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

Balanço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar

Alexsandro dos Santos Brito

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2006

Alexsandro dos Santos Brito
Engenheiro Agrônomo

Balanço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO LEONEL LIBARDI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Brito, Alexsandro dos Santos

Balanço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar /
Alexsandro dos Santos Brito. - - Piracicaba, 2006.
82 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.
Bibliografia.

1. Adubação 2. Água do solo 3. Balanço hídrico 4. Cana-de-açúcar 5. Fertilizantes
nitrogenados 6. Latossolos I. Título

CDD 633.61

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

Dedico essa dissertação a três pessoas: à minha mãe, Zenaide, e ao meu irmão, Erikson, por serem as minhas maiores expressões de Deus. Fontes constantes de um Amor que tive o privilégio de sentir e que hoje, mais do que nunca, reconheço a sua sutil importância.

À Suane, minha esposa, também dedico essa dissertação, por todo carinho e atenção diária, por compartilharmos os nossos sonhos, um ajudando e incentivando o outro de uma forma pura e simplesmente linda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me ofertado com a vida, feliz e saudável, e permitir que fizesse parte de uma família generosa e justa, na qual o Amor foi e será sempre a força necessária para seguir pelos caminhos em busca da Sabedoria. Por tudo isso, agradeço a minha Mãe Zenaide, a quem devo tudo o que sou; a minha avó Francisca, minha fonte espiritual e aos meus irmãos Erikson, Márcia e Anízia, que participaram ativamente da minha educação.

Aos Professores Joelito Rezende e Ana Cristina Firmino por todo o incentivo durante a graduação, fazendo com que desenvolvesse o Amor e o tato científico, com uma curiosidade constante, a determinação e a persistência na busca das respostas e da responsabilidade social e ambiental. Além disso, quero registrar minha gratidão ao amigo Joelito Rezende que me tratou como um filho, se preocupando com a minha educação profissional e a minha formação ética.

Mais uma vez, gostaria de agradecer a Deus por ter me abençoado com um orientador maravilhoso, o Professor Paulo Libardi. Um verdadeiro exemplo de Professor e um espírito científico fascinante. Além dos novos conhecimentos e técnicas, aprendi, com o Professor Paulo Libardi, a ter uma atitude sempre positivista diante dos trabalhos e da vida, e de ser minucioso nos conhecimentos contidos nas linhas e entrelinhas dos textos.

Ao Professor Paulo Libardi e a sua Esposa, Cristina, pela demonstração de carinho.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela comprometida transmissão de conhecimento e aos Professores: Paulo Libardi, Sergio Moraes, Álvaro Pires e Jarbas Miranda; pelos diálogos agradáveis, incentivos e ajuda.

Ao Professor Paulo Trivelin e os seus orientados: Carlos Faroni, Henrique, André Vitti, Rafael Otto; pelo apoio durante todo o período experimental. Gostaria de registrar os meus agradecimentos à Pingim e à estagiária Carol (Laboratório de Isótopos estáveis – CENA).

À Usina Santa Adélia pela concessão da área e pelo apoio dos seus técnicos, Sandro e Tonhão, e dos seus funcionários de campo.

Ao Centro de Tecnologia Canavieira – CTC por todo o apoio dispensado pelo Técnico Anderson Forti que tanto nos ajudou.

À Gustavo, Técnico do Núcleo de Pesquisa Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NEPEGEL) da ESALQ/USP, pelo apoio nas análises de densidade das partículas.

Aos amigos de sala: Dolorice Moreti, Mônica Martins, Flávia Fernandes, Pablo Javier, Jaedson Mota; pelo convívio gratificante.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola: Derblai e Adriano Gonçalves; do Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem: Ceres Duarte, Sérgio e César; do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia: Roseli, Elaine, Amâncio, Gustavo, Erik e Hector.

Aos amigos baianos: Suane, Tales Miller, Edmilson, Jurema, Roseli, Elaine, Marcelo, Laércio, Amâncio, Taís, Bruno, Onildo.

À Nancy, Secretária do Programa Solos e Nutrição de Plantas e à Francisco e Fernando, secretários do Departamento de Ciências Exatas, por todo apoio e atenção.

Aos amigos (as) do Programa Solos e Nutrição de Plantas: Brivaldo, Márcia Calegari, Rafael, Eloise, Maurício, Alexandre Martinez, Afrânio e Marcelo.

À Silvia Zinsly, bibliotecária da Divisão de Biblioteca e Documentação da ESALQ/USP, pela cordialidade e presteza na correção das referências.

Por fim, agradeço ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” por ter proporcionado a realização desse sonho; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudo e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo apoio financeiro do Projeto Temático, do qual esta Dissertação fez parte.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 DESENVOLVIMENTO.....	15
2.1 Importância da cultura da cana-de-açúcar	15
2.2 Balanço da água.....	15
2.2.1 Balanço climatológico	15
2.2.2 O balanço da água no solo.....	16
2.3 Material e Métodos.....	25
2.3.1 Localização e caracterização da área experimental	25
2.3.2 Delineamento experimental.....	27
2.3.3 Caracterização do solo.....	27
2.3.4 Calibração do manômetro tipo Bourdon	35
2.3.5 O balanço de água no solo.....	36
2.4 Resultados e discussão	40
2.4.1 Condições climáticas	40
2.4.2 Condições do solo.....	43
2.4.3 O balanço de água.....	45
3 CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS	54
ANEXOS.....	58

RESUMO

Balanço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar

A disponibilidade de água no solo para as culturas é um dos principais fatores de produção. O estudo das características climáticas, juntamente com as propriedades físico-hídricas do solo, o sistema de manejo do agro-ambiente e as características vegetais são itens fundamentais para a implantação de um canavial produtivo. Objetivando caracterizar o comportamento da água no solo e sua influência na produtividade da cana-de-açúcar com e sem adubação nitrogenada, foram instalados instrumentos para medir a entrada e saída da água do solo, permitindo a efetuação do balanço de água em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, localizado na Usina Santa Adélia, Município de Jaboticabal – São Paulo. O estudo foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com 2 tratamentos e 4 repetições, sendo que os tratamentos constaram de uma testemunha – T₁ (sem adubação nitrogenada) e T₂ (120 kg ha⁻¹ de nitrogênio). As avaliações foram realizadas do dia 30 de setembro de 2005 a 12 de julho de 2006. O volume de controle de utilizado teve como limite inferior a profundidade de 0,90 m, uma vez que essa camada engloba mais de 95 % do sistema radicular da cana-de-açúcar. A precipitação pluviométrica foi medida com um pluviômetro, modelo Paulista, instalado ao lado da área experimental e uma estação meteorológica automática instalada a 500 m da área experimental. As armazenagens de água no solo foram feitas gravimetricamente, nas seguintes camadas: 0 – 0,15; 0,15 – 0,25; 0,25 – 0,35; 0,35 – 0,45; 0,45 – 0,55; 0,55 – 0,65; 0,65 – 0,75; 0,75 – 0,85; 0,85 – 0,95 m; em períodos que variaram de 14 a 28 dias, totalizando 14 amostragens. Para a determinação das densidades de fluxo diárias, no limite inferior do volume de controle de solo, foram instalados tensiômetros nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,0 m, sendo que o tensiômetro de 0,90 m foi utilizado para a estimativa da umidade do solo, com uso da curva de retenção da água no solo, e os outros dois tensiômetros para o cálculo do gradiente de potencial total da água no solo. As densidades de fluxo foram calculadas pela equação de Darcy-Buckingham, sendo que a condutividade hidráulica do solo foi determinada pelo método do perfil instantâneo. Conhecendo esses componentes, foi possível efetuar o balanço de água no solo para os 13 períodos, calculando a evapotranspiração pela equação de balanço de massas, uma vez que a pequena declividade permitiu negligenciar o escoamento superficial. As perdas de água por drenagem interna para todo o período não apresentou diferença significativa, enquanto a entrada de água no volume de controle de solo por ascensão capilar foi 87,53 % maior no T₂. Esse comportamento das densidades de fluxo nos tratamentos não refletiu em diferença significativa para a armazenagem de água no solo. Ao longo dos 13 períodos avaliados, o T₂ apresentou uma evapotranspiração de 1156,06 mm, enquanto no T₁ foi de 1057,85. Não se verificou diferença significativa para a produtividade, nem para a eficiência de uso da água da cultura.

Palavras-chave: Armazenagem de água; evapotranspiração; densidade de fluxo

ABSTRACT

Water balance in an Ultisol cropped with Sugarcane

The soil water availability for agricultural crops is one of the main production factors. The study of climatic characteristics together with soil physical and hydrological properties, agro-environmental management system and the plant characteristics are of fundamental importance for the introduction of a productive sugarcane crop. With the objective of characterizing the soil-water behaviour and its influence on the sugarcane productivity, with and without nitrogen fertilization, instruments were installed to measure inputs and outputs of water in the soil, which permitted the determination of the water balance in an Ultisol (Arenic Kandistults) located in the county of Jaboticabal, State of São Paulo, Brazil. The work was carried out using the experimental design of random blocks, with two treatments and four replications, being the treatments: T₁ (control, without nitrogen fertilization), T₂ (120 kg ha⁻¹ of nitrogen fertilization). Measurements were made from September 30, 2005 to July 12, 2006. The lower limit of the soil control volume for the water balance was the soil depth of 0.9 m. Rainfall was measured with a raingauge, model "Paulista" installed beside the experimental area and also by means of an automatic meteorological station installed 500 m from the experimental area. Soil water storages were made gravimetrically in the following soil layers 0 – 0.15 m; 0.15 – 0.25 m; 0.25 – 0.35 m; 0.35 – 0.45 m; 0.45 – 0.55 m; 0.55 – 0.65 m; 0.65 – 0.75 m; 0.75 – 0.85 m; 0.85 – 0.95 m in periods that varied from 14 to 28 days, totalizing 14 samplings. For the daily water flux density calculations in the lower limit of the control volume, by Darcy-Buckingham equation, tensiometers were installed at the 0.80, 0.90 and 1.00 m soil depths, being the tensiometer at the 0.90 m depth used to calculate the soil water content, via a soil water retention curve, and then the soil hydraulic conductivity at this depth, and the other two tensiometers to calculate the soil water total potential gradient at the same depth. The hydraulic conductivity as a function of soil water content was determined by the instantaneous profile method. With the knowledge of these processes of the soil water balance, it was possible to determine the balance for the 13 selected periods, calculating the actual evapotranspiration as the unknown of the soil water balance equation. The small slope of the experimental area permitted to neglect the surface runoff. Internal drainage water losses for the entire period between treatments, were not different, while the water inputs in the control volume by capillary rise was 87.53% higher in treatments T₂. This behaviour of the water flux densities in the treatments did not reflect in significant differences for the soil water storage. For the entire evaluated period, treatment T₂ presented an evapotranspiration of 1156.06 mm, and treatment T₁ of 1057.85 mm. Sugarcane productivity and water use efficiency did not present significant difference between treatments T₁ and T₂ even though plants of treatment T₁ were, in average, more efficient in using water.

Key words: Water storage; evapotranspiration; flux density

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Sistema solo-planta-atmosfera e os parâmetros do balanço da água no solo	18
Figura 2	–	Preparo do solo (sulcação) para o plantio (A), distribuição das mudas de cana-de-açúcar (B), corte das mudas em toletes (C) e canavial com plantas emergidas (D)	26
Figura 3	–	Trincheira utilizada para a descrição morfológica e classificação do solo na área experimental da Usina Santa Adélia	28
Figura 4	–	Detalhes do picnômetro a gás (A e B). Na foto B, a seta vermelha indica a posição da câmara de amostra e a seta azul indica a cubeta de amostra	29
Figura 5	–	Detalhes da separação da areia (A) e do aquário utilizado para evitar oscilações da temperatura (B).....	30
Figura 6	–	Funil de Haines (A) e câmaras de Richards (B) utilizadas para a elaboração das curvas de retenção da água no solo	31
Figura 7	–	Montagem do perfil instantâneo com a escavação de uma coluna de solo no campo (A), saturação da coluna e posicionamento de lona plástica com mesmo diâmetro da coluna (B), fechamento com uma segunda lona (C) e cobertura do perfil instantâneo com a palhada do canavial.....	32
Figura 8	–	Teste de calibração do vacuômetro tipo Bourdon e a equação de ajuste	35
Figura 9	–	Oscilação diária da temperatura durante o período do balanço de água no solo...	40
Figura 10	–	Precipitação pluviais medidas no pluviômetro e na estação meteorológica automática.....	41
Figura 11	–	Evapotranspiração média da cultura para os períodos do balanço de água no solo	42
Figura 12	–	Densidade (A) e porosidade total (B) do solo para os respectivos horizontes pedológicos.....	44

Figura 13 –	Armazenagem médio de água no solo nos tratamentos 1 (A) e 2 (B) em todos os períodos do balanço de água	46
Figura 14 –	Variação da armazenagem de água no solo (tratamento 1 e 2) e pluviosidade para os períodos do balanço de água	46
Figura 15 –	Densidades de fluxo e pluviosidade nos períodos do balanço de água no solo para o tratamento 1	49
Figura 16 –	Densidades de fluxo e pluviosidade nos períodos do balanço de água no solo para o tratamento 2	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Caracterização dos períodos de avaliação do balanço de água no solo.....	37
Tabela 2	–	Idade e períodos de desenvolvimento da cana-de-açúcar com seus respectivos coeficientes de cultura	43
Tabela 3	–	Análise estatística das densidades de fluxo de água (mm) nos períodos do balanço de água no solo no tratamento 1.....	47
Tabela 4	–	Análise estatística das densidades de fluxo de água (mm) nos períodos do balanço de água no solo no tratamento 2.....	48
Tabela 5	–	Drenagem interna e ascensão capilar para todo o período de avaliação do balanço de água no solo.....	50
Tabela 6	–	Análise estatística descritiva da evapotranspiração do tratamento 1 para os períodos do balanço de água.....	51
Tabela 7	–	Análise estatística descritiva da evapotranspiração do tratamento 2 para os períodos do balanço de água.....	51
Tabela 8	–	Produtividade, evapotranspiração total média (ET) e a eficiência de uso da água da cana-de-açúcar em função dos tratamentos	52

1 INTRODUÇÃO

Sejamos como a Água que ao cair em despenhadeiros gera energia e ao rebaixar-se diante dos riachos e rios, se torna grandiosa como o mar.

O planejamento agrícola, em escala local e regional, vem dando, cada vez mais, ênfase à utilização da água com o máximo de eficiência. A água é um dos elementos mais importantes da natureza, por está envolvida em todos os processos vitais à vida. Nas plantas, a água desempenha funções fundamentais, desde a embebição pela semente até a colheita dos produtos agrícolas destinados à alimentação humana e animal, cosméticos, celulose, entre tantos outros.

Dentre os processos em que a água participa na fisiologia vegetal e que merecem ser citados, encontram-se a dissipação do calor proveniente da radiação solar, que promove um efeito refrescante; absorção de nutrientes, servindo como veículo (solvente); na fotossíntese e fosforilação oxidativa; manutenção do turgor celular, importante na rigidez e estabilidade mecânica da célula, na expansão celular, trocas gasosas e transporte de substâncias no interior das plantas; entre tantas outras funções.

Passando para o estudo do sistema solo-planta-atmosfera, observam-se múltiplas interações da água com essas três fases. O conhecimento da magnitude dessas interações, sob as diversas condições agroecológicas, é importante para o planejamento e estabelecimento de projetos agrícolas com maiores chances de sucesso.

Uma metodologia que possibilita o estudo mais detalhado das condições hídricas em que a cultura se desenvolveu é o *balanço da água no solo*. Esse balanço é constituído pela contabilização, em certo período, de todas as formas de entrada e saída de água de um volume controle de solo, submetido às peculiaridades dos fenômenos meteorológicos, dos atributos do solo e das características genéticas da espécie ou mesmo da variedade vegetal. A água perdida por uma fase do sistema solo-planta-atmosfera é incorporada em outra fase, caracterizando esse balanço como a própria Lei da conservação de massas. O saldo desse balanço é a água retida pelo solo e que pode estar disponível às plantas.

O solo e os seus atributos físicos, químicos e biológicos interagem de forma complexa com a água. Quando as metas agrícolas são traçadas para médio ou longo prazo, não existe superioridade, em termos de importância, entre esses três tipos de atributos, pois as plantas são sensíveis às alterações e beneficiadas quando o solo encontra-se com boa qualidade. Para tanto, a adoção de práticas que promovam boas condições físicas, químicas e biológicas são essências para manutenção da fertilidade do solo. Entretanto, a qualidade física e química pode comprometer, em curto prazo, o bom desenvolvimento das plantas.

Os atributos físicos do solo possuem relações importantes na retenção e redistribuição da água no perfil do solo. Além disso, o sistema de manejo, principalmente as práticas mecanizadas de preparo do solo, manutenção da cultura e de colheita, podem interferir, de forma positiva ou negativa, nos atributos físico-hídricos do solo e conseqüentemente no desenvolvimento vegetal. Nesse aspecto, a textura do solo e a presença de camadas compactadas têm uma forte influência no movimento e na armazenagem de água no solo, sendo que esses processos estão ligados à distribuição geométricas dos poros e ao tipo de estrutura.

A fertilidade química do solo ligada às características morfo-fisiológicas da planta também interferem bastante no balanço de água, pois uma planta bem nutrida pode ter um melhor desenvolvimento, tanto de raízes quanto de parte aérea, promovendo uma elevada taxa de transpiração, em detrimento de outros processos. É justamente nesse último ponto que toda tecnologia aplicada nas áreas agrícolas deve se deter como objetivo final. O melhoramento genético e a melhoria das condições edáficas tornam a planta capaz de utilizar, ao máximo, a água armazenada no solo, exteriorizando todo o seu potencial produtivo e minimizando as perdas de água por evaporação, escoamento superficial e demais formas de saída de água do sistema solo-planta-atmosfera, que não passam pela planta.

A estação chuvosa, coincidente com o período de recarga hidráulica do solo, possui uma distribuição, quantidade e intensidade de chuva específica para as diferentes regiões geográficas. Esse regime pluviométrico fornece, muitas vezes, uma quantidade de água maior que um dado volume de controle de solo pode armazenar. Além disso, nesse período a atmosfera encontra-se quase sempre saturada (umidade relativa alta), o que diminui a demanda evaporativa da atmosfera e ocasiona perdas de água por drenagem interna. A velocidade de infiltração da água é específica para cada solo e quando esta é menor que a intensidade de uma chuva, ocasiona

escorrimento superficial, run-off, e início de um processo erosivo do solo, principalmente quando o terreno apresenta declividade acentuada e encontra-se sem cobertura vegetal.

Portanto, a partir da hipótese de que há uma relação direta e bastante estreita entre a disponibilidade de água no solo, a fertilidade do solo e o desenvolvimento da planta, sistema radicular e área foliar, com grau de intensidade específico para cada condição agroecológica, objetivou-se nesse trabalho, determinar o balanço de água no solo cultivado com cana-de-açúcar com e sem adubação nitrogenada.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Importância da cultura da cana-de-açúcar

A escassez de combustíveis derivados do petróleo é cada dia mais evidente. Aliado a essa questão tem-se ainda os danos causados ao meio ambiente, pela emissão de gases tóxicos oriundos da queima desses combustíveis fósseis, formados em outra era geológica.

A necessidade de uma matriz energética alternativa e que englobe o conceito de sustentabilidade em sua concepção, etapas e processos, é atualmente um objeto de interesse mundial.

O Brasil desponta como um dos países com grande potencial para oferecer ao mundo essa nova alternativa energética, apesar do atraso decorrente da descontinuidade nos investimentos em projetos dessa natureza. Nesse aspecto, o álcool combustível produzido a partir da cana-de-açúcar é uma dessas alternativas.

A cana-de-açúcar foi uma das primeiras culturas agrícolas a serem produzidas no Brasil, sendo introduzida no ano de 1502. Com condições climáticas e pedológicas favoráveis, os engenhos se expandiram pelo litoral do país, tornando-o, em pouco mais de cinquenta anos, o maior produtor mundial de açúcar proveniente dessa cultura (Cintra, 1994).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial, com uma área cultivada de 5.571.400 hectares e uma produção de 410.983.008 toneladas. O Estado de São Paulo se destaca como o maior produtor, participando com 60,34 % da safra 2005/2006 (AGRIANUAL, 2006).

O surgimento de veículos bicomcombustíveis e a redução dos subsídios nos países europeus no final do ano de 2005 criaram uma expectativa bastante animadora para o setor.

2.2 Balanço da água

2.2.1 Balanço climatológico

Esse balanço utiliza variáveis climáticas como a precipitação, a evapotranspiração potencial, o excedente de água, água disponível inicial, água disponível final, evapotranspiração real, déficit hídrico e excesso hídrico. Entretanto, para um dado local é necessário se conhecer

apenas a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração potencial, através de um pluviômetro e valores de temperatura do ar (TUBELIS, 2001).

Esse método de balanço de água também utiliza a capacidade de água disponível (CAD) no solo, como sendo resultante do produto da espessura da camada de solo pela diferença entre a umidade volumétrica na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente (CENTURION e ANDRIOLI, 2000). Entretanto, Angelocci (2002) salienta que trabalhos mais recentes verificaram que a planta tem seu crescimento afetado antes mesmo de atingir o ponto de murcha permanente.

Centurion e Andrioli (2000) estudaram o regime hídrico, pelo método de Thornthwaite, nos seguintes solos do município de Jaboticabal: um Latossolo Eutrófico Típico, textura argilosa; Latossolo Vermelho Distrófico Típico, textura argilosa; Latossolo Vermelho Eutrófico Típico, textura muito argilosa; Latossolo Vermelho Eutroférico Típico, textura muito argilosa e um Nitossolo Vermelho Eutroférico latossólico, textura muito argilosa; e verificaram que o Latossolo Vermelho Eutroférico apresentou uma capacidade de água disponível (113,80 mm) superior à das demais classes de solos. O Latossolo Vermelho Distrófico típico apresentou uma capacidade de água disponível de 99,20 mm, sendo menor, apenas, que a do Latossolo Vermelho Eutroférico e o Nitossolo Vermelho Eutrófico.

2.2.2 O balanço da água no solo

As culturas agrícolas possuem características morfológicas e fisiológicas específicas. As plantas pertencentes à classe das monocotiledôneas possuem sistema radicular fasciculado e as plantas pertencentes à classe dicotiledôneas possuem sistema radicular pivotante. Cada um desses dois tipos de configuração radicular possibilita a exploração de certo volume de solo, ideal para o perfeito desenvolvimento vegetativo e conclusão do ciclo da cultura, quando as condições físicas, químicas e biológicas do solo não são restritivas. O estudo da cultura no seu ambiente de desenvolvimento é importante, pois pode gerar informações para adequar o melhor manejo e cultivar às condições de clima e solo (MAULE; MAZZA; MARTHA JR, 2001).

Estudo prévio, para cada cultura e para cada tipo de solo, possibilita o conhecimento do volume de solo explorado pelo sistema radicular. Dessa forma, esse volume, denominado volume de controle de solo (LIBARDI, 2005), deve englobar 95% ou mais do sistema radicular ativo

(REICHARDT e TIMM, 2004), possuindo a superfície do solo como limite superior. Faroni (2004) trabalhando com a variedade de cana-de-açúcar RB85 5156 no Município de Piracicaba – SP verificou que a concentração de raízes nas camadas de 0 – 0,2 e 0 – 0,4 m de solo foram de 74 e 92 %, respectivamente, restando apenas 8 % das raízes para a camada de solo entre 0,4 a 0,8 m de profundidade. Para a distribuição de raízes de cana-de-açúcar na direção da entre-linha, Faroni (2004) verificou que 65 % das raízes se encontraram na linha de plantio e para as distâncias de 0,14 a 0,42 m e de 0,42 a 0,7 m da linha de plantio encontraram outros 18 % e 17 %, respectivamente.

Segundo Faroni e Trivelin (2006), a maioria dos trabalhos que envolvem várias técnicas no estudo de raízes, principalmente de culturas perenes, não faz distinção entre raízes metabolicamente ativas e mortas, nem menção ao fluxo de emissão de novas raízes a cada ciclo da planta, o que é um contra-senso, já que raízes vivas são responsáveis pela relação solo-planta, principalmente na absorção de água e nutrientes. Timm et al. (2002) escolheram a profundidade de 1,0 m como limite inferior do volume de solo utilizado para o estudo de balanço da água, em um solo classificado como TERRA ROXA ESTRUTURA cultivado com cana-de-açúcar.

Com a escolha do volume de controle de solo para uma dada cultura agrícola, submetida às condições climáticas específicas da região geográfica, constrói-se um sistema solo-planta-atmosfera (Figura 1). Nesse sistema, o solo tem uma função preponderante, servindo como meio para o crescimento do sistema radicular, sendo que para isso, deve possuir atributos com bons níveis de qualidade e que possibilitem o fornecimento de nutrientes, oxigênio, calor e, sobretudo, água disponível na quantidade e no momento certo. A posição que o solo detém nesse sistema o torna peça importantíssima nas interações hídricas.

A utilização de certos instrumentos e estruturas possibilita conhecer as diversas formas de entrada e saída da água no volume de controle de solo e a realização de um balanço de água.

Esse balanço é constituído pela contabilização (equação 1), em certo período ($t_2 - t_1$), de todas as formas de entrada (E_a) e saída (S_a) de água de um volume controle de solo, submetido às peculiaridades dos fenômenos meteorológicos, dos atributos do solo e das características genéticas da espécie ou mesmo da variedade vegetal.

A água perdida por uma fase do sistema solo-planta-atmosfera é incorporada em outra fase, caracterizando esse balanço como a própria Lei da conservação de massas. O saldo desse balanço corresponde à variação de armazenagem de água (Δh) para o período considerado (LIBARDI, 2005).

$$\Delta h = E_a + S_a \quad (1)$$

em que $\Delta h = h_2 - h_1$, sendo h_1 e h_2 as armazenagens de água nos instantes t_1 e t_2 , respectivamente.

Figura 1 – Sistema solo-planta-atmosfera e os parâmetros do balanço da água no solo

As formas de entrada de água podem consistir da precipitação (P), da irrigação (I), do deflúvio superficial de entrada (R_e), do deflúvio sub-superficial de entrada (R'_e) e da ascensão capilar (AC). As formas de saída de água podem consistir, por sua vez, da drenagem interna (D),

evapotranspiração (ET), deflúvio superficial de saída (R_s) e do deflúvio sub-superficial de saída (R'_s). Conforme Libardi (2005) a equação (1) torna-se:

$$\Delta h = P + I + R_e + R'_e + AC + D + ET + R_s + R'_s \quad (2)$$

Muitas das formas de entrada e saída de água que compõem a equação (2) são desconsideradas devido às condições experimentais. Os deflúvios superficiais, por exemplo, são importantes em terreno declivoso, que não oferece o tempo necessário para que a água infiltre no solo, escoando por sobre o solo. Os deflúvios sub-superficiais também são relevantes em solos que apresentam camadas compactadas ou adensadas. A necessidade de estrutura que possibilite a captação dessa água tem ocasionado a escolha de terrenos mais planos que permitem negligenciar, com segurança, esses parâmetros. Brunini, Grohmann e Santos (1981); Libardi e Saad (1994); Cintra; Libardi e Saad (2000); Antonino et al. (2000); Timm et al. (2002); Cruz et al. (2005) estudaram o balanço da água no solo sem considerar o run-off. Para períodos chuvosos, Timm et al. (2002) calcularam o deflúvio superficial pela equação de balanço de massas e estimaram a ET pela equação de Penman-Monteith, uma vez que o terreno apresentava uma declividade de 7,4 %. Esses autores ressaltam que os valores obtidos foram muito altos, primeiro porque a estimativa do deflúvio foi posicionado como incógnita da equação de balanço de massas, o que envolve todos os possíveis erros da estimação dos demais componentes e segundo porque ocorreram eventos de chuvas muito intensos.

Cresswell; Smiles e Williams (1992) estudando a influência das mudanças estruturais nas propriedades hidráulicas e no balanço de água no solo verificaram que o balanço da água em solo descoberto é significativamente afetado por mudanças na estrutura do solo. Características como crostas e pé-de-arado causam mudanças substanciais no balanço da água, devido à importância do impedimento na infiltração da água no solo. Esses autores verificaram que para uma crosta superficial de 5 mm de espessura e sob uma chuva total de 100 mm, o run-off aumentou significativamente com a diminuição da condutividade hidráulica saturada e da retenção de água da crosta superficial.

A chuva é a principal forma de entrada de água na fase solo. Entretanto, uma porção da água da chuva pode ser interceptada pela parte aérea das plantas. A interceptação é a retenção temporária da água das chuvas pela copa das árvores, sendo redistribuída em água que respinga

no solo, que escoia pelo caule e a água que volta à atmosfera por evaporação (HELVEY e PATRIC, 1965). Esses autores ainda fracionam a precipitação em: incidente – quantidade de chuva que é medida em terreno aberto, ou acima das copas das árvores; precipitação interna – chuva que atinge o solo, incluindo gotas que passam diretamente pelas aberturas existentes entre as copas e gotas que respigam das copas; e precipitação efetiva – precipitação resultante da precipitação interna somada à água que escoia pelos caules.

Estudo de fracionamento da precipitação incidente sobre um dossel de floresta secundária da Mata Atlântica, município de Cunha/SP, revelou que de uma precipitação anual de 2220,30 mm, a interceptação pelas copas reteve 18,6 % e que o escoamento pelos caules foi de apenas 0,2 % (ARCOVA et al., 2003). Segundo esses autores, a interceptação máxima foi determinada no período de pouca chuva, já que boa parte da água retida pelo dossel não atinge o solo, sendo evaporada.

Em área cultivada com cana-de-açúcar, variedade NA 72454 em segundo cultivo, localizada em um campo experimental da UNICAMP, Município de Campina/SP, foi verificado que a interceptação pela cultura atingiu um valor médio de 39,5 % para uma precipitação incidente de 886,5 mm (CASTILHO, 2000).

A medida da precipitação pluvial é relativamente simples, podendo ser realizada por pluviômetro com leitura manual ou acoplada a um data logger (CRUZ et al., 2005) e por estações meteorológicas automáticas. Apesar de simples medida, essa entrada de água deve ser realizada na área experimental. Reichardt et al. (1995) estudaram a variabilidade diária da chuva em uma área de 1000 ha por um período de um ano, no Município de Piracicaba/SP e verificaram que a variabilidade observada revela que dados de chuva coletados em um ponto de observação não representaram áreas distanciadas de 1000 a 2500 m para os períodos diários, mensais e trimensais, enquanto que para o total anual, o coeficiente de variação foi de 3,06 %, indicando que todos os pontos se representam. Esses autores ressaltam ainda que o coeficiente de variação dos dados diários para os 10 pontos de observação variou de 2,2 a 169,3 % e que os coeficientes de variação acima de 100 % foram relacionados com eventos de chuva de baixa intensidade.

Quanto à precipitação pluvial medida nas estações meteorológicas automáticas, Sentelhas e Caramori (2002) verificaram, em estudo realizado nos Municípios de Londrina/PR e Piracicaba/SP, que existe uma tendência do pluviômetro de báscula registrar sub-medidas da chuva em comparação ao pluviômetro convencional. A frequência de erros negativos do sistema

de báscula está associada à incapacidade do sistema em medir a chuva na mesma intensidade com que ela ocorre. Esses autores utilizaram uma série de dados de, aproximadamente, 5 anos e verificaram que para o pluviômetro de báscula de maior resolução (0,1 mm) ocorreram erros médios da ordem de 14 % e que esses erros predominaram em 81,7 % dos eventos de chuva e para o pluviômetro de báscula com menor resolução (0,2 mm) o erro médio foi de 2 %, predominando em 65,6 % dos eventos de chuva. Além disso, foi verificado que em 5 % dos eventos de chuva houve erros associados, possivelmente,  ação dos ventos.

A gua da chuva que atinge a superfície do solo pode seguir alguns direcionamentos. Uma parte dessa água inicia o processo de infiltração no solo e outra parte pode sofrer escoamento por sobre a superfície do solo, processo esse denominado escoamento superficial ou run-off ou, ainda, enxurrada, como salienta Reichardt e Timm (2004).

Segundo Childs (1969) o fluxo de infiltração pode ser considerado como consequência da condutividade hidráulica e do gradiente de potencial total da água no solo, de acordo com a Lei de Darcy ou, alternativamente, como a relação de incremento da quantidade total de água armazenada no perfil do solo.

Durante uma chuva ou irrigação, se o solo estiver razoavelmente seco, no início do processo de infiltração, quase toda água se infiltra, independentemente da chuva ou da irrigação (REICHARDT e TIMM, 2004). Com a manutenção da chuva, a velocidade de infiltração diminui com o tempo,  medida que a capacidade de armazenagem de água do solo atinge o seu máximo. Desse modo, a infiltração de água no solo se aproxima da condutividade hidráulica saturada do solo, K_0 .

Alguns eventos de chuva possuem intensidades maiores que a velocidade de infiltração de água no solo, o que pode ocasionar o escoamento superficial. Em terrenos que apresentam declividade acentuada, solos com estabilidade estrutural fraca e nenhuma técnica de manejo e conservação, esse processo de escoamento superficial pode causar srios danos, em forma de erosão do solo.

A gua que infiltrou no solo inicia um processo de redistribuição em decorrência das forças de gravidade e do gradiente de potencial total da água, deslocando-se de locais do solo onde o potencial total da água  maior para aqueles de menores potenciais totais. Segundo Childs (1971) a construção de conceitos como o da água gravitacional, capilar e higroscópica começou,

possivelmente, com Briggs. Entretanto, para Childs (1971) o conceito de água higroscópica foi, erroneamente, formulado, pois é o solo que é higroscópico e não a água.

Parte da água de um evento de chuva pode atingir profundidades abaixo do volume de solo explorado pelas raízes ou do volume de controle de solo. Esse volume de água que passa por uma unidade área, num certo período é denominado de densidade de fluxo (LIBARDI, 2005). Para a quantificação da densidade de fluxo (q) utiliza-se a equação de Darcy-Buckingham:

$$q = -K(\theta) \times \text{Grad}\phi_t \quad (3)$$

em que $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo e $\text{Grad}\phi_t$ é o gradiente de potencial total da água.

A determinação da condutividade hidráulica do solo a campo é realizada pelo método do perfil instantâneo. Esse método foi realizado inicialmente por Watson (1966), utilizando colunas de areia, e posteriormente por Hillel et al. (1972) e Libardi et al. (1980) realizando o método no campo. Hillel et al. (1972) delimitou uma área de 10 x 10 m e Libardi et al. (1980) uma área de 5 x 5 m, para que não houvesse perturbação na drenagem do centro da área, onde foram instalados tensiômetros e o tubo de acesso à sonda de nêutrons, com o objetivo de medidas periódicas do potencial mátrico e do conteúdo de água em cada profundidade, após o perfil estar o mais saturado possível e de se proceder a cobertura da área para prevenir a evapotranspiração.

Para a determinação do gradiente de potencial total da água no solo ($\text{Grad}\phi_t$) é necessária a instalação de tensiômetros nas proximidades do limite inferior do volume de controle de solo, com o objetivo de determinar o potencial mátrico em todos os dias do ciclo da cultura agrícola em questão. O potencial total da água no solo é a soma entre o potencial mátrico e o potencial gravitacional, sendo esse último à distância da superfície do solo até o centro da cápsula do tensiômetro, tomando a superfície do solo como referência gravitacional:

$$\text{Grad}\phi_t = \frac{\phi_{t1} - \phi_{t2}}{\Delta z} \quad (4)$$

em que ϕ_{t1} e ϕ_{t2} são os potenciais totais da água no solo em profundidades ligeiramente acima e abaixo do limite inferior do volume de controle de solo e Δz é a diferença entre as profundidades

a se encontram o centro das cápsulas dos tensiômetros utilizados para o cálculo do potencial total da água, ou seja, é a distância entre os centros das cápsulas dos tensiômetros.

Cintra et al. (2000) realizaram o balanço hídrico em solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros cultivados com citros considerando a profundidade de 1,1 m como o limite inferior do volume de controle de solo e usando os potenciais totais medidos nas profundidades de 0,9 e 1,3 m para calcular o gradiente de potencial total. O posicionamento dos tensiômetros destinados ao cálculo do gradiente de potencial total depende da cultura agrícola e, especificamente, da configuração do sistema radicular no solo em estudo.

Atualmente, há uma grande preocupação em torno da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo, principalmente aqueles utilizados como representativo de grandes extensões (REICHARDT; VIEIRA; LIBARDI, 1986). Cadima et al. (1980) ressaltam que este objeto de estudo tornou-se assunto de fronteira na ciência do solo, devido à frequência nas discussões das reuniões científicas e a intensidade de publicações. A respeito da condutividade hidráulica do solo, Cadima et al. (1980) ressaltam que esse atributo do solo possui uma relação exponencial com o conteúdo de água no solo, fazendo com que pequena variação do conteúdo de água no solo implique em grande variação da condutividade hidráulica. Por outro lado, essa relação exponencial torna a condutividade hidráulica um atributo bastante sensível para o monitoramento da qualidade física dos solos.

Quanto à variação total de dados de potencial mátrico, Villagra et al. (1988), trabalhando com tensiometria numa TERRA ROXA ESTRUTURA a 0,2 m de profundidade, relataram que é devido, principalmente, à variabilidade do solo, podendo o coeficiente de variação chegar a mais de 40 %. Os maiores coeficientes de variação foram relacionados com potenciais mátricos mais negativos, ou seja, quando o solo encontrava-se mais seco, sendo a variação total dos dados devida, principalmente, à variabilidade do solo.

Após cessar o movimento da água contida nos macroporos devido à ação da força da gravidade, a matriz do solo começa a atuar na retenção da água por capilaridade e adsorção. Esses fenômenos de retenção da água pelo solo contra forças externas são reconhecidos como uma das primeiras funções do solo em sustentar o crescimento de plantas sob condições de suprimento de água intermitente (GROENEVELT; BOLT, 1971). Segundo Taiz e Zeiger (2004), para cada grama de matéria orgânica produzida pela planta, aproximadamente 500 g de água são absorvidos pelas raízes, transportados através do corpo da planta e perdidos para a atmosfera.

A distribuição do tamanho das partículas dos solos e a presença de frações orgânicas possibilitam a formação de uma estrutura com maior ou menor estabilidade e frequência em poros de determinado diâmetro. De uma forma geral, os solos arenosos possuem uma menor porosidade total e uma macroporosidade maior que um solo argiloso, que, por sua vez, possui uma maior proporção de microporos. Segundo Dexter (2004), a porosidade textural ocorre entre as partículas de minerais primários, enquanto a porosidade estrutural inclui os microagregados, agregados, bio-poros e macroestruturas produzidas pelo manejo.

Os macroporos ou poros não capilares possuem um diâmetro que não permite a formação de menisco, sendo que a interface água-ar possui uma forma plana (KUTÍLEK, 2004). Já o pequeno diâmetro dos microporos faz com que a força de adesão da água com a matriz do solo seja maior que a força de coesão entre as moléculas de água. Como as moléculas de água na interface água-ar, dentro do microporo, são tensionadas pelas moléculas de água mais internas com maior intensidade que o ar (vapor d'água), cria-se uma interface contrátil (tensão superficial), que interagindo com as demais forças citadas, fazem com que haja uma diminuição da pressão interna de água sob o capilar, o que resulta numa elevação de água pelo poro capilar, denominada de ascensão capilar (LIBARDI, 2005).

Os colóides minerais e orgânicos do solo promovem uma retenção, por adsorção, da água no solo com uma força maior que a capilaridade. Entretanto, esses dois mecanismos de retenção da água no solo são interdependentes. A água em meniscos capilares está em equilíbrio com a água de filmes de adsorção e a modificação do estado de um deles implica a modificação do outro (REICHARDT; TIMM, 2004). Como a estrutura e a composição da matriz variam de solo para solo, a característica de retenção da água no solo é típica cada tipo de solo. A união desses dois mecanismos de retenção da água no solo dar-se o nome de potencial mátrico. Para uma camada de solo homogêneo, o potencial mátrico se relaciona com um conteúdo de água específico, formando uma curva conhecida como curva característica de água no solo ou curva de retenção.

A armazenagem de água no solo é resultado dessa retenção pelo solo e pelas condições climáticas, representadas na eq. (2) pela precipitação e evapotranspiração. Geralmente, a evapotranspiração é posicionada como a incógnita da eq. (2), podendo a variação da armazenagem, ser feita por vários métodos de determinação do conteúdo de água no solo: gravimétrico (tradagem); sonda de nêutrons (TIMM et al. 2002; CRUZ et al., 2005; ROCHA et

al., 2005); tensiômetros e a curva de retenção (SILVA et al., 2001) e com auxílio de TDR (MELO FILHO e LIBARDI, 2005).

A evapotranspiração é um importante processo de saída de água do solo e da planta para a atmosfera. Quando existe água disponível no solo, o aumento da evapotranspiração proporciona melhores condições de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar (ALLEONI e BEAUCLAIR, 1995). A adubação com nitrogênio e potássio influenciou significativamente os rendimentos de colmo, açúcar e álcool de parcelas irrigadas (MOURA et al., 2005).

Trivelin et al. (2002) verificaram que a cana-de-açúcar respondeu à adubação nitrogenada em produção de colmos e rendimento de açúcar, sendo que a adubação nitrogenada, associada à incorporação de resíduos culturais do solo, fez com que a planta utilizasse maior quantidade total de nitrogênio.

A influência do consumo de água e da adubação nitrogenada no crescimento e no rendimento tem sido relatada para muitas culturas (ARAÚJO et al., 1999; SANTOS et al., 2002; WIEDENFELD, 2000). Entretanto, para a cana-de-açúcar são poucos os estudos que relacionam o consumo de água realizado pelo balanço de água no solo com a adubação nitrogenada.

2.3 Material e Métodos

2.3.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo do balanço de água no solo cultivado com cana-de-açúcar foi realizado na Usina Santa Adélia, localizada no município de Jaboticabal. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a SP81-3250.

O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd) conforme a EMBRAPA (1999), correspondendo a um Arenic Kandistults, conforme Soil Survey Staff (2003). Centurion e Andrioli (2000) estudaram o regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal, inclusive um LVd, e verificaram que todos os solos apresentaram mais de 90 dias cumulativos no ano sem água disponível, o que caracteriza o regime hídrico dos solos como “ústico”.

A área experimental possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude Sul de 21°19'98'', longitude Oeste de 48°19'03'' e altitude predominante de 600 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen.

Para a instalação do experimento foram realizadas, no início de março, a dessecação da soqueira velha, com aplicação de 4 L ha⁻¹ de Roundup, uma aração profunda com a finalidade de incorporar os restos vegetais e do calcário dolomítico (2 t ha⁻¹) e uma gradagem antes da sulcação.

A instalação do experimento foi realizada entre os dias 4 e 8 de abril de 2005, quando se procedeu a sulcação (espaçamento de 1,5 m entrelinhas), a marcação das parcelas e dos carregadores, a adubação de plantio e o plantio da cana-de-açúcar (Figura 2).

Figura 2 – Preparo do solo (sulcação) para o plantio (A), distribuição das mudas de cana-de-açúcar (B), corte das mudas em toletes (C) e canavial com plantas emergidas (D) (Fotos cedidas pelo Professor Paulo Cezar Trivelin)

A adubação de plantio foi feita com as mesmas quantidades de K_2O e P_2O_5 , sendo que essas adubações foram feitas mecanicamente. A adubação nitrogenada foi feita manualmente e será detalhada no item *Delineamento experimental*.

Para o plantio da cana-de-açúcar foram utilizadas 30 mudas para cada 15 m de sulcos de plantio (comprimento das parcelas), cruzando-se o pé de uma muda com a ponta de outra, para que as gemas novas e velhas tivessem uma distribuição uniforme em todo sulco de plantio. As mudas depositadas no sulco foram cortadas em toletes com 2 a 3 gemas e, logo depois, procedeu-se o recobrimento mecânico do sulco, ao mesmo tempo em que foi aplicado, sobre os toletes, um nematicida (Furadan, na dose de 6 L ha^{-1}).

2.3.2 Delineamento experimental

Esse trabalho fez parte de um Projeto Temático que teve como objetivos principais a avaliação da dinâmica do nitrogênio e do enxofre no sistema solo-planta e a resposta da cana-planta e dos demais cultivos de cana-soca às adubações com esses nutrientes, em sistema de colheita mecanizada e sem queima.

O delineamento experimental desse projeto (ANEXO A) é o de blocos casualizados, com 4 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos são constituídos por diferentes doses de nitrogênio: 40; 80 e 120 kg ha^{-1} e uma testemunha (sem adubação nitrogenada).

Para o estudo do balanço da água no solo foram utilizados os tratamentos 120 kg ha^{-1} de N (T_2) e a testemunha (T_1).

2.3.3 Caracterização do solo

2.3.3.1 Física

A caracterização física do solo foi realizada em trincheira aberta na área de bordadura do experimento (Figura 3). Primeiramente, fez-se a divisão dos horizontes pedológicos e a descrição morfológica de cada horizonte (ANEXO B).

Para a determinação da densidade do solo (ANEXO D) foram retiradas amostras indeformadas de cada horizonte, com o auxílio de um extrator tipo Uhland, com anéis

volumétricos apresentando, aproximadamente, 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. As medidas de altura e diâmetro dos anéis volumétricos foram feitas com um paquímetro digital, realizando três medidas de altura e de diâmetro para cada anel. Para evitar danos às amostras durante o transporte do campo para o laboratório, utilizou-se um filme de PVC. No laboratório, as amostras foram convenientemente preparadas, retirando o excesso de solo do anel, com auxílio de faca de serra fina, e a colocação, na extremidade inferior de cada uma, de “silk screen” (100 fios), presa com borracha, para evitar perdas de material. Feito isso, foram levadas à estufa para secar (105 °C durante 24 horas) e então pesadas numa balança com precisão de 2 dígitos, para a determinação da densidade do solo.

Figura 3 – Trincheira utilizada para a descrição morfológica e classificação do solo na área experimental da Usina Santa Adélia

A densidade das partículas do solo (ANEXO D) foi determinada para as camadas de 0 – 0,15; 0,15 – 0,25; 0,25 – 0,35; 0,35 – 0,45; 0,45 – 0,55; 0,55 – 0,65; 0,65 – 0,75; 0,75 – 0,85; 0,85 – 0,95; 0,95 – 1,05 m. Para tanto, as amostras destinadas à determinação da umidade gravimétrica, nas 4 repetições dos tratamentos, foram re-utilizadas para essa análise, sendo,

entretanto, destorroadas, passadas em peneira de malha 2 mm e novamente secas a 105°C, por 12 horas. Após a secagem, as amostras foram resfriadas em dessecador e acondicionadas em recipientes com tampa. As determinações da densidade das partículas (ANEXO D) foram feitas no Núcleo de Pesquisa Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NEPEGEL) da ESALQ/USP, utilizando a metodologia do deslocamento de gás (FLINT e FLINT, 2002) e o picnômetro a gás (Figura 4), modelo ACCUPYC 1330 (Micromeritics Instrument Corporation[®]).

Com as densidades do solo e das partículas determinadas foi possível calcular a porosidade total do solo (α) para cada camada do solo (ANEXO D), a partir da seguinte equação:

$$\alpha\% = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right) 100 \quad (5)$$

sendo ρ é a densidade do solo (kg m^{-3}) e ρ_s é a densidade das partículas.

Para a classificação textural dos solos foram utilizadas subamostras daquelas com as quais foram feitas as determinações da umidade gravimétrica. Para tanto, fez-se a análise granulométrica para todas as oito repetições, nas mesmas camadas de solo selecionadas para a determinação da densidade das partículas do solo.

Figura 4 – Detalhes do picnômetro a gás (A e B). Na foto B, a seta vermelha indica a posição da câmara de amostra e a seta azul indica a cubeta de amostra

Essas análises foram realizadas no Laboratório de Física do solo da ESALQ/USP (Figura 5) e o método utilizado foi o da Pipeta (Gee e Or, 2002). Entretanto, esse Laboratório adota

algumas variações do método citado e que foram seguidas para as análises feitas para o presente trabalho.

Figura 5 – Detalhes da separação da areia (A) e do aquário utilizado para evitar oscilações da temperatura (B)

O dispersante utilizado foi uma mistura das soluções de hidróxido de sódio (4 g L^{-1}) e de hexametáfosfato de sódio (10 g L^{-1}), conforme metodologia do IAC (CAMARGO et al., 1986). Além disso, foi utilizado um aquário, onde foram dispostas as provetas com as amostras de solo, com o objetivo de manter a temperatura constante e um pipetador eletrônico. A classificação textural (ANEXO D) foi feita conforme a Soil Survey Staff (2003).

2.3.3.2 Hidráulica

A caracterização hidráulica do solo foi feita pela curva de retenção da água no solo e pela condutividade hidráulica do solo.

As curvas de retenção da água no solo foram feitas para cada horizonte pedológico (ANEXO E). Para tanto, foram retiradas 3 amostras indeformadas de cada horizonte com o mesmo equipamento e procedimento utilizados para as amostras destinadas à análise de densidade do solo.

No Laboratório de Física do solo do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, as amostras foram cuidadosamente trabalhadas para remover o excesso de solo e ajustar o volume da amostra ao volume do anel volumétrico, sem causar compactação e selamento das amostras. Para evitar perdas de solo e possibilitar um íntimo contato entre a amostra e placa porosa, “silk

screen” (100 fios) foi fixado na extremidade inferior de cada amostra de solo indeformada. Após esses procedimentos, as amostras foram dispostas nos funis de Haines que se encontravam com as suas placas porosas previamente saturadas. Com o funil de Haines contendo uma pequena lâmina de água sobre a placa porosa, uma leve pressão era feita sobre a amostra para que houvesse um contato íntimo dessa com a placa porosa e o contínuo de água se estabelecesse. Dessa forma, as amostras foram saturadas no próprio funil de Haines, elevando-se gradativamente o nível de água até 2/3 da altura da amostra, permanecendo nesse estado por um período de 24 horas. Esse procedimento de saturação foi feito apenas para a primeira tensão, sendo que para as demais, apenas se realizou a re-saturação das placas porosas, forçando uma saturação de baixo para cima até a formação de uma pequena lâmina de água sobre a placa porosa. Nesse momento as amostras eram reposicionadas e permaneciam, por alguns minutos, sobre a pequena lâmina de água para restabelecimento do contínuo de água.

Os funis de Haines (Figura 6) foram utilizados para as tensões de 0,5; 1; 3; 5; 7 e 10 kPa, sendo que após a estabilização da amostra nas respectivas tensões procedeu-se a pesagem em balança de precisão (2 dígitos). Para as tensões de 30; 50; 70; 100 kPa foram utilizadas câmaras de Richards (Figura 6). As curvas de retenção da água no solo foram ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980), utilizando o software TableCurve 2D – Jandel Scientific – Copyright 1989-1994.

Figura 6 – Funil de Haines (A) e câmaras de Richards (B) utilizadas para a elaboração das curvas de retenção da água no solo

A condutividade hidráulica do solo foi determinada pelo método do perfil instantâneo, conforme Watson (1986) e Libardi et al. (1980). Para execução desse método foi necessária a construção de uma grande coluna de solo (3 m de diâmetro) no campo, ou seja, mantendo a estrutura do solo nas condições naturais. Essa coluna de solo teve suas laterais revestidas por uma chapa galvanizada (2 mm de espessura) até a profundidade de 0,80 m, com o objetivo de se criar apenas fluxo vertical, sobretudo na porção central. As dimensões da chapa de zinco usada foram de aproximadamente 9,42 m de comprimento por 1,0 m de largura (Figura 7). Dessa forma, 0,20 m da largura da chapa foram deixadas acima da superfície do solo, com o objetivo de se obter uma lâmina de água de 0,15 a 0,20 m.

Figura 7 – Montagem do perfil instantâneo com a escavação de uma coluna de solo no campo (A), saturação da coluna e posicionamento de lona plástica com mesmo diâmetro da coluna (B), fechamento com uma segunda lona (C) e cobertura do perfil instantâneo com a palhada do canavial

No centro da coluna de solo foram instalados tensiômetros a cada 0,10 m, desde 0,10 m até 1,00 m de profundidade. Os tensiômetros tiveram suas cápsulas porosas saturadas previamente e para a instalação foi utilizado um trado específico; para criar um contato íntimo do solo com a cápsula porosa do tensiômetro foi adicionada, no fundo do orifício, uma massa pastosa feita com o próprio solo. Para evitar fluxo preferencial da água, durante a saturação da coluna, pela parede externa do tubo do tensiômetro, foi posta uma borracha recortada de câmara de pneu, comumente chamada de manchão.

O tensiômetro utilizado foi com medidor de vácuo, tipo Bourdon. Para a sua ativação foi adicionada água destilada até preencher todo o volume do tubo. A coluna de solo permaneceu apenas com os tensiômetros ativados por alguns dias, com a finalidade de se observar algum mau funcionamento dos tensiômetros. Após essa verificação, buscou-se obter uma lâmina de água sobre a coluna de solo, num menor tempo possível, sem que provocasse buracos na superfície da coluna, principalmente nas proximidades a chapa galvanizada, onde se procedeu a reposição do solo retirado para a instalação da referida chapa. Essa lâmina de água foi mantida até o momento em que a leitura do tensiômetro instalado à maior profundidade baixasse ao máximo. Foram gastos aproximadamente 5.000 litros de água.

Atingida a condição de maior saturação da coluna, indicada pelas leituras dos tensiômetros, cessou-se o fornecimento de água e colocou-se sobre a lâmina de água uma lona recortada com 2,80 m de diâmetro para que ficasse bem acomodada na superfície do solo, quando toda a água infiltrasse. Em seguida, quando a lâmina de água sobre a superfície da coluna de solo infiltrou, toda a coluna de solo foi recoberta por outra lona, tendo o cuidado de vedar com fita isolante os recortes feitos para a passagem da lona pelo manômetro do tensiômetro e não permitir a entrada de água da chuva e perdas de água por evaporação. Nesse momento, iniciaram-se as leituras tensiométricas em função do tempo, sendo essa primeira leitura considerada como tempo zero. No início de redistribuição da água no solo foram feitas leituras a cada hora e a partir do segundo dia realizou-se apenas uma leitura por dia. Para evitar a incidência direta dos raios solares, a lona foi recoberta com uma camada de palha.

Para o cálculo da condutividade hidráulica do solo foi utilizado o método proposto por Hillel et al. (1972) e descrito por Libardi (2005). A equação diferencial geral (6) que descreve o fluxo vertical de água no perfil do solo é conhecida como equação de Richards:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \frac{\partial H}{\partial z} \right] \quad (6)$$

Integrando a equação (6) com relação à profundidade Z ($dZ = -dz$, sendo z = coordenada vertical de posição) e eliminando o fluxo de água na superfície do solo ($Z = 0$), uma vez que a lona plástica não permite fluxo de entrada ou de saída, tem-se:

$$K(\theta) \Big|_z = \frac{- \int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ}{\frac{\partial \phi_t}{\partial z} \Big|_z} \quad (7)$$

Como, a partir da equação (7)

$$- \int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ = K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \Big|_z \quad (8)$$

então, tendo em vista a equação de Darcy-Buckingham,

$$\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ = q \quad (9)$$

O procedimento de Hillel et al. (1972) consiste na elaboração de uma tabela para determinação da densidade de fluxo de água no solo nas diversas profundidades estudadas e para diversos tempos (equação 9) e outra tabela para o cálculo da condutividade hidráulica em cada profundidade e para os diversos tempos de redistribuição da água no perfil do solo, dividindo as densidades de fluxo pelos gradientes de potencial total da água no solo (equação 7).

Com os dados de umidade volumétrica (θ , $m^3 m^{-3}$) e potencial mátrico (m) em função do tempo de redistribuição (ANEXO F, G e H), foi possível escrever a equação de condutividade hidráulica para as profundidades de 0,2 a 0,9 m, de 0,1 a 0,1 m, conforme sugestão feita por Libardi et al. (1980):

$$K(\theta) = K_0 \times e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (10)$$

em que K_0 e θ_0 são a condutividade hidráulica e a umidade volumétrica do solo no tempo = 0, respectivamente. O γ é o coeficiente angular determinado pela regressão linear de $\ln K$ em função da umidade volumétrica (ANEXOS I e J).

2.3.4 Calibração do manômetro tipo Bourdon

O tensiômetro com manômetro de mercúrio é um equipamento que possui uma precisão de 1 mm e uma sensibilidade muito grande. Como os tensiômetros utilizados para a realização do balanço de água no solo foram confeccionados com vacuômetro (tipo Bourdon), procedeu-se um teste de calibração utilizando uma bomba de vácuo, um manômetro de mercúrio e o vacuômetro (Figura 8). Com um tubo milimetrado com a extremidade inferior imersa num becker com mercúrio e um vacuômetro conectados a uma bomba de vácuo, fez-se leituras, concomitantes, da altura de mercúrio e do vacuômetro. A regressão linear da calibração é mostrada na Figura (8).

Conectando a bomba de vácuo, o vacuômetro de Bourdon e o manômetro de mercúrio, como mostra a Figura 8, foram feitas leituras, concomitantes, da altura de mercúrio e do vacuômetro. A regressão linear da calibração é também mostrada na Figura (8).

Um dos problemas da utilização dos manômetros tipo Bourdon é a escala com divisões mínimas de 20 mm de mercúrio.

Figura 8 – Teste de calibração do vacuômetro tipo Bourdon e a equação de ajuste

2.3.5 O balanço de água no solo

Para o cálculo do balanço de água no solo é necessária a quantificação de todos os fatores componentes da equação (11) do balanço de massas (P – precipitação; I – irrigação; D – drenagem interna; AC – ascensão capilar; ET – evapotranspiração; R – deflúvio superficial e Δh_z – variação da armazenagem de água), os quais representam as formas de entrada e saída de água no volume de controle de solo para as condições experimentais, ambas expressas em uma lâmina de água, em milímetros. Esse volume de controle de solo, para o qual se considerou uma profundidade de 0,90 m, engloba a maior porção do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar (Faroni, 2004).

$$P + I - D + AC - ET \pm R = \pm \Delta h_z \quad (11)$$

O balanço de água foi realizado em 13 períodos. O conjunto de períodos, mostrado na Tabela 1, abrange a maior parte do ciclo da cana-planta de um ano e meio.

A prática de sulcação do terreno para a implantação do canavial criou, nas entrelinhas, um camalhão que permaneceu mesmo depois do trabalho de recobrimento dos sulcos. Dessa forma, foi necessário esperar as plantas brotarem e se desenvolverem para que a prática denominada de “quebra lombo” fosse realizada, permitindo a instalação dos tensiômetros, a qual ocorreu no mês de setembro de 2005.

Para quantificar a saída (drenagem interna) e a entrada (ascensão capilar) de água na extremidade inferior do volume de controle de solo foram instalados tensiômetros nas profundidades de 0,80 e 1,00 m para a determinação do gradiente de potencial total da água no solo e outro na profundidade de 0,90 m para a medida do potencial mátrico do solo, com a finalidade de estimar a umidade volumétrica, via curva de retenção da água no solo e, então, a condutividade hidráulica do solo. Portanto, foram instalados 8 baterias de 3 tensiômetros (tratamento 1 e testemunha, ambos com 4 repetições).

O procedimento de instalação dos tensiômetros foi semelhante à instalação dos tensiômetros utilizados no perfil instantâneo, sendo que todas as baterias foram localizadas a uma distância de aproximadamente 0,40 m da linha de plantio número 20. A partir da instalação iniciaram-se leituras diárias.

Tabela 1 – Caracterização dos períodos de avaliação do balanço de água no solo

Nº DO PERÍODO	DATA INICIAL	DATA FINAL	TOTAL DE DIAS
1	30/09/05	18/10/05	19
2	18/10/05	08/11/05	21
3	08/11/05	05/12/05	27
4	05/12/05	19/12/05	14
5	19/12/05	13/01/06	25
6	13/01/06	31/01/06	18
7	31/01/06	22/02/06	22
8	22/02/06	10/03/06	16
9	10/03/06	05/04/06	26
10	05/04/06	03/05/06	28
11	03/05/06	24/05/06	21
12	24/05/06	21/06/06	28
13	21/06/06	12/07/06	21

Precipitação pluvial (P)

A precipitação pluvial foi medida por um pluviômetro, modelo Paulista, instalados ao lado da área experimental e por uma estação meteorológica automática instalada a, aproximadamente, 500 m da área experimental.

A determinação da intensidade de chuva acumulada para cada período usado para a realização do balanço de água no solo foi feita da seguinte forma:

$$P = \int_{t_i}^{t_f} p dt \quad (12)$$

sendo p é a intensidade de precipitação em mm dia^{-1} .

Drenagem interna (D) e ascensão capilar (AC)

A quantificação dessas densidades de fluxo foi feita diariamente e integradas para cada período do balanço, a partir do modelo de Darcy-Buckingham:

$$q_z = -K(\theta) \left[\frac{\phi_{t(0,8)} - \phi_{t(1,0)}}{0,2} \right] \quad (13)$$

sendo ϕ_t o potencial total da água no solo nas profundidades de 0,80 e 1,0 m, obtido pela soma dos potenciais mátrico lido nos tensiômetros e do potencial gravitacional; a constante 0,2 é a distância vertical (m) entre o centro das cápsulas dos tensiômetros e $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo calculada pela equação (10), a partir da umidade estimada pela curva de retenção ajustada pelo modelo proposto por van Genuchten (1980), usando as leituras de potenciais mátricos do tensiômetro instalado a 0,90 m de profundidade. As leituras feitas diariamente nos três tensiômetros (0,80; 0,90 e 1,00 m), nas 4 repetições dos tratamentos 1 e 2, são apresentadas nos Anexos K e L.

Variação da armazenagem de água no solo

Para a determinação da variação de armazenagem de água foram coletadas amostras de solo por tradagem, nas camadas de 0 – 0,15; 0,15 – 0,25; 0,25 – 0,35; 0,35 – 0,45; 0,45 – 0,55; 0,55 – 0,65; 0,65 – 0,75; 0,75 – 0,85; 0,85 – 0,95 m, em todas as datas mencionadas na Tabela 1. Para tanto, escolheram-se as duas linhas de plantas adjacentes à linha 20 (em cada repetição), onde estavam instalados os tensiômetros.

Para não repetir pontos de amostragens foi elaborado um croqui com datas pré-determinadas e a respectiva posição de coleta, distribuídas ao redor das duas linhas de plantas adjacentes à linha de plantio na qual foram instalados os tensiômetros.

As amostras de solo foram acondicionadas em latas metálicas e vedadas com fita crepe. No laboratório, foi determinada a massa de solo úmido e após 48 horas de secagem na estufa a uma temperatura de 105°C, foi determinada a massa de solo seco. A umidade gravimétrica (U) foi calculada pela fórmula:

$$U = \frac{(m_{su} - m_{ss})}{m_{ss}} \quad (14)$$

sendo m_{su} a massa de solo úmido e m_{ss} a massa de solo seco.

Com a densidade do solo (ANEXO D) foi possível transformar a umidade a base de massa (U) para umidade a base de volume (θ), usando a seguinte equação:

$$\theta = \left(\frac{\rho}{\rho_a} \right) U \quad (15)$$

em que ρ e ρ_a são as densidades do solo e da água, respectivamente.

Com as umidades volumétricas determinadas para cada camada de solo foi possível construir os perfis de umidade e calcular as armazenagens (h_L) pelo método do Trapézio (Libardi, 2005), adaptado para esse trabalho:

$$h_z = \int_0^{0,90} \theta(Z) dZ = \left[1,5\theta(Z_1) + \sum_{i=2}^{n-1} \theta(Z_i) - 0,5\theta(Z_9) \right] \times 0,10 \quad (16)$$

Com as armazenagens obtidas para as datas limites de cada período do balanço de água no solo, calculou-se a variação de armazenagem.

Evapotranspiração

A evapotranspiração é dada por:

$$\int_{ii}^{tf} et dt = -ET \quad (17)$$

em que et é a intensidade da evapotranspiração (mm dia^{-1}) integrada para cada período estudado.

A evapotranspiração foi calculada pela equação (11) e pela equação de Penman-Monteith (PEREIRA; ANGELOCCI e SENTELHAS, 2002). Os coeficientes de cultura (K_c) utilizados para a evapotranspiração de cultura a partir da evapotranspiração potencial são mostrados na Tabela 2.

2.4 Resultados e discussão

2.4.1 Condições climáticas

O bom desenvolvimento da cana-de-açúcar e os bons rendimentos em acúmulo de sacarose estão associados à temperatura variando 30 a 34 °C, sendo que abaixo de 25 °C e acima de 38 °C o crescimento é muito lento (FAUCONIER e BASSEREAU, 1975). A temperatura basal para a cana, segundo Barbieri et al (1979), é 20 °C.

Para o período de realização do balanço de água no solo (30 de setembro de 2005 a 12 de julho de 2006) as temperaturas se mantiveram dentro dessas prerrogativas para um bom desenvolvimento, principalmente para o estágio de formação da produção (Figura 9).

A temperatura também é um dos principais fatores ligados à maturação fisiológica da cana-de-açúcar. Segundo Marchiori (2004), para que ocorram os maiores acúmulos de açúcar pela cultura são necessárias oscilações de temperaturas associadas a período de seca moderada. Pela análise do comportamento das temperaturas mínimas da Figura 9 pode-se verificar uma queda nas temperaturas nas proximidades do dia 96 (6 de abril de 2006), o que permite uma diminuição na taxa de crescimento vegetativo e aumento no acúmulo de sacarose (MAULE; MAZZA; MARTHA JR., 2001).

Figura 9 – Oscilação diária da temperatura durante o período do balanço de água no solo

Nesse período de transição para temperaturas mais baixas verificou-se também uma diminuição acentuada na precipitação pluvial (Figura 10), correspondendo ao início do décimo período utilizado para a contabilização do balanço hídrico (6 de abril a 3 de maio de 2006). É justamente nesse período que se inicia o período mais frio e seco, abrangendo o outono e podendo se estender até o final do inverno.

Segundo Castro (1999), a cana de ano e meio, plantada em janeiro – abril tem taxa de crescimento restrito nos meses subseqüentes, maio a setembro, em função do clima, desencadeando o maior desenvolvimento de outubro a abril, principalmente a partir de dezembro, sob condições favoráveis de precipitação.

Segundo Alvarez e Castro (1999), a interação com o ambiente é mais importante após a brotação inicial das folhas. Esses autores verificaram que a maior umidade do ar, do solo e da folha relativamente a um ano mais seco, foi o fator determinante para as diferenças observadas, em termos de matéria seca de folhas.

Um aspecto importante a ser observado no estudo de balanço de água no solo é a medida da precipitação pluvial. Primeiramente, o pluviômetro deve estar localizado na área experimental e, quando essa possui grande extensão é recomendado o uso de dois pluviômetros, como foi feito por Timm et al (2002).

Figura 10 – Precipitações pluviais medidas no pluviômetro e na estação meteorológica automática

Segundo, a utilização de estações meteorológicas automáticas pode subestimar os valores de precipitação, como relatado por Sentelhas e Caramori (2002) que verificaram erros médios da ordem de 14 % ocorrendo em 81,7 % dos eventos de chuva para o pluviógrafo de balsa de maior resolução (0,1 mm) e erro de 2 %, predominando em 65,6 % dos eventos de chuva para o pluviógrafo de balsa com menor resolução (0,2 mm). Para o período experimental foi verificada uma defasagem de 120,10 mm, em que se deixou de registrar a precipitação pluvial quando a chuva foi mais intensa.

Conforme Centurion e Andrioli (2000) o período com menores índices pluviométricos no Município de Jaboticabal se estende de abril até setembro. Dessa forma, os períodos de avaliação do balanço de água no solo foram distribuídos da seguinte forma: os períodos 1 ao 9 (outubro a março) compreenderam a época chuvosa e os períodos 10 ao 13 (abril a julho) a época seca.

A evapotranspiração de cultura calculada pelo método de Penman-Monteith (Figura 11) apresentou seu maior valor no período 6, quando a temperatura do ar também estava alta, sendo que a partir do período 10 observou-se uma diminuição, caracterizando também os períodos mais secos e frios.

Figura 11 – Evapotranspiração média da cultura para os períodos do balanço de água no solo

Conforme Doorembos e Pruitt (1977) e Doorembos e Kassan (1979) apud Teramoto (2003), os coeficientes de cultura (Kc) da cana-de-açúcar em função dos períodos de desenvolvimento são apresentados na Tabela 2. Esses valores foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração da cultura.

Tabela 2 – Idade e períodos de desenvolvimento da cana-de-açúcar com seus respectivos coeficientes de cultura (valores retirados de Teramoto, 2003)

Idade da cultura (meses)		Período de desenvolvimento	Coeficiente (Kc)		
cana planta	cana soca		mínimo	máximo	médio
0 – 2	0 – 1	Do plantio até 25% de cobertura do solo ⁽¹⁾	0,40	0,60	0,50
2 – 3	1 – 2	De 25 a 50% de cobertura do solo ⁽¹⁾	0,75	0,85	0,80
3 – 4	2 – 3	De 50 a 75% de cobertura do solo ⁽¹⁾	0,90	1,00	0,95
4 – 7	3 – 4	De 75% a cobertura completa do solo ⁽¹⁾	1,00	1,20	1,10
7 – 14	4 – 9	Utilização máxima ⁽²⁾	1,05	1,30	1,20
14 – 16	9 – 10	Início da maturação ⁽³⁾	0,80	1,05	0,95
16 – 18	10 – 12	Maturação ⁽³⁾	0,60	0,75	0,70

⁽¹⁾ Primeiro estágio: estabelecimento da cultura seguido de período vegetativo

⁽²⁾ Segundo estágio: formação da produção

⁽³⁾ Terceiro estágio: maturação

2.4.2 Condições do solo

O solo apresentou uma pequena compactação nos horizontes A₂ e AB (camada de 0,41 m entre as profundidades de 0,15 a 0,56 m), como pode ser verificado pelo aumento da densidade do solo e da diminuição da porosidade dos respectivos horizontes (Figura 12). Oliveira; Vaz e Reichardt (1995) estudando as modificações nas propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO Escuro verificaram que ocorreu um aumento na densidade do solo de 20, 13 e 14 % para os tempos de cultivo contínuo com cana-de-açúcar de 16, 30 e 50 anos, em comparação à condição original, solo coberto por uma vegetação nativa. Esses autores salientam ainda, que a compactação e a porosidade foram mais afetadas pelo manejo do que pelo tempo de cultivo, pois o nível de mecanização no cultivo de 16 anos foi maior que os demais.

Figura 12 – Densidade (A) e porosidade total (B) do solo para os respectivos horizontes pedológicos

Camilotti et al (2005) trabalharam com um LVd e observaram aumento na densidade do solo nas camadas abaixo de 0,20 m, devido ao manejo mecanizado da cultura e que a produtividade do canavial foi baixa, em parte, pelo aumento da densidade do solo acima de 1450 kg m^{-3} e da macroporosidade do solo inferior a 15 %. Corsini; Malheiros e Sacchi (1986), estudando o efeito de sistemas de cultivo da cana-de-açúcar sobre a retenção de água e porosidade do solo, verificaram que operações agrícolas de preparo do solo que a utilizam a subsolagem e a gradagem profunda proporcionam melhorias temporárias desses parâmetros, mas que para tempo mais longos causaram a degradação da estrutura natural de um Latossolo Roxo.

A camada de solo mais densa, principalmente em torno da profundidade de 0,40 m, dificultou o processo de saturação da coluna de solo utilizada para a determinação da condutividade hidráulica pelo método do perfil instantâneo. As maiores umidades ao longo do perfil do solo, consideradas como umidades de saturação no campo, foram menores que a porosidade total do solo nas respectivas profundidades (ANEXO H), sendo essa dificuldade relatada em outros trabalhos. Todavia, alcançaram-se conteúdos de água elevados na camada superficial (0 a 0,20 m) e nas camadas mais profundas, estando o problema localizado em torno da profundidade de 0,40 m, que apresentou menor umidade inicial ($\theta = 0,293 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), confirmando a existência de uma camada mais compactada nessa profundidade e do seu efeito no processo de redistribuição da água no solo.

Outro indicativo da presença e do efeito da camada mais compactada no perfil é o maior valor do Gama (coeficiente angular da regressão de $\ln K$ em função umidade volumétrica do solo) na profundidade de 0,40 m, como pode ser observado nos ANEXOS I e J.

2.4.3 O balanço de água

Centurion e Andrioli (2000) analisando o comportamento da precipitação pluvial no Município de Jaboticabal, utilizando uma série histórica (1956 a 1995), verificaram que o período entre os meses de outubro e março é o mais chuvoso. Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro apresentaram índices pluviométricos de 248, 240 e 211 mm. Esse levantamento demonstra que o período do balanço de água no solo (30 de setembro de 2005 a 12 de julho de 2006) foi atípico, principalmente pela pluviosidade do mês de fevereiro (450,20 mm). No período 7, compreendido entre 01 a 22 de fevereiro de 2006, a pluviosidade acumulada foi de 434,40 mm.

Analisando as leituras feitas na estação meteorológica automática (EMA) a cada 15 minutos, o primeiro evento de chuva do período 7 ocorreu no dia 01 de fevereiro, sendo registrado 71,60 mm, num espaço de tempo de apenas 1 hora e 45 minutos. Tomando a precipitação pluvial registrada com o pluviômetro como referência (96,60 mm), devido aos erros do sistema de báscula da EMA em eventos chuvosos como esse, a intensidade dessa chuva foi de 55,20 mm h⁻¹. Com relação à intensidade das chuvas, Reichardt (1986) classifica chuva com intensidade de até 2,5 mm h⁻¹ como fraca, entre 2,5 a 7,5 mm h⁻¹ como moderada e acima de 7,5 mm h⁻¹ como forte. Nos dias 11, 12, 15; 16; 17 e 18 de fevereiro ocorreram também outros três eventos de chuva com intensidade de 3,30; 3,92; 35,40; 6,11; 13,60 e 10,59 mm h⁻¹, respectivamente.

A armazenagem de água no solo não apresentou diferença significativa ao nível de significância de 5 % entre os tratamentos, ou seja, não houve efeito da adubação nitrogenada. O maior e o menor valor de armazenagem foram 240,38 mm e 124,79 mm, respectivamente. O maior valor de armazenagem observado foi determinado no último dia do período 7, justamente o período em que foi observada pluviosidade de 434,40 mm e que a armazenagem realizada no início desse período foi de 189,06 mm. Esses dados revelam a baixa capacidade de armazenagem de água desse solo e que uma grande parte da água da chuva nesse período pode ter sido perdida do sistema, por drenagem interna e por escoamento superficial.

Nas Figuras 13 e 14 observa-se que mesmo não havendo diferença significativa para a armazenagem em função dos tratamentos, a armazenagem e variação da armazenagem para todo o período é menor no tratamento 2.

Figura 13 – Armazenagem média de água no solo nos tratamentos 1 (A) e 2 (B) em todos os períodos do balanço de água

Timm et al (2002) verificaram que diferentes coberturas do solo (palha e ponteiros e resíduos da queima da cana-de-açúcar) não diferiram significativamente do canavial com solo nu, com relação à armazenagem de água no solo.

Figura 14 – Variação da armazenagem de água no solo (tratamento 1 e 2) e pluviosidade para os períodos do balanço de água

Um aspecto importante a respeito da variação de armazenagem de água foi que o incremento na armazenagem no período 7 (20,5 %) foi menor que no período 3 (35,8 %), ambos pertencentes ao tratamento 2. No período 3, a pluviosidade acumulada e a armazenagem média inicial foram 110,40 e 130,05 mm, respectivamente, enquanto no período 7 a pluviosidade e a armazenagem média inicial foram 434,40 e 190,44 mm, respectivamente. Como no período 7 a armazenagem de água no solo já se encontrava relativamente alta (a maior armazenagem de água observada foi de 240,38 mm, no tratamento 2), a água da chuva nesse período pode ter sido perdida por drenagem interna e por escoamento superficial, uma vez que as intensidades dessas chuvas foram fortes, principalmente a chuva do dia 01 de fevereiro que apresentou uma intensidade 7,3 vezes maior que a intensidade limite para chuvas consideradas fortes.

As Tabelas 3 e 4 apresentam um resumo estatístico das densidades de fluxo avaliadas nos 13 períodos do balanço de água no solo. A análise desses dados mostra uma grande variabilidade das densidades de fluxo, principalmente no início e final do período de recarga hidráulica do solo.

O tratamento 1 apresentou pequenos valores de ascensão capilar nos dois primeiros períodos, enquanto o tratamento 2 apresentou pequenos valores de drenagem interna. Nos dois primeiros períodos a armazenagem de água foi um pouco maior no tratamento 2, o que pode ter contribuído para a ocorrência dessas pequenas variações. Para a época mais úmida (período 1 ao 9), o tratamento 1 drenou 182,33 mm, enquanto o tratamento 2 drenou apenas 138,14 mm.

Tabela 3 – Análise estatística das densidades de fluxo de água (mm) nos 13 períodos do balanço de água no solo no tratamento 1

Períodos	Média	Mínimo	Máximo	Variância	Desv. P
1	0,37	-3,35	3,92	8,93	2,99
2	2,20	-0,03	6,37	8,73	2,96
3	-7,65	-10,28	-2,10	14,84	3,85
4	-31,81	-46,95	-18,38	137,26	11,72
5	-11,65	-13,96	-9,63	3,28	1,81
6	-4,16	-6,15	-2,76	2,11	1,45
7	-110,24	-147,19	-93,99	615,04	24,80
8	-4,82	-6,18	-3,39	2,21	1,49
9	-14,57	-20,66	-11,71	17,21	4,15
10	-3,07	-16,70	11,56	139,89	11,83
11	-1,39	-15,85	12,14	131,20	11,45
12	2,76	-1,76	11,05	32,86	5,73
13	-2,33	-4,22	0,68	4,69	2,17

Tabela 4 - Análise estatística das densidades de fluxo de água (mm) nos 13 períodos do balanço de água no solo no tratamento 2

Períodos	Média	Mínimo	Máximo	Variância	Desv. P
1	-3,68	-4,46	-1,62	1,91	1,38
2	-1,72	-3,65	2,92	9,65	3,11
3	-6,75	-22,36	13,60	251,96	15,87
4	-24,33	-30,58	-15,82	54,45	7,38
5	-12,78	-14,71	-10,07	3,88	1,97
6	-4,39	-6,12	-2,34	2,42	1,55
7	-126,69	-198,41	-87,30	2423,60	49,23
8	-2,41	-5,13	2,15	10,38	3,22
9	44,61	19,47	68,27	448,60	21,18
10	26,73	21,91	32,48	31,29	5,59
11	7,98	0,69	15,32	36,14	6,01
12	16,55	10,62	22,18	23,33	4,83
13	0,58	-4,55	3,02	11,94	3,46

Pela análise da Figura 15 e 16 é possível observar que a precipitação pluvial ocorrida no período 7 se traduziu em drenagem interna, uma vez que o solo se encontrava com uma armazenagem de água relativamente elevada. Dentre as hipóteses já levantadas quanto os possíveis direcionamentos que a água das chuvas, ocorridas nesse período, pudesse ter sofrido, a drenagem interna e a evapotranspiração são os processos que contribuíram significativamente, uma vez que a temperatura do ar, nesse período, estava alta. Entretanto, pode ter ocorrido pequeno escoamento superficial, apesar da pequena declividade do terreno, pois o perfil do solo já se encontrava com uma armazenagem elevada, o que torna a infiltração mais lenta, o perfil do solo apresenta uma camada compactada em torno dos 0,40 m de profundidade e as chuvas foram bastante intensas.

Outro aspecto importante é que no último período da época úmida o tratamento 2 apresentou um valor relativamente alto de ascensão capilar, processo esse que continuou ao longo da época seca (períodos 10 ao 13) com menor intensidade, enquanto no tratamento 1 ocorreram pequenos valores de drenagem interna.

Os valores de drenagem interna e ascensão capilar da água, ocorridos no limite inferior do elemento de controle de solo ($L = 0,90$ m), para todo o período do balanço de água no solo são apresentado na Tabela 5.

Figura 15 – Densidades de fluxo e pluviabilidade nos períodos do balanço de água no solo para o tratamento 1

Figura 16 – Densidades de fluxo e pluviabilidade nos períodos do balanço de água no solo para o tratamento 2

Tabela 5 – Drenagem interna e ascensão capilar para todo o período de avaliação do balanço de água no solo

Drenagem interna					Ascensão capilar				
Tratamento 1					Tratamento 1				
Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
-215.29	-204.00	-196.05	-181.15	-199,12 a	21.33	26.35	2.22	1.12	12,75 b
Tratamento 2					Tratamento 2				
Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
-246.46	-174.67	-155.73	-177.41	-188,57 a	133.97	98.44	113.63	62.94	102,25 a

*Médias seguidas com a mesma letra na coluna, não possuem diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o processo de drenagem interna, enquanto para a ascensão capilar foi verificada diferença significativa. O tratamento 2 apresentou uma ascensão capilar 87,53% maior que o tratamento 1. Esse comportamento revela que a adubação nitrogenada pode ter proporcionado maior desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular, fazendo com que as plantas transpirassem mais, uma vez que essas entradas e saídas de água não se traduziram em uma maior armazenagem de água no solo.

A evapotranspiração (ET) foi calculada pela equação do balanço de massas (11), uma vez que os demais parâmetros da equação foram determinados e não se fez uso de irrigação.

Para a avaliação da ET também se recorreu à análise exploratória, já que o resumo estatístico descritivo visa à detecção de padrões de interesse nos dados, utilizando informações de posição (média e mediana), de dispersão (variância e desvio padrão) e de distribuição (coeficiente de assimetria e de curtose).

Os resumos estatísticos para os tratamentos 1 e 2 são apresentados nas Tabelas 6 e 7. Os valores semelhantes da média e da mediana, observados para os tratamentos, são um indicativo do modelo de distribuição simétrica. As medidas de dispersão dos dados de ET mostram a grande variabilidade desse parâmetro, notadamente nos períodos de alta demanda, comportamento relatado também por Cruz et al (2005). O coeficiente de assimetria mede o grau de afastamento entre as medidas de posição (média e mediana), sendo que distribuição simétrica possui coeficiente de assimetria igual a zero, o que foi observado principalmente para o tratamento 2. Já o coeficiente de curtose, que mede o grau de achatamento de uma distribuição, é igual a 3 para uma distribuição normal, sendo essa distribuição denominada mesocúrtica, enquanto para

coeficientes maiores e menores do que 3, tem-se as distribuições leptocúrticas e platicúrticas, respectivamente.

Tabela 6 – Análise estatística descritiva da evapotranspiração do tratamento 1 para os períodos do balanço de água

Períodos	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Des. P	CV(%)	Assimetria	Curtose
Per. 1	4	50,66	49,33	44,44	59,55	44,41	6,66	13,15	0,92	-0,07
Per. 2	4	74,31	75,61	67,81	78,21	21,53	4,64	6,24	-1,31	1,39
Per. 3	4	53,33	53,77	45,39	60,40	46,18	6,80	12,74	-0,24	-2,84
Per. 4	4	21,27	17,12	9,33	41,51	196,23	14,01	65,86	1,56	2,86
Per. 5	4	117,78	115,27	113,79	126,80	37,55	6,13	5,20	1,79	3,18
Per. 6	4	102,52	100,56	96,53	112,43	51,05	7,14	6,97	1,24	0,95
Per. 7	4	283,35	288,85	251,75	303,93	617,04	24,84	8,77	-0,71	-2,01
Per. 8	4	108,46	108,04	98,61	119,17	90,57	9,52	8,77	0,15	-3,58
Per. 9	4	173,10	176,29	158,06	181,75	107,90	10,39	6,00	-1,59	2,85
Per. 10	4	45,35	44,23	27,58	65,37	266,54	16,33	36,00	0,33	-1,10
Per. 11	4	15,78	12,98	12,14	22,21	31,23	5,59	35,42	1,69	-
Per. 12	4	6,33	7,14	2,17	8,87	10,26	3,20	50,60	-0,82	-1,47
Per. 13	4	5,61	6,44	3,45	6,94	3,55	1,88	33,60	-1,59	-

Tabela 7 – Análise estatística descritiva da evapotranspiração do tratamento 2 para os períodos do balanço de água

Período	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Des. P	CV(%)	Assimetria	Curtose
Per. 1	4	45,90	46,08	38,97	52,46	33,94	5,83	12,69	-0,15	-1,28
Per. 2	4	73,84	73,60	71,23	76,95	7,48	2,74	3,70	0,25	-4,03
Per. 3	4	56,93	55,06	40,35	77,24	349,89	18,71	32,86	0,19	-4,89
Per. 4	4	19,49	21,03	8,38	27,53	81,54	9,03	46,33	-0,55	-2,71
Per. 5	4	120,19	120,01	112,90	127,85	37,31	6,11	5,08	0,18	1,52
Per. 6	4	98,59	97,50	90,22	109,15	69,78	8,35	8,47	0,58	-1,30
Per. 7	4	268,54	283,27	211,85	295,78	1476,65	38,43	14,31	-1,81	3,36
Per. 8	4	114,55	112,98	111,67	120,58	17,33	4,16	3,63	1,63	2,50
Per. 9	4	234,00	233,05	215,20	254,72	320,19	17,89	7,65	0,20	-2,91
Per. 10	4	74,90	74,89	65,54	84,29	59,42	7,71	10,29	0,01	1,08
Per. 11	4	14,51	13,43	4,34	26,83	98,39	9,92	68,37	0,47	-1,55
Per. 12	4	19,34	19,32	12,88	25,85	34,29	5,86	30,28	0,02	-2,97
Per. 13	4	15,26	16,25	7,56	20,98	34,81	5,90	38,66	-0,77	-0,55

Para o tratamento 2, a ET tendeu a se configurar como uma distribuição platicúrtica, ou seja, ocorreu uma menor concentração de valores em torno do centro da distribuição, enquanto que o tratamento 1 tendeu para uma distribuição mesocúrtica.

Embora a ET avaliada em função dos tratamentos tenha sido semelhante, o tratamento 2 apresentou uma evapotranspiração total média de 1156,06 mm, enquanto o tratamento 1 apresentou uma ET de 1057,85 mm.

Analisando o período 7 é possível verificar que a ocorrência de chuvas de grandes volumes e intensas, associadas à presença de camadas de solo mais compactadas e ao estado de

armazenagem de água no solo elevado, conduziram a um valor de ET muito elevado, mesmo essas chuvas estando associadas a valores também elevados de drenagem interna. É possível que pequenos volumes dessas chuvas tenham sofrido escoamento superficial, apesar da pequena declividade do terreno. Além disso, a interceptação da chuva pela cana-de-açúcar é, segundo Castilho (2000), bastante elevada, o que pode ser uma fonte de erro para essa abordagem.

Bull e Glasziou (1980) relatam valores de eficiência de uso da água pela cana-de-açúcar de $9,6 \text{ kg m}^{-3}$ para as condições do Hawaii e Queensland, sem a ocorrência de períodos prolongados de estresse hídrico. Esse valor demonstra a maior eficiência de uso da água para as condições edafo-climáticas do Município de Jaboatão. Inman-Bamber e Smith (2005) realizaram uma revisão sobre as relações hídricas em cana-de-açúcar e verificaram valores de eficiência de uso da água variando de $8,37$ a $20,94 \text{ kg m}^{-3}$.

A Tabela 8 apresenta as produtividades alcançadas por cada tratamento e a eficiência de uso da água pelas plantas.

Tabela 8 - Produtividade, evapotranspiração total média (ET) e a eficiência de uso da água da cana-de-açúcar em função dos tratamentos

Ranking dos tratamentos							
Tratamento	Produtividade (t ha ⁻¹)					ET (m ³ ha ⁻¹)	EUA (kg m ⁻³)
	Blocos				Média*		
	1	2	3	4			
1	147,501	143,890	135,973	151,945	144,827 a	10578,5	13,69
2	147,362	143,334	146,529	147,223	146,112 a	11560,6	12,64

*Médias seguidas com a mesma letra na coluna, não possuem diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

A menor EUA no tratamento 2 demonstra que os 98,21 mm evapotranspirado a mais por esse tratamento não se traduziu na produção de colmo de cana-de-açúcar.

3 CONCLUSÕES

Diante dos resultados alcançados é possível afirmar que o balanço de água no solo é uma ferramenta importante na caracterização das condições hídricas reais, na qual as plantas estiveram submetidas ao longo do ciclo e também para se conhecer as interações dos atributos físicos do solo com o movimento da água no volume de solo explorado pelo sistema radicular da cana-de-açúcar.

Os maiores valores de ascensão capilar e de evapotranspiração apresentados pelas plantas adubadas com nitrogênio não se traduziram em produção de colmos de cana-de-açúcar significativamente maior que as plantas não adubadas com nitrogênio, que, por sua vez, tiveram um uso mais eficiência da água.

A ocorrência de índices pluviométricos bastante elevados e atípicos para a região, associado à presença de camada de solo mais compactadas provocam erro no cálculo da ETr, quando outras formas de perdas de água podem estar envolvidas.

REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L.R.F.; BEAUCLAIR, E.G.F. Sugarcane cultivated after corn and peanut, with different fertilizer levels. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.3, p.409-415, Sept./Dec. 1995.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera:** introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 272 p.
- ANTONINO, A. C. D. et al. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 29-34, jan./abr. 2000.
- ARAÚJO, W. F. ; SAMPAIO, R. A. ; MEDEIROS, R. D. Irrigação e adubação nitrogenada em milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 909-914, out./dez. 1999.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata Atlântica em uma microbacia experimental em cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n. 2, p. 257-262, 2003.
- BRUNINI, O.; GROHMANN, F.; SANTOS, J. M. Balanço hídrico em condições de campo para dois cultivares de arroz sob duas densidades de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 1-6, jan./abr. 1981.
- BULL, T. A.; GLASZIOU, K. T. Sugar cane. In: EVANS, L. T. **Crop physiology some case histories**. Cambridge: University Cambridge, 1980. p. 51-72.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M. A.; CENTURION, J. F.. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n.1, p. 189-198, jan./abr. 2005
- CASTILHO, C. P. G. **Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* ssp)**. 2000. 256p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- CASTRO, P. R. C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4., 1999. Piracicaba. Anais: **Saccharum**, v. 1, p. 12-16, 1999.
- CHILDS, E. C. Concepts of soil water phenomena. **Soil Science**, Baltimore, v.113, n.4, p. 246-253, may. 1971.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, O. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 23-28, jan./abr. 2000.

CINTRA, F. N. et al. Avaliação dos reflexos do protocolo de kyoto no setor sucroalcooleiro. Disponível em: <<http://www.cori.rei.unicamp.br/IAU/completos>>. Acessado em 20 de ago. 2005.

CORSINI, P. C.; MALHEIROS, E. B.; SACCHI, E. Sistemas de cultivo da cultura de cana-de-açúcar: efeitos na retenção de água e na porosidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 71-74, fev. 1986.

CRESSWELL, H. P.; SMILES, D. E.; WILLIAMS, J. Soil structure, soil hydraulic properties and the soil water balance. **Australian Journal Soil Research**, Victoria, v. 30, n. 3, p. 265-283, may. 1992.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa-MG, v. 29, n. 1, p. 1-10, jan./fev. 2005.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; ROCHA, G. C.; CARVALHO, L. A. Evapotranspiração real de uma cultura de laranja em produção num Latossolo Vermelho-amarelo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 659-668, set./out. 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1007-1013, jun. 2006.

FLINT, A. L.; FLINT, L. E. Particle-size analysis. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C (Ed). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 2002. p. 235-240.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2006**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2006. 504p.

GEE, G. W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C (Ed). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 2002. p. 255-289.

GROENEVELT, P. H.; BOLT, G. H. Water retention in soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 113, n.4, p. 238-245, may. 1971.

HELVEY, J D.; PATRIC, J. H. Desing criteria for interception studies. **Internacional Association Science Hydrology** Extract., v. 67, p. 131-137, 1965.

HILLEL, D. A.; KRENTOS, V. K.; STILIANOV, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Science**, Baltimore, v.114, n. 5, p.395-400, jun. 1972.

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

LIBARDI, P. L. **Condutividade hidráulica do solo sob condições de campo**. 1978. 113 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

LIBARDI, P. L. ; REICHARDT, K. ; NIELSEN, D. P. ; BIGGAR, J. W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 1, p. 3-7, jan./feb. 1980.

LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 529-532, jan./abr. 1994.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335p.

MARCHIORI, L. F. S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. 2004. 275 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba. 2004

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

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

OLIVEIRA, J. C. M.; VAZ, C. M. P.; REICHARDT, K. Efeito do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n. 1, p. 50-55, jan./abr. 1995.

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

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentos de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 1-6, jan./abr. 1986.

REICHARDT, K. **Água em sistemas agrícolas**. São Paulo – SP: Manole, 1990. 188p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

SANTOS, A. C. ; ANDRADE, A. P. ; LIMA, J. R. S. ; SILVA, F. S. ; CAVALCANTE, V. R. Variabilidade temporal da precipitação pluvial: nível de nitrogênio no solo e produtividade de cultivares de girassol. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 5, p. 757-764, set./out. 2002.

SENTELHAS, P. C.; CARAMORI, P. H. Inconsistência na medida da chuva com pluviômetros de báscula, utilizados em estações meteorológicas automáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 301-304, set. 2002.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 9th. ed. Washington, DC: United States Department of Agriculture (USDA) - Natural Resources Conservation Service, 2003. 332 p.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) baseados em parâmetros do solo e do clima**. 2003. 85 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba. 2003.

TIMM, L. C.; OLIVEIRA, J. C. M.; TOMINAGA, T. T.; CÁSSARO, F. A. M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Water balance of a sugarcane crop: Quantitative and qualitative aspects of its measurement. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 6, n. 1, p. 57-62, jan./apr. 2002.

TRIVELIN, P. C. O. ; VITTI, A. C. ; OLIVEIRA, M. W. ; GAVA, G. J. C. ; SARRIÉS, G. A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 637-646, jul./set. 2002.

VILLAGRA, M. M. et al. Tensiometria e variabilidade espacial em Terra Roxa Estrutura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, n. 3, p. 205-210, set./dez. 1988.

WATSON, K. K. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. **Water Resources Research**, Washington, v. 2, n. 4, p. 709-715, 1966.

WIEDENFELD, R. P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 173-182, mar. 2000.

ANEXOS

ANEXO A – Croqui do experimento com a localização das parcelas de cada tratamento

ANEXO B - Descrição morfológica do solo:

A_{p1} 0 – 15 cm – Bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido; 4/6, seco); média a argilosa; estrutura modificada pelas práticas agrícolas, composto por grânulos médios e moderado; plástico e pegajoso; friável; muito dura; transição clara e plana.

A_{p2} 15 – 37 cm – Vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido); argilosa; estrutura modificada pelas práticas agrícolas, composto por blocos médios e moderado; plástico e pegajoso, friável a firme; ligeiramente dura; transição clara e plana.

BA 37 – 56 cm – Vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido); argilosa; blocos médios; forte; plástico e ligeiramente pegajoso, friável; ligeiramente dura; transição gradual e plana.

B_{w1} 56 – 94 cm – Vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido); argilosa; blocos médios; forte; plástico e pegajoso, friável; ligeiramente dura; transição gradual e plana.

B_{w2} 94+ cm – Vermelho escuro (2,5YR 4/6, úmido); média a argilosa; blocos pequenos; forte; ligeiramente plástico e pegajoso; friável; ligeiramente dura; transição gradual e plana.

Observações:

- 1) Raízes: muitas, finas no A_p; muitas, finas e médias no A₂; comuns e médias no BA; poucas e média no B_{w1}; raras e médias no B_{w2}.
- 2) Atração magnética: moderada no B_{w1}; baixa no B_{w2}.
- 3) Atividade biológica: pouca.

ANEXO C - Caracterização química do perfil de solo da área experimental da Usina Santa Adélia

Amostra	pH			M.O	P	Na	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	m
Identif.	H ₂ O	KCl	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmol _c kg ⁻¹								%	
Ap	6,3	4,5	5,6	23	10	0,01	3,6	18	13	0	17	34,6	51,6	67	0
A₂	6,0	5,2	4,7	16	11	0,01	2,2	9	5	2	18	16,2	34,2	47	11
BA	5,1	4,1	4,1	11	3	0,01	1,2	2	1	8	31	4,2	35,2	12	66
B_{w1}	5,6	4,4	4,4	8	1	0,01	0,9	3	1	3	20	4,9	24,9	20	38
B_{w2}	5,9	5,1	5,1	7	1	0,01	3,5	2	1	0	9	6,5	15,5	42	0

Ataque sulfúrico							
Identif.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Mn	Ki	Kr
Ap	7,61	12,43	5,27	0,93	0,04	1,04	0,82
A₂	8,51	11,39	4,93	0,88	0,04	1,27	0,99
BA	9,80	14,25	5,74	1,08	0,03	1,17	0,93
B_{w1}	8,81	14,76	5,99	1,12	0,03	1,01	0,81
B_{w2}	8,65	15,07	5,95	1,14	0,03	0,98	0,78

ANEXO D – Frações granulométricas, classe textural, densidade do solo, densidade dos sólidos e porosidade total para cada camada de solo

Camada (cm)	Frações granulométricas (g kg ⁻¹)			Classe textural	Densidade (kg m ⁻³)		Porosidade total (%)
	Areia	Silte	Argila		do solo	dos sólidos	
0 - 15	661,25 a*	53,75 a	285,00 c	Franco argilo arenoso	1305,38	2671,85	51,14 d
15 - 25	660,00 a	56,25 a	283,75 c	Franco argilo arenoso	1459,98	2671,97	45,35 g
25 - 35	642,50 ab	50,00 a	307,50 c	Franco argilo arenoso	1459,98	2678,65	45,49 g
35 - 45	612,50 bc	48,75 a	338,75 b	Franco argilo arenoso	1404,59	2686,17	47,71 f
45 - 55	595,00 cd	50,00 a	355,00 ab	Argiloso arenoso	1390,74	2690,30	48,30 e
55 - 65	590,00 cd	45,00 a	365,00 ab	Argiloso arenoso	1225,93	2693,52	54,48 b
65 - 75	582,50 cd	46,25 a	371,25 a	Argiloso arenoso	1207,62	2697,55	55,23 a
75 - 85	580,00 cd	46,25 a	373,75 a	Argiloso arenoso	1207,62	2696,95	55,22 a
85 - 95	577,50 d	47,50 a	375,00 a	Argiloso arenoso	1207,62	2699,80	55,27 a
95 - 105	577,50 d	53,75 a	368,75 a	Argiloso arenoso	1240,25	2698,72	54,04 c

* Médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

ANEXO E – Curvas de retenção da água no solo nos horizontes pedológicos

ANEXO F – Potenciais mátricos (m) em função do tempo de redistribuição para as profundidades de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 m

Tempo (h)	Potencial mátrico (m)				
	Z = 0,1	Z = 0,2	Z = 0,3	Z = 0,4	Z = 0,5
1	-0,146	-0,025	-0,253	-0,606	-0,272
3	-0,206	-0,156	-0,328	-0,703	-0,341
6	-0,246	-0,212	-0,386	-0,776	-0,395
9	-0,272	-0,245	-0,426	-0,824	-0,433
12	-0,293	-0,272	-0,458	-0,860	-0,463
15	-0,309	-0,293	-0,485	-0,890	-0,488
18	-0,324	-0,312	-0,508	-0,916	-0,509
21	-0,337	-0,329	-0,530	-0,939	-0,529
25	-0,352	-0,350	-0,555	-0,965	-0,552
35	-0,384	-0,393	-0,609	-1,019	-0,602
45	-0,410	-0,431	-0,655	-1,063	-0,643
55	-0,433	-0,464	-0,695	-1,100	-0,679
65	-0,453	-0,494	-0,731	-1,132	-0,711
75	-0,472	-0,522	-0,764	-1,160	-0,740
85	-0,489	-0,548	-0,795	-1,186	-0,767
95	-0,505	-0,573	-0,824	-1,210	-0,792
120	-0,541	-0,631	-0,890	-1,262	-0,848
150	-0,579	-0,695	-0,962	-1,315	-0,908
180	-0,613	-0,754	-1,027	-1,360	-0,962
210	-0,644	-0,810	-1,088	-1,401	-1,010
250	-0,682	-0,882	-1,163	-1,449	-1,070
290	-0,717	-0,951	-1,234	-1,492	-1,125
330	-0,750	-1,018	-1,302	-1,530	-1,177
370	-0,782	-1,083	-1,366	-1,566	-1,225
410	-0,812	-1,148	-1,429	-1,599	-1,271
450	-0,841	-1,212	-1,490	-1,630	-1,315
500	-0,875	-1,291	-1,563	-1,666	-1,368
550	-0,908	-1,370	-1,635	-1,700	-1,418
600	-0,940	-1,449	-1,706	-1,731	-1,467
650	-0,972	-1,528	-1,775	-1,761	-1,513
700	-1,002	-1,608	-1,843	-1,790	-1,559

ANEXO G – Potenciais mátricos (m) em função do tempo de redistribuição para as profundidades de 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 m

Tempo (h)	Potencial mátrico (m)				
	Z = 0,6	Z = 0,7	Z = 0,8	Z = 0,9	Z = 1,0
1	-0,323	-0,384	-0,192	-0,318	-0,339
3	-0,393	-0,456	-0,259	-0,393	-0,415
6	-0,448	-0,512	-0,303	-0,450	-0,474
9	-0,486	-0,549	-0,333	-0,488	-0,512
12	-0,516	-0,578	-0,357	-0,517	-0,543
15	-0,541	-0,603	-0,376	-0,542	-0,568
18	-0,563	-0,624	-0,394	-0,563	-0,589
21	-0,583	-0,643	-0,409	-0,582	-0,609
25	-0,607	-0,665	-0,428	-0,604	-0,631
35	-0,657	-0,712	-0,468	-0,651	-0,679
45	-0,698	-0,750	-0,501	-0,689	-0,718
55	-0,735	-0,783	-0,531	-0,722	-0,752
65	-0,767	-0,813	-0,557	-0,751	-0,781
75	-0,797	-0,839	-0,582	-0,778	-0,808
85	-0,825	-0,864	-0,604	-0,802	-0,833
95	-0,850	-0,886	-0,626	-0,824	-0,856
120	-0,909	-0,937	-0,675	-0,875	-0,907
150	-0,972	-0,990	-0,727	-0,927	-0,960
180	-1,028	-1,038	-0,775	-0,974	-1,007
210	-1,080	-1,080	-0,820	-1,016	-1,050
250	-1,144	-1,133	-0,876	-1,068	-1,102
290	-1,204	-1,180	-0,928	-1,115	-1,149
330	-1,261	-1,225	-0,978	-1,158	-1,193
370	-1,314	-1,266	-1,026	-1,199	-1,233
410	-1,366	-1,305	-1,072	-1,237	-1,272
450	-1,416	-1,343	-1,117	-1,274	-1,308
500	-1,476	-1,388	-1,172	-1,317	-1,352
550	-1,534	-1,430	-1,226	-1,358	-1,393
600	-1,591	-1,471	-1,278	-1,398	-1,432
650	-1,646	-1,511	-1,330	-1,436	-1,470
700	-1,700	-1,549	-1,381	-1,472	-1,507

ANEXO H – Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função do tempo de redistribuição para as profundidades de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 m

Tempo (h)	Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0,421	0,426	0,343	0,293	0,363	0,333	0,310	0,408	0,366	0,357
3	0,377	0,390	0,316	0,284	0,340	0,308	0,291	0,367	0,336	0,329
6	0,352	0,362	0,300	0,278	0,326	0,292	0,279	0,342	0,319	0,312
9	0,338	0,346	0,291	0,274	0,318	0,284	0,272	0,329	0,309	0,303
12	0,329	0,335	0,285	0,272	0,313	0,278	0,268	0,320	0,302	0,297
15	0,321	0,327	0,281	0,270	0,309	0,274	0,264	0,313	0,297	0,292
18	0,315	0,321	0,277	0,269	0,306	0,270	0,261	0,307	0,293	0,288
21	0,311	0,316	0,274	0,268	0,303	0,267	0,259	0,303	0,289	0,285
25	0,305	0,310	0,270	0,266	0,300	0,264	0,256	0,298	0,286	0,281
35	0,295	0,299	0,264	0,263	0,294	0,257	0,251	0,288	0,278	0,274
45	0,288	0,290	0,259	0,261	0,289	0,252	0,247	0,281	0,273	0,269
55	0,282	0,284	0,255	0,260	0,286	0,249	0,244	0,275	0,269	0,265
65	0,277	0,279	0,252	0,259	0,283	0,246	0,242	0,271	0,265	0,262
75	0,273	0,275	0,249	0,257	0,281	0,243	0,240	0,267	0,262	0,259
85	0,270	0,271	0,247	0,257	0,279	0,241	0,238	0,264	0,260	0,257
95	0,267	0,268	0,245	0,256	0,277	0,239	0,237	0,261	0,258	0,255
120	0,261	0,261	0,241	0,254	0,273	0,235	0,233	0,255	0,253	0,251
150	0,255	0,255	0,237	0,252	0,269	0,231	0,230	0,249	0,249	0,246
180	0,250	0,250	0,234	0,251	0,266	0,228	0,228	0,245	0,245	0,243
210	0,247	0,246	0,231	0,250	0,264	0,226	0,226	0,241	0,243	0,240
250	0,242	0,241	0,228	0,248	0,261	0,223	0,223	0,237	0,239	0,237
290	0,239	0,237	0,225	0,247	0,259	0,220	0,221	0,234	0,237	0,235
330	0,236	0,234	0,223	0,246	0,257	0,218	0,220	0,231	0,234	0,233
370	0,233	0,231	0,221	0,245	0,255	0,217	0,218	0,228	0,232	0,231
410	0,231	0,229	0,220	0,245	0,254	0,215	0,217	0,226	0,230	0,229
450	0,228	0,226	0,218	0,244	0,252	0,213	0,216	0,224	0,229	0,227
500	0,226	0,224	0,217	0,243	0,251	0,212	0,214	0,222	0,227	0,225
550	0,224	0,221	0,215	0,242	0,249	0,210	0,213	0,220	0,225	0,224
600	0,222	0,219	0,214	0,242	0,248	0,209	0,212	0,218	0,224	0,222
650	0,220	0,217	0,212	0,241	0,247	0,208	0,211	0,216	0,222	0,221
700	0,219	0,216	0,211	0,241	0,246	0,207	0,210	0,214	0,221	0,220

ANEXO I – Regressão linear de $\ln K$ em função da umidade volumétrica para as profundidades de 0,2 m (A); 0,3 m (B); 0,4 m (C) e 0,5 m (D)

A

B

C

D

ANEXO J – Regressão linear de $\ln K$ em função da umidade volumétrica para as profundidades de 0,6 (A); 0,7 m (B); 0,8 m (C) e 0,9 m (D)

A

B

C

D

ANEXO K – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 1, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
20/09/05	420	410	400	440	420	450	440	360	400	400	400	440
21/09/05	540	510	520	540	530	560	550	480	500	520	510	560
22/09/05	590	560	560	580	570	600	600	540	560	570	560	590
23/09/05	620	600	600	600	600	620	620	590	590	600	580	600
24/09/05	640	610	610	620	610	630	630	610	610	620	600	620
26/09/05	610	620	620	610	620	580	630	610	610	620	600	600
27/09/05	670	650	640	620	640	650	660	620	640	620	620	630
28/09/05	680	660	650	650	650	660	660	670	650	650	630	640
29/09/05	680	660	650	650	660	670	660	660	660	660	650	650
30/09/05	690	670	660	650	660	670	670	660	660	660	650	650
01/10/05	690	670	660	650	660	680	670	670	660	660	650	650
03/10/05	600	580	590	560	560	600	570	580	580	560	570	580
04/10/05	630	620	620	590	600	620	600	610	620	600	600	600
05/10/05	650	630	630	620	620	640	620	630	630	620	620	620
06/10/05	660	650	640	620	640	640	640	650	640	640	640	640
07/10/05	670	660	650	630	640	660	640	660	650	640	640	640
08/10/05	680	660	650	640	650	660	660	660	660	650	660	650
10/10/05	680	660	650	640	650	660	660	670	650	680	660	650
11/10/05	680	660	650	650	650	670	660	670	670	660	660	660
12/10/05	680	670	660	650	660	670	670	680	670	660	660	660
13/10/05	690	670	660	650	660	680	670	680	670	670	660	670
14/10/05	690	670	660	650	660	680	680	680	670	670	670	660
15/10/05	700	680	660	660	670	680	680	680	680	680	670	660
17/10/05	700	680	660	660	670	680	680	680	680	680	670	660
18/10/05	590	580	540	550	580	550	570	540	550	550	540	530
19/10/05	640	620	600	620	620	620	630	620	620	620	600	600
22/10/05	680	660	640	650	660	660	660	660	660	660	640	640
24/10/05	660	640	620	620	630	640	640	630	640	630	620	600
25/10/05	680	660	630	640	640	660	660	640	660	640	640	620
26/10/05	690	660	640	660	660	660	660	650	660	660	650	640
27/10/05	700	670	660	660	660	660	660	660	660	660	660	650
28/10/05	700	670	660	660	660	660	660	660	660	660	660	650
29/10/05	690	680	640	660	670	650	680	680	670	670	660	660
31/10/05	700	680	640	660	680	680	680	690	680	680	670	660
01/11/05	700	680	650	660	680	680	680	690	680	680	670	680
02/11/05	700	680	660	670	680	680	680	690	670	680	670	680
03/11/05	710	680	660	670	690	680	680	690	670	680	670	680
04/11/05	700	680	660	670	680	680	680	690	670	680	670	680
05/11/05	700	680	670	680	680	680	680	700	670	680	670	680
07/11/05	700	680	670	680	680	680	680	700	680	680	670	680
08/11/05	700	680	670	680	680	680	680	700	680	680	670	680

ANEXO K – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 1, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
09/11/05	700	680	670	690	680	670	680	710	680	690	670	680
10/11/05	700	690	670	700	690	680	690	720	690	700	680	690
11/11/05	700	690	670	700	690	680	690	720	690	700	680	700
12/11/05	700	690	680	710	700	690	700	730	710	720	690	710
14/11/05	600	590	580	580	600	620	600	620	650	620	600	560
15/11/05	620	610	600	600	620	640	620	640	680	640	620	580
16/11/05	640	620	620	620	640	660	640	650	680	650	640	600
17/11/05	640	620	620	620	640	660	640	660	680	660	640	620
18/11/05	630	620	630	620	640	660	650	660	680	660	650	630
19/11/05	640	630	640	640	650	660	660	670	680	660	660	640
21/11/05	650	640	620	600	620	640	620	630	640	620	600	640
22/11/05	660	650	630	620	640	660	630	640	660	630	640	650
23/11/05	660	660	640	640	660	680	640	650	670	640	650	660
24/11/05	660	660	660	650	660	670	630	660	660	650	660	670
25/11/05	680	660	660	660	680	700	650	670	680	660	670	680
28/11/05	680	670	680	670	680	690	660	680	680	670	670	680
29/11/05	690	680	660	660	680	700	680	680	670	680	670	660
30/11/05	690	680	660	660	690	720	680	680	670	680	680	660
01/12/05	690	680	660	660	690	720	680	680	670	680	680	660
02/12/05	690	680	660	660	690	720	680	680	670	680	680	660
03/12/05	700	680	670	670	700	730	690	680	670	680	690	670
05/12/05	180	200	320	160	180	200	160	160	180	180	180	220
06/12/05	200	200	240	180	180	180	180	170	180	180	190	220
07/12/05	200	210	240	160	170	180	150	160	180	160	200	220
08/12/05	160	210	180	140	160	180	140	140	160	160	160	200
09/12/05	160	180	180	140	160	180	160	140	160	160	160	180
10/12/05	180	180	190	160	180	200	160	150	160	160	160	180
12/12/05	180	180	200	170	190	210	170	160	180	170	180	190
13/12/05	180	200	200	160	180	200	180	170	200	180	190	200
14/12/05	190	200	200	180	180	180	190	180	200	200	200	200
15/12/05	200	200	210	160	180	200	200	180	210	200	200	210
16/12/05	200	200	220	160	190	220	200	190	210	220	210	210
17/12/05	200	200	220	180	190	200	210	190	220	210	220	220
19/12/05	210	220	240	180	200	220	210	200	220	210	220	220
20/12/05	220	240	250	210	200	190	220	210	230	220	230	240
21/12/05	230	250	260	220	230	250	230	220	240	220	240	250
22/12/05	240	260	260	220	240	260	230	230	250	230	240	260
23/12/05	250	260	270	240	240	260	240	240	250	230	250	260
24/12/05	260	270	280	240	250	270	240	250	260	240	260	270
26/12/05	260	270	280	240	250	270	240	250	260	240	260	270
27/12/05	260	280	280	240	260	280	240	260	270	240	260	280

ANEXO K – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 1, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
28/12/05	270	280	300	260	260	280	260	260	270	250	270	280
29/12/05	290	300	310	270	280	290	270	280	290	260	280	290
30/12/05	300	320	330	290	300	320	290	300	310	290	300	300
31/12/05	310	330	340	310	320	360	300	320	340	300	310	330
02/01/06	320	340	360	320	330	370	320	330	360	320	330	340
03/01/06	340	360	370	340	350	380	340	350	360	340	360	360
04/01/06	340	400	400	360	360	380	360	360	380	350	360	380
05/01/06	360	420	410	380	380	400	370	380	400	360	380	410
06/01/06	380	430	420	400	400	420	380	400	410	380	400	420
07/01/06	400	430	420	420	410	440	400	400	420	400	410	430
09/01/06	420	440	430	430	420	460	420	410	440	420	430	440
10/01/06	420	440	430	440	420	460	430	420	440	420	440	460
11/01/06	430	450	440	440	430	470	430	420	450	430	440	460
12/01/06	440	450	450	450	430	470	440	430	450	430	450	470
13/01/06	440	460	460	460	440	480	450	440	460	440	460	480
14/01/06	450	470	460	460	440	480	450	440	460	440	460	480
16/01/06	450	470	470	470	450	490	460	450	470	450	470	490
17/01/06	460	480	470	470	450	490	460	450	470	450	470	490
18/01/06	460	480	480	480	460	500	470	460	480	460	480	500
19/01/06	460	480	480	480	460	500	470	460	480	460	480	500
20/01/06	480	500	490	490	470	510	480	480	500	480	490	510
21/01/06	460	470	480	480	500	510	480	490	500	480	480	510
23/01/06	470	480	490	500	510	520	490	500	510	490	490	520
24/01/06	480	490	500	510	520	540	500	510	520	500	500	530
25/01/06	490	500	510	520	530	550	510	520	530	510	510	540
26/01/06	500	520	530	530	540	560	520	530	540	520	520	560
27/01/06	510	530	540	540	550	570	530	540	550	530	530	570
28/01/06	520	540	550	550	560	580	540	560	560	540	540	580
30/01/06	530	550	560	560	570	590	550	570	570	550	550	590
31/01/06	540	560	570	570	580	600	560	580	580	560	560	600
01/02/06	550	570	580	580	590	610	570	690	590	570	570	610
02/02/06	560	580	590	590	600	620	580	600	600	580	580	620
03/02/06	570	590	600	600	610	630	590	610	610	590	590	630
04/02/06	580	600	610	630	620	640	600	620	620	600	600	640
05/02/06	590	610	620	620	630	650	610	630	630	610	610	650
06/02/06	600	620	630	650	640	660	620	640	640	620	620	660
07/02/06	610	630	640	660	650	670	630	650	550	630	630	670
08/02/06	620	640	650	670	660	680	640	660	660	640	640	650
09/02/06	620	650	660	680	670	690	650	670	670	650	650	690
10/02/06	630	660	670	690	680	700	660	680	680	660	660	700
11/02/06	640	670	680	700	690	710	670	690	690	670	670	710

ANEXO K – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 1, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
13/02/06	220	240	250	220	230	240	250	260	280	260	270	280
14/02/06	230	250	260	230	240	250	260	270	290	270	280	290
15/02/06	240	260	270	240	250	260	270	280	300	280	290	300
16/02/06	250	270	280	250	260	270	280	290	310	290	300	310
17/02/06	260	280	290	260	270	280	290	300	320	300	310	320
18/02/06	270	290	300	280	280	300	310	320	330	310	320	340
20/02/06	280	300	310	290	300	310	340	340	350	330	340	350
21/02/06	290	310	320	300	310	320	350	360	360	340	350	360
22/02/06	300	320	330	310	320	330	360	370	370	350	360	300
23/02/06	310	330	340	320	330	350	370	380	380	360	370	380
24/02/06	320	340	350	340	360	370	380	390	370	370	380	390
25/02/06	330	350	360	350	370	380	390	400	380	380	390	400
27/02/06	340	360	370	360	380	390	400	410	390	390	400	410
28/02/06	350	370	380	370	390	400	410	420	400	400	410	420
01/03/06	360	380	390	380	400	410	420	430	410	410	420	430
02/03/06	370	390	400	390	410	420	430	440	420	420	430	440
03/03/06	380	400	410	400	420	430	440	450	430	430	440	450
04/03/06	390	410	420	410	430	440	450	460	440	440	450	460
06/03/06	400	420	430	420	440	450	460	470	460	450	460	480
07/03/06	410	430	440	430	460	470	480	490	480	470	480	490
08/03/06	420	450	460	450	480	490	500	510	500	490	500	510
09/03/06	440	460	480	460	490	500	510	520	510	500	510	520
10/03/06	460	470	490	470	500	510	530	540	520	510	530	540
11/03/06	470	490	500	480	510	530	550	560	530	520	550	560
13/03/06	480	500	510	500	520	540	560	570	540	530	560	580
14/03/06	490	510	520	510	530	560	570	580	560	540	570	590
15/03/06	500	530	540	530	550	580	590	600	580	560	590	600
16/03/06	510	540	560	550	570	600	610	620	600	580	610	620
17/03/06	530	560	580	570	590	620	630	640	620	600	630	640
18/03/06	550	580	600	590	610	640	650	660	640	610	640	660
20/03/06	560	600	620	610	630	650	660	670	660	630	650	670
21/03/06	570	610	630	620	640	660	670	680	670	640	660	680
22/03/06	580	620	640	630	650	670	680	690	680	650	670	690
23/03/06	590	630	650	640	660	680	690	700	690	660	680	700
24/03/06	610	640	660	660	680	690	700	710	700	680	690	710
25/03/06	320	330	360	360	340	350	360	320	350	360	340	360
27/03/06	340	350	380	380	360	360	380	340	370	380	360	380
28/03/06	350	360	400	400	380	380	400	360	390	400	380	400
29/03/06	360	380	410	420	400	400	420	380	410	420	400	420
30/03/06	380	400	430	440	420	420	430	400	430	440	420	440

ANEXO K – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 1, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
31/03/06	150	150	140	130	140	120	200	120	140	140	140	140
01/04/06	150	150	140	140	160	140	200	140	140	140	140	150
03/04/06	160	180	160	160	160	150	150	150	160	160	150	160
04/04/06	180	180	170	160	170	150	160	160	170	160	160	160
05/04/06	180	180	180	180	170	160	170	160	180	170	160	170
06/04/06	180	190	180	170	170	160	170	160	180	170	170	180
07/04/06	180	200	180	170	170	170	180	170	180	180	170	180
08/04/06	190	200	190	180	180	180	180	170	180	180	180	180
10/04/06	200	200	200	180	180	180	180	180	200	180	180	190
11/04/06	180	210	200	190	180	180	180	190	200	190	180	190
12/04/06	210	220	200	200	180	190	180	190	200	190	180	200
13/04/06	210	220	210	200	180	190	190	200	210	200	190	200
15/04/06	210	240	220	210	190	200	180	200	220	220	200	220
17/04/06	240	260	240	220	210	210	170	220	240	210	220	200
18/04/06	240	260	240	220	220	220	200	230	240	200	210	210
19/04/06	250	280	250	230	220	220	200	240	240	210	200	220
20/04/06	260	290	260	240	220	220	220	240	250	220	210	220
21/04/06	260	300	260	230	240	210	220	240	240	220	210	220
22/04/06	240	280	260	240	240	240	220	260	260	220	220	220
24/04/06	300	360	300	270	260	260	230	250	260	230	230	230
25/04/06	320	380	300	270	270	270	220	280	290	230	240	240
26/04/06	320	410	320	290	270	270	230	290	300	240	230	240
27/04/06	340	430	330	300	280	280	240	300	310	240	240	240
28/04/06	350	450	340	310	290	290	250	310	320	240	240	250
29/04/06	370	480	360	310	300	320	260	320	320	260	260	270
01/05/06	400	520	380	340	330	360	270	360	330	280	290	320
02/05/06	400	540	390	360	340	320	270	330	360	260	250	260
03/05/06	420	580	410	390	360	340	270	360	370	260	260	260
04/05/06	440	570	420	400	360	340	280	370	380	250	250	260
05/05/06	440	580	430	400	380	340	300	370	380	260	250	260
07/05/06	460	600	460	440	400	400	300	370	400	260	260	280
08/05/06	480	600	470	440	410	390	300	380	420	260	260	290
09/05/06	490	610	480	460	420	410	320	390	420	300	280	300
10/05/06	500	620	500	470	440	420	330	400	430	300	280	300
11/05/06	510	630	510	480	440	420	350	420	440	310	290	310
12/05/06	520	630	520	500	480	430	360	440	450	320	290	310
13/05/06	520	640	530	500	460	430	340	420	460	300	300	320
15/05/06	570	650	550	520	480	450	350	430	470	300	300	320
16/05/06	570	640	560	530	490	460	350	440	480	310	310	320
17/05/06	560	650	570	540	500	480	360	450	500	330	330	320
18/05/06	580	650	570	550	520	490	380	460	520	350	350	330

ANEXO K – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 1, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
19/05/06	560	660	580	540	520	500	360	460	500	340	320	320
21/05/06	560	650	590	550	530	500	370	460	510	340	320	320
22/05/06	580	660	600	560	530	500	380	470	520	340	320	340
23/05/06	580	660	600	560	540	510	400	470	520	350	330	350
24/05/06	590	660	610	570	540	520	400	480	530	350	340	360
25/05/06	590	660	620	580	550	520	400	480	540	350	340	360
26/05/06	460	510	490	460	500	470	420	480	530	360	360	340
27/05/06	530	570	550	520	540	520	430	420	560	340	340	360
28/05/06	520	620	580	540	560	520	420	440	580	360	315	360
29/05/06	560	620	610	560	560	540	450	400	560	360	340	370
30/05/06	580	640	620	550	540	540	460	410	560	370	350	380
31/05/06	580	640	630	580	590	560	460	420	560	380	360	380
01/06/06	600	650	650	590	600	580	470	480	480	380	370	380
02/06/06	610	660	250	600	610	580	480	490	490	380	380	380
03/06/06	610	640	300	600	610	610	480	510	600	380	380	400
04/06/06	620	670	360	600	620	610	510	510	590	380	360	400
05/06/06	620	670	400	600	630	620	500	540	600	400	390	400
06/06/06	620	670	420	600	620	600	520	540	590	400	390	390
07/06/06	640	680	440	610	630	600	510	560	610	410	400	420
08/06/06	630	680	460	620	630	610	520	570	620	420	400	420
09/06/06	630	680	480	620	620	610	530	570	620	420	410	420
10/06/06	630	680	500	620	630	620	520	580	620	430	420	430
12/06/06	560	600	600	540	580	540	500	530	600	420	420	440
13/06/06	590	640	630	570	610	570	520	570	610	430	420	440
14/06/06	600	650	640	600	620	600	530	580	620	440	430	450
16/06/06	620	660	670	610	640	610	540	600	630	460	440	460
17/06/06	610	660	660	610	620	610	560	610	640	460	440	460
18/06/06	630	680	680	620	640	620	580	620	640	460	430	460
19/06/06	640	680	690	630	640	630	580	630	640	470	470	480
20/06/06	640	680	690	630	650	630	580	640	640	480	480	480
21/06/06	640	690	700	640	650	640	590	640	650	480	480	490
22/06/06	640	690	700	640	660	640	610	640	660	480	480	490
23/06/06	640	690	710	640	660	640	610	640	660	480	480	500
24/06/06	640	690	710	640	660	650	620	650	660	480	480	510
26/06/06	650	690	700	640	660	660	630	660	660	480	480	520
27/06/06	660	700	700	660	660	640	620	660	660	500	510	520
28/06/06	660	700	710	660	660	650	630	660	660	510	520	530
29/06/06	660	710	710	660	660	650	640	660	660	510	520	540
30/06/06	660	700	710	660	660	650	640	660	670	510	520	530
01/07/06	640	700	710	620	660	660	640	660	660	500	510	540
03/07/06	550	570	570	540	560	540	490	560	560	520	540	540

ANEXO K – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 1, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(conclusão)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
04/07/06	600	610	620	580	600	560	540	590	600	520	540	550
05/07/06	600	620	640	600	610	570	580	610	620	540	540	560
06/07/06	610	630	650	620	620	600	580	620	630	540	550	560
07/07/06	620	650	660	620	620	610	600	630	640	530	560	560
08/07/06	630	650	670	620	620	620	610	640	640	540	560	560
09/07/06	620	640	680	620	630	630	610	610	630	500	550	550
10/07/06	640	660	680	640	640	620	620	640	640	530	570	570

ANEXO L – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 2, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
20/09/05	420	400	420	400	410	420	400	260	400	400	440	400
21/09/05	520	520	530	520	520	530	510	320	520	500	560	510
22/09/05	560	580	580	570	570	580	560	350	570	560	620	560
23/09/05	590	610	620	600	600	600	580	430	600	580	640	590
24/09/05	610	630	630	600	620	620	600	480	620	600	660	600
26/09/05	610	640	640	610	620	620	600	570	620	400	650	610
27/09/05	610	660	650	640	640	640	630	600	650	480	680	640
28/09/05	640	660	670	650	650	650	640	620	660	480	700	650
29/09/05	640	660	670	650	650	660	640	620	660	480	700	660
30/09/05	640	670	670	650	650	660	640	630	670	560	700	660
01/10/05	640	670	670	650	650	660	640	630	670	560	700	660
03/10/05	560	580	600	560	580	580	560	580	590	540	610	580
04/10/05	590	620	620	600	600	600	590	600	620	570	640	600
05/10/05	610	640	640	620	620	620	610	620	640	600	660	630
06/10/05	620	650	660	640	640	630	620	630	660	620	680	640
07/10/05	630	660	660	640	640	640	630	640	660	630	690	650
08/10/05	640	660	660	650	650	640	640	640	670	630	700	660
10/10/05	640	660	670	660	660	660	640	650	680	640	700	670
11/10/05	640	670	670	660	650	660	640	650	670	640	700	670
12/10/05	640	670	680	670	660	660	650	650	680	650	710	670
13/10/05	650	670	680	670	660	660	650	650	680	650	710	660
14/10/05	640	680	680	670	660	660	650	650	680	660	710	670
15/10/05	650	680	680	670	660	660	660	660	680	660	720	680
17/10/05	660	680	680	670	660	660	660	660	680	660	720	680
18/10/05	540	580	570	540	540	550	540	530	560	530	580	530
19/10/05	600	620	620	600	600	600	600	600	620	600	640	590
22/10/05	640	660	660	630	640	640	640	640	660	640	700	200
24/10/05	620	640	640	540	620	620	610	600	620	610	660	600
25/10/05	630	660	660	580	640	640	620	620	640	620	680	620
26/10/05	640	660	660	600	660	660	630	640	650	630	690	640
27/10/05	660	660	670	620	660	660	640	650	660	640	700	660
28/10/05	660	660	670	640	660	660	650	660	660	660	700	680
29/10/05	640	670	670	620	650	660	650	650	680	650	700	660
31/10/05	640	680	680	640	660	660	650	650	680	650	710	660
01/11/05	650	680	680	660	670	680	650	660	680	660	710	670
02/11/05	660	680	680	670	670	680	660	670	680	680	720	680
03/11/05	660	690	680	680	670	690	660	680	680	680	720	690
04/11/05	660	680	680	680	670	680	660	680	680	680	720	690
05/11/05	670	680	680	680	670	680	660	680	680	680	720	690
07/11/05	670	680	680	680	670	680	670	680	680	680	720	700
08/11/05	670	680	680	680	670	680	670	680	680	680	720	700

ANEXO L – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 2, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
09/11/05	670	680	680	680	670	680	680	690	670	680	730	710
10/11/05	680	670	690	680	670	690	690	700	680	680	730	710
11/11/05	680	670	690	680	670	690	690	700	680	680	740	720
12/11/05	690	680	700	690	680	700	700	710	690	690	750	730
14/11/05	600	580	580	600	560	400	600	590	620	600	610	620
15/11/05	620	600	600	620	580	440	620	610	640	620	630	640
16/11/05	640	620	620	630	600	480	630	620	650	620	640	650
17/11/05	640	630	620	640	580	460	630	620	650	630	640	660
18/11/05	650	640	630	640	600	460	640	630	660	640	650	660
19/11/05	660	650	640	660	620	480	650	640	660	650	660	660
21/11/05	640	620	600	620	640	560	640	620	600	600	640	620
22/11/05	630	640	640	630	640	560	660	640	620	620	650	640
23/11/05	640	650	650	640	650	600	660	660	640	630	660	650
24/11/05	650	660	650	650	660	620	660	660	650	640	660	660
25/11/05	660	670	660	660	680	650	670	680	660	650	680	670
28/11/05	670	680	660	660	690	660	670	680	660	660	690	680
29/11/05	660	680	680	660	650	490	660	650	680	660	710	680
30/11/05	660	680	680	670	660	500	660	650	680	660	710	690
01/12/05	660	680	680	680	670	500	660	660	680	670	720	690
02/12/05	680	680	680	670	680	500	660	660	680	670	720	700
03/12/05	690	680	680	680	690	520	670	660	680	680	720	710
05/12/05	180	170	200	170	170	210	160	240	560	170	200	420
06/12/05	180	180	200	180	180	210	160	220	500	160	220	260
07/12/05	160	160	200	140	160	210	160	220	420	140	220	220
08/12/05	140	140	160	140	140	170	120	160	240	120	180	160
09/12/05	150	140	170	140	140	170	120	160	180	120	180	160
10/12/05	160	140	180	160	140	180	120	160	180	120	180	180
12/12/05	180	160	180	170	160	200	140	170	190	140	190	200
13/12/05	180	160	180	180	160	200	160	170	180	160	190	200
14/12/05	180	180	200	180	180	190	170	180	200	170	200	200
15/12/05	190	180	200	190	180	200	180	190	200	180	200	210
16/12/05	200	190	210	190	190	200	180	190	210	180	210	210
17/12/05	200	200	210	200	190	210	190	200	210	190	210	220
19/12/05	210	200	220	200	200	220	190	200	220	220	220	220
20/12/05	220	210	240	210	200	240	210	220	240	210	230	240
21/12/05	220	220	250	220	230	240	220	220	250	220	240	250
22/12/05	240	230	260	230	240	260	230	240	260	230	250	260
23/12/05	240	240	260	240	240	260	240	240	260	240	250	260
24/12/05	250	240	270	240	250	270	240	250	270	240	270	270
26/12/05	250	250	270	250	250	270	250	250	270	240	260	270

ANEXO L – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 2, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
27/12/05	260	250	280	260	260	280	260	260	280	240	260	280
28/12/05	260	260	280	260	260	280	260	260	280	260	270	280
29/12/05	280	290	300	280	270	300	290	280	290	270	280	300
30/12/05	300	310	320	300	310	320	310	320	320	290	300	320
31/12/05	320	330	340	310	320	340	320	330	340	310	320	340
02/01/06	330	340	360	320	330	360	340	350	360	320	340	360
03/01/06	340	360	370	340	340	370	360	360	370	340	360	380
04/01/06	350	340	400	350	350	380	370	380	380	360	380	400
05/01/06	360	350	410	360	360	400	380	400	400	400	420	440
06/01/06	380	360	420	380	370	420	400	410	410	410	430	460
07/01/06	400	380	430	400	400	430	420	430	420	420	440	470
09/01/06	420	400	440	420	410	440	430	440	440	440	460	480
10/01/06	420	400	440	420	420	450	430	440	460	450	460	480
11/01/06	430	410	450	430	420	450	440	450	460	450	470	490
12/01/06	440	420	460	440	430	460	450	460	470	460	470	490
13/01/06	440	430	460	440	430	460	450	460	470	470	480	500
14/01/06	450	430	470	450	440	470	460	470	480	470	480	500
16/01/06	450	440	470	450	440	470	460	470	480	480	490	510
17/01/06	460	440	480	460	450	480	470	490	490	480	490	510
18/01/06	460	450	480	460	450	480	470	490	470	490	500	520
19/01/06	460	450	480	460	450	480	480	500	470	490	500	520
20/01/06	470	470	500	470	460	490	490	500	480	500	520	540
21/01/06	480	490	500	470	480	500	470	470	480	490	510	540
23/01/06	490	500	520	480	490	510	480	480	500	500	520	550
24/01/06	500	520	540	490	500	520	490	490	510	510	540	560
25/01/06	510	530	550	500	510	530	500	500	520	520	550	560
26/01/06	520	540	560	510	520	540	510	510	530	530	560	570
27/01/06	530	550	560	520	530	550	520	520	540	540	570	580
28/01/06	540	560	570	530	540	560	530	530	550	550	580	590
30/01/06	550	570	580	540	550	570	540	540	560	560	590	600
31/01/06	560	580	590	550	560	580	550	550	570	570	600	610
01/02/06	570	590	600	560	570	590	560	560	580	580	610	620
02/02/06	580	600	610	570	580	600	570	570	590	590	620	630
03/02/06	590	610	620	580	590	650	580	580	600	600	630	640
04/02/06	600	620	630	590	600	620	590	590	610	610	640	650
05/02/06	610	630	640	600	610	630	600	600	620	620	650	660
06/02/06	620	640	650	610	620	640	610	610	630	630	660	670
07/02/06	630	650	660	620	630	650	620	620	640	640	670	680
08/02/06	640	660	670	630	640	660	630	630	650	650	680	690
09/02/06	650	670	680	640	650	670	640	640	660	650	690	700
10/02/06	660	680	690	650	660	680	650	650	670	660	700	710

ANEXO L – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 2, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
11/02/06	670	690	700	660	670	690	660	660	680	670	710	720
13/02/06	260	230	250	240	250	260	240	260	260	260	260	280
14/02/06	270	240	260	250	260	270	250	270	270	270	270	290
15/02/06	280	250	270	260	270	280	260	280	280	280	280	300
16/02/06	290	260	280	270	280	290	270	290	290	290	290	310
17/02/06	300	270	290	280	290	300	280	300	300	300	300	320
18/02/06	310	280	300	290	300	320	300	320	310	320	310	340
20/02/06	320	290	310	300	310	330	320	300	320	330	320	350
21/02/06	330	300	320	310	320	340	340	310	330	340	330	360
22/02/06	340	310	330	320	330	350	350	320	340	350	340	370
23/02/06	350	330	340	330	340	360	360	330	350	360	350	380
24/02/06	350	350	340	350	370	330	340	360	380	370	360	390
25/02/06	360	360	350	360	380	390	350	370	390	380	370	400
27/02/06	370	370	360	370	390	400	390	380	400	390	380	410
28/02/06	380	380	370	380	400	410	400	390	410	400	390	420
01/03/06	390	390	380	390	410	420	410	400	420	410	420	430
02/03/06	400	400	390	400	420	430	420	410	430	420	410	440
03/03/06	410	410	400	410	430	440	430	420	440	430	420	450
04/03/06	420	420	410	420	440	450	440	430	450	440	430	460
06/03/06	430	430	420	430	450	460	450	440	460	450	440	480
07/03/06	440	440	430	440	460	480	460	450	470	460	460	490
08/03/06	460	460	450	460	480	500	480	470	490	480	480	510
09/03/06	480	470	460	470	490	510	490	480	500	490	490	520
10/03/06	490	480	470	480	500	520	500	490	520	510	500	530
11/03/06	500	490	480	490	520	540	510	500	540	520	510	540
13/03/06	510	500	490	500	530	550	520	510	550	530	520	550
14/03/06	520	510	500	510	540	560	530	520	560	540	530	560
15/03/06	540	530	520	530	560	580	550	540	580	560	550	580
16/03/06	560	550	540	550	580	590	570	560	600	580	570	600
17/03/06	580	570	560	570	600	610	590	580	620	600	590	620
18/03/06	600	590	580	590	620	630	610	600	640	620	610	640
20/03/06	620	610	600	610	630	650	630	620	630	640	630	650
21/03/06	630	620	610	620	640	660	640	630	640	650	640	660
22/03/06	640	650	620	630	650	670	650	640	650	660	650	670
23/03/06	650	660	630	640	660	680	660	650	660	670	660	680
24/03/06	660	680	650	660	680	690	680	670	680	690	680	690
25/03/06	360	360	370	340	320	340	330	310	330	370	310	340
27/03/06	380	380	380	360	340	360	350	330	350	390	330	360
28/03/06	400	400	400	380	360	380	370	350	370	410	350	380
29/03/06	410	420	410	400	380	400	390	370	390	430	370	400
30/03/06	430	440	430	420	400	420	410	390	410	450	390	420

ANEXO L – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 2, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
31/03/06	180	140	140	140	130	130	140	140	120	140	160	110
01/04/06	160	140	140	140	130	140	160	140	120	140	160	120
03/04/06	180	150	150	160	140	140	150	150	140	150	180	120
04/04/06	180	160	160	160	150	150	160	160	150	160	180	140
05/04/06	180	160	160	170	160	160	170	160	150	160	190	140
06/04/06	180	160	160	180	160	160	180	170	160	170	190	140
07/04/06	200	170	170	180	160	170	180	170	160	170	200	140
08/04/06	200	180	180	180	170	170	180	180	160	180	200	150
10/04/06	200	180	180	190	180	180	190	180	170	180	200	160
11/04/06	200	190	180	200	180	180	200	190	180	180	210	170
12/04/06	210	190	190	200	180	180	200	200	180	190	220	170
13/04/06	220	200	200	200	200	200	200	200	190	190	220	180
15/04/06	240	220	200	210	200	200	220	200	200	200	220	180
17/04/06	250	240	220	220	210	210	220	210	210	220	240	210
18/04/06	240	240	220	220	210	210	230	210	210	220	250	220
19/04/06	260	250	230	230	210	210	240	220	220	220	250	230
20/04/06	260	260	240	230	220	220	240	220	220	230	260	240
21/04/06	260	290	230	210	220	220	260	240	220	240	250	280
22/04/06	290	260	260	240	230	230	260	220	250	240	280	300
24/04/06	320	320	280	240	230	240	260	250	260	250	290	360
25/04/06	320	360	290	260	240	240	280	250	250	230	300	430
26/04/06	350	380	300	260	240	250	290	260	260	280	320	470
27/04/06	380	410	310	270	260	260	300	260	280	300	340	490
28/04/06	380	440	320	280	260	260	310	260	270	310	360	520
29/04/06	400	480	340	280	260	260	320	260	280	320	380	540
01/05/06	420	520	360	350	320	340	340	280	310	360	420	580
02/05/06	430	530	370	300	280	280	360	290	300	380	440	580
03/05/06	440	560	390	320	290	290	370	300	310	400	480	600
04/05/06	460	580	390	320	300	280	380	290	320	420	500	610
05/05/06	460	590	400	320	300	280	400	290	320	430	510	610
07/05/06	470	600	430	340	320	310	420	310	360	460	540	620
08/05/06	480	600	440	360	330	340	440	340	370	470	560	620
09/05/06	500	620	450	370	340	340	440	340	360	490	570	630
10/05/06	520	620	460	370	340	350	450	340	380	500	580	630
11/05/06	530	630	480	380	360	350	460	350	400	520	600	630
12/05/06	520	640	480	380	380	370	450	370	420	530	610	630
13/05/06	530	640	500	400	360	360	460	380	410	520	620	640
15/05/06	570	640	510	410	370	370	510	370	420	540	630	650
16/05/06	560	640	520	420	380	380	520	380	440	550	640	650
17/05/06	560	640	520	420	390	390	530	390	440	560	640	650

ANEXO L – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 2, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(continua)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
18/05/06	570	650	530	430	400	400	540	400	460	560	650	650
19/05/06	580	650	540	440	400	400	540	380	450	580	660	650
21/05/06	580	650	550	440	410	410	540	390	440	580	660	660
22/05/06	580	640	560	440	420	420	560	400	480	580	660	650
23/05/06	600	640	560	450	430	430	560	420	480	580	660	650
24/05/06	610	650	570	460	430	430	560	430	490	590	670	660
25/05/06	600	650	580	460	430	440	570	430	500	590	670	660
26/05/06	480	530	480	460	430	420	550	420	500	500	615	440
27/05/06	520	580	530	480	440	440	580	450	530	540	620	520
28/05/06	540	605	580	480	460	460	580	420	520	540	640	525
29/05/06	570	630	570	500	460	460	600	450	530	580	650	580
30/05/06	600	650	580	520	460	460	600	450	540	580	650	600
31/05/06	600	650	580	520	480	460	600	460	550	590	660	600
01/06/06	600	660	600	520	480	470	610	470	560	610	700	630
02/06/06	620	670	610	540	500	470	620	470	570	620	700	640
03/06/06	600	660	610	540	500	480	610	480	580	620	700	640
04/06/06	620	660	610	540	500	480	630	490	580	630	710	640
05/06/06	620	660	620	540	510	490	640	490	590	640	710	630
06/06/06	620	680	620	550	520	500	630	490	590	640	710	640
07/06/06	640	680	620	560	520	480	640	510	600	640	720	650
08/06/06	640	680	630	560	520	480	640	520	610	640	720	660
09/06/06	640	690	630	560	530	490	640	530	620	640	720	660
10/06/06	640	680	630	580	530	490	650	520	610	640	720	670
12/06/06	560	620	570	510	540	480	560	520	540	560	650	590
13/06/06	580	640	580	540	550	490	580	540	560	580	660	600
14/06/06	580	640	590	550	560	490	620	540	590	610	700	640
16/06/06	640	680	630	580	570	500	620	560	610	630	710	650
17/06/06	640	660	610	600	600	500	610	580	600	610	700	660
18/06/06	630	660	620	590	600	510	620	580	610	620	710	660
19/06/06	650	690	640	600	580	500	650	560	620	650	720	670
20/06/06	660	690	640	600	590	510	660	560	620	650	720	670
21/06/06	670	690	650	600	600	520	660	570	630	660	720	660
22/06/06	680	690	660	600	610	530	670	580	640	660	730	660
23/06/06	680	690	660	610	620	540	670	590	650	660	730	670
24/06/06	680	700	660	620	620	580	680	590	660	660	720	670
26/06/06	680	700	660	610	600	600	680	600	670	660	730	680
27/06/06	680	680	660	620	600	620	660	600	640	660	720	680
28/06/06	680	690	670	620	620	620	670	610	640	660	730	680
29/06/06	690	700	670	620	610	620	660	600	650	660	740	690
30/06/06	690	700	670	620	620	620	660	610	650	670	740	680
01/07/06	680	700	660	620	620	610	680	600	640	340	740	700

ANEXO L – Leituras diárias dos tensiômetros (mmHg) do tratamento 2, instalados nas profundidades de 0,80; 0,90 e 1,00 m, para todo o período monitorado

(conclusão)

Data	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Repetição 4		
	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	1,00
03/07/06	560	570	560	520	520	500	550	500	540	560	470	570
04/07/06	600	610	600	540	550	540	600	540	580	600	480	600
05/07/06	620	620	620	570	570	570	610	560	590	600	480	610
06/07/06	630	650	620	580	580	580	620	580	600	620	230	620
07/07/06	640	650	630	590	590	600	640	580	620	620	250	620
08/07/06	640	660	640	600	600	600	640	590	620	630	270	620
09/07/06	620	660	620	600	600	600	620	600	620	610	220	620
10/07/06	650	660	640	600	600	610	650	600	630	620	300	630