (\text{m}^2 \text{ colmo}^{-1}) = C \times L \times 0,75 \times (N + 2) \quad (12)$$

onde C e L são o comprimento e a maior largura da folha +3 respectivamente, N é o número de folhas verdes abertas, 2 é um fator de ponderação para as folhas que não estão completamente expandidas e 0,75 é o fator de forma da folha de cana-de-açúcar (HERMANN; CÂMARA, 1999). Mazzucchelli et al. (1997) usou como fator de forma 0,62. Devido à grande variação morfológica entre cultivares de cana-de-açúcar, o fator de forma deve ser analisado previamente. Este fator foi, portanto, calculado para cada cultivar, a partir das amostras destrutivas e por comparação, uma vez que este fator depende do formato das folhas e que cada cultivar tem suas peculiaridades, procurou-se obter o fator de correção mais apropriado para cada cultivar.

### 3.3.3 Radiação Solar e Coeficiente de extinção

A fração de radiação interceptada ( $I_i$ ) indica a radiação solar global ( $R_g$ ) potencial que poderá ser usada no processo de fotossíntese pela cultura. Para calculá-la, foram realizadas as medidas de radiação transmitida  $I_t$  ( $\text{W m}^{-2}$ ), após atravessar a camada com as folhas verdes do dossel, e a radiação solar incidente no topo do dossel da cultura  $I_o$  ( $\text{W m}^{-2}$ ), usando-se a equação abaixo:

$$I_i = 1 - (I_t/I_o) \quad (13)$$

As medidas de  $I_t$  e de  $I_o$  são realizadas em  $W\ m^{-2}$  pelos tubos solarímetros, porém, para os cálculos descritos abaixo, as medidas foram integradas para dados diários ( $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ).

A Lei de Beer adaptada pode ser utilizada para estimar a transmissão da radiação solar no dossel de uma cultura (BARBIERI, 1993).

$$T = (1 - I_i) = I_t/I_o = e^{-k_e \cdot LAI} \quad (14)$$

onde considera-se cada camada sendo uniforme no dossel, a superfície compostas por folhas horizontais, opacas, sem sobreposição e a radiação decaindo com característica próxima a exponencial dentro do dossel, onde o IAF é o único responsável pela redução da radiação (MONSI; SAEKI, 1953). Na equação acima  $k_e$  representa o coeficiente de extinção, determinado para cada cultivar, LAI é o índice de área foliar e T é a transmissão da radiação solar no dossel da cultivar.

No presente trabalho, o coeficiente de extinção para cada cultivar isolando o termo  $k_e$  na equação 14:

$$k_e = - \{ \ln (1 - I_i) \} / IAF \quad (15)$$

O  $k_e$  é um indicador da relação entre o IAF e a interceptação de radiação fotossinteticamente ativa pelas plantas, representando a relação entre a área foliar total e a área foliar projetada na direção dos raios solares, ou seja, o  $k_e$  expressa a arquitetura das folhas em função dos diferentes tipos de ângulos (CAMPBELL, 1986). Este coeficiente adimensional pode ser influenciado por fatores morfológicos e estruturais das plantas (KINIRY et al., 2005), por exemplo, captura diferente entre cultivares de folhas tipicamente eretas ou decumbentes. O coeficiente também varia com a declinação solar e fatores associados ao manejo da cultura, como espaçamento entre linhas e direção de plantio, que têm influência na variação da transmissão de luz (MACHADO, 1981). Na literatura, encontram-se diversos valores para o coeficiente de extinção. Para a variedade NCo376 o  $k_e$  varia de 0,55 a 0,58 (INMAN-BAMBER, 1994). Outros autores usaram valores fixos, como Barbieri (1993), por exemplo, que usou 0,58, Scarpari e Beauclair (2008b) usaram 0,58 e 0,467 para as variedades RB855156 e SP83280, respectivamente.

Obter-se uma boa estimativa do coeficiente  $k_e$  de cada variedade é fundamental

para os modelos de biofísicos de crescimento e produtividade agrícola, i.e., sendo o principal parâmetro que relaciona o IAF e a radiação interceptada ao longo do ciclo do crescimento.

### **3.3.4 Comparativo entre as cultivares**

Foi avaliada a relação entre matéria seca total acumulada pelos componentes morfológicos da planta (colmo, palmito, folhas verdes, folhas emergentes e folhas mortas) com a radiação solar interceptada acumulada, obtendo quais das cultivares acumularam mais biomassa seca e mais interceptam a radiação solar global.

Calculou-se a eficiência do uso da radiação solar global (RUE - *Radiation Use Efficiency*) a partir dos valores dos coeficientes angulares das equações ajustados para relação entre a biomassa seca total da parte aérea da cana-de-açúcar, produzida em um determinado intervalo de tempo, e os valores acumulados de radiação global nesse período. Adicionalmente, foi utilizado o fator de conversão de 0,55 definido por Bonhomme (2000) para converter a  $R_g$  em radiação fotossinteticamente ativa (PAR), e assim obteve-se qual cultivar foi mais eficiente em converter radiação PAR em fotoassimilados.

## Resultados e Discussões

### 4.1 Calibração dos instrumentos

Para a calibração dos tubos solarímetros instalados no experimento, analisou-se a relação entre os valores medidos por eles e os obtidos pelo piranômetro LI-200 (Figura 11). Observou-se que o menor coeficiente de determinação obtido após a calibração foi de 0,9795 no tubo 10 e, o maior foi 0,9892, no tubo 3 (Tabela 6), o que indica um ajuste de, aproximadamente, 98% entre todos os tubos e os medidos pelo piranômetro. Os tubos com maiores  $R^2$  e que apresentavam melhores condições físicas foram escolhidos para instalação no campo, assim, os tubos identificados como 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9 e 10, foram instalados conforme apresentado na Tabela 6, onde estão indicados em qual parcela, cultivar e posicionamento (acima ou baixo do dossel) dos referidos tubos.

Tabela 6 – Tubos solarímetros com seus respectivos valores de  $R^2$ , parcela, cultivar e posicionamento de instalação em relação ao dossel.

<b>Tubo Solarímetro</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>Parcela</b>	<b>Cultivar</b>	<b>Posicionamento</b>
1	0,9839	1	RB 867515	Acima
2	0,9808	Não utilizado no campo		
3	0,9892	1	RB 867515	Abaixo
4	0,9875	3	RB 855156	Acima
5	0,9834	Não utilizado no campo		
6	0,9882	3	RB 855156	Abaixo
7	0,9865	4	RB 92579	Acima
8	0,9871	2	RB 966928	Abaixo
9	0,9889	2	RB 966928	Acima
10	0,9795	4	RB 92579	Abaixo

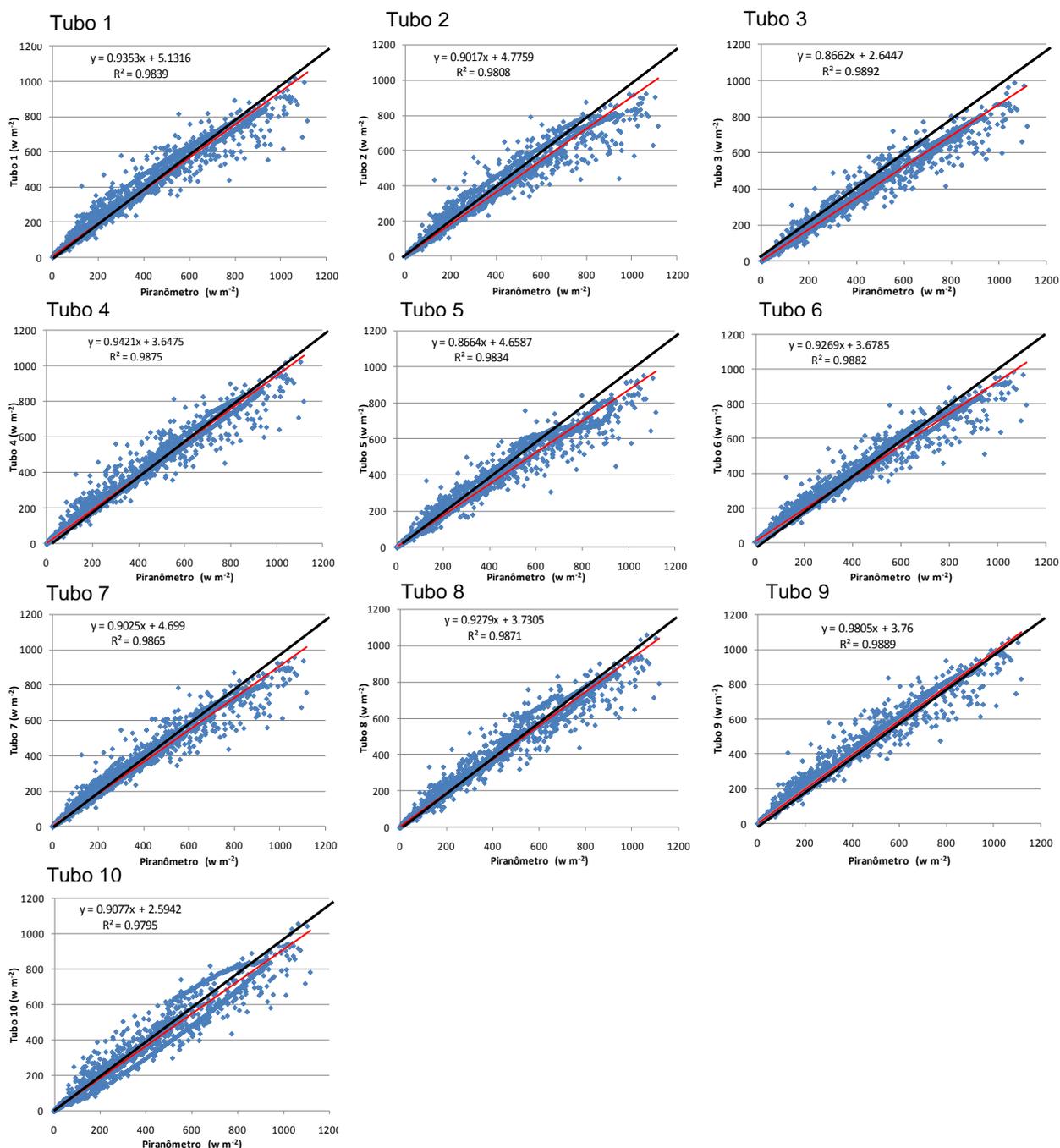


Figura 11 – Gráficos de dispersão dos Tubos solarímetro versus piranômetro.

## 4.2 Variáveis Meteorológicas

A cana-de-açúcar é uma cultura que reponde aos elementos meteorológicos de forma diferentes entre as fases de cultivo (OLIVEIRA JUNIOR, 2013). Assim, as análises das variáveis meteorológicas foram realizadas ao longo dos estádios fenológicos, para as quatro cultivares, que foram divididos em: brotação e estabelecimento (0 a 30 DAP), perfilhamento (31 a 80 DAP), crescimento vegetativo

(81 a 199 DAP) e maturação (200 a 298 DAP), totalizando 298 dias de safra, para todas as cultivares.

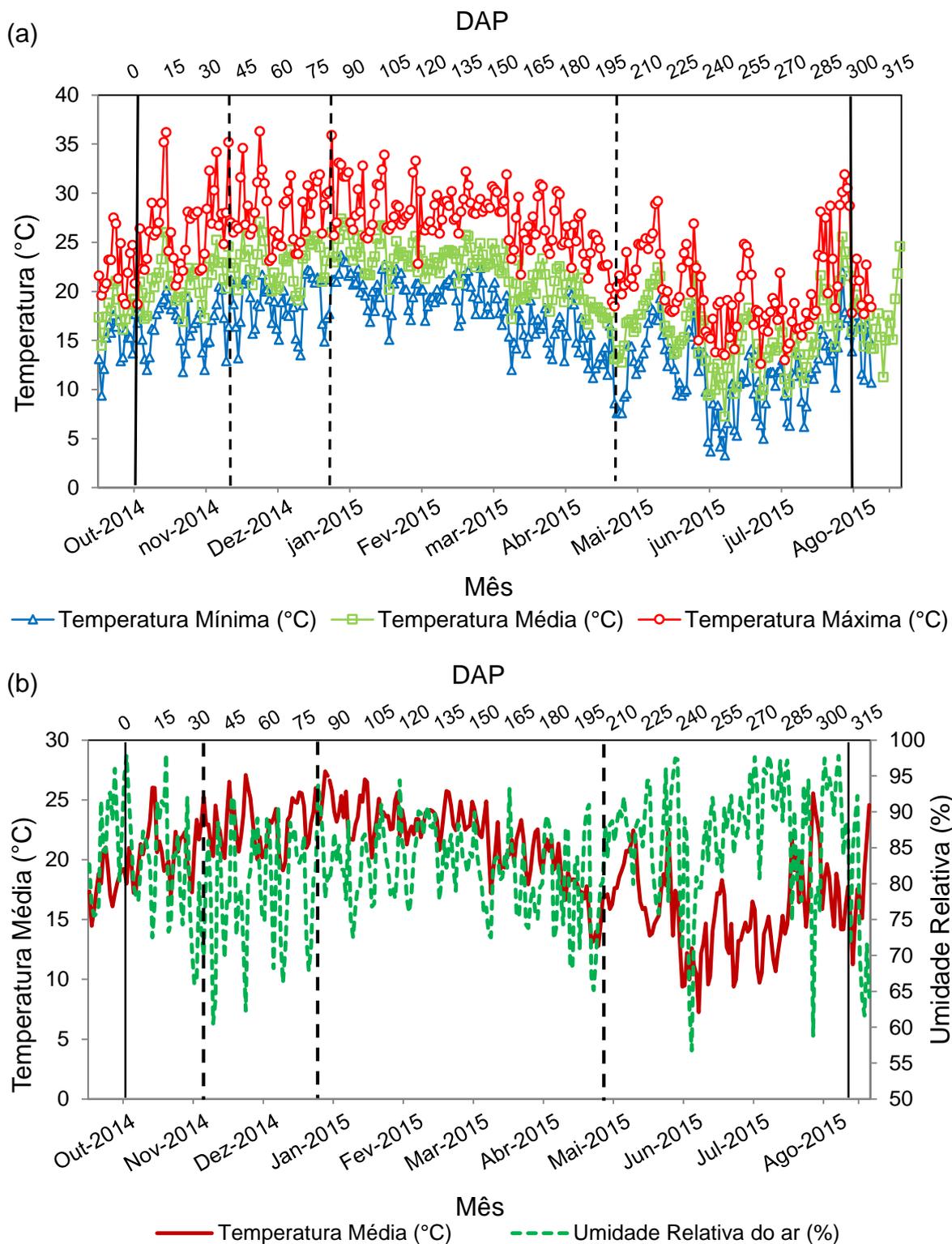


Figura 12 – Valores de temperatura média diária, temperatura máxima e mínima (a); Amplitude térmica diária e umidade relativa (b). (As linhas verticais tracejadas indicam a mudança de estádio das cultivares; as linhas verticais contínuas indicam data de plantio e colheita).

Observou-se que no período de brotação e estabelecimento das cultivares (0 a 30 DAP - 13 de outubro a 12 de novembro de 2014), a temperatura média do ar variou entre 16,9 °C e 26 °C, com média de 20,5°C (Figura 12a). As temperaturas mínima e máxima absolutas registradas neste período foram de 11,8°C e 36,2°C, respectivamente. A amplitude térmica diária máxima registrada ao longo dos 30 DAP foi de 16,1°C (Figura 12b). A umidade relativa diária do ar manteve-se alta durante todo o período, com média de 84,7%, sendo a mínima registrada de 72,5% (Figura 12b).

Na fase de perfilhamento, de 31 a 80 DAP (13 de novembro de 2014 a 1 de janeiro de 2015), as médias da Tmed, da Tmax e da Tmin foram de 22,6°C, 28,3°C e 18,1°C, respectivamente (Figura 12a). A temperatura média diária variou entre 17,3°C a 27,1°C. A máxima temperatura registrada neste período foi de 36,3°C e a mínima foi 12°C. A amplitude térmica diária média foi de 10,1°C, valor de 1,2°C acima do registrado na fase anterior, e a máxima amplitude térmica registrada foi de 18,8°C. A umidade relativa diária mínima registrada foi 60,5% e média de 78,7% durante o período, caracterizando um ambiente de elevada umidade (Figura 12b). A Rg diária média registrada mostrou um ligeiro aumento, com pico de 32,83 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, aos 67 DAP e média de Rg de 22,8 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, valor propício para o bom crescimento da cultura (Figura 13a). Nos 49 dias compreendidos nesta fase, a precipitação acumulada foi de 153,8 mm e nenhum dia registrou Rg inferior a 5 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Apenas cinco dias não consecutivos registraram Rg entre 5 e 10 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, nos quais ocorreram eventos de precipitação significativas, responsáveis por 33,5% da precipitação acumulada no período. Observa-se também nas figuras 13a e 14b que não ocorreram dias nublados consecutivos, o que prejudicaria o perfilhamento (MONTEIRO, 2012). Quatro dias ocorreram rajadas de vento acima de 45 km h<sup>-1</sup> com máximo registrado de 57,9 Km h<sup>-1</sup>. A velocidade média do vento foi de 2,4 m s<sup>-1</sup> (8,6 km h<sup>-1</sup>) e evapotranspiração potencial média foi de 4,9 mm dia<sup>-1</sup>, valor mais elevado que na fase anterior, que havia sido de 3,82 mm dia<sup>-1</sup> (Figura 2b e 3a). Nesta fase não se nota massa fresca de colmos, devido ao baixo número de entrenós na planta (Figura 41 e 42) (FERREIRA JÚNIOR, 2013).

No estágio de crescimento vegetativo (81 a 199 DAP – 2 de janeiro a 4 de maio de 2015) as temperaturas elevadas são relativamente toleráveis caso haja

suficiência hídrica. O estresse térmico ocorre quando a planta é sujeita a temperaturas acima de 35°C combinada com estresse hídrico (WALKER, 1969).

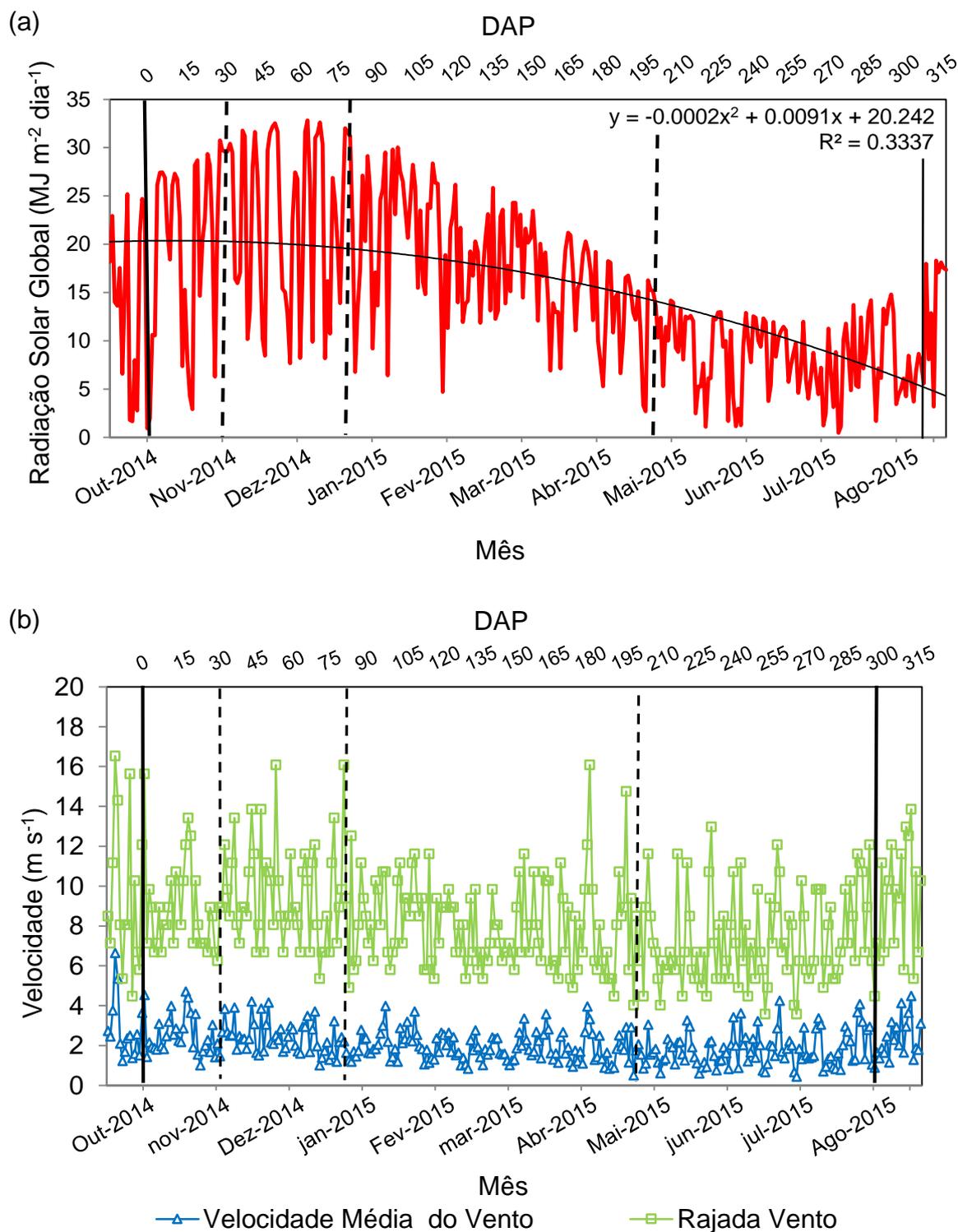


Figura 13 – Valores diários de radiação solar global (a); velocidade média diária do vento e rajada diária do vento (b). (As linhas verticais tracejadas indicam a mudança de estágio das cultivares; as linhas verticais contínuas indicam data de plantio e colheita).

Durante o período analisado, essa condição foi registrada apenas no dia 6 de janeiro de 2015 (85 DAP) na qual ocorreu temperatura propícia ao estresse térmico, com registro de Tmax de 35,9°C (Figura 12a). A Tmed neste dia foi de 26°C, com um estresse térmico não relevante a ponto de prejudicar a planta e conseqüentemente a safra, uma vez que foi uma ocorrência pontual.

A Tmed registrada neste estágio foi de 22,4°C, valor prejudicial para o alongamento dos entrenós, que é considerada ótima entre 26 e 31° (INMAN-BAMBER et al., 2010). Este valor é ainda próximo à margem considerada a melhor para o desenvolvimento da cultura (entre 22 e 30°C). Dentre os 119 dias deste estágio fenológico, 23 apresentaram Tmed abaixo dos 20°C, representando 19,3% do período como sendo prejudicial à taxa de crescimento, uma vez que esta taxa decai devido o decréscimo na taxa de alongamento dos colmos quando a temperatura fica abaixo de 20°C, segundo afirmações de Walker (1969).

No período de crescimento vegetativo, 26,9% dos dias registraram Tmed entre 15 e 21°C e não houve registro de Tmed abaixo de 15°C. Temperaturas baixas causam o decréscimo ou até a paralisação no crescimento, porém a temperatura limiar na qual isso ocorre é divergente na literatura, variando de 15°C a 21°C (DILLEWIJN, 1952; BARBIER, VILLA NOVA, 1977; BACCHI, SOUZA, 1978; DOORENBOS & KASSAM, 1979; MAGALHÃES, 1987; SCARPARI, 2002). Apesar do alto percentual de dias com ocorrências de temperaturas limiares registradas ao longo do período vegetativo, essas temperaturas ocorreram no final desse período, na transição para o período de maturação. Dessa forma, no período onde há maior disponibilidade radiativa e maior taxa de crescimento, as temperaturas estiveram mais elevadas.

A evapotranspiração média e umidade relativa média da fase de crescimento vegetativo foram respectivamente 3,93 mm dia<sup>-1</sup> e 82% (Figura 12b). A precipitação média diária para este período foi de 3,49 mm dia<sup>-1</sup>, porém mal distribuídos (Figura 14b). Observou-se que do terceiro decêndio de fevereiro até o terceiro decêndio de abril a precipitação aconteceu mal distribuída, uma vez que o acumulado total entre esse intervalo (131-199 DAP) foi de 149,93 mm dos quais cerca de 60% (89,91 mm) ocorreu em um único dia (30 de março de 2015, 168 DAP), caracterizando um déficit hídrico.

A velocidade média do vento diminuiu durante a fase de perfilhamento, baixando para 1,9 m s<sup>-1</sup> (Figura 13b). Porém, foram registrados dois dias com rajadas

fortes, ambas atingiram  $57,9 \text{ km h}^{-1}$  ( $16,1 \text{ m s}^{-1}$ ), nos dias 6 de janeiro e 17 de abril de 2015 (85 e 186 DAP) (Figura 13). Esse segundo caso de rajada elevada pode ter sido

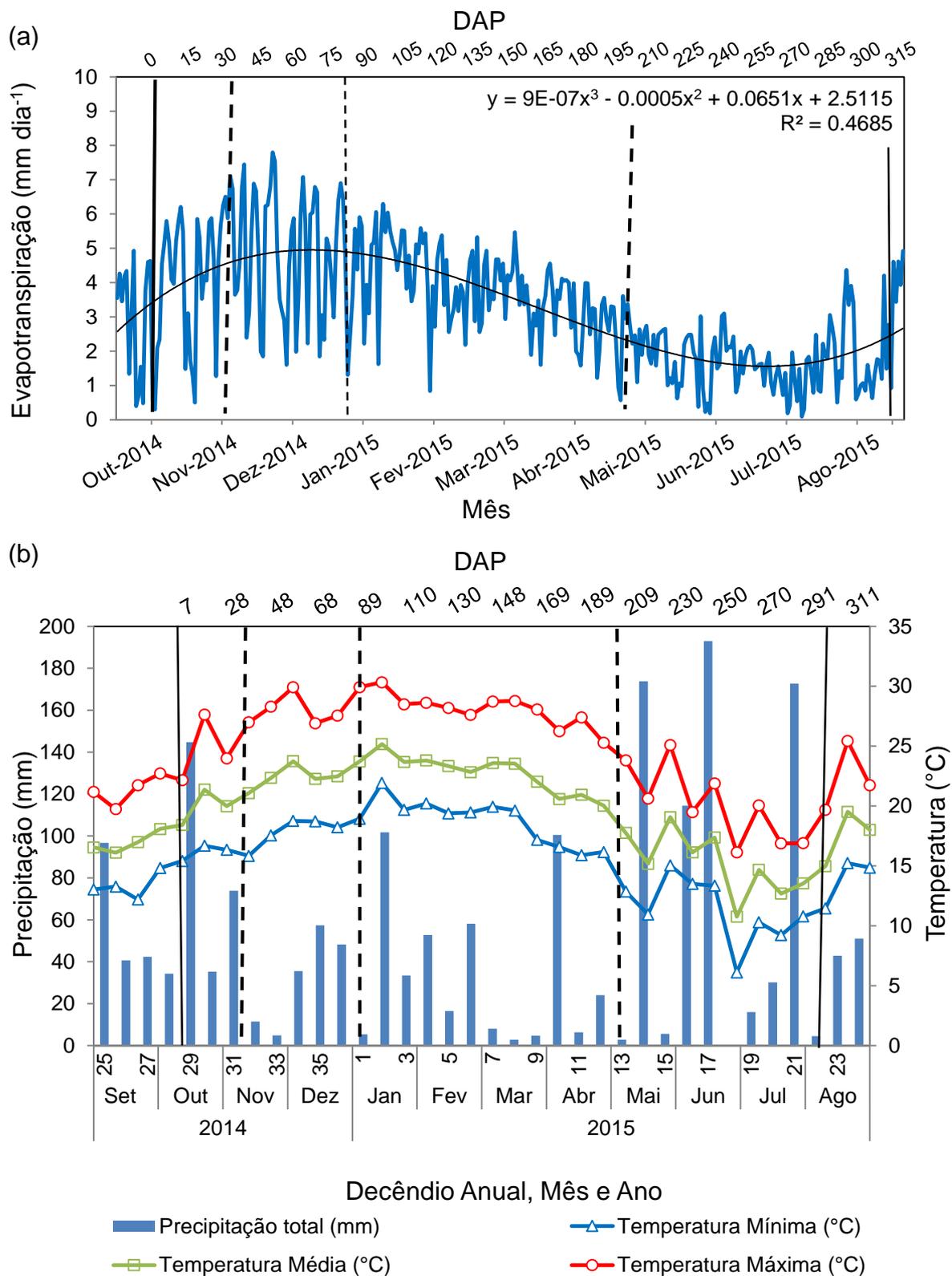


Figura 14 – Evapotranspiração diária medida (a); Valores decendiais de temperatura média, máxima, mínima e precipitação (b). (As linhas verticais tracejadas indicam a mudança de estágio das cultivares; as linhas verticais contínuas indicam data de plantio e colheita).

uma das causas pelo acamamento observado a partir desta data para a cultivar RB855156, o que é prejudicial uma vez que o acamamento das plantas provoca esmagamento e quebra dos colmos resultando em mortes dos mesmos (CARLIN et al., 2008; VAN HEERDEN et al., 2010).

Em 62 dias desse período a Rg média foi acima de  $18,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , ou seja, 52% do período apresentou Rg considerada propícia para o bom crescimento da cultura (Figura 13a) (MONTEIRO, 2012). Apesar das temperaturas serem próximas aos limites encontrados na literatura, o acúmulo de biomassa fresca aérea ocorreu de maneira contínua entre as amostragens 87 DAP até 206 DAP para as cultivares RB867515, RB966928 e RB92579, como pode ser verificado na figura 24. A exceção ocorreu na RB855156, onde nota-se um decréscimo de matéria fresca entre 178 e 206 DAP, que provavelmente está associado com a ocorrência do acamamento parcial da parcela para essa cultivar.

No último estágio fenológico analisado, o de maturação, ocorrido nesse experimento entre 200 DAP até a data da colheita, aos 298 DAP (01 de maio a 07 de agosto de 2015), nota-se queda na Tmed, caindo de  $22,4^{\circ}\text{C}$  para  $15,3^{\circ}\text{C}$  (Figura 12a). A menor Tmin e mais elevada Tmax registradas foram  $3,3^{\circ}\text{C}$  e  $30,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Oito dias apresentaram Tmin baixo dos  $6^{\circ}\text{C}$ , sendo que destes, somente dois marcaram Tmin abaixo de  $4^{\circ}\text{C}$  ( $3,7^{\circ}\text{C}$  – a 243DAP;  $3,3^{\circ}\text{C}$  -249 DAP), temperatura que associada a outros fatores, como condições de vento e nebulosidade, pode causar a formação de geadas. Nestes dois dias de menores Tmin, as velocidades médias do vento apresentadas foram  $7,31 \text{ km h}^{-1}$  (243 DAP) e  $2,95 \text{ km h}^{-1}$  (249 DAP) e Rg média de  $9,86 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $12,33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , e não houve precipitação (Figura 13). Esses fatores associados podem ter provocado uma leve geada, uma vez que as temperaturas baixas não foram muito acentuadas, entretanto, geadas leves são bem toleradas nesse estágio.

A evapotranspiração média registrada foi de  $1,73 \text{ mm dia}^{-1}$ , declínio de 56% em relação ao período anterior, e a radiação solar média disponível registrada foi de  $8,56 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , queda de 53,7% (Figura 13a e 14a). Apenas o 3º decêndio de junho não apresentou precipitação, enquanto que os outros oito decêndios somaram 753,4 mm (Figura 14b). Quatro dias consecutivos de precipitação ocorreram quatro vezes, e a mesma frequência foi observada para três dias consecutivos de precipitação. Dos 99 dias deste período, 17,2% (17 dias) registraram precipitação acima de 10 mm. Neste período do ano é quando faz-se a colheita, e a precipitação excessiva influencia o

planejamento do corte, carregamento e transporte da cana. Assim, o tráfego de máquinas sobre o canavial nesta época associados à umidade excessiva do solo podem causar a compactação do solo e alto índice de danos às soqueiras, prejudicando as produtividades das safras subsequentes e reduzindo a longevidade do canavial (MARIN et al., 2009). Adicionalmente a elevada precipitação pode prejudicar a qualidade da safra, uma vez que déficit hídrico nesta fase seria propício para que as plantas aumentassem a concentração de sacarose nos colmos (INMAMBAMBER, 2004). O acúmulo de biomassa nesta última fase fenológica foi menor do que o observado na fase anterior (Figuras 31 e 32), resultado de fatores como o menor aporte de radiação solar, decaimento na temperatura e senescência natural das folhas em decorrência da maturação.

De forma geral, a Tmed nas três primeiras fases esteve próxima da margem considerada ideal para o desenvolvimento e crescimento da cultura de cana-de-açúcar (DILLEWIJN, 1952; BARBIERI, VILLA NOVA, 1977; BACCHI, SOUZA, 1978; DOORENBOS, KASSAM, 1979; MAGALHÃES, 1987; SCARPARI, 2002).

Tabela 7 – Médias das principais variáveis meteorológicas nas respectivas fases fenológicas.

FASES FENOLÓGICAS	DAP	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Prec (mm)	UR (%)	ET (mm dia <sup>-1</sup> )	Rg (MJ dia <sup>-1</sup> )
Brotação Estabelecimento	0-30	20,5	25,3	16,5	220,4	84	3,82	18,76
Perfilhamento	30-80	22,6	28,3	18,1	153,8	78	4,91	22,79
Crescimento	81-199	22,4	27,8	18,3	411,9	81	3,93	18,5
Maturação	200-298	15,3	20,1	11,5	753,4	86	1,73	8,56
3 primeiras fases*	0-199	22,1	27,5	18	786,0	81	4,2	19,6
CICLO	0-298	19,9	25,1	15,8	1539,5	83	3,4	16,0

\*Brotação, estabelecimento, perfilhamento e crescimento.

### 4.3 Análises morfológicas

#### 4.3.1 Fator forma

Em cada uma das amostras destrutivas (87, 116, 142, 178, 206, 248, 284 DAP), foi medida a área foliar individual da folha +3 (F+3) das variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, usando o integrador de área foliar LI-3000.

Também foram medidos o comprimento e a largura das respectivas folhas +3. Em seguida, obteve-se o fator forma para cada uma das cultivares, a partir do ajuste da regressão linear entre a medida da área foliar da folha +3 com o produto do comprimento com a largura das folhas F+3 (Figura 15). Estimar esse fator é importante, uma vez que é possível calcular a área foliar da cana-de-açúcar somente através do comprimento e largura da folha +3, i.e., sem que seja preciso danificar a planta.

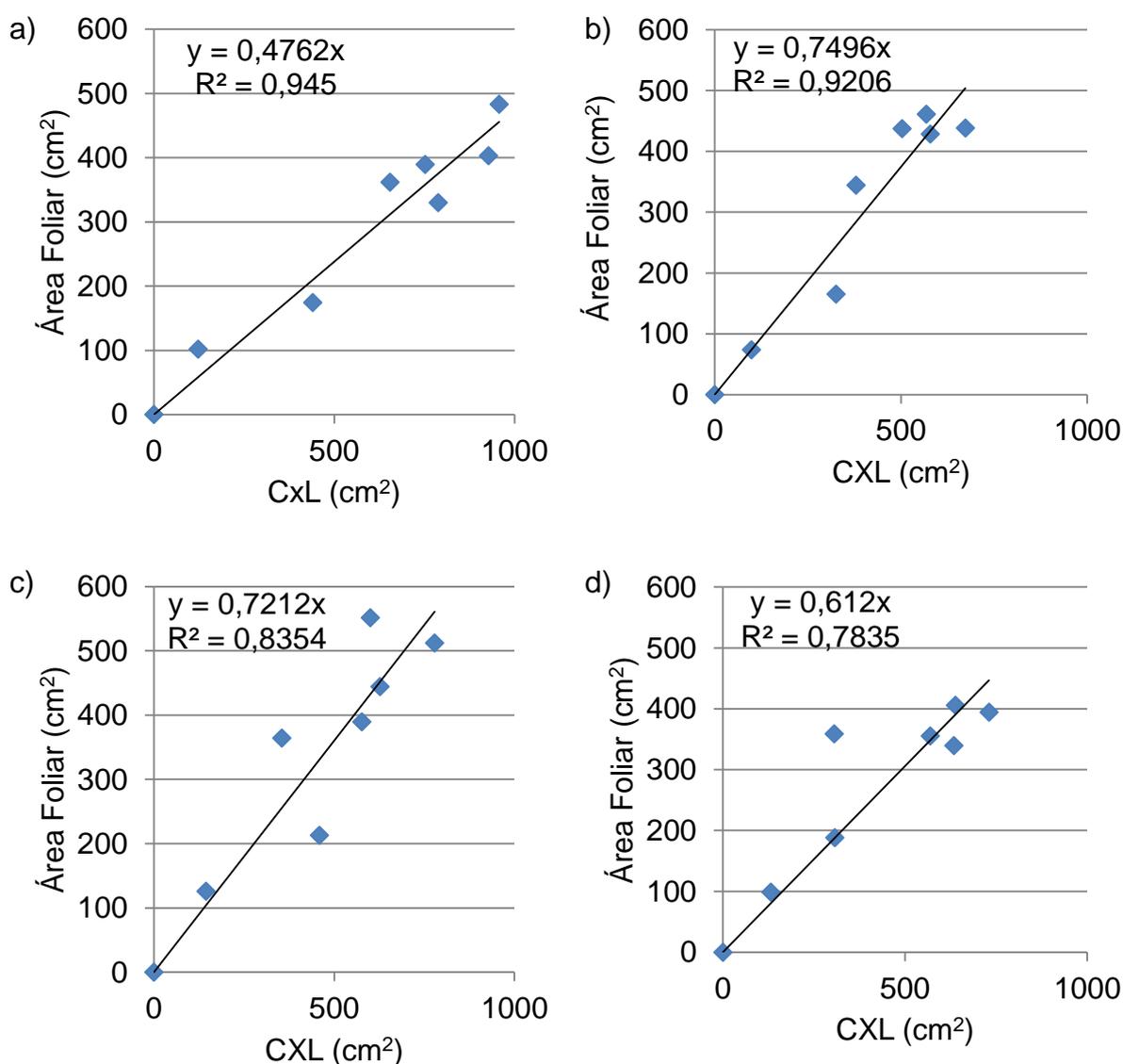


Figura 15 – Relação entre as medidas de área foliar obtido a partir do integrador LI-300 e da área proveniente do produto do comprimento (C) pela largura (L) das referentes folhas+3 das cultivares RB867515 (a), RB966928 (b), RB855156 (c) e RB92579 (d).

Com base nos coeficientes angulares obtidos na regressão, o fator forma encontrado para as cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, foram,

respectivamente: 0,476 ( $R^2=0,94$ ), 0,749 ( $R^2=0,92$ ), 0,721 ( $R^2=0,83$ ) e 0,783 ( $R^2=0,78$ ). Na Austrália, Robertson et al. (1998) encontrou o valor de 0,62 para a variedade Q117. Silva (2009), no Estado da Bahia - BR relatou para a RB92579 o valor de 0,69, valor abaixo do encontrado no presente estudo nesta variedade. Sinclair et al. (2005), observaram para as cultivares CP80-1743, CP89-2143, CP88-1762 e CP72-2086, os valores de 0,71, 0,72, 0,71 e 0,73, na Flórida - EUA. Oliveira (2013) encontrou 0,65 para a variedade RB98710, em Alagoas - BR. O padrão do fator forma usado para estimar a área foliar da folha de cana-de-açúcar é de 0,75 (HERMANN; CÂMARA, 1999). Entretanto, este valor de fator forma foi determinado para a cultura de milho (MONTGOMERY, 1911; FRANCIS et al., 1969), e é usado na cana-de-açúcar por apresentar folhas com formatos similares ao milho. Contudo, no presente trabalho e nos trabalhos citados, fica evidente que existem variações no valor do fator forma, dependendo da cultivar, corroborando afirmações de Oliveira (2013).

#### **4.3.2 Brix, índice de maturação e colheita**

Observou-se diferença significativa no índice de maturação (IM) praticamente em todas as datas (178, 192, 206, 231 e 268 DAP) em que realizaram-se as medidas de °Brix (Tabela 8). A exceção ocorreu na data de colheita, aos 298 DAP, onde as cultivares não apresentaram diferença significativa, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. De acordo com a metodologia utilizada por Marafon (2012), aos 178 DAP nenhuma das variedades encontrava-se na fase de maturação, i.e., estavam "verdes". Aos 192 DAP, as cultivares RB966928 e RB855156 entraram em processo de maturação. Na amostragem seguinte, aos 206 DAP, as duas cultivares recém citadas já estavam maduras, com IM acima de 0,9, enquanto que a RB92579 estava no limiar do fim da maturação e a RB867515 estava maturando. Aos 231 DAP, o IM de três variedades decaiu, possivelmente devido ao alto índice pluviométrico registrado neste período, de 274,51 mm entre os 206 e 231 DAP, sendo que 107,38 mm precipitaram nos últimos quatro dias que antecederam a amostragem de 231 DAP. Aos 268 DAP, as cultivares RB9669258, RB855156 e RB92579 estavam maduras e a RB867515 encontrava-se na fase de maturação. Na amostragem seguinte, aos 298 DAP todas as variedades mostraram IM acima de 0,91. Esse comportamento está coerente com as características típicas dessas cultivares, ou seja, as cultivares RB966928 e RB855156 são de ciclo precoce e as cultivares

RB867515 e RB92579 são consideradas de ciclos médio a tardio (RIDESA, 2010). A ordem de maturação encontrada no ciclo foi, portanto: RB966928, RB855156, RB92579 e RB867515 (Figura 16).

Tabela 8 - Índice de maturação nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, ciclo de cana planta, nos respectivos dias após o plantio.

Cultivares	Dias após o plantio (DAP)					
	178	192	206	231	268	298
RB867515	0.392B	0.505B	0.702B	0.725AB	0.827A	0.945 <sup>ns</sup>
RB966928	0.507AB	0.762A	0.940A	0.895AB	0.990A	0.975
RB855156	0.583A	0.800A	0.927A	0.965A	1.002A	1.000
RB92579	0.547A	0.595AB	0.845A	0.667B	0.865A	0.910
CV (%)	11.56	16.00	6.41	16.48	8.67	4.33

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>: não significativo  
CV: Coeficiente de variação.

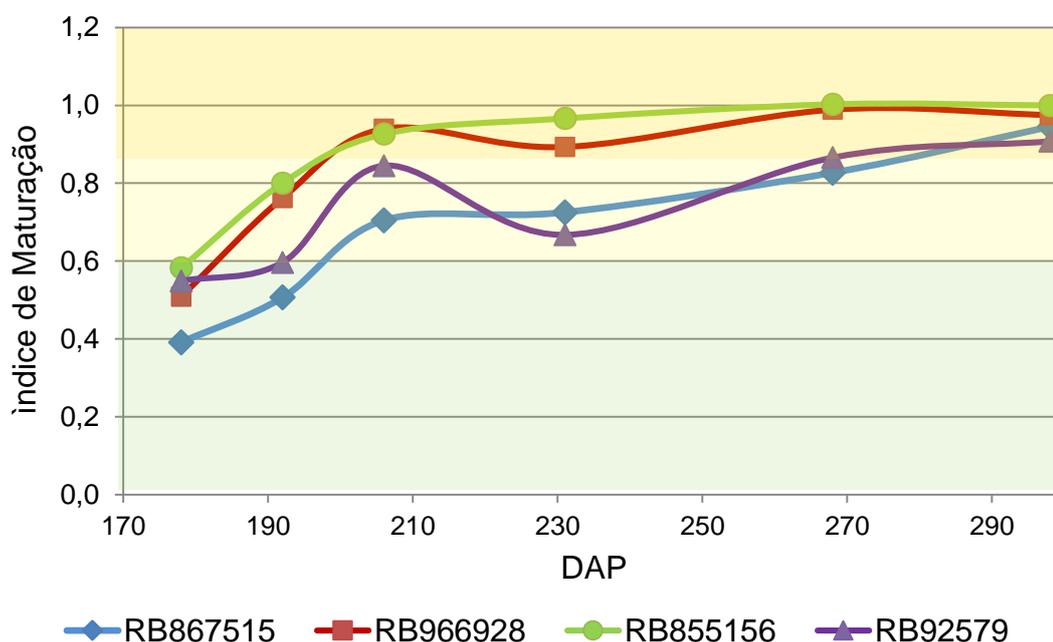


Figura 16 - Índice de maturação nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). (As cores de fundo indicam a maturação da cana-de-açúcar, onde azul significa "verde", rosa é cana em maturação e laranja é cana madura).

Quanto ao °Brix notou-se diferença significativa em todas as épocas amostradas (Tabela 9). As variedades precoces RB966928 e RB855156 apresentaram valores de °Brix mais elevado em relação às outras duas variedades

em todas as épocas amostradas (Figura 17).

Na data da colheita, a cultivar precoce RB966928 apresentou °Brix de 8,79% acima do °Brix da RB867515 e 18,43% acima da RB92579, enquanto que a RB855156 resultou °Brix de 11,77% acima da RB867515 e 21,09% acima da RB82579.

Pode-se inferir, portanto, que aos 298 DAP a qualidade da cana-de-açúcar das duas variedades precoces foi de aproximadamente 8,8 a 21% superior as duas cultivares médio-tardias.

Tabela 9 - °Brix nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, ciclo de cana planta, nos respectivos dias após o plantio.

Cultivares	Dias após o plantio (DAP)					
	178	192	206	231	268	298
RB867515	12.02A	13.51B	15.59B	15.95B	15.44B	18.36AB
RB966928	12.56A	16.34A	19.22A	18.71A	19.53A	20.13A
RB855156	13.79A	16.69A	19.40A	19.38A	20.22A	20.81A
RB92579	9.03B	11.98B	16.34B	15.87B	17.02B	16.42B
CV (%)	9.26	6.28	3.80	5.91	5.33	5.81

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>: não significativo  
CV: Coeficiente de variação.

Todas as variedades estudadas apresentaram índice de colheita (IC) acima de 60% aos 142 DAP e acima de 66% aos 178 DAP (Figura 18). Na última data realizada a amostra destrutiva (284 DAP), encontrou-se o IC mais elevado para todas as variedades, indicando que essa data é economicamente a mais rentável dentre as datas de amostras destrutivas realizadas, uma vez o IC fornece a razão entre a matéria seca economicamente rentável e a massa seca total colhida (MARAFON, 2012). A cultivar precoce RB966928 apresentou o mais elevado IC aos 284 DAP, com 82,11%, seguido das cultivares tardias, RB867515 e RB92579, com 78,63 e 78,21%, respectivamente. O menor IC foi encontrado na RB855156, com 77,47% de matéria seca economicamente rentável em relação à matéria seca total.

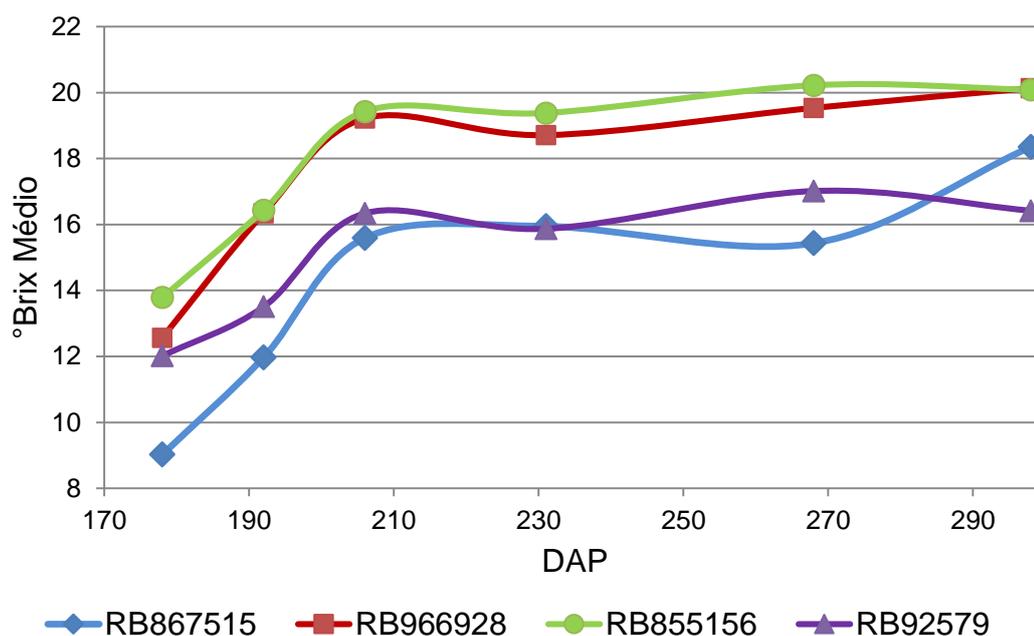


Figura 17 – °Brix médio nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP).

De acordo com os resultados obtidos nota-se que não houve diferença de produtividade entre as cultivares na data da colheita, aos 298 DAP (Tabela 10). A maior produtividade foi observada para cultivar RB92579, porém foi a cultivar que apresentou o menor grau de teor de sacarose. A menor produtividade foi apresentada pela cultivar RB966928, com produtividade 18,68% abaixo da cultivar RB92579. O acúmulo de sacarose e produtividade podem ter sido prejudicados pela elevada precipitação na fase de maturação e pelo acamamento na fase de crescimento vegetativo, respectivamente (INMAM-BAMBER, 2004; VAN HEERDEN et al., 2010 ). Além disto, no experimento foram observadas perdas significativas de colmos industrializáveis a partir dos 180 DAP devido a variáveis espúrias, fato que prejudicou a produtividade na colheita realizada.

Trabalhos como o de Ferreira Júnior et al. (2012) encontrou para a RB867515 e RB92579 produtividade de 124,69 e 154,63 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Biondo et al. (2012) encontrou produtividade acima de 71 ton ha<sup>-1</sup> para a RB867515. Oliveira (2013) encontrou 168 ton ha<sup>-1</sup> de matéria fresca de colmos industrializáveis para a RB98710 em Alagoas. A média de produtividade da região sudeste brasileira, maior produtora de cana-de-açúcar atualmente, é da ordem de 72 ton ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2015).

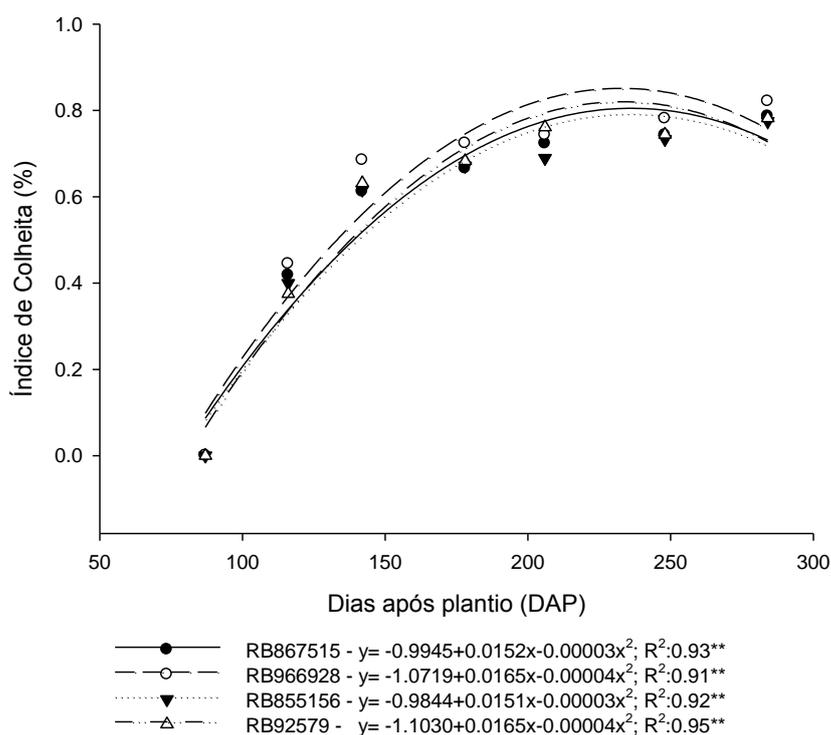


Figura 18 – Índice de colheita (%) ao longo do ciclo de cana planta para as cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579. Amostras destrutivas. \* não significativo a 5% segundo teste de Tukey. \*\* não significativo a 1% segundo teste de Tukey.

Tabela 10 - Valores de produtividade para as cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579 na data de colheita (298 DAP).

Cultivares	Produtividade (ton ha <sup>-1</sup> )
RB867515	106 <sup>ns</sup>
RB966928	93
RB855156	110
RB92579	115
CV (%)	14.36

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>: não significativo  
 CV: Coeficiente de variação.

#### 4.3.3 Fases fenológicas e morfologia

As tabelas 11, 12 e 13 mostram os valores de diâmetro médio do colmo (DMC), estatura média do colmo (EMC), número de perfilhos (NP), comprimento da folha +3 (C+3), largura da folha +3 (L+3) e biomassa fresca total, para três fases fenológicas do ciclo de cana planta: fim da fase de perfilhamento (87DAP), fim da fase de

crescimento vegetativo (206 DAP) e alguns dias antes da colheita, caracterizando a fase na qual as variedades estavam maduras (284 DAP).

Tabela 11 – Cultivares e valores de estatura média do colmo, número de perfilhos, comprimento e largura da folha +3 e biomassa fresca ao fim da fase fenológica de perfilhamento (87 DAP).

Cultivares	DMC (m)	EMC (m)	NP (m <sup>-2</sup> )	C+3 (m)	L+3 (m)	BIOMASSA FRESCA (kg m <sup>-2</sup> )
RB867515		0.33B	20.00 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>ns</sup>	0.023A	1.37AB
RB966928		0.30B	22.86	0.63	0.015B	1.13B
RB855156		0.41A	21.61	0.68	0.019AB	2.26A
RB92579		0.32B	20.00	0.65	0.020AB	1.31AB
CV (%)		9.09	40.16	13.04	11.88	32.68

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>: não significativo

CV: Coeficiente de variação.

Na Figura 19 pode ser verificado os valores de DMC em função dos DAP. Na fase de perfilhamento não foram medidos os DMC devido ao baixo número de entrenós (Tabela 11). No crescimento vegetativo não houve diferença significativa no DMC entre as cultivares, porém a variedade RB867515 destacou-se por apresentar o valor mais elevado de DMC a partir de 116 DAP até o final do ciclo de cana planta (Tabela 12 e Figura 19).

Tabela 12 – Cultivares e valores do diâmetro médio do colmo, estatura média do colmo, número de perfilhos, comprimento e largura da folha +3 e biomassa fresca ao fim da fase fenológica de crescimento vegetativo (206 DAP).

Cultivares	DMC (m)	EMC (m)	NP (m <sup>-2</sup> )	C+3 (m)	L+3 (m)	BIOMASSA FRESCA (kg m <sup>-2</sup> )
RB867515	0.034 <sup>ns</sup>	1.58 <sup>ns</sup>	11.25 <sup>ns</sup>	1.61A	0.060A	15.08 <sup>ns</sup>
RB966928	0.028	1.56	13.39	1.52AB	0.037C	13.30
RB855156	0.031	1.55	12.32	1.64A	0.047B	13.77
RB92579	0.028	1.39	16.07	1.40B	0.052B	14.92
CV (%)	12.51	8.27	18.71	4.74	4.96	8.28

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>: não significativo

CV: Coeficiente de variação.

Tabela 13 – Cultivares e valores do diâmetro médio do colmo, estatura média do colmo, número de perfilhos, comprimento e largura da folha +3 e biomassa fresca ao fim da fase fenológica de maturação (284 DAP).

Cultivares	DMC (m)	EMC (m)	NP (m <sup>-2</sup> )	C+3 (m)	L+3 (m)	BIOMASSA FRESCA (kg m <sup>-2</sup> )
RB867515	0.032A	1.96 <sup>ns</sup>	9.46B	1.51A	0.050A	15.61 <sup>ns</sup>
RB966928	0.028B	1.94	13.75A	1.30B	0.037B	17.36
RB855156	0.030AB	1.90	10.89AB	1.28A	0.045A	13.84
RB92579	0.030AB	1.80	11.25AB	1.28B	0.049A	15.43
CV (%)	5.88	6.12	14.36	3.63	5.70	16.24

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>: não significativo

CV: Coeficiente de variação.

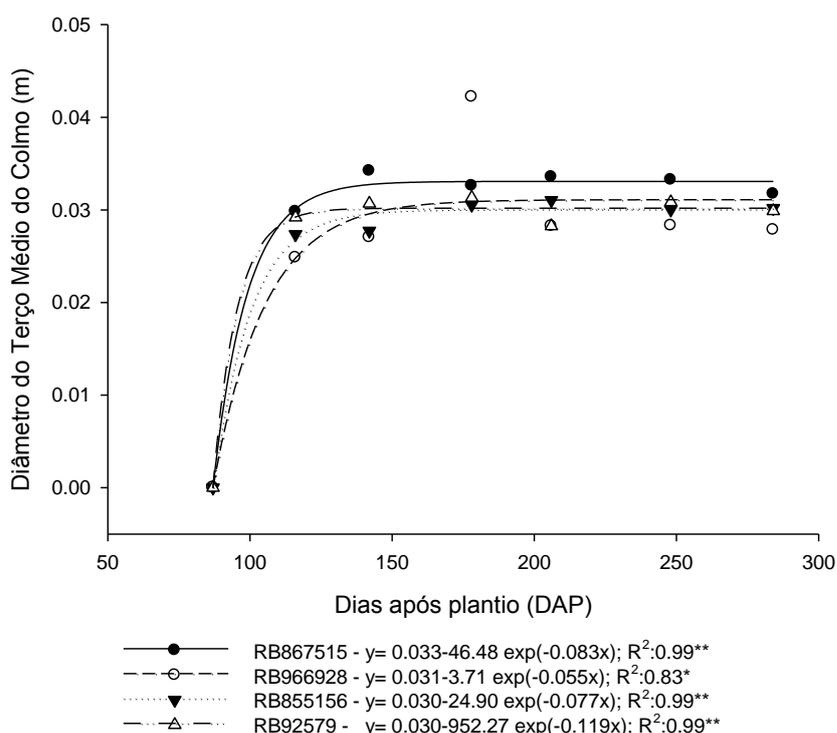


Figura 19 – Diâmetro do terço médio do colmo (m) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. \* não significativo a 5% segundo teste de Tukey. \*\* não significativo a 1% segundo teste de Tukey.

Na última fase fenológica analisada, de maturação (284 DAP), o diâmetro médio dos colmos apresentou diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 13). Oliveira et al. (2004) não notaram diferença significativa para três variedades de cana planta entre as amostragens 84 e 135 DAP e na amostragem 231DAP, enquanto que nas amostragens 182 DAP e entre 279 a 497

DAP encontrou diferença significativa. Estudos de Ramesh e Mahadevaswamy (2000) não notaram diferença significativa nas primeiras épocas avaliadas, entre 30 e 60 DAP, e diferença significativa nas demais épocas, de 150 a 360 DAP. Os valores máximos e mínimos no fim do ciclo foram de 3,2 e 2,8 cm, respectivamente, valores similares ao encontrado por Oliveira et al.(2004) ao fim do ciclo, que foram entre 3,19 e 2,74 cm. Cultivares que emitem menor número de perfilhos na fase de perfilhamento possuem melhores condições de formar colmos com diâmetros maiores, além das características genéticas (OLIVEIRA et al., 2004).

A Figura 20 ilustra a evolução da estatura média de colmos sem o palmito, para as quatro variedades avaliadas, em função dos dias após o plantio. Observou-se diferença significativa somente aos 87 DAP (Tabela 11). Geralmente, o maior crescimento de colmos é observado nos meses mais quentes do ano, entre novembro a março (MIOCQUE, 1999; SUGUITANI, 2001; OLIVEIRA et al.,2004). No entanto, verificou-se no presente trabalho que o acréscimo da EMC ocorreu de forma linear para todas as cultivares analisadas, durante todo o ciclo, com inflexão da curva, tendendo a estabilidade, no fim do ciclo (observado entre as duas últimas amostragens).

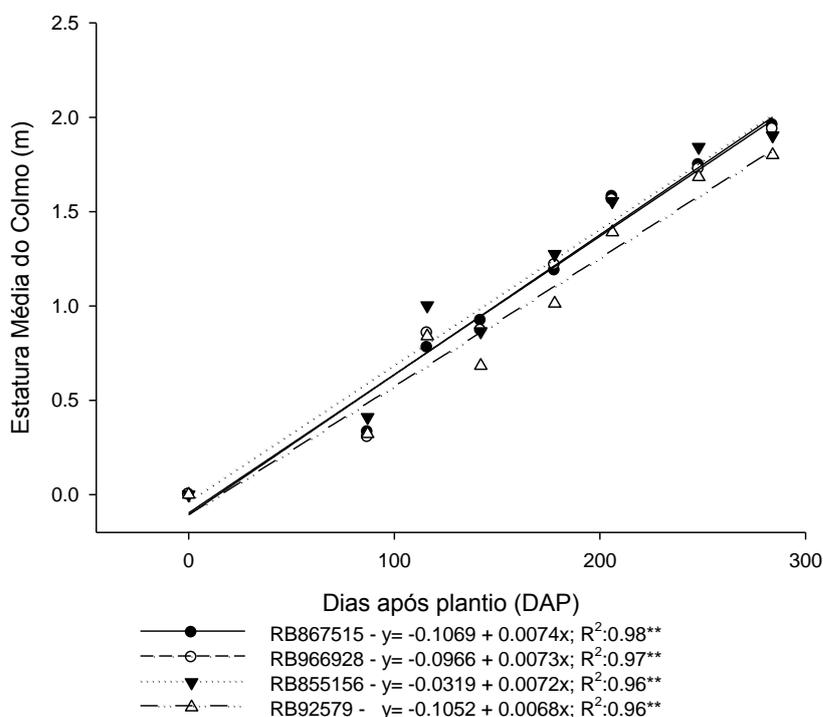


Figura 20 - Estatura média do colmo (m) (sem palmito) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. \* não significativo a 5% segundo teste de Tukey. \*\* não significativo a 1% segundo teste de Tukey.

Aos 284 DAP, foram obtidos valores entre 180 a 196 cm de EMC dentre as variedades avaliadas. Estes valores estão acima do encontrado por Silva et al. (2004), que aos 279 DAP encontrou valores entre 107,3 a 120,7 cm de EMC para três variedades RB (RB72454, RB855113 e RB855536) e, abaixo do encontrado para cana soca da variedade RB92579, em que aos 300 DAC, a EMC foi da ordem de 3 m (SILVA, 2009). Diferenças de EMC podem ocorrer como consequência do tipo de perfilhamento, uma vez que o perfilho primário apresenta o maior crescimento, por não existir competição na fase inicial de desenvolvimento (RAMESH, MAHADEVASWAMY, 2000).

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que houve diferença significativa para o número de perfilhos por metro quadrado entre as cultivares somente na fase de maturação (Tabela 13). De todas as épocas amostradas (87, 116, 142, 178, 206, 248 e 284 DAP), o perfilhamento máximo apresentado foi da cultivar RB966928, com 22,86 perfilhos m<sup>-2</sup>, aos 87 DAP (Figura 21). O máximo perfilhamento das cultivares RB855156, RB867515 e RB92579 foram de 21,61, 20 e 20 perfilhos m<sup>-2</sup>, respectivamente, também aos 87 DAP. Cultivares como a RB855536, RB72454 e RB855113 apresentaram máximos de 23, 14 e 19,6 perfilhos m<sup>-2</sup> em ciclo de cana planta no Estado do Paraná (OLIVEIRA et al., 2004; 2005). A RB92579 sob ciclo de cana soca na região do Vale do Submédio do São Francisco apresentou pico de 42,4 perfilhos m<sup>-2</sup>, enquanto que no Estado de São Paulo foi obtido máximo de 40,5 perfilhos m<sup>-2</sup>, em regime de irrigação (ALMEIDA et al. 2008; SILVA, 2009). Em condições de sequeiro esta variedade apresentou valores máximos de 23,2 perfilhos m<sup>-2</sup>, na região de Rio Largo – Al (COSTA et al., 2008). Picos de 20 e 35 perfilhos m<sup>-2</sup> foram encontrados para as variedades N17 e NCo376, respectivamente, em cana soca sob as condições climáticas de Mount Edgecombe na África do Sul (SINGELS et al., 2005).

Verifica-se aumento do NP até atingir o máximo aos 87 DAP. Silva (2009) notou comportamento similar, aos 96 DAC (dias após o corte) e Silva (2005) aos 60 DAC. No ciclo de cana planta, o valor máximo de perfilhamento pode ocorrer até o 120 após o plantio (CASAGRANDE, 1996). Castro (2001) reforça a ideia de Casagrande (1996), mas afirma ainda que o perfilhamento pode sofrer influência da temperatura do ar, umidade do solo, cultivar e ciclo. Segundo Ido (2003), acontece aumento de perfilhos até o mês de outubro em ciclo de cana planta, reduzindo em seguida até estabilizar. No presente trabalho nota-se que o máximo de perfilhamento aconteceu no mês de

janeiro. Este fato pode estar relacionado ao plantio, que aconteceu tarde, no mês de outubro, diferente dos plantios e cortes realizados nos trabalhos supra-citados, onde foram plantadas e cortadas nos meses de abril e maio.

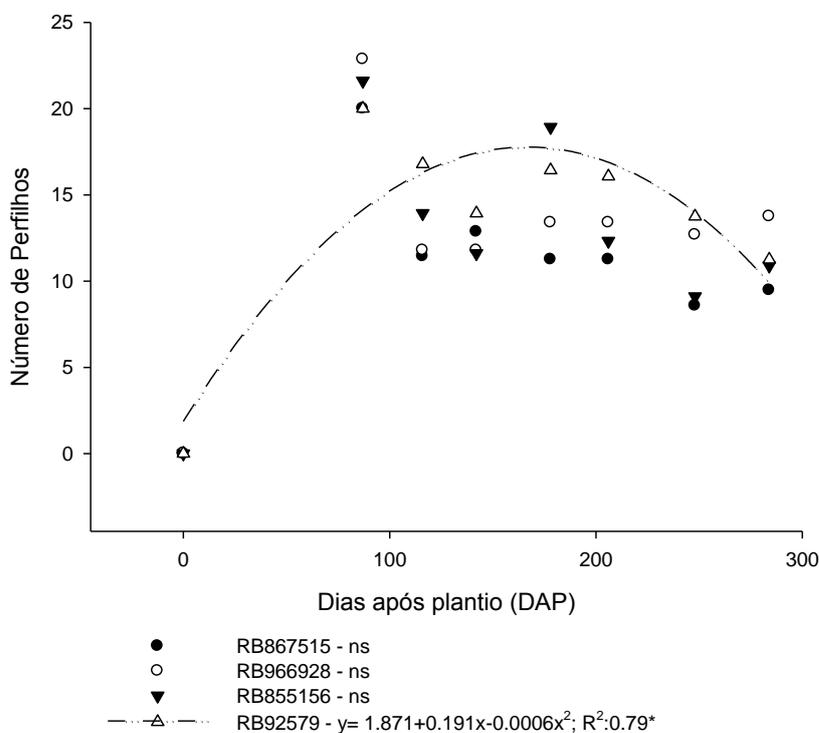


Figura 21 - Evolução do número de perfilhos ( $m^{-2}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. \* não significativo a 5% segundo teste de Tukey. \*\* não significativo a 1% segundo teste de Tukey.

Na data da última coleta destrutiva, a cultivar RB966928 apresentou o maior número de perfilhos em comparação as outras cultivares. A cultivar RB92579 é a terceira colocada em número de perfilhos por metro quadrado, porém é a cultivar que apresentou a menor biomassa seca, evidenciando que essa cultivar tem um menor peso médio dos colmos. Essa verificação evidencia que mesmo uma cultivar apresentando elevado número de perfilhos não implica necessariamente ser a mais produtiva (Figura 25).

Entre as cultivares avaliadas, a mais estável foi a RB966928, que apresentou redução de 39,84% até a data da colheita. A RB92579 RB855156 apresentaram 43,75% e 49,59% de redução de NP em relação ao pico máximo. A menos estável foi a variedade RB867515, que apresentou 52,68% de redução, ou seja, mais da metade dos perfilhos morreram ao longo do ciclo, valores similares aos de 57 e 52% encontra-

dos para a RB855336 e RB8551132 (OLIVEIRA et al., 2004).

O estudo da folha +3 auxilia entender o desenvolvimento temporal e espacial da superfície foliar da cana-de-açúcar e permite obter o fator forma das respectivas cultivares, uma vez que a folha não tem formato retangular (SOUZA, 2009; OLIVEIRA, 2013). O comprimento da folha +3 (C+3) não apresentou diferença significativa na fase de perfilhamento, já nas demais fases fenológicas avaliadas notou-se diferença significativa (Tabela 10, 11 e 12). Observou-se comportamento similar entre todas as variedades avaliadas (Figura 22). O comprimento máximo foi apresentado pelas cultivares precoces RB966928 e RB855156, com 1,81 (284DAP) e 1,64 m (206 DAP), respectivamente. O pico da C+3 da RB92579 foi de 1,40 m, aos 206 DAP, valor abaixo do encontrado por Silva (2009) de 1,46 m aos 238 DAC. A ordem de destaque na média foi RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, com 1,31, 1,30, 1,27, 1,12 m, respectivamente.

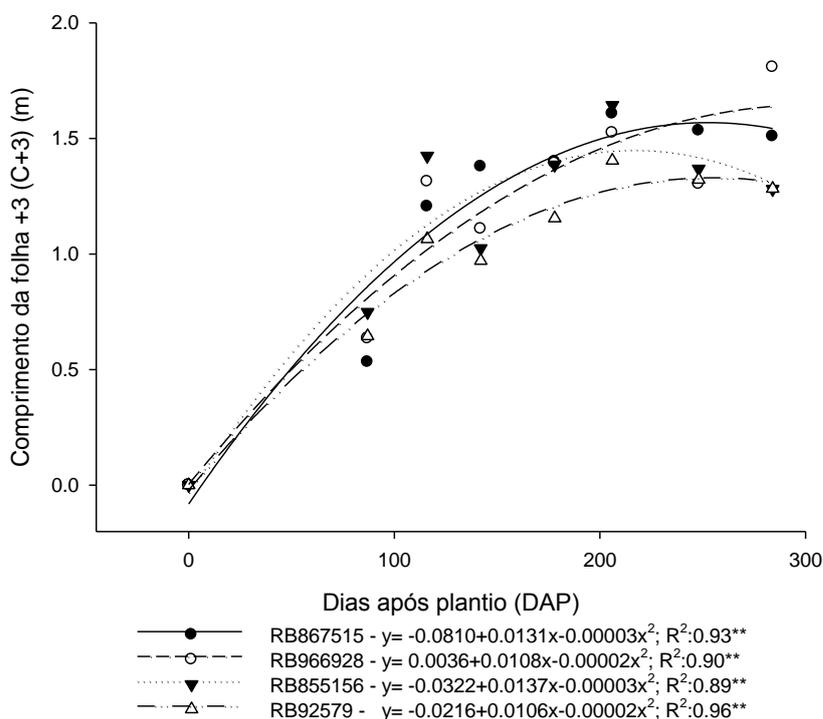


Figura 22 - Evolução do comprimento da folha +3 (m) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. \* não significativo a 5% segundo teste de Tukey. \*\* não significativo a 1% segundo teste de Tukey.

Analisando a largura da folha+3, ilustrado na figura 23, verificou-se que a RB867515 apresentou maior L+3 em todas as épocas avaliadas. Entretanto, a

RB966928 que apresentou maior pico e segunda maior média de C+3, mostrou possuir a folha +3 mais estreita em relação às outras cultivares, em todas as amostragens destrutivas. Houve diferença significativa nas da L+3 em todas as fases fenológicas avaliadas (Tabela 10, 11 e 12). O comprimento e largura da folha +3 não apresentaram tendência de estabilização, como foi encontrado no trabalho de Souza (2009) para a variedade RB92579.

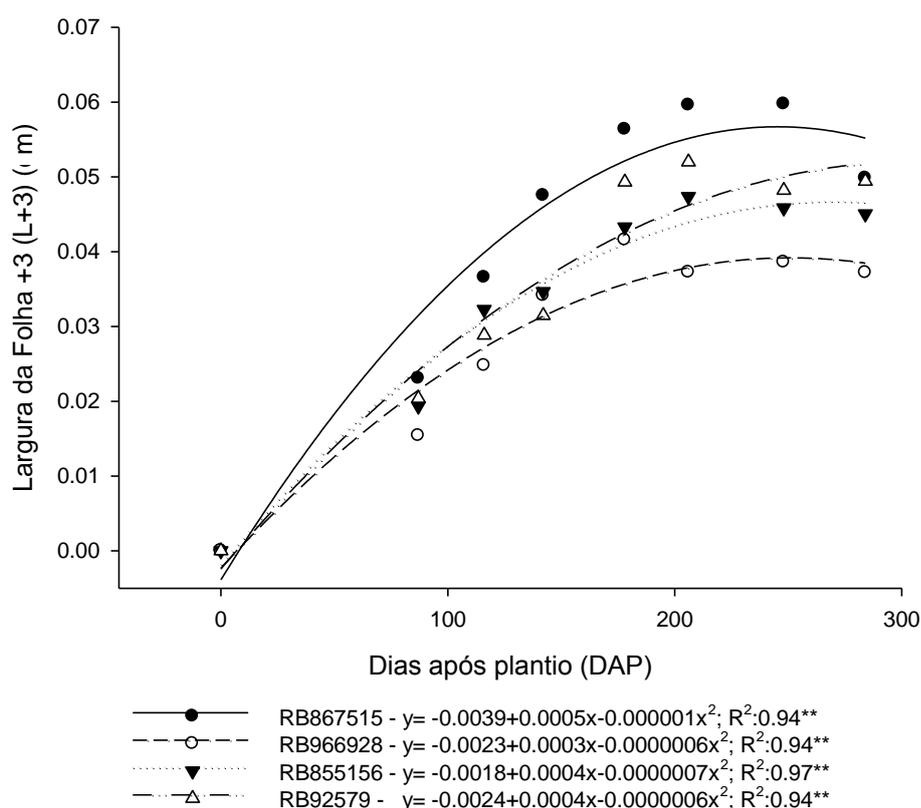


Figura 23 - Evolução da largura da folha +3 (m) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. \* não significativo a 5% segundo teste de Tukey. \*\* não significativo a 1% segundo teste de Tukey.

Observou-se a mesma tendência de desenvolvimento de biomassa fresca e seca total para as quatro cultivares, apresentando um crescimento lento até 87 DAP (Figura 24 e 25). Nos dias subsequentes, ocorreu um rápido acúmulo de biomassa fresca e seca, até 206 DAP, com exceção da variedade RB855156 que mostrou decréscimo entre 178 e 206 DAP. Silva (2009) caracterizou este crescimento acentuado como sendo o período de valores elevados de temperatura do ar e de disponibilidade de radiação solar global. Aos 248 DAP observou-se diminuição da biomassa e na última coleta realizada aos 284 DAP constatou-se um ligeiro

acréscimo, corroborando as informações da taxa de crescimento relativo (Figura 28). O comportamento de diminuição na velocidade de crescimento da biomassa fresca e seca ao fim do ciclo foi observado no trabalho de Silva (2009). Mas trabalhos como os de Alvarez e Castro (1999) e Oliveira et al. (2004) mostraram crescimento contínuo no ciclo de cana planta durante todo o ciclo.

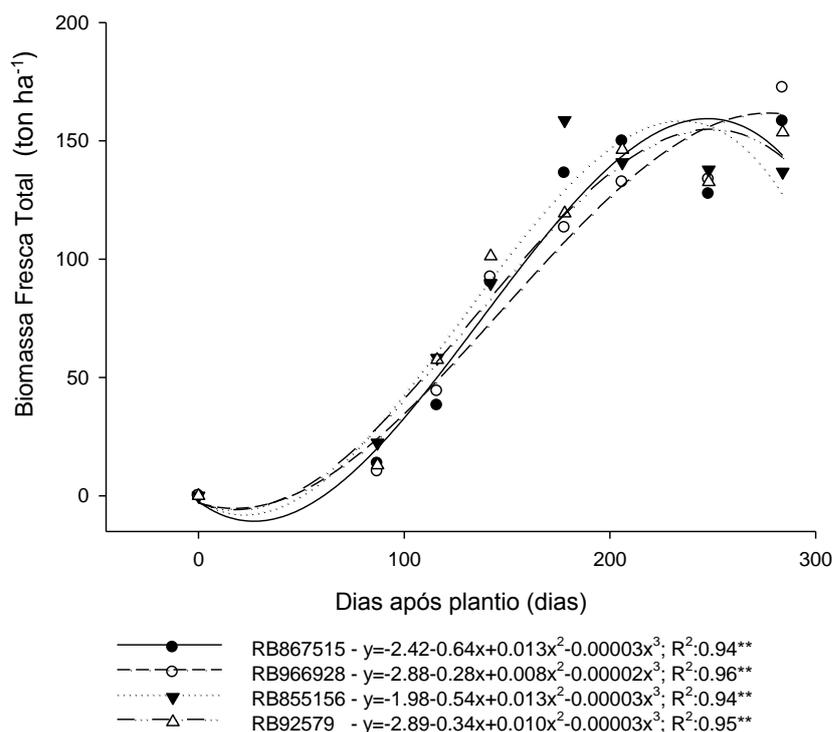


Figura 24 – Produção de biomassa fresca aérea total ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. \* não significativo a 5% segundo teste de Tukey. \*\* não significativo a 1% segundo teste de Tukey.

A produtividade estimada segundo a coleta destrutiva revela produtividades de biomassa fresca para as variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579 respectivamente de, 158, 172, 137 e 154  $\text{ton ha}^{-1}$ . Estes valores são superiores ao encontrado na colheita (Tabela 10) devido a variáveis espúrias observadas no momento da colheita, como já foi salientado. A variedade RB966928 destaca-se devido a mais elevada biomassa fresca e seca total aos 284 DAP. As cultivares tardias RB867515 e RB92579 apresentaram valores próximos de biomassa fresca total.

A produtividade de biomassa seca ao fim do ciclo foi de 33,0, 39,1, 31,1 e 30,2  $\text{ton ha}^{-1}$ , para a RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579. Desta forma, a

porcentagem de matéria fresca convertida em matéria seca foi mais elevada nas cultivares precoces RB855156 e RB966928, ambas com 22,7%. Em seguida, tem-se a RB867515 com 20,9% e a RB92579 com 19,7% do percentual matéria seca.

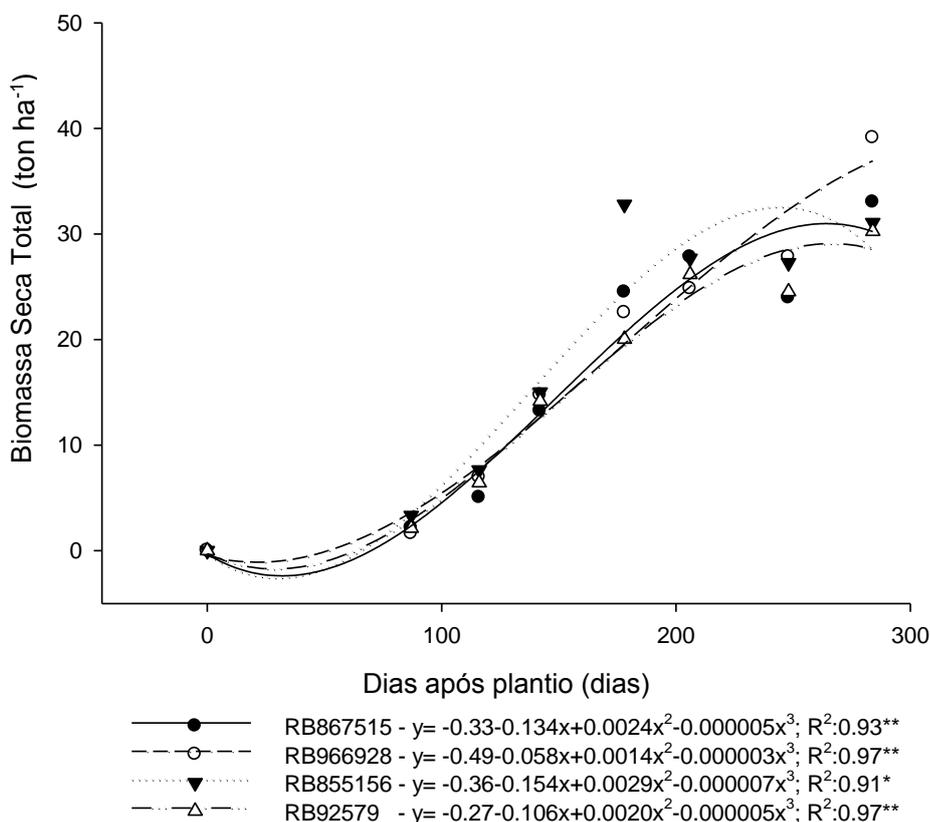


Figura 25 - Biomassa seca total ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. \* não significativo a 5% segundo teste de Tukey. \*\* não significativo a 1% segundo teste de Tukey.

#### 4.3.4 Taxas de Crescimento

A Figura 26 ilustra a taxa de crescimento relativo (TCR) para as cultivares monitoradas. Notam-se taxas elevadas nos dias iniciais em que as plantas estão na fase de crescimento vegetativo (87 a 142 DAP). Aos 116 DAP três variedades apresentaram os valores máximos de TCR: RB966928, RB92579 e RB855156, com 0,050, 0,038 e 0,029  $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ , respectivamente, enquanto que a RB867515 apresentou máximo um pouco mais tarde, aos 142 DAP, com 0,037  $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ . Oliveira et al. (2005) comparando três cultivares de cana planta sob sistema de sequeiro (RB72454, RB855113 e RB855536), no estado do Paraná, encontrou valor máximo de TCR próximo à 0,09  $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$  para a variedade RB855113 e de 0,06  $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$

para a RB855336. Silva (2005), analisando cinco variedades (RB855113, RB72454, RB83594, RB855536 e SP81-3250) de cana planta, também em sistema de sequeiro, observou valores máximos entre  $0,025 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e  $0,034 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  aos 100 DAP. Silva (2009) encontrou aos 87 DAP o máximo de  $0,024 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  para a variedade RB92579, em ciclo de cana soca, com irrigação, sob condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco.

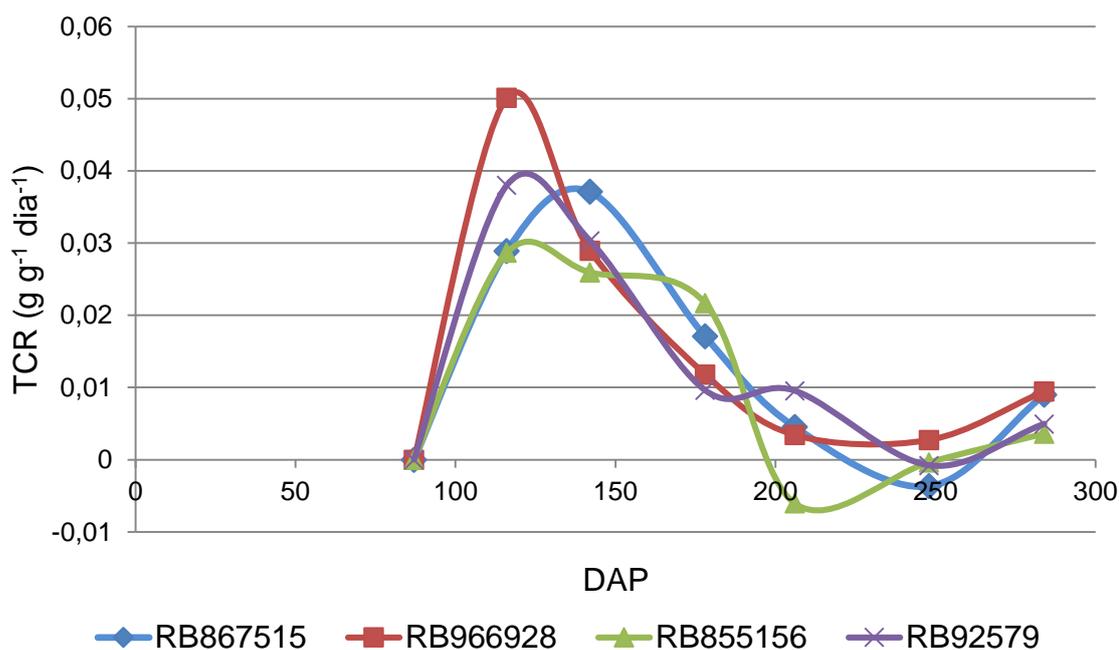


Figura 26 - Taxa de crescimento relativo (TCR –  $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.

Em média, as cultivares destacaram-se na seguinte ordem: RB966928, RB867515, RB92579 e RB855156, com  $0,018$ ,  $0,016$ ,  $0,015$  e  $0,012 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Trabalhos como de Oliveira et al. (2005) encontrou valor médio máximo de TCR de  $0,018 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  para a variedade RB72454.

Após apresentar o máximo, a TCR caiu nos dias subsequentes para todas as variedades. Este comportamento de TCR máximas nas fases iniciais das cultivares seguido de queda corrobora estudos de Ramesh (2000), Gava et al. (2001) e Oliveira et al (2005), onde relatam que um dos motivos da TCR diminuir conforme a planta cresce é devido ao aumento da competição intraespecífica pelos principais fatores ambientais que são responsáveis pelo crescimento vegetal, como a luz, nutrientes e água.

Após os 206 DAP, a TCR foi inferior a  $0,01 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  para ambas as variedades. Porém, na última amostragem realizada (284 DAP), verifica-se um aumento de TCR em relação à amostragem anterior (248 DAP). Silva (2005) obteve ao fim do ciclo valores inferiores a  $0,005 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  enquanto que Oliveira et al. (2005) encontrou valores inferiores a  $0,01 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Valores abaixo  $0,001 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de são praticamente desprezíveis (SILVA, 2009).

A variação temporal da razão de área foliar (RAF) está apresentada na figura 27. Observa-se um comportamento semelhante para as quatro cultivares, com máximos próximos aos 87 DAP, decaindo em seguida. Os máximos encontrados foram, respectivamente,  $0,0035$ ,  $0,0034$ ,  $0,0031$  e  $0,0031 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , para a RB92579, RB966928, RB867515 e RB855156. Sob condições de sequeiro, Oliveira (2004) obteve máximos entre  $0,0025$  e  $0,0045 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , já Silva (2009) encontrou máximo de  $0,0026 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  para a RB92579. Este máximo seguido do decréscimo da RAF também foi observado em outros trabalhos (OLIVEIRA, 2005; SILVA et al., 2005; SILVA 2009). No início do ciclo, a maior parte da produção fotossintética da planta é destinada à formação da área foliar (SILVA, 2009). À medida que a planta se desenvolve, a potencialidade de produção de assimilação decresce, refletindo na RAF (ROSSETTO; NAKAGAWA, 2001). A RAF, expressa, portanto a área foliar útil para a fotossíntese (BENINCASA, 2003).

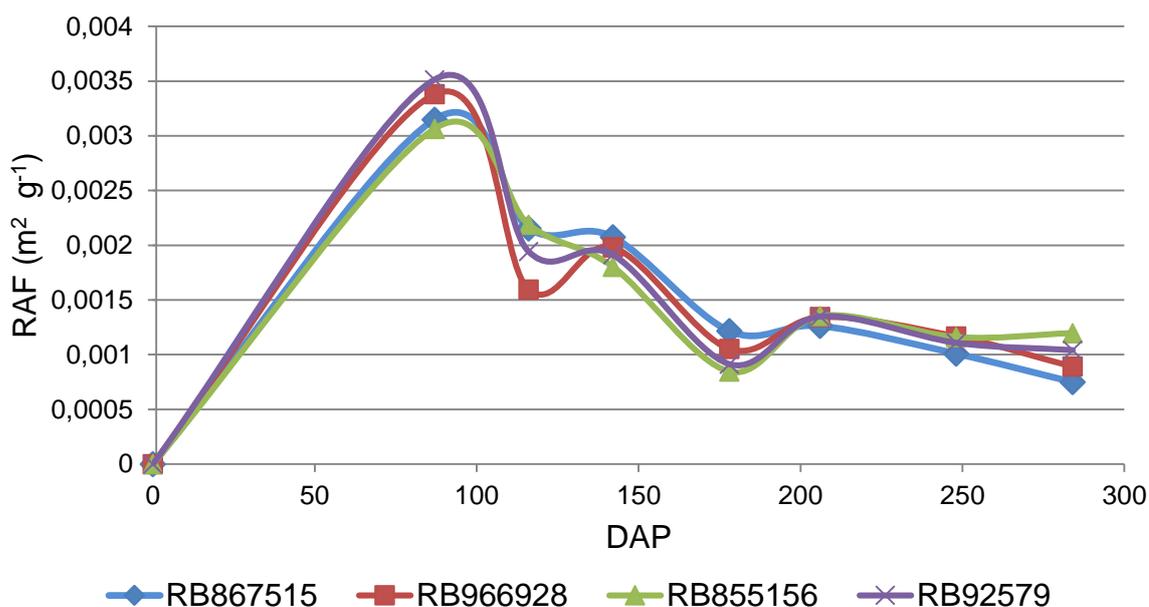


Figura 27 - Razão de área foliar específica (RAF –  $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.

A fração de matéria seca não exportada, ou seja, a fração da massa de matéria seca retida nas folhas em relação à massa de matéria seca acumulada na parta aérea da planta esta ilustrada na figura 28, razão de massa foliar (RMF) (MAGALHÃES, 1985; BENINCASA, 2003). Verifica-se que os valores máximos ocorreram nos primeiros dias do ciclo e que diminui ao longo dos dias após o plantio. Essa redução ao longo dos DAP ocorre devido a exportação de fotoassimilados em biomassa de colmos (SILVA, 2009).

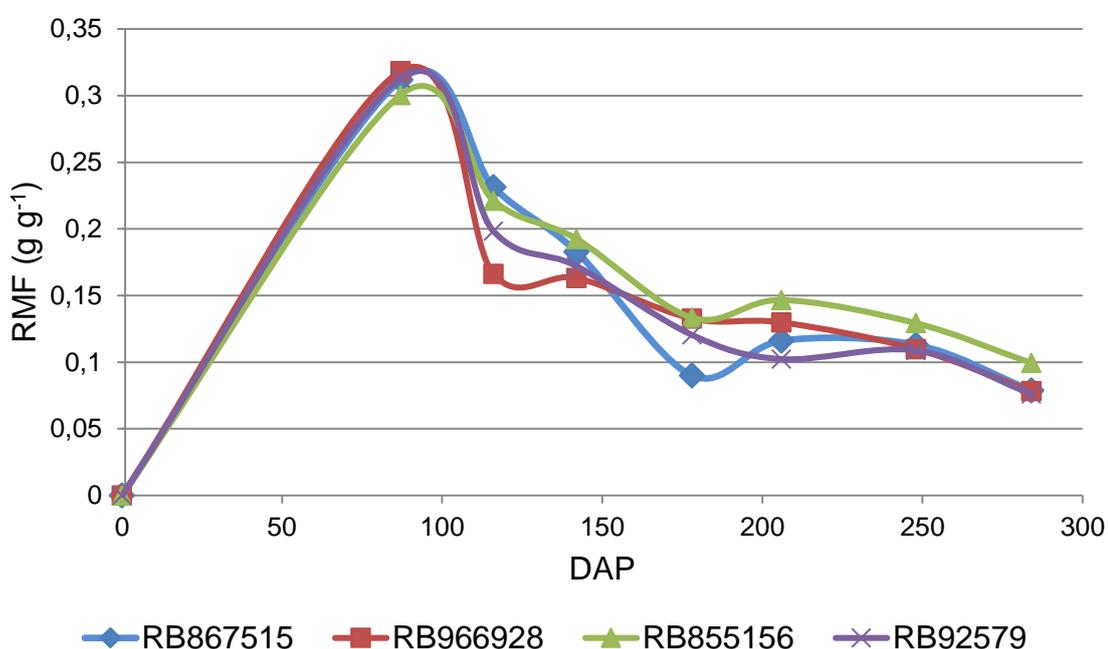


Figura 28 – Razão de massa foliar (RMF – g g<sup>-1</sup>) nas variedades RB867515, RB 966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.

Em relação à área foliar específica (Figura 29) observa-se comportamento de ligeiro acréscimo/decrécimo até/após 142 e 178 DAP para as cultivares RB966928 e RB867515, respectivamente. Já para as cultivares RB855156 e RB92579 apresentaram um comportamento de ligeiro decréscimo e acréscimo linear ao longo do ciclo, respectivamente. A média com as referentes oscilações foram: RB867515 – 0,011 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (0,009 a 0,013); RB966928 – 0,010 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (0,008 a 0,012); RB855156 – 0,009 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (0,006 a 0,012) e RB92579 – 0,011 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (0,007 a 0,014). Silva (2009) encontrou valores iniciais de AFE de 0,010 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> e finais de 0,018 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, observando aumento da AFE ao longo do ciclo. Silva (2005) encontrou variações de AFE na fase

inicial do ciclo entre 0,025 e 0,045  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  e ao fim o valor de 0,005  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ . Verifica-se tendência de diminuição da AFE ao fim do ciclo, corroborando os estudos de Silva (2005) e Oliveira (2005).

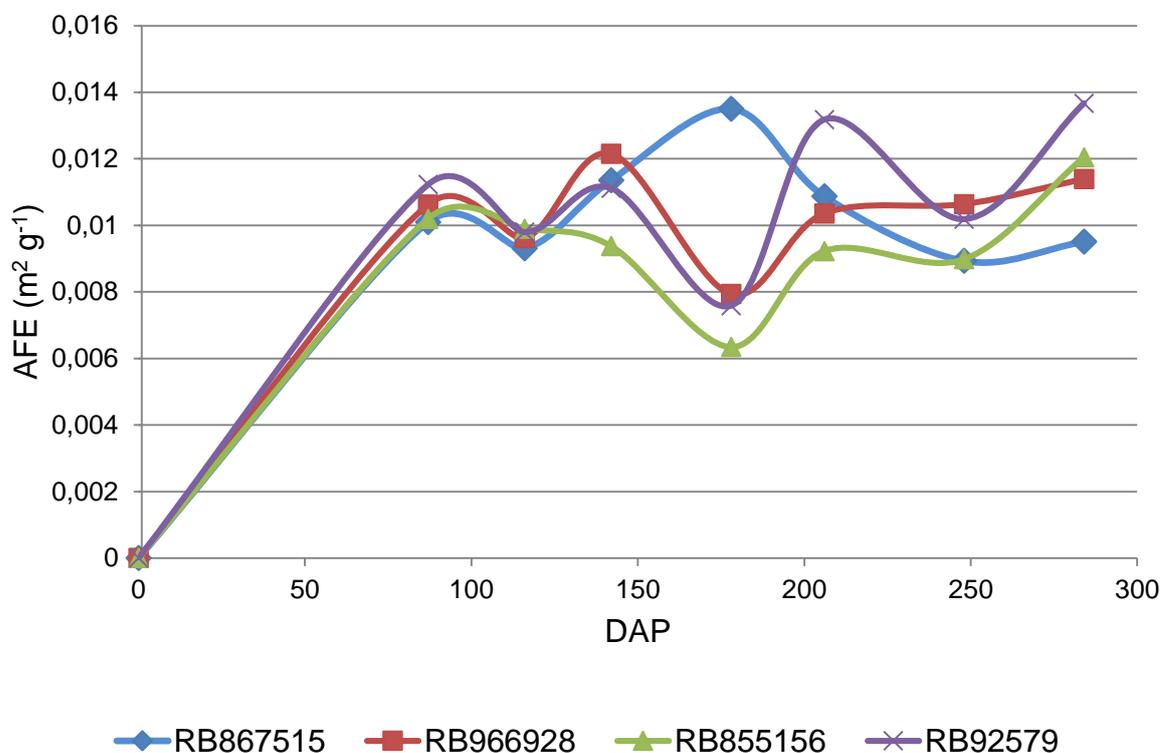


Figura 29 – Área foliar específica (AFE –  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB 966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.

A análise da taxa de assimilação líquida remete que o máximo apresentado pelas cultivares aconteceu aos 142 DAP (Figura 30). Os valores máximos em ordem decrescente foram: RB867515 – 11,24  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ; RB966928  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  – 11,17  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ; RB92579 – 8,84  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  e RB855156 - 5,24  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ . Valor máximo de 13,8  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  foi encontrado para a RB92579 (SILVA, 2009). Silva (2005) encontrou valores máximos entre 6 a 12  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ , dependendo da variedade. Oliveira et al. (2005) obteve valores na ordem de 10  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ . Grande parte dos fotoassimilados nesta fase inicial de crescimento são transformados em massa seca de folhas, indicado pela elevação do IAF, como pode ser verificado na figura 33 (OLIVEIRA et al., 2004). Este comportamento ocorre devido a alta conversão de energia em aparatos foliares, resultando em altas taxas de TAL (SHIMUBAKU et al., 1980; BENINCASA, 1988; RAMESH, 2000).

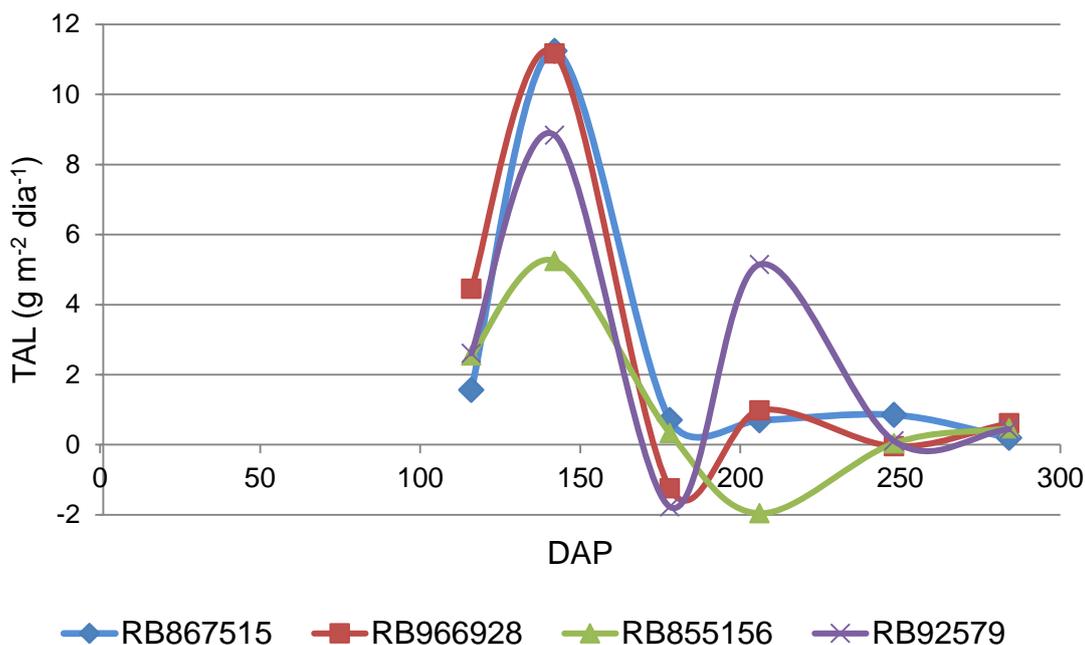


Figura 30 – Taxa de assimilação líquida (TAL – g m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>) nas variedades RB867515, RB 966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.

Nos dias seguintes, o IAF segue com aumento, como pode ser observado na figura 33. Este aumento de IAF causa a elevação do autossombreamento, que por sua vez interfere na interceptação de radiação solar e, conseqüentemente, decréscimo na TAL (OLIVEIRA et al., 2005; SILVA, 2009). Essa redução de TAL ocorre também como consequência da própria senescência da planta, observado pelo momento em que a quantidade de folhas verdes abertas e folhas emergentes passam a ser praticamente constante, como pode ser verificado na figura 31 e 32 (SILVA, 2009). A expansão foliar, o aumento da taxa de respiração de manutenção e a elevação da temperatura ambiente também estão aliados à redução da TAL (WOLEDGE; LEAFE, 1976; PARSONS et al., 1983; GOMIDE; GOMIDE, 1999). Os mais altos valores médios da TAL foram observados para as variedades RB966928, RB92579, RB867515 e RB855156, com médias de, 2,65, 2,56, 2,54 e 1,11 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

Ao fim do ciclo (284 DAP), obtiveram-se valores entre 0,2 a 0,6 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> de TAL para as cultivares avaliadas. Silva (2009) encontrou ao fim do ciclo de 348 DAC valores de 0,4 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, enquanto que Oliveira et al. (2005) obteve aos 497 DAP valores mais elevados, na ordem de 6 a 7 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

A taxa de crescimento da cultura esta apresentado na Figura 31. Observa-se

que as quatro cultivares apresentam TCC similares até 142 DAP. Após, a cultivar RB855156 continua a aumentar sua TCC, representando maior acúmulo de massa seca por dia que as demais cultivares, ao passo que a cultivar RB92579 apresenta a menor TCC aos 178 DAP, representando o menor acúmulo de massa seca por dia. Este resultado está coerente com o acúmulo de biomassa seca (Figura 25), que mostra que a cultivar RB855156 apresentou maior acúmulo de biomassa seca e a cultivar RB92579 apresentou o menor. O decréscimo da TCC das cultivares após os 206 DAP pode estar relacionada com a queda de temperatura (Figura 12) durante o período de maturação das cultivares (RAMESH, 2000). No entanto, ao fim do ciclo (284 DAP), notou-se crescimento da TCC. Este comportamento de crescimento durante o período de maturação foi observado também em estudos de Oliveira et al. (2005), e, pode ser resultado do aumento de temperatura e radiação solar global observado ao fim do ciclo (FIGURAS 12 e 13a).

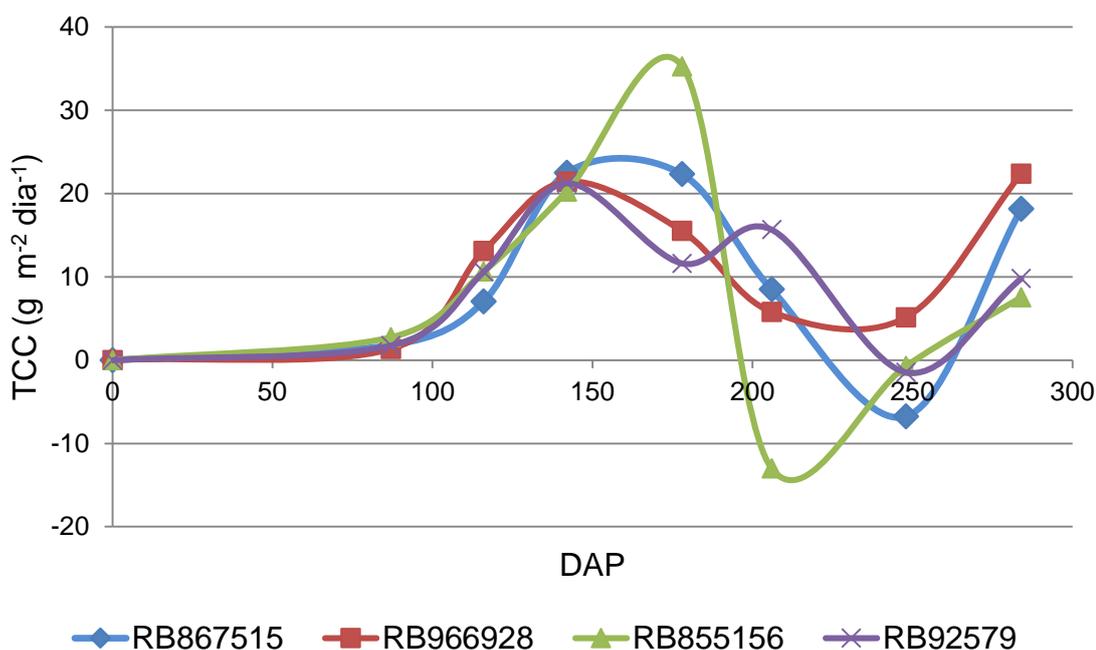


Figura 31 - Taxa de crescimento da cultura (TCC – g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) nas variedades RB867515, RB 966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.

Os valores máximos da taxa de crescimento absoluto foram de 31,50 g dia<sup>-1</sup> para a RB867515, 31,34 g dia<sup>-1</sup> para a RB966928, 49,38 g dia<sup>-1</sup> na RB855156 e 29,73 g dia<sup>-1</sup> para a RB92579 (Figura 32). Valores máximos de TCA de 35 e 43 g dia<sup>-1</sup> foram encontrados no Estado de São Paulo (VITTI et al., 2008). Um pouco mais ao sul, no Estado do Paraná, foram encontrados valores de 27 g dia<sup>-1</sup> (OLIVEIRA, 2005). Apesar

de apresentar a TCA máxima, a variedade RB855156 mostrou ter a menor média no ciclo avaliado, com  $12,54 \text{ g dia}^{-1}$ . A maior média foi apresentada pela cultivar precoce RB966928, com  $16,93 \text{ g dia}^{-1}$ .

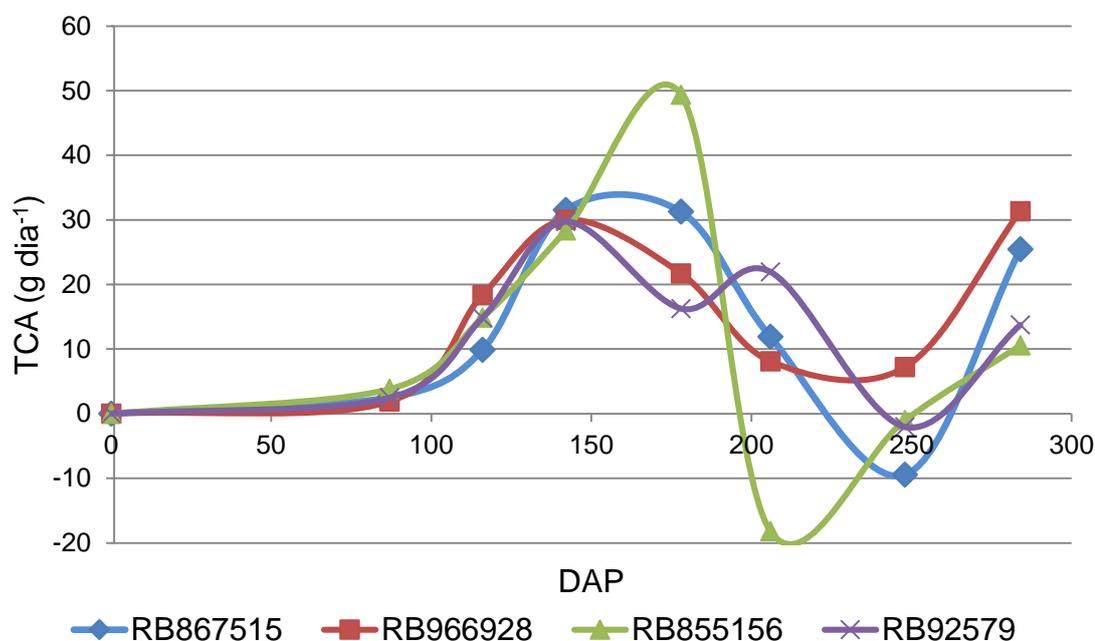


Figura 32 - Taxa de crescimento absoluto (TCA –  $\text{g dia}^{-1}$ ) nas variedades RB867515, RB 966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva.

A partir das amostras destrutivas, o maior índice de área foliar foi apresentado pela RB855156, com  $3,94 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , aos 178 DAP. O IAF máximo apresentado na variedade RB92579 foi de  $2,81 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , aos 206 DAP, valor inferior ao encontrado por Ferreira Junior et al. (2012) para esta cultivar, que foi de  $3,84 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . As variedades RB867515 e RB966928 apresentaram máximos de IAF também aos 206 DAP, com  $3,45$  e  $3,29 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , respectivamente. Valores máximos de  $2,51$  e  $4,79 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  foram encontrados para as variedades RB72454 e RB951541 por Ferreira Junior et al. (2012). O rápido aumento do IAF das quatro cultivares indicam crescente interceptação de luz, que por sua vez refletiu na TCC. A partir de 206 DAP observa-se que o IAF de todas as variedades decaiu. Queda no IAF ao fim do ciclo foi observado em diversos trabalhos (OLIVEIRA et al., 2004; SILVA, 2009; FERREIRA JUNIOR et al, 2012; OLIVEIRA, 2013) e está relacionado ao autossombreamento da planta. O maior número de perfilho durante todo o ciclo foi apresentado pelas cultivares precoces RB855156 e RB966928 (Tabela 10, 11, 12). Entretanto, o maior

número de perfis na fase inicial não indicou maior elevação do IAF e de biomassa fresca quando comparada as cultivares tardias. O elevado perfilhamento inicial é uma característica inadequada para a obtenção de variedades novas, uma vez que isso promove gasto energético, o que não é necessariamente sinônimo de produtividade (TERAUCHI, MATSUOKA, 2000; TERAUCHI et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2004).

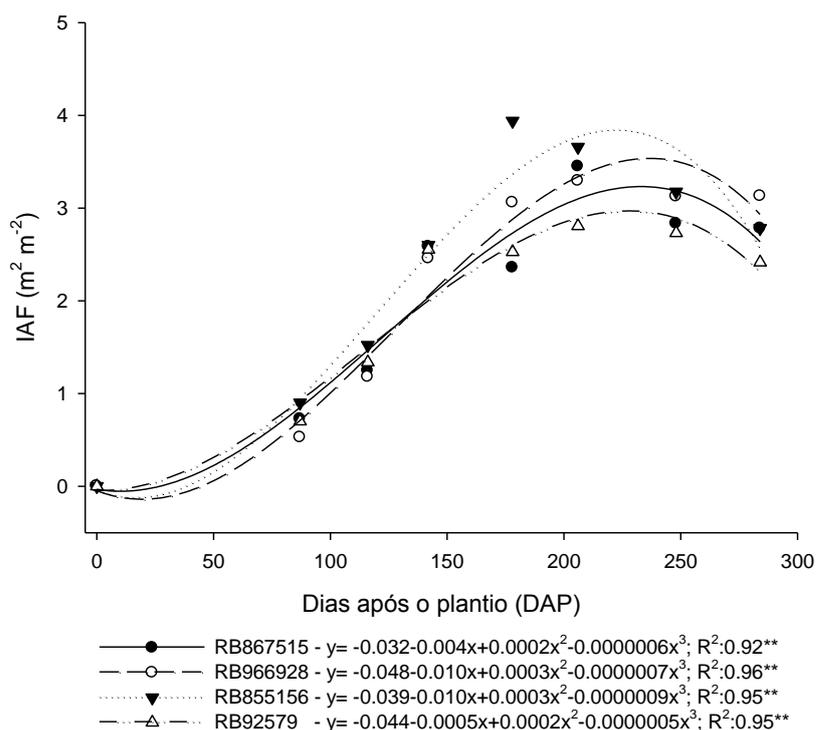


Figura 33 - Evolução do Índice de área foliar ( $m^2 m^{-2}$ ) nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, no cultivo de cana planta, em função dos dias após o plantio (DAP). Análise destrutiva. \* não significativo a 5% segundo teste de Tukey. \*\* não significativo a 1% segundo teste de Tukey.

A produtividade estimada por hectare (TCH<sub>e</sub>) segundo a metodologia e Martins e Landell (1995) estimou para as variedades RB861515, RB966928, RB855156 e RB92759 aos 284 DAP, isto é, 9 meses e 14 dias, as respectivas produtividades: 146,4, 162, 148,3, e 142 ton ha<sup>-1</sup>, mostrando que a TCH<sub>e</sub> subestimou em 7,44, 6,02 e 7,56% as produtividades da RB867515, RB966928 e RB92579 e superestimou em 8,37% a produtividade da RB857515, quando comparada com a produtividade das amostras destrutivas. Portanto, a TCH<sub>e</sub> estimou valores de produtividade com menos de 10% de erro para o ciclo avaliado.

#### 4.4 Análise da radiação solar global

#### 4.4.1 Radiação solar transmitida, interceptada e refletida

As figuras 34 e 35 mostram, respectivamente, a fração de radiação solar global ( $R_g$ ) transmitida e interceptada ao longo do dossel pelas cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579. A  $R_g$  foi registrada nas cultivares de 12/12/2014 (63 DAP) até 28/07/2015 (288 DAP), totalizando 225 dias de monitoramento da mesma no experimento.

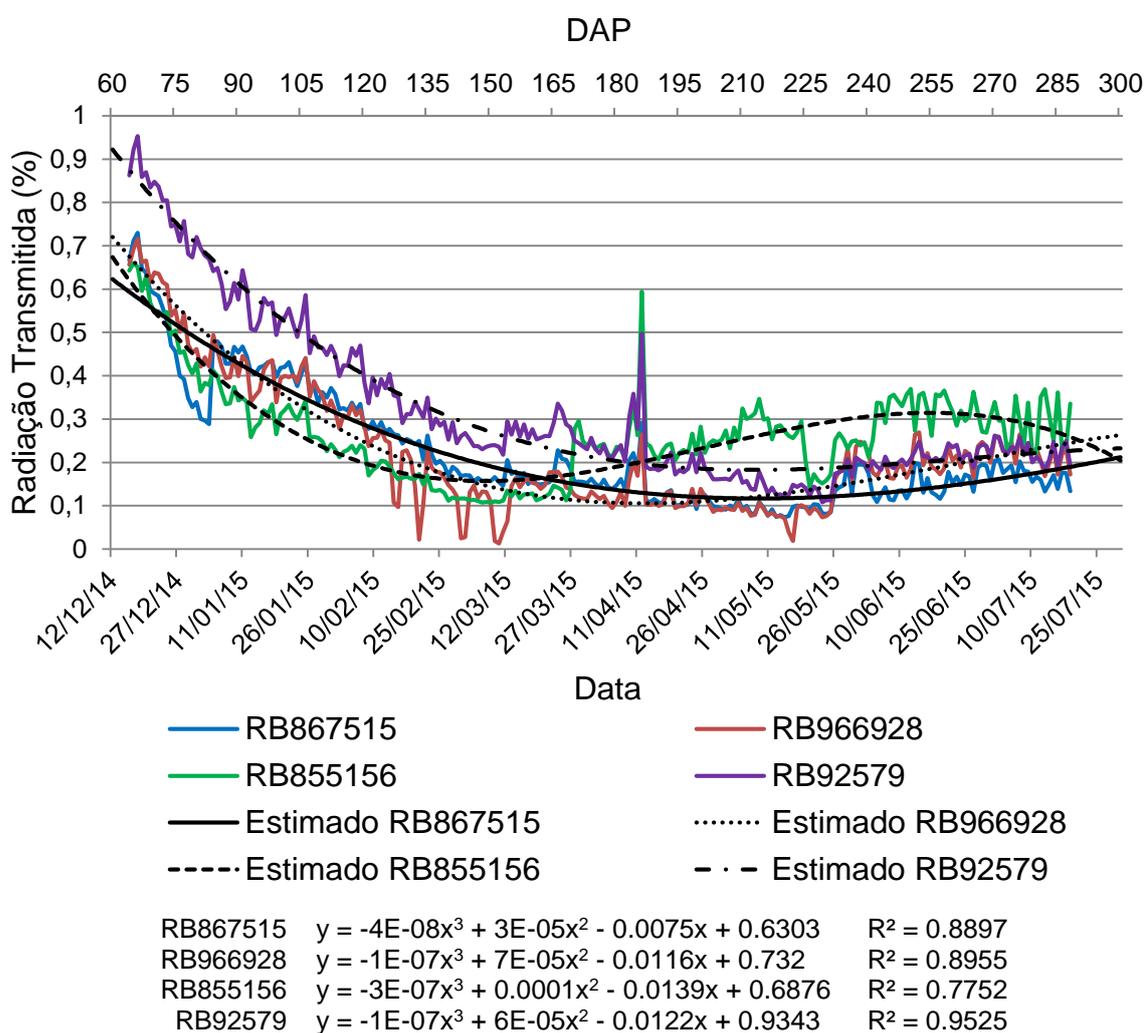


Figura 34 – Radiação solar global transmitida das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, entre 15 de dezembro de 2014 (63 DAP) a 28 de julho de 2015 (288 DAP). Linhas coloridas indicam os valores experimentais. Linhas escuras indicam os valores estimados.

A análise das respostas das cultivares em relação à radiação solar global revela que inicialmente, dos 63 aos 95 DAP, as cultivares precoces RB966928 e RB855156 apresentaram maior vigor de estabelecimento, i.e. apresentaram maior interceptação da radiação (menos radiação transmitida até a base do dossel) em relação as outras

duas cultivares. A cultivar RB867515 apresentou um menor vigor inicial, mas após estabelecida apresentou valores similares, as cultivares RB966928 e RB855156, de interceptação de radiação. A cultivar RB92579 foi a que apresentou menor capacidade de interceptação de radiação, até aproximadamente 180 DAP, apesar de não possuir diferença significativa no número de perfilhos por metro quadrado em relação às outras três cultivares ao fim da fase de perfilhamento e de crescimento vegetativo (Tabela 10 e 11). Esse comportamento está coerente com o perfil de desenvolvimento para essa cultivar, que é caracterizada como tendo velocidade de crescimento lento.

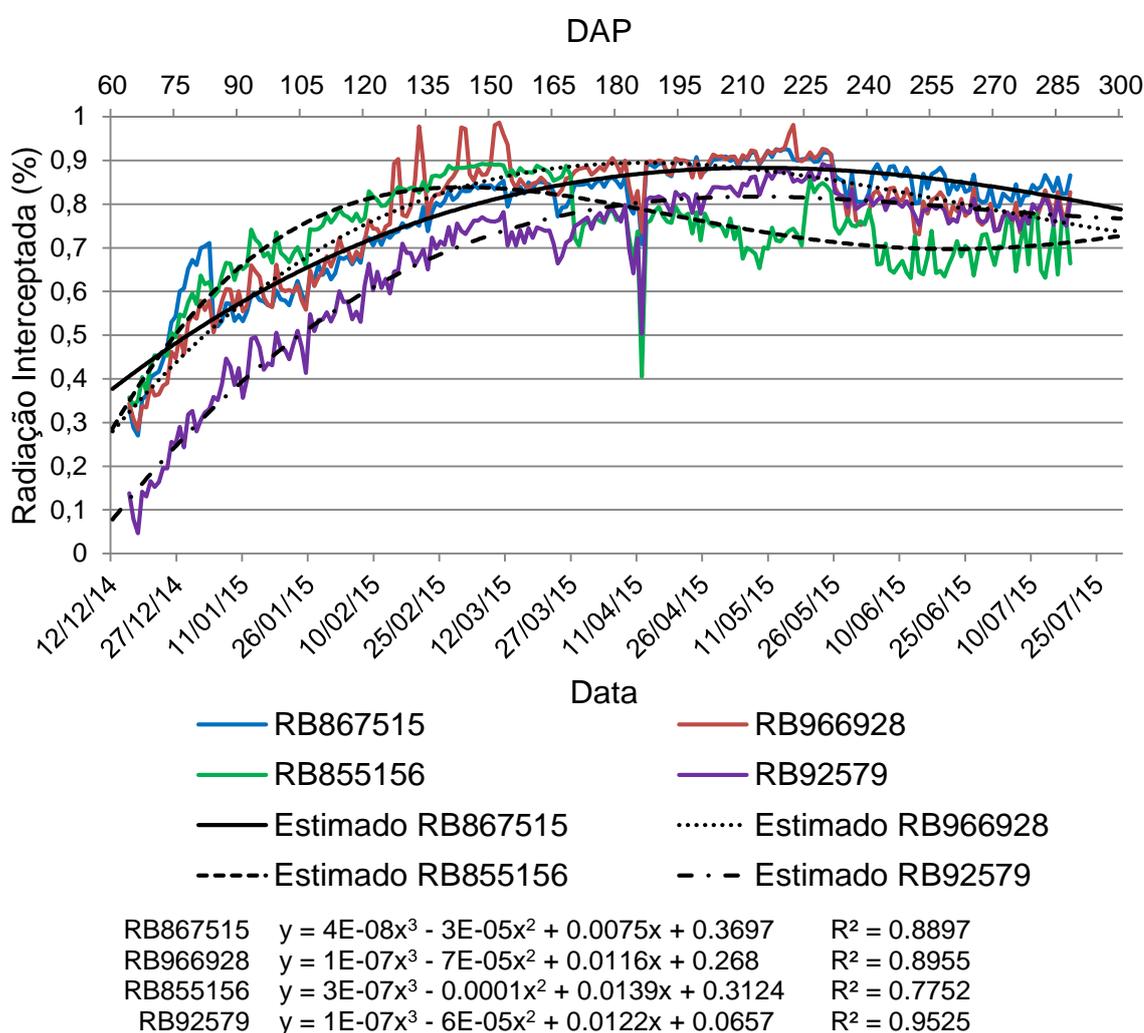


Figura 35 - Radiação solar global interceptada das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, entre 15 de dezembro de 2014 (63 DAP) a 28 de julho de 2015 (288 DAP). Linhas coloridas indicam os valores experimentais. Linhas escuras indicam os valores estimados.

Para a cana-de-açúcar ter rápido crescimento na fase de perfilhamento, são necessárias características morfológicas que favoreçam a interceptação de radiação solar (OLIVEIRA et al., 2005). As duas cultivares precoces, i.e., a RB966928 e

RB855156 mostraram características de interceptação luminosa mais propícia ao rápido desenvolvimento e crescimento na fase inicial do que as cultivares tardias.

Dos 200 DAP, data na qual as cultivares entraram em processo de maturação, nota-se um ligeiro aumento na radiação transmitida, ou seja, a radiação interceptada pelo dossel das cultivares foi menor em relação ao período anterior. O Destaque ocorreu na RB855156, que apresentou essa queda na radiação interceptada pelo dossel mais acentuada que as demais variedades avaliadas. Algumas das características dessa variedade é o hábito de crescimento decumbente e tombamento eventual (RIDESA, 2010). Essas características associadas com as rajadas de vento que foram registradas podem ter provocado o tombamento permanente dos colmos, influenciando a radiação interceptada ao longo do dossel, acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, sido o responsável pelo comportamento distinto verificado unicamente nesta variedade.

A figura 36 mostra a radiação solar global refletida pelo ecossistema, i.e., o albedo do dossel da cultura combinado a cobertura do solo. Inicialmente, o albedo de todas as variedades foi da ordem de 0,2, enquanto que no fim foi observado albedo de até 0,35. Isso indica que durante o ciclo de cana planta é refletido pelo ecossistema de 20 a 35% da radiação solar global incidente.

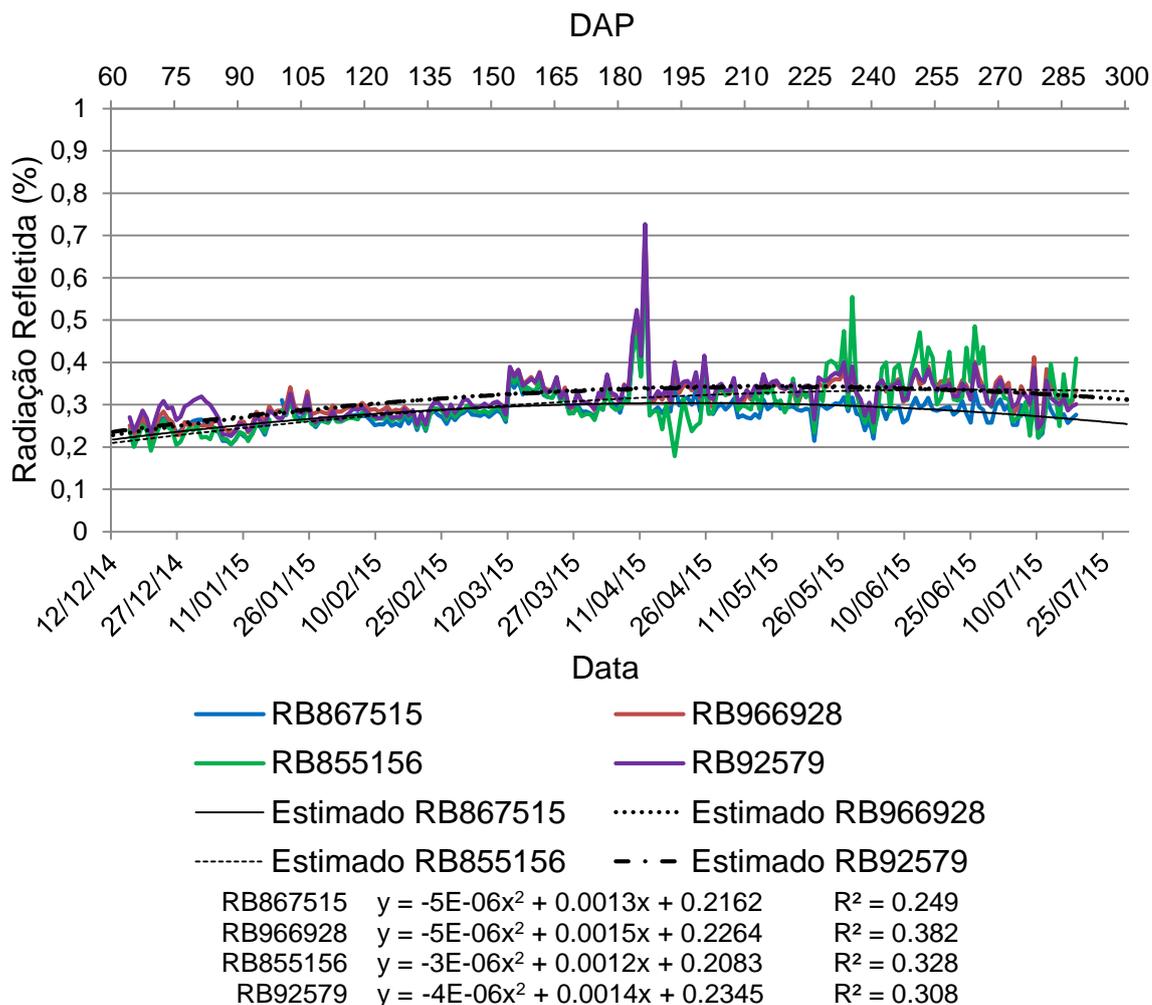


Figura 36 - Radiação solar global refletida pelo dossel das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, entre 15 de dezembro de 2014 (63 DAP) a 28 de julho de 2015 (288 DAP). Linhas coloridas indicam os valores experimentais. Linhas escuras indicam os valores estimados.

#### 4.4.2 Radiação solar e o índice de área foliar

A fração de radiação interceptada e índice de área foliar para as cultivares RB867515 e RB966928 estão representados na figura 37 e, para as cultivares RB855156 e RB92579 estão apresentados na figura 38. Nas duas primeiras amostras destrutivas, aos 87 e 116 DAP, menos de 40% da radiação solar global estava sendo interceptada e o IAF foliar era de aproximadamente  $1,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  para as variedades analisadas. As cultivares precoces RB966928 e RB855156 atingiram 80% de interceptação de  $R_g$  aos 120 e 135 DAP, respectivamente. Entretanto, as cultivares médias tardias RB867515 e RB92579 atingiram essa porcentagem de interceptação mais tarde, aos 150 e 185 DAP. Em ciclo de cana soca, Silva (2009) notou que foram necessários 132 dias para que o mesmo acontecesse com a RB92579. Para as varie-

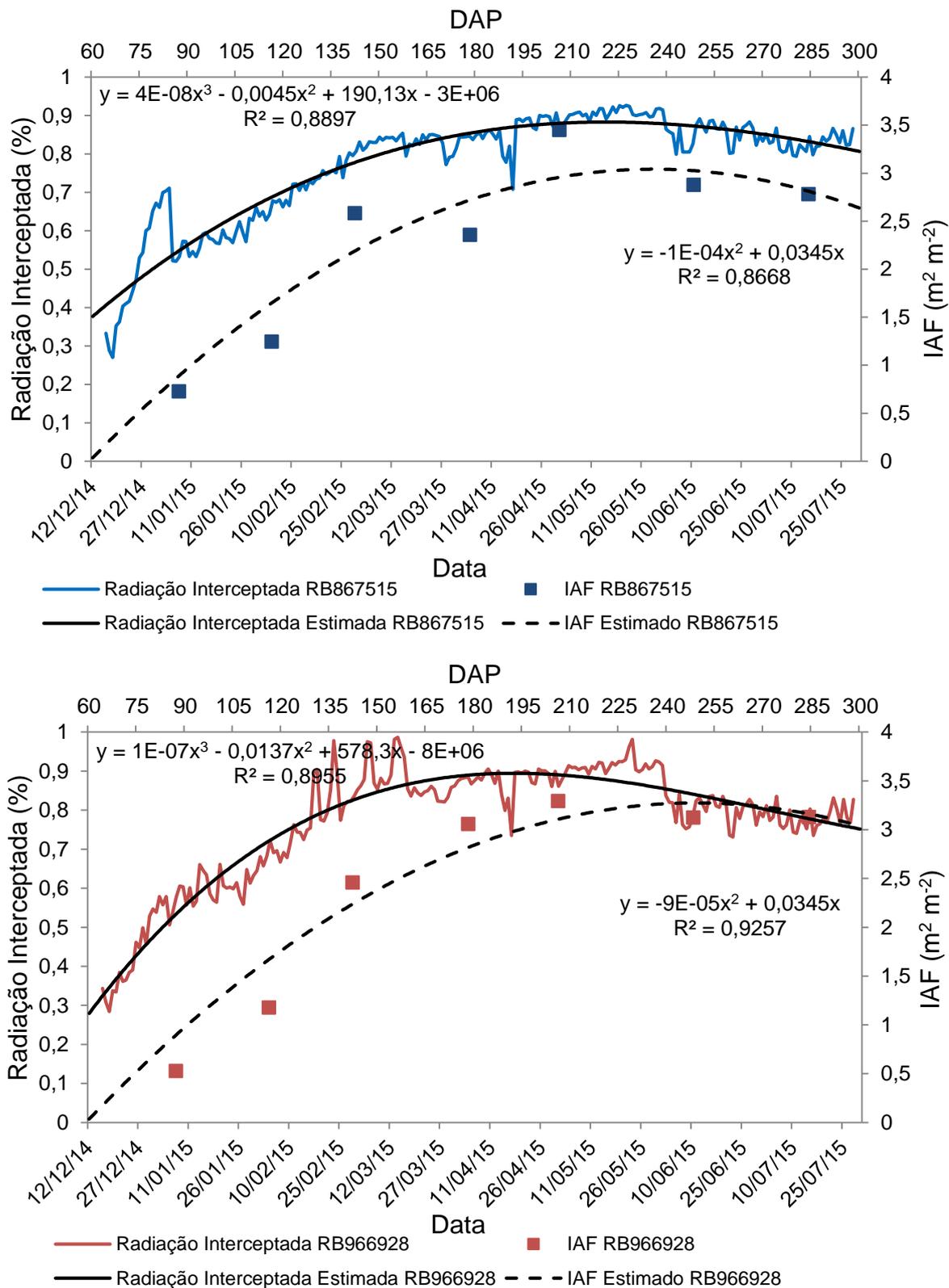


Figura 37 – Fração de radiação interceptada (%) e índice de área foliar (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) das cultivares RB867515 (superior) e RB966928 (inferior). Linhas e pontos coloridos indicam os dados experimentais. Linhas negras indicam os valores estimados.

dades NCo376 e CP66/1043 com ciclo iniciado em dezembro, Singels et al. (2005) encontrou valores de 100 e 120 DAC. Quando o ciclo foi iniciado mais cedo, em junho,

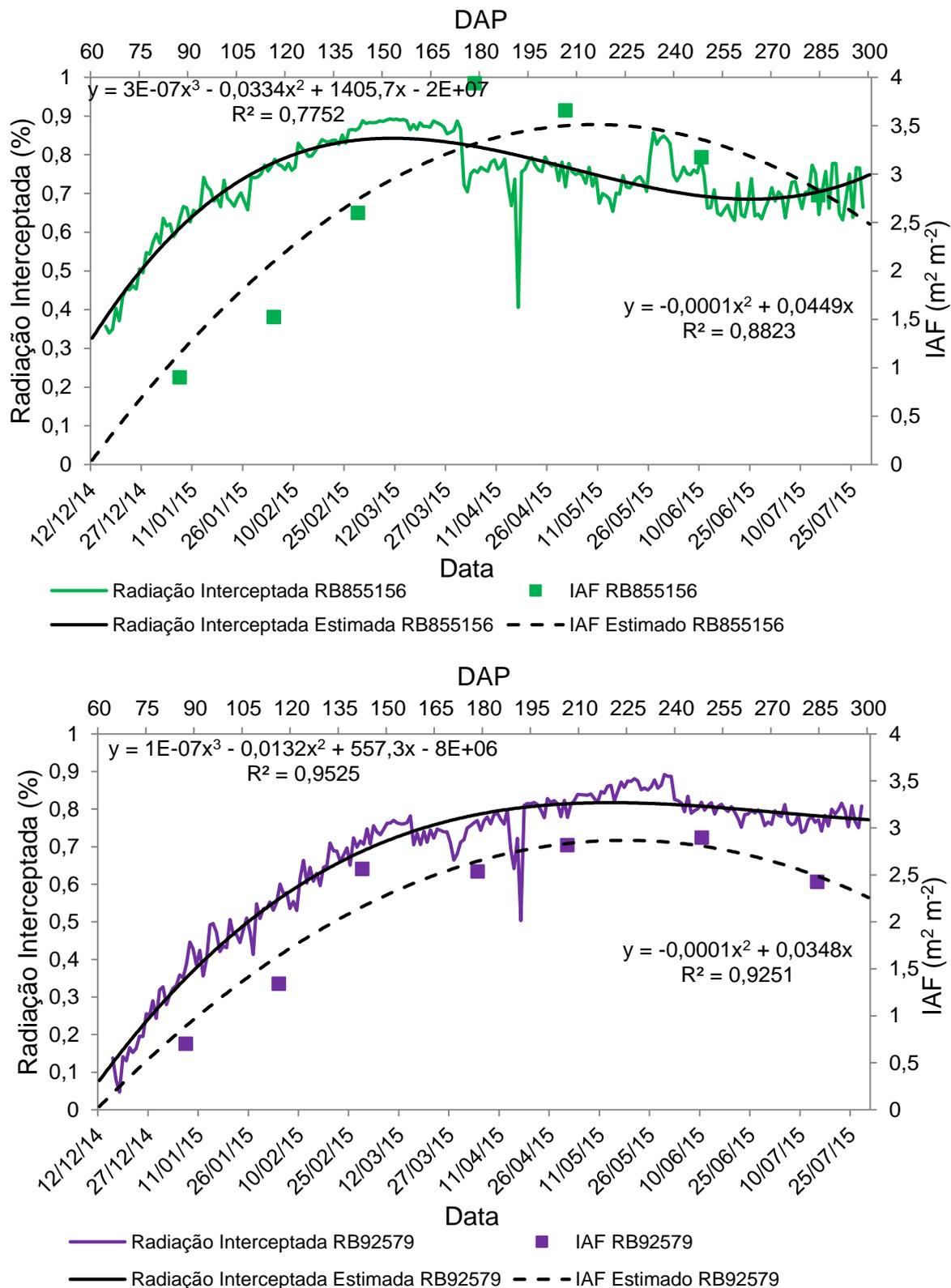


Figura 38 – Fração de radiação interceptada (%) e índice de área foliar ( $m^2 m^{-2}$ ) das cultivares RB855156 (superior) e RB92579 (inferior). Linhas e pontos coloridos indicam os dados experimentais. Linhas negras indicam os valores estimados.

as cultivares demoraram 180 e 230 DAC para atingir os 80% e cobrir todo o solo.

Três cultivares apresentaram valores máximos de IAF aos 206 DAP (Figura

35). Neste dia, as variedades RB867515, RB966928 interceptaram cerca de 90% da Rg incidente e a RB92579 cerca de 70%. O acúmulo de biomassa fresca até esta data aconteceu de forma contínua (Figura 25). A cultivar RB855156 foi a que apresentou o maior índice de área foliar dentre as quatro cultivares avaliadas, atingindo IAF máximo de  $3,94 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , aos 178 DAP e cerca de 84% de Rg interceptada. Entretanto, após esta data a Rg interceptada e o IAF diminuíram.

Após atingir o máximo, as variedades precoces apresentam queda no IAF e na Rg interceptada. Já as variedades tardias, tendem a estabilizar a fração de interceptação de Rg mesmo com queda no IAF. Esse comportamento corrobora estudo como o de Souza (2009).

#### 4.4.3 Coeficiente de extinção

Na figura 39 são mostradas a relação entre a fração de Rg interceptada com o índice de área foliar para cada uma das cultivares avaliadas, indicando os valores experimentais e estimados do coeficiente de extinção, segundo a lei de Beer (DE COSTA, 2000).

Segundo as condições experimentais, o maior  $k_e$  foi apresentado pela cultivar RB966928, seguido da RB867515, com 0,75 e 0,70, respectivamente. Estas cultivares apresentam, respectivamente, hábito de crescimento semi-decumbente e ereto (RIDESA, 2010). A cultivar com menor  $k_e$ , a RB92579, de hábito de crescimento semi-decubente, apresentou 0,62, valores próximo ao encontrado por Inman-Bamber (1994), que foi de 0,58, e abaixo de 0,72 obtido por Silva (2009), para esta cultivar. A RB855156 apresentou  $k_e$  de 0,66, valor superior ao relatado por Scarpari e Beauclair (2008b) em experimento realizado em Piracicaba, Estado de São Paulo – BR, onde encontrou  $k_e$  de 0,467 para a cultivar SP80-3280 e 0,58 para a RB855156. Essa diferença numérica nos valores do  $k_e$  entre as cultivares indicam que a arquitetura e as propriedades ópticas do dossel das cultivares influenciaram a radiação interceptada, uma vez que o  $k_e$  expressa a influência das propriedades ópticas das folhas e da geometria do dossel na atenuação da luz (VARLET-GRANCHER et al., 1989).

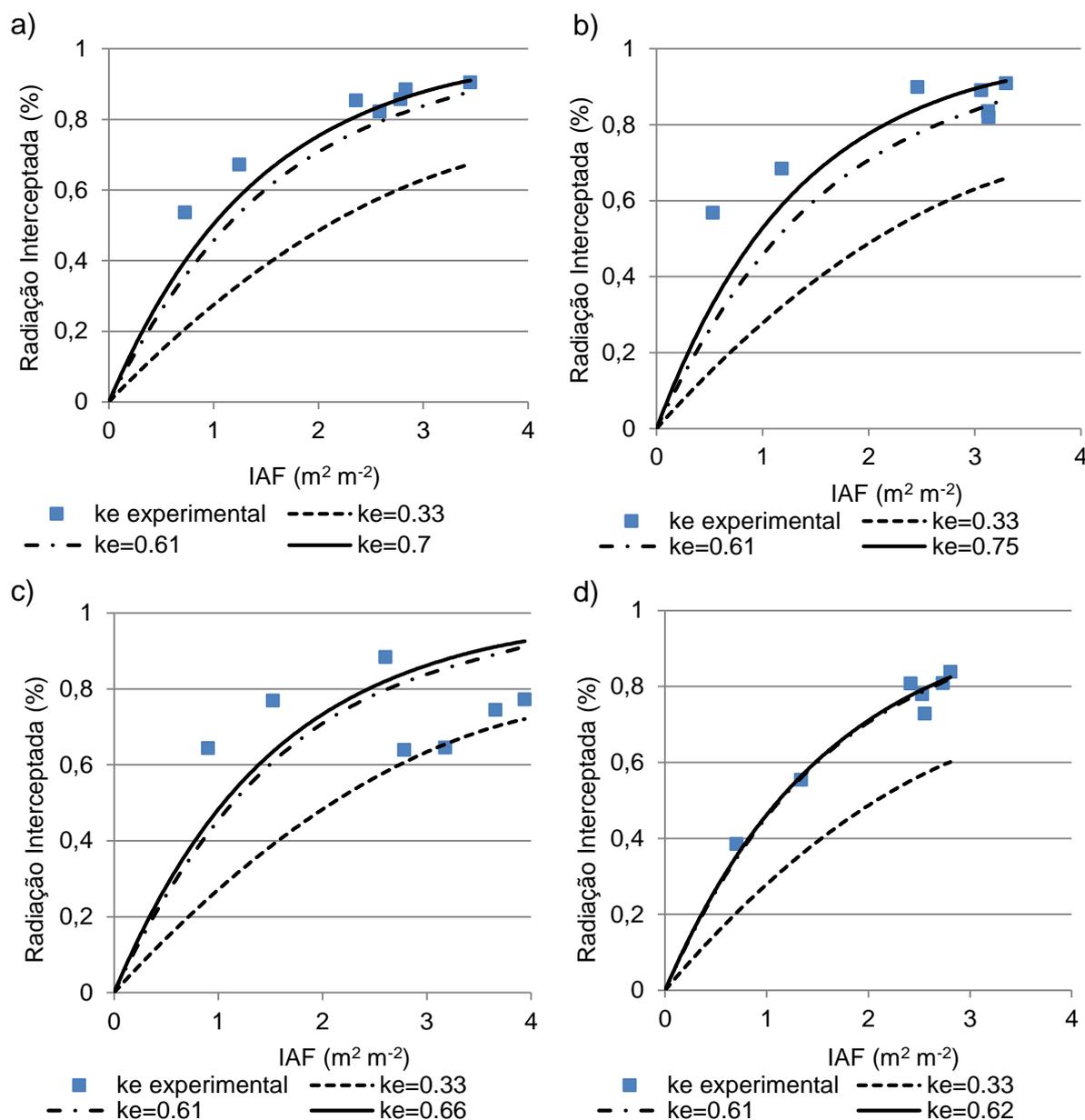


Figura 39 – Fração de radiação solar interceptada pelo dossel em função do índice de área foliar para as cultivares RB867515 (a), RB966928 (b), RB855156 (c) e RB92579 (d), segundo a Lei de Beer, usando  $k_e=0.33$  (linha tracejada),  $k_e=0.61$  (linha traço ponto),  $k_e$  experimental (pontos) e  $k_e$  estimado (linha contínua).

Os valores encontrados em nosso experimento estão de forma geral acima do encontrado na literatura. Estudos de Muchow et al. (1994) indicaram valores de  $k_e=0,38$  para cana-de-açúcar na Austrália. Park et al. (2005) em pesquisa com cana-de-açúcar no leste da Austrália encontraram valores de 0,4. No Sri Lanka, foram determinados valores de  $k_e$  para oito cultivares, onde na média, encontrou-se  $k_e$  de 0,41 em experimento conduzidos em condições de sequeiro e de 0,25 em condições experimental com irrigação (DE SILVA, DE COSTA, 2012).

Trabalhos dos quais foram utilizados sensores que medem na faixa espectral fotossinteticamente ativa (PAR), como o de Inman-Bamber (1994), encontrou  $k_e=0,55$  para cana-de-açúcar na África do Sul. Pesquisa no Zimbábue relataram valores de  $k_e$  de 0,41 a 0,61 (ZHOU et al., 2003). Experimentos trabalhando com diferentes espaçamentos em Alagoas-BR, notou-se que em espaçamento único os valores de  $k_e$  variaram de 0,36 a 0,53, enquanto que para espaçamento combinado os valores de  $k_e$  foram de 0,45 a 0,56, i.e., apresentaram um range menor em comparação ao espaçamento simples (FERREIRA JUNIOR, 2013).

A figura 40 ilustra a relação entre a fração de  $R_g$  interceptada com o índice de área foliar estimado para cada uma das cultivares avaliadas. Apesar da diferença numérica do  $k_e$  supra discutida dentre as quatro cultivares avaliadas, observa-se que o comportamento da relação entre o IAF e a  $R_g$  interceptada é semelhante, mesmo cada cultivar possuindo hábito de crescimento distintos segundo a Ridesa (2010). Além disto, outras características podem influenciar no  $k_e$ , como a inclinação das folhas, velocidade de crescimento, tombamento e etc.

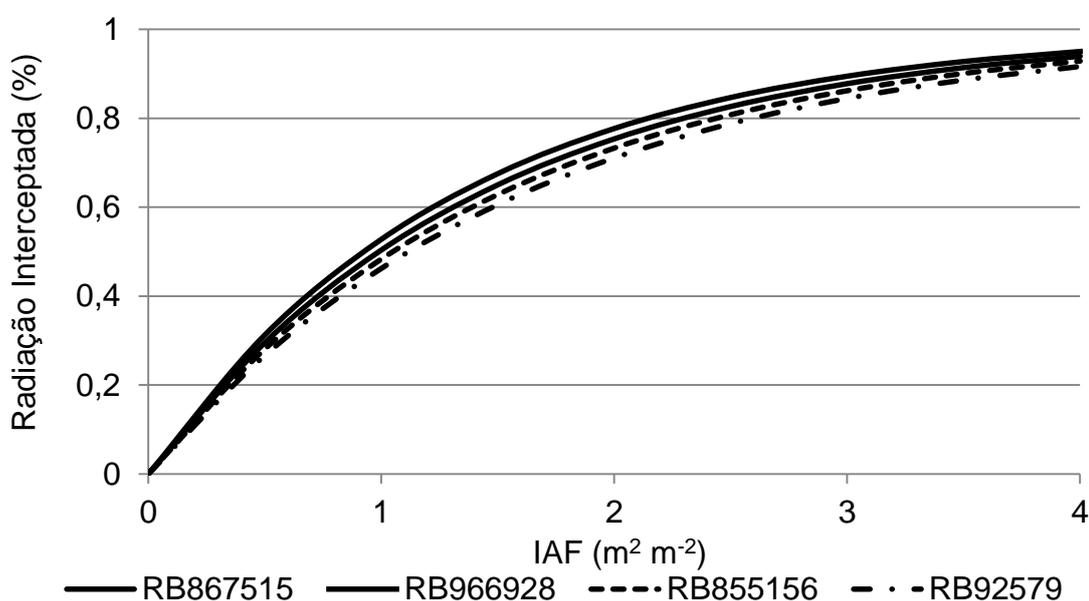


Figura 40 - Fração de radiação solar interceptada pelo dossel em função do índice de área foliar estimado para as cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, segundo a Lei de Beer.

#### 4.4.4 Biomassa seca e radiação solar global

O particionamento da matéria seca (MS) e a radiação solar global ( $R_g$ )

interceptada acumulada ao longo dos DAP para as quatro cultivares avaliadas estão mostrados nas Figuras 41 e 42. A massa de MS para a variedade RB867515 variou de 0,22 kg m<sup>-2</sup> aos 87 DAP para 3,3 kg m<sup>-2</sup> aos 284 DAP. A maior variação de MS ocorreu na RB966928, de 0,16 para 3,91 kg m<sup>-2</sup>, aos 87 e 284 DAP, respectivamente. A RB855156 apresentou variação de 0,33 para 3,11 kg m<sup>-2</sup> enquanto que a RB92579 mostrou variação de 0,21 para 3,02 kg m<sup>-2</sup>, aos 87 e 284 DAP, respectivamente. Aos 87 DAP não se observou MS de colmos, e aos 116 DAP nota-se que a MS dos colmos foi inferior a soma da MS dos outros componentes da planta (palmito, folhas verdes, folhas emergentes e folhas mortas). Esse fato foi observado por Ferreira Júnior (2013), onde os colmos representaram 39% da MS total aos 169 DAP e justificou que isso acontece devido ao baixo número de entrenós, que era menor que 5 por planta neste dia.

Nas cultivares tardias, a RB867515 e RB92579, nota-se aumento gradual da MS praticamente em todas as amostragens realizadas (87, 116, 142, 178, 206 e 284 DAP). A amostragem aos 248 DAP foi a exceção, na qual notou-se uma ligeira queda da matéria seca, mas que depois foi recuperada na amostragem seguinte (284 DAP). Observa-se que dos 87 aos 206 DAP foi o período que ocorreu o maior incremento de MS, indicando o período de crescimento vegetativo, fase fenológica em que ocorreu o maior acréscimo de radiação interceptada acumulada e taxa de radiação acumulada, como ilustra a figura 43.

A variedade RB966928 foi a que demonstrou um comportamento padrão em relação as outras três cultivares estudadas. Observa-se que o acúmulo de matéria seca aconteceu de maneira contínua, com aumento gradual de MS de colmos e de folhas mortas ao longo das amostragens enquanto que a quantidade de matéria seca provenientes de palmito, folhas verdes e emergentes foram praticamente contínuas, mostrando que a massa perdida devido a senescência das folhas mais antigas é compensada pelo surgimento de folhas novas, mantendo um valor constante de folhas verdes, segundo relato de Ferreira Júnior (2010).

A RB855156 apresentou aumento gradual na MS entre as amostragens 116, 142 e 178. Em seguida, sofreu uma queda de MS total, voltando a apresentar aumento apenas na última amostragem, aos 284 DAP. Este fato pode ser reflexo do acamamento, que como já foi dito anteriormente, mostrou-se intenso nesta cultivar e que acarreta quebra e mortes dos colmos (VAN HEERDEN et al., 2010).

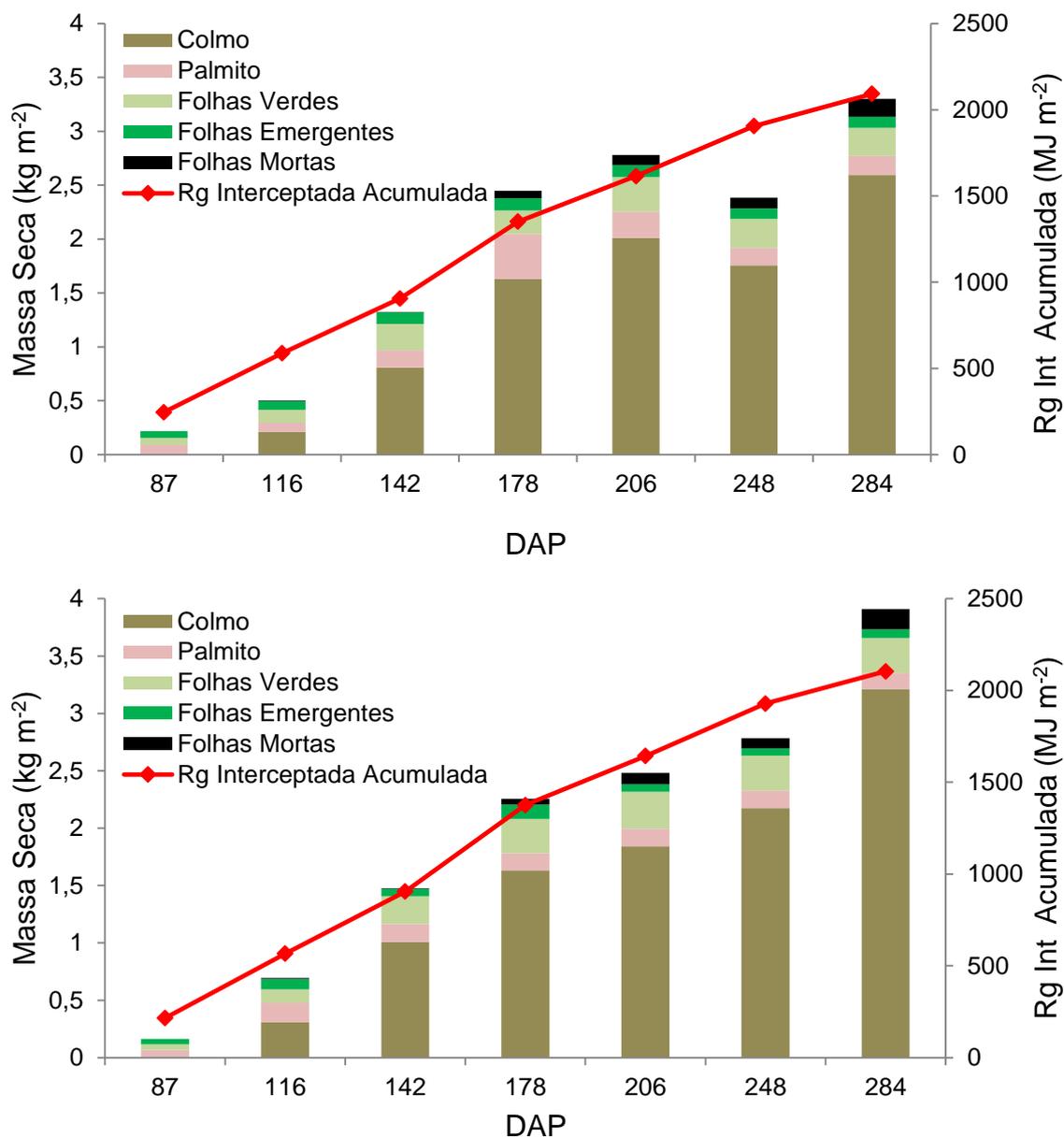


Figura 41 – Massa de matéria seca e radiação solar interceptada acumulada (Rg Int Acumulada) em função dos dias após o plantio (DAP) das cultivares RB867515 (superior) e RB966928 (inferior).

A radiação solar global interceptada acumulada pelo dossel durante o ciclo avaliado foi semelhante para três cultivares, a RB966928, RB867515 e RB855156, com 2103,8, 2092,4 e 2063,1 MJ m<sup>-2</sup>, respectivamente. A variedade RB92579 foi a que apresentou o menor acúmulo de Rg interceptada pelo dossel, com total de 1747,9 MJ m<sup>-2</sup> aos 284 DAP. O período onde ambas cultivares mais acumularam Rg foi entre 116 e 178 DAP, como pode ser visto pela inclinação da Rg acumulada na Figura 43a. Nestes dias, a Rg média incidente sobre o topo do dossel foi 15,62 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. As

taxas de Rg acumulada foram de  $12,13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para a RB867515,  $12,73 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para a RB966928 e  $13,32 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para a RB855156.

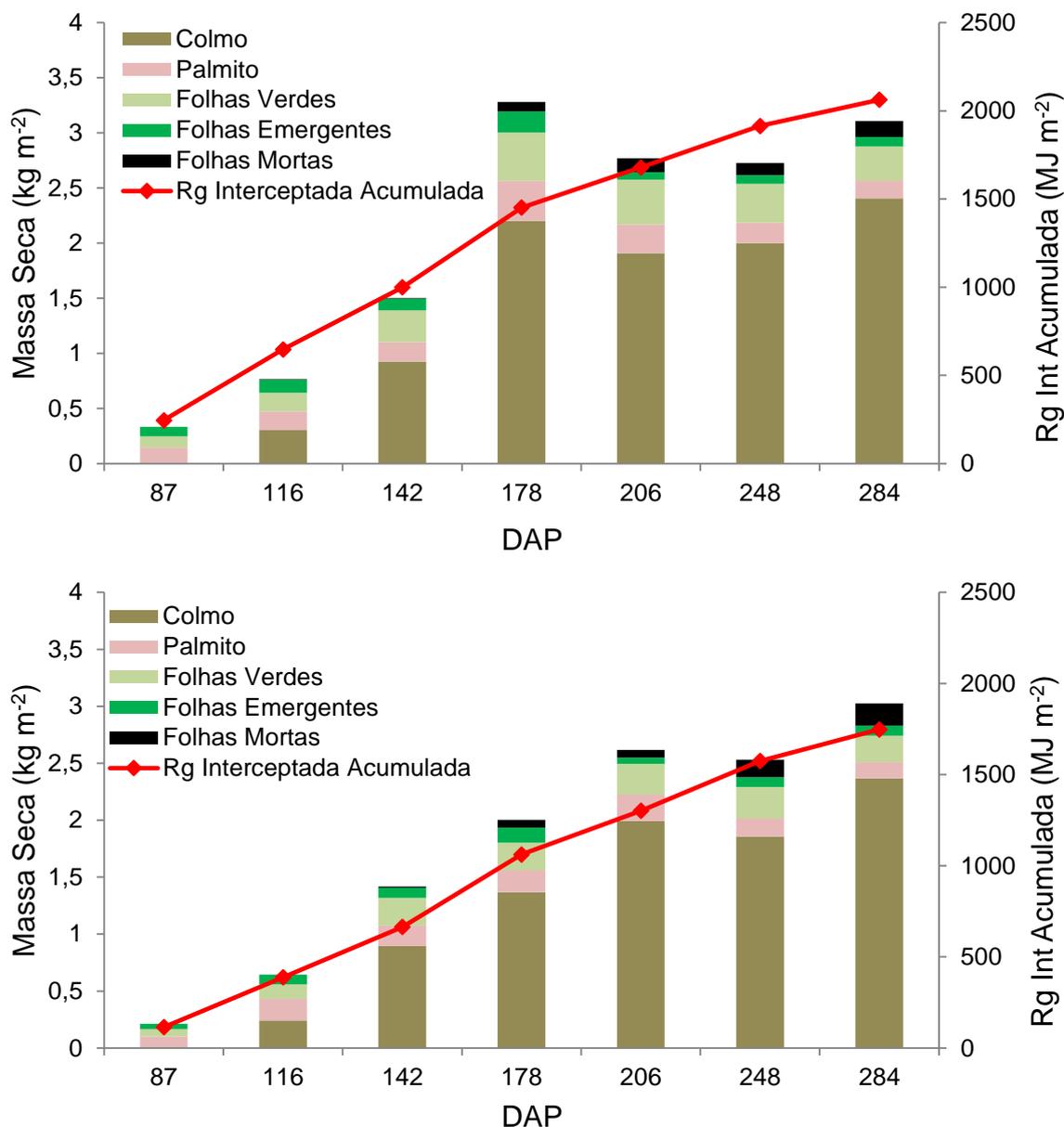


Figura 42 – Massa de matéria seca e radiação solar interceptada acumulada (Rg Int Acumulada) em função dos dias após o plantio (DAP) das cultivares RB855156 (superior) e RB92579 (inferior).

A RB92579 apresentou a menor média nesses dias, com  $10,36 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Trabalho como de Ferreira Júnior (2010) observou que no período de maior acúmulo de MS a média de radiação PAR diária interceptada foi de  $9,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , equivalente a  $20,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  de Rg, valor acima do encontrado no presente experimento. Após 178 DAP, nota-se queda na taxa de Rg acumulada, como pode ser observado na

Figura 43b e conseqüentemente diminuição angular na Rg interceptada acumulada. Entre 178 a 284 DAP, a média diária de Rg incidente no topo do dossel diminuiu 50,75%, com média de  $7,98 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . As taxas de Rg aos 284 DAP da RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579 foram, respectivamente, 5,19, 4,88, 4,14, 4,08  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Além do menor aporte da Rg neste período, verificou-se queda na temperatura média, o que induz a maturação na cana-de-açúcar. Além disto, teve-se alta pluviosidade acumulada. Esse fatores combinados foram os responsáveis pela queda na taxa de Rg interceptada e conseqüentemente no acúmulo de Rg interceptada.

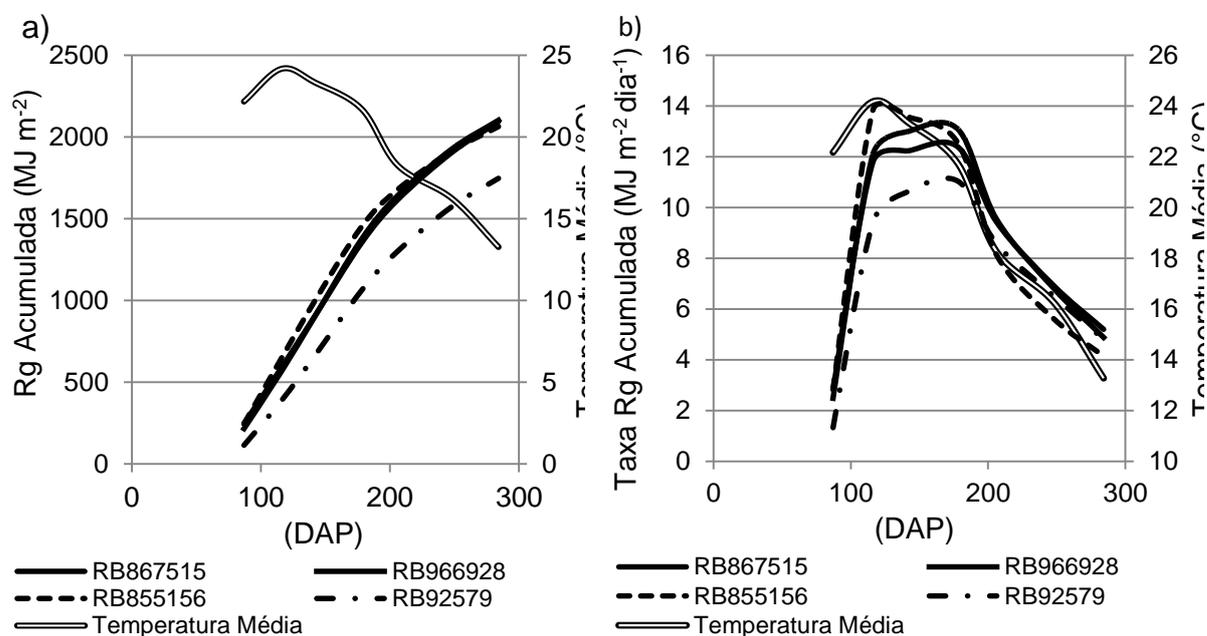


Figura 43 – Radiação solar global (Rg) acumulada e temperatura média em função dos dias após o plantio, das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579 (a). Taxa de assimilação de radiação solar global (Rg) acumulada e temperatura média em função dos dias após o plantio, das cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579 (b).

#### 4.4.5 Eficiência do uso da radiação solar global

As cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579 apresentaram ao longo do ciclo eficiência no uso de radiação (EUR) solar global de, respectivamente 1,52 ( $R^2=0,91$ ), 1,62 ( $R^2=0,95$ ), 1,61 ( $R^2=0,86$ ) e 1,79 ( $R^2=0,96$ ) g por MJ de Rg interceptada, utilizando toda a massa seca aérea da plantas (Figura 44). Estes valores estão ligeiramente abaixo do encontrado por Robertson et al. (1996) que foi de 1,7 g  $\text{MJ}^{-1}$  e, abaixo dos valores citados por Muchow et al. (1997), de 2,0 g  $\text{MJ}^{-1}$ ,

considerado o máximo encontrado na literatura de EUR para a cana-de-açúcar (VAN HEERDEN, 2010).

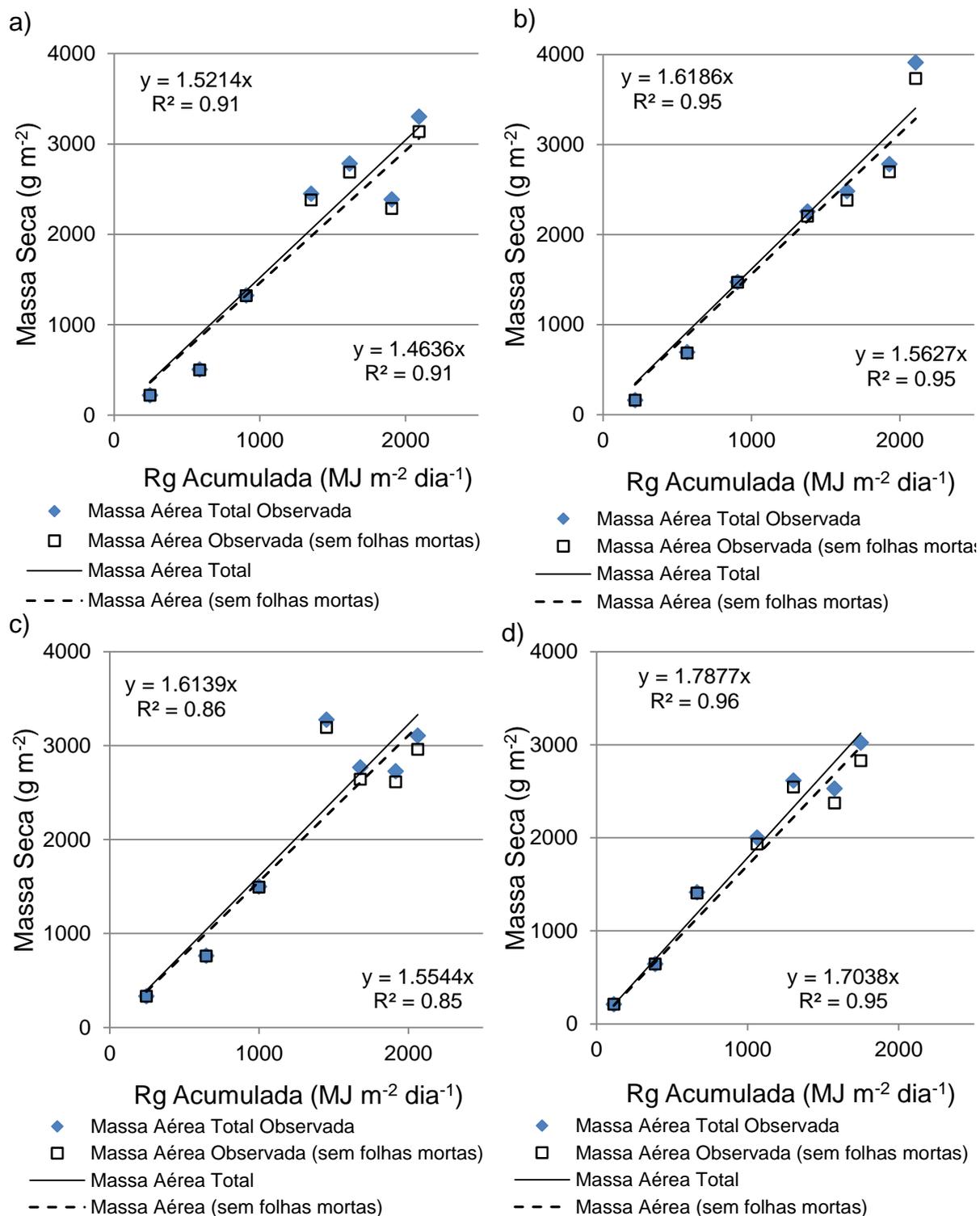


Figura 44 – Relação entre matéria seca aérea e radiação solar (Rg) acumulada para as cultivares RB867515 (a), RB966928 (b), RB855156 (c) e RB92579 (d). (Os símbolos cheios e linha contínua incluem as folhas mortas, os símbolos vazios e linha tracejada não incluem as folhas mortas).

Para converter a eficiência do uso de radiação global para a eficiência do uso de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), pode-se usar o fator de conversão 0,55 (BONHOMME, 2000). Além disto, considerando a matéria seca aérea sem as folhas mortas, tem-se que o EUR, torna-se, 2,66 ( $R^2=0,91$ ), 2,84 ( $R^2=0,95$ ), 2,82 ( $R^2=0,85$ ) e 3,10 ( $R^2=0,95$ ) g por MJ de PAR interceptada, para as cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, respectivamente. Com exceção da RB92579, as outras cultivares apresentaram valores similares ao encontrado por Ferreira Júnior (2013) para a cultivar RB98710 em Alagoas, que foi de 2,73 g por MJ de PAR interceptada em espaçamento simples e 2,78 g por MJ de PAR interceptada em espaçamento combinado. A RB92579 apresentou valor idêntico ao citado por Robertson et al. (1996), de 3,1 g por MJ de PAR interceptada, encontrado em condições tropicais na Austrália e abaixo dos 3,6 g por MJ de PAR interceptada, máximo literário, encontrado por Muchow et al. (1997), também na Austrália.

Em relação a Rg interceptada acumulada ao longo do ciclo e a MS segundo as coletas destrutivas, tem-se que para a RB867515 o acúmulo Rg foi de 2092,4 MJ m<sup>-2</sup> e produtividade de 3,3 kg m<sup>-2</sup>. A RB966928 acumulou 2103,81 MJ m<sup>-2</sup> e apresentou produtividade de 3,91 kg m<sup>-2</sup>. A cultivar precoce RB855156 acumulou ao longo do ciclo 2063,18 MJ m<sup>-2</sup> e produtividade de MS de 3,11 kg m<sup>-2</sup>. A RB92579 foi a que menos acumulou, com total de 1747,9 MJ m<sup>-2</sup> e resultou em 3,02 kg m<sup>-2</sup> de produtividade, valor ligeiramente inferior quando comparado as demais cultivares, porém foi a que mostrou ser mais eficiente na conversão de radiação solar em matéria orgânica, como discutido no parágrafo anterior.

## **Conclusões**

Com o estudo realizado nas variedades RB867515, RB966928, RB855156 e RB92579, na safra 2014/2015, em ciclo de cana planta sob o ambiente de clima temperado, concluiu-se que:

- O ambiente de produção da região de Pelotas, sul do Estado do Rio Grande do Sul, é adequado para o desenvolvimento e crescimento da cana-de-açúcar, quando comparado a regiões tipicamente produtoras da mesma.
- Há entre as cultivares avaliadas, diferenças morfológicas e valores distintos do fator forma da folha +3 e do coeficiente de extinção.
- A variedade RB92579 é eficiente na conversão de radiação fotossinteticamente ativa em massa seca, entretanto apresenta o menor coeficiente de extinção.
- A produtividade apresentada pelas quatro cultivares avaliadas nesse primeiro ano do experimento foram superiores as médias encontradas na literatura.
- Devido as diferenças apresentadas pelas cultivares, os ajustes dos parâmetros dos modelos biofísicos da cultura devem ser encarados individualmente.

## Referências

- ARGENTON, P. E. **Influência das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (Saccharum SP), na região de Piracicaba**. 2006, 109 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BACHHI, O. O. S.; SOUZA, J. A. G. C. Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 1. 1978. London. **Anais...** London: ISSSCT, 1978. v. 2, p 1733-1741.
- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. **Climatologia e a cana-de-açúcar. Araras: PLANALSUCAR**, Coordenaria Regional Sul, 1977. 22 p.
- BARBIERI, V. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (Saccharum spp.): Um modelo matemático-fisiológico de estimativa. 1993. 140p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP. 1988. 42 p.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BLACKMAN, V. H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, London, v. 33, p. 353-60, 1919.
- BONHOMME, R. Beware of comparing RUE values calculated from PAR vs solar radiation or absorbed vs intercepted radiation. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.68, p.247-252, 2000.
- BONNET, G. D.; HEWITT, M. L.; GLASSOP, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 57, p. 1087-1095, 2006.
- BRIGGS, G. E.; KIDD, F. A.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part I. **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v. 7, p. 202-23, 1920.

CAMPBELL, G.S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.36, p.317-321, 1986.

CARRETERO, M. V. **Utilização do tanque de evaporação classe “A” para controle da irrigação por gotejamento em soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1982. 86 p. Dissertação (Mestrado em irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

CARVALHO, G. L. **Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre as safras 1990/1991 e 2005/2006**. 2009, 120 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

CASAGRANDE, A. A. Crescimento da cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 7-8, 1996.

CHANG, J. Microclimate of sugar-cane. **Hawaiian Planters’ Record**. Honolulu, v. 3, p. 195-225, 1961.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Bioetanol – o futuro renovável**. Fórum Nacional Sucreenergético. Brasília, DF, 2012. 78 p.

COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L.; CRUZ, S. J. S.; CANTALICESOUZA, R.; FERREIRA, D. T. da R. G.; LIRA, E. dos S. Crescimento de quatro variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) no quarto ciclo de cultivo, no município de Rio Largo-AL. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 2008. p. 610-615.

CTC-CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Censo Varietal e de produtividade em 2011**. 21 p. Disponível em:<[http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CTC\\_Censo2011-12baixa.pdf](http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CTC_Censo2011-12baixa.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2014.

CTC- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Censo Varietal e de produtividade em 2012**. 28 p. Disponível em:<<http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/Censo2012.pdf>>. Acesso em: 01set. 2014.

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

DE COSTA, W. A. J. M. Principles of crop physiology: Towards na undestranging of crop yield determination and improvement. p. 123-129. Peradeniya: University of Peradeniya. 2000.

DE SILVA, A. L. C.; DE COSTA, W. A. J. M. Growth and radiation use efficiency of sugarcane under irrigated and rain-fed conditions in Sri Lanka. **Sugar Tech**, Heidelberg, v.14, n.3, p.247-254, 2012.

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane: The Chronica Botanica**. New York: Stechert-Hafner, 1952. 371 p.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Editora UF, 2010. p. 25-49.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUTT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1975. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

EMBRAPA CLIMA TEMPERATO. Notícias. 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/clima-temperado/busca-de-noticias/-/noticia/1503982/parceria-visa-gerar-conhecimento-para-ampliar-a-producao-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 10 out. 2014.

EMBRAPA/CNPTIA. Agencia de informações da Embrapa – cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola. Jaboticabal. v. 27, n. 1. 2007. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_33\\_711200516717.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.html)>. Acesso em: 20 set. 2014.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412 p.

FARES, A.; ALVA, A. K. Evaluation of capacitance probes for optimal irrigation of citrus through soil moisture monitoring in an entisol profile. **Irrigation Science**, New York, v. 19, p. 57-64, 2000.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La canne à sucre**. Clection Techniques Agricoles et Productions Tropicales. Paris: Ed. Maisonneuve et Larose, 1970. 103 p.

FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; SANTOS, M. A.; PORFIRIO, A. C. S. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PR. V. 16, n. 11, p. 1229-1236, 2012.

FERREIRA JÚNIOR, R. A. Crescimento, eficiência no uso da radiação e energia de biomassa em cana-de-açúcar irrigada. 2013. 88 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Botucatu.

FRANCIS, C. A.; RUTGER, J. N.; PALMER, A. F. E. A rapid method for leaf plant area estimation in maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, Madison, v.9, p.537-539, 1969.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar em solo coberto com palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 2, 2001.

GILBERT, R. A.; SHINE JÚNIOR, J. M.; MILLER, J. D.; RAINBOLT, C. R. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, p. 156-170, 2006.

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Morfogênese e análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996. p. 403-405.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

IDO, O. T.; **Desenvolvimento radicial e caulinar, de três variedades de cana-de-açúcar, em Rizotron, em dois substratos**. Curitiba : 2003. 141p. Tese (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná.

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.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.89, p.107–122, 2004.

INMAN-BAMBER, N. G. et al. Sucrose accumulation in sugarcane is influenced by temperature and genotype through the carbon source–sink balance. **Crop & Pasture Science**, Collingwood, v. 61, p. 111-121, 2010.

JAME, Y. W.; CURTFORTH, H. W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 76, p. 9-19, 1996.  
LANDELL, M.G. A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A. C. M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDÓIA, M. A. P.; XAVIER, M. A. Oxisol subsurface chemical attributes related sugarcane productivity. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 741-745, 2003.

KINIRY, J. R.; SIMPSON, C. E.; SCHUBERT, A. M.; REED, J. D. Peanut leaf area index, light interception, radiation use efficiency, and harvest index at three sites in Texas. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 91, p. 297–306, 2005.

LISSON, S. N.; ROBERTSON, M.J. ; KEATING, B. A.; MUCHOW, R. C. Modelling sugarcane production systems. II: analysis of system performance and methodology issues. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 31-48, 2000.

MACHADO, E.C. Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria-seca na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). 1981. 115p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biologia/UNICAMP, Campinas.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. São Paulo: Editoras EPU; EDUSP, 1985. v. 1, p. 331-

350.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; TSUIOSHI, Y. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. P. 115-118.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar : uma introdução ao procedimento prático**. – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 168). 1ª Edição. Disponível em <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2012/doc\\_168.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2014.

MARIN, F. R. PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; JULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Cap. 7. P 109-130.

MARTINS, L. M.; LANDELL, M. G. A. **Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no Programa Cana IAC**. Pindorama: Instituto Agrônomo – IAC, 1995. 45 p.

MAZZUCHELLI, D. K.; SPILLMAN, M. F.; MUCHOW, R. C. **Minimum dataset manual for the collection of crop, soil and climate data in sugarcane field experimentation**, CSRIO Tropical Agriculture, 1997, 65 p.

MONSI, M.; SAEKI, T. Über den lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die Stoffproduktion. Japanese Journal of Botany, Tokio, v.14, p.22-52, 1953.

MONTEIRO, L. A. **Modelagem agrometeorológica como base para a definição de ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. 2012. 116 p. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba.

MONTGOMERY, E. C. **Correlation studies in corn**. In: Nebraska Agric. Exp. Stn. Annu. Rep., 24th, Lincoln, NE, pp.251, 1911.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A de S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, F. M. História da morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de (coord.). **Atualização em cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livrocere, 2006. P. 11-18.

MUCHOW, R. C. et al. Yield accumulation in irrigated sugarcane. II. Utilization of intercepted radiation. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, p.646-652, 1997.

NETAFIM – cana-de-açúcar. Disponível em:<<http://www.sugarcane.crops.com/p/>>. Acesso: 28 out. 2014.

NITSCH, Manfred. O Programa de Biocombustíveis Proálcool no Contexto da Estratégia Energética Brasileira. **REP**, São Paulo, vol. 11, n. 2, 123 a 138, abril-junho. 1991.

NOGUEIRA, R. C.; PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M.; GAVILANES, M. L. Bases do crescimento e desenvolvimento vegetal. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 17-29.

OLIVEIRA, R. A. De. **Análise de crescimento da cana-de-açúcar, na região noroeste do Paraná**. 2004. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

OLIVEIRA JUNIOR, R. A. **Crescimento, eficiência no uso da radiação e energia de biomassa em cana-de-açúcar irrigada**. 2013. 88 p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná. Revista **Scientia Agrária**. Curitiba, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná: taxas de crescimento. Revista **Scientia Agrária**. Curitiba, v. 6, n. 1-2, p. 85-89, 2005.

PALTINEANU, I. C.; STARR, J. L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n.6, p.1576-1585, 1997.

PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar cultivado e utilização**. Fundação Cargil. Editora Cidade, 1987.

PARK, S. E.; ROBERTSON, M.; INMAN-BAMBER, N. G. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 305-320, 2005.

PARSONS, A.; LEAFE, E. L.; COLLETT, B. The physiology of grass production under grazing. II - Photosynthesis. Crop growth and animal intake of continuous grazed sward. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 20, n. 1, p. 127-139. 1983.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PERES, F. C. **Determinação dos coeficientes de cultura (Kc): ciclo de cana soca**. 1988. 94 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PRADO, H. Classes das condições químicas subsuperficiais para manejo. In: FERTIBIO, 2004, Lages. **Anais...** 1CD-ROM.

PRADO, H. **Cana-de-açúcar: Ambientes de Produção**. Encarte Técnico Informações Agronômicas. Nº 110 – JUNHO/2005. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. Junho 2005a. p. 12-17.

PRADO, H. **Solos do Brasil** – gênese, morfologia, classificação, levantamento e manejo. Piracicaba, 2005b. 281 p.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal Agronomy e Crop Science**. Berlim, v. 185, p. 83-89, 2000.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes os shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal Agronomy & Crop Science**. Berlim, v. 185, p. 249-258, 2000.

RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar. Curitiba, 136 p. 2010. Disponível em: < <http://canaufv.com.br/catalogo/catalogo-2010.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2015.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia: I. radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, p.11-25, 1996.

ROSSETO, C. A. V.; NAKAGAWA, J. Índices da análise de crescimento em função das condições de Aveia preta (*Avena Stigosa Scher*). Revista de Agricultura, Piracicaba, v. 76, fase 2, 2001.

SANTOS, V. R. **Crescimento e produção de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2006.

SCARPARI, M. S. **Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) através de parâmetros climáticos**. 2002. 94 p. Dissertação (Mestrado Fititecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008a, p. 47-56.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e brix em cana-de-açúcar. *Bragantia* [online]. 2008b, vol.67, n.1, pp. 35-41. ISSN 1678-4499.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.

SHIMABUKU, M.; KUDO, M.; TAMAKI, K. The influence of growth parameters and climatic factor on efficiencies of solar energy utilization in sugarcane. In: Lopez, M. B. & Madrazo (eds). *The International Society of Sugarcane Technology*. Manila, Philippines. P. 526-533. 1980.

SINGELS, A.; SMIT, M. A.; REDSHAW, K. A.; DONALDSON, R. A. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 249–260, 2005.

SILVA, C. R. et al. Calibration of a capacitance probe in a Paleudult. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, v. 64, n. 6, p. 636-640, 2007.

SILVA, D. K. T. da. **Crescimento de cultivares de cana-de-açúcar em primeira soca na Região Noroeste do Paraná na safra de 2002/2003**. 2005. 73 f. Tese (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, S. D. A.; GOMES, C. B.; UENO, B.; NAVA, D. E.; ALMEIRA, I. R.; THEISEN, G.; DUTRA, L. G.; VERISSIMO, M. A. A.; PANZIEIRA, W.; DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; BESPALHOK FILHO, J. C. *Recomendações de Variedades de Cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Clima Temperado, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Pelotas, RS. Dezembro, 2012.

SILVA, T. G. F. da. **Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera e Eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no submédio do Vale do São Francisco**. 2009. 194p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Programa de pós-graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, W. C. M. **Produtividade agroindustrial de genótipos RB de cana-de-açúcar da série 993 em 3 regiões de cultivo do Estado de Alagoas: estratificação de ambiente e análise de adaptabilidade e estabilidade**. 2004. 111 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, E.F.; OR, D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 12-25, 2006.

SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção de cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. *Engenharia Agrícola*. **Jaboticabal**, v. 19, n. 1, p. 28-12. 1999.

STEINMETZ, S.; MIORI, P. R. B. Melhoria no sistema de vedação de tubos solarímetros construídos com placas de circuito impresso. In: **CONGRESSO**

**BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10**, 1997, Piracicaba. Agrometeorologia, Monitoramento Ambiental e Agricultura Sustentável. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. P. 207 – 209.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo Mosicas**. 2006. 60 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SUGUITANI, C.; MATSUOKA, S. Efeitos do fósforo nas características industriais agrícola em cana-de-açúcar (cana planta) cultivada em duas regiões do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CINECIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Ciência do solo**: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade; resumos... Londrina: SBCS, 2011. P. 119.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Trad. de E. R. Santarém et al. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719 p.

TERRAMOTO, E. T. **Avaliação e aplicação de modelos de produção de cana-de-açúcar (Saccharum spp) baseados em parâmetros do solo e do clima**. 2003. 96 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRARO JR., L. A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 54, p. 39-44, 1997

THOMPSON, G. D. Water use by sugarcane. **South Africa Sugarcane Journal**, Petroria. v.60, n.11, p. 592-600, p. 627-635. 1976.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, v. 16, n. 3, p. 574-582, 1980.

VAN HEERDEN, P. D. R. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.61, n.11, p. 2877–2887, 2010.

VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point : rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v.9, p.419-439, 1989.

VERED, E.; RAO, V. P. Clima. Disponível em:  
<<http://www.sugarcane crops.com/p/climate/>>. Acesso em: 28 set. 2014.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, C. E.; OTTO, R.; ROSSETO, R. Acúmulo de fitomassa e de nitrogênio no ciclo agrícola de cana-planta. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 9, 2008, Maceió. **Anais**... Maceió: STAB, p.217-221. 2008.

WALKER, J. M. One-degree increment in soil temperature affects maize seedlings behaviour. **Soil Science Society of America Proceedings**, New York, v. 33, p. 729-736, 1969.

WALLACH, D.; GOFFINET, B.; BERGES, J. E.; DEBAEKE, P.; LEENHARDT, D.; AUBERTOT, J. N. Parameter estimation for crop models: a new approach and application to a corn model. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 4, p. 757-766, 2001.

WEST, C.; BRIGGS, G. E.; KIDD, F. Methods and significant relations in the quantitative analysis of plant growth. **New Phytologist**, Oxford, v. 19, p. 200-207, 1920.

WOLEDGE, J.; LEAFE, E. L. Single leaf and canopy photosynthesis in a ryegrass sward. **Annals of Botany**, London, v. 40, n. 68, p. 773-783. 1976.

ZHOU, M.; SINGELS, A.; SAVAGE, M. J. Physiological parameters for modelling differences in canopy development between sugarcane cultivars. **Proceedings of The Annual Congress of The South African Sugar Technologists Association**, Durban, v.77, p. 610-621, 2003.

## **Apêndices**

## Apêndice I – Planilha amostra não destrutiva

**ANEXO I. PLANILHA DE CAMPO DATA: / / PARCELA RB CAMPANHA:**

Rep.	DMC (mm)	EMC (cm)	NFVA	NFE	NFM	F	C+3 (cm)	L+3 (cm)	FCD	NPI
1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.
	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.
	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
2	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.
	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.
	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
3	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.
	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.
	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
4	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.
	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.
	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.

DMC: diâmetro médio do colmo; EMC: Estatura média; NFVA: Número folhas de verdes; NFE: Número de folhas emergentes; NFM: Número de folhas mortas;  
 F: Aparcimento de folha acima da folha +1; C+3: comprimento da folha +3; L+3: largura da folha +3; FCD Fração de cobertura do dossel; NPI: número de perfílios.

Obs1: Parcela 1, RB 867515; Parcela 2, RB 966928; Parcela 3, RB 855156; Parcela 4, RB 92579 Obs2: Diâmetro do colmo no terço médio do mesmo



**Apêndice III – Planilha de amostra destrutiva, área foliar, e peso seco, respectivamente.**

Amostra destrutiva, DATA:   /  /   PARCELA RB         
CAMPANHA       

REP.	II	2	3	4
PFA (g)				
NPI				
PF__P kg)				
DMC(mm)	1. 6.	1. 6.	1. 6.	1. 6.
	2. 7.	2. 7.	2. 7.	2. 7.
	3. 8.	3. 8.	3. 8.	3. 8.
	4. 9.	4. 9.	4. 9.	4. 9.
	5. 10.	5. 10.	5. 10.	5. 10.
EMC(cm)	1. 6.	1. 6.	1. 6.	1. 6.
	2. 7.	2. 7.	2. 7.	2. 7.
	3. 8.	3. 8.	3. 8.	3. 8.
	4. 9.	4. 9.	4. 9.	4. 9.
	5. 10.	5. 10.	5. 10.	5. 10.
Peso f. colmo (g)				
Peso f. <del>S.U. Colmo</del> Colmo (g)				
Peso f. "palmito" (g)				
Peso f. <del>S.U. Colmo</del> "palmito" (g)				
NFVA				
Peso f. folhas verdes (g)				
NFE				
Peso f. de folhas emergentes (g)				
NFM				
Peso f. folhas mortas (g)				

PFA: Peso fresco total (kg); NPI: Número de perfuros; PFDP: Peso fresco de 10 plantas - amostra (kg); DMC: Diâmetro médio do colmo (cm); EMC: Estatura média colmo (cm); NFVA: Número folhas de verdes abertas; NFE: Número de folhas emergentes; NFM: Número de folhas mortas; C+3: comprimento da folha +3 (cm); L+3: Largura da folha +3 (cm); AF+3: Área foliar da folha +3 (cm²); AFT: Área foliar total (cm²); Obs1: Parcela 1, RB 867515; Parcela 2, RB 966928; Parcela 3, RB 855156; Parcela 4, RB 92579; Obs2: Cada amostra contém toda biomassa acima do solo de 1 metro linear. Totalizando 4 repetições por parcela. Obs3: Diâmetro do colmo na base e na altura da folha +1. Obs4: Considera-se folha morta quando a superfície da mesma apresenta-se menos de 50% verde.

COMPRIMENTO FOLHA +3; LARGURA FOLHA + 3; ÁREA FOLIAR +3; ÁREA FOLIAR TOTAL

DATA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ RESP: \_\_\_\_\_

CAMPANHA \_\_\_\_\_

**PARCELA RB**

FOLHA	P_R1		P_R2		P_R3		P_R4	
	C+3	L+3	C+3	L+3	C+3	L+3	C+3	L+3
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
Área foliar +3 (cm <sup>2</sup> )								
Área foliar total (cm <sup>2</sup> )								

Amostra destrutiva – Matéria seca DATA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Nº de dias na estufa: \_\_\_\_\_

Nº de dias efetivos na estufa: \_\_\_\_\_

CAMPANHA \_\_\_\_\_

Temperatura estufa: \_\_\_\_\_°C

Responsáveis: \_\_\_\_\_

PARC.	Rep.	Peso seco colmo (g)	P. seco Palmito (g)	P. seco folhas verdes (g)	P. seco folhas emergentes (g)	P. seco folhas mortas (g)
1	1					
1	2					
1	3					
1	4					
2	1					
2	2					
2	3					
2	4					
3	1					
3	2					
3	3					
3	4					
4	1					
4	2					
4	3					
4	4					

Parcela 1 RB 867515; Parcela 2 RB 966928; Parcela 3 RB 855156; Parcela 4 RB 92579

Número de dias na estufa: total de dias em que a amostra ficou na estufa;

Número de dias efetivo: total de dias em que a estufa ficou em funcionamento.