

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB
DOSES DE NITROGÊNIO VIA FERTIRRIGAÇÃO
SUBSUPERFICIAL POR GOTEJAMENTO**

ANDRESSA FREITAS DE LIMA RHEIN

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU-SP

Dezembro – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB
DOSES DE NITROGÊNIO VIA FERTIRRIGAÇÃO
SUBSUPERFICIAL POR GOTEJAMENTO**

ANDRESSA FREITAS DE LIMA RHEIN

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU-SP

Dezembro – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R469p Rhein, Andressa Freitas de Lima, 1979-
Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento / Andressa Freitas de Lima Rhein. - Botucatu : [s.n.], 2013
xvii, 117 f.: il. ,color, grafs., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Marcelo de Almeida Silva
Inclui bibliografia

1. Cana-de - açúcar - Qualidade. 2. Adubação nitrogenada. 3. Irrigação. 4. Produtividade agrícola. I. Silva, Marcelo de Almeida. II. Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

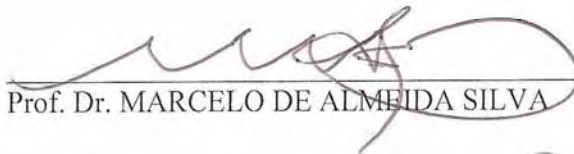
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

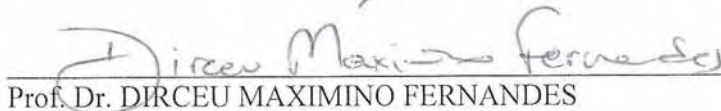
TÍTULO: "PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB
DOSES DE NITROGÊNIO VIA FERTIRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL "

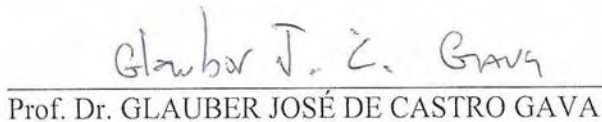
ALUNA: ANDRESSA FREITAS DE LIMA RHEIN

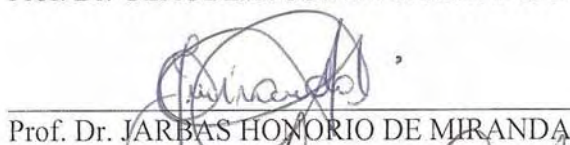
ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

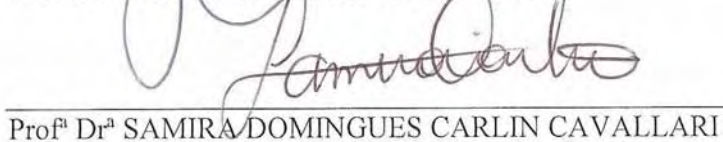
Aprovado pela Comissão Examinadora


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES


Prof. Dr. GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA


Prof. Dr. JARBAS HONÓRIO DE MIRANDA


Profª Drª SAMIRA DOMINGUES CARLIN CAVALLARI

Data da Realização: 21 de dezembro de 2012.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ANDRESSA FREITAS DE LIMA RHEIN - nascida no município de São Paulo, em 05 de agosto de 1979, Engenheira Agrônoma, graduada pela UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), *Campus* de Jaboticabal, SP, em 06 de janeiro de 2006. Durante a universidade, no período de setembro de 2002 a julho de 2005, foi bolsista do Programa de Educação Tutorial da Secretaria de Ensino Superior do Ministério da Educação – PET MEC/SESu; de agosto a dezembro de 2005, participou de atividades de monitoria na disciplina de Artropodologia junto ao Departamento de Entomologia da UNESP/FCAV. No período de março de 2003 a dezembro de 2007 foi professora de Química Inorgânica do Cursinho Pré-Vestibular Ativo da UNESP/FCAV, onde também atuou como coordenadora durante dois anos consecutivos (2006 e 2007), ambas as atividades em caráter voluntário. Em março de 2006, ingressou no curso de Mestrado pelo programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, *Campus* de Jaboticabal, SP, desenvolvendo a pesquisa da dissertação como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, vinculada à área de Fisiologia do Estresse em Cana-de-Açúcar. No ano de 2007 e início de 2008 também atuou como professora voluntária de Química Inorgânica do Cursinho Unificado Popular, entidade mantida pelo Lar do Colégio Santo André, da cidade de Jaboticabal, SP. No período de agosto de 2008 a fevereiro de 2009 desempenhou atividades de consultoria agrônoma no Instituto AEQUITAS para o Desenvolvimento Local Sustentável, empresa situada na cidade de Araraquara, SP, vinculada ao Sistema SEBRAE-SP. Em março de 2009, ingressou no curso de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, *Campus* de Botucatu, SP, desenvolvendo a pesquisa da tese como bolsista da CAPES, vinculada à área de Produção e Qualidade da Cana-de-Açúcar. Atualmente, desempenha a função de Especialista em Meio Ambiente I com Habilitação em Engenharia Agrônoma, junto à Secretaria do Verde e Meio Ambiente da Prefeitura do Município de São Paulo e cujas atividades desempenhadas relacionam-se estritamente à fiscalização ambiental.

“Aprendi através da experiência amarga a suprema lição: controlar minha ira e torná-la como o calor que é convertido em energia. Nossa ira controlada pode ser convertida numa força capaz de mover o mundo.”

*Mahatma Ghandi (*1869 - †1948)*

A minha querida mãe Sandra Lúcia Freitas de Lima Rhein, que sempre foi o motivo de toda minha luta, que com um abraço renova minhas forças e me faz sentir que tudo vale à pena... Que com um singelo olhar me fortalece, a quem devo a certeza de dias melhores para sempre... A quem devo todos os valores e ensinamentos, exemplo de caráter, honestidade e determinação. Obrigada por sua completa doação e amor...

A minha querida irmã Thammy Lima Cersossimo cuja presença e dedicação foram imprescindíveis para o meu sucesso acadêmico e pessoal. Alicerce... Inspiração... Perseverança... A quem devo o significado do verdadeiro amor...

Ao meu querido padrasto Luís Barbosa Vargas pelo carinho, apoio, incentivo e luta sempre ao lado de minha mãe em favor do meu crescimento profissional. Minha eterna gratidão e respeito...

OFEREÇO

Ao meu querido pai Wilson da Silva Rhein pelos grandes valores e ensinamentos de vida, pelo caráter, perseverança e determinação.

Aos meus avós Rosaly Freitas de Lima e José Mariano de Lima pela luta incessante em favor do meu bem-estar, pelo amor, apoio e dedicação. Exemplos de força, caráter, doação e amor...

Aos meus tios Ana Cristina Freitas de Lima e Souza, Antônio Roberto Freitas de Lima, Marco Aurélio Freitas de Lima e sua esposa, Ana Cristina Mendes de Lima, pelo carinho, amor e incentivo fundamental para esta difícil conquista.

A minha querida e inesquecível família por todo amor, carinho, incentivo e atenção dedicados nesta difícil etapa de minha vida. Agradeço pela presença constante, por compartilharem todas as lutas, dificuldades, conquistas e vitórias, por me ensinarem a viver...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas dificuldades da vida que contribuíram para o meu crescimento pessoal, por todos os momentos maravilhosos impressos nessa grande conquista.

Ao Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, profissional exemplar e de grande competência, que me orientou durante o doutorado, mostrando-me o verdadeiro significado da disciplina e do profissionalismo. Agradeço pela orientação incomensurável, grande amizade, carinho e confiança, determinantes para minha formação acadêmico-científica.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, *Campus* de Botucatu, SP, pela formação acadêmico-científica e crescimento profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos, indispensável ao prosseguimento e finalização do trabalho.

À Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - APTA Pólo Regional Centro-Oeste Jaú, SP, pelas instalações e infra-estrutura cedidas à execução do experimento.

Ao Pesquisador Dr. Glauber José de Castro Gava que, gentilmente, cedeu a área experimental plantada com cv. SP80-3280 de cana-de-açúcar, sem a qual não seria possível a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Hélio Grassi Filho pelo apoio e ensinamentos durante a realização do estágio de docência.

Aos Professores responsáveis pela banca de qualificação, Dr. João Carlos Cury Saad e Dr. Dirceu Maximino Fernandes, o qual também contribuiu de maneira salutar na comissão examinadora, juntamente com os profissionais Dr^a. Samira Domingues Carlin Cavallari, Dr. Glauber José de Castro Gava e Prof. Dr. Jarbas Honorio de Miranda. Agradeço aos membros dessa comissão pela disponibilidade no exercício da avaliação, pelas sugestões relevantes que muito contribuíram para o aperfeiçoamento deste trabalho e de minha formação acadêmica.

Às Pesquisadoras Dr^a. Elisangela Marques Jeronimo Torres, Dr^a. Gabriela Aferri e Dr^a. Juliana Cristina Sodário Cruz, bem como ao Pesquisador da APTA Pólo Regional Centro-Oeste Dr. Mário Pércio Campana pela amizade, auxílio profissional, ensinamentos e grande experiência acadêmica.

Aos funcionários da APTA Pólo Regional Centro-Oeste Nico, Zelão, Edilson, Marcos, Ezequiel e, em especial, aos grandes amigos Sr. Geraldo, Valdir e João Paulo exemplos de caráter, disciplina e profissionalismo.

Às funcionárias da APTA Pólo Regional Centro-Oeste e companheiras de alojamento Silmara Cristiane Bassetto e Valmira Celina de Souza Cruzeiro pela valiosa amizade, carinho e dedicação nas avaliações experimentais.

Às grandes amigas Samira Domingues Carlin Cavallari, Renata Passos Pincelli e Paula Francislaine Sorrilla inesquecíveis irmãs, amigas e companheiras de pesquisa, pela amizade desmedida, incentivo, irmandade, solidariedade, convivência, carinho, afeto e apoio indelével nos momentos mais difíceis da minha vida.

Aos meus queridos amigos Rodrigo Oliver, Luiz Eduardo da Rocha Pannuti, especialmente, Marcel Tomás Arantes, William José Dellabiglia e Oriel Tiago Kölln pela amizade, afeto, respeito, companheirismo e auxílio profissional, fundamentais para a finalização deste trabalho.

À atenciosa e dedicada família Passos Pincelli, que adquiri com todo amor, carinho e gratidão... Exemplo de caráter, honestidade e amizade. Muito obrigada pelos momentos memoráveis!!!!

À minha querida companheira de situações inesquecíveis em Botucatu Suzana Costa (Suzets) pelos seus valiosos conselhos, amizade e convivência.

Aos meus queridos e verdadeiros amigos do DGD-N2, Secretaria do Verde e Meio Ambiente - PMSP pelo carinho, apoio, valiosa amizade e ensinamentos profissionais.

Às colegas de trabalho Silvia Torquetto e Claudiana Moura dos Santos pelo auxílio nas avaliações experimentais.

Minha eterna e singela gratidão...

SUMÁRIO

	Páginas
1 RESUMO	18
2 SUMMARY	20
3 INTRODUÇÃO.....	22
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
4.1 A cultura da cana-de-açúcar	24
4.1.1 Aspectos gerais do cultivo.....	24
4.1.2 Importância econômica da cultura.....	28
4.2 Deficiência hídrica e produtividade da cana-de-açúcar.....	29
4.3 Interação entre irrigação e nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar.....	31
4.3.1 Adubação nitrogenada <i>versus</i> características morfofisiológicas da cana-de-açúcar.....	35
4.3.2 Adubação nitrogenada <i>versus</i> atributos tecnológicos da cana-de-açúcar.....	37
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
5.1 Cana-de-açúcar cv. SP80-3280	39
5.2 Instalação e condução experimental.....	39
5.3 Coleta e preparo das amostras	44
5.4 Avaliações experimentais.....	45
5.4.1 Biométricas.....	45
5.4.1.1 Número de perfilhos (NP)	45
5.4.1.2 Número de folhas verdes por colmo (NFV) e Número de folhas secas por colmo (NFS)	45
5.4.1.3 Diâmetro de colmos (DIAM)	46
5.4.1.4 Altura de plantas (ALT)	46
5.4.2 Fisiológicas.....	46
5.4.2.1 Estimativa do conteúdo de clorofila, índice SPAD.....	46
5.4.2.2 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m)	47
5.4.2.3 Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e Índice de área foliar (IAF)....	47
5.4.2.4 Conteúdo de clorofilas e carotenóides via espectrofotômetro (CC).....	48
5.4.3 Produção e Qualidade tecnológica	48
5.5 Forma de análise dos resultados	49

6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
6.1	Atributos Fisiológicos	51
6.2	Atributos Morfológicos	72
6.3	Produção e Qualidade Tecnológica	84
7	CONCLUSÕES	97
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Análise química e granulométrica de um Argissolo eutrófico, cujas amostras foram coletadas em setembro de 2006, antes da instalação do experimento.	40
Tabela 2. Quadrados médios das análises de variância para os atributos fisiológicos (Índice SPAD; Máxima Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II - F_vF_m ; Índice de Área Foliar - IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha ⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.	52
Tabela 3. Teste de Tukey do Índice SPAD da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha ⁻¹), aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.	53
Tabela 4. Regressão polinomial da Estimativa do Índice SPAD da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha ⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.	55
Tabela 5. Teste de Tukey da Máxima Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II (F_vF_m) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha ⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.	59
Tabela 6. Teste de Tukey do Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha ⁻¹), aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.	61
Tabela 7. Regressão polinomial do Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha ⁻¹) aplicadas via	

fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010. 63

Tabela 8. Quadrados médios das análises de variância para os Conteúdos de Clorofilas *a* (CCa), *b* (CCb) e Total (CC(*a+b*)), Razão Clorofila *a/b* (CC(*a/b*)) e para o Conteúdo dos Pigmentos Carotenóides (CAROT) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) e para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010..... 68

Tabela 9. Teste de Tukey dos Conteúdos de Clorofilas *a* (CCa), *b* (CCb) e Total (CC(*a+b*)), da Razão Clorofila *a/b* (CC(*a/b*)) e do Conteúdo dos Pigmentos Carotenóides (CAROT) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010..... 69

Tabela 10. Teste de Tukey dos Conteúdos de Clorofilas *a* (CCa), *b* (CCb) e Total (CC(*a+b*)), da Razão Clorofila *a/b* (CC(*a/b*)) e do Conteúdo dos Pigmentos Carotenóides (CAROT) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 dias DAC) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010..... 71

Tabela 11. Quadrados médios das análises de variância para os atributos morfológicos (Altura das Plantas – ALT; Diâmetro dos Colmos – DIAM; Número de Perfilhos – NP; Número de Folhas Verdes por Colmo – NFVC; Número de Folhas Secas por Colmo – NFSC) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) e para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010..... 73

Tabela 12. Regressão polinomial do Diâmetro dos Colmos (DIAM) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010. 78

Tabela 13. Quadrados médios das análises de variância para as variáveis tecnológicas (Fibra % Cana – F; Brix do Caldo - BRIX e Pol % Caldo - POL) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010..... 84

Tabela 14. Regressão polinomial das variáveis tecnológicas (Fibra % Cana – F; Brix do Caldo - BRIX e Pol % Caldo - POL) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010..... 85

Tabela 15. Teste de Tukey das variáveis tecnológicas (Fibra % Cana – F; Brix do Caldo - BRIX e Pol % Caldo - POL) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010..... 86

Tabela 16. Quadrados médios das análises de variância para as variáveis tecnológicas (Teor de Sacarose na Cana - Pol % Cana – PCC; Pureza Aparente do Caldo – PUR e Açúcar Total Recuperável - ATR) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010..... 88

Tabela 17. Regressão polinomial das variáveis tecnológicas (Teor de Sacarose na Cana - Pol % Cana – PCC; Pureza Aparente do Caldo – PUR e Açúcar Total Recuperável - ATR) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010..... 90

Tabela 18. Teste de Tukey das variáveis tecnológicas (Teor de Sacarose na Cana - Pol % Cana – PCC; Pureza Aparente do Caldo – PUR; Açúcar Total Recuperável – ATR) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC, SP. 2009-2010..... 91

Tabela 19. Quadrados médios das análises de variância para a Produtividade de Colmos (TCH) e de Sacarose (TPH) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos para doses de

nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2010-2011..... 93

Tabela 20. Regressão polinomial para a Produtividade de Colmos (TCH) e de Sacarose (TPH) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010. 94

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Croqui experimental que revela a disposição das parcelas amostradas.....	41
Figura 2. Desenho esquemático que revela a disposição dos tubos gotejadores entre a linha dupla de cana-de-açúcar.	42
Figura 3. Distribuição em percentagem das doses de N e K ₂ O aplicadas por fertirrigação, durante o ciclo de desenvolvimento de soqueira de cana-de-açúcar. O tempo em dias após o terceiro corte (DAC) indica os estádios em que foram realizadas as avaliações biométricas e fisiológicas na cultura.	43
Figura 4. Balanço hídrico decendial no manejo irrigado por gotejamento subsuperficial, no período entre setembro/2009 a outubro/2010. P = precipitação + lâmina de água; DEF = deficiência hídrica; ETC = evapotranspiração da cultura.....	44
Figura 5. Valores médios do Índice SPAD da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha ⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, representados pelos gráficos A, B, C, D e E, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010.	56
Figura 6. Valores médios do Índice SPAD da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha ⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em quatro épocas de avaliação (121, 208, 291 e 381 DAC), representados pelos gráficos A, B, C e D, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010.....	58
Figura 7. Valores médios do Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob as doses de 0, 50, 150 e 200 kg N ha ⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, representados pelos gráficos A, B, C, D e E, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010.	64
Figura 8. Valores médios do Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha ⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208,	

291 e 381 DAC), representados pelos gráficos A, B, C, D e E, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010..... 66

Figura 9. Valores médios da Altura das Plantas (cm) de cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010. 74

Figura 10. Valores médios da Altura das Plantas (cm) de cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010..... 75

Figura 11. Valores médios do Diâmetro dos Colmos (mm) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010. 76

Figura 12. Valores médios do Diâmetro dos Colmos (mm) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010..... 77

Figura 13. Valores médios do Diâmetro dos Colmos (mm) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, representados pelos gráficos A, B, C, D e E, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010..... 79

Figura 14. Valores médios do Diâmetro dos Colmos (mm) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em três épocas de avaliação (121, 291 e 381 DAC), representados pelos gráficos A, B e C, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010..... 80

- Figura 15. Valores médios do Número de Perfilhos da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010. 82
- Figura 16. Valores médios do Número de Perfilhos da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010..... 82
- Figura 17. Valores médios do Número de Folhas Verdes por Colmo (NFVC) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010..... 83
- Figura 18. Valores médios do Número de Folhas Secas por Colmo (NFSC) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010..... 83
- Figura 19. Valores médios da Produtividade de Colmos (TCH), em t colmo ha⁻¹, da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010..... 95
- Figura 20. Valores médios da Produtividade de Sacarose (TPH), em t pol ha⁻¹, da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010. 95

1 RESUMO

A cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., destaca-se como uma das melhores opções de fonte de energia renovável, justificando-se como importante cultivo no Brasil e no mundo. A disponibilidade hídrica do solo e a adubação nitrogenada constituem-se em importantes fatores que influenciam a produção da cana-de-açúcar. No presente trabalho caracterizou-se os atributos biométricos e fisiológicos, a qualidade tecnológica e a produtividade da cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação subsuperficial por gotejamento. Para tanto, foram estabelecidos cinco tratamentos de N-fertilizante, na forma de ureia, (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹), com quatro repetições, aplicados via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Aos 38, 121, 208, 291 e 381 dias após o terceiro corte (DAC) foram determinados os atributos biométricos (Altura das Plantas; Diâmetro dos Colmos; Número de Perfilhos; Número de Folhas Verdes e Secas por Colmo) e fisiológicos (Índice SPAD; Máxima Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II; Índice de Área Foliar; Conteúdos de Clorofilas *a*, *b* e Total (*a+b*); Razão Clorofila *a/b* e Conteúdo dos Pigmentos Carotenóides). A determinação dos atributos tecnológicos (Teor de Sacarose; Teor de Sólidos Solúveis; Açúcares Totais Recuperáveis; Teor de Fibra Industrial; Pureza Aparente do Caldo), bem como a Produtividade de Colmos e de Açúcar foi realizada aos 381 DAC. Para os atributos biométricos e fisiológicos o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 5x5, constituindo-se dos fatores doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) e épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC), com quatro repetições. Para a qualidade tecnológica e a produtividade o delineamento experimental foi em blocos ao acaso apenas em função das doses de nitrogênio, com quatro repetições. Os

atributos biométricos e fisiológicos, bem como a qualidade tecnológica da cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar foram alterados mediante a aplicação das doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento, em que a dose de 100 kg ha^{-1} proporcionou os melhores resultados. A Razão Clorofila *a/b*, o Número de Folhas Verdes e Secas por Colmo, os Teores de Fibra Industrial e de Sacarose na Cana não foram influenciados pela aplicação das doses de nitrogênio via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. As doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial aumentaram consideravelmente a Produtividade de Colmos e de Sacarose.

Palavras-Chave: *Saccharum* spp., irrigação plena, adubação nitrogenada, atributos morfofisiológicos, Brix, produção.

PRODUCTIVITY AND QUALITY OF SUGARCANE UNDER NITROGEN DOSES VIA SUBSURFACE DRIP FERTIGATION. Botucatu, 2012. 117p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANDRESSA FREITAS DE LIMA RHEIN

Adviser: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

2 SUMMARY

Sugarcane, *Saccharum* spp., stands out as one of the best renewable energy source options, justifying its importance as crop in Brazil and in the world. The water availability in the soil and the nitrogen fertilizer are important factors influencing the sugarcane yield. In the present work was characterized the biometric and physiological attributes, technological quality and productivity of the sugarcane cultivar SP80-3280 under nitrogen doses applied via subsurface drip fertigation. To this end, five treatments were established of N-fertilizer in the urea form (0, 50, 100, 150 and 200 kg N ha⁻¹), with four replicates, applied via subsurface drip fertigation. At 38, 121, 208, 291 and 381 days after the third cut (DAC) were determined biometric (Height of Plants; Diameter of Stalk; Number of Tillers; Number of Green and Dead Leaves per Stalk) and physiological attributes (SPAD Index; Maximum Photochemical Efficiency of Photosystem II; Leaf Area Index; Content of Chlorophylls *a*, *b* and Total (*a+b*); Chlorophyll *a/b* and Content of Carotenoids Pigments). The technological attributes (Sucrose Content; Soluble Solids Content; Total Recoverable Sugar; Industrial Fiber Content; Apparent Purity of Juice), as well as Productivity of Stalk and Sugar was determined at 381 DAC. The experimental design used for the biometric and physiological attributes was randomized blocks in a 5x5 factorial scheme, constituted by nitrogen doses (0, 50, 100, 150 and 200 kg N ha⁻¹) and evaluation times (38, 121, 208, 291 and 381 DAC), with four replicates. The experimental design for the technological quality and productivity was randomized blocks in function of the nitrogen doses, with four replicates. The biometric and physiological attributes, as well as the technological quality, of the sugarcane cultivar SP80-3280 were changed by the application of nitrogen doses via subsurface drip fertigation, and the dose of 100 kg ha⁻¹ provided the best results. The Chlorophyll *a/b*, the Number of Green and Dead Leaves per Stalk, Industrial Fiber Content and Sucrose Content were not influenced by the application of nitrogen doses via subsurface drip fertigation. The nitrogen doses applied via subsurface drip fertigation increased considerably the Stalk and Sucrose Productivity.

Key words: *Saccharum* spp., full irrigation, nitrogen fertilization, morpho-physiological attributes, Brix, yield.

3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., cultivada no Brasil desde o século XVI, apresentou grande expansão nas últimas três décadas do século XX, destacando-se como uma das principais plantas cultivadas no país. Notoriamente, apresenta ampla escala de adaptação, uma vez que o cultivo é realizado em regiões tropicais e subtropicais, que abrangem mais de 90 países situados entre os paralelos 35°N e 30°S. No Brasil, embora seu cultivo se concentre nas regiões Sudeste e Nordeste, a produção se desloca preferencialmente para a Região Centro-Oeste do país, notadamente nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul. Dessa forma, a cana-de-açúcar é cultivada em diferentes tipos de solos, sob influência de diversos fatores abióticos peculiares a cada região, evidenciando distintos níveis de produção.

Entre os diversos fatores abióticos, a deficiência hídrica deve ser destacada, devido aos efeitos prejudiciais causados no desenvolvimento das plantas. Para cada grama de matéria orgânica produzida pelas plantas, aproximadamente, 500 g de água são absorvidos pelas raízes, transportados pelo vegetal e perdidos para a atmosfera. Ainda que haja pequenos desequilíbrios nesse fluxo de água, podem ser condicionantes para ocasionar deficiência hídrica e distúrbios severos em diversos processos celulares.

Como a água é limitante para o crescimento e fundamental para a fotossíntese, a produtividade das plantas depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência de seu uso pelo vegetal. Assim sendo, a disponibilidade hídrica do solo é um dos fatores ambientais que mais influenciam a produção da cana-de-açúcar, a qual necessita de grandes quantidades de água, uma vez que somente 30% do peso constituem-

se de massa seca e 70% de água, dependendo do estágio fenológico. Além disso, a condição hídrica adequada determina o estabelecimento da cultura durante o estágio vegetativo, principalmente, nas fases de germinação, perfilhamento e alongamento dos colmos, entretanto, deve ser restrita no período de maturação, a fim de contribuir para o enriquecimento da sacarose.

A adubação nitrogenada também se constitui como um dos principais fatores abióticos determinantes para a produtividade da cana-de-açúcar, uma vez que o nitrogênio é um dos nutrientes mais absorvidos pela cultura. Além disso, esse elemento é intensivamente manejado na agricultura, visto que apresenta grande variabilidade no solo e elevada demanda pelos vegetais.

Embora constitua cerca de 1% da matéria seca total da cana-de-açúcar, o nitrogênio está diretamente envolvido na síntese de aminoácidos, na composição da molécula de clorofila e na produção de carboidratos, portanto, desempenha função determinante no crescimento e desenvolvimento da cultura, contribui positivamente para o crescimento e a qualidade dos colmos no processo de moagem, bem como para o vigor da planta. Dessa forma, o manejo inadequado da adubação nitrogenada nos canaviais pode acarretar diminuição da produtividade e da longevidade da cultura, reduzindo, portanto, o número de colheitas ou cortes entre as reformas. Também, com a expansão da cultura canavieira e incorporação de novas áreas geralmente de baixa fertilidade para a produção de açúcar e energia renovável, é de fundamental importância recuperar e manter os níveis de nutrientes adequados, especialmente do nitrogênio, para alcançar produções economicamente viáveis.

Considerando-se os aspectos supracitados, a fertirrigação com nitrogênio torna-se ferramenta relevante para suprir a condição hídrica e a exigência nutricional da cana-de-açúcar, no tocante ao manejo da adubação nitrogenada. Devido à importância da cultura, a compreensão dos atributos fisiológicos, morfológicos, qualitativos e quantitativos correlacionados ao fornecimento de água e nitrogênio contribuirá significativamente para indicar o melhor manejo, visando obter maiores rendimentos e produtividade agrícola.

O objetivo do presente trabalho foi caracterizar os atributos biométricos e fisiológicos, a qualidade tecnológica e a produtividade da cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação subsuperficial por gotejamento.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A cultura da cana-de-açúcar

4.1.1 Aspectos gerais do cultivo

A cana-de-açúcar foi descrita por Linneu, em 1753, que a classificou como *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*. Posteriormente, várias formas de classificação foram apresentadas (MOZAMBANI et al., 2006). Entretanto, de acordo com recentes estudos taxonômicos de Cronquist (1981), a cana-de-açúcar pertence à Divisão Magnoliophyta; Classe Liliopsida; Ordem Cyperales; Família Poaceae; Tribo Andropogoneae; Subtribo Saccharininae; Gênero *Saccharum*; Espécies *Saccharum officinarum*, *Saccharum barberi*, *Saccharum robustum*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum sinensis* e *Saccharum edule* (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2010).

Até o século XX, a espécie *Saccharum officinarum* foi responsável por grande parte da matéria-prima mundial, entretanto, o surgimento da doença do *sereh*, posteriormente, o mosaico e a gomose contribuíram para o início do melhoramento genético, a partir de 1980 (LANDELL et al., 2006). Inicialmente, objetivou-se a resistência às principais doenças conhecidas, utilizando-se, para tanto, o cruzamento interespecífico, que envolveu as espécies *Saccharum officinarum*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum barberi* e *Saccharum sinensis*, cuja exploração proporcionou significativa alteração no ideótipo varietal (LANDELL et al., 2005).

Atualmente, os plantios comerciais são constituídos por híbridos provenientes do cruzamento entre as espécies do gênero *Saccharum* spp., cuja variedade Crioula, resultado da hibridação natural entre *Saccharum officinarum* e *Saccharum barberi*, foi cultivada por aproximadamente 250 anos (LANDELL et al., 2006). Os programas de melhoramento genético desenvolveram híbridos resistentes aos estresses bióticos e adaptados às diversas condições ambientais, favorecendo a expansão da cultura pelo Brasil e pelo mundo (QUEIROZ, 2006). Também, as cultivares desenvolvidas nestes programas a partir de seleções regionais atendem às condições edafoclimáticas da região e promovem ganhos significativos para nichos específicos de produção (LANDELL; BRESSIANI, 2010). Dessa forma, a cana-de-açúcar é cultivada em diferentes tipos de solos, sob influência de diversos fatores abióticos peculiares a cada região, evidenciando distintos níveis de produção (MAULE et al., 2001).

Notoriamente, a cana-de-açúcar apresenta ampla escala de adaptação sendo cultivada em regiões tropicais e subtropicais, que abrangem mais de 90 países situados entre os paralelos 35°N e 30°S (ALFONSI et al., 1987). No Brasil, embora o cultivo da cana-de-açúcar se concentre nas regiões Sudeste e Nordeste, a produção se desloca preferencialmente para a Região Centro-Oeste do país, notadamente nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul (VIEIRA JUNIOR et al., 2008). Essa região se constitui em uma área de expansão para a cultura, por apresentar terrenos com topografia propícia à mecanização e cerca de 12 milhões de hectares agricultáveis, aptos ao cultivo da cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009). Também, a perspectiva de ampliação da área total de cana-de-açúcar no país, para os próximos dez anos, pode promover o deslocamento do cultivo para a região oeste paulista, que dispõe de propriedades rurais mais baratas e logística para o escoamento da produção, constituindo-se em uma importante fronteira agrícola à cultura (VIEIRA JUNIOR et al., 2008).

A cana-de-açúcar apresenta elevada taxa fotossintética, maior eficiência na utilização de gás carbônico (CO₂) da atmosfera e de água, mesmo sob condições elevadas de temperatura e de intensidade luminosa, bem como sob reduzida disponibilidade de água, caracterizando-se como uma planta de ciclo C₄ (LOPES et al., 2011). Contudo, a deficiência hídrica durante a fase de perfilhamento e início do alongamento dos colmos pode resultar em expressiva redução do rendimento de colmos e de açúcar (INMAN-BAMBER, 2004; SILVA et al., 2011).

O comportamento vegetativo da cana-de-açúcar é altamente dependente desses fatores climáticos, visto que as variações na disponibilidade térmica, pluviosidade e intensidade de luz exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar e interferem na produção, na maturação e na qualidade da cultura (SMIT; SINGLES, 2006; UEHARA et al., 2009). Para manter índices de produção satisfatórios, a cana-de-açúcar necessita de um período quente e úmido, com intensa radiação solar durante o estágio vegetativo, acompanhado de um período seco na fase de maturação e colheita (ALFONSI et al., 1987).

A avaliação do comportamento fenológico propicia o conhecimento e a definição das épocas em que ocorrem as diversas fases do período vegetativo das plantas, o que pode auxiliar na seleção das práticas culturais, como a escolha das melhores épocas de colheita e de plantio (LARCHER, 2004; SILVA et al., 2010). No Brasil, as variações climáticas possibilitam dois períodos de safras, de setembro a abril, no Norte-Nordeste e de abril a novembro, no Centro-Sul (SEGATO et al., 2006; TAVARES, 2009). Dessa forma, a cana-de-açúcar tem sido cultivada em escala comercial em todas as regiões do país, resultando em uma grande diversidade de condições edafoclimáticas, que ocasionam variabilidade na adaptação dos cultivares nas distintas regiões de cultivo (TAVARES, 2009).

Entre os diversos fatores abióticos, a deficiência hídrica deve ser destacada, devido aos efeitos prejudiciais causados no desenvolvimento das plantas (VITORELLO et al., 2005). A disponibilidade hídrica do solo é um dos fatores ambientais que mais influenciam a produção da cana-de-açúcar, pois determina o estabelecimento da cultura durante o estágio vegetativo (RAMESH, 2000).

Considerando-se este aspecto, a cana-de-açúcar necessita de 250 partes de água para formar uma parte de massa seca da planta (MAULE et al., 2001). Ainda, o consumo diário de água pela cana-de-açúcar nas principais regiões produtoras do país, dependendo da cultivar, do estágio de desenvolvimento da cultura, da demanda evapotranspirométrica em função do mês e da região (variação temporal e espacial), em geral, varia de 2,0 a 6,0 mm/dia (SALASSIER, 2006). Dessa forma, a necessidade hídrica da cana-de-açúcar é de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo e o manejo da irrigação deve ser feito de acordo com as tensões de água no solo, recomendadas para cada período do ciclo fenológico (DOOREMBOS; KASSAM, 1979; DANTAS NETO et al., 2006). Entretanto, de acordo com Inman-Bamber; Smith (2005), precipitações pluviais anuais a

partir de 1000 mm, adequadamente distribuídos, são suficientes para obter elevada produção da cultura. Tal fato prenuncia que o suprimento hídrico seja adequado durante o crescimento vegetativo, principalmente, nas fases de germinação, perfilhamento e alongamento dos colmos, mas restrito no período de maturação, a fim de contribuir para o enriquecimento da sacarose (SILVA et al., 2010).

No tocante à atividade térmica, a germinação das sementes e o crescimento vegetativo pleno são favorecidos sob temperaturas acima de 20°C, especificamente, entre 25°C e 33°C (CESNIK; MIOCQUE, 2004; ALMEIDA et al, 2008; SILVA et al., 2010). Também, temperaturas entre 32°C e 38°C favorecem a brotação das gemas (SILVA et al., 2010), entretanto, a formação e o crescimento dos perfilhos, o diâmetro e o número de entrenós são beneficiados pelo aumento da temperatura até atingir o valor de 30°C (LIU et al., 1998). Destarte, temperaturas inferiores a 18,5°C inibem a germinação de sementes (CESNIK; MIOCQUE, 2004; CAIEIRO et al., 2010) e abaixo de 20°C podem promover a paralisação da brotação das gemas e do crescimento dos perfilhos (CAMARA, 1993; SILVA et al., 2010).

O regime térmico, o crescimento e o desenvolvimento da planta são consideravelmente influenciados pela radiação solar, fundamental à produção de biomassa (TAVARES, 2009). Considerando-se esse aspecto, bem como o fato de que a cana-de-açúcar é uma planta de ciclo C4, a elevada eficiência fotossintética está atrelada às altas intensidades luminosas, as quais promovem aumento da taxa fotossintética, maior desenvolvimento e acúmulo de sacarose (BRUNINI, 2010). Também, a elevada intensidade luminosa promove o engrossamento e o encurtamento dos colmos, o alongamento das folhas, cuja coloração verde torna-se mais vigorosa, bem como a maior intensidade de perfilhamento. Comprovadamente, sob reduzida irradiância, os colmos apresentam-se mais finos e longos; as folhas, estreitas e amarelas. Além disso, o fotoperíodo interfere no comprimento do colmo, cujo alongamento é promovido sob 10 a 14 horas de intensidade luminosa e a redução do comprimento dá-se entre 16 a 18 horas de luz (RODRIGUES, 1995). Igualmente importante, entretanto, prejudicial à produtividade da cultura é o florescimento, cuja indução necessita de 12 a 12,5 horas de fotoperíodo, temperaturas noturnas superiores a 18°C e diurnas inferiores a 30°C (BRUNINI, 2010).

Quanto às condições edáficas, os solos arejados, profundos, férteis e com valores de pH entre 5,0 e 6,5 são satisfatórios às exigências da cultura (Van RAIJ et al., 1997; MARQUES et al., 2001). Igualmente, a fertilidade do solo e o fornecimento

adequado de nutrientes à cana-de-açúcar revelam-se como grandes limitações à produtividade da cultura nas regiões canavieiras do Brasil (FRANCO; TRIVELIN, 2010). Comprovadamente, a adubação nitrogenada se constitui como um dos principais fatores abióticos determinantes para a produtividade da cana-de-açúcar, principalmente, no que se refere à longevidade das soqueiras (MUCHOW et al., 1996). Dessa forma, o manejo inadequado da adubação nitrogenada nos canaviais pode acarretar diminuição da produtividade e da longevidade da cultura, reduzindo, portanto, o número de colheitas ou cortes entre as reformas (VITTI et al., 2007).

4.1.2 Importância econômica da cultura

Introduzida no período colonial, a cana-de-açúcar se transformou em um dos principais cultivos da economia brasileira (MOZAMBANI et al., 2006). Os avanços tecnológicos promoveram ao Brasil a supremacia na geração e difusão de tecnologias da cadeia açúcar/etanol de cana-de-açúcar, que se destaca como uma das melhores opções dentre as fontes de energia renovável, com grande importância no cenário agrícola brasileiro-mundial (SOUZA et al., 2005). Somado ao fato de ser o maior produtor de cana-de-açúcar, o Brasil se tornou o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol, conquistando, progressivamente, o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética (MAPA, 2012). Destarte, a lavoura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil, especialmente, nos estados das regiões Centro-Oeste e Sudeste, bem como no estado do Paraná, no sul do país (CONAB, 2012). Os dados da safra 2011/2012 indicam a área de cultivo de 8,368 milhões de hectares, o equivalente a 3,9% superior à safra precedente, dos quais 4,37 milhões de hectares, 52,2% do total nacional, pertencem ao estado de São Paulo (UDOP, 2011).

Na safra 2012/13, a área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8,520 milhões de hectares, distribuídos em todos estados produtores, conforme suas características. O estado de São Paulo é o maior produtor com 51,87% (4,419 milhões de hectares), seguido por Goiás, 8,52% (725,91 mil hectares), Minas Gerais, 8,47% (721,86 mil hectares), Paraná, 7,17% (610,83 mil hectares), Mato Grosso do Sul, 6,37% (542,70 mil hectares), Alagoas, 5,23% (445,71 mil hectares) e Pernambuco, com 3,84% (327,61 mil hectares). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3%. Ainda no

tocante à safra 2012/2013, a produtividade média brasileira está estimada em 69.846 kg/ha, 4,2% superior à 2011/12, cujo valor foi de 67.060 kg/ha (CONAB, 2012).

Notoriamente responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo, o Brasil deve alcançar taxa média de aumento da produção de 3,25%, até 2018/19, e colher 47,34 milhões de toneladas do produto, o que corresponde ao acréscimo de 14,6 milhões de toneladas em relação ao período 2007/2008. Quanto às exportações de açúcar, o volume previsto em 2019 é de 32,6 milhões de toneladas. Para o mesmo período, a produção, o consumo interno e as exportações de etanol estão estimados em 58,8; 50 e 8,8 bilhões de litros, respectivamente (MAPA, 2012). Dessa forma, é indiscutível a importância do setor sucroalcooleiro na sociedade brasileira, seja pelo grande potencial na geração de empregos diretos e indiretos, seja pelas exportações de açúcar e etanol, que contribuem com o equilíbrio da balança comercial (MARQUES et al., 2006).

Devido à importância do cultivo da cana-de-açúcar, a compreensão dos atributos fisiológicos, morfológicos, qualitativos e quantitativos correlacionados ao fornecimento de água e nitrogênio contribuirá significativamente para indicar o melhor manejo, visando obter maiores rendimentos e produtividade agrícola.

4.2 Deficiência hídrica e produtividade da cana-de-açúcar

Dentre os fatores ambientais que reduzem o crescimento e o desenvolvimento vegetal, a deficiência hídrica constitui uma das mais importantes limitações à produtividade e à distribuição dos vegetais, apresentando influência negativa em mais de 10% das áreas agrícolas do globo terrestre (BARTELS; SUNKAR, 2005), principalmente em lavouras de espécies economicamente importantes como o arroz, o milho, o trigo e a cana-de-açúcar. Tais limitações ocorrem em virtude da deficiência hídrica promover severos danos no crescimento vegetal, através, primordialmente, da redução da expansão celular. De fato, é indiscutível a importância da água para o crescimento, devido à turgidez celular ocasionada pelo influxo de água no vacúolo, quando os hormônios do crescimento vegetal (auxinas ou giberelinas) estão promovendo o alongamento celular (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Embora adaptada às condições de elevada intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água, para a cana-de-açúcar, a deficiência hídrica durante as fases de perfilhamento e início do alongamento dos colmos pode acarretar

reduções expressivas no rendimento de colmos e de açúcar. Entretanto, a restrição hídrica especificamente durante a fase de maturação promove aumento na concentração de sacarose nos colmos (INMAN-BAMBER, 2004; SILVA et al., 2011). Dessa forma, a necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia conforme a cultivar e o estágio vegetativo em que a cultura se encontra (AUDE, 1993), revelando-se, portanto, como função da área foliar, do estágio fisiológico e da densidade radicular (DANTAS NETO et al., 2006). Comprovadamente, a cana-de-açúcar necessita de elevada disponibilidade de água, durante o estágio vegetativo, a fim de apresentar rendimento adequado, sendo necessários 130 a 150 litros de água para a produção de 1 kg de massa seca (CASTRO, 2000).

Considerando-se esses aspectos, pequena redução do potencial de água no solo afeta a divisão e o alongamento celular em cana-de-açúcar (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Tal fato reduz o acúmulo de matéria seca, consequentemente, a taxa de crescimento e o índice de área foliar (INMAN-BAMBER, 2004). Também, a diminuição da disponibilidade hídrica no solo proporciona maior redução na produtividade da cana-planta no período de máximo desenvolvimento e na cana-soca no estágio inicial de crescimento (ROSENFELD; LEME, 1984). Na fase de intenso perfilhamento, a deficiência hídrica prejudica o desenvolvimento dos perfilhos, o que acarreta em redução no número de colmos produtivos no final do ciclo (BARBOSA et al., 2012).

Destarte, a deficiência hídrica na fase inicial afeta o rendimento da cana-de-açúcar, reduzindo o tamanho das plantas, em geral, e algumas variáveis como a produção de perfilhos; número, altura e diâmetro de colmos industrializáveis; área foliar e finalmente o peso individual dos colmos (ROBERTSON et al., 1999; RAO et al., 2005). Comprovadamente, algumas pesquisas revelaram que, em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica, a maior produtividade foi obtida nos cultivares que mantiveram os melhores resultados nesses atributos biométricos (SILVA et al., 2008). Entretanto, mesmo quando se consideram as alterações morfofisiológicas, para evitar os efeitos negativos da deficiência hídrica, as plantas de cana-de-açúcar apresentam reduções significativas na produção de fitomassa (MACHADO et al., 2009). Inman-Bamber, 2004, verificou que o decréscimo na expansão das folhas e do colmo ocorre antes da redução do número de folhas verdes e, posteriormente, influenciam o acúmulo de fitomassa e de sólidos solúveis no caldo. Ainda, esse autor constatou redução de 35% na produção de fitomassa, em um período de elevada demanda evaporativa das plantas jovens de cana-de-açúcar.

A redução da disponibilidade de água também pode promover alterações no número de folhas verdes; no comprimento e na largura das folhas; na área foliar e massa foliar específica; na densidade e condutância estomáticas; na eficiência quântica do fotossistema II; no teor relativo de água, no conteúdo de clorofila, e alterações no acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes (PINCELLI, 2010). Em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica, outros autores também demonstraram redução significativa de algumas variáveis correlacionadas com a produtividade, tais como eficiência quântica do fotossistema II e teor relativo de água das folhas (SILVA et al., 2007). Igualmente, redução do conteúdo de clorofila total, e razão clorofila *a/b*, bem como dos pigmentos carotenóides foram observados em outras pesquisas com deficiência hídrica (BEGUM et al., 2012).

Caracteristicamente, a deficiência hídrica também promove a redução no surgimento de novas folhas e aumento da abscisão foliar (SMIT; SINGELS, 2006), em virtude da maior concentração de ácido abscísico na planta (GHANNOUM, 2008), o qual associa-se à quantidade de luz absorvida e à fotossíntese total da cana-de-açúcar (IRVINE, 1975), reduzindo a produção de fotossimilados (FARQUHAR et al., 1989; GAVA et al., 2011).

Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos deletérios promovidos pela deficiência hídrica, constituindo-se, portanto, em mecanismos de tolerância à seca (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2009). Também, tais características morfofisiológicas modificadas pela deficiência hídrica são consideradas de grande importância para se obter elevada produtividade vegetal (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; GHANNOUM, 2008).

4.3 Interação entre irrigação e nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar

Os problemas causados pela diminuição da disponibilidade hídrica do solo são comuns nos canaviais, uma vez que não se limitam apenas às regiões áridas e semi-áridas do mundo. Em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento (DANTAS NETO et al., 2006). Destarte, o manejo de água adequado e estratégico durante todo o ciclo da cana-de-açúcar torna-se aspecto de grande importância para auxiliar no planejamento da

produção, determinar a adoção de sistemas de irrigação e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do uso da água no sistema de produção (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Considerando-se este aspecto, os produtores de cana-de-açúcar dependem fortemente de irrigação para cumprir as metas de produção (SILVA et al., 2007). Assim, o principal objetivo da irrigação é suprir as necessidades hídricas das plantas. Entretanto, essa técnica não possui aplicabilidade isoladamente, mas sim conjugada com outras práticas de manejo agrícola (DALRI et al., 2008).

O uso de irrigação para atenuar o efeito da escassez de água na produção de cana-de-açúcar é uma alternativa ainda pouco utilizada nos países produtores (INMAN-BAMBER, 2004). Também, trata-se de importante ferramenta para o aumento da produtividade da cultura, de forma que a frequência, a quantidade, a uniformidade e a eficiência da irrigação, juntamente com a precipitação, são variáveis que ditam a relação entre água e produtividade potencial da cana-de-açúcar (DANTAS NETO et al., 2006).

A irrigação, além de proporcionar um incremento na produtividade das culturas, atingindo valores maiores que 100% permite ampliar o tempo de exploração da planta e o número de colheitas (DALRI et al., 2008), além de promover a sustentabilidade econômica, social e ambiental (SALASSIER, 2006). No entanto, a água para irrigação é um recurso limitado e contencioso, de forma que a gestão eficaz é fundamental, não só na redução do uso perdulário, mas também na redução dos custos de produção e para manter a produtividade (SILVA et al., 2007).

A irrigação plena em cana-de-açúcar ainda é pouco difundida, porém os benefícios para a cultura são extremamente relevantes e podem ser divididos em diretos e indiretos. Os benefícios diretos consistem no aumento da produtividade agrícola e da longevidade das soqueiras, e os indiretos são aqueles relacionados à redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados, *e.g.*, pela dispensa de arrendamentos de terras. Soma-se, também, como benefício indireto, a redução de custos com o transporte da cana-de-açúcar, no caso de área arrendada encontrar-se consideravelmente mais distante da unidade industrial do que a área irrigada (DALRI; CRUZ, 2008).

A irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS), técnica que promove o uso mais eficiente da água, caracteriza-se pela utilização localizada de água diretamente na zona radicular da cultura e, portanto, pela elevada uniformidade de aplicação do recurso hídrico (BARBOSA et al., 2012). Adicionalmente, as principais vantagens da IGS resumem-se à redução da perda de água por evaporação direta da

superfície do solo; ao escoamento superficial reduzido; à flexibilidade do uso de máquinas agrícolas; à maior disponibilidade de nutrientes, uma vez que o ponto de emissão de água se encontra mais próximo da raiz, e à maior dificuldade de germinação de sementes de plantas daninhas, pois a superfície do solo se mantém com baixo teor de água (DALRI; CRUZ, 2008).

O rendimento e a produção de açúcar e de etanol da cana-de-açúcar irrigada dependem da quantidade de água aplicada, do manejo de irrigação associado à quantidade adequada de adubos, da variedade, da idade do corte, do tipo de solo e do clima. Algumas pesquisas indicam aumento de produção de 20 t ha⁻¹, o que corresponde ao acréscimo de 16% em relação à cana-de-açúcar não irrigada, primeira soca, na região de Piracicaba, SP., sob condições de irrigação por gotejamento (DANTAS NETO et al., 2006). Nessas mesmas condições, três cultivares de cana-de-açúcar, RB867515, RB855536 e SP80-3280, apresentaram incremento médio de 24% na produção de colmos e de 23% na produção de açúcar (GAVA et al., 2011). Resultados semelhantes decorrentes do uso da irrigação por gotejamento foram obtidos em cana-planta, soca e ressoca, cujo aumento na produção de colmos foi de 58,53%, 43,50% e 67,16%, respectivamente, e na produção de ATR, 66,08%, 38,45% e 72,87%, respectivamente (DALRI, 2004).

O uso dos fertilizantes via irrigação (fertirrigação) é favorecido por esse sistema, uma vez que possibilita a aplicação de maneira fracionada, conforme a marcha de absorção de nutrientes pela cultura, reduzindo as perdas sem onerar o custo de produção (DALRI, 2004; ROBERTS 2008). Ainda, a fertirrigação proporciona maior movimentação do nutriente em profundidade e lateralmente, fato consideravelmente importante em culturas perenes e semi-perenes, como a cana-de-açúcar, haja vista a dificuldade de se incorporar fertilizantes aplicados em cobertura sem danificar o sistema radicular (QUINTANA, 2010).

O nitrogênio é o fertilizante mais frequentemente aplicado via água de irrigação, uma vez que, em relação aos outros nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, apresenta alta mobilidade no solo, entretanto, possui alto potencial de perdas, principalmente por lixiviação de nitrato (ROBERTS, 2008). Constituinte de aminoácidos, proteínas, nucleotídeos, enzimas, coenzimas, vitaminas e pigmentos, o nitrogênio é o quarto elemento mais abundante nas plantas, depois do carbono, hidrogênio e oxigênio (DONATO et al., 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009). Também, constitui-se como o nutriente

mineral mais intensivamente manejado na agricultura, uma vez que apresenta grande variabilidade no solo e elevada demanda pelos vegetais (SCHLEMMER et al., 2005).

As plantas adquirem o nitrogênio do solo na forma de nitrato, amônia, ureia e aminoácidos (MORIKAWA et al., 2004). A assimilação do nitrogênio é um processo vital que controla o crescimento e o desenvolvimento das plantas e tem efeitos marcantes sobre a produtividade final das culturas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Embora a maior parte do nitrogênio seja absorvida pelos vegetais na forma de nitrato, para que possa ser utilizado é necessário que seja reduzido à amônia e, então, incorporado em composto orgânico (CORDEIRO, 2004). A amônia produzida participa dos aminoácidos elaborados pelas plantas em reações catalisadas por várias enzimas e magnésio. Diversas proteínas são formadas pelas diferentes combinações de aminoácidos, nas quais 18% são representadas pelo nitrogênio (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

No tocante aos nutrientes essenciais, após o potássio, o nitrogênio é um dos mais absorvidos pela cana-de-açúcar (MALAVOLTA, 2006). A absorção ocorre basicamente nas formas minerais, NO_3^- e/ou NH_4^+ , por meio de fluxo de massa (99%) e apenas 1% pela interceptação do sistema radicular (MALAVOLTA et al., 1997). Embora constitua exclusivamente 1% da matéria seca total da cana-de-açúcar, está diretamente envolvido na síntese de aminoácidos, na composição da molécula de clorofila e na produção de carboidratos, portanto, desempenha função determinante no desenvolvimento da cultura (VITTI et al., 2010). Alguns estudos revelam que a concentração de clorofila ou o enverdecimento das folhas se correlaciona positivamente com a concentração foliar de nitrogênio, uma vez que 70% do N contido nas folhas está nos cloroplastos, participando da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila (FERREIRA et al., 2006). Além disso, a função desse elemento no metabolismo dos carboidratos e na formação de molécula de clorofila contribui positivamente para o crescimento e a qualidade dos colmos no processo de moagem, bem como para o vigor da planta (SHEKINAH et al., 2012).

Considerando-se os aspectos supracitados, em condições de deficiência de nitrogênio há clorose das folhas mais velhas e diminuição da atividade meristemática da parte aérea, fato que resulta em redução do perfilhamento e da longevidade das soqueiras (MALAVOLTA et al., 1997). Também, a deficiência desse elemento acarreta em diminuição do teor de umidade da planta (PEREIRA, 2011), redução da área foliar e, portanto, do processo fotossintético, com resultante queda do rendimento e da qualidade tecnológica da cultura (KOOCHKEZADEH et al., 2009), visto que, além de

influenciar o rendimento da cana-de-açúcar, desempenha função importante na qualidade do caldo (SHEKINAH et al., 2012).

Adicionalmente, a carência de nitrogênio aumenta os teores de fibra, reduz a concentração de sacarose no colmo, promove o acúmulo desse açúcar nas folhas e eleva relação colmo/folha (PEREIRA, 2011). Ainda, promove a perda de rendimento na produção de esqueletos carbônicos e consequente redução da produtividade, visto que a carência desse elemento reduz a atividade da enzima Rubisco, cuja função passa a ser exercida pela enzima PEPcase, consumindo, para tanto, ATP (MEINZER; ZHU, 1998). Esses fatores associados diminuem a interceptação da radiação solar e a fixação do gás carbônico (CO_2) atmosférico via fotossíntese, com a consequente perda no acúmulo de fitomassa, fato que reduz o desenvolvimento da planta, cujos colmos apresentam-se finos e os internódios curtos (VITTI et al., 2010).

Por outro lado, a aplicação excedente de nitrogênio pode reduzir a concentração do açúcar produzido (MUCHOW et al., 1996). Além disso, pode promover crescimento vegetativo exagerado (OLIVEIRA, 2011b), excesso de nitrogênio no colmo, redução da qualidade do caldo e atraso na maturação (VITTI et al., 2010). Retardar este processo promove a concentração do corte e da industrialização da cana-de-açúcar no final da safra, fato que, geralmente, acarreta em consideráveis dificuldades operacionais (OLIVEIRA, 2011b). Dessa forma, a adubação nitrogenada se constitui em um dos fatores abióticos determinantes à produtividade da cana-de-açúcar, de forma que o suprimento inadequado de nitrogênio, seja por excesso ou por deficiência, pode contribuir para reduzir a qualidade do açúcar produzido, bem como provocar efeitos deletérios ao meio ambiente (MUCHOW et al., 1996).

4.3.1 Adubação nitrogenada versus características morfofisiológicas da cana-de-açúcar

No ciclo da cana-soca, faz-se necessária a aplicação de fertilizantes nitrogenados, entretanto, varia conforme o manejo e o tipo de solo (GAVA et al., 2001). Também, nesse ciclo, a decomposição de matéria orgânica de alta relação C/N (restos culturais e raízes), em um período de grande exigência em nitrogênio pela cultura, contribui para que qualquer adição desse nutriente à soqueira seja acompanhada por rápida resposta da cultura, relacionada ao crescimento e produtividade (SARTORI, 2010).

O acúmulo de nitrogênio pela cana-de-açúcar varia de acordo com a cultivar, o número de cortes, o ciclo da cultura, a disponibilidade do nutriente e de outros elementos na solução do solo, além de fatores edafoclimáticos (OLIVEIRA et al., 2007a). A exigência de nitrogênio de uma variedade pode ser avaliada pelo índice que relaciona a quantidade desse nutriente acumulado, em kg, por tonelada de colmo produzido, de forma que a eficiência da cultura em transformar o nitrogênio absorvido é inversamente proporcional ao índice (VITTI et al., 2010). Considerando-se esse aspecto, para a produtividade de 100 t ha⁻¹ de colmo, a cana-de-açúcar absorve do solo e do fertilizante em condições favoráveis, da atmosfera, por absorção foliar da amônia, e/ou pela fixação biológica aproximadamente 260 kg ha⁻¹ de nitrogênio (TRIVELIN et al., 1995). Também, como as raízes e rizomas correspondem, em média, 30% da massa de toda a planta, pode-se estimar que para cada tonelada de matéria fresca acumulada pela parte aérea ocorre absorção de 1,5 kg de N pela planta (OLIVEIRA et al., 2007a).

O nitrogênio absorvido aumenta a longevidade das folhas e a atividade meristemática da parte aérea da cana-de-açúcar, fato que resulta em maior perfilhamento e índice de área foliar (IAF), cujo incremento eleva a eficiência do uso da radiação solar, medida como taxa de fixação de gás carbônico ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e, aumenta, portanto, o acúmulo de massa de matéria seca (OLIVEIRA et al., 2007a). Dessa forma, a necessidade do nitrogênio pela cana-de-açúcar é crucial no período de formação da cultura, isto é, imediatamente após a brotação até o fechamento do canavial, normalmente, entre o terceiro e o quinto mês. Nessa época, ocorre a formação dos perfilhos, determinante para o estande final de plantas e, conseqüentemente, para a produtividade (CONTIN, 2007). Assim sendo, o nitrogênio é vital para a maioria dos processos metabólicos das plantas e desempenha função importante na formação de perfilhos (KOOCHKEZADEH et al., 2009). Também, na cana-de-açúcar, o nitrogênio desempenha função determinante para o aumento do comprimento do colmo, fazendo com que a parede celular fique mais delgada, diminuindo a percentagem de fibra na planta (ORLANDO FILHO; RODELLA, 1996).

Adicionalmente, a concentração desse nutriente interfere nos teores de clorofilas presentes no tecido foliar. Dessa forma, o potencial fotossintético de uma folha é fortemente correlacionado com o conteúdo de nitrogênio presente no tecido, independente se a variação no nível foliar de nitrogênio origina-se de diferenças entre espécies, idades das folhas, disponibilidade de nitrogênio no solo ou intensidade luminosa

(CHAPIN et al., 1987). Também, a fluorescência da clorofila pode ser usada para estimar, rapidamente e de forma não-invasiva, a eficiência do transporte de elétrons através do fotossistema II (FSII). A eficiência de operação deste FSII está correlacionada à assimilação de CO₂ e tem levado à utilização de atributos da fluorescência da clorofila para examinar o desempenho fotossintético de plantas em resposta ao suprimento de nitrogênio no solo (BAKER; ROSENQVIST, 2004).

A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para a cana-de-açúcar, pois os estudos sobre nitrogênio apresentam resultados muito variáveis e até contraditórios, uma vez que os mecanismos de resposta ao nitrogênio por esta cultura ainda não estão completamente elucidados (KORNDÖRFER et al., 2002; SARTORI, 2010).

4.3.2 Adubação nitrogenada versus atributos tecnológicos da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta eficiente para aproveitar o nitrogênio do solo, devido ao longo ciclo e ao sistema radicular abundante. Entretanto, em cana-soca a resposta à adubação nitrogenada é maior, mais freqüente e requer doses mais elevadas comparadas à cana-planta (VITTI et al., 2010). Alguns estudos revelam que aplicação de N-fertilizante associado à irrigação pode reduzir em até 30% a concentração de nitrogênio por meio da adubação, sem que haja redução significativa da produtividade da cana-de-açúcar, como consequência da distribuição eficiente do fertilizante ao longo do ciclo da cultura (NG KEE KWONG et al., 1999).

Comprovadamente, a produtividade de colmos e de açúcar responde à adubação nitrogenada via fertirrigação (KOOCHKEZADEH et al., 2009; OLIVEIRA, 2011b), principalmente em soqueiras, e as maiores respostas relacionam-se à elevação dos níveis de irrigação (WIEDENFELD; ENCISO, 2008). Pesquisas realizadas em cana-de-açúcar fertirrigada com 100 e 200 kg N ha⁻¹ revelaram produtividade de 77 t ha⁻¹ e 90 t ha⁻¹, respectivamente (SINGH; MOHAN, 1994). Ainda, alguns estudos mostraram aumento linear da quantidade de açúcar produzido por hectare, conforme as doses de nitrogênio (KORNDÖRFER et al., 2002).

A qualidade tecnológica da cana-de-açúcar depende de uma série de fatores, tais como cultivar, condições climáticas, ciclo da cultura e nível de adubação. A interação ou o conjunto desses fatores define o potencial da matéria-prima para a produção de açúcar ou etanol (KORNDÖRFER, 1994; MAEDA, 2009). Adicionalmente, o excesso e a deficiência de nitrogênio influenciam a qualidade tecnológica dos colmos. Em condições de deficiência desse nutriente, há redução do teor de umidade da planta, diminuindo a qualidade do caldo; aumento do teor de fibra; decréscimo da concentração de sacarose, cujo acúmulo ocorre nas folhas. Sob excesso de nitrogênio, há acúmulo desse elemento no colmo, redução da qualidade do caldo e atraso na maturação (MAEDA, 2009; OLIVEIRA, 2011b). Entretanto, o manejo adequado da adubação nitrogenada não afeta a qualidade tecnológica dos colmos (VITTI et al., 2007).

Mediante o exposto, o manejo inadequado do canavial, especialmente da adubação nitrogenada, constitui-se importante fator de produtividade, especialmente nas soqueiras (PRADO; PANCELLI, 2008), uma vez que pode reduzir a longevidade da cultura e, por conseguinte, o número de colheitas ou cortes entre as reformas (VITTI et al., 2007).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Cana-de-açúcar cv. SP80-3280

A cultivar SP80-3280, desenvolvida pelo Programa de Melhoramento de Cana-de-Açúcar da Copersucar – Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, foi selecionada na região de Piracicaba - SP. Esta cultivar destaca-se por apresentar adequada produtividade de cana-planta e cana-soca, cerca de 3 a 12% superior a cultivar SP79-1011, padrão de comparação; baixa redução de produtividade ao longo dos cortes (média de 6%); crescimento inicial vigoroso, perfilhamento intermediário, adequado fechamento das entrelinhas e tombamento regular; elevados teores de fibra e sacarose; média exigência em fertilidade do solo; floresce, no entanto, apresenta reduzida isoporização (COPERSUCAR, 1997; SOCICANA, 2006).

Quanto aos aspectos fitossanitários, apresenta sensibilidade média a herbicidas; susceptibilidade ao ataque da broca (*Diatraea saccharalis*), considerada a praga de maior importância na cultura da cana-de-açúcar, e da cigarrinha-das-raízes (*Mahanarva fimbriolata*) (DINARDO-MIRANDA, 2003), entretanto, é resistente ao carvão, ao mosaico, à ferrugem e tolerante à escaldadura (SOCICANA, 2006).

5.2 Instalação e condução experimental

A instalação do experimento foi realizada em novembro de 2006, em área localizada na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento (UPD) da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) Pólo Regional Centro-Oeste, Jaú, SP, à

22°17'Sul e 48°34'Oeste, altitude média de 580 m. O clima predominante na região é o tipo Aw (Köppen), tropical chuvoso com inverno seco, médias anuais de 22,7°C de temperatura e 1.344 mm de precipitação (CEPAGRI, 2012).

O estudo foi conduzido no período de setembro de 2009 a outubro de 2010, após o 3º corte da cultivar SP80-3280, plantada em solo classificado como Argissolo eutrófico (MENK; COELHO, 2000). Em setembro de 2006, antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras das camadas de 0-20, 20-40 e 40-80 cm, cujas análises química e granulométrica estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química e granulométrica de um Argissolo eutrófico, cujas amostras foram coletadas em setembro de 2006, antes da instalação do experimento.

Análise Química ¹									
Profundidade	pH	M.O.	P resina	S-SO ₄	K	Ca	Mg	H+Al	V
cm	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³			%		
0-20	5,2	19	19	3	0,9	27	14	22	66
20-40	5,3	14	11	2	0,4	21	12	20	64
40-80	5,3	7	3	6	0,2	21	7	16	66
Análise Granulométrica ²									
Profundidade	Areia		Silte		Argila		Classe Textural		
cm			g kg ⁻¹						
0-20	660		70		270		Média		
20-40	600		60		340				
40-80	530		70		400				

¹M.O.: Matéria Orgânica; V: Saturação por Bases. ²Método do densímetro (BOUYOUCOS, 1927).

Para o estudo da cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial plena foram estabelecidos cinco tratamentos de N-fertilizante (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹), na forma de ureia (45% N), com quatro repetições, e cujos efeitos nos parâmetros biométricos e fisiológicos foram verificados em cinco épocas de avaliação, aos 38, 121, 208, 291 e 381 dias após o terceiro corte (DAC). Nos atributos tecnológicos e na produtividade, as implicações decorrentes das doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial plena foram verificadas aos 381 DAC. Dessa forma, para os atributos biométricos e fisiológicos o delineamento experimental utilizado

foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 5x5, constituindo-se dos fatores doses de nitrogênio (N) e épocas de avaliação (E), com quatro repetições. Entretanto, para a qualidade tecnológica e a produtividade o delineamento experimental foi em blocos ao acaso apenas em função das doses de nitrogênio, com quatro repetições.

As parcelas experimentais foram compostas por cinco linhas de sulco duplo (0,40 x 1,40 m), caracteristicamente denominado plantio em “W” ou plantio em “abacaxi”, com 40 m de extensão, divididas em cinco parcelas de 8 m, para cada tratamento com quatro repetições, conforme apresentado na figura 1. Salienta-se que, das cinco parcelas, apenas três foram amostradas ao acaso para a realização das avaliações biométricas e fisiológicas na cana-de-açúcar cv. SP80-3280, uma vez que os métodos utilizados foram destrutivos e, portanto, poderiam comprometer a qualidade tecnológica e a produtividade, cujas amostragens foram realizadas nas outras duas parcelas restantes.

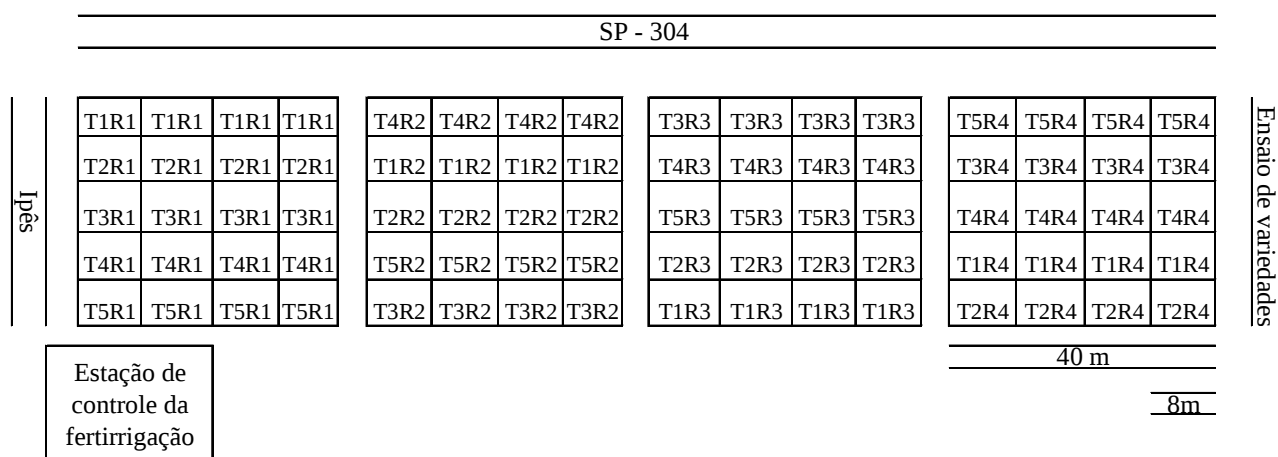


Figura 1. Croqui experimental que revela a disposição das parcelas amostradas.

Entre a linha dupla de cana-de-açúcar, enterrados a 20 cm de profundidade em relação à superfície do solo, foram instalados os tubos gotejadores do sistema de irrigação, modelo DRIPNET PC 22135 FL, Adana, Turquia, com gotejadores a cada 0,5 m e vazão de 1,0 L h⁻¹, responsáveis pela aplicação das doses de N-fertilizante (ureia) duas vezes por semana, em fertirrigação por gotejamento subsuperficial (Figura 2).

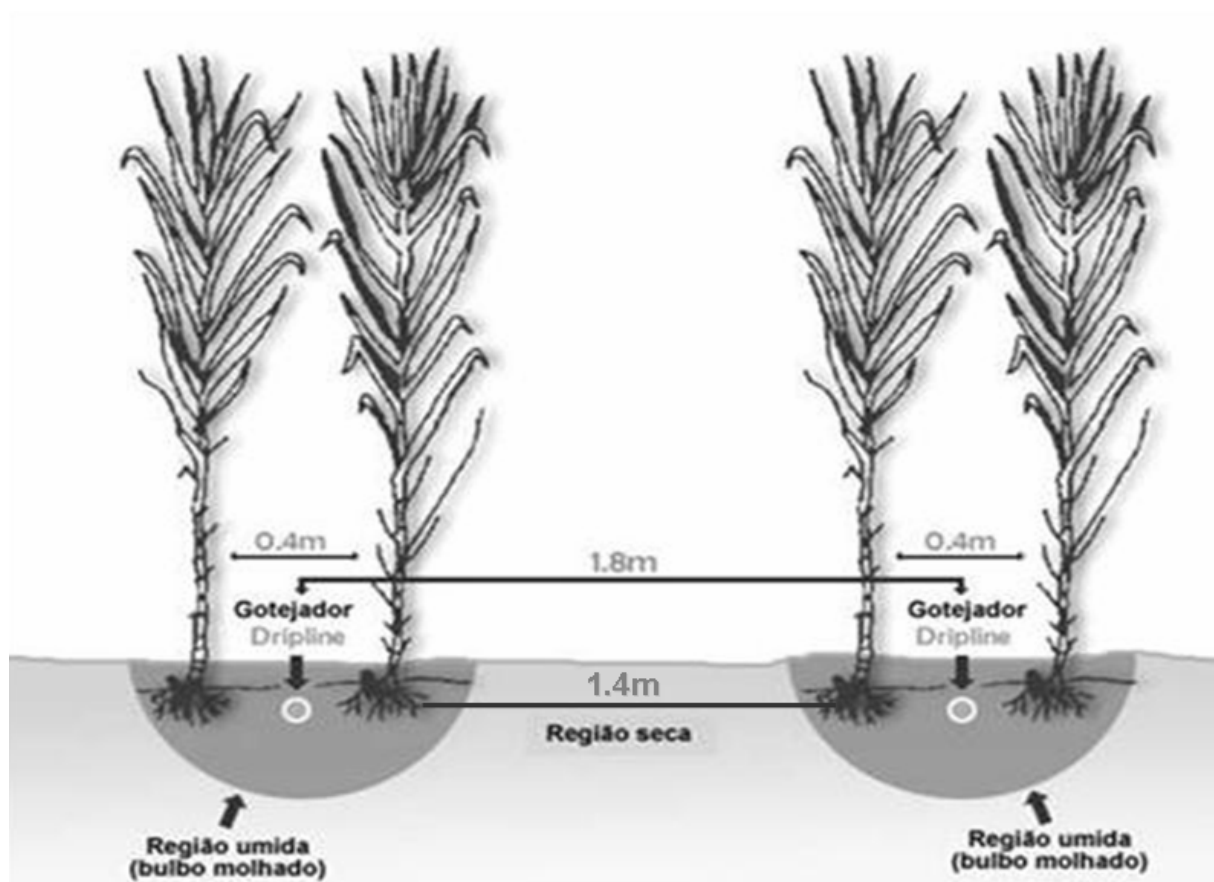


Figura 2. Desenho esquemático que revela a disposição dos tubos gotejadores entre a linha dupla de cana-de-açúcar.

Salienta-se que, a adubação nitrogenada foi realizada conforme o estágio de desenvolvimento das plantas e interrompida quatro meses antes da colheita, na fase correspondente a maturação da cana-de-açúcar. Também, foram adicionados aos tratamentos 150 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de KCl (cloreto de potássio), distribuídos ao longo do ciclo, e cuja aplicação foi interrompida três meses antes da colheita (Figura 3).

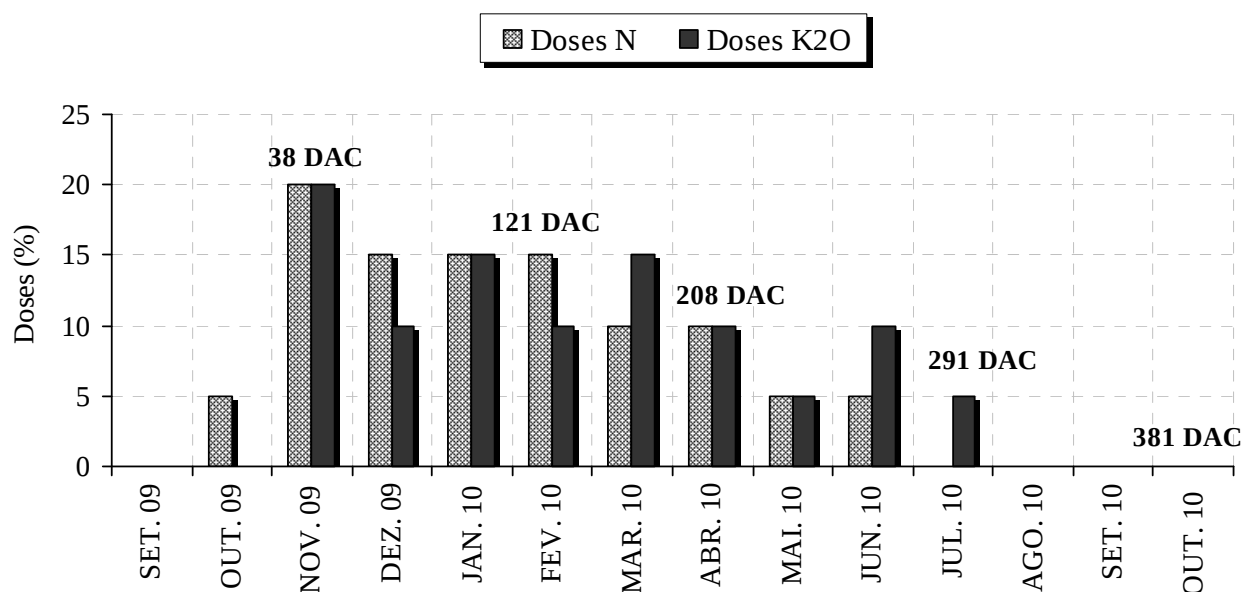


Figura 3. Distribuição em percentagem das doses de N e K₂O aplicadas por fertirrigação, durante o ciclo de desenvolvimento de soqueira de cana-de-açúcar. O tempo em dias após o terceiro corte (DAC) indica os estádios em que foram realizadas as avaliações biométricas e fisiológicas na cultura.

A condição hídrica do solo foi monitorada por tensiômetros, dispostos na área experimental, cujos dados foram enviados por sinais via rádio para uma central informatizada, dotada de computadores que calculavam a necessidade de irrigação. A frequência de irrigação foi calculada, considerando-se a capacidade de água disponível no solo (CAD) de 70 mm, a precipitação (P), a demanda atmosférica e a evapotranspiração da cana-de-açúcar (ETC).

A pluviosidade total durante o ciclo da cultura foi de 1.435 mm, próxima à média histórica de 1.460 mm, registrada para o período. A quantidade de água aplicada pelo sistema de irrigação foi de 390 mm, distribuída ao longo do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar, de forma a suprir 100% da evapotranspiração da cultura, conforme o método de Penman-Monteith (HOWELL; EVETT, 2004), cujo acúmulo foi de 1.320 mm (ETC acumulada). Dessa forma, procedeu-se a estimativa do balanço hídrico decendial e o cálculo da deficiência hídrica (DEF), cujo valor foi de apenas 28 mm (Figura 4). Ainda, as temperaturas máximas e mínimas médias observadas durante os 381 dias do ciclo de desenvolvimento da cultura foram de 29,2 e 16,4°C, respectivamente.

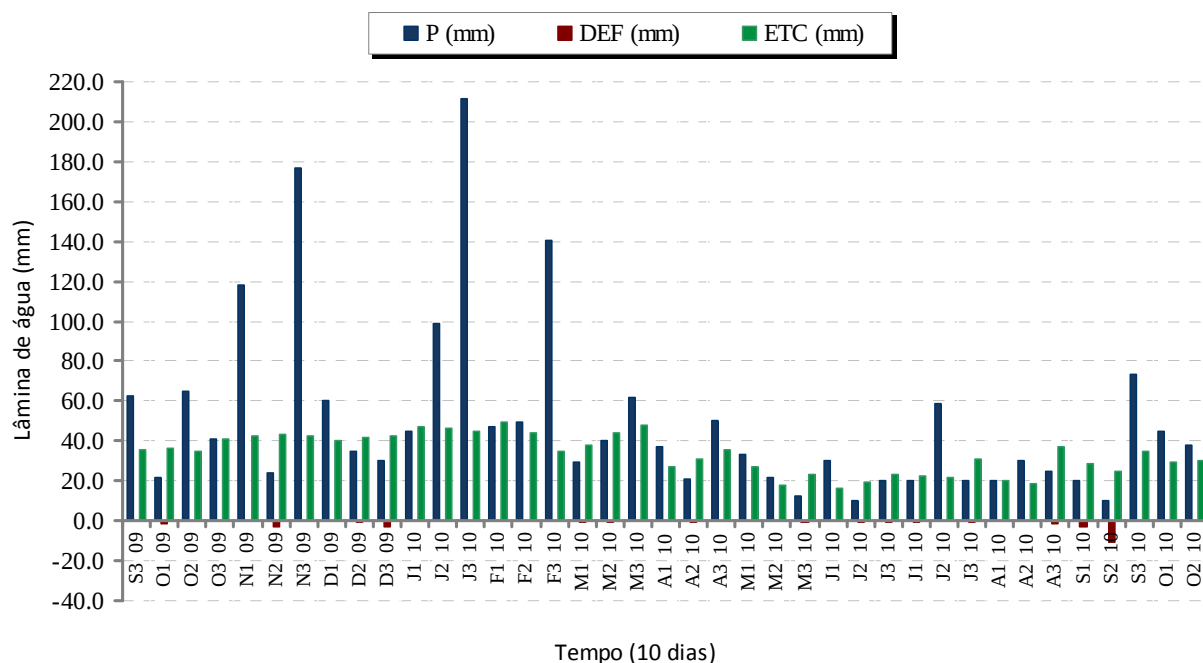


Figura 4. Balanço hídrico decendial no manejo irrigado por gotejamento subsuperficial, no período entre setembro/2009 a outubro/2010. P = precipitação + lâmina de água; DEF = deficiência hídrica; ETC = evapotranspiração da cultura.

5.3 Coleta e preparo das amostras

As avaliações experimentais foram realizadas aos 38, 121, 208, 291 e 381 dias após o terceiro corte (DAC). A determinação dos atributos biométricos e fisiológicos foi realizada na parte aérea das plantas localizadas na linha central e no centro da parcela, em um metro de linha dupla de plantas, nas três parcelas amostradas, em cada uma das quatro repetições por tratamento.

Para a determinação dos atributos tecnológicos aos 381 dias após o terceiro corte foram selecionadas aleatoriamente 10 colmos de cana-de-açúcar nas duas parcelas restantes, em cada uma das quatro repetições por tratamento, os quais foram amarrados e os feixes encaminhados ao Laboratório de Tecnologia da Associação dos Produtores de Cana da Região de Jaú (Associcana), Jaú, SP. Os colmos selecionados foram triturados e homogeneizados em betoneira para extração do caldo por prensagem, a $250 \text{ kgf cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, a partir do qual foram analisados Brix (teor de sólidos solúveis) e Pol (teor de sacarose). Ainda, utilizando-se de balança semi-analítica, realizou-se a determinação da massa do bagaço úmido (bolo úmido), resultante da prensagem, e cujo valor foi utilizado

para o cálculo do teor de fibra industrial (Fibra % cana), conforme o método da prensa empregado pelo Sistema Consecana - SP (CONSECANA, 2006).

5.4 Avaliações experimentais

As avaliações dos atributos biométricos e fisiológicos foram realizadas na área experimental e no Laboratório de Fisiologia da Cana-de-Açúcar da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) Pólo Regional Centro-Oeste, Jaú, SP.

5.4.1 Biométricas

5.4.1.1 Número de perfilhos (NP)

A contagem do número de perfilhos foi realizada de maneira direta, em um metro de linha dupla, na linha central e no centro da parcela, em cada uma das quatro repetições, no próprio campo.

5.4.1.2 Número de folhas verdes por colmo (NFV) e Número de folhas secas por colmo (NFS)

Salienta-se que para a obtenção desses dados, as folhas consideradas verdes apresentaram o mínimo de 20% de área verde. Também, o somatório do número de folhas verdes (NFV) e secas (NFS) foi efetuado de maneira direta nos colmos utilizados para a contagem do número de perfilhos. Posteriormente, os valores totais obtidos desse somatório foram racionalizados pelo número de perfilhos, conforme demonstrado a seguir:

$$NFV = \frac{NFV}{NP} \quad \text{e} \quad NFS = \frac{NFS}{NP}$$

Onde:

NFV = número de folhas verdes;

NFS = número de folhas secas, ambos obtidos por contagem direta;

NP = número de perfilhos.

5.4.1.3 Diâmetro de colmos (DIAM)

O diâmetro dos colmos foi mensurado na área experimental com o auxílio de um Paquímetro Digital MZB, no terço médio do colmo, acima da superfície do solo em cada um dos perfilhos amostrados.

5.4.1.4 Altura de plantas (ALT)

As medidas de altura foram realizadas na área experimental, nos perfilhos avaliados em cada amostragem. Utilizando-se de fita graduada em centímetros, a altura das plantas foi medida do início do colmo à folha +1 (*Dewlap*)¹, segundo critério de Kuijper (1915) citado por Gallacher (1997), devido ao fato desta folha ser a mais jovem, com a lâmina foliar completamente expandida.

5.4.2 Fisiológicas

5.4.2.1 Estimativa do conteúdo de clorofila, índice SPAD (CE)

A estimativa do conteúdo de clorofila foi determinada por meio de um Clorofilômetro, modelo SPAD-502 (Konica Minolta, Ramsey, New Jersey, EUA), cujas leituras foram realizadas nas cinco épocas de avaliação, criteriosamente entre as 10 e 12 horas, a fim de se obter maior incidência de radiação solar. A leitura instantânea obtida pelo aparelho mensura a intensidade de cor verde do limbo foliar, a qual se correlaciona aos teores de clorofilas e à concentração de nitrogênio na folha (PÔRTO et al., 2011).

Foram obtidas 20 leituras nas folhas +1 de diferentes perfilhos por parcela amostrada de cada tratamento, constituindo-se a média dessa parcela, segundo critério de Kuijper (1915) citado por Gallacher (1997), devido ao fato desta folha ser a mais jovem, com a lâmina foliar completamente expandida e por apresentar maior atividade fotossintética em relação às demais (SILVA et al., 2001).

¹ A primeira folha apical (lâmina foliar com bainha visível) completamente expandida.

5.4.2.2 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m)

A máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II foi determinada nas cinco épocas de avaliação, criteriosamente entre as 10 e 12 horas, a fim de se obter maior incidência de radiação solar, utilizando-se de Fluorômetro Portátil, modelo OS-30p (Opti-Sciences). Primeiramente, parte do limbo foliar de folhas +1 de diferentes perfilhos por parcela experimental de cada tratamento, assinaladas ao acaso, foram pré-escurecidos durante 30 minutos, por meio de cliques de plástico. As folhas foram adaptadas ao escuro, a fim de medir a capacidade de captura da energia luminosa dos centros de reação do fotossistema II (FS II) abertos. Em seguida, foram realizadas leituras, acoplando-se o Fluorômetro a esses cliques ajustados ao limbo foliar.

A variável F_v/F_m foi determinada de acordo com os procedimentos de Maxwell; Johnson (2000), que definem F_m , a máxima intensidade da fluorescência, em que todas as reações do fotossistema II (FSII) se fecham; F_o , a mínima intensidade de fluorescência, quando os centros de reações do FSII estão abertos; e F_v , a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_o$).

5.4.2.3 Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e Índice de área foliar (IAF)

A Radiação Fotossinteticamente Ativa e o Índice de Área Foliar foram determinados nas cinco épocas de avaliação, entre as 13 e 14 horas, período de maior incidência da radiação solar. Para tanto, utilizou-se o Ceptômetro, modelo LP-80 (AccuPAR - Decagon Devices, Pullman, Wa, EUA), cujas leituras de PAR foram realizadas de forma a posicionar a régua do aparelho horizontalmente no meio da linha dupla de cana-de-açúcar e a manter o sensor assistente voltado para cima, direcionando-o para os locais onde havia radiação solar plena (sem sombra). Dessa forma, o IAF foi determinado por meio da diferença entre leituras de PAR acima e abaixo do dossel da cultura.

5.4.2.4 Conteúdo de clorofilas e carotenóides via espectrofotômetro (CC)

Para a determinação do conteúdo de clorofilas *a*, *b*, clorofila total (*a+b*), razão clorofila *a/b* e carotenóides, foram obtidas amostras de folhas +1 de diferentes perfilhos por parcela amostrada de cada tratamento, assinaladas ao acaso, e imediatamente transportadas para o Laboratório de Fisiologia da Cana-de-Açúcar da APTA em uma caixa térmica repleta de gelo. Posteriormente, foram extraídos dois discos foliares, de 1,1 cm² cada, entre a borda e a nervura central das folhas, por meio de um Furador de Superfície Foliar, modelo 10-G26 (Borer Set. Nickel Plated). Imediatamente, os discos foram imersos em uma solução de 2 mL de Dimetil-formamida (DMF), durante 24 horas, para a extração dos pigmentos fotossintéticos. Após este período, com o auxílio de Micropipeta, modelo VVCS-1000 (Digipet - 100 a 1000 µL), foi extraído 1 mL do material sobrenadante e adicionado ao sobrenadante 1,5 mL de água deionizada. A solução obtida foi submetida às leituras de absorvância nos comprimentos de onda 480, 647 e 664 nm, que correspondem ao pico de maior absorção dos pigmentos carotenóides, clorofila *b* e clorofila *a*, respectivamente, utilizando-se, para tanto, o Espectrofotômetro, modelo DU-720 (Beckman Coulter). Ulteriormente, a quantificação dos pigmentos foi realizada mediante as equações de Porra et al. (1989).

5.4.3 Produção e Qualidade tecnológica

No Laboratório de Tecnologia da Associação dos Produtores de Cana da Região de Jaú (Associcana), os 10 colmos de cada parcela amostrada, selecionados ao acaso, foram triturados e homogeneizados em betoneira para extração do caldo com auxílio de uma prensa hidráulica, a 250 kgf cm⁻² min⁻¹, a partir do qual foram obtidos o teor de sacarose (Pol % caldo – POL; Pol % cana – PCC), o teor de sólidos solúveis (Brix % caldo - BRIX), os Açúcares Totais Recuperável (ATR, em kg t⁻¹ cana), o teor de fibra industrial (Fibra % cana) e a Pureza Aparente do Caldo (P), conforme o método proposto por Consecana (2006), determinada pelo emprego da fórmula:

$$P = \frac{Pol\%caldo}{Brix\%caldo} \times 100$$

Onde:

Pol % caldo = teor de sacarose no caldo;

Brix % caldo = teor de sólidos solúveis no caldo.

Ainda, o cálculo do teor de fibra industrial (Fibra % cana), foi realizado de acordo o método da prensa empregado pelo Sistema Consecana - SP (CONSECANA, 2006), por equação de regressão linear em função da massa do bolo úmido, conforme demonstrado a seguir:

$$F = 0,08 \times PBU + 0,876$$

Onde:

F = teor de fibra industrial (Fibra % cana);

PBU = peso úmido do bagaço, expresso em gramas (g), resultante da prensagem de 500 g de cana.

A Produtividade de Colmos (TCH), expresso em toneladas de colmos por hectare (t colmo ha⁻¹), foi determinada aos 381 dias após o terceiro corte, na colheita do quarto corte. Para tanto, 40 m de cana-de-açúcar cv. SP80-3280 foram colhidos manualmente em uma parcela amostrada (cinco linhas de oito metros) e pesados. Posteriormente, foi estimada a Produtividade de Colmos (TCH) em t ha⁻¹, considerando-se o plantio de 5.556 metros lineares de cana-de-açúcar em 1 hectare.

A Produtividade de Açúcar (TPH), expressa em toneladas de sacarose por hectare (t pol ha⁻¹), foi obtida por meio do produto entre Produtividade de Colmos (TCH) e a Porcentagem Aparente de Sacarose na Cana-de-açúcar (Pol% cana – PCC).

5.5 Forma de análise dos resultados

Para os atributos biométricos e fisiológicos o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 5x5, constituindo-se dos fatores doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) e épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC), com quatro repetições. Para a qualidade tecnológica e a

produtividade o delineamento experimental foi em blocos ao acaso apenas em função das doses de nitrogênio, com quatro repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F seguido da aplicação do teste de Tukey (5%) para a comparação entre médias. A análise da regressão polinomial foi utilizada para o desdobramento dos graus de liberdade dos fatores quantitativos, doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial (BANZATTO; KRONKA, 2006).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Atributos Fisiológicos

Os quadrados médios da análise de variância do Índice SPAD, da Máxima Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II (F_v/F_m) e do Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob efeito de cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, associada à cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC²) estão apresentados na Tabela 2. Os resultados revelaram que os fatores isolados, doses de nitrogênio e épocas de avaliação, interferiram nos três parâmetros fisiológicos avaliados, SPAD, F_v/F_m e IAF, entretanto, a interação NxE (doses de nitrogênio x épocas de avaliação) promoveu efeito apenas para SPAD e IAF (Tabela 2).

² DAC: Dias após o corte.

Tabela 2. Quadrados médios das análises de variância para os atributos fisiológicos (Índice SPAD; Máxima Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II - F_v/F_m ; Índice de Área Foliar - IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

Causa da Variação	G.L.	Quadrados Médios		
		SPAD	F_v/F_m	IAF
Doses de Nitrogênio (N)	4	0,14596 x 10 ^{7**}	0,32476 x 10 ^{10**}	0,04646 x 10 ^{10**}
Épocas (E)	4	0,45397 x 10 ^{7**}	0,70279 x 10 ^{10**}	0,69744 x 10 ^{10**}
Interação N x E	16	0,01297 x 10 ^{7**}	0,08726 x 10 ^{10ns}	0,00246 x 10 ^{10**}
Bloco (B)	3	0,00678 x 10 ^{7ns}	0,73129 x 10 ^{10ns}	0,00006 x 10 ^{10ns}
Erro (E)	72	0,00530 x 10 ⁷	0,08458 x 10 ¹⁰	0,00051 x 10 ¹⁰
CV (%)		6,61	3,81	6,02

ns: não significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Verificou-se que o aumento das doses de nitrogênio proporcionou resultado equivalente para o Índice SPAD, principalmente, sob 200 kg N ha⁻¹ (Tabela 3). Outros estudos revelaram que plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva sob diferentes concentrações de nitrogênio apresentaram considerável aumento dos valores expressos pelo Índice SPAD (KAWAMITSU et al., 1999). Glaz et al. (2008) também obtiveram aumento significativo do Índice SPAD em cana-de-açúcar sob inundações periódicas associada à adubação nitrogenada com 84 e 113 kg N ha⁻¹. Também, estudos realizados em outras gramíneas, como o milho (ARGENTA et al., 2001) e a braquiária (SANTOS et al., 2007) revelaram que os valores obtidos pelo Índice SPAD aumentam em função das doses de nitrogênio adicionadas às culturas.

Os medidores portáteis de clorofila mensuram a transmissão de luz vermelha a 650 nm, quando ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila, e de luz infra-vermelha, a 940 nm, sem absorção. Com base nesses valores, o instrumento calcula o valor ou índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), o qual é altamente correlacionado com o teor de clorofila (SILVEIRA et al., 2003). Comprovadamente, diversos trabalhos de pesquisa têm demonstrado que, para algumas culturas, a concentração de clorofila ou o enverdecimento das folhas se correlaciona positivamente com a concentração foliar de nitrogênio (PÔRTO et al., 2011). Isso ocorre pelo fato de

que 70% do nitrogênio contido nas folhas estão nos cloroplastos e participam da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila (FERREIRA et al., 2006).

Tabela 3. Teste de Tukey do Índice SPAD da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

Tratamentos² Doses de N (kg ha⁻¹)	Teste de Tukey³ SPAD	Tratamentos¹ Épocas de Avaliação	Teste de Tukey³ SPAD
0	31,68 C	1 ^a (038 DAC)	39,70 A
50	32,45 C	2 ^a (121 DAC)	38,92 A
100	35,93 B	3 ^a (208 DAC)	35,97 B
150	36,28 AB	4 ^a (291 DAC)	29,51 C
200	38,04 A	5 ^a (381 DAC)	30,27 C
DMS	2,039	DMS	2,039

D.M.S.: Diferença Mínima Significativa; ¹Épocas de Avaliação (38, 121, 208, 291, 381 dias após o corte, DAC); ²Doses de Nitrogênio: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹. ³Médias seguidas de mesma letra na vertical (nos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Contrariamente aos resultados obtidos para o Índice SPAD no tocante às doses crescentes de nitrogênio, o presente estudo revelou que os valores desse índice reduziram em conformidade com as épocas de avaliação (Tabela 3). Tal fato possivelmente ocorreu em virtude da adição de N-fertilizante induzir vigoroso crescimento vegetativo, resultando em plantas com maior teor de umidade, devido em parte, ao efeito de diluição (KORNDÖRFER, 1994; MAEDA, 2009). Também, esse efeito concomitante à expansão da folha pode ser consequência da taxa de produção de matéria seca superar a taxa de acúmulo de nitrogênio (FARONI, 2008; OLIVEIRA, 2011a).

Além das doses de nitrogênio, a variação da concentração de outros nutrientes como enxofre, cálcio, manganês e zinco podem afetar a formação da molécula de clorofila, de forma a induzir diferentes graus de clorose e, portanto, interferir na leitura SPAD (MENGEL; KIRKBY, 1987). Ainda nesse aspecto, podem-se considerar os efeitos de variação genotípica, folha-diagnóstica e época de amostragem (ROZANE et al., 2009).

A redução significativa do Índice SPAD, principalmente, a partir da 3ª época de avaliação, aos 208 dias após o corte, se deve, provavelmente, ao fato de que com o desenvolvimento da cultura há redução da capacidade fotossintética, uma vez que a planta também apresenta o desenvolvimento de outros órgãos, como raízes, colmos e folhas velhas, em detrimento à expansão foliar, que demandam energia, funcionando como drenos (OLIVEIRA et al., 2005; SILVA et al., 2005).

As leituras do medidor do Índice SPAD apresentam correlação significativa com os teores de clorofila extraível das plantas (ARGENTA et al., 2001; SILVEIRA et al., 2003). No entanto, os coeficientes de determinação da regressão linear, obtida entre essas duas variáveis, dependem dos espaços intercelulares nas folhas amostradas, uma vez que o teor de clorofila permanece o mesmo, mas a transmissão de luz varia de acordo com esses espaços. Desta forma, os estádios anatômico e morfológico das folhas e o estágio fenológico das plantas são importantes fatores que governam a relação entre os teores de clorofila determinados pelos métodos convencionais de laboratório e os valores do medidor do Índice SPAD (PÔRTO et al., 2011).

Conforme já constatado na Tabela 2, a interação NxE (doses de nitrogênio x épocas de avaliação) promoveu efeito significativo para o Índice SPAD. De acordo com o desdobramento dos graus de liberdade dessa interação, apresentado na Tabela 4, constatou-se que o Índice SPAD apresentou significativa redução sob associação das doses 0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹, aplicadas via gotejamento subsuperficial, com as cinco épocas de avaliação (Figuras 5A, 5B, 5C, 5D e 5E, respectivamente).

Para a cana-soca, a partir de seis meses de idade, há redução da absorção de nutrientes, como o nitrogênio, elemento crucial para a formação da molécula de clorofila, e cujo excesso nos estágios posteriores a esses períodos atrasa a maturação e acarreta em prejuízos para a qualidade da matéria-prima (SILVA et al., 2010). Adicionalmente, à medida que a folha envelhece, aumentam os teores de lignina, celulose e de carboidratos, e diminui a proporção relativa de protoplasma. Também, com o crescimento, o envelhecimento do vegetal e o início da senescência, a concentração de nitrogênio na folha inclina-se a reduzir (BRANDÃO et al., 2009). Justifica-se, portanto, a redução do Índice SPAD, comprovadamente, relacionada aos teores de clorofilas nas folhas (ARGENTA et al., 2001; SILVEIRA et al., 2003; GLAZ et al., 2008; AMARAL, 2010) e ao suprimento de nitrogênio no tecido foliar (ARGENTA et al., 2001; FERREIRA et al., 2006).

Tabela 4. Regressão polinomial da Estimativa do Índice SPAD da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

Causa da Variação	G.L.	Quadrados Médios (SPAD)	Coefficiente de Determinação (R ²)
R.L. N ₁ dentro de E	1	0,6052 x 10 ^{7**}	0,8943
R.Q. N ₁ dentro de E	1	0,0106 x 10 ^{7ns}	0,9100
R.L. N ₂ dentro de E	1	0,4851 x 10 ^{7**}	0,8801
R.Q. N ₂ dentro de E	1	0,0087 x 10 ^{7ns}	0,8959
R.L. N ₃ dentro de E	1	0,2555 x 10 ^{7**}	0,8725
R.Q. N ₃ dentro de E	1	0,0027 x 10 ^{7ns}	0,8820
R.L. N ₄ dentro de E	1	0,2745 x 10 ^{7**}	0,8229
R.Q. N ₄ dentro de E	1	0,0032 x 10 ^{7ns}	0,8325
R.L. N ₅ dentro de E	1	0,1036 x 10 ^{7**}	0,6136
R.Q. N ₅ dentro de E	1	0,0152 x 10 ^{7ns}	0,7037
R.L. E ₁ dentro de N	1	0,0007 x 10 ^{7ns}	0,1367
R.Q. E ₁ dentro de N	1	0,0009 x 10 ^{7ns}	0,2863
R.L. E ₂ dentro de N	1	0,1339 x 10 ^{7**}	0,9866
R.Q. E ₂ dentro de N	1	0,0003 x 10 ^{7ns}	0,9891
R.L. E ₃ dentro de N	1	0,1046 x 10 ^{7**}	0,7349
R.Q. E ₃ dentro de N	1	0,0018 x 10 ^{7ns}	0,7482
R.L. E ₄ dentro de N	1	0,2709 x 10 ^{7**}	0,8938
R.Q. E ₄ dentro de N	1	0,0003 x 10 ^{7ns}	0,8948
R.L. E ₅ dentro de N	1	0,1914 x 10 ^{7**}	0,9363
R.Q. E ₅ dentro de N	1	0,0003 x 10 ^{7ns}	0,9377
Resíduo	72	0,0053 x 10 ⁷	

ns: não significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); R.L.: regressão linear; R.Q.: regressão quadrática. Doses de N (N): N₁ = 0 kg ha⁻¹, N₂ = 50 kg ha⁻¹, N₃ = 100 kg ha⁻¹, N₄ = 150 kg ha⁻¹ e N₅ = 200 kg ha⁻¹. Épocas de Avaliação (E): E₁ = 1^a (38 DAC); E₂ = 2^a (121 DAC); E₃ = 3^a (208 DAC), E₄ = 4^a (291 DAC), E₅ = 5^a (381 DAC).

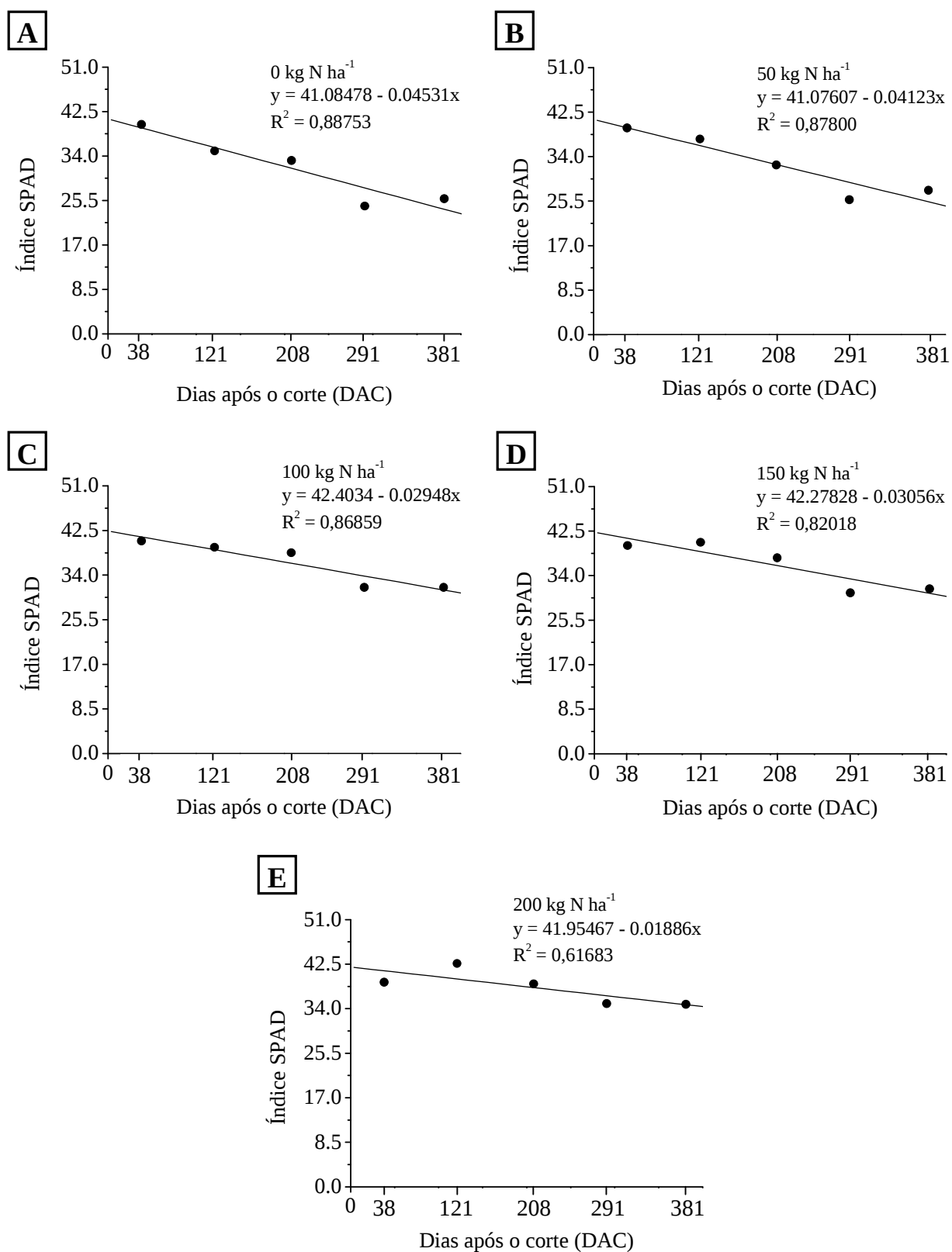


Figura 5. Valores médios do Índice SPAD da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, representados pelos gráficos A, B, C, D e E, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010.

Considerando-se que o teor de nitrogênio na folha correlaciona-se elevada e positivamente com a os teores de clorofilas (FERREIRA et al., 2006; HURTADO et al., 2010), a aplicabilidade do medidor SPAD-502 para estimativa desses teores (SILVEIRA et al., 2003), bem como o desdobramento dos graus de liberdade da interação NxE (Tabela 4), verificou-se, no presente estudo, aumento significativo do Índice SPAD aos 121, 208, 291 e 381 dias após o terceiro corte da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, sob doses de nitrogênio 0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹, aplicadas via gotejamento subsuperficial (Figuras 6A, 6B, 6C e 6D, respectivamente).

Na primeira avaliação não se verificou diferença nas leituras do Índice SPAD, conforme o aumento das doses de nitrogênio aplicado, corroborando com os resultados obtidos por Amaral (2010). Tal fato pode ter sido ocasionado pelo reduzido tempo para a absorção, por parte da cultura, do nitrogênio aplicado e a respectiva resposta à adubação nitrogenada, via gotejamento subsuperficial. Ainda, inicialmente, a cana-de-açúcar apresenta reduzida demanda por esse nutriente, tendo em vista o vagaroso desenvolvimento inicial.

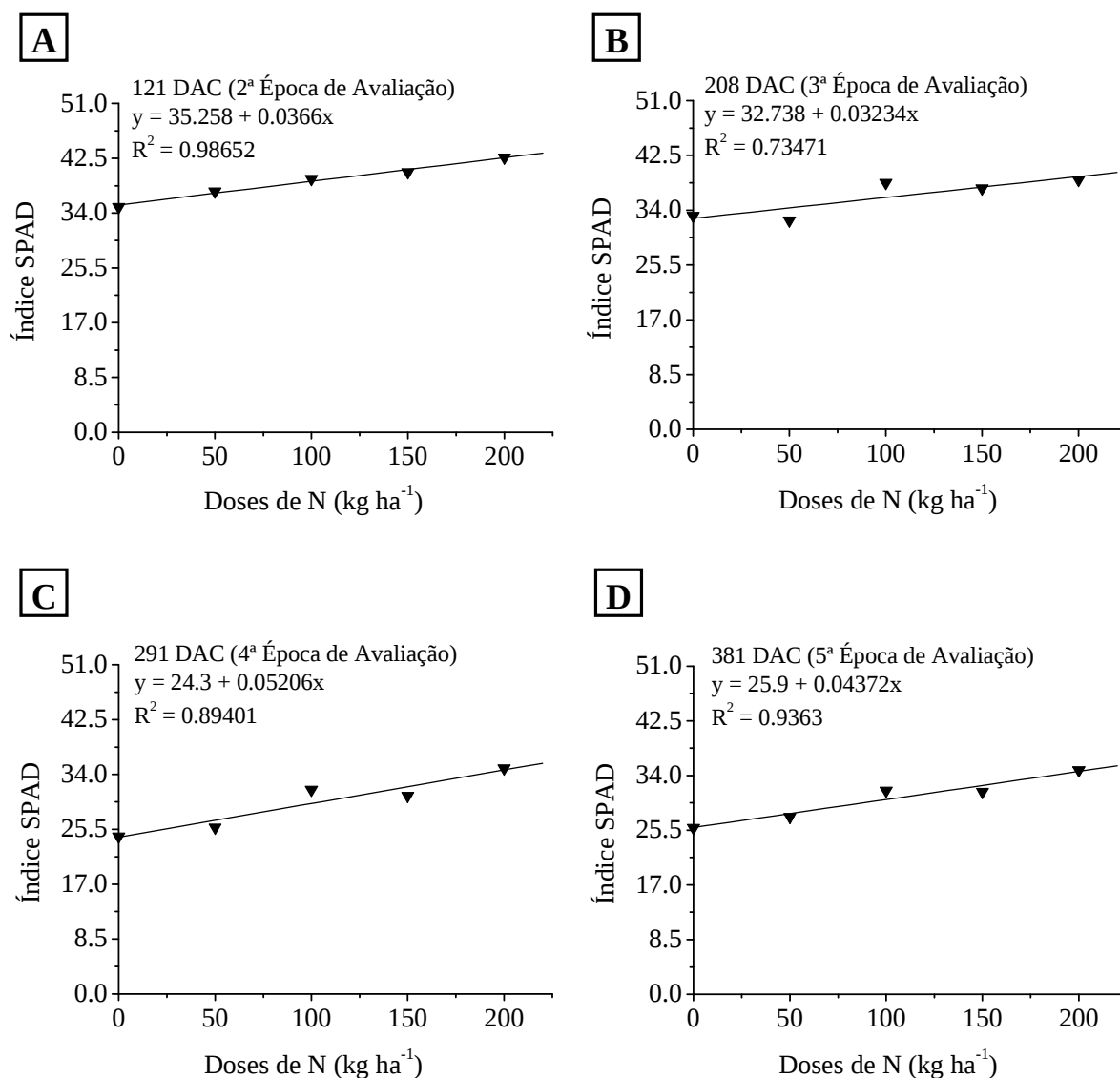


Figura 6. Valores médios do Índice SPAD da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em quatro épocas de avaliação (121, 208, 291 e 381 DAC), representados pelos gráficos A, B, C e D, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010.

Os resultados obtidos também revelaram que a Máxima Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II (F_v/F_m) aumentou em conformidade às doses de nitrogênio, principalmente, sob a aplicação de 100 e 150 kg N ha⁻¹ via gotejamento subsuperficial, entretanto, reduziu mediante as épocas de avaliação, especialmente, a partir dos 291 dias após o corte (Tabela 5).

Tabela 5. Teste de Tukey da Máxima Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II (F_v/F_M) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

Tratamentos¹	Teste de Tukey³	Tratamentos²	Teste de Tukey³
Doses de N (kg ha⁻¹)		Épocas de Avaliação	
	F_v/F_M		F_v/F_M
0	0,76075 AB	1 ^a (038 DAC)	0,76860 AB
50	0,74220 B	2 ^a (121 DAC)	0,77985 A
100	0,77410 A	3 ^a (208 DAC)	0,78065 A
150	0,77105 A	4 ^a (291 DAC)	0,74615 BC
200	0,76790 AB	5 ^a (381 DAC)	0,74075 C
DMS	0,02574	DMS	0,02574

D.M.S.: Diferença Mínima Significativa; ¹Doses de Nitrogênio: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹; ²Épocas de Avaliação (38, 121, 208, 291, 381 dias após o corte, DAC);. ³Médias seguidas de mesma letra na vertical (nos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A fotossíntese ocupa posição central no metabolismo e fornece ligação entre os processos internos da planta e o ambiente externo. O uso de parâmetros da fluorescência das clorofilas tem sido difundido, principalmente, no estudo da capacidade fotossintética das plantas, por ser um método não-destrutivo que permite as análises qualitativa e quantitativa da absorção e do aproveitamento da energia luminosa (Eficiência fotoquímica do fotossistema II – F_v/F_M) pelo aparato fotossintético (KRAUSE; WEIS, 1991; TORRES NETO et al., 2005).

A relação entre eficiência fotoquímica inicial e máxima configura-se como bom indicativo da capacidade de captura da energia luminosa dos centros de reação do fotossistema II (FSII) abertos, quando as folhas estão adaptadas ao escuro e os aceptores de elétrons do FSII estão totalmente oxidados (FONTES et al., 2008). Essa relação permite aprimorar o conhecimento dos processos fotoquímicos e não-fotoquímicos que ocorrem na membrana dos tilacóides, além de possibilitar o estudo de características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons (KRAUSE; WEIS, 1991).

Adicionalmente, a capacidade fotossintética das plantas é dependente do suprimento de nitrogênio (FONTES et al., 2008). Considerável fração desse

elemento encontra-se nas folhas, alocado nas proteínas envolvidas no processo fotossintético (FERREIRA et al., 2006). Também, a fotossíntese depende de vários compostos nitrogenados, como enzimas e pigmentos fotossintéticos, para a produção dos compostos de carbono que compõem a parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2009). Por essa razão, a capacidade fotossintética das plantas e o metabolismo do nitrogênio estão diretamente interligados (CORDEIRO, 2004).

Os aspectos supracitados podem justificar o aumento da Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II (F_v/F_m), em conformidade com a elevação das doses de nitrogênio aplicadas via gotejamento subsuperficial. Resultados semelhantes foram obtidos em quatro cultivares de arroz submetidas à adubação nitrogenada (CASSOL et al., 2007). Adicionalmente, o metabolismo do nitrogênio e do carbono são interdependentes, uma vez que a energia necessária para a assimilação do nitrogênio deriva direta ou indiretamente da fotossíntese, ao passo que esta depende do suprimento de nitrogênio (FONTES et al., 2008).

O estágio fenológico das plantas e o aumento da senescência foliar, devido à competição por luz pelos perfilhos, também interferem nos teores de clorofilas e, portanto, contribuem para a redução da Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II (F_v/F_m) obtida ao longo das épocas de avaliação (Tabela 5), resultado igualmente observado para o Índice SPAD (Figuras 1A, 1B, 1C, 1D e 1E). Comprovadamente, fatores genéticos e ambientais afetam o crescimento das plantas e seus efeitos têm sido pesquisados utilizando-se de medições da eficiência fotoquímica do fotossistema II (FSII), estimada por meio da relação entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima da clorofila *a* (F_v/F_m) com o uso de fluorômetros (CORREIA et al., 2009). Dessa forma, variações climáticas ao longo do ciclo das culturas também podem contribuir para a redução da eficiência fotoquímica (FONTES et al., 2008). Ainda, quando expostas aos estresses abióticos, alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos provocam mudanças nas características dos sinais de fluorescência os quais podem ser quantificados nas folhas (BAKER; ROSENQVIST, 2004).

Quanto ao Índice de Área Foliar (IAF), verificou-se que o aumento das doses de nitrogênio, bem como as épocas de avaliação, ambos atuantes como fatores ambientais isolados, proporcionaram aumento desse parâmetro, principalmente, sob 200 kg N ha⁻¹ e aos 381 dias após o corte, 5ª época de avaliação (Tabela 6).

Tabela 6. Teste de Tukey do Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

Tratamentos¹ Doses de N (kg ha⁻¹)	Teste de Tukey³ IAF	Tratamentos² Épocas de Avaliação	Teste de Tukey³ IAF
0	3,0325 D	1 ^a (038 DAC)	1,0495 D
50	3,5205 C	2 ^a (121 DAC)	2,6530 C
100	3,9365 B	3 ^a (208 DAC)	4,6810 B
150	4,0500 AB	4 ^a (291 DAC)	4,7485 B
200	4,2370 A	5 ^a (381 DAC)	5,6445 A
DMS	0,2001	DMS	0,2001

D.M.S.: Diferença Mínima Significativa; ¹Doses de Nitrogênio: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹; ²Épocas de Avaliação (38, 121, 208, 291, 381 dias após o corte, DAC);. ³Médias seguidas de mesma letra na vertical (nos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

O IAF, medida fisiológica obtida em condições de campo, expressa o total de área foliar por área de superfície de terreno (RAMESH, 2000). Dessa forma, o IAF é uma medida adimensional, que caracteriza o dossel de plantas em um ecossistema (SANDHU et al., 2012) e relaciona-se à fotossíntese líquida (acúmulo de massa de matéria seca) obtida pelas culturas (RAMESH, 2000; WIEDENFELD; ENCISO, 2008). Tal relação é estabelecida devido ao fato de que o IAF associa-se diretamente à quantidade de luz absorvida e, conseqüentemente, à fotossíntese realizada pelas plantas (FARIAS et al., 2007).

As interações da radiação solar com as plantas condicionam o microclima interno da cobertura vegetal e a quantidade, bem como a qualidade da radiação disponível dentro do dossel afetam os processos fisiológicos das plantas (MACHADO et al., 1985). Dessa forma, modificações no dossel da cultura, *e.g.*, geadas, tempestades, desfolhas, deficiência hídrica, manejo da adubação e demais práticas de gestão, podem refletir na produtividade final da cultura (SANDHU et al., 2012).

Os aspectos citados podem justificar o aumento do IAF na cana-de-açúcar cv. SP80-3280 sob doses de nitrogênio aplicadas via irrigação por gotejamento

subsuperficial, uma vez que a capacidade fotossintética das plantas e o metabolismo do nitrogênio estão diretamente interligados. Comprovadamente, Wiedenfeld; Enciso (2008) também constataram aumento do IAF em cana-de-açúcar submetida às doses de 0, 60, 120, e 180 kg N ha⁻¹ aplicadas via gotejamento. Outros trabalhos também relataram aumento do índice de área foliar em plantas de cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de fertilizantes inorgânicos (NK) e em consorciação com a soja (GILBERT et al., 2008).

O aumento do índice de área foliar também observado ao longo das épocas de avaliação deve-se, provavelmente, ao aumento do número de folhas por colmo, observado no presente trabalho (Figura 17) e ao aumento da área foliar por indivíduo. Tal fato pode também promover significativa associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossinteticamente ativa (FARIAS et al., 2008). Destarte, a radiação solar interceptada pelas folhas e a transformação em energia química durante o processo fotossintético estão diretamente relacionadas à determinação da produtividade da cana-de-açúcar (TERUEL et al., 1997).

O IAF é particularmente importante para estimativa de produção da cana-de-açúcar, uma vez que, acima de qualquer cultura nos trópicos, a cana-de-açúcar apresenta elevado IAF e alta eficiência fotossintética em luz solar plena (SANDHU et al., 2012). Comprovadamente, lavouras de cana-de-açúcar que possuem por volta de 13 meses e IAF igual a 3,7, absorvem, praticamente, toda a radiação fotossinteticamente ativa incidente para ser utilizada nos processos fotossintéticos (MACHADO et al., 1985).

Conforme já constatado na Tabela 2, a interação NxE (doses de nitrogênio x épocas de avaliação) promoveu efeito significativo para o Índice de Área Foliar. De acordo com o desdobramento dos graus de liberdade dessa interação, apresentado na Tabela 7, constatou-se que o IAF apresentou significativo aumento sob associação das doses 0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹, aplicadas via gotejamento subsuperficial, com as cinco épocas de avaliação (Figuras 7A, 7B, 7C, 7D e 7E, respectivamente).

Tabela 7. Regressão polinomial do Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

Causa da Variação	G.L.	Quadrados Médios (IAF)	Coefficiente de Determinação (R ²)
R.L. N ₁ dentro de E	1	0,3568 x 10 ^{10**}	0,9078
R.Q. N ₁ dentro de E	1	0,0306 x 10 ^{10**}	0,9858
R.L. N ₂ dentro de E	1	0,4590 x 10 ^{10**}	0,8942
R.Q. N ₂ dentro de E	1	0,0255 x 10 ^{10**}	0,9438
R.L. N ₃ dentro de E	1	0,5278 x 10 ^{10**}	0,8766
R.Q. N ₃ dentro de E	1	0,0358 x 10 ^{10**}	0,9362
R.L. N ₄ dentro de E	1	0,5697 x 10 ^{10**}	0,8782
R.Q. N ₄ dentro de E	1	0,0493 x 10 ^{10**}	0,9542
R.L. N ₅ dentro de E	1	0,6260 x 10 ^{10**}	0,9319
R.Q. N ₅ dentro de E	1	0,0302 x 10 ^{10**}	0,9769
R.L. E ₁ dentro de N	1	0,0058 x 10 ^{10**}	0,8144
R.Q. E ₁ dentro de N	1	0,0001 x 10 ^{10ns}	0,8365
R.L. E ₂ dentro de N	1	0,0222 x 10 ^{10**}	0,9233
R.Q. E ₂ dentro de N	1	0,0016 x 10 ^{10ns}	0,9717
R.L. E ₃ dentro de N	1	0,0485 x 10 ^{10**}	0,7735
R.Q. E ₃ dentro de N	1	0,0138 x 10 ^{10**}	0,9944
R.L. E ₄ dentro de N	1	0,0401 x 10 ^{10**}	0,9264
R.Q. E ₄ dentro de N	1	0,0002 x 10 ^{10ns}	0,9722
R.L. E ₅ dentro de N	1	0,0801 x 10 ^{10**}	0,8935
R.Q. E ₅ dentro de N	1	0,0074 x 10 ^{10**}	0,9768
Resíduo	72	0,0005 x 10 ¹⁰	

ns: não significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); R.L.: regressão linear; R.Q.: regressão quadrática. Doses de N (N): N₁ = 0 kg ha⁻¹, N₂ = 50 kg ha⁻¹, N₃ = 100 kg ha⁻¹, N₄ = 150 kg ha⁻¹ e N₅ = 200 kg ha⁻¹. Épocas de Avaliação (E): E₁ = 1^a (038 DAC); E₂ = 2^a (121 DAC), E₃ = 3^a (208 DAC), E₄ = 4^a (291 DAC), E₅ = 5^a (381 DAC).

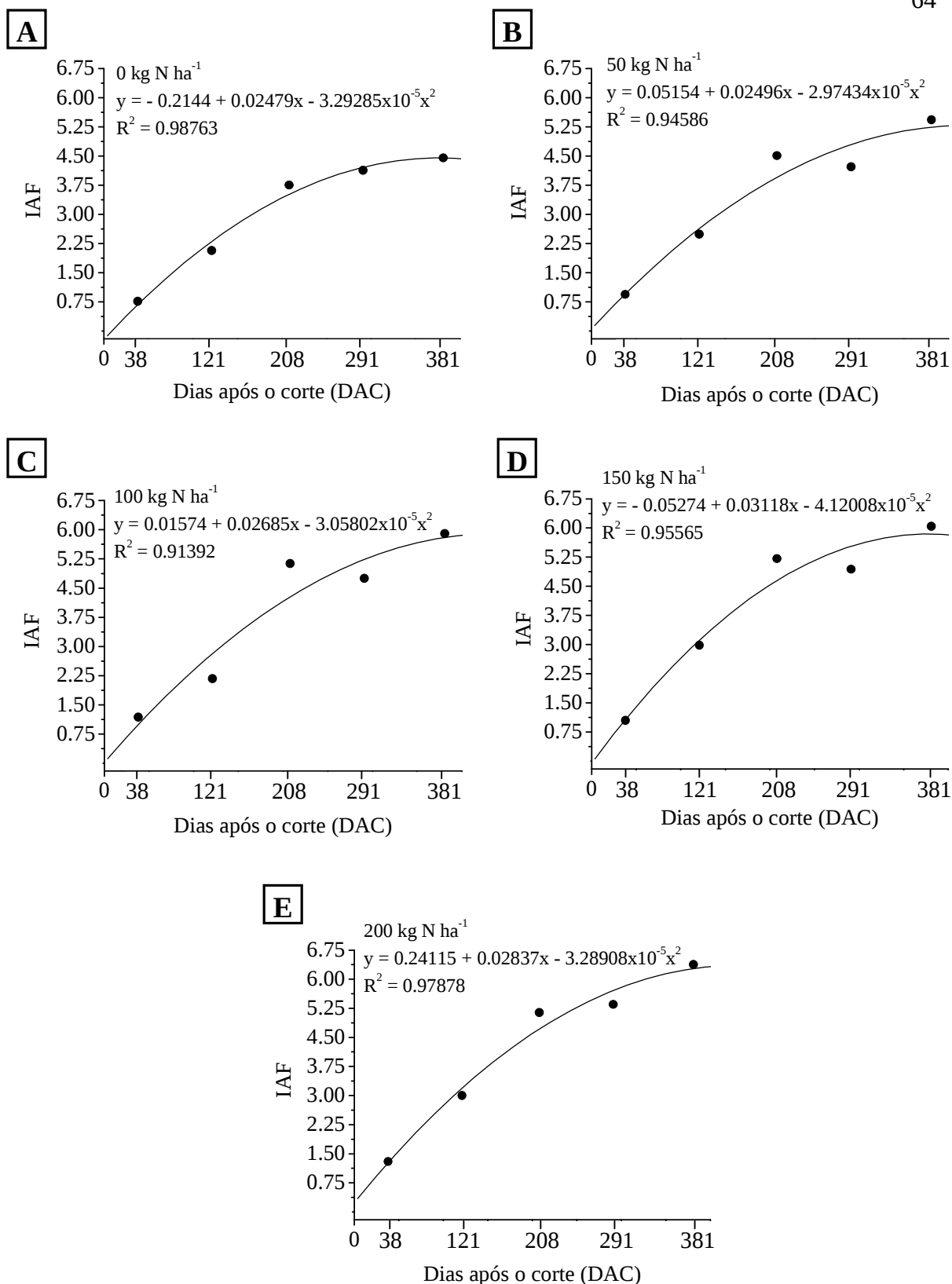


Figura 7. Valores médios do Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob as doses de 0, 50, 150 e 200 kg N ha⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, representados pelos gráficos A, B, C, D e E, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010.

Para a associação entre cada dose de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹), aplicada via gotejamento subsuperficial, e as cinco épocas de avaliação verificou-se incremento do IAF até os 208 DAC, fase caracterizada por elevado perfilhamento e surgimento de intensa quantidade de folhas. Posteriormente, há estabilização na emissão de novas folhas e perfilhos, que corresponde ao período dos 200 aos 300 DAC, a partir dos quais há redução do IAF, simultaneamente à fase de maturação da cana-de-açúcar, em que há maior auto-sombreamento e senescência foliar. Esse comportamento para a cana-de-açúcar também foi observado em estudos realizados por Oliveira et al. (2007b) no estado do Paraná, Farias et al. (2008) no estado da Paraíba e Santos et al. (2009), em Alagoas.

Dessa forma, não obstante o IAF ser particularmente importante para estimativa de produção da cana-de-açúcar, a elevação desse parâmetro fisiológico não garante o mesmo efeito para a produtividade, uma vez que a partir de determinado IAF verifica-se que grande parte das folhas apresenta auto-sombreamento e, portanto, reduz as taxas fotossintéticas médias por toda a área foliar (RAMAESH, 2000; OLIVEIRA et al., 2004; FLOSS, 2006), independente do aumento das doses de nitrogênio aplicadas à cana-de-açúcar cv. SP80-3280, no decorrer do desenvolvimento da cultura.

Observou-se, também, que para cada época de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) associada às cinco doses de nitrogênio houve aumento significativo do IAF, em conformidade à maior concentração do nutriente (Figuras 8A, 8B, 8C, 8D e 8E). Entretanto, aos 208 e 381 DAC houve redução e estabilização, respectivamente, dos valores de IAF a partir 100 kg N ha⁻¹ (Figuras 8C e 8E, na devida ordem).

Caracteristicamente, as plantas de metabolismo C₄, como a cana-de-açúcar, necessitam de conteúdo de nitrogênio de 3 a 4,5% da massa seca da folha para atingir a fotossíntese máxima e, portanto, refletir tal aspecto em produtividade (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010). No entanto, a redução da emissão de novas folhas, bem como a senescência foliar, cada qual na época correspondente, superaram os efeitos que a adubação nitrogenada promove no IAF, como já constatado em alguns trabalhos (NG KEE KWONG et al., 1999), fato que pode justificar a redução desse parâmetro aos 208 DAC e a estabilização aos 381 DAC.

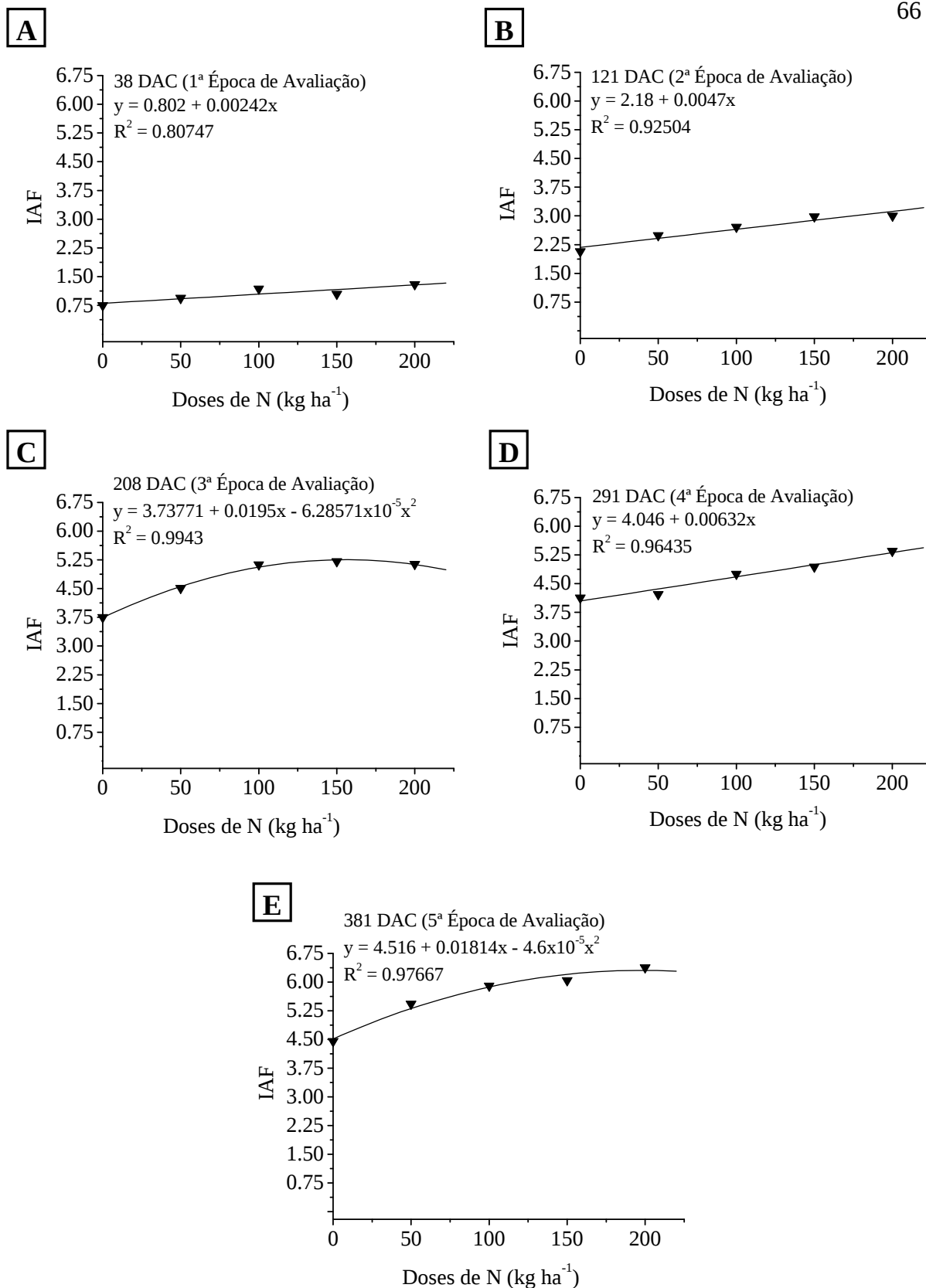


Figura 8. Valores médios do Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC), representados pelos gráficos A, B, C, D e E, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010.

Os quadrados médios da análise de variância dos Conteúdos das Clorofilas *a*, *b*, Clorofila Total (*a+b*), Razão Clorofila *a/b* e Carotenóides da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob efeito de cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via gotejamento subsuperficial, associadas às cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) estão apresentados na Tabela 8. Os resultados revelaram que os fatores isolados, doses de nitrogênio e épocas de avaliação, interferiram nos teores dos pigmentos fotossintéticos, entretanto, a interação NxE (doses de nitrogênio x épocas de avaliação) não foi significativa para quaisquer desses parâmetros fisiológicos.

Verificou-se que os Conteúdos das Clorofilas *a*, *b*, Clorofila Total (*a+b*) e Carotenóides aumentaram em conformidade às doses de nitrogênio, principalmente, sob a aplicação de 200 kg N ha⁻¹ via gotejamento subsuperficial, entretanto, a Razão Clorofila *a/b* não apresentou quaisquer alterações em função dessas doses (Tabela 9). Em folhas de goiabeira submetida à aplicação de fontes de nitrogênio, também não foram observadas alterações na Razão Clorofila *a/b* (CESARIN et al., 2010).

O incremento dos Conteúdos das Clorofilas *a*, *b* e Clorofila Total (*a+b*) observados mediante ao aumento das doses de nitrogênio sob irrigação plena pode ser evidenciado pelo fato de que esse elemento participa da constituição das moléculas de clorofilas, que atuam na captação de energia luminosa pelos fotossistemas I e II da fase fotoquímica da fotossíntese, utilizada para a conversão em energia química necessária à incorporação e formação de esqueletos carbonados (PEDÓ et al., 2012).

A luz é absorvida principalmente pelos complexos antena, os quais são compostos por clorofilas, pigmentos acessórios (carotenóides) e proteínas, localizados nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos das células do mesofilo, mais ativo dos tecidos fotossintéticos das plantas superiores (TAIZ; ZEIGER, 2009). A fotoquímica da fotossíntese só ocorre se houver pigmentos nas folhas capazes de interagir com a radiação fotossinteticamente ativa, entre 400 nm e 700 nm (TAIZ; ZEIGER, 2009). Os principais pigmentos que absorvem essa radiação são as clorofilas *a* e *b*, cujo aumento também foi observado em folhas de goiabeira submetida à aplicação de fontes de nitrogênio (CESARIN et al., 2010).

Alguns estudos relataram que o acúmulo de pigmentos carotenóides nas plantas pode ser influenciado por atributos fisiológicos, bioquímicos, bem como por fatores abióticos, dos quais luz, temperatura e fertilidade, especialmente a

Tabela 8. Quadrados médios das análises de variância para os Conteúdos de Clorofilas *a* (*CCa*), *b* (*CCb*) e Total (*CC(a+b)*), Razão Clorofila *a/b* (*CC(a/b)*) e para o Conteúdo dos Pigmentos Carotenóides (*CAROT*) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) e para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010.

Causa da Variação	Quadrados Médios					
	G.L.	CCa	CCb	CC(a+b)	CC(a/b)	CAROT
	(µg cm ⁻²)					
Doses de Nitrogênio (N)	4	0,02336 x 10 ^{20**}	0,02014 x 10 ^{19**}	0,21079 x 10 ^{20**}	0,00717 x 10 ^{17ns}	0,05209 x 10 ^{23**}
Épocas (E)	4	0,11481 x 10 ^{20**}	0,14705 x 10 ^{19**}	0,03906 x 10 ^{20**}	0,57231 x 10 ^{17**}	0,15715 x 10 ^{23**}
Interação N x E	16	0,00352 x 10 ^{20ns}	0,00366 x 10 ^{19ns}	0,00611 x 10 ^{20ns}	0,01320 x 10 ^{17ns}	0,00651 x 10 ^{23ns}
Bloco (B)	3	0,00456 x 10 ^{20ns}	0,00566 x 10 ^{19ns}	0,00831 x 10 ^{20ns}	0,00702 x 10 ^{17ns}	0,00816 x 10 ^{23ns}
Erro (E)	72	0,00206 x 10 ²⁰	0,00206 x 10 ¹⁹	0,00351 x 10 ²⁰	0,01212 x 10 ¹⁷	0,00458 x 10 ²³
CV (%)		19,73	21,90	20,05	9,43	16,76

ns: não significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 9. Teste de Tukey dos Conteúdos de Clorofilas *a* (*CCa*), *b* (*CCb*) e Total (*CC(a+b)*), da Razão Clorofila *a/b* (*CC(a/b)*) e do Conteúdo dos Pigmentos Carotenóides (*CAROT*) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010.

Tratamentos ¹		Teste de Tukey ²			
Doses de N (kg ha ⁻¹)	<i>CCa</i>	<i>CCb</i>	<i>CC(a+b)</i>	<i>CC(a/b)</i>	<i>CAROT</i>
0	17,7534 C	5,0017 C	22,7551 C	3,7696 A	1029,1378 C
50	22,5042 B	6,3808 B	28,8851 B	3,7126 A	1261,1130 AB
100	22,9402 AB	6,6545 AB	29,5947 AB	3,7150 A	1388,3971 AB
150	25,1330 AB	7,1215 AB	32,2546 AB	3,6563 A	1257,1273 B
200	26,7953 A	7,6755 A	34,4708 A	3,6138 A	1449,3202 A
DMS	4,0204	1,2729	5,2508	0,3082	189,428

D.M.S.: Diferença Mínima Significativa; ¹Doses de Nitrogênio: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹; ²Médias seguidas de mesma letra na vertical (nos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

adubação nitrogenada, podem ser destacados (KOPSELL et al., 2007). Comprovadamente, alguns trabalhos realizados em espécies de algas constaram aumento dos teores dos pigmentos carotenóides em conformidade às maiores concentrações de nitrogênio (DENAULT et al., 2000).

Os resultados também revelaram que os Conteúdos das Clorofilas *a*, *b*, Clorofila Total (*a+b*) e Carotenóides reduziram mediante as épocas de avaliação, especialmente, a partir dos 208 DAC (Tabela 10). Verificou-se que a maior concentração dos pigmentos fotossintéticos, observada até esse momento ajusta-se ao período de maior desenvolvimento da cultura, caracterizado pelo intenso perfilhamento e expansão foliar.

Na cana-de-açúcar, o estágio de desenvolvimento das folhas ocorre simultaneamente ao perfilhamento e alongamento do colmo, coincidindo com o período de maior desenvolvimento da cultura (SILVA et al., 2010), fato que pode justificar a elevada concentração de pigmentos fotossintéticos até os 208 DAC. A partir deste período, a redução dos Conteúdos das Clorofilas *a*, *b*, Clorofila Total (*a+b*) e Carotenóides (Tabela 10) equipara-se ao início da senescência foliar, processo no qual as folhas perdem lentamente esses pigmentos, o RNA, os lipídeos e as proteínas, mesmo sob manutenção da umidade e do suprimento dos minerais (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Dois dos principais pigmentos ligados à eficiência fotossintética e, conseqüentemente, ao crescimento e adaptação das plantas a diversos ambientes são a clorofila *a* e os carotenóides (FORCE, 2003). Por sua estrutura química instável, as clorofilas são facilmente degradadas, resultando em produtos de decomposição que modificam a percepção e qualidade dos vegetais (GONÇALVES, 2008). Ainda, há variação do teor de carotenóides em função de diferentes cultivares, dos estádios de maturação, das condições de clima ou localização geográfica, bem como da parte da planta utilizada e da técnica de produção agrícola (MESCHÉDE et al., 2011).

Ainda, a Razão Clorofila *a/b* apresentou significativo aumento no transcorrer das avaliações experimentais (Tabela 10). Esse comportamento conforme as épocas de avaliação evidencia, provavelmente, que clorofila *b* foi degradada em taxa superior à clorofila *a*. Isto pode ser explicado pelo fato de que o primeiro passo da degradação da clorofila *b* envolve sua conversão para clorofila *a* (SANTOS et al., 2001).

Tabela 10. Teste de Tukey dos Conteúdos de Clorofilas *a* (*CCa*), *b* (*CCb*) e Total (*CC(a+b)*), da Razão Clorofila *a/b* (*CC(a/b)*) e do Conteúdo dos Pigmentos Carotenóides (*CAROT*) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 dias DAC) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010.

Tratamentos ¹		Teste de Tukey ²			
Épocas de Avaliação	<i>CCa</i>	<i>CCb</i>	<i>CC(a+b)</i> ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	<i>CC(a/b)</i>	<i>CAROT</i>
1 ^a (038 DAC)	30,2614 A	9,5107 A	39,7721 A	3,9505 C	1563,9952 A
2 ^a (121 DAC)	30,9117 A	9,0529 A	39,9647 A	3,4303 BC	1538,7313 A
3 ^a (208 DAC)	23,0305 B	6,5104 B	29,5409 B	3,5690 B	1287,4229 B
4 ^a (291 DAC)	14,8968 C	4,1272 C	19,0238 C	3,6788 B	938,0191 C
5 ^a (381 DAC)	16,0259 C	3,6328 C	19,6587 C	4,5941 A	1056,9268 C
DMS	4,0204	1,2729	5,2508	0,3082	189,428

D.M.S.: Diferença Mínima Significativa; ¹Épocas de Avaliação (38, 121, 208, 291, 381 dias após o corte, DAC); ²Médias seguidas de mesma letra na vertical (nos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

6.2 Atributos Morfológicos

Os quadrados médios da análise de variância para Altura (ALT), Diâmetro de Colmos (DIAM), Número de Perfilhos (NP), Número de Folhas Verdes e Secas por Colmo (NFVC e NFSC, respectivamente) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob efeito de cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via gotejamento subsuperficial, associada a cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) estão apresentados na Tabela 11.

Os resultados revelaram que os fatores isolados, doses de nitrogênio e épocas de avaliação, interferiram na Altura, no Diâmetro de Colmos e Número de Perfilhos, entretanto, para o Número de Folhas Verdes e Secas por Colmo apenas as épocas de avaliação foram determinantes para promover alterações significativas. Também, a interação NxE (doses de nitrogênio x épocas de avaliação) foi significativa apenas para o Diâmetro de Colmos (Tabela 11).

Verifica-se que a elevação das doses de nitrogênio aplicadas via gotejamento subsuperficial promoveu significativo aumento da altura das plantas até a dose de 100 kg N ha⁻¹, a partir da qual se estabilizou (Figura 9). Este comportamento deve-se, provavelmente, ao fato de que o nitrogênio nas doses de 150 e 200 kg N ha⁻¹ foi absorvido em quantidades superiores às necessidades da cultura, constituindo-se, portanto, em absorção de luxo (MUCHOW et al., 1996; CESARIN et al., 2010).

A avaliação de variáveis morfológicas das plantas, como altura, diâmetro, plantas m⁻¹, área foliar e produção torna possível a identificação da capacidade produtiva de diferentes variedades e a investigação dos efeitos do manejo da cultura (OLIVEIRA et al., 2010b). Comprovadamente, a adubação nitrogenada apresenta-se entre os tratos culturais mais importantes empregados em lavouras de plantas pertencentes à Família Poaceae, como a cana-de-açúcar, uma vez que com o aumento dos teores de nitrogênio aplicados à cultura, há resposta pronunciada da produção de fitomassa, a qual, somada ao aumento em altura, é determinante para o crescimento da cana-de-açúcar (URIBE, 2010).

Tabela 11. Quadrados médios das análises de variância para os atributos morfológicos (Altura das Plantas – ALT; Diâmetro dos Colmos – DIAM; Número de Perfilhos – NP; Número de Folhas Verdes por Colmo – NFVC; Número de Folhas Secas por Colmo – NFSC) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) e para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010.

Causa Da Variação	G.L.	Quadrados Médios				
		ALT	DIAM	NP	NFVC	NFSC
		(cm)	(mm)			
Doses de Nitrogênio (N)	4	0,0021 x 10 ^{10**}	0,0054 x 10 ^{12**}	0,0056 x 10 ^{13**}	0,0004 x 10 ^{7ns}	0,0057 x 10 ^{7ns}
Épocas (E)	4	0,1335 x 10 ^{10**}	0,0824 x 10 ^{12**}	0,0405 x 10 ^{13**}	0,3686 x 10 ^{7**}	0,5270 x 10 ^{7**}
Interação N x E	16	0,0005 x 10 ^{10ns}	0,0010 x 10 ^{12*}	0,0011 x 10 ^{13ns}	0,0022 x 10 ^{7ns}	0,0014 x 10 ^{7ns}
Bloco (B)	3	0,0009 x 10 ^{10ns}	0,0008 x 10 ^{12ns}	0,0002 x 10 ^{13ns}	0,0004 x 10 ^{7ns}	0,0017 x 10 ^{7ns}
Erro (E)	72	0,0003 x 10 ¹⁰	0,0005 x 10 ¹²	0,0006 x 10 ¹³	0,0020 x 10 ⁷	0,0038 x 10 ⁷
CV (%)		16,06	14,20	29,06	26,28	32,83

ns: não significativo (P<0,05); *: significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

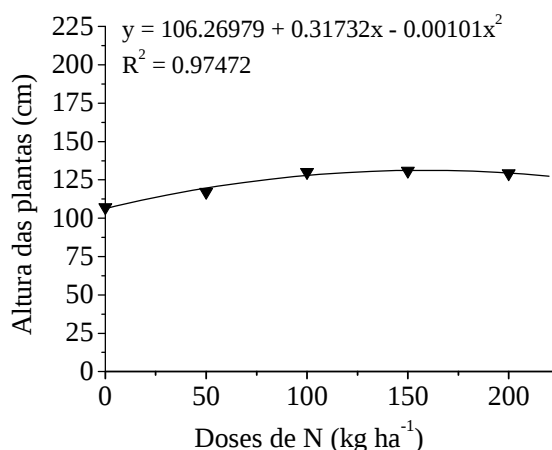


Figura 9. Valores médios da Altura das Plantas (cm) de cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

Outras pesquisas realizadas em cana-de-açúcar, sob diferentes níveis de irrigação e de adubação de cobertura revelaram que ambos os fatores ambientais influenciaram significativamente o comprimento do colmo (DANTAS NETO et al., 2006; WIEDENFELD; ENCISO, 2008), cujo aumento em função das doses de nitrogênio aplicadas à cultura promove redução da espessura da parede celular e possível diminuição da porcentagem de fibra (MAEDA, 2009; OLIVEIRA, 2011b), não observada no presente estudo.

Constatou-se, ainda, que o decorrer do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, representado pelas cinco épocas de avaliação proporcionou significativo aumento da altura das plantas (Figura 10). Detalhadamente, dos 38 aos 291 dias após o corte, procedeu-se ao maior crescimento em altura, uma vez que ocorreu entre os meses de outubro a junho, período caracterizado por baixa precipitação, maior intensidade de luz e temperaturas mais elevadas que, associadas à disponibilidade hídrica promovida pela irrigação subsuperficial plena, possibilitaram maiores ganhos em altura, corroborando com os resultados obtidos por Oliveira et al. (2010b). Tal fato deve-se, provavelmente, em virtude de que, no momento em que as plantas de cana-de-açúcar alcançam máxima produção de perfilhos, a competição pelos fatores de crescimento intensifica-se, de maneira que o processo de perfilhamento cessa e os perfilhos mais desenvolvidos continuam o crescimento em altura e espessura (SEGATO et al., 2006).

Ainda, o alongamento celular e o crescimento da cultura são intimamente ligados aos níveis de umidade do solo, de forma que, ambos se elevam, diretamente, conforme o aumento da disponibilidade hídrica do solo (SILVA et al., 2010).

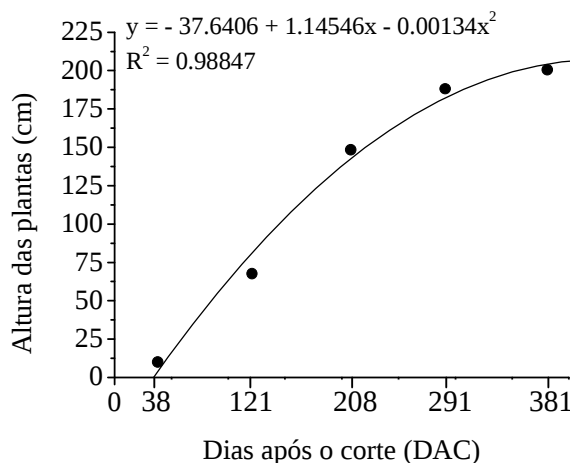


Figura 10. Valores médios da Altura das Plantas (cm) de cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010.

A elevação das doses de nitrogênio aplicadas via gotejamento subsuperficial pleno promoveu aumento significativo do diâmetro dos colmos, cujo comportamento apresentou-se como linear (Figura 11). Não obstante esse parâmetro fisiológico apresentar pequenas variações, uma vez que está atrelado às características genéticas da variedade, do número de perfilhos, do espaçamento utilizado, da área foliar e das condições ambientais (OLIVEIRA et al., 2011), alguns trabalhos relataram alterações em função da adubação nitrogenada (MOURA et al., 2005; OLIVEIRA, 2011b).

Como o nitrogênio é parte constituinte de todos os aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, participando direta ou indiretamente de vários processos bioquímicos, o suprimento adequado de nitrogênio fornece a energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e no rendimento da cultura (VITTI et al., 2010). Destarte, a adubação nitrogenada via gotejamento subsuperficial pleno contribuiu para o aumento da produção de sacarose nos

colmos e para a formação de esqueletos carbônicos, fato que, possivelmente, refletiu em aumento do diâmetro dos colmos.

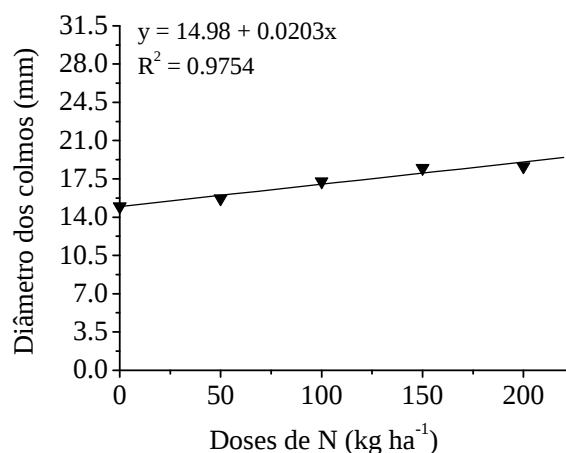


Figura 11. Valores médios do Diâmetro dos Colmos (mm) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

Verificou-se, ainda, aumento do diâmetro dos colmos em conformidade com as épocas de avaliação, entretanto, redução desse parâmetro morfológico a partir dos 291 DAC, de acordo com a figura 12. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2010b) e Arantes (2012), respectivamente, em onze e quatro cultivares de cana-de-açúcar sob irrigação plena.

Comprovadamente, o crescimento da parte aérea da cana-de-açúcar pode ser dividido em três etapas: fase inicial, em que o crescimento é lento; fase de crescimento rápido, com surgimento e alongamento de entrenós, em que se acumulam cerca de 75% da matéria seca total, e fase final, em que novamente há crescimento lento (ROBERTSON et al., 1996; OLIVEIRA et al., 2007b). Assim sendo, a redução do diâmetro dos colmos a partir dos 291 DAC ajusta-se à fase final de desenvolvimento da cultura.

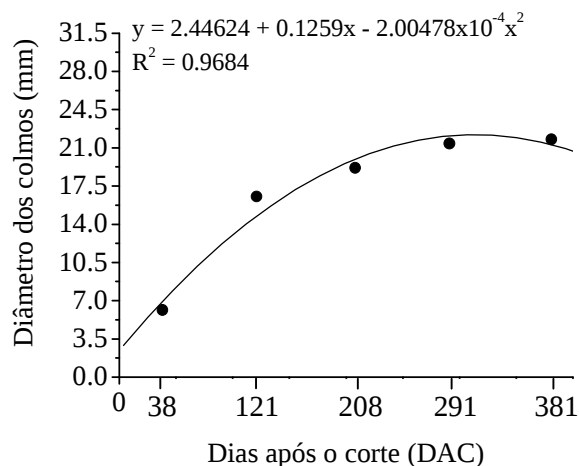


Figura 12. Valores médios do Diâmetro dos Colmos (mm) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010.

Conforme já constatado na Tabela 11, a interação NxE (doses de nitrogênio x épocas de avaliação) promoveu efeito significativo para o Diâmetro dos Colmos. De acordo com o desdobramento dos graus de liberdade dessa interação, apresentado na Tabela 12, constatou-se que independente das doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via gotejamento subsuperficial, durante as cinco épocas de avaliação, o diâmetro dos colmos elevou-se até os 208 DAC, a partir do qual se estabilizou (Figuras 13A, 13B, 13C, 13D e 13E, respectivamente). Oliveira et al. (2010a) verificaram comportamento semelhante em diferentes cultivares de cana-de-açúcar. Também, a associação NxE foi determinante aos 121, 291 e 381 DAC, cujo comportamento linear em função das doses de nitrogênio caracterizou aumento significativo do diâmetro dos colmos (Figuras 14A, 14B e 14C, respectivamente).

Salienta-se que, aos 381 DAC, época da colheita, o diâmetro dos colmos aumentaram de 18 para 26 mm, proporcionalmente à majoração das doses de nitrogênio aplicadas via gotejamento subsuperficial (Figura 14C). Algumas pesquisas revelaram que valores acima de 22 mm são considerados adequados para cana-de-açúcar irrigada (MOURA et al., 2005), corroborando com os valores obtidos por este trabalho.

Tabela 12. Regressão polinomial do Diâmetro dos Colmos (DIAM) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida sob doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

Causa da Variação	G.L.	Quadrados Médios (DIAM)	Coefficiente de Determinação (R ²)
R.L. N ₁ dentro de E	1	0,2972 x 10 ^{11**}	0,7681
R.Q. N ₁ dentro de E	1	0,0828 x 10 ^{11**}	0,9823
R.L. N ₂ dentro de E	1	0,3152 x 10 ^{11**}	0,6505
R.Q. N ₂ dentro de E	1	0,1583 x 10 ^{11**}	0,9772
R.L. N ₃ dentro de E	1	0,5738 x 10 ^{11**}	0,7839
R.Q. N ₃ dentro de E	1	0,1131 x 10 ^{11**}	0,9385
R.L. N ₄ dentro de E	1	0,6477 x 10 ^{11**}	0,7761
R.Q. N ₄ dentro de E	1	0,1463 x 10 ^{11**}	0,9515
R.L. N ₅ dentro de E	1	0,8901 x 10 ^{11**}	0,8612
R.Q. N ₅ dentro de E	1	0,1037 x 10 ^{11**}	0,9616
R.L. E ₁ dentro de N	1	0,0036 x 10 ^{11ns}	0,8612
R.Q. E ₁ dentro de N	1	0,0000 x 10 ^{11ns}	0,8613
R.L. E ₂ dentro de N	1	0,0426 x 10 ^{11*}	0,7940
R.Q. E ₂ dentro de N	1	0,0099 x 10 ^{11ns}	0,9796
R.L. E ₃ dentro de N	1	0,0326 x 10 ^{11ns}	0,7184
R.Q. E ₃ dentro de N	1	0,0013 x 10 ^{11ns}	0,7491
R.L. E ₄ dentro de N	1	0,0623 x 10 ^{11*}	0,8012
R.Q. E ₄ dentro de N	1	0,0126 x 10 ^{11ns}	0,9639
R.L. E ₅ dentro de N	1	0,1917 x 10 ^{11**}	0,9226
R.Q. E ₅ dentro de N	1	0,0022 x 10 ^{11ns}	0,9334
Resíduo	72	0,0058 x 10 ¹¹	

ns: não significativo (P<0,05); *: significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); R.L.: regressão linear; R.Q.: regressão quadrática. Doses de N (N): N₁ = 0 kg ha⁻¹, N₂ = 50 kg ha⁻¹, N₃ = 100 kg ha⁻¹, N₄ = 150 kg ha⁻¹ e N₅ = 200 kg ha⁻¹. Épocas de Avaliação (E): E₁ = 1^a (038 DAC); E₂ = 2^a (121 DAC), E₃ = 3^a (208 DAC), E₄ = 4^a (291 DAC), E₅ = 5^a (381 DAC).

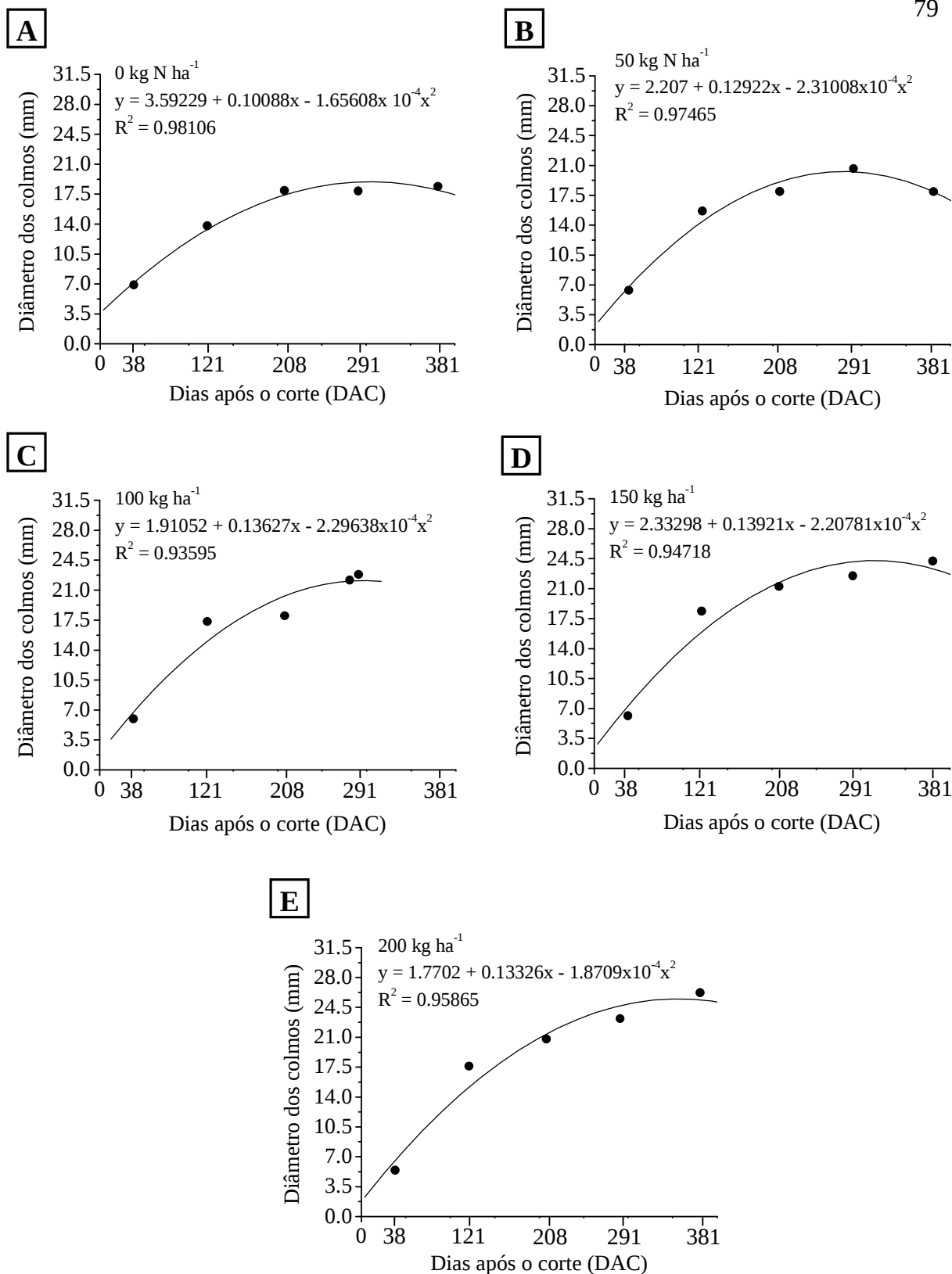


Figura 13. Valores médios do Diâmetro dos Colmos (mm) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, representados pelos gráficos A, B, C, D e E, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010.

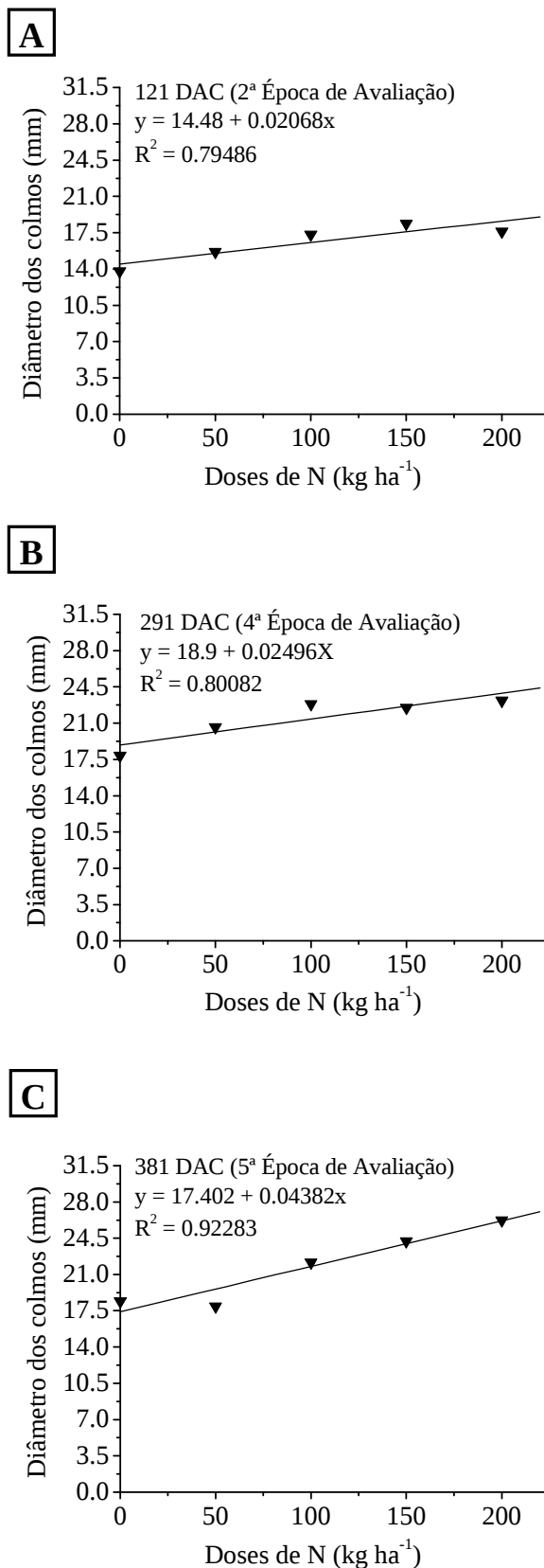


Figura 14. Valores médios do Diâmetro dos Colmos (mm) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em três épocas de avaliação (121, 291 e 381 DAC), representados pelos gráficos A, B e C, respectivamente. Jaú, SP. 2009-2010.

Dessa forma, o aumento do diâmetro dos colmos correspondeu à majoração das doses de N associadas ao ciclo de desenvolvimento da cultura, uma vez que na fase de crescimento vegetativo há maior demanda do elemento para a produção de tecidos na planta, promovendo o desenvolvimento de colmos mais finos no início do ciclo (SCHIAVINATTI et al., 2011). Comprovadamente, para a cana-soca, o pico de absorção de nutrientes, principalmente do nitrogênio, processa-se na primeira metade do ciclo da cultura, ou seja, do zero aos seis meses de idade (SILVA et al., 2010). Na fase final de desenvolvimento da cultura, caracterizada pelo término do perfilhamento associado ao intenso acúmulo de sacarose, os perfilhos sobreviventes prosseguem o crescimento e o desenvolvimento (SEGATO et al., 2006).

Verificou-se que a elevação das doses de nitrogênio aplicadas via gotejamento subsuperficial promoveu significativo aumento do número de perfilhos (Figura 15), cuja redução evidenciou-se conforme o desenvolvimento da cultura (Figura 16). Diversos estudos relatam o importante efeito do nitrogênio na taxa de perfilhamento e no desenvolvimento das culturas, particularmente, na cana-de-açúcar (MALAVOLTA, 2006; OLIVEIRA, 2011a). Normalmente, a absorção de nitrogênio aumenta a atividade meristemática da parte aérea, resultando em maior perfilhamento e área foliar, além de aumentar a longevidade das folhas (OLIVEIRA, 2011b). Também, a maior oferta de N proporcionada pelo aumento das doses aplicadas, associada à disponibilidade hídrica promoveu maior influxo de N pelas raízes dos perfilhos fotossinteticamente ativos, estimulando o crescimento, bem como o próprio perfilhamento (OLIVEIRA, 2011a).

A redução do número de perfilhos ao longo do desenvolvimento da cana-de-açúcar também foi observada em outras pesquisas (OLIVEIRA et al., 2010b; URIBE, 2010; ARANTES, 2012). A fase de perfilhamento intenso das touceiras ocorre quando atingem o máximo da produção de novos perfilhos, em que algumas cultivares podem produzir 20 ou mais perfilhos por touceira. A partir do ponto máximo de perfilhamento, a competição entre perfilhos pelos fatores de crescimento (luz, espaço, água e nutrientes) torna-se elevada, de maneira que se constata a redução do perfilhamento por meio da diminuição e paralisação desse processo, além da morte dos perfilhos mais jovens (CASTRO; CHRISTOFOLETTI, 2005; OLIVEIRA et al., 2010b).

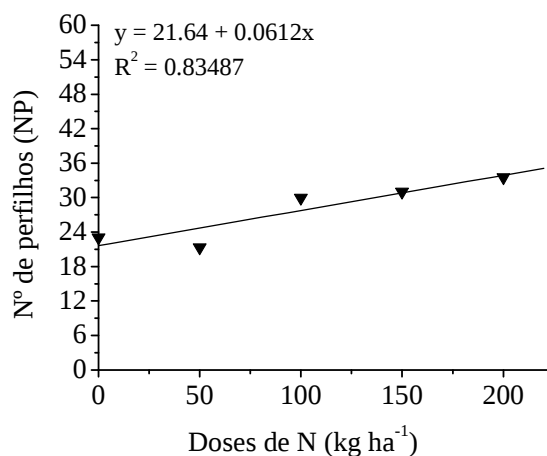


Figura 15. Valores médios do Número de Perfilhos da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC). Jaú, SP. 2009-2010.

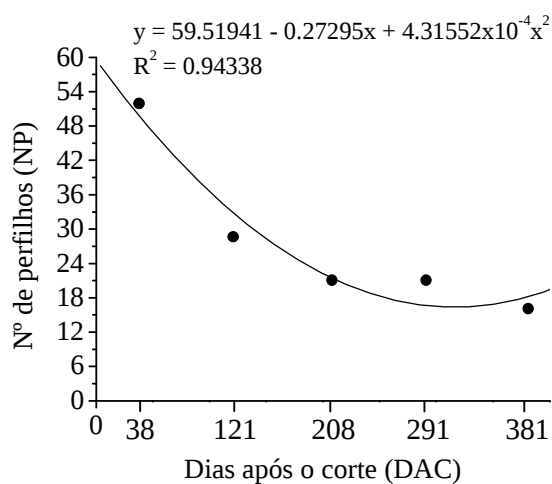


Figura 16. Valores médios do Número de Perfilhos da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010.

Os resultados obtidos também revelaram que o Número de Folhas Verdes (NFVC) e Secas (NFSC) por Colmo aumentaram mediante as épocas de avaliação (Figuras 17 e 18, respectivamente).

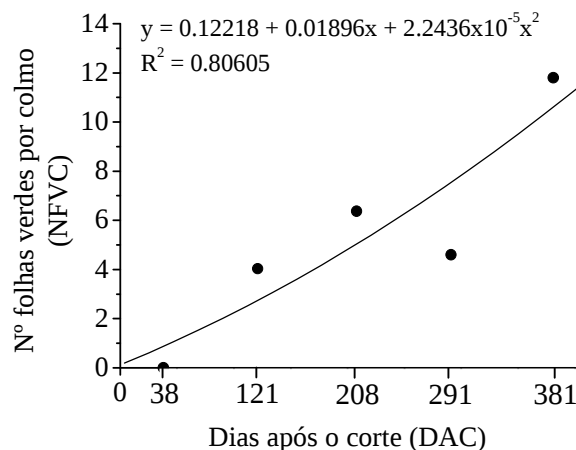


Figura 17. Valores médios do Número de Folhas Verdes por Colmo (NFVC) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010.

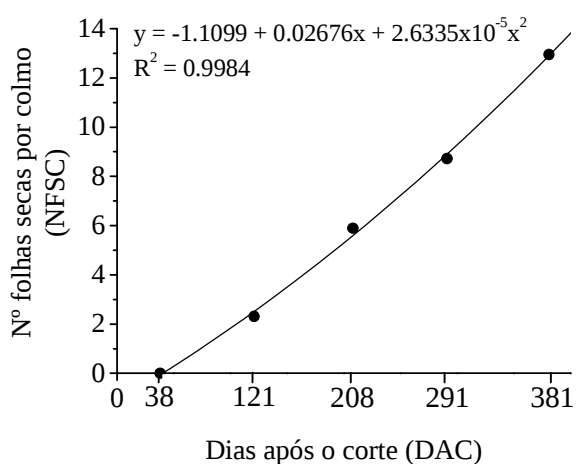


Figura 18. Valores médios do Número de Folhas Secas por Colmo (NFSC) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos em cinco épocas de avaliação (38, 121, 208, 291 e 381 DAC) sob cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. Jaú, SP. 2009-2010.

As folhas constituem-se os órgãos assimiladores da cana-de-açúcar e surgem a partir do meristema apical de cada colmo, formada de lâmina e bainha. O número de folhas por colmo é pequeno em plantas jovens e aumenta à medida que o colmo cresce, atingindo o número máximo de 10 ou mais folhas por colmos, dependendo da cultivar e das condições de crescimento (MILLER; GILBERT, 2009), corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. Também, após a emergência das folhas, os

processos anabólicos, dependentes da fotossíntese, se traduzem por um rápido crescimento, atingindo o estágio de maturação e, posteriormente, a planta inicia uma fase de senescência, refletindo na paralisação da produção de matéria orgânica (GAVA, 1999), justificando o aumento das folhas secas ao longo do desenvolvimento da cultura.

6.3 Produção e Qualidade Tecnológica

Os quadrados médios das análises de variância para o Teor de Fibra Industrial (Fibra % Cana - F), o Teor de Sólidos Solúveis (Brix % Caldo - BRIX) e a Porcentagem Aparente de Sacarose (Pol % Caldo - POL) da cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar obtidos para as doses de nitrogênio 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Quadrados médios das análises de variância para as variáveis tecnológicas (Fibra % Cana – F; Brix do Caldo - BRIX e Pol % Caldo - POL) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010.

Causa Da Variação	G.L.	Quadrados Médios		
		F	BRIX	POL
		(%)		
Doses de Nitrogênio (N)	4	0,0718 x 10 ^{13ns}	0,0188 x 10 ^{14*}	0,0365 x 10 ^{14*}
Bloco (B)	3	0,0190 x 10 ^{13ns}	0,0144 x 10 ^{14ns}	0,0149 x 10 ^{14ns}
Erro (E)	12	0,0356 x 10 ¹³	0,0049 x 10 ¹⁴	0,0074 x 10 ¹⁴
CV (%)		3,70	2,97	4,04

ns: não significativo (P<0,05); *: significativo (P<0,05); C.V.: coeficiente de variação.

De acordo com os resultados da análise de variância verificou-se que, para o teor de fibra industrial, não houve efeito das doses de nitrogênio aplicadas via gotejamento subsuperficial, o que pode ser verificado, também, pelo desdobramento dos graus de liberdade desse fator (Tabela 14). Evidencia-se, portanto, semelhança estatística entre os tratamentos (Tabela 15).

Tabela 14. Regressão polinomial das variáveis tecnológicas (Fibra % Cana – F; Brix do Caldo - BRIX e Pol % Caldo - POL) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010.

Variáveis	Causa da Variação	G.L.	Quadrados Médios	Coefficiente de Determinação (R ²)
F	R.L. para doses de N	1	0,1354 x 10 ^{9ns}	0,4713
	R.Q. para doses de N	1	0,0134 x 10 ^{9ns}	0,5180
	Resíduo	12	0,0356 x 10 ⁹	
BRIX	R.L. para doses de N	1	0,4522 x 10 ^{9ns}	0,5983
	R.Q. para doses de N	1	0,1263 x 10 ^{9ns}	0,7654
	Resíduo	12	0,0495 x 10 ⁹	
POL	R.L. para doses de N	1	0,6569 x 10 ^{9ns}	0,4496
	R.Q. para doses de N	1	0,4142 x 10 ^{9ns}	0,7330
	Resíduo	12	0,0742 x 10 ⁹	

ns: não significativo (P<0,05); R.L.: regressão linear; R.Q.: regressão quadrática. Doses de N (N): N₁ = 0 kg ha⁻¹, N₂ = 50 kg ha⁻¹, N₃ = 100 kg ha⁻¹, N₄ = 150 kg ha⁻¹ e N₅ = 200 kg ha⁻¹.

Tabela 15. Teste de Tukey das variáveis tecnológicas (Fibra % Cana – F; Brix do Caldo - BRIX e Pol % Caldo - POL) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010.

Tratamentos¹ Doses de N (kg ha⁻¹)	Teste de Tukey²		
	F	BRIX	POL
	(%)		
0	16,7875 A	24,275 A	21,9125 A
50	15,7975 A	23,655 AB	21,2250 AB
100	16,2700 A	24,317 A	22,3250 A
150	16,0425 A	23,602 AB	21,3775 AB
200	15,7450 A	22,620 B	19,8100 B
DMS	1,3455	1,5873	3,0568

D.M.S.: Diferença Mínima Significativa; ¹Doses de Nitrogênio: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹. ²Médias seguidas de mesma letra na vertical (nos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tal fato deve-se, provavelmente, à irrigação plena, visto que nessas condições não há restrição do comprimento dos entrenós e do colmo, cujas paredes celulares apresentam desenvolvimento normal e, portanto, o conteúdo de fibras condiciona-se às características da cultivar. Comprovadamente, Dalri (2004), Dalri; Cruz (2008) e Barbosa et al. (2012), obtiveram resultados semelhantes em cana-de-açúcar fertirrigada por gotejamento e Gouveia Neto et al. (2012) constataram que a percentagem de fibra industrial não apresenta alterações em cana-de-açúcar submetida à irrigação por pivô central e ao parcelamento da adubação nitrogenada.

A fibra industrial, resultado da avaliação da matéria-prima que inclui as impurezas ou as substâncias estranhas determinantes para o aumento dos sólidos insolúveis, constitui-se de grande importância na agroindústria canavieira (FERNANDES, 2003). No tocante às características agrícolas, as cultivares com maior teor de fibra desenvolvem superior resistência ao tombamento e à penetração de pragas no colmo. Também, quanto ao aspecto industrial, o teor de fibra é salutar para o balanço energético da indústria, visto que as fibras são utilizadas para a queima nas caldeiras, cujo vapor gerado é transformado em energia elétrica para o abastecimento da usina (LAVANHOLI,

2010). Adicionalmente, as cultivares cujo teor de fibra não superam 10,5% apresentam reduzido potencial de geração de energia, uma vez que se torna necessário queimar mais bagaço para manter o poder calorífico das caldeiras, portanto, são desconsideradas pelos melhoristas (FELIPE, 2008).

Os resultados mostraram, ainda, que a fertirrigação com nitrogênio interferiu no Teor de Sólidos Solúveis (BRIX) e na Porcentagem Aparente de Sacarose (Pol % Caldo - POL) das plantas de cana-de-açúcar cv. SP80-3280 (Tabela 13), entretanto, o desdobramento dos graus de liberdade das doses de nitrogênio não apresentaram significância estatística para ambas as variáveis estudadas (Tabela 14). Assim sendo, os resultados foram analisados pelo Teste de Tukey, o qual revelou significativa redução do BRIX e da POL a partir de 150 kg N ha⁻¹ (Tabela 15). Este comportamento deve-se, provavelmente, ao fato de que o nitrogênio nas doses de 150 e 200 kg ha⁻¹ foi absorvido em quantidades superiores às necessidades da cultura, constituindo-se, portanto, em absorção de luxo (MUCHOW et al., 1996; CESARIN et al., 2010). Outros estudos também destacam a redução do BRIX e da POL em cana-de-açúcar sob efeito de doses de nitrogênio superiores a 120 kg ha⁻¹ (FRANCO, 2008). Também, Silveira; Crocomo (1981) observaram decréscimo no teor de sacarose em plantas de cana-de-açúcar sob elevadas doses de nitrogênio.

A qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima industrial pode ser definida como sucessão de características intrínsecas ao vegetal, alteradas pelo manejo agrícola e industrial, que definem o potencial para produção de açúcar e etanol. Sob o aspecto tecnológico, os colmos são constituídos de caldo, formado por água e sólidos solúveis totais (açúcares e não açúcares), e os sólidos insolúveis em água, representados pela fibra da cana-de-açúcar (FERNANDES, 2003). Dessa forma, há relação direta entre os teores de sólidos solúveis (BRIX) e a fibra (FRANCO, 2008).

Ressalta-se, ainda, que, sob condições normais, a água pode corresponder a 78% do peso dos colmos no início do desenvolvimento vegetativo e reduz para cerca de 68% quando a cana-de-açúcar atinge o ponto máximo de saturação, cujos teores de sacarose são elevados (FERNANDES, 2003). Verificou-se, portanto, que a redução desses teores, a partir de 150 kg N ha⁻¹, provavelmente, evidenciou-se pela manutenção da porcentagem de fibra industrial associada à condição hídrica da cultura, em irrigação plena.

Comprovadamente, o nitrogênio favorece a absorção de cálcio, elemento fundamental na composição salina do citoplasma e na constituição da parede celular na forma de pectato de cálcio, tal fato resulta em maior estruturação das células, favorece a absorção de água, entretanto, pode afetar negativamente a qualidade tecnológica do produto (SILVA, 1983; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007). De fato, a adubação nitrogenada está normalmente associada ao maior crescimento vegetativo, o que determina, invariavelmente, plantas com elevado teor de umidade, porém, com prejuízos no acúmulo de sacarose (FRANCO, 2008). Tais prejuízos resultam da conversão da sacarose em açúcares simples voltados para o crescimento vegetativo, como consequência da associação de elevados níveis de nitrogênio e irrigação plena (ROBERTSON et al., 1996; BAHRANI et al., 2009).

Os quadrados médios das análises de variância para os Teores de Sacarose na Cana (Pol % Cana - PCC), a Pureza Aparente do Caldo (PUR) e os Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) da cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar obtidos para as doses de nitrogênio 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Quadrados médios das análises de variância para as variáveis tecnológicas (Teor de Sacarose na Cana - Pol % Cana – PCC; Pureza Aparente do Caldo – PUR e Açúcar Total Recuperável - ATR) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010.

Causa Da Variação	G.L.	Quadrados Médios		
		PCC	PUR	ATR
		(%)		(kg t ⁻¹ Cana)
Doses de Nitrogênio (N)	4	0,0224 x 10 ^{14ns}	0,0961 x 10 ^{14*}	0,0144 x 10 ^{16*}
Bloco (B)	3	0,0239 x 10 ^{14ns}	0,0088 x 10 ^{14ns}	0,0076 x 10 ^{16ns}
Erro (E)	12	0,0107 x 10 ¹⁴	0,0184 x 10 ¹⁴	0,0046 x 10 ¹⁶
CV (%)		6,23	1,51	4,17

ns: não significativo (P<0,05); *: significativo (P<0,05); C.V.: coeficiente de variação.

Verificou-se que, para a variável PCC, não houve efeito do nitrogênio aplicado via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, o que pode ser

verificado, também, pelo desdobramento dos graus de liberdade das doses desse nutriente (Tabela 17). Evidencia-se, portanto, semelhança estatística entre os tratamentos (Tabela 18).

A Pol % Cana (PCC) indica toda sacarose aparente (pol) contida no caldo absoluto por cento de cana (FERNANDES, 2003). Considerando-se que os valores de PCC são obtidos por meio de cálculo baseado nos valores da fibra industrial (Fibra % cana), conforme Consecana (2006), e a semelhança estatística entre os tratamentos para tal variável tecnológica, pode-se justificar o mesmo padrão estatístico para os valores obtidos nos teores de sacarose expressos em porcentagem de cana (PCC). Embora o manejo de irrigação por gotejamento (fertirrigação), promova aumento na eficiência de utilização dos fertilizantes (GAVA et al., 2011), as doses de nitrogênio associadas à irrigação plena podem não ter sido suficientes para provocar alterações nos valores de PCC (Tabela 18).

Em cana-de-açúcar, cv. RB72454 irrigada por gotejamento subsuperficial associada a diferentes doses de nitrogênio e potássio, Dalri; Cruz (2008) também não obtiveram diferenças significativas para os valores de PCC. Resultados semelhantes foram obtidos por Felipe (2008) e por Bologna-Campbell (2007) em cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de adubação mineral (NPK) e de nitrogênio e enxofre, respectivamente.

Alguns autores destacam que a adubação e a nutrição da cana-de-açúcar têm influência na qualidade e na maturação da matéria-prima. Dessa forma, o nitrogênio pode provocar redução no teor de PCC, em razão do aumento da atividade bioquímica das células meristemáticas, favorecendo o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, conseqüentemente, ocorre a diluição da sacarose no caldo (DALRI, 2004). Embora o teor de açúcar (PCC) diminua ou não se altere, a quantidade total de açúcar produzido por hectare pode ser maior, devido ao aumento da produtividade (MAEDA, 2009), conforme observou-se no presente estudo.

Tabela 17. Regressão polinomial das variáveis tecnológicas (Teor de Sacarose na Cana - Pol % Cana - PCC; Pureza Aparente do Caldo - PUR e Açúcar Total Recuperável - ATR) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010.

Variáveis	Causa da Variação	G.L.	Quadrados Médios	Coefficiente de Determinação (R ²)
PCC	R.L. para doses de N	1	0,0014 x 10 ¹¹ ns	0,1586
	R.Q. para doses de N	1	0,0017 x 10 ¹¹ ns	0,3532
	Resíduo	12	0,0010 x 10 ¹¹	
PUR	R.L. para doses de N	1	0,0085 x 10 ¹¹ ns	0,2230
	R.Q. para doses de N	1	0,0190 x 10 ¹¹ ns	0,7172
	Resíduo	12	0,0018 x 10 ¹¹	
ATR	R.L. para doses de N	1	0,0383 x 10 ¹¹ ns	0,0692
	R.Q. para doses de N	1	0,2411 x 10 ¹¹ ns	0,5044
	Resíduo	12	0,0056 x 10 ¹¹	

ns: não significativo (P<0,05); R.L.: regressão linear; R.Q.: regressão quadrática. Doses de N (N): N₁ = 0 kg ha⁻¹, N₂ = 50 kg ha⁻¹, N₃ = 100 kg ha⁻¹, N₄ = 150 kg ha⁻¹ e N₅ = 200 kg ha⁻¹.

Tabela 18. Teste de Tukey das variáveis tecnológicas (Teor de Sacarose na Cana - Pol % Cana – PCC; Pureza Aparente do Caldo – PUR; Açúcar Total Recuperável – ATR) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtido para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC, SP. 2009-2010.

Tratamentos ¹ Doses de N (kg ha ⁻¹)	Teste de Tukey ²		
	PCC	PUR	ATR
	(%)	(%)	(kg t ⁻¹ Cana)
0	17,047 A	90,272 AB	166,222 AB
50	16,047 A	89,710 AB	164,147 AB
100	17,530 A	91,807 A	170,507 A
150	16,857 A	90,500 AB	164,407 AB
200	15,700 A	87,526 B	154,145 B
DMS	2,335	3,0568	15,419

D.M.S.: Diferença Mínima Significativa; ¹Doses de Nitrogênio: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹.

²Médias seguidas de mesma letra na vertical (nos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Os resultados revelaram, também, que a fertirrigação com nitrogênio interferiu na Pureza Aparente do Caldo (PUR) e no Açúcar Total Recuperável – ATR das plantas de cana-de-açúcar cv. SP80-3280 (Tabela 16), entretanto, o desdobramento dos graus de liberdade das doses de nitrogênio não apresentaram significância estatística para ambas as variáveis estudadas (Tabela 17). Assim sendo, os resultados foram analisados pelo Teste de Tukey, o qual revelou que essas variáveis tecnológicas apresentaram aumento até aplicação de 100 kg N ha⁻¹ e significativa redução a partir de 150 kg N ha⁻¹ (Tabela 18). Efeitos análogos em ambos os parâmetros para a mesma cultivar sob aplicação de 0, 50, 100 e 150 kg N ha⁻¹ foram obtidos por Pereira (2011). Também, alguns estudos realizados em cana-de-açúcar sob irrigação, associada às doses crescentes de nitrogênio, constaram redução da pureza aparente do caldo (BAHRANI et al., 2009; DEV et al., 2011). Outras pesquisas também destacaram a redução do ATR em cana-de-açúcar sob efeito de doses de nitrogênio superiores a 120 kg ha⁻¹ (FRANCO, 2008).

A pureza reflete a relação entre o teor de sacarose (real ou aparente) e todos os demais sólidos solúveis (LAVANHOLI, 2010). Considerando-se este aspecto, bem como a constatação de que ambos os parâmetros, teor de sólidos solúveis (BRIX) e porcentagem aparente de sacarose (Pol % Caldo - POL), apresentaram aumento até aplicação de 100 kg N ha⁻¹ e significativa redução a partir de 150 kg N ha⁻¹ (Tabela 15), pode-se inferir que a pureza aparente do caldo, obtida para a cana-de-açúcar cv. SP80-3280 apresentou propensão semelhante.

Adicionalmente, a Pureza Aparente de Caldo é utilizada na análise da qualidade da matéria-prima, uma vez que a unidade industrial pode recusar a recepção de carregamentos, cuja pureza esteja abaixo de 75% (CONSECANA, 2006). Não obstante a redução dos valores de pureza a partir de 150 kg N ha⁻¹, a cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar ainda pode ser considerada de elevado teor de sacarose, uma vez que apresentou valores acima de 85% (CÉSAR; SILVA, 1993).

Atualmente, no estado de São Paulo, o sistema proposto para o pagamento da cana-de-açúcar é realizado pela análise da qualidade em Açúcares Totais Recuperáveis ou ATR (DALRI, 2004), que representam a quantidade de açúcares (na forma de açúcares invertidos ou ART – Açúcares Redutores Totais) recuperados na usina, expressos em kg t⁻¹ cana, considerando-se as perdas de 12% na lavagem da cana-de-açúcar, extração (perda de Pol no bagaço final), tortas dos filtros ou prensas e as demais perdas (FERNANDES, 2003).

Considerando-se que na literatura são consensuais os efeitos da adição de nitrogênio na produção de açúcar por área, ou seja, o fato de que a concentração de sacarose nos colmos pode reduzir em resposta à adubação nitrogenada (MUCHOW et al., 1996; FRANCO, 2008), verificou-se que as doses superiores a 100 kg N ha⁻¹ promoveram redução significativa do ATR, podem comprometer a qualidade do açúcar produzido e, consequentemente, reduzir a lucratividade originária do sistema de pagamento. Entretanto, a quantidade total de açúcar produzido por hectare torna-se superior em decorrência da maior produtividade de colmos (TRIVELIN et al., 2002; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007; FRANCO, 2008), conforme se verificou na presente pesquisa.

Os quadrados médios das análises de variância para a Produtividade de Colmos (TCH) e de Sacarose (TPH) da cultivar SP80-3280 de cana-de-

açúcar obtidos para as doses de nitrogênio 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Quadrados médios das análises de variância para a Produtividade de Colmos (TCH) e de Sacarose (TPH) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2010-2011.

Causa Da Variação	G.L.	Quadrados Médios	
		TCH	TPH
		(t ha ⁻¹)	
Doses de Nitrogênio (N)	4	0,0246 x 10 ^{17**}	0,0606 x 10 ^{15**}
Bloco (B)	3	0,0013 x 10 ^{17ns}	0,0019 x 10 ^{15ns}
Erro (E)	12	0,0003 x 10 ¹⁷	0,0016 x 10 ¹⁵
CV (%)		6,76	8,55

ns: não significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Verificou-se que as doses crescentes de nitrogênio aplicada via gotejamento subsuperficial influenciaram as variáveis TCH e TPH, a 1% de probabilidade (Tabela 19). Dessa forma, o desdobramento dos graus de liberdade para as doses de nitrogênio, apresentado na Tabela 20, revelou aumento considerável de ambas as variáveis proporcionalmente a aplicação das doses de nitrogênio via fertirrigação por gotejamento subsuperficial (Figuras 19 e 20).

As doses de 150 e 200 kg N ha⁻¹ proporcionaram Produtividade de Colmos de 100 e 120 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 19). Wiedenfeld e Enciso (2008) obtiveram TCH de 108 e 115 t ha⁻¹ em segunda soqueira de cana-de-açúcar sob doses de 70 e 140 kg N ha⁻¹ aplicadas via gotejamento subsuperficial. Esses resultados podem indicar que a demanda por nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar irrigada pode ser superior à dose atualmente recomendada no manejo de sequeiro, que varia de 100 a 120 kg N ha⁻¹ para produtividades esperadas acima de 100 t colmos ha⁻¹ (Van RAIJ; CANTARELLA, 1997; KÖLLN, 2012).

Comprovadamente, em cana-soca, diversos autores demonstraram que o potencial de resposta à adubação nitrogenada mostra-se superior, mais frequente e requer doses mais elevadas desse nutriente quando comparada à cana-planta (BOLOGNA-

Tabela 20. Regressão polinomial para a Produtividade de Colmos (TCH) e de Sacarose (TPH) da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtida para doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010.

Variáveis	Causa da Variação	G.L.	Quadrados Médios	Coefficiente de Determinação (R ²)
TCH	R.L. para doses de N	1	0,9805 x 10 ^{12**}	0,9956
	R.Q. para doses de N	1	0,0013 x 10 ^{12ns}	0,9969
	Resíduo	12	0,0037 x 10 ¹²	
TPH	R.L. para doses de N	1	0,0230 x 10 ^{12**}	0,9518
	R.Q. para doses de N	1	0,0005 x 10 ^{12ns}	0,9731
	Resíduo	12	0,0001 x 10 ¹²	

ns: não significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); R.L.: regressão linear; R.Q.: regressão quadrática. Doses de N (N): N₁ = 0 kg ha⁻¹, N₂ = 50 kg ha⁻¹, N₃ = 100 kg ha⁻¹, N₄ = 150 kg ha⁻¹ e N₅ = 200 kg ha⁻¹.

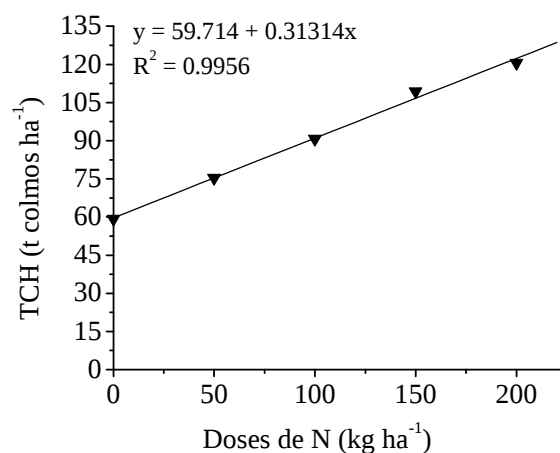


Figura 19. Valores médios da Produtividade de Colmos (TCH), em t colmo ha⁻¹, da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010.

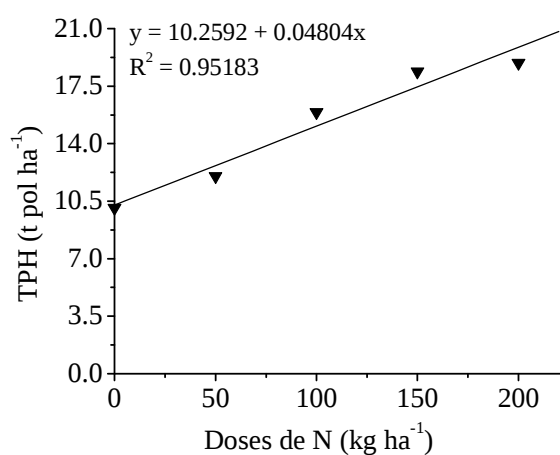


Figura 20. Valores médios da Produtividade de Sacarose (TPH), em t pol ha⁻¹, da cana-de-açúcar cv. SP80-3280, obtidos sob as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aos 381 DAC. Jaú, SP. 2009-2010.

CAMPBELL, 2007; FRANCO, 2008; SARTORI, 2010; VITTI et al., 2010). Alguns estudos realizados em cana-soca também relataram o aumento da Produtividade de Colmos para a cultura fertirrigada por gotejamento (DALRI, 2004; DALRI; CRUZ, 2008) e da Sacarose em cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de nitrogênio (MUCHOW et al., 1996; FELIPE, 2008; FORTES, 2010).

Verificou-se que, embora o PCC não tenha apresentado alterações, como observado no presente estudo, a Produtividade de Sacarose elevou-se de 10 para 18 t ha⁻¹ sob as doses de 150 e 200 kg N ha⁻¹ (Figura 20). Resultados semelhantes foram apresentados Wiedenfeld (2000) que obteve TPH de 10 t ha⁻¹ em cana-de-açúcar de segunda soca fertirrigada com 140 kg N ha⁻¹. Embora o PCC diminua ou não se altere, a quantidade total de açúcar produzido por hectare pode ser maior, devido ao aumento da produtividade de colmos (MAEDA, 2009; KÖLLN, 2012), conforme constatado no presente trabalho. O adequado manejo da irrigação por gotejamento pode aumentar a eficiência de utilização de água e de nutrientes para as plantas, entre os quais o nitrogênio, resultando em elevação na produtividade de colmos e de açúcar (NG KEE KWONG et al., 1999).

Provavelmente, as doses de nitrogênio atualmente recomendadas subestimam o potencial de resposta econômica ao nitrogênio em lavouras de cana-de-açúcar, cujo material genético é mais produtivo, cultivadas em ambientes de rendimentos superiores e com elevada quantidade de resíduos culturais (palha) de alta relação C:N (VITTI et al., 2010), como se verifica no presente estudo. Adicionalmente, a aplicação de N-fertilizante em soqueira faz-se necessária e apresenta grandes variações, conforme o manejo e o tipo de solo (GAVA et al., 2001). Dessa forma, a fertirrigação com nitrogênio tornou-se relevante e compensatória para a obtenção de ganhos em produtividade.

7 CONCLUSÕES

Os atributos biométricos e fisiológicos, bem como a qualidade tecnológica da cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar foram alterados mediante a aplicação das doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento.

A dose de 100 kg ha⁻¹ aplicada via fertirrigação por gotejamento subsuperficial proporcionou os melhores resultados para os atributos biométricos e fisiológicos, bem como para qualidade tecnológica da cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar.

A Razão Clorofila *a/b*, o Número de Folhas Verdes e Secas por Colmo, os Teores de Fibra Industrial (Fibra % Cana) e de Sacarose na Cana (Pol % Cana) não foram influenciados pela aplicação das doses de nitrogênio via fertirrigação por gotejamento subsuperficial.

As doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial aumentaram consideravelmente a Produtividade de Colmos (TCH) e de Sacarose (TPH).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R.; PEDRO JUNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S. B.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JUNIOR, R. A. F. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação a disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

AMARAL, L. R. **Sensor ótico no auxílio à recomendação de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar**. 2010. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de Concentração em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

ARANTES, M. T. **Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORTHOFFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas v.13, n.2, p.158-167, 2001.

AUDE, M. I. S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 241-248, 1993.

BAHRANI, M. J.; SHOMEILI, M.; ZANDE-PARSA, SH.; KAMGAR-HAGHIGHI, A. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in subtropical Iran. **Iran Agricultural Research**, Shiraz, v. 28, n. 1, p. 17-26, 2009.

BAKER, N., ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p.1607-1621. 2004.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4^a ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.9, p.952–958, 2012.

BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and salt tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 24, n. 1, p. 23-58, 2005.

BEGUM, M. K.; ALAM, M. R.; ISLAM, M. S.; AREFIN, M. S. Effect of water stress on physiological characters and juice quality of sugarcane. **Sugar Tech**, Nova Delhi, v. 14, n. 2, p. 161-167, 2012.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112p. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer as a new and rapid method for determining the colloidal content of soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 23, p. 319-331, 1927.

BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; FERREIRA, G. B.; LIMA, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, B. B. Predição da adubação nitrogenada através da utilização do Índice SPAD para o algodoeiro no semi-árido. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 368-382, 2009.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: 1ª Ed. Instituto Agrônômico, 2010, p. 205-2218.

CAIEIRO, J. T.; PANOBIANCO, M.; BESPALHOK FILHO, J. C.; OHLSON, O. C. Physical purity and germination of sugarcane seeds (Caryopses) (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 140-145, 2010.

CAMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CAMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Ed.). **Produção da cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993, p. 31-84.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: 1ª Ed. Instituto Agrônômico, 2010, p. 57-78.

CASSOL, D.; FALQUETO, A. R.; BACARIN, M. A. Influência da adubação nitrogenada nas características da fluorescência da clorofila em arroz. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 573-575, 2007.

CASTRO, P. R. C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISIOLOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000, p.1-9.

CASTRO, P. R. C.; CHRISTOFOLETTI, P. L. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: MENDONÇA, A. F. (Ed). **Cigarrinhas da cana-de-açúcar**: Controle biológico. Maceió: 1ª Ed. Insecta, 2005, p. 3-48.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**: A Classificação Climática de Köppen para o Estado de São Paulo. Jaú. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_289.html> Acesso em: 10 jul. 2012.

CÉSAR, M. A. A.; SILVA, F. C. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a indústria sucroalcooleira**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1993. 108p.

CESARIN, A. E.; SOUZA, H. A.; SANTOS, D. M. M.; MODESTO, V. C.; AMORIM, D. A.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Teores de clorofila e índice SPAD em folhas de

goiabeira, em função da aplicação do resíduo da indústria processadora de goiabas. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2010, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: resumos**. Uberlândia, 2010, p. 1-4.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, 2004. 307p.

CHAPIN, F. S.; BLOOM, A. J.; FIELD, C. B.; WARING, R. H. Plant responses to multiple environmental factors. **BioScience**, Washington, v. 37, p. 49-57, 1987.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**, terceiro levantamento, dezembro/2012. Brasília: Conab 2012. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_12_10_34_43_boletim_cana_portugues_12_2012.pdf> Acesso em 19 març. 2013.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. 5ª ed. Piracicaba, 2006. 112 p.

CONTIN, T. L. M. **Uréia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2007.

COPERSUCAR. Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Sexta geração de cultivares de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1997. 28 p. Edição Especial (Boletim Técnico COPERSUCAR).

CORDEIRO, L. Fixação do nitrogênio. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2004. 452 p.

CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; RAJ, H. R. G.; NOBRE, R. G.; SANTOS, T. S. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila *a* em amendoim sob condições de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 514-521, 2009.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press., 1981. 126p.

DALRI, A. B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos.** 2004. 89f. Tese (Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

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

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p.283–288, 2006.

DENAULT, M.; STIEVE, E.; VALIELA, I. Effects of nitrogen load and irradiance on photosynthetic pigment concentrations in *Cladophora vagabunda* and *Gracilaria tikvahiae* in estuaries of Waquoit Bay. **Biological Bulletin**, Woods Hole, v. 199, p. 223-225, 2000.

DEV, C. M.; MEENA, R. N.; KUMAR, A.; MAHAJAN, G. Earthing up and nitrogen levels in sugarcane ratoon under subtropical Indian condition. **Indian Journal of Sugarcane Technology**, Lucknow, v. 26, n. 1, p. 1-5, 2011.

DINARDO-MIRANDA, L. L. **Cigarrinha-das-raízes em cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2003. 72 p.

DONATO, V. M. T. S.; ANDRADE, A. G.; SOUZA, E. S.; FRANÇA, J. G. E.; MACIEL, G. A. Atividade enzimática em variedades de cana-de-açúcar cultivadas in vitro sob diferentes níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1087-1093, 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 193p. Irrigation and Drainage Paper, 33.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar:** expandir a produção, preservar

a vida e garantir o futuro. MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (Org.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 110). Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_cana_de_acucar/ZonCana.pdf> Acesso em 25 ago. de 2012.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Trad. M.E.T. Nunes. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FARIAS, C. H. A.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D.; GHEIY, H. R. Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, p. 45–55, 2007.

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

FARONI, C. A. **Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**. 2008. 190 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FARQUHAR, G. D.; EHLERINGER, J. R.; HUBICK, K. T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 40, p. 530–537, 1989.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2008.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria canavieira**. 2ª ed. Piracicaba: STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2003. 240p.

FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 305, p. 83-92, 2006.

FLOSS, E. L. **Fisiologia de plantas cultivadas**. Passo Fundo: UPF, 2006. 751 p.

FONTES, R. V.; SANTOS, M. P.; FALQUETO, A. R.; SILVA, D. M. Atividade da redutase do nitrato e fluorescência da Clorofila *a* em mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 251-254, 2008.

FORCE, L.; CRITCHLEY, C.; VAN RENSEN, J. J. S. New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, n. 78, p. 17-33, 2003.

FORTES, C. **Produtividade de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e da decomposição da palhada em ciclos consecutivos**. 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Ciências – Área de Concentração em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear da Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência Agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127p. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar: reflexos do plantio à colheita. In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R.; SORATO, R. P (Ed.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF – Fundação de Estudos Agrícolas e Florestais, 2010. p. 67-84.

GALLACHER, D. J. Optimised descriptors recommended for Australian sugarcane germplasm (*Saccharum* spp. hybrid). **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 48, p. 775-779, 1997.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M. ; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, p.250–255, 2011.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GAVA, G. J. C. **Utilização do nitrogênio da uréia (15N) e da palhada (15N) por soqueira de cana-de-açúcar no manejo sem despalha a fogo.** 1999. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de Concentração em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

GHANNOUM, O. C₄ Photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, Londres, v. 103, p. 635-644, 2008.

GILBERT, R. A.; MORRIS, D. R.; RAINBOLT, C. R.; MCCRAY, J. M.; PERDOMO, R. E.; EILAND, B.; POWELL, G.; MONTES, G. Sugarcane Response to Mill Mud, Fertilizer, and Soybean Nutrient Sources on a Sandy Soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3, p. 845-854, 2008.

GLAZ, B.; REED, S. T.; ALBANO, J. P. Sugarcane Response to Nitrogen Fertilization on a Histosol with Shallow Water Table and Periodic Flooding. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 194, p. 369–379, 2008.

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quarto variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica.** 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal)-Universidade Federal do Alagoas, Rio Largo, 2008.

GOUVEIA NETO, G. C.; FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; XAVIER, D. A. Qualidade industrial da cana-de-açúcar sob irrigação e parcelamento de nitrogênio. In: IV WINOTEC: WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO. 2012. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Inovagri, 2012. Disponível em: <<http://www.inovagri.org.br/meeting/wp-content/uploads/2012/06/Protocolo244.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2012.

HOWELL, T. A.; EVETT S. R. **The Penman-Monteith method.** Washington, DC: USDA-Agricultural Research Service, Conservation & Production Research Laboratory, 2004. 14 p.

HURTADO, S. M. C.; SILVA, C. A.; RESENDE, A. V.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S.; HIGASHIKAWA, F. S. Sensibilidade do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 688-697, 2010.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 107-122, 2004.

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

KAWAMITSU, Y.; NELSON, B. J.; TAMAKI, Y. Effects of Nitrogen Supply on Growth Characteristics and Leaf Photosynthesis in Sugarcane. **Science Bulletin of the Faculty of Agriculture**, Ryukyus, n. 46, p. 1-14, 1999. Disponível em: <<http://sciencelinks.jp/j-east/article/200010/000020001000A0195554.php>> Acesso em: 05 ago. 2012.

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

KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ^{13}C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 102p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

KOOCHEKZADEH, A.; FATHI, G.; GHARINEH, M. H.; SIADAT, S. A.; JAFARI, S.; ALAMI-SAEID, Kh. Impacts of rate and split application of N fertilizer on sugarcane quality. **International Journal of Agricultural Research**, New York, v. 4, n. 3, p. 116-123, 2009.

KOPSELL, D. A.; KOPSELL, D. E.; CURRAN-CELENTANO, J. Carotenoid pigments in kale are influenced by nitrogen concentration and form. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 87, p. 900-907, 2007.

KORNDÖRFER, G. H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M. E.; BUZETTI, S. (Ed.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p.133-142.

KORNDÖRFER, G. H.; COLOMBO, C.; CHIMELLO, M. A.; LEONE, P. L. C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem Nitrogênio. **STAB – Açúcar, Alcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 20, p. 28-31, 2002.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 313-349, 1991.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: 1ª Ed. Instituto Agrônomo, 2010, p. 101-156.

LANDELL, M. G. A.; PINTO, L. R.; CRESTE, S.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; SILVA, M. A. **Seleção de novas variedades de cana-de-açúcar e seu manejo de produção**. 2005. 18-24p. (Encarte do Informações Agrônomicas Nº 110 – Junho/2005). Disponível em: <[http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/7759ddc6878ca7eb83256d05004c6dd1/\\$FILE/Enc18-24-110.pdf](http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/7759ddc6878ca7eb83256d05004c6dd1/$FILE/Enc18-24-110.pdf)> Acesso em: 04 set. 2012.

LANDELL, M. G. A.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; PINTO, L. R.; CRESTE, S. Potencialidade de novas variedades de cana-de-açúcar. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; AZANIA, A. A. P. M.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A.; VALE, D. W. (Ed.). **Tópicos em Tecnologia Sucroalcooleira**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 2006. p. 17-30.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima Artes, 2004. 531p.

LAVANHOLI, M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: 1ª Ed. Instituto Agrônomo, 2010, p. 697-722.

LIU, L.; KINGSTON, G.; BULL, T. A. A new technique for determining the thermal parameters of phonological development in sugarcane, including sub optimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v. 90, 9.119-138, 1998.

LOPES, M. S.; ARAUS, J. L.; VAN HEERDEN, P. D. R.; FOYER, C. H. Enhancing drought tolerance in C4 crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 9, p. 3135-3153, 2011.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; CAMARGO, M. B. P.; FAHL, J. I. Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 44, n. 1, p. 229-238, 1985.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. **Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit**

hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MAEDA, A. S. **Adubação nitrogenada e potássica em socas de cana-de-açúcar com e sem queima em solos de cerrado.** 2009. 110 f. Tese (Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo. Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas.** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cana-de-açúcar.** 2012. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>> Acesso em: 20 ago. 2012.

MARQUES, M. O; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar.** Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.

MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; AZANIA, A. A. P. M.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A.; VALE, D. W. (Ed.). **Tópicos em Tecnologia Sucroalcooleira.** Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 2006. 191p.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JUNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MEINZER, F. C.; ZHU, J. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C4 CO2 concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 1227-1234, 1998.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Worblaufen-Bern: International Postash Institute, 1987. 687p.

MENK, J. R. F.; COELHO, R. M. **Levantamento detalhado de solos da Estação Experimental de Agronomia de Jaú (SP)**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 36p. (Boletim Científico, 4. Série Pesquisa – APTA).

MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; SILVA, J. R. M. Alteração fisiológica da cana-de-açúcar pela aplicação de glyphosate e sulfometuron-methyl. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 413-419, 2011.

MILLER, J. D.; GILBERT, R. A. **Sugarcane botany: a brief view**. University of Florida IFAS extension. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/sc034>>. 2009. Acesso em: 04 set. 2010.

MORIKAWA, H.; TAKAHASHI, M.; SAKAMOTO, A.; MATSUBARA, T.; ARIMURA, G.; KAWAMURA, Y.; FUKUNAGA, K.; FUJITA, K.; SAKURAI, N.; HIRATA, T.; IDE, H.; NONOYAMA, N.; SUZUKI, H. Formation of unidentified nitrogen in plants: an implication for a novel nitrogen metabolism. **Planta**, Buenos Aires, v. 219, p. 14-22, 2004.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS, J. N.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e Morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p.11-18.

MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; KEATING, B. A. Effect of nitrogen on the time-course of sucrose accumulation in sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 47, p. 143-153, 1996.

NG KEE KWONG, K. F.; PAUL, J. P.; DEVILLE, J. Drip-fertigation - a means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 35, n. 1, p. 31-37, 1999.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada**. 2011. 213p. Tese (Doutorado em Ciências – Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011a.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1343-1352, 2010a.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.9, p.951–960, 2010b.

OLIVEIRA, F. M. **Avaliação das características agrotecnológicas de duas variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação**. 2011. 110 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011b.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J.; Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 5, n. 1, p. 56, 2011.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACEDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p.30-43, 2007a.

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

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ESPALHOK-FILHO, J. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007b

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

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. Doses e fracionamentos de nitrogênio e potássio em cana-planta em solo arenoso sob primeiro cultivo. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 1, p.34-35, 1996.

PEDÓ, T.; BORELLA, J.; AUMONDE, T. Z.; AMARANTE, L.; MORAES, D. M.; MORSELLI, T. B. G. A.; MAUCH, C. R. Crescimento de mudas de repolho e teores de pigmentos fotossintéticos sob influências de fontes de nitrogênio. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.6, n.1, p.23-27, 2012.

PEREIRA, W. **Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas**. 2001. 70 f.: il. Dissertação (Mestre em Ciências – Área de Concentração em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

PORRA R. J.; THOMPSON W. A.; KRIEDMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 975, p. 384-394, 1989.

PÔRTO, M. L.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ALVES, J. C.; ARRUDA, J. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 29, n. 3, p. 311-315, 2011.

PRADO, R. M.; PANCELLI, M. A. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.951-959, 2008.

QUEIROZ, R. J. B. **Quantificação da trealose e da prolina livre em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica do solo**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

QUINTANA, K. A. **Irrigação e fertirrigação por gotejamento para cana-de-açúcar na presença e ausência de boro**. 2010. 69f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 2, p. 83-89, 2000.

RAO, C. M.; KUMAR, M. V.; REDDY, L. K. Management of sugarcane clones under limited moisture situations (drought) at formative stage. **Indian Sugar**, Nova Delhi, p. 949- 953, 2005.

ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 32, p.177-182, 2008.

ROBERTSON, M. J.; INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; WOOD, A.W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 64, p. 211-227, 1999.

ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; WOOD, A. W.; CAMPBELL, J. A. Accumulation of reducing sugars by effects of crop age, nitrogen supply and cultivar. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 49, p. 39-50, 1996.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 1995. 100p.

ROSENFELD, U.; LEME, R. J. A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão - estudo de épocas de irrigação. In: III CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 1984, São Paulo. **Anais...** p. 77-84.

ROZANE, D. E.; SOUZA, H. A.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; FRANCO, C. F.; LEAL, R. M. Influência do cultivar, do tipo de folha e do tempo de cultivo na medida indireta da clorofila (Spad) em mudas de goiabeira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1538-1543, 2009.

SALASSIER, B. **Manejo da Irrigação na Cana-de-açúcar**. 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3jlwle6b8.pdf> Acesso em: 20 ago. 2012.

SANDHU, H. S.; GILBERT, R. A.; MCCRAY, J. M.; PERDOMO, R.; EILAND, B.; POWELL, G.; MONTES, G. Relationships among Leaf Area Index, Visual Growth Rating, and Sugarcane Yield. **Journal American Society of Sugar Cane Technologists**, Baton Rouge, v. 32, p. 1-14, 2012.

SANTOS, C. L. V.; CAMPOS, A.; AZEVEDO, H.; CALDEIRA, G. In situ and in vitro senescence induced by KCl stress: nutritional imbalance, lipid peroxidation and antioxidant metabolism. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, n. 355, p. 351-360, 2001.

SANTOS, L. C.; BONOMO, P.; SANTOS, J. A.; JESUS, F. M.; FERRAL, A. D.; PIRES, A. J. V. Concentrações de nitrogênio em folhas de dois cultivares de braquiária através de leitura com clorofilômetro. **Revista Eletrônica de Veterinária**, Garça, v.8, n.9, 2007.

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

SARTORI, R. H. **Eficiência de uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima)**. 2010. 112 p. Tese (Doutorado em Ciências – Área de Concentração em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear da Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: 1ª Ed. Instituto Agronômico, 2010, p. 47-56.

SCHIAVINATTI, A. F.; ANDREOTTI, M.; BENETT, C. G. S.; PARIZ, C. M.; LODO, B. N.; BUZETTI, S. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.925-930, 2011.

SCHLEMMER, M. R.; FRANCIS, D. D.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 106-112, 2005.

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

SHEKINAH, D. E.; SUNDARA, B.; RAKKIYAPPAN, P. Relative Significance of N Nutrition on Yield, Quality and Ethanol in Sugarcane (*Saccharum species hybrid*) Plant: Ratoon System, **Sugar Tech**, Nova Delhi, v. 14, n. 2, p. 34–137, 2012.

SILVA, D. K. T.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; OLIVEIRA, R. A. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002/2003. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 6, n. 1-2, p. 47-53, 2005.

SILVA, L. C. F. Influência da adubação nitrogenada na qualidade da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1983. cap. 11, p. 317-332.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Braslian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; ARANTES, M. T.; PINCELLI, R. P. Fenologia da cana-de-açúcar. In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R.; SORATO, R. P. (Ed.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF – Fundação de Estudos Agrícolas e Florestais, 2010. p. 8-21.

SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, p. 620-627, 2008.

SILVA, S.; SOARES, A. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; MAGALHÃES, P. C. Respostas fisiológicas de gramíneas promissoras para revegetação ciliar de reservatórios hidrelétricos, submetidas à deficiência hídrica. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 124-133, 2001.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; GOMES JÚNIOR, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1257–1265, 2011.

SILVEIRA, J. A. G.; CROCOMO, O. J. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (*Saccharum* spp.). I. Effects of NO₃ nitrogen concentration on the metabolism of sugar and nitrogen. **Energia Nuclear e Agricultura**, Piracicaba, v.3, n.1, p. 19-33, 1981.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p.1083-1087, 2003.

SINGH, P. N.; MOHAN, S. C. Water use and yield response of sugarcane under different irrigation schedules and nitrogen levels in a subtropical region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 26, p. 253-264, 1994.

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

SOCICANA. Associação dos Fornecedores de Cana de Guariba. **Características Agronômicas das Variedades SP**. 2006. Disponível em: <http://www.coplana.com/gxpfiles/hgxpp001.aspx?1,5,316,O,P,0,MNU;E;32;5;MNU;,>> Acesso em: 04 ago. 2012.

SOUZA, Z. M.; PAIXÃO, A. C. S.; PRADO, R. M.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1062-1068, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TAVARES, A. C. S. **Sensibilidade da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) ao excesso de água no solo**. 2009. 220 f. Tese (Doutor em Agronomia – Área de Concentração em irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G. O.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 02, p. 199-209, 2005.

TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-¹⁵N e uréia-¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G. J. C.; SARRIÉS, G. A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 193-201, 2002.

UDOP. União dos Produtores de Bioenergia. **Safra 2011/2012 de cana-de-açúcar deve ser 8,4% menor**. 2011. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1079877#nc>> Acesso em: 20 ago. 2012.

UEHARA, N.; SASAKI, N. AOKI, N. OHSUG, R. Effects of the temperature lowered in the daytime and night-time on sugar accumulation in sugarcane. **Plant Production Science**, Tokyo, v. 12, n. 4, p. 420-427, 2009.

URIBE, R. A. M. **Produtividade e estimativa do acúmulo de biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento com diferentes doses de N-fertilizante**. 2010. 67 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

Van RAIJ, B.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: Van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, A. J.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 8-13. (Boletim Técnico, 100)

Van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

VIEIRA JUNIOR, P. A.; VIEIRA, A. C. P. ; BUAINAIN, A. M.; LIMA, F.; SILVEIRA, J. M. J. Produção brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, 2008.

VITTORELLO, V. A.; CAPALDI, F. R.; STEFANUTO, V. A. Recents advances in aluminium toxicity and resistance in higher plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 17, n.1, p. 129-143, 2005.

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETTO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: 1ª Ed. Instituto Agronômico, 2010, p. 239-270.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

WIEDENFELD. B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 665-671, 2008.

WIEDENFELD. R. P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 43, p. 173-182, 2000.