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

Caracterização morfofisiológica de genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia

Isabella Barros Valadão

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica
de Plantas

Piracicaba
2020

Isabella Barros Valadão
Bacharel em Bioquímica

Caracterização morfofisiológica de genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **PAULO ROBERTO DE CAMARGO E CASTRO**

Coorientadora:

Profa. Dra. **MONALISA SAMPAIO CARNEIRO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica
de Plantas

Piracicaba
2020

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

Valadão, Isabella Barros

Caracterização morfofisiológica de genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia / Isabella Barros Valadão. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

68 p.

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

1. Cana-de-açúcar 2. Cana-energia 3. Trocas gasosas 4. *Saccharum* L.
Título

AGRADECIMENTOS

Ao Universo e ao Grande Criador pela vida, pelas oportunidades de crescimento e aprendizado, por iluminar meu caminho.

Aos meus pais, João e Maria Tereza, e aos meus irmãos, Júlia e Guilherme, pelo companherismo e incentivo.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Paulo de Castro, pelos ensinamentos, pela oportunidade de aprendizado e pela orientação.

À minha Co-orientadora Prof^ª. Dra. Monalisa Carneiro pela colaboração, compartilhamento e aprendizado.

À Prof^ª. Sônia Stefano por toda paciência e auxílio nas análises estatísticas.

Ao Prof. Marcílio de Almeida e a todos os funcionários e alunos do Laboratório de Morfogênese e Biologia Reprodutiva de Plantas, pelo auxílio e ensinamentos em microscopia.

Aos amigos, professores e funcionários do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar.

Aos amigos companheiros dessa jornada, e à família cósmica.

Aos funcionários da Biblioteca e da Pós-Graduação pela dedicação, competência e por serem sempre prestativos.

A todos os funcionários da ESALQ.

À Finep pelo auxílio financeiro.

Esse estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Mitakuye Oyasim

(Por todas as minhas relações)

In Lakesh!

(Eu sou um outro você!)

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE ABREVIATURAS	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Cana-de-açúcar.....	13
1.2. Cana-energia	14
1.3. Ecofisiologia da cana	14
1.4. Justificativa e Objetivos	17
2. MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1. Material Vegetal.....	19
2.1.1. RB855156 (RB72454 x TUC71-7)	19
2.1.2. SP80-3280 (SP71-1088 x H57-5028)	19
2.1.3. IN8458	19
2.2. Condições meteorológicas	19
2.3. Delineamento experimental	21
2.4. Avaliações biométricas	21
2.4.1. Avaliação do número de colmos por touceira.....	21
2.4.2. Avaliação de altura e diâmetro de colmos	21
2.4.3. Peso total de colmos por parcela.....	21
2.4.4. Avaliação do número de folhas verdes	21
2.4.5. Avaliação da área foliar e índice de área foliar.....	22
2.5. Avaliações fisiológicas	22
2.5.1. Teor de pigmentos fotossintetizantes	22
2.5.2. Trocas gasosas.....	22
2.6. Avaliação anatômica.....	23
2.6.1. Densidade estomática.....	23
2.7. Avaliações tecnológicas.....	23
2.7.1. Determinação de sólidos solúveis (°Brix).....	23
2.7.2. Determinação do teor de sacarose (Pol%Caldo e Pol%Cana)	23
2.7.3. Determinação do teor de fibra.....	24
2.7.4. Fibra detergente neutro	24
2.7.5. Fibra detergente ácido.....	24
2.8. Análise estatística.....	25
3. RESULTADOS.....	27
3.1. Avaliações biométricas	27
3.1.1. Avaliação do número de colmos por touceira.....	27
3.1.2. Avaliação de altura e diâmetro de colmos	28
3.1.3. Peso total de colmos por parcela.....	30
3.1.4. Avaliação do número de folhas verdes	30
3.1.5. Área foliar e índice de área foliar.....	31

3.2. Avaliações fisiológicas	34
3.2.1. Teor de pigmentos fotossintetizantes	34
3.2.2. Trocas gasosas	38
3.3. Avaliações anatômicas	40
3.3.1. Densidade estomática	40
3.4. Avaliações tecnológicas	44
3.4.1. Determinação de sólidos solúveis (°Brix)	45
3.4.2. Determinação do teor de sacarose no colmo (Pol%Cana).....	46
3.4.3. Determinação do teor de sacarose no caldo (Pol%Caldo).....	47
3.4.4. Determinação do teor de fibra	47
3.4.5. Fibra detergente ácido	48
3.4.6. Fibra detergente neutro	49
3.5. Análise de correlações	49
4. DISCUSSÃO	53
5. CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	61

RESUMO

Caracterização morfofisiológica de genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) no mundo. A produção estimada para a safra 2019/2020 é de 622,3 milhões de toneladas. A cana-de-açúcar é também a cultura mais eficiente para produção de energia renovável nas regiões tropicais e subtropicais, além da produção de etanol, o cultivo é também fonte de açúcar, biomassa, etanol de segunda geração, aguardente, insumos para ração animal e eletricidade. Os processos que sinalizam o acúmulo de sacarose e fibra em diferentes variedades de cana precisam ser melhores estudados e compreendidos. A vantagem de se produzir mais fibra em detrimento do açúcar é que as plantas serão mais rústicas, com menor exigência de solo, clima, água e nutrientes e maior resistência a pragas e doenças. O acúmulo de sacarose depende de diversos processos metabólicos, dentre eles, a atividade fotossintética e a capacidade dos tecidos dreno em acumular compostos de carbono produzido pelas folhas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar e correlacionar aspectos anatômicos, morfológicos, fisiológicos e tecnológicos de três genótipos de cana-de-açúcar contrastantes para teores de sacarose e fibra. Foram observadas diferenças na expressão fenotípica entre a espécie ancestral representante de *S. spontaneum* e os cultivares RB855156 e SP80-3280. Não constatou-se diferença estatística entre os genótipos nas avaliações de trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos. Por outro lado, o cultivar RB855156 se destacou apresentando a maior densidade estomática da superfície abaxial. Por meio das avaliações tecnológicas, observamos que, a espécie ancestral, *S. spontaneum* foi destaque para características relacionadas à produção de biomassa, enquanto os cultivares comerciais, oriundos de programas de melhoramento genético, carregam maiores traços para a produção de sacarose. Por meio das análises de correlação foi observado que algumas características apresentaram correlações significativas positivas e outras significativas negativas, sugerindo que o melhoramento genético atuou de forma a beneficiar características de interesse comercial, como por exemplo, Pol%cana, DC e AC (positivamente correlacionadas) e FB, FDN, FDA, DAD e DAB (negativamente correlacionadas). As correlações, se avaliadas em maior número de genótipos e com maior representatividade das espécies que compõem o complexo *Saccharum*, entre as características anatômicas, fisiológicas, morfológicas e tecnológicas possibilitariam uma melhor compreensão dessas correlações. Em adição, estudos com outros genótipos de cana-de-açúcar que compõem o complexo *Saccharum* podem contribuir para aumentar os conhecimentos sobre esses processos metabólicos sobre as diferenças durante o desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, Cana-energia, Trocas gasosas, *Saccharum*

ABSTRACT

Morphophysiological characterization of sugarcane and energy cane genotypes

Brazil is the biggest producer of sugarcane (*Saccharum* spp.) in the world. Estimated production for the 2019/2020 crop is 622.3 million tons. Sugarcane is also the most efficient crop for renewable energy production in tropical and subtropical regions. In addition to the production of sugar, cultivation is also a source of ethanol, biomass, second generation ethanol, sugarcane liquor, inputs for animal feed and electricity. The processes that signal the accumulation of sucrose and fiber in different varieties of cane need to be better studied and understood. The advantage of producing more fiber at the expense of sugar is that the plants will be more rustic, with less soil, climate, water and nutrients requirements and greater resistance to pests and diseases. Sucrose accumulation depends on several metabolic processes, among them, photosynthetic activity and the ability of drain tissues to accumulate carbon compounds produced by leaves. Thus, the objective of this work was to characterize and correlate anatomical, morphological, physiological and technological aspects of three contrasting sugarcane genotypes for sucrose and fiber contents. Differences in phenotypic expression were observed between the ancestral species representing *S. spontaneum* and the cultivars RB855156 and SP80-3280. There was no statistical difference between the genotypes in the gas exchange and photosynthetic pigment evaluations. On the other hand, the cultivar RB855156 stood out with the highest stoma density on the abaxial surface. Through technological evaluations, we observed that the ancestral species, *S. spontaneum* was highlighted for characteristics related to the production of biomass, while commercial cultivars, coming from genetic improvement programs, carry greater traits for the production of sucrose. Through the correlation analyzes it was observed that some characteristics showed significant positive correlations and others significant negative ones, suggesting that the genetic improvement acted in a way to benefit characteristics of commercial interest, as for example, Pol% cane, DC and AC (positively correlated) and FB, NDF, FDA, DAD and DAB (negatively correlated). The correlations, if evaluated in a greater number of genotypes and with greater representativeness of the species that make up the *Saccharum* complex, among the anatomical, physiological, morphological and technological characteristics would allow a better understanding of these correlations. In addition, studies with other sugarcane genotypes that make up the *Saccharum* complex can contribute to increase the knowledge about these metabolic processes about the differences during the development of plants.

Palavras-chave: Sugarcane, Energy cane, Gas exchange, *Saccharum*

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Resumo das condições climatológicas durante o experimento, compreendendo o período de 07/10/16 à 17/11/17. Em colunas, dados de precipitação pluviométrica mensal acumulada (mm), em linha cheia, temperatura média mensal (°C), em linha pontilhada, dados de radiação solar global mensal acumulada (MJ/m²). Dados coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de São Carlos, Campus Araras-SP.20
- Figura 2. Número de colmos por touceira dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).28
- Figura 3. Altura média de colmos (m) dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).28
- Figura 4. Diâmetro médio de colmos (mm), a 1/3 a partir da base, dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).29
- Figura 5. A – Colmo maduro dos genótipos visto de cima, cana-planta no 6ºMAP; 1 – IN84-58; 2- RB855156; 3 – SP80-3280. B – Colmo em corte transversal; 1 – IN84-58; 2- RB855156; 3 – SP80-3280.29
- Figura 6. Peso total da parcela em Kg dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).30
- Figura 7. Número de folhas verdes por colmo dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), *ns* – não significativo.31
- Figura 8. Área foliar, em m², da folha +3, dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).32
- Figura 9. Folha +3 nos genótipos avaliados, cana-planta no 6ºMAP; A – IN84-58; B – RB855156; C – SP80-3280.33
- Figura 10. Índice de área foliar dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).33
- Figura 11. Teor de Clorofila *a* (µmolg-1MF) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), *ns* – não significativo. ...34
- Figura 12. Teor de Clorofila *b* (µmolg-1MF) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), *ns* – não significativo. ...35
- Figura 13. Clorofila Total (µmolg-1MF) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), *ns* – não significativo. ...36
- Figura 14. Razão entre clorofila *a* e *b* dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), *ns* – não significativo.37
- Figura 15. Carotenoides (µmolg-1MF) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), *ns* – não significativo. ...37
- Figura 16. Taxa de assimilação de CO₂ dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), *ns* – não significativo.38

- Figura 17. Condutância estomática dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), ns – não significativo.38
- Figura 18. Taxa de transpiração foliar dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), ns – não significativo.39
- Figura 19. Impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo IN84-58 da folha +3, avaliada ao 7º MAP, em experimento instalado na região de Araras-SP. As fotos foram obtidas com o aumento de 5 vezes.* Estrutura que protege os estômatos.40
- Figura 20. Impressão paradérmica da superfície abaxial e adaxial da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados no mês 7 após o plantio, em experimento instalado na região de Araras-SP, as fotos foram obtidas com o aumento de 5X: A1 Impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo IN84-58; B1 Impressão paradérmica da superfície adaxial do genótipo IN84-58; A2 Impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo RB855156; B2 Impressão paradérmica da superfície adaxial do genótipo RB855156; A3 Impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo SP80-3280; B3 Impressão paradérmica da superfície adaxial do genótipo SP80-3280. S : estômato; TR : tricomas; ? estrutura não definida.41
- Figura 21. Densidade estomática da superfície adaxial (estômatos/mm²) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).....42
- Figura 22. Densidade estomática da superfície abaxial (estômatos/mm²) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).....43
- Figura 23. Contraste entre densidade estomática da superfície abaxial (estômatos/mm²), adaxial, da folha +3, e condutância estomática dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP.44
- Figura 24. Conteúdo de sólidos solúveis (°Brix) dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).46
- Figura 25. Teor de açúcares na cana (Pol%Cana) dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).46
- Figura 26. Teor de açúcares no caldo (Pol%Caldo) dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).47
- Figura 27. Teor de fibra dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).48
- Figura 28. Teor de fibra detergente ácido dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).48
- Figura 29. Teor de fibra detergente neutro dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).49
- Figura 30. Correlação de Pearson entre características taxa fotossintética (A), teor de clorofila total (Clh A.B), densidade estomática da superfície abaxial (DAB), densidade estomática da superfície adaxial (DAD), número de colmos por touceira (NC), índice de área foliar (IAF), altura (AC), diâmetro (DC), teor de sacarose na cana (Pol.Cana), teor de fibra (FB), teor de fibra detergente neutro (FDN), teor de fibra detergente ácido (FDA), considerando as quatro avaliações realizadas. Para cada característica entre pares são mostrados: os histogramas das médias ajustadas (diagonal), gráficos de dispersão (abaixo da diagonal) e os valores da correlação (acima da diagonal). * Significativa a 5% nível global ($P < 0.05$).50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo das condições climáticas durante o ano experimental, separadas por estação do ano.	20
Tabela 2. Número de colmos por touceira (NC), altura média de colmos (AC) e diâmetro médio de colmos (DC) dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d.....	27
Tabela 3. Número de folhas verdes por colmo, área foliar e índice de área foliar (IAF) dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280 ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d.....	32
Tabela 4. Teor de pigmentos fotossintéticos: clorofila <i>a</i> (Clh <i>a</i> , $\mu\text{molg}^{-1}\text{MF}$), clorofila <i>b</i> (Clh <i>b</i> , $\mu\text{molg}^{-1}\text{MF}$), clorofila total (ClhT, $\mu\text{molg}^{-1}\text{MF}$), razão entre clorofila <i>a</i> e <i>b</i> (Clh <i>a/b</i>) e carotenoide (TC, $\mu\text{molg}^{-1}\text{MF}$), dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d.....	36
Tabela 5. Trocas gasosas: taxa de assimilação de CO ₂ (<i>A</i> , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (<i>g</i> s, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração foliar (<i>E</i> , $\text{mmolH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$), dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d.....	39
Tabela 6. Densidade estomática da face adaxial (DAD, estômatos mm^{-2}) e abaxial (DAB, estômatos mm^{-2}), dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d.....	42
Tabela 7. Conteúdo de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$), teor de sacarose no colmo (Pol% Cana), teor de sacarose no caldo (Pol% Caldo), teor de fibra (FB, %), teor de fibra detergente ácido (FDA, %), teor de fibra detergente neutro (FDN, %), dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d.	45
Tabela 8. Correlações significativas, pelo coeficiente de Pearson, ($P < 0.05$), entre todos os meses analisados. Taxa fotossintética (<i>A</i>), teor de clorofila total (Clh T), densidade estomática da superfície abaxial (DAB), densidade estomática da superfície adaxial (DAD), número de colmos por touceira (NC), índice de área foliar (IAF), altura (AC), diâmetro (DC), teor de sacarose na cana (Pol%Cana), teor de fibra (FB), teor de fibra detergente neutro (FDN), teor de fibra detergente ácido (FDA). Agrupadas em baixa ($\leq 0,35$), moderada (0,36-0,70) e forte ($\geq 0,71$).....	51
Tabela 9. Resultado da análise do solo nas profundidades 0-20 e 20-40, análise realizada pelo Laboratório de Análise Química de Solos e Planta, localizado na Universidade Federal de São Carlos – Araras-SP.	67
Tabela 10. Largura e comprimento da folha +3, dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d.	68

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Altura média de colmos
Clh T	Clorofila total
Pol%Caldo	Conteúdo de sacarose no caldo
Pol%Cana	Conteúdo de sacarose na cana
DAB	Densidade estomática da superfície abaxial
DAD	Densidade estomática da superfície adaxial
DC	Diâmetro médio de colmos
°C	Graus Celsius
IAF	Índice de área foliar
MAP	Meses após o plantio
$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Micro mol de CO_2 por metro por segundo
$\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$	Micro mol por grama de massa fresca
$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Milimol de H_2O por metro por segundo
$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Mol de H_2O por metro por segundo
NC	Número de colmos
Clh <i>a/b</i>	Razão entre clorofila <i>a</i> e <i>b</i>
TC	Teor de carotenoides
Clh <i>a</i>	Teor de clorofila <i>a</i>
Clh <i>b</i>	Teor de clorofila <i>b</i>
FB	Teor de fibra
FDA	Teor de fibra detergente ácido
FDN	Teor de fibra detergente neutro
°BRIX	Teor de sólidos solúveis

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) no mundo. Conforme dados da safra de 2017, fornecidos pela FAOSTAT, a produção naquele ano, foi: Brasil, 758 milhões toneladas, seguido pela Índia 306 milhões de toneladas e China 104 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2017). Para a safra de 2019/2020, a estimativa de produção é de 622,3 milhões de toneladas, sendo a área a ser colhida prevista em 8.384,4 mil hectares com produtividade de 74.217 kg/ha (CONAB, 2019). A cana-de-açúcar é também a cultura mais eficiente para produção de energia renovável nas regiões tropicais e subtropicais. Além da produção de açúcar, o cultivo é também fonte de etanol, biomassa, etanol de segunda geração, aguardente, insumo para ração animal e eletricidade (WACLAWOVSKY et al., 2010).

Os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar têm contribuído, ao longo dos anos, para o lançamento de variedades com maior produtividade de colmos e de açúcar. Estes programas visam materiais que tenham características como: produtividade elevada, alto teor de sacarose, teor de fibra entre 12 e 13%, maior longevidade das soqueiras, bom perfilhamento e tolerância às principais doenças e pragas (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2011). O mercado de bioetanol de cana, um combustível limpo e renovável, está em constante expansão, sendo uma das principais culturas que contribuem para o agronegócio nacional, assim, a cana, garante ao Brasil destaque no cenário energético internacional.

1.1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta alógama, pertence à família Poaceae, tribo Andropogonaceae e gênero *Saccharum*. Originária do sudeste Asiático, região da Indonésia e Nova Guiné (DANIELS; ROACH; DON, 1987). O gênero *Saccharum* foi descrito pela primeira vez por Linnaeus em 1753, constituído por *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. sinense*, *S. edule* e *S. barber* (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011). Alguns autores acreditam que através de poliploidia e hibridação a espécie *Saccharum spontaneum* L. originou outras espécies como *S. officinarum* L. e *S. robustum* Jesw (CASTRO, 2016).

A cana-de-açúcar perfilha abundantemente no início do desenvolvimento. A temperatura e condições hídricas são importantes para garantir uma alta produção de sacarose. A planta, após um período de crescimento vegetativo, acumula rapidamente sacarose nos colmos (RODRIGUES, 1995).

As plantas pertencentes ao gênero *Saccharum* são do ciclo C4, ou seja, a etapa fotoquímica (primeira etapa da fotossíntese) acontece nas células do mesófilo e o Ciclo de Calvin (segunda etapa) acontece em células da bainha do feixe vascular. Essa compartimentalização leva a níveis mais altos de fotossíntese sob níveis mais baixos de CO₂ intercelular foliar (C_i) do que em plantas C3 e à supressão da fotorrespiração. Dessa forma, as plantas C4 são consideradas plantas fotossinteticamente mais eficientes do que as plantas C3 (HATCH, 1987). Em comparação com a fotossíntese C3, a saturação abrupta da fotossíntese a níveis relativamente baixos de C_i em plantas C4 facilita a fotossíntese elevada em níveis relativamente baixos de condutância estomática e, portanto, maior eficiência de transpiração (GHANNOUM, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A cana-de-açúcar cresce entre latitudes 35°N e 30°S e altitude de até 1.000m ou um pouco mais. Necessita de estação longa, quente e condições hídricas adequadas para o crescimento vegetativo, e estação razoavelmente seca, ensolarada e fresca, porém sem geada, para o amadurecimento (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2011). Os

mecanismos que levam ao acúmulo de sacarose são de grande interesse, fornecendo ferramentas fisiológicas importantes para a seleção de genitores promissores, a fim de obter desses cruzamentos variedades que acumulem mais sacarose por colmo.

A sacarose, sintetizada nas folhas, é translocada pelo floema para as células parenquimáticas do colmo, onde é metabolizada e armazenada nas células de reserva, bem como no espaço apoplástico adjacente (WANG et al., 2013). A sacarose no espaço apoplástico é hidrolisada pela invertase ácida ligada à parede celular e as hexoses são translocadas por um transportador simporte (CASTRO, 2016). Durante a fase de maturação o crescimento vegetativo é reduzido e os açúcares simples; frutose e glicose (monossacarídeos), são convertidos à sacarose (dissacarídeo) que é então armazenada nos colmos. Esse acúmulo ocorre, primeiramente, nos colmos presentes na base da planta. Em uma cana madura, todos os colmos apresentam concentrações de sacarose semelhantes entre si (MOORE; BOTHA, 2014). A relação entre o carbono assimilado durante a fotossíntese e o processo de síntese e translocação de sacarose é um dos fatores limitantes para o acúmulo homogêneo, em todos os colmos, desse dissacarídeo (WANG et al., 2013).

Os processos que sinalizam o acúmulo de sacarose e fibra em diferentes variedades de cana precisam ser melhores estudados e compreendidos. A síntese e acúmulo rápido de sacarose ocorrem durante a fase de maturação da cana-de-açúcar, na qual o crescimento vegetativo é reduzido e os açúcares simples são convertidos em sacarose e acumulados nos colmos (MOORE; BOTHA, 2014).

1.2. Cana-energia

A biomassa apresenta uma promissora fonte de energia renovável em relação ao uso de energias fósseis. A cana-de-açúcar mostra características que permitem que ela seja utilizada tanto para açúcar (uso tradicional) quanto para produção de energia, devido à sua estrutura e acúmulo de sacarose nos colmos e pelas fibras presentes na estrutura celular (VERMERRIS, 2008). A tecnologia denominada “segunda geração” produz combustível e eletricidade a partir de materiais lignocelulósicos (CORTEZ, 2014). Algumas variedades de cana conhecidas como cana-energia, destinadas à produção de etanol de segunda geração, produzem alto teor de fibra e baixo teor de sacarose. A cana energia foi classificada em Tipo I e Tipo II. A cana do Tipo I, próxima à convencional, possui °Brix (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo) e fibra entre 14-18%; já a cana energia do Tipo II, apresenta baixo teor de sacarose aproximadamente 6-12% de °Brix e alto teor de fibra entre 20-26%. Entretanto, as rotas da partição do carbono durante a fotossíntese são ainda pouco conhecidas (MATSUOKA et al., 2014; SINGH, 2013; VERMERRIS, 2008).

A vantagem de se produzir mais fibra em detrimento do açúcar é que as plantas serão mais rústicas, o que traz diversas vantagens econômicas e ambientais, como, menor exigência de adubação de solo, clima, água e nutrientes e maior resistência a pragas e doenças (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2011).

1.3. Ecofisiologia da cana

A produção agrícola de diferentes culturas depende da interação da planta com o ambiente. A produção da matéria seca está relacionada com a interceptação de radiação solar, em que ocorre a transformação de energia química através da fotossíntese (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2011). Dessa forma, o cultivo da cana é bastante

influenciado pelas condições climáticas como: precipitação pluviométrica, temperatura, umidade do ar e radiação solar. Essas variáveis influenciam processos fisiológicos como crescimento, desenvolvimento, florescimento, maturação e produtividade (CASTRO, 2016).

Além da influência das variações climáticas, as características varietais também influenciam a eficiência fotossintética da cana, tais como; largura e espessura das folhas. Além disso, uma maior inclinação da folha no colmo conduz à maior eficiência fotossintética, sobretudo em populações de alta densidade, devido à maior eficiência da penetração da luz no dossel (RODRIGUES, 1995).

Em estudos da relação fonte/dreno, McCormick (2006) conclui-se que a regulação positiva da capacidade fotossintética da folha fonte está correlacionada com a diminuição da disponibilidade de assimilação do tecido dreno no colmo. Além disso, as análises sugerem uma relação significativa entre a concentração de hexose na fonte e a atividade fotossintética (MCCORMICK; CRAMER; WATT, 2006). As taxas fotossintéticas nas folhas de cana-de-açúcar são determinadas pela demanda de carbono nos tecidos dreno. A concentração de sacarose ou hexoses nas folhas está potencialmente envolvida na regulação por retroalimentação que limitam as taxas fotossintéticas, levando a um declínio na assimilação de carbono foliar e o início da senescência das folhas. Entretanto, os autores não encontraram evidências que correlacione o acúmulo de sacarose nos colmos e a diminuição da atividade fotossintética (INMAN-BAMBER et al., 2011). As taxas de fotossíntese da *S. spontaneum* têm sido consideradas cerca de duas vezes aquelas da *S. officinarum* e cerca de 30% superior a de variedades híbridas (CASTRO, 2016).

A condição inicial para que ocorra a fotossíntese é a absorção de energia radiante pelos pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas, que absorvem radiação luminosa na faixa de 400-700nm (LARCHER, 2000). Os sistemas fotossintéticos contêm um ou mais pigmentos capazes de absorver a radiação luminosa. As clorofilas *a* e *b* são abundantes nas plantas verdes. Os carotenoides são encontrados em todos os organismos fotossintéticos e estão presentes na membrana dos tilacoides fazendo parte do aparelho fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A clorofila *a* é o pigmento utilizado para realizar a fotoquímica, enquanto que os demais pigmentos auxiliam principalmente na transferência da energia radiante para os centros de reação (STREIT et al., 2005). A deficiência de clorofila pode ser reconhecida pela coloração pálida ou mesmo esbranquiçada da folha (LARCHER, 2000). A relação entre clorofila *a* e *b* em plantas terrestres pode ser utilizada como um indicador de resposta à sombra e senescência precoce (HENDRY; GRIME, 1993), sendo encontradas na natureza numa proporção de 3:1, respectivamente. Entretanto em plantas C4 esta proporção é próxima de 4:1 (LARCHER, 2000). O estresse por seca é normalmente caracterizado por perda de clorofila e um declínio progressivo na capacidade fotossintética das plantas o que leva a análise dos pigmentos fotossintéticos a ser uma importante ferramenta para a avaliação da sanidade e integridade dos aparatos internos da célula durante o processo de fotossíntese (RONG-HUA et al., 2006).

O metabolismo do carbono no interior da célula está relacionado à circulação atmosférica por meio de trocas gasosas, ou seja, a troca de CO₂ e O₂ entre o interior da planta e a atmosfera que a envolve. A fotossíntese líquida, ou taxa de assimilação de CO₂ foliar (A_n), pode ser obtida com a medição das trocas gasosas. O aparelho estomático tem papel decisivo para a entrada dos gases. Por meio da variação da abertura estomática, a planta controla o influxo de CO₂. Com o fechamento dos estômatos, a resistência estomática cresce. O inverso da resistência estomática é a condutância estomática (g_s), a qual é proporcional à abertura do poro estomático (LARCHER, 2000). O fechamento estomático também está relacionado a sinais externos, como concentração atmosférica de CO₂, umidade, temperatura e ácido abscísico (LAWSON, 2009). Sendo sensível à flutuação da umidade do solo, o grau de abertura dos estômatos determina em grande parte a quantidade e o padrão de perda de água pela transpiração (LIU et al., 2005; RAY; SINCLAIR, 1997). Desta forma, os estômatos permitem que as

plantas regulem a perda de água pela transpiração das folhas durante a absorção simultânea de CO₂ para a fotossíntese (FARQUHAR; SHARKEY, 1982; HETHERINGTON; WOODWARD, 2003).

Compreender as respostas de fechamento estomático, por diferentes culturas, à secagem progressiva do solo, contribuiria para a melhoria da produtividade agrícola sob seca variável (SOLTANI; SINCLAIR, 2012); entretanto, essas respostas são difíceis de determinar em condições de campo.

A densidade estomática é definida como o número de estômatos por unidade de área foliar, e há demonstrações teóricas de sua correlação com a condutância estomática (gs) (FRANKS; BEERLING, 2009). Estudos com mutantes de *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh, demonstraram que o aumento da densidade estomática alterou positivamente as trocas gasosas, sendo que a taxa de assimilação de CO₂ foliar teve um aumento de 30% sob condições constantes de crescimento (TANAKA et al., 2013). No entanto, para cana-de-açúcar não se sabe se a densidade estomática está correlacionada com a taxa de assimilação de CO₂ foliar por meio das trocas gasosas.

Determinaram-se maiores taxas de fotossíntese em *S. spontaneum* com baixos teores de sacarose do que em híbridos comerciais (*Saccharum* spp.) com alto teor de sacarose (IRVINE, 1975). Entretanto, características morfológicas como frequência e tamanho dos poros estomáticos, são controlados geneticamente por um ou poucos loci em milho e sorgo (HEICHEL, 1971; SUH et al., 1976), e a herdabilidade é normalmente elevada (LIANG et al., 1975).

Tentativas anteriores de seleção de plantas com propriedades estomáticas alteradas tiveram pouco impacto no melhor desempenho agrônomico (JONES, 1987). A tolerância ao estresse ambiental da cana-de-açúcar tem sido correlacionada com as propriedades estomáticas (NAIDU; CHAGYALAKSHMI, 1973), indicando que a seleção de cultivares que produzem bem em ambientes restritivos pode ser incluída na seleção implícita para características estomáticas.

Em análise de dados de campo, a luz e a diferença de pressão de vapor entre a folha e o ambiente (VPD) são os principais determinantes da condutância estomática em cana-de-açúcar bem irrigada. O aumento da luz provoca abertura dos estômatos, e o aumento de VPD provoca o fechamento, as sensibilidades relativas a esses dois parâmetros podem fornecer uma regulação rígida da condutância estomática. O uso de propriedades estomáticas como critério de seleção, requer um alto grau de herdabilidade genética, em vez de variabilidade induzida ambientalmente (GRANTZ; MOORE; ZEIGER, 1987), sendo necessário um estudo de população para confirmar essas características.

O alto teor de fibra é um componente importante para a cana-energia. Os híbridos, tendo *S. spontaneum* como genitor apresentam alto teor de fibra, e também elevado vigor e alto conteúdo de biomassa, por outro lado apresentam baixo teor de açúcar (ALEXANDER, 1985).

A cana-de-açúcar apresenta intenso perfilhamento, que são ramificações subterrâneas contínuas das juntas nodais compactas do colmo primário, proporcionando o número de colmos necessários para uma boa produção. O perfilhamento inicia-se em torno de 40 dias após o plantio e pode durar aproximadamente até os 120 dias após o plantio. Além dos fatores climáticos e das características genéticas das variedades, o perfilhamento é influenciado principalmente pela luz, visto que a incidência de radiação solar adequada, na base da planta, durante o período inicial do desenvolvimento ativa as gemas vegetais basais (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2011).

A folha é o órgão da planta responsável pela produção da maior parte dos carboidratos necessários ao crescimento e produção dos vegetais. A área foliar (AF) de uma planta pode ser relacionada a diversos parâmetros morfofisiológicos de interesse agrônomico. Conhecer a área foliar de um conjunto de variedades de cana permite

relacionar as variedades com seu potencial produtivo, seja em matéria seca ou em açúcar (HERMANN; CÂMARA, 1999).

O índice de área foliar (IAF) é a relação existente entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela planta (WATSON, 1952), o qual é incrementado com a idade do canavial, sendo que, na idade de máxima produtividade, as plantas devem atingir o IAF ótimo, que corresponde à máxima produção. O monitoramento da variação do IAF durante o ciclo de cultivo permite modelar o crescimento e o desenvolvimento da cultura (CASTRO, 2016).

Considerou-se citam que o índice de área foliar (IAF) é efetivo para avaliar o rendimento final, sendo que os maiores valores durante o ciclo de desenvolvimento estariam relacionados com a maior produção final de colmos. Nesse sentido, o conhecimento da dinâmica de desenvolvimento da área foliar, bem como da arquitetura do sistema foliar, em diferentes cultivares de cana-de-açúcar, poderá permitir melhor compreensão das relações destas características com o rendimento final (LEME et al., 1984).

Diversos fatores podem influenciar o crescimento da cana-de-açúcar, sendo os principais: cultivares, luminosidade, temperatura do ar e condições hídricas (RODRIGUES et al., 2018). A análise de crescimento em cana-de-açúcar nos permite identificar as melhores fases de desenvolvimento da cultura, sendo que avaliar as características morfológicas, como altura, diâmetro de colmo, perfilhamento, área foliar e produtividade, torna possível identificar a capacidade produtiva de diferentes variedades de cana-de-açúcar (COSTA et al., 2011).

Dentre as características avaliadas para a análise do crescimento, o diâmetro do colmo é o que apresenta menor variação, pois esta característica é dependente de fatores genéticos da planta, do número de perfilhos, do espaçamento utilizado, da área foliar e das condições climáticas (COSTA et al., 2011).

Nos entrenós maduros, as células adjacentes ao feixe vascular sofrem o processo de lignificação da parede celular (WALSH; SKY; BROWN, 2005). O método de Van Soest (GOERING; VAN SOEST, 1970), considerado o método de maior eficiência na análise de fibra insolúvel em água, é denominado método de fibra detergente neutra (FDN). Fundamenta-se na hipótese de que a fibra pode ser quantitativamente e especificamente separada dos outros componentes do alimento (proteínas, amido e lipídios) por ebulição com solução detergente em pH neutro. As fibras insolúveis (celulose, a maior parte das hemiceluloses e lignina) são separadas por filtração e as fibras solúveis em água (pectinas, gomas, mucilagens e algumas hemiceluloses) são perdidas durante o processamento e descartadas.

Para a cana-de-açúcar uma precipitação pluvial anual a partir de 1.500 mm, bem distribuída, é suficiente para a obtenção de altas produções (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Isso implica em que o manejo hídrico seja realizado com eficiência, com suprimentos hídricos adequados durante o desenvolvimento vegetativo (principalmente nas fases de germinação, perfilhamento e alongamento dos colmos) e alguma restrição no período de maturação, para forçar o repouso fisiológico e o enriquecimento em sacarose. Diante do exposto, esse trabalho teve como objetivo avaliar e comparar o brix, fibra, pol da cana, pol do caldo, FDA e FDN dos três genótipos de cana em um experimento de campo em condições ambientais na região de Araras-SP.

1.4. Justificativa e Objetivos

O acúmulo de sacarose depende de diversos processos metabólicos, dentre eles, a atividade fotossintética e a capacidade dos tecidos dreno em acumular compostos de carbono produzidos pelas folhas. Portanto, ao analisar

características anatômicas, morfológicas, fisiológicas e tecnológicas de genótipos de cana-de-açúcar, espera-se estabelecer uma relação entre o acúmulo de sacarose, produção de fibra e taxa fotossintética.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar aspectos morfofisiológicos de genótipos de cana-de-açúcar e cana energia.

Nossas hipóteses são: (i) que a espécie ancestral apresente maior número de colmos por touceiras que os cultivares comerciais, (ii) que o cultivar com maior IAF tenha o maior peso total por parcela; (iii) que o genótipo que apresentar maior densidade estomática apresente também maiores trocas gasosas, e consequentemente, maior taxa fotossintética (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (g_s); e (iv) genótipo com maior teor de pigmentos fotossintéticos apresente maior taxa fotossintética.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material Vegetal

Este trabalho foi desenvolvido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, cidade de Araras – SP (22°18'00''S; 47°23'03''O; 611 m de altitude) conduzido no período de setembro de 2016 a novembro de 2017, com plantio em outubro de 2016. O clima da região segundo a classificação Koppen é Cwa: mesotérmico, com verões quentes e úmidos e invernos secos, média anual de temperatura de 23°C e pluviosidade de 1300 milímetros. O solo é predominantemente classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico. Realizou-se uma análise do solo no Laboratório de análise química de solos e plantas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, Araras-SP (Anexo A), e posterior correção com calcário 1,5 t/ha. Os cultivares SP80-3280 e RB 855156 foram escolhidos por apresentarem alto teor de açúcar ($\geq 16\%$ de sacarose) e moderado teor de fibra ($\geq 12\%$ de fibra total). Já a espécie ancestral IN84-58 (*Saccharum spontaneum*) foi escolhida por apresentar baixo teor de açúcar ($\leq 6\%$ de sacarose) e alto teor de fibra ($\geq 23\%$ de fibra total) (BARRETO, 2016).

2.1.1. RB855156 (RB72454 x TUC71-7)

RB855156 é um cultivar que apresenta elevado touceiramento, principalmente na soca, média produtividade, diâmetro de colmo fino a médio, colmos eretos, porém decumbentes na fase adulta, ótima capacidade de brotação de soqueiras e alta precocidade, florescimento frequente, resistência à ferrugem marrom e ao carvão (DAROS; OLIVEIRA; BARBOSA, 2015).

2.1.2. SP80-3280 (SP71-1088 x H57-5028)

SP80-3280 é um cultivar que mostra alto teor de sacarose, perfilhamento intermediário, pouca isoporização, boa brotação de soqueira, entrenós de cor roxa ao sol e roxo-amarelada sob palha, resistente à ferrugem marrom e ao carvão (DAROS; OLIVEIRA; BARBOSA, 2015).

2.1.3. IN8458

IN8458 é uma espécie ancestral correspondente à espécie *S. spontaneum*, apresentando plantas de menor porte, colmos finos e fibrosos, praticamente sem açúcar, perfilhamento abundante, sendo resistente ao mosaico (CASTRO, 2016).

2.2. Condições meteorológicas

Os dados meteorológicos de precipitação pluvial mensal, temperatura máxima, média e mínima (em °C) do período experimental foram cedidos pela Estação Meteorológica da Universidade Federal de São Carlos, Campus

Araras-SP. A temperatura média em Araras, São Paulo, Brasil, durante o ano do experimento foi de 22,2 °C. O máximo de variação de temperatura entre as estações foi de 27,3 °C a 32,7 °C correspondendo ao outono de 2016, verão e primavera de 2017, respectivamente, enquanto o mínimo variou de 12,2 °C a 18,8 °C durante o inverno e verão de 2017, respectivamente (Tabela 1). Baixa umidade relativa do ar foi observada durante o inverno, correspondendo ao período de junho a setembro de 2017. Precipitação foi mais abundante durante o período da primavera de 2016 e verão de 2017, reduzindo progressivamente durante as estações subsequentes. Durante o inverno (correspondente ao nono mês após o plantio da cana-de-açúcar) a precipitação foi de 24,4 mm, sendo 22 vezes mais baixa do que no verão. A média diária da radiação solar acumulada durante o experimento foi de 19,7 MJm⁻²dia⁻¹ e o total acumulado da radiação solar foi de 6250,9 MJm⁻². Os dados climatológicos ao longo dos meses encontram-se sumarizados na Figura 1.

Tabela 1. Resumo das condições climáticas durante o ano experimental, separadas por estação do ano.

		Primavera 2016*	Verão	Outono	Inverno	Primavera 2017*
Temperatura (°C)	Máximo	31,1	32,7	27,3	27,7	32,7
	Mínimo	16,2	18,8	15,1	12,2	16,3
	Média	22,9	24,1	20,4	19,3	23,4
Umidade relativa	Máximo	100	100	100	100	100
	Mínimo	56,4	42,9	61,5	41,6	40,2
	Média	88,4	89,3	88,9	74,9	76,5
Precipitação acumulada (mm)		524,8	557,5	265,3	24,4	229,1
Radiação solar acumulada (MJ m ⁻²)		1679,5	491,8	1351,3	1490,3	1238

* Os valores correspondem ao período do experimento e não da estação inteira (07/10/16 a 17/11/17).

Figura 1. Resumo das condições climatológicas durante o experimento, compreendendo o período de 07/10/16 à 17/11/17. Em colunas, dados de precipitação pluviométrica mensal acumulada (mm), em linha cheia, temperatura média mensal (°C), em linha pontilhada, dados de radiação solar global mensal acumulada (MJ/m²). Dados coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de São Carlos, Campus Araras-SP.

2.3. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido seguindo o modelo de blocos casualizados, com três tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram representados pelas variedades. A área do experimento foi de 189 m², subdividida em parcelas de 3 linhas de cultivo de 3 metros lineares, contendo 6 touceiras em cada linha, o que representa 12,6 m², espaçamento entre linhas de 1,4 m e duas linhas de bordadura.

2.4. Avaliações biométricas

2.4.1. Avaliação do número de colmos por touceira

As avaliações das características biométricas foram realizadas, em campo, aos 5º mês após o plantio (MAP) (março 2017), 7º MAP (maio 2017), 9º MAP (julho 2017) e 13º MAP (novembro 2017). A avaliação do número de colmos (NC) foi realizada nos quatro tempos por meio de contagem direta dos colmos das touceiras.

2.4.2. Avaliação de altura e diâmetro de colmos

A avaliação e registro da altura (AC) e diâmetro (DC), foram realizadas aos 5º, 7º, 9º e 13º MAP, foram cortados 10 colmos de cada parcela aleatoriamente. A altura foi medida com uma trena graduada em escala de centímetros, sendo que a medida foi realizada da base do colmo até a altura da bainha da folha +1, contagem das folhas foi realizada conforme o sistema Kuijper, segundo Gallo (1962). A avaliação do diâmetro do colmo foi mensurada em milímetros, com o uso de paquímetro digital, na altura correspondente à 1/3 a partir da base. A média dos 10 valores observados formou as notas de altura e diâmetro para cada parcela avaliada.

2.4.3. Peso total de colmos por parcela

Aos 13 meses após o plantio, todos os colmos produzidos por parcela foram cortados na altura da base do colmo, retirado o ponteiro, porém não foi realizado a despalha, posteriormente o feixe da parcela foi pesados por intermédio de um dinamômetro analógico.

2.4.4. Avaliação do número de folhas verdes

A avaliação do número de folhas verdes foi realizada aos 5º, 7º, 9º e 13º MAP, tendo o início da contagem a folha +1, contagem das folhas foi realizada conforme o sistema Kuijper, segundo Gallo (1962). Foram consideradas folhas verdes as folhas totalmente expandidas com pelo menos 20% da área foliar verde (N). Foi calculado uma média do número de folhas verdes avaliadas de 5 touceiras por parcela.

2.4.5. Avaliação da área foliar e índice de área foliar

A avaliação da área foliar e do índice de área foliar foi realizada aos 5°, 7°, 9° e 13° MAP. Para cálculo da área foliar foram realizadas medições da largura e do comprimento do limbo foliar na parte mediana da folha +3 (Anexo 2), a contagem foi realizada conforme o sistema Kuijper, segundo Gallo (1962), utilizando para isso régua e fita métrica segundo a metodologia de Hermann e Câmara (1999), na qual, C é o comprimento da folha +3 e L sua largura. O fator de correção da cultura é 0,75 e N o número de folhas abertas com ao menos 20 % de área verde (HERMANN; CÂMARA, 1999).

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (N+2) \text{ (metros}^2\text{)}$$

O índice de área foliar (IAF) foi obtido dividindo-se a área foliar por perfilho pela área do terreno ocupada, sendo a área considera para cada touceira de 0,105 m².

2.5. Avaliações fisiológicas

2.5.1. Teor de pigmentos fotossintetizantes

Para a avaliação dos pigmentos fotossintetizantes, os teores de clorofila *a*, *b*, total, razão entre clorofila *a* e *b* e carotenoides, foram determinados através do método de extração com acetona, segundo Hendry e Grime (1993), com modificações. Foram utilizadas 5 folhas +3 por parcela, de cada folha foram retirados 10 discos foliares (0,69 cm² cada), amostrados com auxílio de um furador entre a borda e a nervura central. Os discos foliares foram imersos em 10 mL de acetona 80 % (v/v). A solução foi protegida da luz e armazenada em geladeira a 4°C, por um período de 72h, submetida à agitação diária. A leitura da absorbância em espectrofotômetro foi realizada nos comprimentos de onda de 480, 645 e 663 nm. As avaliações foram realizadas ao 5°, 7°, 9° e 13° MAP.

Os teores de pigmentos fotossintéticos foram calculados pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Clorofila } a = \frac{(12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times 1,119}{PF \times 100} \text{ (}\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF)}$$

$$\text{Clorofila } b = \frac{(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times 1,102}{PF \times 100} \text{ (}\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF)}$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{(A_{480} + 0,114 \times A_{663} - 0,638 \times A_{645}) \times V \times 10^3}{PF \times 112,5} \text{ (}\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF)}$$

Em que:

A_{480} , A_{645} , A_{663} = representam as absorbâncias em 480, 645 e 663nm;

V= volume de acetona a 80% usado na extração (L); e

MF= peso da matéria fresca da qual foi extraída a clorofila (g).

2.5.2. Trocas gasosas

Para a análise de trocas gasosas a taxa de assimilação de CO₂ (A – $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s – $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e taxa de transpiração foliar (E – $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foram avaliadas com o uso do equipamento IRGA (Infra-Red Gas Analyser), modelo LCPro+ da marca ADC (England). Foram realizadas duas medidas em 5 plantas

por parcela, avaliadas no terço médio de folhas maduras completamente expandidas (folhas +3), utilizando concentração de CO₂ de 400 ppm, radiação fotossinteticamente ativa (RFA) de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ com fonte de luz acoplada e variação natural da temperatura e umidade relativa do ar, entre os horários de 08h30 à 11h00. As avaliações foram realizadas aos realizada aos 5°, 7°, 9° e 13° MAP.

2.6. Avaliação anatômica

2.6.1. Densidade estomática

Para a avaliação da densidade estomática foi o utilizado o método de impressão paradérmica com super cola (SEGATTO et al., 2004). A partir de duas folhas por parcela foi realizada a impressão paradérmica do terço médio das folhas maduras completamente expandidas (folha +3), a contagem foi realizada conforme o sistema Kuijper, segundo Gallo (1962), de ambos os lados da folha, cada lâmina foi fotografada em três regiões diferentes com o auxílio do microscópio de captura, com aumento de 10X. A contagem dos estômatos foi realizada com o auxílio do programa ImageJ, dividindo o número de estômatos pela área utilizada para a contagem (1,14 mm²) foram obtidos os valores de densidade estomática da superfície adaxial (DAD, estômatos/mm²) e densidade estomática da superfície abaxial (DAB, estômatos/mm²). As avaliações foram realizadas aos realizada aos 5°, 7°, 9° e 13° MAP.

2.7. Avaliações tecnológicas

As análises tecnológicas foram realizadas aos realizada aos 5°, 7°, 9° e 13° MAP. Para realização das análises, 10 colmos foram coletados de cada parcela e encaminhados ao LAST (Laboratório de Análise e Simulação Tecnológica) do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar. As variáveis tecnológicas foram determinadas de acordo com a metodologia preconizada pelo CONSECANA (Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo) (CONSECANA-SP, 2006).

Sendo assim, os colmos foram desfibrilados em forrageira e posteriormente homogeneizados. Para realizar a extração do caldo na prensa hidráulica, foi aplicada uma pressão de 250kg/m² por minuto em 500g de cana desfibrilada. O caldo extraído foi recolhido e o bolo de bagaço prensado (bolo úmido) foi pesado.

2.7.1. Determinação de sólidos solúveis (°Brix)

A determinação do °Brix (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo) foi realizada após a extração do caldo em prensa hidráulica com o auxílio do refratômetro de bancada.

2.7.2. Determinação do teor de sacarose (Pol%Caldo e Pol%Cana)

Utilizando o sacarímetro digital, determinou-se o teor de sacarose presente no caldo extraído (Pol%Caldo). Para realização da leitura sacarimétrica o caldo foi clarificado, adicionando-se, aproximadamente 5

gramas de clarificante por 200mL de caldo. Após a clarificação, o caldo é filtrado e, então, feito a leitura da polarização no sacarímetro. O teor de sacarose presente no caldo (Pol%Caldo) é dado pela fórmula:

$$\text{Pol\% Caldo} = (\text{LPb} \times 1,00621 + 0,05117) \times (0,2605 - 0,0009882 \times B), \text{ onde:}$$

LPb = Leitura sacarimétrica

B = °Brix do caldo

O teor de sacarose presente na cana (Pol%Canas) é calculado com base no teor de sacarose presente no caldo extraído (Pol%Caldo), no teor de fibra presente na cana (Fibra % Cana) e no coeficiente C, o qual converte pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto. Assim, o Pol%Canas é dado pela fórmula:

$$\text{Pol\%Canas} = S \times (1 - 0,01 \times F) \times C, \text{ onde:}$$

S = Pol%Caldo;

F = Fibra da cana;

C = Coeficiente C = $1,0313 - 0,00575 \times F$.

2.7.3. Determinação do teor de fibra

O teor de fibra presente na cana foi determinado pelo método da prensa hidráulica, seguindo metodologia descrita pelo manual consecana, segundo método de Tanimoto, 1964. O teor de fibra é dado pelos cálculos da equação:

$$\text{Fibra\%Canas} = [(100 \times \text{PBS}) - (\text{PBU} \times B)] / [5 \times (100 - B)]$$

Onde;

PBS – peso do bolo seco

PBU – Peso do bolo úmido

B – Brix do caldo

2.7.4. Fibra detergente neutro

O teor de fibra detergente neutro foi obtido segundo Van Soest (1970) que define resíduo detergente neutro como o obtido depois da digestão por solução detergente neutra, essencialmente constituído de celulose, hemicelulose e lignina, frequentemente chamada de fibra detergente neutra.

2.7.5. Fibra detergente ácido

O teor de fibra detergente ácido foi obtido segundo método de Goering e Van Soest (GOERING; VAN SOEST, 1970) que define resíduo detergente ácido como o obtido depois da digestão por solução detergente em pH ácido.

2.8. Análise estatística

Para análise dos resultados foi empregado o tratamento estatístico das características individuais. A análise de variância foi realizada pelo teste de F, valor de $p < 0,05$, utilizando o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias. Foi utilizado o software R, ver.3.3.0 (R Core Team 2013).

As correlações entre as características avaliadas nos capítulos anteriores foram calculadas através das médias com o coeficiente padrão de Pearson e foram testadas assumindo um nível global significativo de $\alpha = 0,05$ no software R (<http://www.cran.r-project.org>) usando o pacote psych (REVELLE, 2014), que também foi usado para desenhar gráficos de dispersão entre pares de características.

3. RESULTADOS

3.1. Avaliações biométricas

Os resultados referentes às avaliações de número de colmos por touceira, altura média e diâmetro de colmos dos três genótipos foram sumarizados na Tabela 2.

3.1.1. Avaliação do número de colmos por touceira

Considerando os três genótipos estudados, os valores médios do número de colmos variaram de 5,56 colmos/touceira (RB855156 no 13° MAP) até 19,40 colmos/touceira (IN84-58 no 9° MAP).

Tabela 2. Número de colmos por touceira (NC), altura média de colmos (AC) e diâmetro médio de colmos (DC) dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d..

Variedades	NC	AC (m)	DC (mm)
5° MAP			
IN84-58	10,72 $\pm$ 2,22 a	1,22 $\pm$ 0,05 b	11,14 $\pm$ 0,55 b
RB855156	5,80 $\pm$ 0,76 b	1,39 $\pm$ 0,07 a	29,43 $\pm$ 1,31 a
SP80-3280	7,44 $\pm$ 1,03 b	1,25 $\pm$ 0,09 ab	28,39 $\pm$ 2,35 a
CV(%)	14,58	6,62	5,03
7° MAP			
IN84-58	18,28 $\pm$ 3,08 a	1,81 $\pm$ 0,10 b	10,94 $\pm$ 0,4 b
RB855156	6,56 $\pm$ 1,46 b	2,18 $\pm$ 0,11 a	28,44 $\pm$ 0,97 a
SP80-3280	7,68 $\pm$ 0,86 b	2,06 $\pm$ 0,08 a	28,66 $\pm$ 1,12 a
CV(%)	16,64	3,98	3,74
9° MAP			
IN84-58	19,40 $\pm$ 2,79 a	2,10 $\pm$ 0,05 b	10,46 $\pm$ 0,42 b
RB855156	6,08 $\pm$ 1,32 b	2,32 $\pm$ 0,06 a	28,23 $\pm$ 1,38 a
SP80-3280	7,08 $\pm$ 0,69 b	2,39 $\pm$ 0,12 a	27,74 $\pm$ 0,68 a
CV(%)	15,61	4,32	4,01
13° MAP			
IN84-58	17,48 $\pm$ 3,83 a	2,34 $\pm$ 0,10 c	10,34 $\pm$ 0,36 b
RB855156	5,56 $\pm$ 1,31 b	2,50 $\pm$ 0,02 b	28,11 $\pm$ 1,06 a
SP80-3280	6,40 $\pm$ 0,68 b	2,70 $\pm$ 0,12 a	28,74 $\pm$ 1,15 a
CV(%)	21,04	3,27	4,60

Como esperado, o número de colmos por touceira apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral em todos os tempos de análise. Os cultivares apresentaram valores médios do número de colmos significativamente menores àquelas observados na espécie ancestral ao longo dos meses de avaliação. Os valores de CV(%) para as análises do número de colmos variaram de 14,58 a 21,04 (Tabela 2).

Observou-se um aumento no número de colmos entre os meses março e maio (5 e 7 meses após o plantio) para a espécie ancestral (IN84-58), variando de 10,72 para 18,28, mantendo sem muitas variações nos meses

seguintes, tendo em média 18,38 colmos por touceira. Já para as variedades RB855156 e SP80-3280 não ocorreu grandes aumentos, tendo em média 6 e 7,15 colmos por touceira, respectivamente ao longo dos meses (Figura 2).

Figura 2. Número de colmos por touceira dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

3.1.2. Avaliação de altura e diâmetro de colmos

Considerando os três genótipos estudados, os valores médios de altura (AC) variaram de 1,22 m (IN884-58 no 5° MAP) até 2,71 m (SP80-3280 no 13° MAP). A AC apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral no 5°, 7° e 9° MAP, entretanto no 13° MAP os três genótipos apresentaram diferença significativa. Os cultivares mostraram valores de AC significativamente maiores àquelas observados na espécie ancestral ao longo dos meses de avaliação. Os valores de CV(%) foram baixos para as análises de AC variando de 3,27 a 6,62 (Tabela 2).

Observou-se um crescimento rápido da AC entre os meses de março e maio (5° e 7° MAP) para todos os genótipos avaliados, com destaque para a variedade SP80-3280, que obteve um crescimento diário de 1,33cm/dia neste período, e um incremento de 146 cm no período da colheita (novembro) (Figura 3).

Figura 3. Altura média de colmos (m) dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Dentre as características analisadas o diâmetro do colmo é o que apresentou a menor variação ao longo do tempo. Os resultados referentes às avaliações de diâmetro dos três genótipos foram sumarizados na Tabela 2. Considerando os três genótipos estudados, os valores médios diâmetro variaram de 10,34 mm (IN8458 no 13° MAP) até 29,43 mm (RB855156 no 5°MAP). O diâmetro apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral em todos os meses de análise. Os cultivares mostraram valores médios de diâmetro significativamente maiores àqueles observados na espécie ancestral ao longo dos meses de avaliação. No 13° MAP foram observados valores médios similares entre os cultivares (28 mm) e a espécie ancestral apresentou diâmetro de 11,34 mm (Figura 4). Os valores de CV(%) foram baixos para as análises de diâmetro variando de 3,74 a 5,03.

Figura 4. Diâmetro médio de colmos (mm), a 1/3 a partir da base, dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Na figura 5 observa-se com mais detalhes a diferença de diâmetro dos colmos maduros dos genótipos avaliados, sendo na figura 5 – B o corte transversal do meio do colmo maduro, evidenciando o interior fibroso da espécie ancestral (5-B-1)(Figura 5).

Figura 5. A – Colmo maduro dos genótipos visto de cima, cana-planta no 6°MAP; 1 – IN84-58; 2- RB855156; 3 – SP80-3280. B – Colmo em corte transversal; 1 – IN84-58; 2- RB855156; 3 – SP80-3280.

3.1.3. Peso total de colmos por parcela

A avaliação do peso da parcela foi realizada em uma única etapa, em novembro, ao 13 ° MAP. Observou-se diferença estatística significativa para os 3 genótipos, sendo que a IN84-58 apresentou peso de 77,80 kg/parcela (61,7 t/ha), seguido da RB855156 com o peso de 196,11kg/parcela (155,63 t/ha) e a SP80-3280 com o peso de 239,87 kg/parcela (184,80 t/ha) (Figura 6).

Sendo os indicadores de produtividade altura, diâmetro e número de colmos, os resultados deste trabalho mostraram que a altura média dos colmos e o diâmetro foram os fatores responsáveis pela diferença no peso da parcela ao final do experimento, o cultivar SP80-3280 apresentou maior peso por parcela no final do experimento, no 13°MAP, embora a espécie ancestral tenha mostrado maior número de colmos por touceira.

Figura 6. Peso total da parcela em Kg dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras representam diferença estatística significante pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

3.1.4. Avaliação do número de folhas verdes

Os resultados referentes às avaliações do número de folhas verdes dos três genótipos foram sumarizados na Tabela 3. Considerando os três genótipos estudados, os valores médios do número de folhas verdes variaram de 1,16 (RB855156 no 13° MAP) até 6,68 (RB855156 no 7° MAP). O número de folhas verdes apresentou diferença significativa entre o cultivar RB855156 e entre os genótipos SP80-3280 e IN84-58, no 5° e 7° MAP, já no 9° MAP não foi observada diferença significativa entre os genótipos, entretanto no 13° MAP os três genótipos apresentaram diferença significativa. Ao longo do tempo o número de folhas verdes foi praticamente constante para a IN84-58 e para a SP80-3280, tendo em média valores de 5,11 e 5,57, respectivamente. Entretanto, devido ao florescimento da RB855156, e consequente senescência, observou-se, em novembro (13 MAP) uma queda no número de folhas verdes para este cultivar, tendo apresentado valor médio, de 6,20 nas três primeiras análises e 1,16 para a quarta análise (Figura 7).

Os valores de CV(%) para as análises do número de folhas verdes variaram de 4,26 a 16,30.

Figura 7. Número de folhas verdes por colmo dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), *ns* – não significativo.

Ponteiro mostrando a inclinação da inserção de folhas nos genótipos avaliados, cana-planta no 6ºMAP; A – IN84-58; B – RB855156; C – SP80-3280.

Observa-se na figura 8 o ponteiro evidenciando a inclinação de inserção foliar dos genótipos avaliados, destacando a espécie ancestral com folhas mais abertas e mais espaçadas (A), e o cultivar SP80-3280 (B) com folhas mais fechadas e menos espaçadas (Figura 8).

3.1.5. Área foliar e índice de área foliar

Os resultados referentes às avaliações de área foliar dos três genótipos foram sumarizados na Tabela 3. Considerando os três genótipos estudados, os valores médios da área foliar variaram de 0,10 (IN84-58 no 5º MAP) até 0,47 (RB855156 no 7º MAP). A área foliar apresentou, no 5º MAP, diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral (IN84-58), já no 7º e 9º MAP os três genótipos apresentaram diferença significativa, entretanto no 13º MAP o cultivar SP80-3280 apresentou diferença significativa em relação aos genótipos RB855156 e IN84-58.

Tabela 3. Número de folhas verdes por colmo, área foliar e índice de área foliar (IAF) dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280 ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d..

Variedades	Nº folhas verdes	Área Foliar (m ²)	IAF
05° MAP			
IN84-58	5,12 $\pm$ 0,62 b	0,10 $\pm$ 0,02 b	0,96 $\pm$ 0,14 b
RB855156	5,90 $\pm$ 0,50 a	0,40 $\pm$ 0,03 a	3,81 $\pm$ 0,29 a
SP80-3280	5,42 $\pm$ 0,57 b	0,36 $\pm$ 0,05 a	3,47 $\pm$ 0,43 a
CV(%)	4,26	8,28	8,11
07° MAP			
IN84-58	4,98 $\pm$ 0,43 b	0,14 $\pm$ 0,03 c	1,35 $\pm$ 0,24 c
RB855156	6,68 $\pm$ 0,65 a	0,47 $\pm$ 0,05 a	4,47 $\pm$ 0,48 a
SP80-3280	5,20 $\pm$ 0,35 b	0,43 $\pm$ 0,05 b	4,06 $\pm$ 0,45 b
CV(%)	4,27	6,29	6,18
09° MAP			
IN84-58	5,74 $\pm$ 0,37 a	0,15 $\pm$ 0,01 c	1,39 $\pm$ 0,12 c
RB855156	6,00 $\pm$ 1,40 a	0,37 $\pm$ 0,07 b	3,49 $\pm$ 0,65 b
SP80-3280	5,52 $\pm$ 0,32 a	0,44 $\pm$ 0,02 a	4,22 $\pm$ 0,22 a
CV(%)	12,85	11,27	10,82
13° MAP			
IN84-58	4,63 $\pm$ 0,46 b	0,12 $\pm$ 0,00 b	1,13 $\pm$ 0,04 b
RB855156	1,16 $\pm$ 0,47 c	0,13 $\pm$ 0,06 b	1,21 $\pm$ 0,51 b
SP80-3280	6,16 $\pm$ 0,70 a	0,45 $\pm$ 0,07a	4,26 $\pm$ 0,66 a
CV(%)	16,30	21,18	20,43

A área foliar apresentou comportamento semelhante quanto ao número de folhas verdes, ou seja, ao longo do tempo a área foliar foi praticamente constante para a IN84-58 e para a SP80-3280, tendo em média valores de 0,13 e 0,42, respectivamente. Entretanto, devido ao florescimento da RB855156, e consequente senescência, observou-se, em novembro (13 MAP) uma queda no número de folhas verdes para esta variedade, tendo apresentado valor médio de 0,41 nas três primeiras análises e 0,13 para a quarta análise (Figura 9).

Os valores de CV(%) para as análises de área foliar variaram de 6,29 a 21,18.

Figura 8. Área foliar, em m², da folha +3, dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Um dos fatores que contribuiu para a menor área foliar observada, para a espécie ancestral, foi a largura da folha, sendo que a espécie ancestral apresentou largura média de 1,8cm e os cultivares SP80-3280 e RB855156 apresentaram largura média de 5,0 cm (Anexo B). Na figura 10, observa-se a diferença entre as folhas +3 dos genótipos avaliados (Figura 10).

Figura 9. Folha +3 nos genótipos avaliados, cana-planta no 6ºMAP; A – IN84-58; B – RB855156; C – SP80-3280.

O Índice de Área Foliar (IAF) é representado pela área foliar da planta sobre a área de cobertura do terreno. Os resultados mostraram que o IAF das variedades estudadas apresentou comportamento semelhante ao da área foliar, ou seja, praticamente linear para as variedades SP80-3280 e IN84-58. Entretanto a variedade RB855156 mostrou uma queda nas duas últimas épocas de análise (Figura 8).

O IAF apresentou diferença significativa entre os cultivares os genótipos em todos os meses de análise.

Figura 10. Índice de área foliar dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Ao 7º MAP a variedade que apresentou maior IAF foi a RB855156 (4,47), e a IN84-58 apresentou o menor IAF, da ordem de 1,35. Já, no 9º MAP, a que apresentou maior IAF foi a SP80-3280 4,22 e o menor, a IN84-58 1,39 m².

O cultivar RB855156 que apresentou maior IAF nos dois primeiros meses de análise, decresceu nas duas análises seguintes, o que pode ser devido ao seu florescimento na quarta época de análise (novembro – 13 MAP).

Na quarta época de análise (novembro) a variedade SP80-3280 apresentou a maior IAF 4,26, deferindo estatisticamente da RB855156 (1,21) e da IN84-58 (1,13).

3.2. Avaliações fisiológicas

3.2.1. Teor de pigmentos fotossintetizantes

Os resultados referentes às avaliações dos pigmentos fotossintetizantes das folhas dos três genótipos foram sumarizados na Tabela 4. Considerando os três genótipos estudados, os valores médios de Clorofila *a* (Clh *a*) variaram de 2,61 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (IN84-58 no 05° MAP) a 1,11 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (RB855156 no 13° MAP). A Clh *a* apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral (IN84-58) no 05° MAP, entretanto, no 13° MAP, foi observada diferença significativa entre o cultivar SP80-3280 e os demais genótipos avaliados (Figura 9).

O teor de clorofila *a* para a IN84-58 em relação ao 5° MAP decaiu 27,59% para o 7° MAP e 9° MAP e 50,57% para o 13° MAP. Nos 5° e 9° MAP, a espécie ancestral apresentou maiores valores de Clh *a* e nos 7° e 13° MAP o cultivar SP80-3280 apresentou maiores valores de Clh *a*.

Não observamos diferença significativa entre os genótipos avaliados para as análises de Clh *a* no 7° e 9° MAP, entretanto, notamos que a variação dos valores de Clh *a* entre esses meses foi muito pequena, sendo a maior diferença observada para o genótipo SP80-3280, variando de 1,91 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (7° MAP) para 1,72 (9° MAP) $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$.

Os valores de CV(%) para as análises de Clh *a* variaram de 6,60 a 15,76.

Figura 11. Teor de Clorofila *a* ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ns – não significativo.

O teor de Clorofila *b* (Clh *b*) apresentou comportamento semelhante ao observado para Clorofila *a* (Clh *a*), variando de 0,85 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (IN84-58 no 05° MAP) a 0,29 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (RB855156 no 13° MAP). A Clh *b* apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral (IN84-58) no 05°MAP, entretanto, no 13°MAP, houve diferença significativa entre o cultivar SP80-3280 e os genótipos RB855156 e IN84-58 (Figura 10).

O teor de clorofila *b* para a IN84-58 em relação ao 5°MAP decaiu 21,18% para 7°MAP, 38,82% para o 9°MAP e 57,65% para o 13°MAP. No 5°, 7° e 9° MAP a espécie ancestral apresentou maiores valores de Clh *b* e no mês 13 o cultivar SP80-3280 apresentou maiores valores de Clh *b*.

Figura 12. Teor de Clorofila *b* ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significante pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), ns – não significativo.

Não foi observado diferença significativa entre os genótipos avaliados para as análises de Clh *b* no 7° MAP e 9° MAP. Os valores de CV(%) para as análises de Clh *b* variaram de 10,84 a 18,04.

Considerando os três genótipos estudados, os valores médios do teor de clorofila total (ClhT) variaram de 1,40 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (RB855156 no 13° após o plantio) a 3,15 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (IN84-58 no mês 05 após o plantio). A ClhT apresentou diferença significativa entre o cultivar SP80-3280 e a espécie ancestral IN84-58 no 5° MAP, entretanto, no 13° MAP, notou-se diferença significativa entre o cultivar SP80-3280 e os genótipos IN84-58 e RB855156 (Tabela 4).

O teor de clorofila total para a IN84-58 em relação ao 5° MAP decaiu 18,73% para o 7° MAP, 26,35% para o 9° MAP e 47,62% para o 13° MAP. Nos 5° e 9° MAP a espécie ancestral apresentou maiores valores de Clh *a+b*, entretando no 7° MAP o cultivar SP80-3280 e a espécie ancestral apresentaram o mesmo valor de Clh T (2,56 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$), no 13° MAP o cultivar SP80-3280 apresentou maior valor de Clh T (Figura 11).

Os valores do coeficiente de variação, CV(%), para as análises de Clh T foram de 7,78 a 16,28.

Figura 13. Clorofila Total ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), ns – não significativo.

Tabela 4. Teor de pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* (Clh *a*, $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$), clorofila *b* (Clh *b*, $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$), clorofila total (ClhT, $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$), razão entre clorofila *a* e *b* (Clh *a/b*) e carotenoide (TC, $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$), dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d..

Variedades	Clh <i>a</i>	Clh <i>b</i>	ClhT	Clh <i>a/b</i>	TC
5° MAP					
IN84-58	2,61 $\pm$ 0,21 a	0,85 $\pm$ 0,14 a	3,15 $\pm$ 0,34 a	3,17 $\pm$ 0,12 a	0,69 $\pm$ 0,08 a
RB855156	2,01 $\pm$ 0,06 b	0,64 $\pm$ 0,04 b	2,73 $\pm$ 0,10 ab	3,31 $\pm$ 0,21 a	0,49 $\pm$ 0,02 b
SP80-3280	2,32 $\pm$ 0,11 b	0,77 $\pm$ 0,03 ab	3,09 $\pm$ 0,13 b	3,03 $\pm$ 0,13 a	0,51 $\pm$ 0,03 b
CV(%)	6,60	12,99	7,94	5,71	10,33
7° MAP					
IN84-58	1,89 $\pm$ 0,12 a	0,67 $\pm$ 0,09 a	2,56 $\pm$ 0,15 a	3,07 $\pm$ 0,20 a	0,53 $\pm$ 0,05 a
RB855156	1,71 $\pm$ 0,17 a	0,58 $\pm$ 0,12 a	2,29 $\pm$ 0,29 a	3,21 $\pm$ 0,18 a	0,61 $\pm$ 0,31 a
SP80-3280	1,91 $\pm$ 0,14 a	0,65 $\pm$ 0,12 a	2,56 $\pm$ 0,24 a	3,09 $\pm$ 0,34 a	0,42 $\pm$ 0,06 a
CV(%)	8,06	10,84	7,78	5,96	37,97
9 MAP					
IN84-58	1,81 $\pm$ 0,28 a	0,52 $\pm$ 0,10 a	2,32 $\pm$ 0,38 a	3,54 $\pm$ 0,19 a	0,53 $\pm$ 0,03 a
RB855156	1,70 $\pm$ 0,15 a	0,51 $\pm$ 0,05 a	2,21 $\pm$ 0,20 a	3,39 $\pm$ 0,15 a	0,51 $\pm$ 0,02 a
SP80-3280	1,72 $\pm$ 0,31 a	0,48 $\pm$ 0,09 a	2,20 $\pm$ 0,40 a	3,57 $\pm$ 0,17 a	0,52 $\pm$ 0,06 a
CV(%)	15,76	18,04	16,28	4,78	8,61
13° MAP					
IN84-58	1,29 $\pm$ 0,08 ab	0,36 $\pm$ 0,03 b	1,65 $\pm$ 0,11 b	3,63 $\pm$ 0,29 ab	0,40 $\pm$ 0,02 ab
RB855156	1,11 $\pm$ 0,26 b	0,29 $\pm$ 0,06 b	1,40 $\pm$ 0,32 b	3,86 $\pm$ 0,20 a	0,36 $\pm$ 0,07 b
SP80-3280	1,58 $\pm$ 0,22 a	0,45 $\pm$ 0,07 a	2,03 $\pm$ 0,28 a	3,59 $\pm$ 0,27 b	0,46 $\pm$ 0,07 a
CV(%)	12,48	12,55	12,35	3,58	11,78

Considerando os três genótipos estudados, os valores médios da razão entre Clorofila *a* e *b* (Clh *a/b*) variaram de 3,03 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (SP80-3280 no 5° MAP) a 3,86 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (RB855156 no 13° MAP). A Clh *a/b* apresentou diferença significativa entre o cultivar RB855156 (3,86) e os genótipos SP80-3280 (3,59) e IN84-58 (3,63) somente no mês 13, e nos demais meses não foi observada diferenças significativas (Figura 12).

Os valores do coeficiente de variação, CV(%), para as análises de Clh *a/b* foram de 3,58 a 5,96.

Figura 14. Razão entre clorofila *a* e *b* dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), ns – não significativo.

O teor de carotenoides (TC) apresentou comportamento semelhante ao observado para Clorofila *a* e *b*. Considerando os três genótipos estudados, os valores médios variaram de 0,36 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (RB855156 no mês 13 após o plantio) a 0,69 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ (IN84-58 no mês 05 após o plantio). O teor de carotenoides apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral (IN84-58) no 5º MAP, entretanto, no 13º MAP, notou-se diferença significativa entre p cultivar SP80-3280 e os demais genótipos avaliados (Tabela 4).

O teor de carotenoides para a IN84-58 em relação ao 5º MAP decaiu 23,19% para o 7º e 9º MAP e 42,03% para o 13º MAP. Os valores de CV(%) para as análises de carotenoides variaram de 8,61 a 37,97.

Não foi observada diferença significativa entre os genótipos avaliados para as análises de carotenoides aos 7º e 9º MAP, entretanto, verificou-se que, a variação dos valores de carotenoides entre esses meses foi muito pequena, sendo observado um aumento de 0,10 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ para a SP80-3280 e uma diminuição de 0,10 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$ para a RB855156 (Figura 13).

Figura 15. Carotenoides ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{MF}$) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), ns – não significativo.

3.2.2. Trocas gasosas

Os resultados referentes às avaliações de trocas gasosas dos três genótipos foram sumarizados na Tabela 5. Considerando os três genótipos estudados, os valores médios da taxa de assimilação de CO_2 (A – $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) variaram de $12,85 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (IN84-58 no 9º MAP) até $29,93 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (SP80-3280 no 5º MAP). Embora fosse esperado diferença significativa entre as taxas de assimilação de CO_2 dos genótipos avaliados, isto não foi observado. (Figura 14).

Figura 16. Taxa de assimilação de CO_2 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), ns – não significativo.

Considerando os três genótipos estudados, os valores médios de condutância estomática (g_s – $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) variaram de $0,10 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (RB855156 no 13º MAP) até $0,31 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (IN84-58 no 7º MAP). Não constatou-se diferença estatística para as análises de g_s , embora no 7º MAP foi observado que os cultivares apresentaram valores próximos entre si e menores que a espécie ancestral, já no 9º MAP os cultivares apresentaram valores próximos entre si e maiores que a espécie ancestral. E no 13º MAP a espécie ancestral apresentou valores próximos do cultivar SP80-3280, e maiores que o cultivar RB855156. Para os três genótipos estudados foram observados maiores valores de g_s no 7º MAP (Figura 15).

Figura 17. Condutância estomática dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), ns – não significativo.

Tabela 5. Trocas gasosas: taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração foliar (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d..

Variedades	A	g_s	E
05° MAP			
IN84-58	$23,99 \pm 4,64$ a	$0,21 \pm 0,06$ a	$3,63 \pm 0,61$ a
RB855156	$29,63 \pm 3,79$ a	$0,24 \pm 0,06$ a	$4,16 \pm 0,71$ a
SP80-3280	$29,93 \pm 7,33$ a	$0,27 \pm 0,07$ a	$4,47 \pm 1,21$ a
CV(%)	22,35	31,55	23,19
07° MAP			
IN84-58	$23,29 \pm 6,78$ a	$0,31 \pm 0,19$ a	$2,89 \pm 0,7$ a
RB855156	$28,78 \pm 6,19$ a	$0,26 \pm 0,07$ a	$3,22 \pm 0,7$ a
SP80-3280	$26,25 \pm 4,21$ a	$0,27 \pm 0,91$ a	$3,18 \pm 0,7$ a
CV(%)	21,93	51,85	18,72
09° MAP			
IN84-58	$12,85 \pm 4,31$ a	$0,12 \pm 0,05$ a	$1,78 \pm 0,58$ a
RB855156	$20,50 \pm 5,12$ a	$0,16 \pm 0,03$ a	$2,50 \pm 0,76$ a
SP80-3280	$20,67 \pm 4,51$ a	$0,16 \pm 0,05$ a	$2,43 \pm 0,51$ a
CV(%)	26,93	22,55	21,05
13° MAP			
IN84-58	$18,06 \pm 3,21$ a	$0,13 \pm 0,02$ a	$2,77 \pm 0,51$ a
RB855156	$15,22 \pm 4,76$ a	$0,10 \pm 0,02$ a	$2,66 \pm 0,53$ a
SP80-3280	$18,07 \pm 3,75$ a	$0,13 \pm 0,05$ a	$2,94 \pm 0,71$ a
CV(%)	21,48	24,12	16,04

Considerando os três genótipos estudados, os valores médios de transpiração foliar (E – $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) variaram de $1,78 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (IN84-58 no 9° MAP) até $4,16 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (RB855156 no 5° MAP). Não observou-se diferença estatística para as análises de E , embora no 5°, 7° e 9° MAP foi observado que os cultivares apresentaram valores próximos entre si e maiores que a espécie ancestral, no 13° MAP os três genótipos apresentam valores próximos entre si. Para os três genótipos estudados foram observados maiores valores de E no 5° MAP (Figura 16).

Figura 18. Taxa de transpiração foliar dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento de campo instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), ns – não significativo.

3.3. Avaliações anatômicas

3.3.1. Densidade estomática

Os resultados referentes às avaliações de densidade estomática de folhas dos três genótipos foram sumarizados na Tabela 6. A impressão paradérmica da folha +3 da superfície abaxial e adaxial foram mostradas na Figura 18. As fotos mostram a avaliação realizada ao 7º MAP, foram obtidas com o aumento de 5X, onde A1 representa impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo IN84-58; B1 impressão paradérmica da superfície adaxial do genótipo IN84-58; A2 impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo RB855156; B2 impressão paradérmica da superfície adaxial do genótipo RB855156; A3 impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo SP80-3280; e B3 impressão paradérmica da superfície adaxial do genótipo SP80-3280. Foi observado que além dos estômatos (S), o cultivar RB855156 apresentou tricomas (TR) na superfície abaxial. Entretanto, na superfície abaxial da IN84-58 foi observada uma estrutura que protege a região dos estômatos (Figura 17). Essa estrutura pode estar associada à maior tolerância a estresse hídrico ou à resistência a doenças, podendo ser tricomas, criptas protetoras ou células buliformes, passíveis de análise específica para averiguação.

Figura 19. Impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo IN84-58 da folha +3, avaliada ao 7º MAP, em experimento instalado na região de Araras-SP. As fotos foram obtidas com o aumento de 5 vezes.* Estrutura que protege os estômatos.

Considerando os três genótipos estudados, os valores médios de DAD variaram de 19,38 estômatos/mm² (IN8458 no 13º MAP) até 30,40 estômatos/mm² (RB855156 no 7º MAP). A DAD apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral, exceto no 7º MAP em que os três genótipos diferiram entre si. Os cultivares mostraram valores médios de DAD significativamente maiores àqueles observados na espécie ancestral ao longo dos meses de avaliação. No 13º MAP foram observados valores médios similares entre os cultivares (28 estômatos/mm²) e a *S. spontaneum* apresentou uma densidade de 19 estômatos/mm² (Figura 19). Os valores de coeficiente de variação, CV(%), foram baixos para as análises de DAD, variando de 7,4 a 8,51.

Figura 20. Impressão paradérmica da superfície abaxial e adaxial da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados no mês 7 após o plantio, em experimento instalado na região de Araras-SP, as fotos foram obtidas com o aumento de 5X: A1 Impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo IN84-58; B1 Impressão paradérmica da superfície adaxial do genótipo IN84-58; A2 Impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo RB855156; B2 Impressão paradérmica da superfície adaxial do genótipo RB855156; A3 Impressão paradérmica da superfície abaxial do genótipo SP80-3280; B3 Impressão paradérmica da superfície adaxial do genótipo SP80-3280. S : estômato; TR : tricomas; ? estrutura não definida.

Tabela 6. Densidade estomática da face adaxial (DAD, estômatos mm^{-2}) e abaxial (DAB, estômatos mm^{-2}), dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d..

Variedades	DAD	DAB
05° MAP		
IN84-58	21,40 $\pm$ 1,51 b	46,96 $\pm$ 0,94 b
RB855156	26,09 $\pm$ 1,93 a	56,05 $\pm$ 5,09 a
SP80-3280	25,07 $\pm$ 1,99 a	45,33 $\pm$ 4,06 b
CV(%)	7,99	8,0
07° MAP		
IN84-58	20,46 $\pm$ 1,05 c	42,66 $\pm$ 3,79 b
RB855156	30,40 $\pm$ 3,39 a	61,60 $\pm$ 2,54 a
SP80-3280	25,39 $\pm$ 2,16 b	48,27 $\pm$ 3,11 b
CV(%)	7,68	6,17
09° MAP		
IN84-58	21,05 $\pm$ 1,18 b	46,76 $\pm$ 4,49 b
RB855156	30,29 $\pm$ 2,28 a	65,96 $\pm$ 1,70 a
SP80-3280	26,62 $\pm$ 2,09 a	50,19 $\pm$ 2,99 a
CV(%)	8,51	6,36
13° MAP		
IN84-58	19,38 $\pm$ 1,22 b	44,09 $\pm$ 3,16 c
RB855156	28,64 $\pm$ 3,20 a	57,49 $\pm$ 4,71 a
SP80-3280	28,26 $\pm$ 1,60 a	50,95 $\pm$ 3,17 b
CV(%)	7,49	5,85

Ao contrário do comportamento observado para a DAD dos genótipos de cana, o DAB, apresentou alterações nos padrões dos cultivares e da espécie ancestral (Tabela 6). Considerando os três genótipos estudados, os valores médios de DAB variaram de 42,66 estômatos/ mm^2 (IN8458 no mês 07) até 65,96 estômatos/ mm^2 (RB855156 no 9° MAP). Nos meses iniciais (5 e 7 MAP) não foi observada diferença significativa entre as médias de DAB entre IN8458 (ancestral) e o cultivar SP80-3280.

Figura 21. Densidade estomática da superfície adaxial (estômatos/ mm^2) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Entretanto, no 9º MAP a DAB apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral, no 13º MAP todos os genótipos diferem entre si. Considerando os meses, o cultivar RB855156 apresentou valores médios significativamente maiores que os genótipos IN84-58 e SP80-3280, exceto para o 7º MAP (Figura 20). Os valores de coeficiente de variação, CV(%), foram baixos para as análises de DAB variando de 5,85 a 8,0.

Figura 22. Densidade estomática da superfície abaxial (estômatos/mm²) da folha +3 dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Ao contrastar os dados de DAD e DAB foi observado que, em todos os meses de análise, a DAB apresentou valores aproximadamente duas vezes maiores que a DAD.

Ao comparar-se todos os meses de análise observa-se que a espécie ancestral apresentou valores menores em relação aos cultivares tanto para DAD quanto para DAB, entretanto o cultivar RB855156 mostrou maiores valores. Essa diferença pode estar associada às características genéticas.

Foi analisado o comportamento da densidade estomática abaxial e adaxial em relação à condutância estomática (g_s) ao longo dos meses de análise (Figura 21). Observou-se que, apesar da DAD e DAB serem praticamente constantes ao longo dos meses, a condutância estomática diminuiu drasticamente no 9º MAP, o que sugere que a densidade estomática não está relacionada com a regulação da condutância estomática. Esta queda pode estar relacionada com a abertura e fechamento dos estômatos devido às condições climáticas, tendo em vista que no mês de junho e julho, na área do experimento, houve uma precipitação de apenas 11,2 mm (Figura 1 – Capítulo 1).

Figura 23. Contraste entre densidade estomática da superfície abaxial (estômatos/mm²), adaxial, da folha +3, e condutância estomática dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP.

3.4. Avaliações tecnológicas

Os resultados referentes às análises tecnológicas foram sumarizados na Tabela 7. Observou-se que, para os valores de °Brix, Pol%Cana e Pol%Caldo, o cultivar RB855156 apresentou maiores médias, enquanto a espécie

ancestral IN84-58 apresentou menores médias em todos os tempos de análise. Entretanto para os valores de fibra, fibra detergente ácido (FDA) e fibra detergente neutro (FDN) a espécie ancestral apresentou maiores médias, enquanto o cultivar RB855156 apresentou menores médias em todos os tempos de análise (Tabela 7).

Tabela 7. Conteúdo de sólidos solúveis (°Brix), teor de sacarose no colmo (Pol%Caná), teor de sacarose no caldo (Pol%Caldo), teor de fibra (FB, %), teor de fibra detergente ácido (FDA, %), teor de fibra detergente neutro (FDN, %), dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d.

Variedades	°Brix	Pol % cana	Pol % caldo	FB	FDA	FDN
5° MAP						
IN84-58	6,36 $\pm$ 0,36 c	0,87 $\pm$ 0,32 c	1,09 $\pm$ 0,40 c	16,74 $\pm$ 1,02 a	55,5 $\pm$ 2,30 a	73,99 $\pm$ 1,53 a
RB855156	9,40 $\pm$ 0,66 a	3,95 $\pm$ 0,64 a	4,51 $\pm$ 0,74 a	8,42 $\pm$ 0,20 b	30,04 $\pm$ 1,53 c	46,74 $\pm$ 1,12 c
SP80-3280	7,38 $\pm$ 0,15 b	2,00 $\pm$ 0,12 b	2,27 $\pm$ 0,14 b	8,22 $\pm$ 0,26 b	37,22 $\pm$ 2,34 b	53,69 $\pm$ 1,99 b
CV(%)	6,55	21,98	22,29	5,17	5,97	0,89
7° MAP						
IN84-58	6,64 $\pm$ 0,19 c	1,15 $\pm$ 0,25 c	1,46 $\pm$ 0,31 c	19,23 $\pm$ 0,92 a	60,62 $\pm$ 3,68 a	75,43 $\pm$ 1,43 a
RB855156	13,84 $\pm$ 0,91 a	8,34 $\pm$ 0,91 a	9,60 $\pm$ 1,08 a	9,51 $\pm$ 0,46 b	28,57 $\pm$ 2,68 c	41,58 $\pm$ 2,12 c
SP80-3280	11,12 $\pm$ 0,80 b	5,50 $\pm$ 0,76 b	6,36 $\pm$ 0,90 b	10,11 $\pm$ 0,60 b	34,98 $\pm$ 1,93 b	48,60 $\pm$ 1,29 b
CV(%)	6,35	13,97	14,16	3,27	5,14	1,19
9° MAP						
IN84-58	12,32 $\pm$ 1,60 b	4,49 $\pm$ 1,71 b	6,15 $\pm$ 2,11 b	24,89 $\pm$ 2,35 a	54,01 $\pm$ 5,69 a	72,18 $\pm$ 3,18 a
RB855156	20,00 $\pm$ 0,14 a	14,56 $\pm$ 0,25 a	17,09 $\pm$ 0,26 a	10,71 $\pm$ 0,71 b	25,24 $\pm$ 1,00 b	37,21 $\pm$ 0,87 c
SP80-3280	18,16 $\pm$ 0,71 a	12,19 $\pm$ 1,07 a	14,36 $\pm$ 1,17 a	13,01 $\pm$ 3,18 b	29,93 $\pm$ 1,23 b	41,94 $\pm$ 0,78 b
CV(%)	6,39	10,70	10,28	12,25	8,53	2,88
13° MAP						
IN84-58	15,64 $\pm$ 1,37 b	8,11 $\pm$ 1,08 c	11,06 $\pm$ 1,51 c	24,54 $\pm$ 1,59 a	51,48 $\pm$ 1,59 a	66,84 $\pm$ 3,40 a
RB855156	21,68 $\pm$ 0,50 a	16,72 $\pm$ 0,59 a	19,79 $\pm$ 0,52 a	11,37 $\pm$ 0,61 c	25,49 $\pm$ 1,96 c	35,17 $\pm$ 2,53 c
SP80-3280	20,00 $\pm$ 0,12 a	14,67 $\pm$ 0,24 b	17,62 $\pm$ 0,22 b	13,57 $\pm$ 0,52 b	31,10 $\pm$ 1,5 b	43,80 $\pm$ 2,75 b
CV(%)	5,01	6,55	6,63	6,37	3,75	2,32

3.4.1. Determinação de sólidos solúveis (°Brix)

Considerando os três genótipos avaliados, os valores médios de °Brix variaram de 6,36% (IN84-58 no 05° MAP) a 21,68% (RB855156 no 13° MAP) (Tabela 7). O °Brix no 5° e 7° MAP apresentou diferença significativa entre os três genótipos avaliados, já no 9° e 13° MAP o °Brix apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral, sendo o cultivar RB855156 o que apresentou maiores valores de °Brix e a espécie ancestral a que apresentou menores valores em todos os tempos de análise. Os valores de CV(%) foram baixos para as análises de °Brix, variando de 5,01 a 6,55.

O conteúdo de sólidos solúveis aumentou ao longo dos meses, sendo que, entre os meses de maio e julho os genótipos estudados apresentaram maior aumento (Figura 22).

Figura 24. Conteúdo de sólidos solúveis (°Brix) dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

3.4.2. Determinação do teor de sacarose no colmo (Pol%Cana)

Os resultados mostraram que o teor de açúcares no colmo (Pol%Cana) apresentou comportamento semelhante ao do °Brix, ou seja, observou-se um aumento ao longo dos meses, sendo que, entre os meses de maio e julho os genótipos estudados apresentaram maior aumento (Figura 23).

Considerando os três genótipos avaliados os valores médios de Pol%Caldo variaram de 1,09% (IN84-58 no 05° MAP) a 19,79% (RB855156 no 13° MAP) (Tabela 7). O Pol%Cana no 5°, 7° e 9° MAP apresentou diferença significativa entre os três genótipos avaliados, já no 9° MAP o Pol%Cana apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral, sendo o cultivar RB855156 o que apresentou maiores valores de Pol%Cana e a espécie ancestral a que apresentou menores valores em todos os tempos de análise. Os valores de CV(%) para as análises de Pol%Cana variaram de 6,55 a 21,98.

Figura 25. Teor de açúcares na cana (Pol%Cana) dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

3.4.3. Determinação do teor de sacarose no caldo (Pol%Caldo)

Os resultados mostraram que o teor de açúcares no caldo (Pol%Caldo) apresentou comportamento semelhante ao do °Brix e ao do Pol%Caldo, ou seja, observou-se um aumento ao longo dos meses, sendo que, entre os meses de maio e julho os genótipos estudados apresentaram maior aumento (Figura 24).

Considerando os três genótipos avaliados, os valores médios de Pol%Caldo variaram de 1,09% (IN84-58 no 05° MAP) a 19,79% (RB855156 no 13° MAP) (Tabela 7). O Pol%Caldo no 5°, 7° e 9° MAP apresentou diferença significativa entre os três genótipos avaliados, já no 9° MAP o Pol%Caldo apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral, sendo o cultivar RB855156 o que apresentou maiores valores de Pol%Caldo e a espécie ancestral a que apresentou menores valores em todos os tempos de análise. Os valores de CV(%) para as análises de Pol%Caldo variaram de 6,63 a 22,29.

Figura 26. Teor de açúcares no caldo (Pol%Caldo) dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

3.4.4. Determinação do teor de fibra

Considerando os três genótipos avaliados os valores médios do teor de fibra variaram de 8,22% (SP80-3280 no 05° MAP) a 24,89% (IN84-58 no 9° MAP) (Tabela 7). A FB no 5°, 7° e 9° MAP apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral, já no 13° MAP os três genótipos diferiram entre si, sendo a espécie ancestral a que apresentou maiores valores de FB e o cultivar RB855156 o que apresentou menores valores em quase todos os tempos de análise. Os valores de CV(%) foram baixos para as análises de FB variando de 3,27 a 12,25.

O teor de FB aumentou ao longo dos meses, sendo este aumento maior para a espécie ancestral (Figura 25). Entre o 9° e o 13° MAP, observou-se pouca diferença entre o teor de FB, sendo que os valores observados no 13° MAP foram de 11,37% para RB855156, 13,57% para SP80-3280 e 24,54% para IN84-58.

Figura 27. Teor de fibra dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

3.4.5. Fibra detergente ácido

Os resultados referentes às avaliações de fibra detergente ácido (FDA) dos três genótipos foram sumarizados na Tabela 7. Considerando os três genótipos avaliados os valores médios de FDA variaram de 25,24% (RB855156 no 9º MAP) a 60,62% (IN84-58 no 7º MAP). A fibra detergente ácido no 5º, 7º e 13º MAP apresentou diferença significativa entre os três genótipos avaliados, já no 9º MAP a FDA apresentou diferença significativa entre os cultivares (RB855156 e SP80-3280) e a espécie ancestral, sendo o cultivar RB855156 o que apresentou menores valores de FDA e a espécie ancestral a que apresentou maiores valores em todos os tempos de análise. Os valores de CV(%) foram baixos para as análises de FDA, variando de 3,75 a 8,53.

Figura 28. Teor de fibra detergente ácido dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Observou-se, para a espécie IN84-58, um pequeno aumento no teor de fibra detergente ácido (FDA) entre os meses de março e maio, entretanto, nos meses subsequentes observou-se uma diminuição no teor de fibra detergente ácido. Para os cultivares, observou-se uma pequena redução no teor de FDA nas três primeiras épocas de análise, mantendo-se praticamente constante na quarta época de análise (Figura 26).

3.4.6. Fibra detergente neutro

Os resultados referentes às avaliações de fibra detergente neutro (FDN) dos três genótipos foram sumarizados na Tabela 7. Considerando os três genótipos avaliados os valores médios de FDN variaram de 35,17% (RB855156 no 13° MAP) a 75,43% (IN84-58 no 7° MAP). A fibra detergente neutro apresentou diferença significativa entre os três genótipos avaliados em todos os meses de análise, sendo o cultivar RB855156 o que apresentou menores valores de FDN e a espécie ancestral a que apresentou os maiores valores. Os valores de CV(%) foram baixos para as análises de FDN variando de 0,89 a 2,88.

Figura 29. Teor de fibra detergente neutro dos genótipos de cana RB855156, SP80-3280 e IN84-58, avaliados em experimento instalado na região de Araras-SP. Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$)

Observou-se, para a espécie IN84-58, um pequeno aumento de FDN entre os meses de março e maio, entretanto, nos meses subsequentes observou-se uma diminuição no teor de fibra detergente neutro. Para os cultivares observou-se uma redução no teor de FDN nas três primeiras épocas de análise, entretanto, no 13° MAP, observou-se que o valor de FDN para RB855156 teve uma pequena redução embora para SP80-3280 observou-se um pequeno aumento (Figura 27). Observou-se que o cultivar RB855156 apresentou os menores valores de FDN e a espécie ancestral a que apresentou maiores valores em todos os tempos de análise.

3.5. Análise de correlações

As correlações entre algumas características avaliadas nos capítulos anteriores como: taxa fotossintética (A), teor de clorofila total ($Clh\ a + b$), densidade estomática da superfície abaxial (DAB), densidade estomática da superfície adaxial (DAD), número de colmos por touceira (NC), índice de área foliar (IAF), altura (AC), diâmetro

(DC), teor de sacarose na cana (Pol%Caná), teor de fibra (FB), teor de fibra detergente neutro (FDN), teor de fibra detergente ácido (FDA), considerando os quatro tempos de análise, são mostrados na Figura 28. No total de 66 correlações avaliadas 50 foram significativas ($p < 0.05$). De acordo com grau de correlação entre as características, as correlações foram agrupadas em baixa ($\leq 0,35$), moderada ($0,36-0,70$) e forte ($\geq 0,71$) (BALSALOBRE; MANCINI; PEREIRA; ANONI et al., 2016). Desta forma, quatro interações foram classificadas como baixa, vinte e cinco interações foram classificadas como moderada e vinte e uma interações foram classificadas como forte. Notou-se que 23 correlações significativas foram positivas, e 27 foram negativas. Das correlações classificadas como forte observamos que Dentre as correlações significativas observadas 17 foram relacionadas à densidade estomática.

Figura 30. Correlação de Pearson entre características taxa fotossintética (A), teor de clorofila total (Clh A.B), densidade estomática da superfície abaxial (DAB), densidade estomática da superfície adaxial (DAD), número de colmos por touceira (NC), índice de área foliar (IAF), altura (AC), diâmetro (DC), teor de sacarose na cana (Pol.Cana), teor de fibra (FB), teor de fibra detergente neutro (FDN), teor de fibra detergente ácido (FDA), considerando as quatro avaliações realizadas. Para cada característica entre pares são mostrados: os histogramas das médias ajustadas (diagonal), gráficos de dispersão (abaixo da diagonal) e os valores da correlação (acima da diagonal). * Significativa a 5% nível global ($P < 0.05$).

Tabela 8. Correlações significativas, pelo coeficiente de Pearson, ($P < 0.05$), entre todos os meses analisados. Taxa fotossintética ($\mathcal{A}$), teor de clorofila total (Clh T), densidade estomática da superfície abaxial (DAB), densidade estomática da superfície adaxial (DAD), número de colmos por touceira (NC), índice de área foliar (IAF), altura (AC), diâmetro (DC), teor de sacarose na cana (Pol%Cana), teor de fibra (FB), teor de fibra detergente neutro (FDN), teor de fibra detergente ácido (FDA). Agrupadas em baixa ($\leq 0,35$), moderada (0,36-0,70) e forte ($\geq 0,71$).

	Baixa	Moderada	Forte
Positiva		$\mathcal{A} - \text{Clh T}$	AB – DAD
		$\mathcal{A} - \text{IAF}$	DAD – DC
		Clh T – FDN	NC – FB
	A – DC	DAB – IAF	NC – FDN
	Clh T – FDA	DAB – DC	NC – FDA
	DAB – AC	DAB – Pol%Cana	IAF – DC
		DAD – IAF	AC – Pol%Cana
		DAD – AC	FB – FDN
		DAD – Pol%Cana	FB – FDA
		DC – Pol%Cana	FDN – FDA
		A – AC	
		$\mathcal{A} - \text{Pol}\% \text{Cana}$	Clh A+B – AC
		$\mathcal{A} - \text{FB}$	Clh T – Pol%Cana
Negativa		DAB – NC	DAB – FDN
		DAB – FB	DAD – NC
		DAB – FDA	DAD – FDN
	A – NC	DAD – FB	DAD – FDA
		NC – IAF	NC – DC
		NC – Pol%Cana	DC – FB
		IAF – FB	DC – FDN
		IAF – FDN	DC – FDA
		IAF – FDA	Pol%Cana – FDN
		AC – FDN	
		AC – FDA	
		Pol%Cana – FDA	

4. DISCUSSÃO

Considerando as características analisadas neste estudo foram observadas tendências quando comparados o grupo de genótipos cultivados (SP80-3280 e RB855156) contra a espécie ancestral (IN84-58). Nos cultivares, altura de colmo (AC), diâmetro (DC), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) e peso por parcela foram maiores que na espécie ancestral.

O diâmetro de colmos dos cultivares comerciais se assemelha àqueles obtidos neste estudo, onde a média o DC foi de 28 mm, encontraram-se valores similares, sendo o mais próximo de 26,7 mm para o cultivar RB931530, encontraram-se valores médios de 23 mm para os cultivares RB722454, RB855113, RB855536 e RB75126 (COSTA et al., 2011; OLIVEIRA, 2004). Contrariamente, os valores médios de DC obtidos pela espécie ancestral foram aproximadamente 3 vezes menores que a média DC para os cultivares RB855156 e SP80-3280.

Ao longo dos anos, os programas de melhoramento genético buscaram e selecionaram cultivares com características similares de diâmetro e altura, por permitirem à cana-de-açúcar características como: boa produtividade, pouco tombamento, hábito de crescimento ereto.

Resultados da literatura corroboram com os observados nesse trabalho. Em 2 anos agrícolas, cana-planta e cana-soca, os valores médios de altura observados foram de 2,27m para IN84-58, 2,78m para SP80-3280 e 2,65m para RB855156 (BARRETO et al., 2019).

Neste resultado, como esperado, foi detectado abundante perfilhamento da espécie ancestral, tendo, em média, o número de colmos por parcela 46,77% maior que a média do número de colmos por parcela dos cultivares RB855156 e SP80-3280. A capacidade de perfilhamento da cana-de-açúcar, juntamente com altura e diâmetro de colmos são fatores determinantes da produção agrícola da cultura (COSTA et al., 2011). O perfilhamento consiste na formação de vários colmos a partir de um único tolete (CASTRO, 2016). Essa diferença no perfilhamento se dá pelo fato de a cana-de-açúcar ter o perfilhamento tipo touceira, enquanto a espécie *Saccharum spontaneum* tem perfilhamento tipo capacho, ou seja, os rizomas ramificam-se e, em seguida, produzem ramos verticais que se desenvolvem em colmos (CASTRO, 2016). Encontraram-se valores semelhantes ao relatado neste trabalho, sendo 24,22 colmos/touceira para IN84-58, 6,44 colmos/touceira para SP80-3280, e 9,02 colmos/touceira para RB855156, valores médios para 2 anos agrícolas (cana-planta e cana-soca) (BARRETO et al., 2019).

Esse intenso perfilhamento da espécie ancestral desperta interesse nos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar em utilizá-la como genitor, buscando assim, aumentar o perfilhamento das canas comerciais.

Foi observado que os cultivares apresentaram maior peso por parcela, ao final do experimento, em relação à espécie ancestral, tendo destaque para a SP80-3280 que apresentou o peso de 239,8 kg/parcela. Sendo que encontraram-se valores de peso por parcela dos genótipos estudados similares aos apresentados por esse trabalho (BARRETO et al., 2019).

Muitas variedades de cana-de-açúcar apresentam características agrônômicas de interesse industrial, tais como: crescimento vertical, resistência ao tombamento, colmos de alta produtividade, resistência à pragas, entretanto, uma característica que se destaca por referir à produtividade agrícola é a área foliar, devido a sua relação com a capacidade fotossintética. O aumento da área foliar fornece um aumento na capacidade da planta de aproveitar a energia solar para realizar a fotossíntese e, portanto, pode ser usada para avaliar a produtividade (REIS et al., 2013).

A morfologia e bioquímica das folhas geralmente variam entre os ambientes, aparentemente para otimizar o balanço de carbono ao longo da vida útil das folhas em determinadas condições. Em princípio, a variação coordenada nas características das folhas (estrutura, composição e função) é tipicamente mais forte entre as espécies, enquanto a variação dentro das espécies é geralmente restrita, limitando as espécies a regiões ambientais particulares (FIELD; MOONEY, 1986; EVANS 1989; REICH et al., 1997; NIINEMETS, 2001; WRIGHT et al., 2004).

O índice de área foliar (IAF) é eficaz para avaliar o rendimento final, e os valores mais altos durante o ciclo de desenvolvimento estão relacionados à maior produção final de colmos. Nesse sentido, o conhecimento da dinâmica da área foliar na arquitetura do sistema nos diferentes cultivares de cana-de-açúcar permite uma melhor compreensão da relação dessas características com o rendimento final da produção (LEME et al., 1984).

Nesse contexto, foi observado que os cultivares (RB855156 e SP80-3280) apresentaram maior área foliar e maior IAF frente à espécie ancestral (IN84-58). Observou-se que o número de folhas da espécie ancestral foi semelhante estatisticamente do cultivar SP80-3280, no 5º, 7º e 9º MAP, entretanto, observou-se diferença estatística para a área foliar e o IAF, atribuímos esta diferença à largura das folhas, uma vez que as folhas da espécie ancestral apresentou largura de 1,5cm, 66,67% mais estreita que a média da largura dos cultivares SP880-3280 e RB855156, que tiveram em média, 4,5 cm de largura. Portanto as diferenças observadas para IAF e AF estão relacionadas com as características da arquitetura foliar, sendo que o IAF aumenta com o aumento da área foliar. Observou-se que RB92579 apresentou maior IAF em relação aos outros cultivares analisados, apesar da RB92579 apresentar folhas de menor comprimento ela desenvolveu maior número de perfilhos por touceira, aumentando assim o número de folhas verdes e consequentemente o IAF, esses resultados corroboram os observados nesse estudo, de que a arquitetura foliar influencia no IAF (Da SILVA et al., 2017).

Observaram-se resultados similares de área foliar e IAF para os cultivares RB72454, RB855113 e RB855536, próximos de 4 para o IAF. Verificaram-se resultados similares para os cultivares RB92579, RB867515 e SP81-3250, mostrando valores médios de 3,6, esses resultados corroboram com nosso estudo, em média 4 de IAF para SP80-3280 e RB855156 (OLIVEIRA et al., 2007; Da SILVA et al., 2017).

A fotossíntese é a base de formação do rendimento agrícola da cultura. É reconhecido que cerca de 90% a 95% da produção agrícola é formada a partir dos carbonos assimilados. Portanto, melhorar a capacidade fotossintética das culturas é um dos alvos mais importantes nos estudos de genética e melhoramento (WANG, et al., 2002; ZHAO, et al., 2006; PENG, et al., 2008; HUA, et al., 2009). A variação funcional no aparato fotossintético pode ser associada ao teor de pigmentos fotossintéticos (YOUNG; BRITTON, 1990; ANDERSON et al., 1995; EVANS; POORTER, 2001).

Os principais pigmentos fotossintéticos responsáveis pela captação de energia luminosa durante a fotossíntese são as clorofilas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Nesse estudo não foi possível diferenciar o teor de pigmentos fotossintéticos dentre os genótipos avaliados em todos os meses avaliados. Ao ser analisado o teor de pigmentos fotossintéticos observou-se que o teor de clorofila *a* e *b* e carotenoides decaiu ao longo do tempo do experimento. Esse decaimento pode estar relacionado com as condições pluviométricas e também com o processo de maturação da cana-de-açúcar, e consequente morte celular programada (senescência). Zhao et al. (2017) também não encontraram diferenças significativas para os teores de clorofila *a* ao comparar cana-de-açúcar e cana-energia (ZHAO et al., 2017). Silva, e colaboradores (2014) não observaram diferenças significativas entres os cultivares RB835054, RB928064, SP80-3280 e IACSP95-5000 (SILVA et al., 2014). Mais estudos são necessários para compreender o controle do teor de pigmentos fotossintéticos.

As avaliações de trocas gasosas realizadas com o equipamento IRGA representam um momento do processo fisiológico da planta, destacando uma parte isolada do processo como um todo e muitas vezes não reflete o comportamento da planta inteira. Inman-Bamber e colaboradores avaliaram a taxa fotossintética da planta inteira e de uma única folha. Eles observaram que o comportamento apresentado pela planta inteira é diferente quando se analisa apenas uma folha individual (INMAN-BAMBER et al., 2008).

Embora não tenha sido observado diferença significativa entre os genótipos, estudos nas avaliações de A , E e g_s , mostraram que a espécie ancestral apresentou menores valores de A e E .

Diferenças na taxa de assimilação de CO_2 em cultivares de cana-de-açúcar foram determinadas anteriormente. Em experimento em casa de vegetação, observou-se que a assimilação de CO_2 variou de 31 a 82 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para *S. spontaneum*, 32 a 41 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para híbridos interespecíficos e 26 a 37 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para *S. officinarum*. Dessa forma, observamos que os níveis para os híbridos interespecíficos está contida dentro da faixa de *S. spontaneum* (IRVINE, 1975). Entretanto, esta grande amplitude apresentada por *S. spontaneum* pode estar correlacionada com a grande diversidade genética apresentada pela espécie. Aitken et al. (2018), em estudo sobre diversidade, encontrou grande polimorfismo e diversidade genética entre plantas de *S. spontaneum*.

Observamos que os valores de A , E e g_s decaem ao longo do tempo, esse decaimento pode estar relacionado à diferença de idade da planta, às condições pluviométricas e também ao acúmulo de açúcar e inibição da fotossíntese por retroefeito, outros estudos são necessários para avaliar essas hipóteses. Entretanto, diferenças nas taxas fotossintéticas foram relatadas no passado e relacionadas à idade da planta, considerando que plantas jovens assimilam mais CO_2 que plantas mais velhas (BULL; TOVEY, 1974; HARTT; BURR, 1967). Alguns autores reforçam que o alto teor de sacarose na cana-de-açúcar pode resultar em inibição da fotossíntese foliar por retroefeito, o que pode causar ainda mais declínio no acúmulo de biomassa do ponto de vista fisiológico (VAN HEERDEN et al., 2010). A cana-de-açúcar, como outras plantas, exibe uma robusta relação dependente de carboidratos solúveis entre a fonte e o dreno, com base na demanda de assimilação e necessidades de particionamento de carbono (McCORMICK et al., 2006).

Nas análises de DAB e DAD observamos que os valores de DAB foram maiores que DAD, resultado similar foi observado por Ferreira et al. (2007) ao analisarem outros cultivares de cana-de-açúcar. Embora os valores observados de DAB e DAD tenham sido maiores do que os reportados em nosso estudo, devemos considerar que os autores utilizaram a folha +1 em suas análises. Os valores observados de DAD foram: 85,60 estômatos/ mm^2 para RB855113, 83,60 estômatos/ mm^2 para RB957689, 71,20 para RB867515 e aproximadamente 77 estômatos/ mm^2 para SP80-116 e SP80-1842; e os valores observados de DAB foram: 163,40 estômatos/ mm^2 para RB855113, 139,80 estômatos/ mm^2 para RB957689, 140,60 para SP80-1842 e aproximadamente 144 estômatos/ mm^2 para SP80-116 e RB867515.

As diferenças nos valores de DAD e DAB entre cultivares e a espécie ancestral podem estar associadas à diferença genética entre elas. Campa (1986), ao estudar a densidade estomática, de folhas +1 de *Erianthus elegans*; *Saccharum officinarum* L. (*Labaina*); *S. spontaneum* L. (*Mandalay*); *S. robustum* Brandes e Jesw (NG51-55) e *S. barberi* Jesw (Chunnee), encontraram diferenças significativas entre os diferentes gêneros em ambas as faces foliares, destacando-se pela superfície abaxial o gênero *S. officinarum* com maior número (245,0 estômatos/ mm^2) e *S. spontaneum* com o menor número (126,0 estômatos/ mm^2); o restante do gênero apresentou um comportamento intermediário. Características morfológicas como frequência e tamanho dos poros estomáticos (ostíolos), são controladas geneticamente por um ou poucos loci em milho e sorgo (HEICHEL, 1971; SUH et al., 1976), e a herdabilidade é normalmente elevada (LIANG et al., 1975).

Os estômatos permitem que as plantas controlem a perda de água através da transpiração foliar durante a captação simultânea de CO₂ para a fotossíntese (FARQUHAR; SHARKEY, 1982), e a condutância estomática é sensível à variação da umidade do solo, sendo que o grau de abertura estomática determina em grande parte a quantidade de perda de água por meio da transpiração (LIU et al., 2005; RAY; SINCLAIR, 1997). Entretanto, observamos que a queda na condutância estomática observada no 9º MAP não está relacionada com a diminuição dos valores de DAD e DAB, essa diminuição pode estar relacionada com as condições climáticas, tendo em vista que no mês de junho e julho na área do experimento, ocorreu uma precipitação de apenas 11,2 mm.

Os estômatos controlam as trocas gasosas entre a atmosfera e a folha, limitando a captação de CO₂ para a fotossíntese e a perda de água por transpiração e, portanto, determinam a eficiência do uso da água e a produtividade da planta. Para funcionar com eficiência, os estômatos devem responder aos sinais internos e externos para equilibrar esses dois processos de difusão. Entretanto, as respostas estomáticas são de uma ordem de magnitude mais lenta que as respostas fotossintéticas, que levam a uma desconexão entre a condutância estomática e a assimilação líquida de CO₂ (VIALET-CHABRAND, 2017).

Schuler et al. (2018), em estudos com plantas de arroz geneticamente modificadas, observaram que o aumento da densidade estomática não aumentou a densidade das células mesofílicas e não incrementou a eficiência fotossintética sob as condições testadas. Observou-se que existe uma variação genética da condutância estomática em sorgo e que a mesma está associada com a densidade estomática (MUCHOW; SINCLAIR et al., 1989).

Por décadas, os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar se concentraram principalmente na seleção de variedades para aumentar a produtividade, diminuindo a diversidade de outras características de interesse (por exemplo, comportamento estomático) e possíveis alvos para a seleção. Como os estômatos são essenciais para a fotossíntese das plantas e o uso da água, isso os torna alvos atraentes para manipulação visando melhorar a captação de carbono, otimizar o uso da água e reduzir o estresse causado pela seca (VIALET-CHABRAND, 2017).

Estudos de correlação entre propriedades estomáticas e produtividade sugerem que o comportamento estomático pode afetar a produtividade dos cultivares de cana-de-açúcar (GASCHO; SHIH, 1983). A abertura estomática maior que a ideal, observada em estudo com cana-de-açúcar, pode ser uma consequência da criação sob pressões ambientais ideais. A seleção de características fisiológicas, como as sensibilidades dos componentes da resposta estomática, poderia fornecer uma nova abordagem valiosa para a meta de maiores rendimentos das culturas obtidos com o uso econômico da água (GRANTZ; MOORE; ZEIGER, 1987). Em estudo de população com *Sorghum bicolor* (L.) observou-se que a herdabilidade para a densidade estomática foi alta, entretanto não se observaram correlações significativas nem entre a área foliar, nem do número de estômatos com a produção de grãos (LIANG et al., 1975).

Nossos resultados mostraram que os cultivares SP80-3280 e RB855156 mostraram elevados teores de açúcares e baixo teor de FB, entretanto a espécie ancestral apresentou baixo teor de açúcar e elevado teor de FB. Encontraram-se valores semelhantes aos observados nesse estudo para as avaliações de °Brix, Pol%Cana e FB, para a SP80-3280, RB935744 e RB92579 (RODRIGUES, 2012). Rhein et al. (2016) também encontraram valor semelhante, apresentando níveis de 24,28 de °Brix, 16,79 de fibra, 21,91 de Pol%Caldo e 17,05 de Pol%Cana para SP80-3280, corroborando com os resultados apresentados nesse estudo. Encontraram-se valores similares de Pol%Cana para variedades RBs em estudo que avaliava dois tipos diferentes de solo (MAULE et al., 2001). Barreto et al. (2019) encontraram valores similares ao observado em nosso estudo, apresentando valores de 15,14, 21,24 e 20,89 para °Brix, respectivamente para IN84-58, SP80-3280 e RB855156. Os resultados apresentados evidenciam os

anos do melhoramento genético de cana-de-açúcar, ao lançarem cultivares com alto teor de açúcar e valores intermediários de fibra.

Tendo em vista as limitações de consumo da cana-de-açúcar provocadas pelas características de sua fração fibrosa e um número relativamente elevado de variedades de cana-de-açúcar disponibilizado nos últimos anos, com características melhoradas, que visam a atender aos interesses da agroindústria, torna-se importante conhecer a qualidade de diferentes cultivares de cana-de-açúcar, em termos de teor de fibra e de variáveis da cinética de degradação da FDN para selecionar aquelas mais divergentes e, posteriormente, confrontá-las em estudos sobre características químico-bromatológicas (AZEVEDO et al., 2003).

O método proposto por Van Soest (1970), que consiste no fracionamento dos componentes fibrosos, possibilitou maior precisão na estimativa do valor nutritivo das forrageiras e, desde então, as análises de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) passaram a ser rotina frequente nos laboratórios de análises de alimentos para ruminantes (BERCHIELLI et al., 2001). Azevêdo et al. (2003) encontram valores similares de FDA e FDN para cultivares RBs e SPs, que corroboram com os resultados apresentados nesse trabalho, variando de 43,5% a 53,8% para FDN em cana-de-açúcar colhida aos 426 dias após o plantio e 46,0 a 52,6% para FDN em cana-de-açúcar colhida aos 487 dias após o plantio. Para FDA os valores variaram de 24,3% a 29,7% em cana-de-açúcar colhida aos 426 dias após o plantio e 26,2% a 31,1% em cana-de-açúcar colhida aos 487 dias após o plantio.

As características avaliadas como número de colmos, altura, diâmetro, Pol%Cana, teor de FB, FDN, FDA sofreram fortes influências dos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, que durante muitos anos visaram obter variedades com as características como: produtividade elevada, alto teor de sacarose, teor de fibra entre 12 e 13%, maior longevidade das soqueiras, bom perfilhamento e tolerância às principais doenças e pragas (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2011). Entretanto, apesar de não ter sido o foco dos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, sugerimos que características como DAD, DAB e teor de clorofila total tenham sofrido seleção inconsciente. Além disso, as diferenças entre os genótipos avaliados para as características DAD e DAB sugerem que essas mensurações podem ser utilizadas para distinguir acessos representantes de fundamentos genéticos distintos.

Em estudo de população originária de SP80-3280, encontraram-se correlações negativas e significativas entre diâmetro e número de colmos por touceira e uma correlação significativa e positiva entre o diâmetro e o peso por parcela, e altura e peso por parcela (BALSALOBRE et al., 2016). Corroborando os resultados encontrados por Barreto et al. (2019), os quais, em estudo de diversidade com o Painei Brasileiro de Genótipos de Cana-de-Açúcar (PBGCA) observaram correlações significativas e positivas entre altura e o número de colmos, altura e o peso por parcela e número de colmos e peso por parcela. Balsalobre et al. (2016) observaram correlações negativas pra NC – DC e DC – FB, entretanto para uma população, essas correlações foram consideradas baixas e para a outra população, essas interações foram consideradas moderadas, diferente do observado no nosso estudo em que foram consideradas como fortes. Os mesmos autores não observaram correlações significativas para a AC – FB e AC – Pol%Cana, embora no nosso estudo tenha sido observada correlação significativa e caracterizada como forte.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados desse trabalho concluímos que as características avaliadas de forma isolada não são suficientes para distinguir e caracterizar os genótipos.

A espécie ancestral, IN84-58, apresentou maior número de colmos por touceira.

O cultivar SP80-3280 apresentou maior IAF e também maior peso total por parcela.

O cultivar RB855156 apresentou maior densidade estomática, embora não tenha sido observada diferença estatística nas avaliações de trocas gasosas.

Não foi observada relação entre o teor de pigmentos fotossintéticos e a taxa de assimilação de CO₂.

As correlações, se avaliadas em maior número de genótipos e com maior representatividade das espécies que compõem o complexo *Saccharum*, entre as características anatômicas, fisiológicas, morfológicas e tecnológicas, possibilitariam uma melhor compreensão da interação entre essas características. Além disso, estudos com outros genótipos de cana-de-açúcar que compõem o complexo *Saccharum* podem contribuir para aumentar os conhecimentos sobre esses processos metabólicos e contribuir para incrementar o conhecimento sobre as diferenças durante o desenvolvimento das plantas.

REFERÊNCIAS

- AITKEN, K.; LI, J. C.; PIPERIDIS, G.; CAI, Q. *et al.* Worldwide genetic diversity of the wild species *Saccharum spontaneum* and level of diversity captured within sugarcane breeding programs. **Crop Science**, 58, n. 1, p. 218-229, 2018.
- REICH, P. B.; WALTERS, M. B.; ELLSWORTH, D. S. From tropics to tundra: Global convergence in plant functioning. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 94, n. 25, p. 13730-13734, 1997.
- ALEXANDER, A. G. **The energy cane alternative**. 1 ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1985. 509 p.
- ANDERSON, J. M.; CHOW, W. S.; PARK, Y. I. The grand design of photosynthesis: Acclimation of the photosynthetic apparatus to environmental cues. **Photosynthesis Research**, 46, n. 1-2, p. 129-139, 1995.
- AZEVEDO, J. A. G.; PEREIRA, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; QUEIROZ, A. C.; BARBOSA, M. H. P.; FERNANDES, A. M.; RENNÓ, F. P. Avaliação da divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, 32, n. 6, p. 11, 2003.
- BALSALOBRE, T. W. A.; MANCINI, M. C.; PEREIRA, G. D.; ANONI, C. O. *et al.* Mixed modeling of yield components and brown rust resistance in sugarcane families. **Agronomy Journal**, 108, n. 5, p. 1824-1837, 2016.
- BARRETO, F. Z. **Caracterização fenotípica e molecular do painel brasileiro de genótipos de cana-de-açúcar**. 2016. 91f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.
- BARRETO, F. Z.; ROSA, J. R. B. F.; BALSALOBRE, T. W. A.; PASTINA, M. M. *et al.* A genome-wide association study identified loci for yield component traits in sugarcane (*Saccharum* spp.). **Plos One**, 14, n. 7, p. 22, 2019.
- BERCHIELLI, T. T.; SADER, A. P. D. O.; TONANI, F. L.; PAZIANI, S. D. F. *et al.* Avaliação de determinação da fibra em detergente neutro e da fibra em detergente ácido pelo sistema ANKOM. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 30, n. 5, p. 7, 2001.
- BULL, T. A.; TOVEY, D. A. Aspects of modelling sugar cane growth by computer simulation. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, 165, p. 11, 1974.
- CAMPA, V. Z. **Parámetros epidérmicos y resistencia a la sequía en caña de azúcar**. 1986. 15 f. - Facultad de Biología, Universidad de la Habana, Cuba.
- CASTRO, P. R. C. **Fisiologia aplicada à cana-de-açúcar**. Piracicaba-SP: STAB - Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2016. 208 p.
- CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; DE ABREU, H. M. C.; ARRUDA, P.; BESPALHOK FILHO, J. C. *et al.* Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, 4, n. 1, p. 62-89, 2011.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-Açúcar**. Companhia Nacional de Abastecimento, 2019. v.2, 62 p.

CONSECANA-SP. **Manual de Instruções - CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO**. 5 ed. Piracicaba-SP: 2006. 111 p.

CORTEZ, L. A. B. **SUGARCANE BIOETHANOL : R&D FOR PRODUCTIVITY AND SUSTAINABILITY**. 1 ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 2014. 993 p.

COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D. T. R. G.; GONÇALVES, E. R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, 24, n. 3, p. 8, 2011.

DA SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; OLIVEIRA, T. B. A.; MANTOVANELLI, B. C. *et al.* Leaf area of sugarcane varieties and their correlation with biomass productivity in three cycles. **African Journal of Agricultural Research**, 12, n. 7, p. 8, 2017.

DANIELS, J.; ROACH, B. T.; DON, J. H. Taxonomy and Evolution. *In: Developments in Crop Science*, Elsevier, 1987. v.11, p. 7-84.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; BARBOSA, G. V. S. **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de Ridesa**. Curitiba: Graciosa - Gráfica e Editora, 2015. 156 p.

EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. **Oecologia**, v. 78, n. 1, p. 10, 1989.

EVANS, J. R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant Cell and Environment**, v. 24, n. 8, p. 755-767, 2001.

FAOSTAT. **Food and agriculture organization of the United Nations (FAO) - Production of top 5 producers**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 18/09/2019.

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 33, p. 317-345, 1982.

FERREIRA, E. A. Leaf blade quantitative anatomy of sugarcane cultivars and clones. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.25, n. 9, p. 2007.

FIELD, C.; MOONEY, H. A. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. *In: On the economy of plant form and function*. Cambridge University Press.: T. Givnish, 1896. p. 25-55.

FRANKS, P. J.; BEERLING, D. J. Maximum leaf conductance driven by CO₂ effects on stomatal size and density over geologic time. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 106, n. 25, p. 10343-10347, 2009.

GALLO, J. R.; ALVAREZ, R.; ABRAMIDES, E. Amostragem em cana-de-açúcar para fins de análise foliar. **Bragantia**, V. 21, p. 899-921, 1962.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. *In: Crop-water relations*. TEARE, I.D.; PEET, M.M. (Eds.), New York, 1983. 547p.

GHANNOUM, O. C₄ photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, v. 103, p. 9, 2009.

GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. **Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications)**. Washington: Agricultural Handbook, 1970. 379 p.

GRANTZ, D. A.; MOORE, P. H.; ZEIGER, E. Stomatal response to light and humidity on sugarcane: prediction of daily time courses and identification of potential selection criteria. **Plant, Cell and Environment**, v. 10, p. 8, 1987.

HARTT, C. E.; BURR, G. O. Factors affecting photosynthesis in sugarcane. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 12, p. 19, 1967.

HATCH, M. D. C4 photosynthetic pathway variation in grasses (Poaceae): its significance for arid and semi-arid lands. In: **Desertified grasslands: their biology and management**, Chapman, G. P. (Ed.) London: Academic Press, 1987. v. 1, p. 181-212.

HEICHEL, G. H. Stomatal movements, frequencies and resistance in two maize varieties differing in photosynthetic capacity. **Journal of Experimental Botany**, v. 22, p. 5, 1971.

HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. **Methods in comparative plant ecology - a laboratory manual**. 1 ed. London: Chapman e Hall, 1993. 252 p.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 17, p. 3, 1999.

HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, v. 424, n. 6951, p. 901-908, 2003.

HUA, S.; YUAN, S.; SHAMSI, I. H.; ZHAO, X.; ZHANG, X.; LIU, Y., WEN, G., WANG, X. A comparison of three isolines of cotton differing in fiber color for yield, quality, and photosynthesis. **Crop Science**, v. 49, n. 3, p. 983-989, 2009.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L. *et al.* Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 59, n. 1, p. 13-26, 2008.

INMAN-BAMBER, N. G.; JACKSON, P. A.; HEWITT, M. Sucrose accumulation in sugarcane stalks does not limit photosynthesis and biomass production. **Crop & Pasture Science**, v. 62, n. 10, p. 848-858, 2011.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005.

IRVINE, J. E. Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugarcane yield. **Crop Science**, v.15, n. 5, p. 671-676, 1975.

JONES, H. G. Breeding for stomatal character. In: ZEIGER, E. *et al.* (Eds.), **Stomatal Function**: Stanford University Press, 1987.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos-SP: Rima Artes, 2000. 531 p.

LAWSON, T. Guard cell photosynthesis and stomatal function. **New Phytologist**, v. 181, n. 1, p. 13-34, 2009.

LEME, E. J. A.; MANIERO, A., M.; GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. **Caderno PLANALSUCAR**, Piracicaba, v. 2, 19 p., 1984.

LIANG, H. G.; DAYTON, A. D.; CHU, C. C. *et al.* Heriability of stomatal density and distribution on leaves of grain sorghum. **Crop Science**, v. 15, p. 3, 1975.

LIU, F. L.; ANDERSEN, M. N.; JACOBSEN, S. E.; JENSEN, C. R. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying. **Environmental and Experimental Botany**, v. 54, n. 1, p. 33-40, 2005.

MATSUOKA, S.; KENNEDY, A. J.; SANTOS, E. G. D.; TOMAZELA, A. L. *et al.* **Energy cane: its concept, development, characteristics, and prospects**. 2014, p. 13.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JR., G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 7, 2001.

MCCORMICK, A. J.; CRAMER, M. D.; WATT, D. A. Sink strength regulates photosynthesis in sugarcane. **New Phytologist**, v. 171, n. 4, p. 759-770, 2006.

MOORE, P. H.; BOTHA, F.C.(Eds.) **Sugarcane: physiology biochemistry & functional biology**. Wiley Blackwell, 2014. 765p.

MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R. Epidermal conductance, stomatal density and stomatal size among genotypes of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Plant Cell and Environment**, v.12, n. 4, p. 425-431, 1989.

NAIDU, K. M.; CHAGYALAKSHMI, K. V. Relative turgidity and stomatal movement of sugarcane varieties is relation to their drought resistance. **Indian Journal of Agricultural Science**, v. 43, p. 4, 1973.

NIINEMETS, U. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. **Ecology**, v. 82, n. 2, p. 453-469, 2001.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C. *et al.*, Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 37, n. 2, p. 5, 2007.

OLIVEIRA, R. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agrária**, v. 5, n. 1-2, p. 7, 2004.

PENG, S. B.; KHUSH, G. S.; VIRK, P.; TANG, Q.; ZOU, Y. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potencial. **Field Crops Research**, v. 108, n. 1, p. 6, 2008.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>, 2013.

RAY, J. D.; SINCLAIR, T. R. Stomatal closure of maize hybrids in response to drying soil. **Crop Science**, v. 37, n. 3, p. 803-807, 1997.

REIS, L. S.; AZEVEDO, C. A.; ALBURQUEQUE, A. W.; JUNIOR, J. F. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, p. 6, 2013.

REVELLE, W. **PSYCH: Procedures for psychological, psychometric, and personality research**. R Found. Stat. , 2014. Comput., Vienna. <http://cran.r-project.org/package=psych>

RHEIN, A. F. L.; PINCELLI, R. P.; ARANTES, M. T.; DELLABIGLIA, W. J. *et al.* Technological quality and yield of sugarcane grown under nitrogen doses via subsurface drip fertigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 209-214, 2016.

RODRIGUES, J. D. Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu-SP: Universidade Estadual Paulista - UNESP: 99 p. 1995.

RODRIGUES, J. D.; JADOSKI, C. J.; FAGAN, E. B.; ONO, E. O. *et al.* **Fisiologia da produção de cana-de-açúcar**. São Paulo: Organização Andrei Editora Ltda., 2018. 179 p.

RODRIGUES, R. C.; SOUZA, J. M.; MARQUES, H. I. P.; BONOMO, R.; SCHMILDT, E. R. Produtividade e variáveis agroindustriais de cinco variedades de cana-de-açúcar no norte do Espírito Santo. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia: Centro Científico Conhecer, 8, n.15, 2012.

RONG-HUA; L. I.; PEI-POL, G. U. O.; BAUMZ, M. *et al.* Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Sciences in China**, v. 5, n. 10, p. 6, 2006.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol - tecnologias e perspectivas**. 2 ed. Viçosa-MG: Editora Folha de Viçosa Ltda., 2011. 637 p.

SANTOS, V. R. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 7, 2006.

SCHULER, M. L.; SEDELNIKOVA, O. V.; WALKER, B. J.; WESTHOFF, P. *et al.* SHORTROOT - Mediated increase in stomatal density has no impact on photosynthetic efficiency. **Plant Physiology**, v. 176, p. 16, 2018.

SEGATTO, F. B.; BISOGNIN, D. A.; BENEDETTI, M.; COSTA, L. C. D. *et al.* Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1597-1601, 2004.

SILVA, M. D.; DOS SANTOS, C. M.; VITORINO, H. D.; RHEIN, A. F. D. photosynthetic pigments and Spad index as descriptors of water deficit stress intensity in sugar cane. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SINGH, B. P. **Biofuel crop sustainability**. 1 ed. Wiley Blackwell, 2013. 459 p.

SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. Identifying plant traits to increase chickpea yield in water-limited environments. **Field Crops Research**, 133, p. 186-196, 2012.

STREIT; M, N.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. *et al.* As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 7, 2005.

SUH, H. W.; DAYTON, A. D.; CASADY, A. J.; LIANG, G. H. Diallel cross analysis of stomatal density and leaf-blade area in grain-sorghum, *Sorghum bicolor*. **Canadian Journal of Genetics and Cytology**, v. 18, n. 4, p. 679-686, 1976.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TANAKA, Y.; SUGANO, S. S.; SHIMADA, T.; HARA-NISHIMURA, I. Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in Arabidopsis. **New Phytologist**, v. 198, n. 3, p. 757-764, 2013.

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

VERMERRIS, W. **Genetic Improvement of bioenergy crops**. New York: Springer, 2008. 449 p.

VIALET-CHABRAND, S. R. M.; MATTHEWS, J. S. A.; MCAUSLAND, L.; BLATT, M. R. *et al.* Temporal dynamics of stomatal behavior: Modeling and implications for photosynthesis and water use. **Plant Physiology**, v. 74, n. 2, p. 603-613, 2017.

VON; J. H., E. Colorantes. *In: Química de los alimentos* FENNEMA, W. (Ed.) 2 ed. Wisconsin-Madison: Zaragoza, 2000. v. 1, p. 782-799.

WACLAWOVSKY, A. J.; SATO, P. M.; LEMBKE, C. G.; MOORE, P. H. *et al.* Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v. 8, n. 3, p. 263-276, 2010.

WALSH, K. B.; SKY, R. C.; BROWN, S. M. The anatomy of the pathway of sucrose unloading within the sugarcane stalk. **Functional Plant Biology**, v. 32, n. 4, p. 367-374, 2005.

WANG, J. P.; NAYAK, S.; KOCH, K.; MING, R. Carbon partitioning in sugarcane (*Saccharum* species). **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 6, 2013.

WANG, K. R.; LI, S. K.; SONG, G. J.; CHEN, G. *et al.* Studies on cultivated physiological indexes for high-yielding cotton in Xinjiang. **Scientia Agricultura Sinica**, v. 35, n. 6, p. 6, 2002.

WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, v. 4, p. 43, 1952.

WRIGHT, I. J.; REICH, P. B.; WESTOBY, M.; ACKERLY, D. D. *et al.* The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, v. 428, n. 6985, p. 821-827, 2004.

YOUNG, A.; BRITTON, G. Carotenoids and stress. *In: WILEY-LISS (Eds.). Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms*. New York: Cumming, J. R., 1990. p. 87-112.

ZHAO, M.; LI, J. G.; ZHANG, B.; DONG, Z. Q.; MEIYUN, W. The compensatory mechanism in exploring crop production potencial. **Acta Agronomica Sinica**, v. 32, n. 10, p. 7, 2006.

ZHAO; D; IREY, M.; LABORDE, C.; CHEN-JIAN, H. Identifying physiological and yield-related traits in sugarcane and energy cane. **Crop Ecology & Physiology**, v. 109, p. 11, 2017.

ANEXO A.

Tabela 9. Resultado da análise do solo nas profundidades 0-20 e 20-40, análise realizada pelo Laboratório de Análise Química de Solos e Planta, localizado na Universidade Federa de São Carlos – Araras-SP.

Amostra	P Resina (mg/dm ³)	M.O (g/dm ³)	pH (Ca Cl ₂)	K (mmol _e /dm ³)	Ca (mmol _e /dm ³)	Mg (mmol _e /dm ³)	H+Al (mmol _e /dm ³)	Al (mmol _e /dm ³)	SB (mmol _e /dm ³)	CTC (mmol _e /dm ³)	V (%)	M (%)
0-20	46	26	5,2	1,5	19	7	33	1,3	27,5	60,5	45,5	4,5
20-40	27	20	4,9	2,1	14	6	36	1,9	22,1	58,1	38,0	7,9

ANEXO B.

Tabela 10. Largura e comprimento da folha +3, dos genótipos IN84-58, RB855156 e SP80-3280, ao longo do desenvolvimento da cana (5, 7, 9 e 13 meses após o plantio). Diferentes letras, dentro de cada mês avaliado, representam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Média $\pm$ s.d..

Variedades	Largura (cm)	Comprimento (cm)
05° MAP		
IN84-58	1,64 $\pm$ 0,43 c	115,56 $\pm$ 7,48 c
RB855156	4,20 $\pm$ 0,20 b	160,82 $\pm$ 3,51 a
SP80-3280	4,50 $\pm$ 0,23 a	145,2 $\pm$ 5,25 b
CV(%)	4,49	4,60
07° MAP		
IN84-58	1,99 $\pm$ 0,26 b	135,54 $\pm$ 4,02 b
RB855156	4,57 $\pm$ 0,37 a	158,09 $\pm$ 10,66 a
SP80-3280	4,91 $\pm$ 0,48 a	160,63 $\pm$ 5,29 a
CV(%)	5,20	4,97
09° MAP		
IN84-58	1,83 $\pm$ 0,16 c	136,57 $\pm$ 4,90 b
RB855156	4,49 $\pm$ 0,19 b	134,96 $\pm$ 3,59 b
SP80-3280	5,18 $\pm$ 0,19 a	151,00 $\pm$ 4,34 a
CV(%)	4,12	2,74
13° MAP		
IN84-58	1,87 $\pm$ 0,10 c	128,28 $\pm$ 0,78 a
RB855156	3,57 $\pm$ 0,57 b	132,56 $\pm$ 6,98 a
SP80-3280	5,28 $\pm$ 0,21 a	137,20 $\pm$ 9,28 a
CV(%)	9,01	4,13