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

Sensibilidade da primeira soca da cana-de-açúcar ao excesso de água no solo

Kelly Tagianne Santos de Souza

**Tese apresentada para obtenção do título
de Doutor em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba
2010**

Kelly Tagianne Santos de Souza
Bacharel em Agronomia

Sensibilidade da primeira soca da cana-de-açúcar ao excesso de água no solo

Orientador:
Prof. Dr. **SERGIO NASCIMENTO DUARTE**

Tese apresentada para obtenção do título
de Doutor em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2010

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

Souza, Kelly Tagianne Santos de
Sensibilidade da primeira soca da cana-de-açúcar ao excesso de água no solo / Kelly
Tagianne Santos de Souza. - - Piracicaba, 2010.
86 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Água no solo 2. Cana-de-açúcar - Crescimento e desenvolvimento 3. Drenagem
4. Lençóis freáticos I. Título

CDD 633.61
S729s

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

Ao meu amado esposo Pabblo Atahualpa, por ter sido meu alicerce nos momentos mais difíceis, a minha filha que, ainda no meu ventre foi minha inspiração, ao meu pai que foi meu exemplo, a minha querida mãe, que mesmo acamada, me deu força, a minha tia Rita, que sempre esteve ao meu lado e aos meus irmãos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que, mesmo nos momentos onde a fé não mais existia, deu-me muitas provas de sua existência;

Ao Professor Sergio Nascimento Duarte, que foi como um Pai, e sempre compreendeu os meus momentos de dificuldades;

Ao Professores do curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ, pelo conhecimento e, sobretudo pelo carinho;

A todos os colegas da Pós-Graduação, em especial, aos queridos amigos Antonio Clarette, Rochane, Adriana, Lilian, Marco Rosa, Cícero René e sua esposa Elane e Lígia, por toda a ajuda;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e à Universidade de São Paulo, por ter me concedido a oportunidade de realizar o curso de pós-graduação;

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, que sempre disponibilizaram seu tempo quando eram solicitados;

Ao CNPq, pela concessão de um ano e meio de bolsa;

Ao Governo do Estado de Roraima, por ter concedido a licença para a minha capacitação;

A minha madrinha Ana Maria que, com sua sabedoria, soube na hora de dificuldade dizer palavras de conforto;

Aos membros da Banca, pelas contribuições, sugestões e correções;

Enfim, a todos que contribuíram para a conclusão do curso.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	19
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 DESENVOLVIMENTO.....	23
2.1 Revisão Bibliográfica	23
2.1.1 Aspectos gerais da cultura e a importância econômica da cana-de-açúcar	23
2.1.2 Cana-soca	24
2.1.3 Solos com deficiência de drenagem e os efeitos do excesso de água no solo nas plantas ...	25
2.1.4 Coeficiente de Drenagem	29
2.2 Material e métodos	32
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental	32
2.2.2 Descrição da estrutura experimental.....	32
2.2.3 Inundação dos lisímetros	33
2.2.4 Metodologia para o estabelecimento das diferentes velocidades de rebaixamento.....	36
2.2.5 Cálculo das profundidades intermediárias do lençol freático.....	36
2.2.6 Planejamento estatístico	40
2.2.7 Condução do experimento	40
2.2.8 Determinação do pH do solo	41
2.2.9 Manejo da irrigação	41
2.2.10 Determinação das variáveis micro-climáticas do ambiente protegido	42
2.2.11 Variáveis biométricas avaliadas	43
2.2.11.1 Planejamento estatístico	43
2.2.11.2 Área foliar	44
2.2.11.3 Índice de área foliar	44
2.2.11.4 Perfilhamento	45
2.2.11.5 Diâmetro do colmo	45

2.2.11.6 Número de folhas	45
2.2.11.7 Altura de plantas	45
2.2.11.8 Produção e seus componentes.....	45
2.2.11.10 Fitomassa da Raiz	46
2.2.11 Variáveis relativas às características químicas – tecnológicas	46
2.2.11.1 Sólidos Solúveis (°Brix).....	47
2.2.11.2 Pol	48
2.2.11.3 Açúcar redutores do caldo (AR)	48
2.2.11.4 Açúcares redutores da cana (ARC).....	49
2.2.11.5 Açúcar teórico recuperável (ATR).....	49
2.2.11.6 Pureza aparente	49
2.2.11.7 Fibra	50
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.1 Variáveis climáticas	51
3.1.2 pH do solo submetido ao encharcamento	53
3.1.3 Variáveis relativas ao desenvolvimento das plantas	55
3.1.3.1 Área foliar	56
3.1.3.2 Índice de área foliar.....	57
3.1.3.3 Número de perfilhos.....	58
3.1.3.4 Altura dos colmos	60
3.1.3.5 Número de folhas	61
3.1.3.6 Diâmetro dos colmos	62
3.1.4 Produtividade e seus componentes	63
3.1.4.1 Massa verde dos colmos	64
3.1.4.2 Massa seca dos colmos	65
3.1.4.3 Massa verde da ponteira.....	66
3.1.4.4 Massa seca da ponteira.....	67
3.1.4.5 Massa verde total	67
3.1.4.6 Massa seca total	68
3.1.4.7 Fitomassa de Raiz	69
3.1.5 Variáveis químico-tecnológicas	73

3.1.5.1 Porcentagem em massa de sólidos solúveis (°Brix)	74
3.1.5.2 Porcentagem em massa de sacarose aparente (Pol).....	75
3.1.5.3 Açúcar redutor da cana (ARC)	77
3.1.5.3 Fibra.....	78
3.1.5.4 ATR	79
4 CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	83

RESUMO

Sensibilidade da primeira soca da cana-de-açúcar ao excesso de água no solo

A expansão do cultivo da cana-de-açúcar irá promover a incorporação de novas áreas ao processo produtivo e, neste processo, áreas com problemas de drenagem possivelmente serão utilizadas. Para o bom aproveitamento destas áreas, o dimensionamento correto de sistemas de drenagem é importante. No dimensionamento racional em regime não permanente, é necessário se conhecer a velocidade mínima de rebaixamento do lençol freático a ser proporcionado pelos drenos, o que depende da sensibilidade de cada cultura. Assim, este trabalho teve como objetivos determinar o efeito de diferentes velocidades de rebaixamento do nível freático, em diferentes estádios de desenvolvimento, da primeira soca da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em 64 lisímetros de lençol freático, em um delineamento experimental de blocos casualizados, arranjado em um fatorial de $(3 \times 5 + 1) \times 4$, sendo 3 estádios de desenvolvimento, 5 velocidades de rebaixamento do nível freático, mais uma testemunha que não sofreu estresse por excesso de umidade, com 4 repetições. A primeira soca da cana-de-açúcar mostrou-se resistente ao encharcamento do solo nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura e para as diferentes velocidades de rebaixamento do nível freático, sem maiores prejuízos no desenvolvimento da planta e perdas de produtividade, entretanto para a variável ATR (açúcar teórico recuperável) a cana-soca apresentou-se mais sensível quando a inundação ocorrera no estágio de rebrota. A condição de inundação não alterou o pH solo.

Palavras-chave: *Saccharum spp*; Encharcamento; Nível freático; Drenagem

ABSTRACT

First leaf of sugar cane sensitivity to soil

The expansion of sugar cane cultivation will promote the incorporation of new areas in the process, and in this process, areas with drainage problems possibly artificial drainage maybe used. For the proper use of these areas the correct drainage design of the systems is important. For the non-permanent rational design, it is necessary to determine the minimum speed of lowering the water table to be provided by the drains, which depends on the sensitivity of each culture. This work aims to determine the effect of different speeds of lowering the water table at different stages of development of first ratoon of sugar cane. The experiment was conducted in 64 lysimeters the water table in a randomized block design, arranged in a factorial $(3 \times 5 + 1) \times 4$, with 3 stages of development, 5-speed to lower the water table and a treatment who will not suffer stress by excessive moisture. The first sugar cane re-sprout has presented endurance to the soil flooding at the different culture stages and to the different lowering water table speeds, without higher damages to the vegetable development or even farm productivity, but according to the ATR variable, the sugar cane ratoon has shown more sensitive when the flooding has happened at the re-sprouting stage. It was conclude that none of the speeds of lowering tested at the 3 stages reduced yield. The flooding conditions did not affect soil pH.

Keywords: *Saccharum* spp; Waterlogging; Water table; Drainage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de Gleissolos município de Boa Vista, no Monte Cristo - RR, e a paisagem típica de ambiente hidromórfico. (VALE JÚNIOR, 2004)	26
Figura 2 – Perfil representativo de um Plintossolo, mostrando a plintização no Horizonte Btf. A foto ao lado mostra a paisagem característica destes solos, em áreas cultivadas com arroz inundado, nas várzeas do Rio Parimé, em Roraima (VALE JÚNIOR, 2004). ..	27
Figura 3 – Perfil representativo de um Espodossolo, mostrando em subsuperfície o horizonte Bh e a paisagem sobre estes solos. (VALE JÚNIOR, 2004)	27
Figura 4 – Ambiente protegido no qual foi conduzido o experimento.....	32
Figura 5 – Esquema das caixas d’água.....	33
Figura 6 – Esquema de um lisímetro (parcela).....	34
Figura 7 – Reservatório com chave bóia (A) e tubo de alimentação (B)	35
Figura 8 – Poço de observação (A) e piezômetro (B)	35
Figura 9 – Dataloger 21 e multiplexador de dezesseis canais (Campbell Scientific) (A) e sensor de temperatura (B).	42
Figura 10 – A) Aparelho desintegrador; B) Betoneira	47
Figura 11 – A) Amostra do bolo úmido; B) Prensa hidráulica com amostra do caldo	47
Figura 12 – Refratômetro digital	48
Figura 13 – Perfis das temperaturas médias monitoradas ao longo de 12 dias durante o primeiro período de aplicação dos tratamentos	51
Figura 14 – Perfis das temperaturas médias monitoradas, ao longo de 9 dias, durante o segundo período de aplicação dos tratamentos	51
Figura 15 – Perfis das temperaturas médias monitoradas, ao longo de 15 dias, durante o terceiro período de aplicação dos tratamentos	52
Figura 16 – Temperatura média do ar, ao longo de 15 dias durante o primeiro período da inundação dos lisímetros (Posto Meteorológica da Esalq – Piracicaba,SP).....	52
Figura 17 – Temperatura média do ar, ao longo de 15 dias durante o segundo período da inundação dos lisímetros (Posto Meteorológica da Esalq – Piracicaba,SP).....	53

Figura 18 – Temperatura média do ar, ao longo de 15 dias durante o segundo período da inundação dos lisímetros (Posto Meteorológica da Esalq – Piracicaba,SP)	53
Figura 19 – Médias de pH do solo, considerando o fator período	54
Figura 20 – Área foliar média da primeira soca da cana-de-açúcar, segundo os diferentes tratamentos	57
Figura 21 – Área foliar média nas parcelas, em seis avaliações realizadas ao longo do ciclo da cana-soca.....	57
Figura 22 – Índice área foliar médio da primeira soca da cana-de-açúcar segundo os diferentes tratamentos.....	58
Figura 23 – Índice de área foliar médio nas parcelas, em sete avaliações, ocorridas ao longo do ciclo da cana-soca.	58
Figura 24 – Número de perfilhos segundo os diferentes tratamentos.....	59
Figura 25 – Número de perfilhos nas parcelas, em sete avaliações ocorridas ao longo do ciclo da cana-soca.	60
Figura 26 – Altura média dos colmos segundo os diferentes tratamentos.....	60
Figura 27 – Altura média dos colmos nas parcelas, em sete avaliações realizadas ao longo do ciclo da cana-soca.	61
Figura 28 – Número médio de folhas segundo os diferentes tratamentos	61
Figura 29 – Número médio de folhas dos colmos das parcelas, em sete avaliações realizadas ao longo do ciclo da cana-soca.	62
Figura 30 – Diâmetro médio dos colmos segundo os diferentes tratamentos.....	62
Figura 31 – Massa verde média dos colmos nas parcelas, segundo os períodos nos quais o estresse foi aplicado	65
Figura 32 – Massa seca média dos colmos (MSC), considerando os diferentes períodos nos quais o estresse foi aplicado.	65
Figura 33 – Massa verde da ponteira, considerando os diferentes períodos de aplicação do estresse por encharcamento.....	66
Figura 34 – Massa seca da ponteira, segundo os diferentes períodos de aplicação dos tratamentos.	67
Figura 35 – Massa verde total dos colmos, considerando os diferentes períodos de aplicação do estresse.	68

Figura 36 – Massa seca total dos colmos, segundo os períodos de aplicação das inundações.....	68
Figura 37 – A) Massa verde da raiz da cana-soca; B) Sistema radicular sobre um tambor	69
Figura 38 – Massa seca média da raiz de 0 - 0,40 m segundo os diferentes tratamentos.....	70
Figura 39 – Massa seca média da raiz, de 0,40 - 0,80 m, segundo os diferentes tratamentos.....	71
Figura 40 – Massa seca média da raiz nas parcelas, considerando a interação velocidade*período	71
Figura 41 – a) Massa seca média da raiz de 0 – 0,40 m, segundo os períodos; b) Massa seca da raiz de 0,40-0,80 m segundo os períodos de aplicação das inundações	72
Figura 42 – Proporção de massa seca da raiz nas duas profundidades 0 a 0,40 e 0,40 a 0,80 m ..	73
Figura 43 – Brix médio nas parcelas, considerando o efeito dos diferentes tratamentos.....	74
Figura 44 – Brix médio nas parcelas, em função dos períodos em que ocorreram as inundações	75
Figura 45 – Pol médio nas parcelas, considerando o efeito dos diferentes tratamentos.....	76
Figura 46 – Pol médio nas parcelas em função dos diferentes períodos de aplicação das inundações	76
Figura 47 – ARC médio nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos.....	77
Figura 48 – ARC médio nas parcelas, segundo os períodos nos quais foram aplicadas as inundações	78
Figura 49 – Percentual médio de fibra nas parcelas, considerando os períodos como causa de variação.....	79
Figura 50 – Açúcar teórico recuperável nas parcelas considerando os Tratamentos	79
Figura 51 – Açúcar teórico recuperável nas parcelas, considerando os períodos como causa da variação.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Profundidade de rebaixamento do nível freático	38
Tabela 2 – Esquema da análise de variância utilizada para o experimento com a cultura	40
Tabela 3 – Análise de variância para a variável do solo pH.....	41
Tabela 4 – Análise de variância utilizada para dados obtidos para os parâmetros biométricos....	43
Tabela 5 – Resultado do quadrado médio da análise de variância do potencial de hidrogênio (pH).	54
Tabela 6 – Resultado da análise de variância da área foliar, índice de área foliar (IAF), número de entrenós, nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos	55
Tabela 7 – Resultado da análise de variância da altura média dos colmos, número de folhas, número de perfilhos, nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos.....	55
Tabela 8 – Resultado da análise de variância do diâmetro do colmo segundo os diferentes tratamentos	56
Tabela 9 – Resultado dos quadrados médios da análise de variância da massa verde dos colmos (MVC), massa seca dos colmos (MSC), massa verde da ponteira (MVP), massa seca da ponteira (MSP), nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos.	63
Tabela 10 – Resultado dos quadrados médios da análise de variância do peso seco das folhas do ciclo (PSFCiclo), massa verde total (MVT), massa seca total (MST), nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos	64
Tabela 11 – Resultado da análise de variância para massa seca raiz medida em duas profundidades nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos	70
Tabela 12 – Resultado dos quadrados médios da análise de variância do Brix, Pol, ARC, Fibra e ATR nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos	73

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a mudança do clima e o preço elevado do petróleo acarretou na procura por combustíveis alternativos, que propiciem uma redução dos gases que contribuem para o aquecimento global. Assim, o álcool produzido da cana-de-açúcar passou a atrair ainda mais atenção como uma fonte alternativa.

Além da produção de combustível, a cana-de-açúcar assume papel importante na geração de energia. Segundo a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), a cana-de-açúcar é a segunda mais importante fonte de energia primária do Brasil.

Estimativa realizada pelo setor, com base num índice de crescimento de 6%, mostra que serão necessários 554 milhões de toneladas de cana para atender, em 2010, o consumo de 27,42 bilhões de litros de álcool, sendo 21,22 bilhões de litros para o mercado interno e 5,2 bilhões de litros para a exportação. Para atender a esta demanda, será preciso aumentar em 40% a produção nacional de cana-de-açúcar, o que representará um acréscimo de aproximadamente 2,4 milhões de hectares de cana (CNA, 2005).

É importante levar em consideração, no processo de expansão das áreas para a produção de cana-de-açúcar, o impacto ambiental gerado, tanto pela substituição de outras culturas, quanto pela abertura de novas áreas, anteriormente ocupadas pela vegetação natural e também, os impactos sociais e econômicos.

No Brasil, há disponibilidade de grandes áreas potencialmente aptas para o aumento do cultivo de cana-de-açúcar. Entretanto, algumas apresentam drenagem insuficiente, como é o caso das áreas com excesso de umidade. Para corrigir esse problema, é necessário a utilização de sistemas de drenagem, dimensionados de forma correta, levando em consideração critérios técnicos e ambientais.

Outro aspecto importante é a longevidade do canavial, pois o aumento do número de cortes econômicos reflete-se num prazo maior de tempo entre as reformas do canavial, resultando em economia do empreendimento; dessa forma é necessário o conhecimento do efeito do estresse por excesso de umidade nos cortes sucessivos da cana-de-açúcar, antes da implantação da cultura nestes ambientes.

Um dos principais parâmetros para o dimensionamento de sistemas de drenagem é o espaçamento dos drenos.

A definição do espaçamento depende da obtenção de valores representativos das propriedades físico-hídricas e geométricas do perfil do solo, da escolha de uma equação de espaçamento adequada e da utilização de um critério de drenagem, que seja comprovadamente apropriado para a cultura e região em questão.

Assim sendo, os objetivos desse trabalho são:

- 1- Quantificar a sensibilidade ao encharcamento do solo, em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-soca;
- 2- Comparar a produtividade da cana-soca em relação à cana-planta;
- 3- Definir a velocidade média mínima de rebaixamento do lençol freático, capaz de manter a produtividade e a qualidade do caldo;
- 4- Obter uma relação entre a condição de inundação e o pH do solo;

Em função dos objetivos propostos, as seguintes hipóteses foram estabelecidas:

- 1- A cana-soca apresenta sensibilidade ao encharcamento do solo, em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura;
- 2- O encharcamento do solo é capaz de diminuir a produtividade da cana-soca;
- 3- Existe uma velocidade média mínima de rebaixamento do NF (nível freático), capaz de manter a produtividade e a qualidade do caldo da cana-soca;
- 4- A condição de inundação altera o pH do solo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Aspectos gerais da cultura e a importância econômica da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar tem como origem a Ásia, provavelmente a Nova Guiné. A temperatura ótima para o brotamento das mudas é de 32 a 38 °C. Para um ótimo crescimento, o ambiente deve apresentar médias de temperaturas diurnas entre 22 e 30 °C. Abaixo de 20 °C diminui a taxa de crescimento; porém, para a maturação e colheita, se faz necessário à redução da temperatura para 10 a 20 °C; com isso, ocorre diminuição na taxa de crescimento e maior acúmulo de sacarose, produto mais nobre da cana e objetivo da indústria sucro-alcooleira (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

No Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) ocupa posição de destaque, pois se trata de uma cultura que possui um alto suporte econômico, possibilita fontes alternativas de energia, possuindo ainda grande importância social, pela mão-de-obra empregada (SCARDUA, 1985).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar; detém 40% do comércio internacional, podendo aumentar a participação com a retirada dos subsídios praticados pela União Européia, determinada pela Organização Mundial do Comércio (OMC). Contudo, será o álcool o propulsor do crescimento do setor, principalmente pelo aumento da demanda interna em função do crescimento da frota de veículos “flex”, e pela valorização do combustível brasileiro no cenário internacional, uma vez que o etanol derivado da cana-de-açúcar figura como alternativa energética, que atende às preocupações das economias mundiais, pois é renovável, polui menos e reduz a dependência do petróleo (ORTOLAN, 2006,).

A região Sudeste se destaca em primeiro lugar no país com uma produção de 217,21 milhões de toneladas, seguida pela Região Nordeste com 58,86 milhões de toneladas (IBGE, 2000).

Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o açúcar e o álcool ocupam a terceira posição no ranking das exportações do agronegócio brasileiro, ficando atrás do complexo da soja (grão, farelo e óleo) e das carnes.

Com isso, as perspectivas para o setor são as mais otimistas; segundo projeções da Câmara Setorial do Açúcar e do Alcool em 2010, a produção deve atingir 570 milhões de toneladas de cana-de-açúcar 184 milhões acima da produção de 2008.

2.1.2 Cana-soca

De acordo com Câmara (1993), o processo produtivo canavieiro visa três princípios básicos: produtividade; qualidade e longevidade do canavial.

A cana-de-açúcar é originalmente uma planta perene. Possuindo uma estrutura tipo rizoma rente ao chão, ela brota sempre que a parte aérea for cortada. Essa nova brotação é genericamente denominada soqueira. A primeira vegetação após o plantio é denominada cana-planta, enquanto que as soqueiras são denominadas de primeira soca, segunda soca, etc, conforme as colheitas vão se sucedendo. As soqueiras têm importância econômica muito grande, pois é delas que se retira o maior retorno monetário nessa cultura (MATSUOKA, 1996).

Como a soqueira se desenvolve a partir da brotação das gemas da base dos colmos colhidos na safra anterior, e que estão submersos no solo, o seu comportamento fisiológico é distinto daquele da cana-planta. Primeiramente, a distinção resulta da diferença de desenvolvimento inicial de um broto originário; de uma gema do tolete, na cana-planta, e daqueles originários de rizoma, na cana-soca. Dada a grande quantidade de gemas nos rizomas, ocorre normalmente uma grande quantidade de perfilhos primários numa mesma touceira, diferentemente da cana-planta que, além disso, se desenvolve com mais rapidez. No final do ciclo, o número de colmos acaba sendo maior na soca do que na cana-planta, devido à maior velocidade de brotação e formação de perfilhos, assim a maturação da soqueira se dá mais precocemente (MATSUOKA, 1996).

O maior crescimento de raízes pode favorecer a produtividade das soqueiras subseqüentes (OTTO et. al., 2009).

O tamanho e a distribuição do sistema radicular são diretamente afetados pela distribuição e disponibilidade da água, o que causa diferenças na capacidade das plantas de explorar camadas mais profundas do solo (SMITH et al., 2005).

De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), o sistema radicular da cana-de-açúcar atinge até 5 m de profundidade, mais em áreas irrigada 100% da água é extraída de 1,2 a 2,0 m de

profundidade, no Máximo; a distribuição do sistema radicular apresenta aproximadamente 50% (em peso) de raízes nos primeiros 20 cm de profundidade e 85% até os 60 cm de profundidade do solo (BLACKBURN, 1984).

Sampaio et al. (1987) constataram que 75% das raízes encontravam-se nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e que 55% delas estavam concentradas num raio de 30 cm da touceira.

Dessa forma, o conhecimento do efeito do nível freático elevado nas socas da cana-de-açúcar é importante no planejamento da lavoura em solos com drenagem natural deficiente, pois, a reforma no canavial feita em um curto espaço de tempo resulta em prejuízo financeiro, uma vez que a implantação da cultura requer altos investimentos.

Alguns autores afirmam que o nível freático pouco profundo não afeta a rebrota da cana-de-açúcar. Pitts et al. (1993), estudando a influência de diferentes profundidades do nível freático na produção de cana-de-açúcar em solo arenoso na Flórida, descreve que não há provas para afirmar que a longevidade do canavial é afetada pelo nível do lençol freático.

Carter e Floyd (1973), estudando os efeitos da drenagem subterrânea e irrigação da cana-de-açúcar, verificaram um aumento de 24 para 62% na produtividade da cana e também no número de cultivos de 3 para 5 cortes. Já Paula (2008) verificou um decréscimo de 40% da produção da cana-soca em relação à cana-planta, quando o nível freático permaneceu constante a 40 cm da superfície do solo.

2.1.3 Solos com deficiência de drenagem e os efeitos do excesso de água no solo nas plantas

As várzeas ou planícies de inundação localizam-se nas margens dos rios, ribeirões, lagos, pântanos. São áreas propensas a inundações no período de chuvas, pois o nível freático é pouco profundo (CURI; RESENDE; SANTANA, 1988).

Inundações temporárias ou contínuas são comuns por todo o mundo. No Brasil, são milhões de hectares de áreas inundáveis. Na Amazônia, existem dados indicando que até 10 milhões de hectares são áreas de pastagens inundadas. No Pantanal Matogrossense, a maior parte de seus 4 milhões de hectares é utilizada como pastagem em áreas que se alagam na época das cheias (HADDAD et al. 2000).

Os solos da Amazônia, em termos de ocorrência de classes, não diferem substancialmente daqueles ocorrentes nas demais regiões do Brasil. Entretanto, a região possui uma proporção relativamente maior de plintossolos (7,34%), gleissolos (6,13%) e espodossolos hidromorficos (1,95%), quando se compara com as outras regiões brasileiras (Figura 1, 2, e 3), (VALE JÚNIOR, 2004).

Figura 1 – Perfil de Gleissolos município de Boa Vista, no Monte Cristo - RR, e a paisagem típica de ambiente hidromórfico (VALE JÚNIOR, 2004)

Figura 2 – Perfil representativo de um Plintossolo, mostrando a plintização no Horizonte Bt. A foto ao lado mostra a paisagem característica destes solos, em áreas cultivadas com arroz inundado, nas várzeas do Rio Parimé, em Roraima (VALE JUNIOR, 2004)

Figura 3 – Perfil representativo de um Espodossolo, mostrando em subsuperfície o horizonte Bh e a paisagem sobre estes solos (VALE JUNIOR, 2004)

Devido à baixa condutividade hidráulica e às altas precipitações o lençol freático se eleva e permanece próximo à superfície do solo por períodos relativamente longos. A condição de baixa aeração na zona radicular afeta o crescimento das plantas e resulta em baixa produtividade (KRAMER, 1969).

O excesso de água no solo reduz as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. Dessa forma condições de drenagem pobre, em geral, acompanham deficiência de O_2 , causando redução da respiração e do volume total de raízes, aumento da resistência no transporte de água e nutrientes na planta, e formação de compostos tóxicos no solo e na planta (CRUCIANI, 1986)

A anoxia ou hipoxia sofrida pelo sistema radicular em plantas inundadas provoca queda imediata na respiração das raízes, tanto em plantas tolerantes como nas não tolerantes (LIAO; LIN 2001).

A redução da taxa de crescimento da raiz é a primeira resposta ao estresse por excesso de umidade no solo. Quando a concentração de oxigênio no solo diminui a níveis críticos, rapidamente o metabolismo das raízes é restringido (JACKSON; DREW, 1984).

Espécies vegetais mais sensíveis ao alagamento, ou encharcamento do solo, desenvolvem sintomas resultantes, principalmente de distúrbios causados pela hipoxia ou anoxia nas raízes. Os mais comuns e mais facilmente observados são: a abscisão de folhas, flores e frutos, a clorose nas folhas, a diminuição no comprimento da raiz principal, a diminuição no crescimento em altura, inibição da formação de primórdios foliares e queda na expansão foliar, podendo culminar com a morte da planta (ARMSTRONG et al. 1994; KOZLOWSKI, 1984; DREW, 1997; LIZASO et al. 2001).

Com baixa concentração de O_2 no solo, e conseqüente o comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular, a planta pode emitir raízes adventícias, que promovem o aumento da superfície de contato entre as raízes e o meio ambiente, restabelecendo, em parte, a absorção de água, oxigênio e nutrientes. Essa é uma resposta comum em plantas tolerantes (ARMSTRONG et al. 1994; LIAO; LIN, 2001). Estas modificações morfo-anatômicas permitem a difusão do oxigênio da parte aérea da planta para as raízes, mantendo temporariamente o processo de respiração aeróbica (SÁ et al. 2004).

A elevação excessiva e prolongada do nível freático do solo, quando coincide com a época de maior sensibilidade da cultura, tem sido um dos fatores considerados mais adversos à produção em terras baixas (HADDAD et al. 2000).

A tolerância e, por conseguinte, a extensão dos danos causados pelas inundações depende da espécie cultivada, do estágio de desenvolvimento da cultura, da duração do fenômeno, da temperatura predominante no momento da inundação e dos micro-organismos formados durante o processo (RUSSELL, 1959; LETEY, STOLZY, BLANK, 1962).

Experimentos realizados com as culturas do trigo, feijão, pimentão e milho, mostraram que o estágio em que o encharcamento causa maior redução de produtividade é a floração e que, no estágio final do ciclo, o efeito adverso do encharcamento diminui (CRUCIANI, 1981b; SILVA, 1982; CRUCIANI; MINAMI, 1982; CRUCIANI, 1985).

2.1.4 Coeficiente de Drenagem

O efeito principal da drenagem de terras baixas é a redução da umidade do solo e consequentemente, a modificação das suas propriedades físicas. O efeito secundário e o objetivo principal é o melhoramento das propriedades mecânicas, químicas e biológicas do solo (LUTHIN, 1967).

Segundo Cruciani (1986), o objetivo fundamental da drenagem de solos agrícolas é impedir a ocorrência de condições de excesso de umidade na zona das raízes, o que acarreta danos à fisiologia da planta, e com reflexos de ordem econômica.

Para Bower (1974), em projetos de drenagem, as maiores limitações têm sido ausência de coeficientes que representem os requerimentos de drenagem das diversas culturas sob condições locais.

Alguns índices têm sido utilizados para relacionar a redução na produtividade com a ocorrência de flutuação do lençol freático acima de um nível crítico.

O efeito da variação do nível freático na produção de algumas culturas foi estudado por Sieben (1964, APUD BOWER, 1974). Sieben introduziu o conceito de SEW_p (somatório dos excedentes de água acima da profundidade p), para determinar os efeitos das flutuações do lençol freático sobre culturas de cereais durante a estação de inverno. O valor de SEW_p pode ser obtido a partir da eq (1).

$$SEW_p = \sum_{j=1}^m (P - X_j) \quad (1)$$

em que:

SEW_p = somatório dos excedentes de água acima da profundidade “p”, cm dia;

P = profundidade crítica do lençol freático, cm;

X_j = profundidade média do lençol freático durante o dia j, cm;

m = número de dias em que o lençol freático permanece acima de p durante o ciclo da cultura.

Segundo Wesseling (1974), Sieben considerou como nível crítico do lençol freático a profundidade de 30 cm e passou a utilizar a sigla SEW30. Além de fornecer uma indicação sobre o tempo de permanência do lençol freático a uma profundidade menor que 30 cm, o índice SEW30 permite também uma avaliação da qualidade da drenagem (OBREZA et al.; 1993). Sieben observou que a produção de algumas culturas começa a decrescer quando os valores de SEW30 encontram-se entre 100 a 200 cm dia.

O índice diário de estresse (IDS) permite determinar o grau de estresse imposto a uma cultura durante diferentes estádios de desenvolvimento. O IDS é aplicável não só para caracterizar as necessidades de irrigação, como também as de drenagem, servindo então para avaliar tanto os efeitos da deficiência quanto do excesso de água no solo (HILER, 1969; HILER e CLARK, 1971).

O índice diário de estresse (IDS), proposto por Hiler (1969) é obtido pela eq. (2).

$$IDS = \sum_{i=1}^n (SC_i SEW_{30}) \quad (2)$$

em que:

n – número de estádios de desenvolvimento;

SC – coeficiente de sensibilidade da cultura, adimensional;

SEW30 – somatório das alturas diárias do lençol freático acima da profundidade de 30 cm, cm dia;

O coeficiente de sensibilidade da cultura pode ser determinado, para diferentes períodos de aplicação do estresse, pela eq. (3).

$$SC_i = \frac{Y - Y_i}{Y} \quad (3)$$

em que:

Y – produção obtida em plantas não inundadas (testemunhas);

Y_i – produção em plantas submetidas à inundação no período i .

A determinação do SC consiste em submeter à cultura a um nível específico de estresse (em razão de condições de excesso de água no solo), em cada um dos estádios de desenvolvimento, e comparar a produtividade com a de um tratamento testemunha que não sofreu estresse. Os valores de SC variam de zero, para o estádio no qual a cultura é insensível ao estresse, até valores próximos de um, para os estádios em que a cultura é mais sensível ao excesso de água no solo (AHMAD; KANWAR, 1989).

2.2 Material e métodos

2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido no período de 16/09/08 a 05/08/09. A área experimental localiza-se no Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, no município de Piracicaba-SP, cujas coordenadas geográficas de referências são de 22° 42’ de latitude Sul e 47° 38’ de longitude oeste, a 540 m de altitude.

Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo CWa (Tropical Úmido) sendo os meses de junho, julho e agosto os mais secos, com chuvas de verão e secas de inverno, temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e do mês mais frio inferior a 18 °C.

2.2.2 Descrição da estrutura experimental

O experimento foi conduzido em um ambiente protegido, com cobertura em forma de arco, com 6,40 m de largura e 22,50 m de comprimento, e um pé direito de 4,0 m. A parte superior é coberta com uma manta de polietileno de baixa densidade, transparente, com 0,10 mm de espessura; as partes laterais e frontais são revestidas de telas antifídeas e há um rodapé de 0,20 m em concreto armado (Figura 4).

Figura 4 – Ambiente protegido no qual foi conduzido o experimento

A cana-soca foi cultivada em lisímetros de lençol freático, que representaram as parcelas, instalados no interior do ambiente protegido. Estes lisímetros constituem-se de tubulões de concreto impermeabilizados com 1,2 m de altura e 0,5 m de diâmetro, totalizando 0,20 m² de área plantada, e 240 litros de volume útil.

O fornecimento de água para os lisímetros é realizado através de dois reservatórios de cimento-amianto, com capacidade de 1000 litros cada, munidos de uma chave bóia e instalados a 1,8 m da superfície do solo sobre um tablado de madeira com 2,5 m de comprimento, 1,6 m de largura e 1,6 m de altura, localizado no interior do ambiente protegido (Figura 2).

Figura 5 – Esquema das caixas d'água

2.2.3 Inundação dos lisímetros

Para admissão de água e para a drenagem foram feitos orifícios, próximos à base dos lisímetros, onde foram inseridos tubos de PVC de 19 mm de diâmetro, vedados com massa epóxi e veda calha. Os tubos têm comprimento de 0,60 m, com furos de 5 mm em seu perímetro, espaçados entre si de 0,05 m; para facilitar a drenagem e evitar o carreamento de partículas de solo, utilizou-se manta geotextil do tipo Bidim (OP – 20) e uma camada de 0,10 m de brita lavada.

Cada lisímetro possui uma entrada para água na parte inferior. Estas entradas foram conectadas aos reservatórios móveis auxiliares, permitindo manter o nível freático no interior dos

lisímetros na profundidade desejada, como mostra a Figura 3, um esquema de um lisímetro-parcela.

O abastecimento de água aos lisímetros é feito através de uma rede subterrânea de tubos de PVC e de polietileno, de 19,0 e 12,5 mm de diâmetro, respectivamente, enterrados a 0,20 m de profundidade e, localizados entre as linhas da bateria de tubulões. Os tubos de PVC foram cortados para a instalação das derivações onde foram acopladas as mangueiras de polietileno de 12,5 mm, conectadas aos reservatórios retangulares de 0,30 x 0,27 x 0,40 m, confeccionados a partir de bombonas de 30 litros, providos com chaves bóia (Figura 4). A saída de água para os lisímetros é controlada por um mini registro (Figura 5). Estes reservatórios são utilizados para controlar e manter constante o nível freático no interior dos lisímetros, individualmente, durante a realização dos tratamentos. Para melhor visualização do nível freático e visando facilitar a aplicação dos tratamentos, foram instalados, em todas as parcelas, poços de observação confeccionados com tubos de PVC de 0,80 m de comprimento, perfurados com furos 4,0 mm de diâmetro (Figura 6), envolvidos com manta geotextil (Bidim OP-20). Instalaram-se, também piezômetros de mangueiras de cristal de 7 mm de diâmetro, apoiadas em sarrafos de madeira (Figura 7).

Figura 6 – Esquema de um lisímetro (parcela)

Figura 7 – Reservatório com chave bóia (A) e tubo de alimentação (B)

Figura 8 – Poço de observação (A) e piezômetro (B)

2.2.4 Metodologia para o estabelecimento das diferentes velocidades de rebaixamento

Para estudar o efeito causado pelas diferentes velocidades de rebaixamento do nível freático, na primeira soca da cana-de-açúcar (soca), foi adotada a metodologia utilizada por Willianson e Schilfgaarde (1965), comumente empregada em pesquisas sobre o desenvolvimento de culturas sob condições de solos inundados, tanto em casa de vegetação quanto em experimentos de campo. A metodologia consiste na elevação do NF, em determinado estágio de desenvolvimento da cultura, durante intervalos de tempo, e posterior rebaixamento do mesmo. Neste trabalho, foi realizado o rebaixamento do NF em diferentes velocidades, após um período de inundação do sistema radicular das plantas. Essa inundação foi determinada pelos estádios de desenvolvimento da cultura. A inundação do primeiro período ocorreu aos 44 DAC (dias após o corte), quando as plantas encontravam-se em estágio de rebrota; a inundação do segundo período ocorreu aos 210 DAC, quando as plantas encontravam-se em estágio de formação de produção, e o terceiro período de estresse ocorreu aos 300 DAC, estágio em que a cana-soca encontrava-se em maturação, sendo este período próximo da colheita.

O efeito da inundação nas plantas foi estudado com o rebaixamento progressivo do NF a uma profundidade de 30 cm, em 3, 6, 9, 12 e 15 dias, após manter uma lâmina de 2 cm, aproximadamente, acima da superfície do solo, por 12 horas. Em seguida o rebaixamento progressivo foi feito até a drenagem total do lisímetro.

Cada lisímetro foi inundado uma única vez, no momento em que a planta atingiu o estágio fenológico estabelecido, exceto para o tratamento controle (testemunha), que foi apenas irrigado.

2.2.5 Cálculo das profundidades intermediárias do lençol freático

Para o estabelecimento das profundidades intermediárias do lençol freático, relativas aos diferentes tratamentos durante os rebaixamentos, foi utilizada a fórmula de Boussinesq e Glover (SCHILFGAARDE, 1974) representada pela eq. (4).

$$S^2 = \frac{9 \cdot K \cdot t}{2 \cdot \alpha} \cdot \left(\frac{h_0 \cdot h_t}{h_0 - h_t} \right) \quad (4)$$

em que:

S – espaçamentos entre drenos, m ;

K – condutividade hidráulica do solo saturado, m d⁻¹ ;

t – tempo de rebaixamento, d ;

α – porosidade drenável, decimal ;

h_0 – distância inicial do lençol em relação ao plano que passa na linha dos drenos, m; e

h_t – distância final do lençol freático em relação ao plano que passa na linha dos drenos, m.

Desenvolvendo-se a eq. (4), obtém-se:

$$\frac{S^2 \cdot 2 \cdot \alpha}{9 \cdot K} = \frac{t \cdot h_0 \cdot h_t}{(h_0 - h_t)} \quad (5)$$

Introduzindo uma variável auxiliar W , tem-se a eq. (6):

$$W = \frac{S^2 \cdot 2 \cdot \alpha}{9 \cdot K} \quad (6)$$

Substituindo-se a eq. (6) em (5), obtém-se a eq. (7):

$$W = \frac{t \cdot h_0 \cdot h_t}{(h_0 - h_t)} \quad (7)$$

Explicitando-se o valor de h_t na eq. (7), tem-se a eq. (8):

$$h_t = \frac{W \cdot h_0}{(W + t \cdot h_0)} \quad (8)$$

Considerando $h_0 = 0,80$ m (distância do centro do tubo de drenagem à superfície do solo) e $h_t = 0,50$ m (distância do centro do tubo de drenagem ao plano localizado a uma profundidade de 0,30 m abaixo da superfície do solo), para t igual a 3, 6, 9, 12 e 15 dias, obtém-se os valores de W igual a 4, 8, 12, 16 e 20, pela eq. (7). A eq. (8), aplicada com estes valores de W , foi utilizada para o cálculo das profundidades intermediárias do lençol freático, visando contabilizar o fato do rebaixamento do lençol não ser linear. Como resultados foram obtidos as profundidades apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Profundidade de rebaixamento do nível freático

(Continua)

Dias	Rebaixamento de 30 cm em				
	3 dias	6 dias	9 dias	12 dias	15 dias
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	-7,3	-3,8	-2,6	-2,0	-1,6
1	-13,3	-7,3	-5,0	-3,8	-3,1
1,5	-18,5	-10,4	-7,3	-5,6	-4,5
2	-22,9	-13,3	-9,4	-7,3	-5,9
2,5	-26,7	-16,0	-11,4	-8,9	-7,3
3	-30,0	-18,5	-13,3	-10,4	-8,6
3,5	-32,9	-20,7	-15,1	-11,9	-9,8
4	-35,6	-22,9	-16,8	-13,3	-11,0
4,5	-37,9	-24,8	-18,5	-14,7	-12,2
5	-40,0	-26,7	-20,0	-16,0	-13,3
5,5	-41,9	-28,4	-21,5	-17,3	-14,4
6	-43,6	-30,0	-22,9	-18,5	-15,5
6,5	-45,2	-31,5	-24,2	-19,6	-16,5
7	-46,7	-32,9	-25,5	-20,7	-17,5
7,5	-48,0	-34,3	-26,7	-21,8	-18,5
8	-49,2	-35,6	-27,8	-22,9	-19,4
8,5	-50,4	-36,8	-28,9	-23,9	-20,3
9	-51,4	-37,9	-30,0	-24,8	-21,2
9,5	-52,4	-39,0	-31,0	-25,8	-22,0
10	-53,3	-40,0	-32,0	-26,7	-22,9
10,5	-54,2	-41,0	-32,9	-27,5	-23,7
11	-55,0	-41,9	-33,8	-28,4	-24,4
11,5	-55,8	-42,8	-34,7	-29,2	-25,2
12	-56,5	-43,6	-35,6	-30,0	-25,9
12,5	-57,1	-44,4	-36,4	-30,8	-26,7

Tabela 1 – Profundidade de rebaixamento do nível freático

(conclusão)

13	-57,8	-45,2	-37,1	-31,5	-27,4
13,5	-58,4	-46,0	-37,9	-32,2	-28,1
14	-58,9	-46,7	-38,6	-32,9	-28,7
14,5	-59,5	-47,3	-39,3	-33,6	-29,4
15	-60,0	-48,0	-40,0	-34,3	-30,0
15,5	-60,5	-48,6	-40,7	-34,9	-30,6
16	-61,0	-49,2	-41,3	-35,6	-31,2
16,5	-61,4	-49,8	-41,9	-36,2	-31,8
17	-61,8	-50,4	-42,5	-36,8	-32,4
17,5	-62,2	-50,9	-43,1	-37,3	-32,9
18	-62,6	-51,4	-43,6	-37,9	-33,5
18,5	-63,0	-51,9	-44,2	-38,4	-34,0
19	-63,3	-52,4	-44,7	-39,0	-34,5
19,5	-63,7	-52,9	-45,2	-39,5	-35,1
20	-64,0	-53,3	-45,7	-40,0	-35,6
20,5	-64,3	-53,8	-46,2	-40,5	-36,0
21	-64,6	-54,2	-46,7	-41,0	-36,5
21,5	-64,9	-54,6	-47,1	-41,4	-37,0
22	-65,2	-55,0	-47,6	-41,9	-37,4
22,5	-65,5	-55,4	-48,0	-42,4	-37,9
23	-65,7	-55,8	-48,4	-42,8	-38,3
23,5	-66,0	-56,1	-48,8	-43,2	-38,8
24	-66,2	-56,5	-49,2	-43,6	-39,2
24,5	-66,4	-56,8	-49,6	-44,0	-39,6
25	-66,7	-57,1	-50,0	-44,4	-40,0
25,5	-66,9	-57,5	-50,4	-44,8	-40,4
26	-67,1	-57,8	-50,7	-45,2	-40,8
26,5	-67,3	-58,1	-51,1	-45,6	-41,2
27	-67,5	-58,4	-51,4	-46,0	-41,5
27,5	-67,7	-58,7	-51,8	-46,3	-41,9
28	-67,9	-58,9	-52,1	-46,7	-42,3
28,5	-68,1	-59,2	-52,4	-47,0	-42,6
29	-68,2	-59,5	-52,7	-47,3	-43,0
29,5	-68,4	-59,7	-53,0	-47,7	-43,3
30	-68,6	-60,0	-53,3	-48,0	-43,6
30,5	-68,7	-60,2	-53,6	-48,3	-44,0
31	-68,9	-60,5	-53,9	-48,6	-44,3
31,5	-69,0	-60,7	-54,2	-48,9	-44,6
32	-69,2	-61,0	-54,5	-49,2	-44,9
	fundo	fundo	fundo	fundo	fundo

2.2.6 Planejamento estatístico

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos aleatorizados, em um arranjo fatorial de $[(3 \times 5) + 1] \times 3$, sendo 3 estágios de desenvolvimento em que a inundação foi realizada, 5 velocidades de rebaixamento do nível freático e uma testemunha, constituindo 16 tratamentos com 3 repetições, totalizando 64 parcelas (lisímetros).

Para análise estatística, foi realizada análise de variância, cujo esquema é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Esquema da análise de variância utilizada para o experimento com a cultura

Causa de variação	Graus de liberdade
Blocos	2
Velocidade de rebaixamento	4
Período de aplicação	2
Interação velocidade x período	8
Tratamentos ((períodos x velocidade)+testemunha)	15
Resíduo	30
Total	47

2.2.7 Condução do experimento

O material de solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho, textura franco-arenosa, retirado do seu perfil natural na profundidade de 0 a 50 cm.

A adubação consistiu na aplicação de 341 kg ha^{-1} de nitrato de potássio parcelado em três vezes, aos 29 DAC, 87 DAC, 135 DAC e mais $83,33 \text{ kg ha}^{-1}$ de uréia parcelada em duas vezes.

A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi a RB 867515. O corte da cana-soca foi realizado em 08 de Agosto de 2009.

Foram feitas aplicações de inseticida DECIS (deltametrina), acaricida VERTIMECK (abamectina), fungicida DEROSAL 500 SC (carbendazin), para controle da lagarta do cartucho, acaro e fusarium respectivamente.

2.2.8 Determinação do pH do solo

Ao final do experimento, foram coletadas amostras de solo de três blocos, de aproximadamente 0,5 kg, para obtenção da pasta de saturação e posterior determinação do pH da solução do solo, em laboratório.

O delineamento estatístico adotado para a determinação desse parâmetro foi o aleatorizado em blocos, em um arranjo fatorial $[(3 \times 5) \times 3 + 1]$, ou seja três períodos em que ocorreu a inundação do solo, cinco velocidades de rebaixamento do nível freático e três repetições. O esquema da análise de variância é apresentado na Tabela 3, e para comparação de médias foi realizado o teste de Tukey ao nível de 5% para tratamento dias e período.

Tabela 3 – Análise de variância para o parâmetro do solo pH

Causa da variação	GL
Períodos	2
Velocidades	4
Velocidade*Período	8
Bloco	2
Tratamento	15
Resíduo	30
Total	47

2.2.9 Manejo da irrigação

Após o corte da cana-planta, o nível freático de todos os lisímetros foi elevado e mantido a 0,40 m de profundidade; e os registros foram abertos para a sub-irrigação por um período de 24 horas, sem a preocupação em aplicar uma lâmina específica, procurou-se apenas em proporcionar umidade adequada para a rebrota e o desenvolvimento de novas raízes.

A cana foi sub-irrigada durante todo o seu ciclo, exceto durante os períodos em que o tratamento estava sendo aplicado. No final da aplicação dos tratamentos, onde o mesmo consistiam no rebaixamento no NF (nível freático) até a profundidade de 0,80 m, a irrigação dessas plantas recomeçava, no momento em que o valor da leitura de tensiômetros, instalados a

0,30 m de profundidade, atingia 25 kPa (TAVARES, 2009). A leitura dos tensiômetros era realizada semanalmente, utilizando um tensímetro digital.

No momento em que tensão estabelecida era atingida, os registros dos reservatórios eram abertos para se proceder à sub-irrigação por um período de 24 horas. Desta forma, a quantidade de água aplicada era suficiente para elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

As parcelas foram irrigadas por sub-irrigação, utilizando o mesmo sistema usado para a inundação dos lisímetros. A irrigação foi paralisada uma semana antes da colheita das parcelas.

2.2.10 Determinação das variáveis micro-climáticas do ambiente protegido

Na obtenção da temperatura do solo, foram usados sensores, instalados na profundidade de 10 cm, em duas repetições de cada tratamento, totalizando de 16 parcelas, dispostos nas parcelas central da área experimental (Figura 9B). Esse conjunto de sensores foi conectado a um sistema de aquisição de dados, Datalogger 21X-Campbell Scientific, (Figura 9A), os dados eram posteriormente, transferidos para um microcomputador.

Figura 9 – Datalogger 21 e multiplexador de dezesseis canais (Campbell Scientific) (A) e sensor de temperatura (B)

2.2.11 Variáveis biométricas avaliadas

Foram realizadas sete avaliações da altura das plantas, do número de folhas, do número de entrenós, da área foliar, do índice de área foliar, do número de perfilhos, e seis avaliações do diâmetro do colmo, exceto entre os meses de janeiro e abril, onde as plantas estavam altas e dificultaram as mensurações.

Os períodos de avaliações (PA) ocorreram aos 91 DAC, 131 DAC, 194 DAC, 223 DAC, 256 DAC, 290 DAC e 317 DAC.

2.2.11.1 Planejamento estatístico

O planejamento estatístico das variáveis biométricas foi realizada em função dos tratamentos; os mesmos consistiram em três estádios de desenvolvimento em que a inundação ocorreu: P1 (44 DAC), P2 (210 DAC) e P3 (300 DAC); cinco velocidades de rebaixamento de 0,30 m do NF: 3 dias (V1), 6 dias (V2), 9 dias (V3), 12 dias (V4) e 15 dias (V5) e uma testemunha apenas irrigada, com 4 repetições, totalizando 64 parcelas. O delineamento foi aleatorizado em blocos, em um arranjo fatorial [(16 x 4) x PA]. Foi realizada análise de variância, cujo esquema é apresentado na Tabela 4; aplicou-se o teste F, para verificar diferenças em pelo menos um dos tratamentos; o teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade foi realizado para comparação das médias entre os tratamentos e, o teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade, para comparação das médias dos tratamentos com a testemunha.

Tabela 4 – Análise de variância utilizada para dados obtidos para as variáveis biométricas

Causas de variação	GL
Tratamentos	15
Blocos	3
Períodos de avaliações	6
Tratamentos*Períodos	90
Resíduo	333
Total	447

2.2.11.2 Área foliar

Para determinação da área foliar (AF), foram medidas o comprimento e a largura da folha +3 de todos os colmos que apresentam entrenó exposto, é utilizada a eq. (9), proposta por Hermann e Câmara (1999), de acordo com numeração proposta pelo sistema Kuijper, descrito por Van Dillewijn (1952).

$$AF_c = C.L.f(N + 2) \quad (9)$$

em que:

AF_c - área foliar do colmo, cm²;

C - comprimento da folha +3, cm;

L - maior largura da folha +3, cm;

f - fator forma (0,66);

N - número de folhas totalmente abertas e com pelo menos 20% da área verde (da folha +1 até a folha +7); e

2- fator de correção.

2.2.11.3 Índice de área foliar

Esta variável é um ótimo indicativo do crescimento e da produtividade da cana-de-açúcar, pois, após a germinação, inicia-se o desenvolvimento das folhas, que são responsáveis diretas pela transformação da energia solar em energia química através da fotossíntese (BARBIERI, 1993). O índice de área foliar foi calculado pela eq. (10):

$$IAF = \frac{AF}{As} \cdot Npp \quad (10)$$

em que:

AF - área foliar, cm²;

As - área de solo, cm²;

Npp - número de plantas por parcela.

2.2.11.4 Perfilhamento

Para obtenção do perfilhamento, foram feitas contagens do número de perfilhos de cada parcela, ao longo do ciclo da primeira soca da cana-de-açúcar. Considerou-se como perfilho os colmos que não apresentam a folha +3 e entrenós expostos.

2.2.11.5 Diâmetro do colmo

O diâmetro do colmo foi obtido com a utilização de um paquímetro digital, sendo a medição feita na base do colmo na porção mediana do 3º entrenó.

2.2.11.6 Número de folhas

A contagem do número de folhas foi feita considerando as folhas totalmente expandidas, isto é, as que apresentam o colarinho visível com pelo menos 20% de sua área foliar verde.

2.2.11.7 Altura de plantas

A medição da altura foi feita com o auxílio de uma trena, medindo-se a altura, desde sua base, rente ao solo, até a inserção da folha +1.

2.2.11.8 Produção e seus componentes

Ao longo do ciclo da cultura, as folhas senescentes foram coletadas e colocadas em sacos plásticos em cada manilha, sendo considerada como variável peso seco das folhas durante o ciclo (PSFciclo).

Os colmos foram colhidos por meio de corte feito rente ao solo, fazendo o desponte para a colheita, considerando a folha +5. Foram separados e pesados a parte aérea dos colmos, determinado a massa verde dos colmos, massa verde da ponteira; e posteriormente esses materiais foram secos em estufa de circulação de ar forçado a temperatura de 105° C, até obter peso constante, para avaliação da massa seca.

A massa seca dos colmos foi determinada pela razão entre o produto da massa verde do colmo pela umidade da cana, dividido por 100, conforme eq. (11):

$$MS = \frac{MV \cdot \text{Umidade da cana}}{100} \quad (11)$$

em que:

MS – massa seca do colmo, g;

MV – massa verde do colmo, g.

2.2.11.10 Fitomassa da Raiz

Foi retirado das manilhas todo o volume de solo; o mesmo foi separado em duas profundidades de 0 à 0,40 m e de 0,40 à 0,80 m. As raízes colocadas sobre bancadas foram devidamente lavadas e pesadas e, posteriormente, foram levadas à estufa de circulação de ar forçado a 60 °C até obter massa constante.

2.2.11 Variáveis relativas às características químicas – tecnológicas

Para a determinação das características tecnológicas, os colmos foram enviados ao Laboratório de Tecnologia de Açúcar e Álcool do Departamento de Agroindústria e Tecnologia de Alimentos da ESALQ – USP.

A metodologia e as equações utilizadas para determinação do °Brix, Pol, AR (açúcares redutores), ATR (açúcar total recuperável) e Fibra, seguiram recomendação do Consecana (2006).

As amostras analisada, resultante da mistura das amostras simples, foram obtidas de um aparelho desintegrador e, posteriormente, homogeneizadas em betoneira (Figura 10).

Figura 10 – A) Aparelho desintegrador; B) Betoneira

O caldo foi extraído em prensa hidráulica, com pressão mínima e constante após prensagem, de 250 kgf cm^{-2} sobre a amostra, durante um minuto (Figura 11).

Figura 11 – A) Amostra do bolo úmido; B) Prensa hidráulica com amostra do caldo

2.2.11.1 Sólidos Solúveis (°Brix)

Variável que se refere à porcentagem, em peso, de sólidos solúveis do caldo de cana. A determinação do °Brix (percentual em massa de sólidos solúveis) foi realizada em refratômetro digital, com correção automática de temperatura, com resolução máxima de $0,1^\circ$ Brix, sendo o valor final expresso a 20°C (Figura 12).

Figura 12 – Refratômetro digital

2.2.11.2 Pol

Refere-se ao teor percentual, em massa, de sacarose do caldo de cana, determinado por polarimetria. A polarimetria é uma técnica fundamentada na propriedade que a sacarose tem de desviar para esquerda o plano de vibração da luz polarizada (LEME FILHO, 2005)

A Pol do caldo (S) foi calculada pela eq. (12).

$$S = Lal(0,2605 - 0,0009882.B) \quad (12)$$

em que:

Lal - leitura sacarimétrica, obtida com uma mistura clarificante à base de subacetado de chumbo;

B - °Brix do caldo.

2.2.11.3 Açúcar redutores do caldo (AR)

Para o cálculo dos açúcares redutores do caldo, foi utilizada a eq. (13).

$$AR = (3,641 - 0,0343 \cdot P) \quad (13)$$

em que:

AR – açúcares redutores do caldo, %

P – pureza aparente;

2.2.11.4 Açúcares redutores da cana (ARC)

Para o cálculo dos açúcares redutores da cana foi utilizado a eq. (14).

$$ARC = AR_j \cdot (1 - 0,01 \cdot F_{\text{pts}}) \cdot (1,0313 - 0,00575 \cdot F_{\text{pts}}) \quad (14)$$

em que:

ARC – açúcares redutores da cana, %;

AR – açúcares redutores do caldo, %;

F_{pts} – Fibra cana, %.

2.2.11.5 Açúcar teórico recuperável (ATR)

O ATR ou açúcar teórico recuperável foi calculado utilizando a eq. (15):

$$ATR = (9,5263 \cdot PC) + (9,05 \times ARC) \quad (15)$$

em que:

ATR - açúcar teórico recuperável, em kg.Mg^{-1} de colmos de cana-de-açúcar;

PC (sacarose) - Pol da cana(%);

ARC – açúcares redutores da cana, %.

2.2.11.6 Pureza aparente

Porcentagem de sacarose nos sólidos solúveis totais (Brix), sendo calculada pela eq. (16):

$$\text{Pureza Aparente} = \frac{\text{Pol}}{\text{Brix}} \times 100 \quad (16)$$

2.2.11.7 Fibra

Parte lenhosa da cana, insolúvel em água. Sua determinação foi feita a partir da fibra da cana pela eq. (17), segundo CONSECANA (2006).

$$F = 0,08 \times \text{PBU} + 0,876 \quad (17)$$

em que:

F - fibra, g;

PBU - peso do bagaço úmido, g.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variáveis climáticas

As Figuras 13, 14 e 15 apresentam os perfis de temperatura do solo, monitoradas nas parcelas inundadas e na testemunha, nos períodos um, dois e três, respectivamente.

No primeiro período, as temperaturas do solo variaram de 14 à 46 °C. Para o segundo período de aplicação dos tratamentos, a variação de temperatura foi menor, ficando entre 12 e 36°C; este período compreende o início do inverno na região de Piracicaba –SP. No terceiro período, ocorreram as temperaturas mais baixas, devido ao fato da aplicação dos tratamentos ter acontecido durante o inverno.

Figura 13 – Perfis das temperaturas médias do solo monitoradas ao longo de 9 dias, durante o primeiro período de aplicação dos tratamentos

Figura 14 – Perfis das temperaturas médias do solo monitoradas, ao longo de 9 dias, durante o segundo período de aplicação dos tratamentos

Figura 15 – Perfis das temperaturas médias monitoradas, ao longo de 9 dias, durante o terceiro período de aplicação dos tratamentos

Em função de o Dataloger ter apresentado problema, não foi possível a obtenção de dados de temperatura do interior do ambiente protegido. Por isso, foi utilizado dados de temperatura média do ar do posto meteorológico da ESALQ. Vale ressaltar que, as temperaturas do ar dentro do ambiente protegido são mais elevadas, e a demanda evapotranspirométrica é menor.

As figuras 16, 17 e 18 apresentam as temperaturas médias do ar, obtidas a céu aberto, no Posto meteorológico da ESALQ, que dista cerca de 500 m da estufa. Para o primeiro período, as temperaturas variaram de 21,5 a 25 °C. No segundo período, que corresponde ao início do inverno, neste as mesmas variaram de 19 a 21,7 °C. Já no terceiro período, as temperaturas variaram entre 13,2 a 22,7 °C, pois este período esteve inserido totalmente do para a região de Piracicaba,SP.

Figura 16 – Temperatura média externa do ar, ao longo de 15 dias durante o primeiro período da inundação dos lisímetros (Posto Meteorológica da ESALQ – Piracicaba,SP)

Figura 17 – Temperatura média externa do ar, ao longo de 15 dias durante o segundo período da inundação dos lisímetros (Posto Meteorológica da ESALQ – Piracicaba,SP)

Figura 18 – Temperatura média externa do ar, ao longo de 15 dias durante o segundo período da inundação dos lisímetros (Posto Meteorológica da ESALQ – Piracicaba, SP)

3.1.2 pH do solo submetido ao encharcamento

O resultado da análise de variância do pH é apresentado na Tabela 5. Observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos. O valor médio de pH foi 8,31, enquanto que, para a ciclo da cana-planta, o pH manteve-se neutro ou próximo da neutralidade, como relata Tavares (2009), que obteve os valores médios de pH de 7,09, 6,84 e 6,75, medidos aos 67, 210 e

305 dias após o plantio. Segundo este autor, esses valores podem ter ocorrido devido à calagem feita, antes do plantio ou possivelmente, devido ao fato de que sob solo inundado as reações químicas liberam as bases e neutraliza acidez solo.

Tabela 5 – Resultado do quadrado médio da análise de variância do potencial de hidrogênio (pH)

Causa da variação	GL	pH QM
Período	2	0,0148 ^{ns}
Velocidade	4	0,0277 ^{ns}
Velocidade*Período	8	0,0533 ^{ns}
Bloco	2	0,0300 ^{ns}
Tratamento	15	0,0435 ^{ns}
Resíduo	30	0,0257
Total	47	
CV%		1,4
Média Geral		8,3

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

Figura 19 – Médias de pH do solo, considerando o fator período

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade

3.1.3 Variáveis relativas ao desenvolvimento das plantas

Os resultados da análise de variância para as variáveis relativas ao desenvolvimento das plantas são apresentados nas Tabelas 6, 7, e 8. As Variáveis, área foliar, índice de área foliar, número de perfilhos, altura dos colmos e número de folhas mostraram-se significativos considerando tratamentos e período de avaliação. A variável diâmetro do colmo apresentou significância somente em relação aos períodos de avaliação.

Tabela 6 – Resultado da análise de variância da área foliar, índice de área foliar (IAF), número de entrenós, nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos

Causa da variação	GL	Área Foliar	IAF
		-----QM-----	
Tratamentos	15	0,130**	2,921**
Blocos	3	1,617**	51,860**
Períodos	6	4,105**	81,7454**
Tratamentos*Períodos	90	0,026 ^{ns}	0,534 ^{ns}
Resíduo	333	0,0324	0,887
Total	447		
CV%		22,08	22,010
Média Geral		0,641	0,81

** significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F

Tabela 7 – Resultado da análise de variância da altura média dos colmos, número de folhas, número de perfilhos, nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos

Causa da variação	GL	Altura média	Número	Número
			-----QM-----	
Tratamentos	15	0,425**	96,546**	11,590**
Blocos	3	0,677**	501,526**	1,435 ^{ns}
Períodos	6	39,196**	1141,776**	245,915**
Tratamentos*Períodos	90	0,03 ^{ns}	11,315 ^{ns}	2,656 ^{ns}
Resíduo	333	0,06	16,553	2,077
Total	447			
CV%		11,86	22,66	78
Média Geral		2,019	17,95	1,83

** significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F

Tabela 8 – Resultado da análise de variância do diâmetro do colmo segundo os diferentes tratamentos

Causa da variação	GL	Diâmetro -----QM-----
Tratamentos	15	0,0000525**
Blocos	3	0,0000321 ^{ns}
Períodos	5	0,0000025 ^{ns}
Tratamentos*Períodos	75	0,0000006 ^{ns}
Resíduo	285	0,0000032
Total	383	
CV%		0,0265
Média Geral		6,72

** significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

3.1.3.1 Área foliar

O fator forma (f) utilizado para o cálculo da área foliar da cana-soca foi determinado por Tavares (2009) com a cana-planta. Para o primeiro período, o valor de f foi 0,56 e, para o segundo período, 0,66.

Os valores máximos e mínimos da área foliar foram obtidos nos tratamentos P1V4 com 0,91 m², e na testemunha com 0,71 m², como mostra a Figura 20. Percebe-se que a inundação aplicada aos 44 DAC (período P1), ou seja, período em que as plantas encontravam-se no estágio de rebrota acarretou nos maiores valores de área foliar. Esta diferença entre os tratamentos pode ser explicada pelo número de plantas nas parcelas.

Tavares (2009) obteve valores de área foliar para cana-planta variando entre 0,56 a 0,74 m² para os tratamentos sob inundação e, para a testemunha, 0,70 m². Verifica-se, portanto, que estes valores são inferiores ao obtidos na cana-soca.

Houve um aumento da área foliar até os 194 DAC, crescimento natural, uma vez que as plantas estavam em estágio inicial de desenvolvimento. Cabe ressaltar que a inundação ocorrida no Período 1 (44 DAC), nas diferentes velocidades de rebaixamento não foi severa a ponto de prejudicar o desenvolvimento das plantas, havendo tempo para a planta se recuperar do estresse e continuar o processo de formação de produção; a partir do período 1, houve uma redução aos 223 DAC e posterior estabilização da área foliar, isso porque o ciclo da cana-soca se dá mais precocemente (Figura 21).

Figura 20 – Área foliar média da primeira soca da cana-de-açúcar, segundo os diferentes tratamentos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Figura 21 – Área foliar média nas parcelas, em seis avaliações realizadas ao longo do ciclo da cana-soca. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível 5% de probabilidade.

3.1.3.2 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) apresentou o mesmo comportamento da área foliar, pois o mesmo é a razão da área foliar pela área do solo. O primeiro período em que ocorreu a inundação, segundo as diferentes velocidades de rebaixamento, foi o que apresentou os maiores índices, variando entre 3,84 para o P1V1 e 4,48 para o P1V4. A velocidade de rebaixamento de 0,30 m em 9 dias apresentou os maiores índices de área foliar, para os segundo e terceiro períodos, 0,90 e 0,89 respectivamente (Figura 22).

Para a cana-planta, Tavares (2009) obteve valores extremos de índice de área foliar para a testemunha (T), 3,54 e para P2V4 2,85.

Figura 22 – Índice área foliar médio da primeira soca da cana-de-açúcar segundo os diferentes tratamentos
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade

Considerando apenas os períodos como causa da variação, verifica-se um aumento do IAF até aos 194 dias após o corte, e posterior redução e estabilização até a colheita (Figura 23).

Figura 23 – Índice de área foliar médio nas parcelas, em sete avaliações, ocorridas ao longo do ciclo da cana-soca
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

3.1.3.3 Número de perfilhos

Os valores de número de perfilhos são apresentados na Figura 24; observa-se que houve diferença entre os tratamentos. O maior número de perfilhos foi obtido quando a inundação ocorreu aos 44 DAC (período de rebrota) e aos 210 DAC (período de formação de produção), para as velocidade de rebaixamento de 0,3 m em 6 dias (V2).

Resultado diferente foi obtido por Tavares (2009) com a cana-planta; segundo esse autor não se obteve diferença entre os tratamentos para o número de perfilhos.

Esta variação no número de perfilhos, segundo os diferentes tratamentos pode ser atribuída ao vigor das gemas presentes no rebento, e não por influencia do estresse provocado pelo excesso de água no solo.

Figura 24 – Número de perfilhos segundo os diferentes tratamentos
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para os períodos avaliados, observa-se que houve diferença estatística, como é apresentado na Figura 25. Nas contagens realizadas aos 91 e 131 dias após o corte, o número de perfilhos ficou entre 5 e 3, respectivamente, reduzindo-se para 1 nas demais avaliações. Valores maiores foram obtidos por Silva (2005), que encontrou aos 100 DAC 29,67 perfilhos por metro linear e aos 300 DAC, 12 perfilhos por metro linear.

Este fato pode ser explicado pela redução do espaço nos lisímetros, condição essa que pode ter prejudicado o desenvolvimento da planta, diferente de quando se trabalha em condição de campo.

Após o corte da cana-planta, houve uma boa rebrota da cana-soca; a rebrota, entretanto, variou nas parcelas, uma vez que a cana-soca se beneficia do sistema radicular da cana-planta, para posterior emissão de novas raízes. A touceira formada promove o abortamento de perfilhos devido à competição entre eles; e os perfilhos mais vigorosos se transformam em colmos, fazendo com que nas avaliações seguintes o número de perfilho diminuísse.

Outro aspecto importante a ser levado em consideração é que a luminosidade reduzida interfere no perfilhamento. Segundo Crhistoffoleti (1986), plantas cultivadas em casa de vegetação com baixa luminosidade apresentaram perfilhos mortos, o que não ocorreu quando a mesma cultivar foi plantada em ambiente com luminosidade maior.

Figura 25 – Número de perfilhos nas parcelas, em sete avaliações ocorridas ao longo do ciclo da cana-soca. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.1.3.4 Altura dos colmos

O tratamento que apresentou a menor altura média de colmos foi à testemunha, que não sofreu estresse por inundação com 1,85 m; o tratamento P2V5 foi o que apresentou maior altura, com 2,26 m, como apresentado na Figura 26. Os valores de altura foram superiores aos obtidos por Tavares (2009) para cana-planta: 1,06 m e 1,26 m, como o valor mais baixo e mais alto, respectivamente. Isso se deve, provavelmente, a aplicação em maior quantidade de adubo nitrogenado na cana-soca e ou as temperaturas do ar mais elevadas nesse experimento.

Paula (2008), trabalhando com nível freático estacionado a 25 cm por 4 dias obteve, ao longo de 9 meses de avaliação, valores bem superiores aos da cana-soca verificados neste experimento: a altura atingiu 3,95 m.

Figura 26 – Altura média dos colmos da cana-soca segundo os diferentes tratamentos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve diferenças significativas no desenvolvimento médio das plantas ao longo dos períodos de avaliação, exceto aos 290 DAC (Figura 27); esse período corresponde à maturação, quando a planta para de crescer e começa a concentrar açúcar.

Figura 27 – Altura média dos colmos nas parcelas, em sete avaliações realizadas ao longo do ciclo da cana-soca. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.1.3.5 Número de folhas

Observa-se na Figura 28 que houve diferença estatística entre os tratamentos, sendo P3V2 o tratamento com o menor número médio de folhas, 14,9, e P1V3 o tratamento com maior número médio de folhas, 20,67. Essa diferença possivelmente se deve à morte da ponteira em algumas parcelas reduzindo assim o número de folhas da cana-soca, do período P1 para o período P3. Essa redução provavelmente foi causada por temperaturas elevadas ocorrida na região de Piracicaba-SP na época da avaliação P1, e também pelo número de colmos nas parcelas.

Figura 28 – Número médio de folhas da cana-soca segundo os diferentes tratamentos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de folhas aumentou até aos 194 DAC, e nas avaliações seguintes, houve uma queda e, posteriormente, uma estabilização, como mostra a Figura 29. Já na cana-planta o período de aumento do número de folhas ocorreu até aos 215 dias após o plantio (Tavares, 2009). Essa diferença se deve ao fato de que a maturação soqueira ocorre mais precocemente do que na cana-planta.

Figura 29 – Número médio de folhas dos colmos da cana-soca das parcelas, em sete avaliações realizadas ao longo do ciclo da cana-soca

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

3.1.3.6 Diâmetro dos colmos

A Figura 30 apresenta os valores médios do diâmetro dos colmos para os diferentes tratamentos. O tratamento P1V4 foi o que apresentou menor valor, com 0,024 m, e o P2V5 foi o que apresentou maior valor, com 0,029 m de diâmetro.

Esta diferença está relacionada com o número de perfilhos nas parcelas; verificou-se que os tratamentos com maior número de perfilhos tiveram menores diâmetros de colmos.

Figura 30 – Diâmetro médio dos colmos da cana-soca segundo os diferentes tratamentos

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

3.1.4 Produtividade e seus componentes

Os resultados da análise de variância para as variáveis relacionadas à produtividade estão apresentados na Tabelas 9 e 10. As variáveis massa verde da ponteira (MVP) e massa seca da ponteira (MSP), quando analisadas separadamente sem o tratamento controle (testemunha), mostraram-se significativos em nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, considerando período. As demais variáveis, quais sejam massa verde dos colmos (MVC), massa seca dos colmos (MSC), folhas coletadas ao longo do ciclo (PSFCiclo), massa verde total (MVT) e massa seca total (MST) não apresentaram diferença estatística. Tavares (2009), estudando a cana-planta, verificou que as variáveis massa verde da ponteira (MVP) e massa seca da ponteira (MSP) apresentaram diferenças significativas para os períodos e para os tratamentos formados da combinação velocidade – período; já as variáveis massa verde dos colmos (MVC), massa seca dos colmos (MSC), massa verde total (MVT) e massa seca total (MST) apresentaram diferenças significativa apenas para a interação velocidade e período.

Tabela 9 – Resultado dos quadrados médios da análise de variância da massa verde dos colmos (MVC), massa seca dos colmos (MSC), massa verde da ponteira (MVP), massa seca da ponteira (MSP), nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos

Causa da variação	GL	MVC	MSC	MVP	MSP
		-----QM-----			
Período	2	1,412 ^{ns}	0,115 ^{ns}	0,036 ^{**}	0,003098 ^{**}
Velocidade	4	0,444 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,001410 ^{ns}
Velocidade*Período	8	0,566 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,000822 ^{ns}
Bloco	3	5,596 ^{**}	0,375 ^{**}	0,224 ^{**}	0,012013 ^{**}
Tratamento	15	0,755 ^{ns}	0,061 ^{ns}	0,017 ^{ns}	0,001219 ^{ns}
Resíduo	45	0,595	0,047	0,011	0,000726
Total	63				

** significativo em nível de 5% probabilidade pelo teste F.

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 10 – Resultado dos quadrados médios da análise de variância do peso seco das folhas do ciclo (PSFCiclo), massa verde total (MVT), massa seca total (MST), nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos

Causa da variação	GL	PSFCiclo	MVT	MST
			-----QM-----	
Período	2	0,020 ^{ns}	0,115 ^{ns}	0,036 ^{ns}
Velocidade	4	0,009 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,016 ^{ns}
Velocidade*Período	8	0,008 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,012 ^{ns}
Bloco	3	0,035 ^{**}	0,375 ^{**}	0,224 ^{**}
Tratamentos	15	0,010 ^{ns}	0,061 ^{ns}	0,017 ^{ns}
Resíduo	45	0,007	0,047	0,011
Total	63			

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

3.1.4.1 Massa verde dos colmos

A Figura 31 mostra que a inundação ocorrida nos estádios de brotação, de máximo desenvolvimento e de maturação e não interferiu na produção de fitomassa da cana-soca, uma vez que os valores de massa verde aos 44, 210 e 300 DAC foram 4,65, 4,12 e 4,43 kg, respectivamente. Também não houve diferença entre as diferentes velocidades de rebaixamento do nível freático.

Os maiores valores de massa verde dos colmos foram obtidos para os tratamentos P1V5, P3V3 e P1V2 com 4,97 kg, 4,76 kg e 4,70 kg, respectivamente; 3,44 kg para o tratamento P2V1 e 3,63 kg para a testemunha foram os menores valores observados. Para a cana-planta, Tavares (2009) obteve valores médios inferiores, variando entre 2,96 a 4,07 kg por parcela.

Já Paula (2008) verificou uma redução de 40% na cana-soca, quando o nível freático foi mantido constante de 40 cm.

Figura 31 – Massa verde média dos colmos da cana-soca nas parcelas, segundo os períodos nos quais o estresse foi aplicado

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

3.1.4.2 Massa seca dos colmos

Assim como na variável massa verde, a massa seca dos colmos (MSC) não apresentou diferença estatística, como mostra a Figura 32. Os valores médios máximos de MSC foram obtidos nos tratamentos P1V5, P3V3 e P1V1, com 1,44 kg, 1,39 kg e 1,36 kg respectivamente; os valores médios mínimos foram obtidos nos tratamentos P2V1 com 1,01 kg e na testemunha, com 1,07 kg.

Figura 32 – Massa seca média dos colmos da cana-soca (MSC), considerando os diferentes períodos nos quais o estresse foi aplicado

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

3.1.4.3 Massa verde da ponteira

A variável massa verde da ponteira apresentou diferença significativa quando se considera o período como causa da variação; entretanto, quando se compara as médias utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade, e também, quando se comparam os tratamentos que sofreram estresse com a testemunha, pelo de Dunnet a 5% de probabilidade, observa-se que não há diferenças, como mostra a Figura 33.

Os valores de massa verde da ponteira, para os períodos 44, 210, 300 DAC e para a testemunha, foram de 0,56, 0,48, 0,52 e 0,44 kg, respectivamente (Figura 24). Evidencia-se, assim, que a intensidade do estresse aplicado pela inundação não foi suficiente para prejudicar o desenvolvimento da cana-soca, uma vez que o principal efeito da inundação na parte aérea das plantas é a inibição da expansão foliar e a redução do número de folhas, como cita Kozlowski (1984).

Já Tavares (2009), estudando a cana-planta, obteve valores superiores de massa verde da ponteira para cana-planta. Todavia, essa diferença pode ter sido causada pela redução da luminosidade, devido à presença de poeira do teto da casa de vegetação.

Figura 33 – Massa verde da ponteira da cana-soca, considerando os diferentes períodos de aplicação do estresse por encharcamento

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade e quando comparadas com a testemunha, medias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade

3.1.4.4 Massa seca da ponteira

Resultado semelhante ao obtido na massa verde da ponteira foi observado para a variável massa seca da ponteira, já que este parâmetro é a massa verde desidratada, ou seja, não houve diferença significativa. Os valores máximos obtidos para os períodos 44, 210, 300 DAC e para a testemunha foram 0,151, 0,127, 0,135 e 0,137 kg, respectivamente, como é apresentado na Figura 34.

Figura 34 – Massa seca da ponteira da cana-soca, segundo os diferentes períodos de aplicação dos tratamentos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e quando comparadas com a testemunha, médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade.

3.1.4.5 Massa verde total

Para a variável massa verde total, também não houve diferenças estatísticas significativas para nenhuma das causas de variação. Os valores máximos de massa verde total foram obtidos para os tratamentos P1V5 e P2V3, com 5,54 e 5,45 kg, respectivamente; já os valores mínimos, foram encontrados para P2V1, com 3,90 kg e a testemunha, com 4,08 kg.

Houve uma pequena redução da massa verde total, quando se compara com a cana-planta, relatada por Tavares (2009), que obteve 5,57 kg de massa verde total quando a inundação foi aplicada aos 305 dias após o corte e 4,13 kg para a testemunha. Esta redução ocorre naturalmente com os sucessivos cortes das rebrotas da cana.

Figura 35 – Massa verde total dos colmos da cana-soca, considerando os diferentes períodos de aplicação do estresse. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e quando comparadas com a testemunha, médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade.

3.1.4.6 Massa seca total

Assim como na massa verde total, não houve diferença estatística para massa seca total, uma vez que este parâmetro é massa verde sem a presença de água (Figura 36). No entanto, o primeiro período (44 DAC) apresentou o maior valor de massa seca 1,5 kg e, a testemunha, o menor (1,2 kg). Evidenciando mais uma vez, que o estresse aplicado pelo excesso de água não foi severo a ponto de proporcionar perdas significativas.

Figura 36 – Massa seca total dos colmos da cana-soca, segundo os períodos de aplicação das inundações. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e quando comparadas com a testemunha, médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade.

3.1.4.7 Fitomassa de Raiz

Na literatura, encontra-se pouca informação a sobre fitomassa de raiz da cana-de-açúcar, principalmente a das soqueiras, apesar da sua importância. Segundo Alvarez; Castro; Nogueira (2000), o desenvolvimento das raízes foi mais estudado em cana-planta que em cana-soca, por isso existem poucas informações sobre o desenvolvimento radicular em cana-soca.

A maioria das análises feitas, para obter informações sobre raiz, é realizada utilizando trado, para coletar amostras de solo com raízes. Como a cana foi cultivada em manilhas de concreto, com área reduzida, e a maioria do volume de raízes se distribuiu na parede do lisímetro, e dessa forma, a amostragem com trado não representaria o sistema radicular corretamente, por isso, a melhor alternativa foi à retirada de todo o volume de solo (Figura 37).

Figura 37 – A) Massa verde da raiz da cana-soca; B) Sistema radicular sobre um tambor

Para a variável massa seca da raiz, quando analisado separadamente, sem o tratamento controle (testemunha), a análise de variância apresenta diferença estatística em nível de 5% de probabilidade, para a profundidade de 0 à 0,40 m considerando como causa de variação os tratamento compostos pela velocidade de rebaixamento do NF, período de encharcamento e a interação velocidade x período, como é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultado da análise de variância para massa seca raiz da cana-soca medida em duas profundidades nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos

Causa da variação	GL	Raiz 0-40 m	Raiz 40-80
		-----QM-----	
Período	2	0,0256**	0,0051 ^{ns}
Velocidade	4	0,0102 ^{ns}	0,0127 ^{ns}
Velocidade*Período	8	0,0141**	0,0086 ^{ns}
Bloco	2	0,0481 ^{ns}	0,1716 ^{ns}
Tratamento	15	0,0163**	0,0089 ^{ns}
Resíduo	30	0,0062	0,0126
Total	47		

** significativo em nível de 5% probabilidade pelo teste F.

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Os tratamentos que apresentaram diferença entre si foram P1V5 e P3V5, com 0,46 e 0,21 kg, respectivamente, para a profundidade de 0 – 0,40 m. A testemunha, que não sofreu estresse por inundação, com 0,20 kg, também apresenta diferença quando comparada com o tratamento P1V5, pelo teste de Tukey; os demais, não apresentaram diferença entre si, como é apresentado na Figura 38. Esta diferença se deve ao fato dos tratamentos apresentarem uma quantidade variada de número de perfilhos por parcela e, conseqüentemente de volume de raiz.

Figura 38 – Massa seca média da raiz da cana-soca de 0 - 0,40 m segundo os diferentes tratamentos
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade

A massa seca da raiz, retirada da profundidade de 0,40 a 0,80 m, Figura 39, não apresentou diferenças significativas. Os valores extremos de massa seca foram 0,48 kg para o tratamento P2V1 e 0,25 kg para o tratamento P1V4; e a testemunha ficou com 0,34 kg.

Figura 39 – Massa seca média da raiz da cana-soca, de 0,40 - 0,80 m, segundo os diferentes tratamentos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Figura 40 revela que não houve diferença significativa para o desdobramento da interação velocidade*período para a profundidade de 0 - 0,40 m; entretanto, percebe-se que houve uma maior variação de massa seca da raiz entre os períodos de inundação do que entre as velocidades de rebaixamento do NF.

Figura 40 – Massa seca média da raiz da cana-soca nas parcelas, considerando a interação velocidade*período. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que as letras minúsculas comparam médias as velocidades de rebaixamento no NF e as maiúsculas comparam médias entre os períodos.

Como mostra a Figura 41a, não houve diferença significativa da variável massa seca da raiz considerando como causa de variação os períodos. Contudo, percebe-se uma pequena diminuição na massa seca da raiz aos 210 e 300 DAC, para a profundidade de 0 – 0,40 m; porém, analisando a Figura 41b, que apresenta a massa seca média da raiz na profundidade de 0,40 – 0,80 m verifica-se que a inundação ocorrida aos 44 DAC, fez com que as raízes se concentrassem nos primeiros 0,40 m de profundidade. Pode-se afirmar que, a inundação ocorrida no estágio de brotação da primeira soca causou um estresse que foi superado ou, ainda, que o tempo de duração do estresse não foi suficiente para comprometer o sistema radicular da cana-soca, como foi citado anteriormente para outros parâmetros de avaliação.

Figura 41 – a) Massa seca média da raiz da cana-soca de 0 – 0,40 m, segundo os períodos; b) Massa seca da raiz de 0,40-0,80 m segundo os períodos de aplicação das inundações
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A distribuição da massa seca das raízes é apresentada na Figura 42. Percebe-se que, o maior volume de raízes, mais de 50%, concentrou-se na profundidade de 0,40 a 0,80 m, exceto para os tratamentos P1V3, P1V4, P2V3, P3V4, nos quais, mais de 50% do volume de raízes concentrou-se nos primeiros 0,40 m de profundidade. Este resultado diverge dos resultados obtidos por Sampaio; Salcedo; Cavalcanti (1987) e Blackburn, (1984), os quais verificaram que, mais de 50% do volume de raízes da cana-de-açúcar encontrava-se nos primeiros 20 cm de profundidade.

Figura 42 – Proporção de massa seca das raízes, avaliadas em duas profundidades: de 0 a 0,40 m e de 0,40 a 0,80 m

3.1.5 Variáveis químico-tecnológicas

As variáveis químico-tecnológicas que apresentaram diferenças significativas para as causas de variação velocidades de rebaixamento do NF e períodos foram grau °Brix, Pol e Açúcar teórico recuperável (ATR); já o açúcar redutor da cana (ARC) apresentou diferença significativa apenas para a causa da variação período e percentagem de fibra não apresentou diferença estatística (Tabela 12).

Para a cana-planta, Tavares (2009) obteve diferenças significativas para as variáveis ATR e °Brix, considerando as causas de variação tratamentos a interação x período; para a % fibra, houve diferença somente para causa de variação período e para a variável ARC, não foi observado diferenças significativas.

Tabela 12 – Resultado dos quadrados médios da análise de variância do Brix, Pol, ARC, Fibra e ATR nas parcelas, segundo os diferentes tratamentos

Causa da variação	GL	BRIX	POL	ARC	Fibra	ATR
-----QM-----						
Período	2	0,756**	0,859**	0,0041**	0,357 ^{ns}	73,96**
Velocidade	4	0,439 ^{ns}	0,304 ^{ns}	0,0020 ^{ns}	0,046 ^{ns}	27,76 ^{ns}
Velocidade*Período	8	0,235 ^{ns}	0,324 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	0,066 ^{ns}	27,12 ^{ns}
Bloco	3	0,703**	0,794**	0,0020 ^{ns}	1,265**	67,29 ^{ns}
Tratamento	15	0,343**	0,368**	0,0016 ^{ns}	0,154 ^{ns}	31,73**
Resíduo	45	0,174	0,157	0,0008	0,267	13,815
Total	63					

** significativo ao nível de 5% probabilidade pelo teste F

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

3.1.5.1 Porcentagem em massa de sólidos solúveis (°Brix)

Os tratamentos que apresentaram diferença significativa foram o P2V5 com 17,92 e o P1V2 16,77, sendo estes valores máximo e mínimo, respectivamente; e o tratamento que não sofreu por excesso de água (testemunha) apresentou °Brix de 17,27, como mostra a Figura 43.

Para a cana-planta, Tavares (2009) obteve, para a testemunha, 17,49 e para P1V3 17,37 de °Brix, ou seja, valores não muito superiores ao da cana-soca.

Paula (2008), não obteve diferença significativa entre a cana-planta e a primeira soca, porém os valores foram superiores: 18,78 e 18,58 de °Brix, respectivamente.

Figura 43 – Brix médio da cana-soca nas parcelas, considerando o efeito dos diferentes tratamentos
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os períodos em que ocorreram as inundações acarretaram diferenças significativas (Figura 44). As médias de °Brix para os períodos 44, 210, 300 DAC foram 17,06, 17,43 e 17,34, respectivamente. Percebe-se um aumento aos 210 e uma pequena redução no °Brix quando a inundação ocorreu aos 300 DAC. Poder-se-ia supor que, nessas condições experimentais, o período em que a cana-soca encontrava-se em brotação foi o mais afetado; entretanto, com essa pequena diferença não se pode afirmar que o estágio inicial é o mais sensível ao encharcamento; deve-se considerar, também, que nos últimos períodos a cana se encontrava mais próximo a maturação.

A redução dos valores médios do °Brix aos 300 DAC pode ser explicado pela absorção de água pela planta e, conseqüentemente, diluição do teor de sólidos solúveis, em função do excesso

de água no solo, no momento da colheita e não pelo fato de ser a planta sensível ou não ao encharcamento do solo neste estágio de desenvolvimento.

Paula (2008), trabalhando com a cana-soca em condições experimentais semelhantes, obteve uma redução no acúmulo de sólidos solúveis no caldo quando a inundação ocorrera no estágio final de maturação, independente da profundidade do nível freático e do tempo de permanência dos tratamentos.

Figura 44 – Brix médio da cana-soca nas parcelas, em função dos períodos em que ocorreram as inundações. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.1.5.2 Porcentagem em massa de sacarose aparente (Pol)

Os tratamentos que apresentaram diferença estatística foram P1V2, P2V5 e P3V1, com valores médios de 15,25, 16,30 e 16,29, respectivamente, sendo que os tratamentos P2V5 e P3V1 não diferiram entre si (Figura 45). Observa-se que, mesmo não apresentando diferença significativa, os tratamentos compostos pelo período de inundação P1 (44 DAC) e as velocidades de rebaixamento de 0,3 m de profundidade em 3, 6, 9, 12 e 15 dias foram os que apresentaram menores valores médios de pol.

Já Tavares (2009), obteve valores médios de Pol inferiores para cana-planta, quando a inundação ocorreu aos 305 DAP; para a velocidade de rebaixamento de 0,3 m em 12 dias, observou o menor valor médio de Pol, qual seja, 14,18.

Figura 45 – Pol médio nas parcelas, considerando o efeito dos diferentes tratamentos
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade

A Figura 46 mostra que houve diferença significativa na porcentagem de sacarose aparente (Pol), considerando a causa da variação período. Os valores médios de Pol são: 15,58; 15,90 e 15,97 aos 44 DAC, 210 DAC e 300 DAC, respectivamente.

Figura 46 – Pol médio nas parcelas em função dos diferentes períodos de aplicação das inundações
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A inundação aplicada aos 44 DAC proporcionou valores inferiores aos obtidos para inundações que ocorreram nos períodos subsequentes.

Resultado contrário foi obtido por Tavares (2009), com cana-planta, onde o período em que a Pol apresentou menor valor foi aos 305 DAP, com 14,18 de Pol.

Uma possível explicação para essa diferença se deve ao tempo de duração da inundação da cana-soca. Entre a aplicação do tratamento (inundação do lisímetro no período P3) e a colheita, transcorreu 17 dias na cana-soca enquanto que, na cana-planta transcorreu 50 dias.

Evidencia-se, assim, que para as condições experimentais deste trabalho (cana-soca) o período de estresse aplicado na brotação foi o que mais afetou a qualidade da produção; comportamento semelhante foi observado em relação a outros parâmetros, como o °Brix.

3.1.5.3 Açúcar redutor da cana (ARC)

Para o ARC houve diferença significativa para as causas de variação tratamentos (compostos de períodos e velocidades) e para períodos, como mostram as Figuras 47 e 48, respectivamente.

Os tratamentos que apresentaram diferença foram o P3V1, com 0,38, e o P3V5, com 0,45, sendo estes os valores máximos e mínimos de AR, respectivamente (Figura 47).

Analisando-se a Figura 27, percebe-se que a inundação aplicada aos 300 DAC apresenta os menores valores. Entretanto observando a Figura 26, verifica-se que quando ocorre uma redução nas velocidades de rebaixamento de 3 para 15 dias, o ARC aumenta.

Já para a cana-planta, Tavares (2009) não encontrou diferenças significativas para nenhuma das causas de variação; obteve, entretanto, valores superiores aos da cana-soca, que variaram de 0,47 e 0,51.

Paula (2008) encontrou diferenças no ARC entre a cana-planta e a cana-soca. Segundo o autor, nos tratamentos em que a disponibilidade hídrica foi maior, reduziu-se o acúmulo de ARC.

Figura 47 – Açúcar redutor da cana (ARC) médio nas parcelas da cana-soca, segundo os diferentes tratamentos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios de ARC para os períodos 44, 210 e 300 DAC foram 0,43, 0,43 e 0,40, respectivamente. Como já relatado, a inundação ocorrida aos 300 DAC proporcionou valores inferiores de ARC, quando comparado aos demais períodos (Figura 48). De forma contrária do Brix e a Pol, apresentaram valores inferiores quando a inundação ocorreu aos 44 DAC, conforme já apresentado.

Figura 48 – Açúcar redutor da cana (ARC) médio nas parcelas da cana-soca, segundo os períodos nos quais foram aplicadas as inundações

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

3.1.5.3 Fibra

Para a variável fibra, não houve diferença estatística em nenhuma das causas de variação. Os valores máximos e mínimos para a Testemunha (T), que não foi inundada, com 12,38%, e para o tratamento P2V5, com 11,49%.

Os tratamentos em que a inundação ocorreu aos 44 DAC apresentaram maior percentual de fibra, nas diferentes velocidades, com valores em torno de 12%, e para os demais períodos P2 e P3, 11,76 e 11,88%, respectivamente (Figura 49).

Para a cana-planta, Tavares (2009) obteve diferenças significativas considerando o período como causa da variação.

Paula (2008) obteve maiores porcentagem de fibra para os tratamentos que tinham maior disponibilidade hídrica (níveis freáticos mantidos a 0,25 m de profundidade), tanto na cana-planta e cana-soca. Já para os estádios de desenvolvimento, as menores porcentagens para cana-soca foram obtidas aos 180 DAC, e aos 270 DAP, para a cana-planta.

Figura 49 – Percentual médio de fibra nas parcelas da cana-soca, considerando os períodos como causa de variação. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.1.5.4 ATR

Houve diferença significativa para as causas de variação tratamentos e períodos. Os valores de açúcar teórico recuperável (ATR) nos diferentes tratamentos estão apresentados na Figura 50.

Valores máximos e mínimos de ATR foram obtidos para os tratamentos P2V5 e P3V4, com $159,32 \text{ kg Mg}^{-1} \text{ cana}^{-1}$ e $152,28 \text{ kg Mg}^{-1} \text{ cana}^{-1}$, respectivamente; e para a Testemunha, obteve-se $154,64 \text{ kg Mg}^{-1} \text{ cana}^{-1}$. Entretanto, a inundação ocorrida aos 44 DAC (período em que as plantas encontravam-se em rebrota), nas diferentes velocidades acarretou nos menores valores de ATR, sugerindo que este período é o mais sensível. Para a cana-planta, Tavares (2009) obteve o menor valor de ATR também com o tratamento P3V4 com $139,67 \text{ kg Mg}^{-1} \text{ cana}^{-1}$ e o maior valor de ATR com o tratamento P3V3, com $155,70 \text{ kg Mg}^{-1} \text{ cana}^{-1}$.

Figura 50 – Açúcar teórico recuperável (ATR) nas parcelas da cana-soca considerando os Tratamentos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores máximos e mínimos médios de ATR para os períodos foram 155,87 kg Mg⁻¹ cana⁻¹, para o terceiro período e 152,36 kg Mg⁻¹ cana⁻¹ para o primeiro período.

O menor valor de ATR foi obtido quando a inundação foi aplicada aos 44 DAC (Período P1 - Figura 51).

Figura 51 – Açúcar teórico recuperável (ATR) nas parcelas da cana-soca, considerando os períodos como causa da variação

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

4 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o experimento foi conduzido, é possível concluir que:

1 - A primeira soca da cana-de-açúcar não apresentou sensibilidade ao excesso de água no solo, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, segundo as variáveis que se referem ao crescimento da planta;

2 - Não foi verificada queda de rendimento quantitativo da cana-soca, para velocidades de rebaixamento do nível freático (NF) de até 30 cm em 15 dias;

3 - Não houve perdas sensíveis de produtividade, em relação à cana-planta, considerando as variáveis relacionadas ao rendimento da cultura, quais sejam massa verde dos colmos e massa verde total;

4 - Não foram verificados indicativos de que o encharcamento possa contribuir para a diminuição da longevidade do canavial;

5 - O estágio de desenvolvimento inicial (rebrotas) da cana-soca mostrou-se mais sensível em relação a variável açúcar teórico recuperável (ATR). Considerando que o mesmo é importante para a indústria e para o produtor, uma vez que o pagamento da produção é feito em função dele, o estresse nesta fase seria prejudicial, ocasionando perdas financeiras;

6 - O pH do solo não foi alterado pelo excesso de água do solo, e sim, possivelmente, pela calagem realizada no primeiro ano de cultivo.

REFERÊNCIAS

AHMAD, N.; KANWAR, R.S. Crop susceptibility factors of corn and their effect on stress-day index. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.32, n.6, p.1979-1986, 1989.

ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raiz de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.653-659, out./dez. 2000.

ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica**, Neerlandica, v.43, p.307-358, 1994.

BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (Saccharum spp.): um modelo matemático-fisiológico de estimativa**. 1993. 142 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

BLACKBURN, F. **Sugarcane**. New York: Longman, 1984. 414p.

BOWER, H. Developing drainage design criteria. In: SCHILFGAARDE, J.van **Drainage for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. n.7 chap 5 p. 67-97.

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

CARTER, E.C; FLOYD, M.J.; Subsurface drainage and irrigation for sugarcane. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.16, n.2, p 279-284, 1973.

CONSECANA (CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO). Manual de instruções. 5. ed. Piracicaba – SP. 2006. 111 p. Disponível em: www.unica.com.br/download.asp?mmdCode=A8D2ABCA-8247-45D1-8720-C14CD485F380. Acesso em: 19 ago. 2008.

CNA. **Cana-de-Açúcar**: Produtores marginalizados da euforia do setor. Disponível em: <http://www.cna.org.br/site/noticia.php?ag=0en=6813>. Acesso em: 07 jul. 2008

CHRISTOFFOLETI, P.J. **Aspectos fisiológicos da brotação, perfilhamento e florescimento da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1986. 80p.

CRUCIANI, D.E. Caracterização agrônômica de coeficientes de drenagem para elaboração de projetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4., 1981b. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABRH, 1981b. p.500-514.

_____. Caracterização agrônômica de coeficientes de drenagem para elaboração de projetos com a cultura do milho (*Zea mays* L.) **Revista Item**, Brasília, n.22, p.28-31, 1985.

_____. **A drenagem na agricultura**. 4 ed. São Paulo: Nobel, 1986. 337 p.

CRUCIANI, D.E.; MINAMI, K. Susceptibilidade do pimentão (*Capsicum annum* L.) a inundações temporárias do sistema radicular. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.39, p.137-150, 1982.

CURI, N.; RESENDE, M. SANTANA, D.P. Solos de várzeas de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.152, p.3-10, 1988.

DILLEWIJN, C.V. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. Efectos del agua sobre el redimiento de los cultivos. Roma: FAO, 1979. 212 p. (FAO, Riego y Drenaje, 33).

DREW, M.C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Texas, v.48, p.223-250, 1997.

HADDAD, M.C., PLATSZECK, O.C., TAMASSIA, M.F.L., CASTRO, F.G.F. Estabelecimento do capim setária cv. Kazungula em condições de inundação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.2, p. 205-212. Apr./Jun. 2000.

HERMANN, E.R.; CÂMARA, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.17, n.5, p.32-34, 1999.

HILER, E.A.; CLARK, R.N. Stress day index to characterize effects of water stress on crop yields. **Transaction of the ASAE**, St Joseph , v.14, n.4, p.757-761, 1971.

HILER, E.A. Quantative evaluation of crop drainage requirements. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.12, n.4, p.499-509, 1969.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 1990-2000**. Disponível em: <<http://www.sidraibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 Ago.2009.

Informativo BEN – Empresa de pesquisa energética - Resultado final 2008. Disponível em: http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/Estudos_13/Informativo%20BEN%20-%20Resultado%20final%202008.pdf

JACKSON, M.B.; DREW, M.C. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: KOZLOWISK, T.T. (Ed.) **Flooding and plants growth**. Orlando: Academics Press, 1984. chap. 3. p. 47-113.

KOZLOWSKI, T.T. **Flooding and plant growth**. New York:Academic Press, 1984. 168 p.

KRAMER, P.J. **Plant and soil relationships**: A modern synthesis. New York: McGraw-Hill, 1969. 482 p.

LEME FILHO, J.R.A. **Estudo comparativo dos métodos de determinação e de estimativa dos teores de fibra e de açúcares redutores em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2005. 115p. Dissertação (Mestrado na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

LETEY, J.; STOLZY, H.; BLANK, G.B. Effect of duration and timing of low soil oxygen content on shoot and growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p.34-37, 1962.

LIAO, C.T.; LIN, C.H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proceedings of the National Science Council**, Taiper, v.25, p.148-157, 2001.

LIZASO, J.I.;MELENDEZ, L.M.;RAMIREZ, R. Early flooding of two cultivars of tropical maize. I. Shoot and root growth. **Journal of Plant Nutrition**, London, v.24, p.979-995, 2001.

LUTHIN, J.N. **Drenaje de tierras agrícolas**. México, 1967. 684p.

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

MATSUOKA, S. Botânica e ecofisiologia da cana-de-açúcar. Apostila: Curso de Qualificação em Plantas Industriais – Cana-de-açúcar, São Paulo, 1996. 93p.

OBREZA, T.A.; YAMATAKI, L.; PEARLSTINE, G. Classification of land suitability for citrus production using DRAIMOND. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.48, n.1, p.58-64, 1993.

ORTOLAN, M.C.A., Perspectivas para o setor sucroalcooleiro brasileiro. IN: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. 415 p.

OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.;FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.4, p.398-405, abr. 2009.

PAULA, A.L. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em ambiente protegido sob diferentes níveis freáticos**. 2008. 149p. Tese (Doutorado na área de Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba,2008.

PITTIS, D.J.; TSAI,Y.J.;MYHRE,D.L.;ANDRSON,S.F.;SHIH,S.F. Influence of water depth on sugarcane grown in sandy soils in florida. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 36, n.3, p. 777-782, 1993.

RUSSELL, M.B. Water and its relation to soils and crops. **Advances in Agronomy**, Newark , v.11, p1-131, 1959.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, J.H.; CAVALCANTI, F.J.A. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar: III. Conteúdo de nutrientes e distribuição do sistema radicular no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, p.425-431, 1987.

SÁ, J.S.; CRUCIANI, D.E.; MINAMI, K. Efeitos de inundações temporárias do solo em plantas de ervilha. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.50-54, jan-mar 2004.

SILVA, D.K.T. **Crescimento de cultivares de cana-de-açúcar em primeira soca na região noroeste do Estado do Paraná na safra de 2002/2003**. 2005. 61p. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SILVA, A.S. **O pro-várzeas em propriedades selecionadas do município de Curvelo-Mg**. 1982. 77 p. Dissertação (Mestrado na área de Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.

SCARDUA, R. **O clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana-de-açúcar (Saccharum spp)**. 1985. 122 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz,” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SCHILGAARDE, J.V. Nonsteady flow to drains In: SCHILFGAARDE, J.V. **Drainage for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. p. 245-270.

SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, p.169-183, 2005.

TAVARES, A.C.S. **Sensibilidade da cana-de-açúcar ao excesso de água no solo**. 2009. 220p. Tese (Doutorado na área de Engenharia agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

VALLE JUNIOR, J.F. **Introdução a Ciência do solo**. Boa Vista, 2004. 195p (Notas de aulas)

WESSELING, J. Crop growth and wet soils. In: SCHILFGAARDE, J. van. **Drainage for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. chap. 2. p.7-37. (Agronomy Monograph, 17).

WILLIANSO, R.E.; SCHILFGAARDE, J. VAN. Studies of crop response to drainage: II. Lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.8, n.1, p.98-100, 1965.