Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Produção e trocas gasosas do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) cultivado sob diferentes níveis de depleção de água no solo

Diego Brandão

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

Diego Brandão
Engenheiro Agrônomo

Produção e trocas gasosas do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) cultivado sob diferentes níveis de depleção de água no solo

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

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

Brandão, Diego
Produção e trocas gasosas do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) cultivado sob diferentes níveis de depleção de água no solo / Diego Brandão. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
83 p. : il.

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

1. Irrigação de pastagens 2. Déficit hídrico 3. Taxa fotossintética 4. Produtividade da água 5. Manejo da irrigação I. Título

CDD 632.78
B817p

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

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais José Carlos
e Maria Helena, pela dedicação e amor
aos filhos, incentivo e apoio aos estudos.
DEDICO

Às minhas irmãs
Carla e Milena,
pela amizade
e carinho.
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador de tudo, toda honra;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela infraestrutura e oportunidade de realização do Curso de Doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

Ao professor Dr. Sergio Nascimento Duarte, pela valiosa e exemplar orientação, amizade, paciência, dedicação, confiança, incentivo, bom humor e preciosos conselhos para vida pessoal e profissional;

À empresa “Sementes Germisol”, pelo fornecimento das sementes do capim-mombaça;

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Biossistemas, pelo acolhimento, estímulo e transmissão de conhecimentos; especialmente aos professores: Dr. Tarlei Arriel Botrel, Dr. José Antonio Frizzone, Dr. Marcos Vinícius Folegatti, Dra. Patrícia Angélica Alves Marques, Dr. Rubens Duarte Coelho, e Dr. Fernando Campos Mendonça;

Aos professores da Universidade Estadual de Maringá (UEM-PR), que contribuíram para a formação acadêmica e de mestre, principalmente aos professores Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas, Dr. Roberto Rezende, Dr. Antônio Carlos Gonçalves de Andrade, Dr. Altair Bertonha, Dr. Cássio Antonio Tormena, Dr. Antônio Saraiva Muniz e Dr. Antônio Carlos Saraiva da Costa;

Aos funcionários do LEB/ESALQ/USP, em especial à Ângela Silva, Dalvimar Colevatti, Beatriz Novaes, Paula Bonassa, Paula Leme, Gilmar Grigolon, Antônio Gozzo, Yvan Jaoude e Luiz Camargo, pela amizade e auxílio prestado no decorrer do curso;

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação, pela convivência harmoniosa, momentos de descontração e de estudo, cito: Jefferson Viera, Ricardo Gava, Bruno Marçal, Acácio Perboni, Bruno Lena, Marcos Amaral, João Paulo, Hermes Rocha, Alan Bernard, Ezequiel Saretta, Hugo dos Santos, Timóteo Barros, José Leôncio, Osvaldo Nogueira, Pedro Ramualyson, e demais alunos do PPGESA os quais convivi; e

A todos que participaram desta caminhada, e que de forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho.

Muito obrigado!

"O sonho

Sonhe com aquilo que você quer ser,
porque você possui apenas uma vida
e nela só se tem uma chance
de fazer aquilo que quer.
Tenha felicidade bastante para fazê-la doce.
Dificuldades para fazê-la forte.
Tristeza para fazê-la humana.
E esperança suficiente para fazê-la feliz.
As pessoas mais felizes não têm as melhores coisas.
Elas sabem fazer o melhor das oportunidades
que aparecem em seus caminhos.
A felicidade aparece para aqueles que choram.
Para aqueles que se machucam
Para aqueles que buscam e tentam sempre.
E para aqueles que reconhecem
a importância das pessoas que passaram por suas vidas."
(Clarice Lispector)

"Jamais se desespere em meio às sombrias aflições de sua vida,
pois das nuvens mais negras cai água límpida e fecunda."
(Provérbio chinês)

SUMÁRIO

RESUMO.....11
ABSTRACT 13
LISTA DE FIGURAS 15
LISTA DE TABELAS 17
1 INTRODUÇÃO 19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21
2.1 O Gênero *Panicum* e sua introdução no Brasil.....21
2.2 O capim-mombaça 21
2.3 Irrigação em pastagens 22
2.4 Os níveis de depleção de água no solo.....26
2.5 A evapotranspiração das culturas 28
2.6 O déficit hídrico e seus efeitos nas plantas 33
3 MATERIAL E MÉTODOS 45
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....45
3.2 Caracterização do material de solo utilizado 45
3.3 Tratamentos e delineamento experimental 47
3.4 Implantação do experimento, adubação, condução e irrigação dos vasos 48
3.5 Medidas realizadas para avaliação dos efeitos dos tratamentos impostos 50
3.5.1 Turnos de rega e lâmina total de irrigação aplicada 50
3.5.2 Número de cortes e suas datas 50
3.5.3 Altura das plantas 50
3.5.4 Fitomassas fresca e seca da parte aérea 50
3.5.5 Área foliar das plantas 51
3.5.6 Produtividade da água.....51
3.5.7 Trocas gasosas 51
3.5.8 Análise estatística.....52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....53
4.1 Variáveis climáticas ao longo do experimento.....53
4.2 Manejo da irrigação 54
4.2.1 Turno de rega por tratamento 54
4.2.2 Lâmina total aplicada por tratamento.....55

4.3 Medidas de trocas gasosas 56
4.3.1 Taxa de assimilação líquida de CO_2, condutância estomática, transpiração foliar e eficiência no uso da água das plantas cultivadas no Latossolo 56
4.3.2 Taxa de assimilação líquida de CO_2, condutância estomática, transpiração foliar e eficiência no uso da água das plantas cultivadas no Nitossolo 58
4.4 Desenvolvimento e produção da cultura 61
4.4.1 Altura média das plantas 61
4.4.2 Massa fresca da parte aérea 64
4.4.3 Massa seca da parte aérea 66
4.4.4 Área foliar 69
4.4.5 Produtividade da água 71
5 CONCLUSÕES 73
REFERÊNCIAS 75

RESUMO

Produção e trocas gasosas do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) cultivado sob diferentes níveis de depleção de água no solo

O Brasil é o maior exportador mundial de carne e possui o maior rebanho comercial de bovinos do mundo. As pastagens, por apresentarem baixo custo de produção em relação aos alimentos concentrados, constituem-se na base da alimentação do rebanho bovino brasileiro. Com isso, grande parte da carne e do leite produzidos no país provêm de rebanhos mantidos a pasto. Dentre as espécies forrageiras destacam-se as cultivares de *Panicum maximum* por apresentarem elevada produtividade, qualidade e valor nutritivo, embora sejam exigentes em água, radiação solar e nutrientes. São escassas as informações na literatura sobre o manejo da irrigação para as espécies forrageiras. Objetivou-se neste trabalho avaliar a influência do manejo da irrigação nas trocas gasosas, na altura, na produção de fitomassa fresca e seca da parte aérea, e na área foliar do capim-mombaça. Adotou-se o delineamento de blocos aleatorizados em um experimento com dois solos de texturas distintas: Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (série "Sertãozinho") franco-arenoso e Nitossolo Vermelho (série "Luiz de Queiroz") franco-argiloso. Aplicaram-se quatro níveis de depleção da capacidade de água disponível do solo (15, 30, 45 e 60% da CAD) com quatro repetições. A pesquisa foi realizada em casa de vegetação na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, no município de Piracicaba-SP. A umidade dos solos foi controlada por meio de pesagens diárias dos vasos; foram realizados três cortes da parte aérea do capim. Determinaram-se a produtividade da água, as lâminas de irrigação aplicadas, os turnos de rega médios e a sensibilidade do capim-mombaça ao déficit hídrico. A taxa líquida de assimilação de CO_2, a altura das plantas e a fitomassa fresca e seca foram afetadas pela condição hídrica do solo; a produtividade da água foi maior conforme o incremento do nível de água no Nitossolo; o capim foi sensível ao déficit hídrico, apresentando produção superior de massa seca quando cultivado sob o nível de 30% de depleção de água para ambos os solos.

Palavras-chave: Irrigação de pastagens; Déficit hídrico; Taxa fotossintética; Produtividade da água; Manejo da irrigação

ABSTRACT

Yield and gas exchanges of mombaca grass (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaca) under different levels of soil water depletion

Brazil is the world's largest meat exporter and has the largest commercial cattle herd in the world. Pastures, because they have low production costs in relation to food concentrates, constitute the staple diet of the Brazilian cattle herd. Thus, much of the meat and milk produced in the country comes from cattle kept at pasture. Among the forage species, there are the cultivars of Panicum maximum for presenting high productivity, quality and nutritional value, although they are demanding in water, light and nutrients. The information in the literature on irrigation management for forage species is scarce. The aim of this study was to evaluate the influence of irrigation management in gas exchange, in the yield of fresh and dry weight of canopy, and leaf area of mombaca grass; and to determine the productivity of water, irrigation depths applied, the average irrigation frequency and sensitivity of mombaca grass to water deficit. The research was carried at "Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP in greenhouse at Piracicaba-SP city. The experiement was set up in randomized blocks consisted by four levels of depletion of soil water availability (15, 30, 45 and 60%) applied to two soils – a Sandy loam Distrofic Yellow Red Latosol and a Clay loam Red Nitosol with four replications. Soil moisture was controlled by the weight of the experimental plots and the grass was cropped three times. The photosynthesis rate, the height and the weight of fresh and dry canopy of the plants was affected by soil moisture; water productivity increases as soil moisture was increased in Nitosol. Mombaca grass has shown sensible to drought and about thirty per cent of soil water depletion proportioned the better yield response for both soils.

Keywords: Pasture irrigation; Water depth; Photosyntesis rate; Water productivity; Irrigation management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, utilizada no experimento 45
Figura 2 - Curvas de retenção de água do Latossolo (a) e do Nitossolo (b), utilizadas no experimento.....47
Figura 3 - Croqui da área experimental, no qual se representa os quatro blocos e os níveis de depleção aplicados às duas classes de solo 48
Figura 4 - Corte de nivelamento do capim-mombaça, realizado para o início dos tratamentos de irrigação.....49
Figura 5 - Variáveis climáticas no interior da casa de vegetação, englobando o período da emergência ao 3º corte do capim-mombaça.....53
Figura 6 - Variáveis climáticas externas à casa de vegetação, englobando o período da emergência ao 3º corte do capim-mombaça.....54
Figura 7 - Taxa de assimilação líquida de CO_2 (a), condutância estomática (b), transpiração foliar (c) e eficiência no uso da água (d) em função do nível de depleção de água no solo, para o capim-mombaça cultivado no Latossolo.....57
Figura 8 - Taxa de assimilação líquida de CO_2 (a), condutância estomática (b), transpiração foliar (c) e eficiência no uso da água (d), em função dos níveis de depleção de água no solo, para o capim-mombaça cultivado no Nitossolo.....59
Figura 9 - Altura média (cm) do capim-mombaça em função da depleção de água no solo: (a) corte 1, (b) corte 2 e (c) corte 3 para o Latossolo; (d) corte 1, (e) corte 2 e (f) corte 3 para o Nitossolo 62
Figura 10 - Massa fresca da parte aérea do capim-mombaça em função da depleção de água no solo; (a) corte 1, (b) corte 2 e (c) corte 3 para o Latossolo; (d) corte 1, (e) corte 2 e (f) corte 3, para o Nitossolo.....65
Figura 11 - Produção de massa seca da parte aérea do capim-mombaça em função dos níveis de depleção de água no solo; (a) corte 1, (b) corte 2 e (c) corte 3 para o Latossolo; (d) corte 1, (e) corte 2 e (f) corte 3 para o Nitossolo.....67

Figura 12 - Área foliar (cm^2) do capim-mombaça em função dos níveis de depleção de água no solo, sendo (a) corte 1, (b) corte 2 e (c) corte 3 para o Latossolo; (d) corte 1, (e) corte 2 e (f) corte (3) para Nitossolo 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da análise química dos dois solos utilizados no experimento 46
Tabela 2 - Resultados da caracterização física dos dois solos utilizados no experimento.....46
Tabela 3 - Lâminas e volumes de água aplicados nos vasos, de acordo com os níveis de depleção propostos.....49
Tabela 4 - Valores de turno de rega (TR) para ambos os solos.....55
Tabela 5 - Lâminas (mm) aplicadas para ambos os solos 55
Tabela 6 - Análise de variância para as variáveis fisiológicas estudadas no Latossolo 56
Tabela 7 - Análise de variância para as variáveis fisiológicas estudadas no Nitossolo 59
Tabela 8 - Análise de variância da altura média (cm) do capim-mombaça submetido a diferentes níveis de depleção de água no solo, para os três cortes da parte aérea, em ambos os solos 61
Tabela 9 - Análise de variância para a massa fresca (MF) do capim-mombaça para ambos os solos estudados.....64
Tabela 10 - Análise de variância para a massa seca (MS) do capim-mombaça em função dos níveis de depleção, para ambos os solos 66
Tabela 11 - Análise de variância para a área foliar do capim-mombaça em função dos níveis de depleção de água no solo, para ambos os solos estudados 69
Tabela 12 - Produtividade da água (PDA) do capim-mombaça em função dos tratamentos impostos, para ambos os solos estudados.....72

1 INTRODUÇÃO

A forma mais prática e econômica de alimentação do rebanho bovino brasileiro, para produção de carne ou de leite, é por meio de pastagens.

As gramíneas do gênero *Panicum* destacam-se na forragicultura tropical por serem altamente produtivas em matéria seca e por possuírem elevado valor nutritivo, além de serem de fácil implantação por meio de sementes. No entanto, são exigentes na disponibilidade de água, radiação solar e nutrientes do solo, requerendo constantes adubações de manutenção e estão sujeitas à produção sazonal de matéria seca, fenômeno conhecido como estacionalidade de produção.

A estacionalidade de produção na região Centro-Sul do Brasil ocorre no período do outono-inverno, quando é comum ocorrerem baixas precipitações, podendo estar associadas ou não a baixas temperaturas (inferiores a 15 ^{o}C) e ao baixo fotoperíodo.Também, pode ocorrer em algumas regiões do país, quando no verão é comum haver períodos de deficiência hídrica, os chamados veranicos.

A baixa produção de massa de forragem durante o outono-inverno tem sido apontada como um dos fatores que mais contribuem para a baixa produtividade dos rebanhos, sendo responsável pela queda acentuada na produção leiteira, pela perda de peso dos animais de corte e pela grande redução na capacidade de suporte.

A evapotranspiração das pastagens geralmente excede a precipitação pluvial; sendo assim, a aplicação de água nas pastagens, por meio de irrigação, é a melhor garantia para se produzir como planejado, sem que a falta de chuvas altere os índices de produtividade e de rentabilidade previamente estabelecidos.

A deficiência hídrica promove uma série de alterações fisiológicas indesejáveis ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas. Entre estas, podem-se citar, o fechamento estomático, que consequentemente leva à diminuição da taxa fotossintética, à perda de água por transpiração, ao aumento da temperatura foliar, à redução da divisão celular e a menor produção de matéria seca.

Diante disso, tem-se como alternativa, para se evitar os efeitos do déficit hídrico e promover a redução da estacionalidade de produção das forragens, a técnica da irrigação. O uso da irrigação pressupõe a adoção de um sistema intensivo de produção em áreas adubadas e cultivadas com forrageiras de elevado potencial de produção de biomassa. Ou seja, esta prática associada a adubações de manutenção eleva a produção da espécie forrageira, reduz os custos de produção e

o tempo de trabalho para alimentação do rebanho, comparada a outras alternativas de suplementação no outono-inverno, tais como a silagem e o feno, por exemplo.

Porém, ainda são escassas as informações na literatura sobre as pastagens irrigadas. Quando mal manejada, a irrigação leva à lixiviação de nutrientes, à compactação do solo, à diminuição da vida útil da pastagem e a gastos excessivos com água e energia elétrica.

Diante do exposto, realizou-se esta pesquisa com os objetivos de gerar informações acerca do manejo da irrigação para o *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça, sob as hipóteses de que: (1) existe um nível ótimo de depleção de água do solo que maximiza o crescimento e a produtividade do capim, e (2) as trocas gasosas dessa forrageira são influenciadas pelos níves de depleção adotados no manejo da irrigação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Gênero *Panicum* e sua introdução no Brasil

As plantas do gênero *Panicum* pertencem à família *Poaceae* tribo *Paniceae*, que possui cerca de 81 gêneros e mais de 1.460 espécies. Encontram-se distribuídas em uma ampla faixa do globo terrestre, desde 40º S até 50º N de latitude, com predominância na zona equatorial úmida (20º N a 20º S), que corresponde a regiões como a África, as Américas Central e do Sul, o norte da Austrália, a Índia, o sudeste da Ásia e as ilhas do Pacífico, numa altitude de até 2.000 m (ROCHA, 1991).

Segundo Chase (1944), a introdução do *P. maximum* no Brasil ocorreu por meio da importação de escravos africanos; o capim era utilizado como cama dos navios e logo foi-se estabelecendo nas regiões onde os navios eram descarregados. Posteriormente o vento, os pássaros e muitas pessoas se encarregaram de disseminá-lo pelo país.

Pertencentes ao gênero *Panicum*, além do capim-colonião, presente em algumas áreas do Brasil, encontram-se cultivados os capins Mombaça, Tanzânia e Massaí, lançados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Corte), e o capim Tobiatã, lançado pelo Instituto Agronômico de Campinas.

2.2 O capim-mombaça

No Brasil, grande parte da carne e do leite produzidos advêm de rebanhos mantidos em pastagens; estas, comparadas aos concentrados, possuem baixo custo de produção; assim, o estudo das plantas forrageiras é de grande importância para o país (ALENCAR et al., 2010).

O capim-mombaça, *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça, é uma das gramíneas forrageiras mais utilizadas em sistemas de produção animal, pela boa adaptação a climas tropicais e subtropicais, e pela elevada produtividade (GOMES et al., 2011). Foi lançado pela Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC) de Campo Grande – MS em 1993. O cultivar classificado como BRA-006645 foi coletado próximo de Korongue, na Tanzânia, em 1967 (CARNEVALLI, 2003).

É uma planta ereta e cespitosa, que forma touceiras com altura média de 1,65 m. As folhas correspondem a 80% da planta, possuem poucos pelos na face superior, são quebradiças, com largura média de 3 cm e sem cerosidade, sendo que somente 10% da sua produção ocorre na estação seca (SILVA et al., 2009). As baínhas são glabras, a inflorescência é do tipo panícula, semelhante a do capim colonião. O capim-mombaça requer solos de média a alta fertilidade, para um bom e rápido estabelecimento, bem como para cobertura total do solo.

As práticas agronômicas que otimizam a utilização das forrageiras pelo incremento de matéria seca é a utilização da adubação e da irrigação. A disponibilidade imediata de nitrogênio, após o corte, melhora o perfilhamento e aumenta o índice de área foliar, possibilitando melhor estande e favorecendo as forrageiras, em detrimento das plantas invasoras (CORSI,1994). Além disso, a adubação nitrogenada promove o acúmulo de matéria seca, maior teor de proteína bruta, e menores teores de fibra em detergente ácido e em detergente neutro, o que indica melhor qualidade da forragem (FABRICIO et al., 2010).

2.3 Irrigação em pastagens

No Brasil, grandes áreas de pastagem estão localizadas em regiões sujeitas a longos períodos de estresse por deficiência hídrica, que reduzem o potencial de produção da forragem. É importante conhecer o comportamento de plantas forrageiras em condições de estresse hídrico, para melhorar o entendimento de seus efeitos sobre a produção e possibilitar o uso de práticas de manejo que melhorem a utilização do pasto (VOLTAM et al., 2006). A deficiência hídrica provoca o abaixamento do potencial da água e da condutividade hidráulica do solo. Essa situação reduz a disponibilidade de água às plantas e causa alterações no processo de evapotranspiração.

A irrigação de pastagens tem como objetivo reduzir a estacionalidade de produção no período seco (RIBEIRO et al., 2009). Porém, dependendo da região onde as mesmas são cultivadas, os fatores mais limitantes podem ser a temperatura e a radiação solar. As forrageiras tropicais têm crescimento reduzido quando expostas a temperaturas inferiores a 15 ^{o}C (WHITHEMAN, 1980).

O sistema de irrigação por aspersão em malha, embora seja de baixo custo quando implantado, exige espécies forrageiras de alta produtividade, como as

cultivares de *Panicum maximum* (mombaça, tanzânia, colonião e massaí), *Brizantha* spp. e *Cynodon* spp. Poucas são as informações sobre essas espécies quando irrigadas. Em vários locais, a irrigação economizaria os custos de produção e o tempo de trabalho com alimentação do gado, por meio do uso de feno ou de silagem, permitindo a utilização de pequenas áreas irrigadas e o prolongamento do pastejo durante a estação seca.

Quando a irrigação das pastagens não é feita de maneira adequada, leva, geralmente, à aplicação excessiva de água, o que resulta em prejuízos ao ambiente, consumo desnecessário de energia elétrica e de água, lixiviação de nutrientes e maior compactação do solo, repercutindo na diminuição da produção e da vida útil da pastagem (ALENCAR et al., 2009).

Ribeiro et al. (2009) estudaram a influência da presença e da ausência da irrigação nas épocas seca e chuvosa, em solo sob os capins mombaça e napier, em um sistema de lotação intermitente. Os maiores valores de disponibilidade de matéria seca total, matéria seca verde e matéria seca residual, nas duas épocas do ano, foram obtidos com as forrageiras irrigadas e com o capim-napier. A irrigação trouxe maior aumento nas disponibilidades de matéria seca total e de matéria seca verde no capim mombaça do que no capim-napier. Na época seca, a irrigação elevou a porcentagem de folhas, a altura e a densidade volumétrica da forragem. Nas épocas seca e chuvosa, o capim-napier, irrigado ou não, teve menor porcentagem de folhas e maior altura que o capim-mombaça, mas a densidade volumétrica da forragem não diferiu entre as duas forrageiras. Na época chuvosa, as forrageiras sob irrigação apresentaram maior altura, mas a porcentagem de folhas e a densidade volumétrica das forragens foram semelhantes às obtidas com as forrageiras não irrigadas. A irrigação não influenciou os teores de matéria orgânica, de proteína bruta e de fibra em detergente neutro. O capim-napier, irrigado ou não, apresentou maior teor de proteína bruta e menores teores de matéria orgânica e fibra em detergente neutro, em comparação com o capim-mombaça, nas duas épocas.

A determinação do consumo hídrico, por meio da estimativa da evapotranspiração, é de fundamental importância para o manejo correto da irrigação. Com base nisto, Silva et al. (2005) estudaram o consumo hídrico do capim tanzânia cultivado em uma área sob pivô central, pelos métodos do lisímetro de pesagem e da razão de Bowen. Concluiu-se que a evapotranspiração média da cultura (ETc),

estimada pelo sistema automático da razão de Bowen, foi de 4,13 mm d^{-1}, enquanto que o valor médio mensurado pelo lisímetro foi de 4,34 mm d^{-1}.

O consumo de água pelas plantas (ETc) varia conforme seu desenvolvimento e é função do coeficiente de cultura (kc) e da evapotranspiração potencial de uma cultura tida como referência (ETo). Ou seja, ETc = kc.ETo, sendo ETo de uma cultura hipotética semelhante a grama, em pleno desenvolvimento vegetativo, sem restrição hídrica e sem ataque de pragas, cujo modelo físico-matemático que expressa sua evapotranspiração é o de Penman-Monteith, com parâmetros estabelecidos pela FAO (ALLEN et al., 1998).

Dessa forma, o correto manejo da irrigação implica na utilização de diferentes lâminas d'água conforme o desenvolvimento da cultura. Bueno et al. (2009) determinaram o coeficiente de cultura (kc) para o capim tanzânia, além das produções de matéria seca e fresca. O consumo médio de água pelo capim foi de 5,39 mm d^{-1} e os valores médios para os coeficientes de cultura, nos três períodos (I, II e III: 90, 170 e 240 dias após a emergência), estimados pelos métodos do lisímetro com grama e do tanque "Classe A" foram: 0,75 e 0,61; 0,83 e 0,91; 1,04 e 0,88, respectivamente. Os valores médios totais de matéria fresca e de matéria seca, obtidos nos três cortes (períodos I, II e III) foram, respectivamente, 117,830 Mg ha^{-1} e 26,069 Mg ha^{-1}.

Voltam et al. (2006) avaliaram a resposta do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) ao estresse hídrico na fase de estabelecimento. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com Latossolo Vermelho. Os níveis de disponibilidade de água no solo testados foram: 100%, 60% e 30% da água disponível; a disponibilidade de água no solo foi monitorada diariamente por meio da pesagem dos vasos e a reposição de água foi realizada quando necessária. Os períodos de duração do estresse hídrico foram de 5, 10 e 15 dias. Concluiu-se que o capim-tanzânia apresenta mecanismos de adaptação ao estresse hídrico moderado de curtos períodos de tempo, reduzindo principalmente o desenvolvimento de folhas. A cultura sofre redução acentuada da massa seca quando submetida a estresses hídricos severos e prolongados. Durante a fase de implantação em áreas irrigadas, a reposição de água deve ocorrer quando a umidade do solo atingir a 60% da água disponível total, ou seja, um percentual de depleção de 40% da capacidade de água disponível do solo (CAD).

Trabalhando com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em casa de vegetação, Araujo et al. (2011) observaram o perfilhamento e a produção de biomassa do capim no período de estabelecimento, sob influência do déficit hídrico, em Latossolo Vermelho. Os tratamentos referiram-se à suspensão da irrigação em diferentes épocas do estabelecimento (semeadura, germinação e perfilhamento primário) até que o solo apresentasse teor de água equivalente a 75, 50 e 25% da CAD, além de uma testemunha que não sofreu restrição hídrica. As avaliações do número de perfilhos surgidos por vaso foram realizadas semanalmente, por cinco semanas, a partir do início do perfilhamento. Uma coleta de biomassa foi realizada aproximadamente aos 30 dias após o término do último tratamento, período em que o solo foi mantido próximo à capacidade de campo. O perfilhamento e a produção de biomassa do capim-marandu foram reduzidos apenas quando o déficit hídrico foi suficiente para que o teor de água no solo atingisse a 25% da CAD (depleção de 75%), durante a fase de estabelecimento, independente da época em que ocorreu a escassez hídrica.

Alencar et al. (2009) estudaram a produtividade de matéria seca de seis gramíneas (Xaraés, Mombaça, Tanzânia, Pioneiro, Marandu e Estrela), sob efeito de seis lâminas de irrigação (0, 18, 45, 77, 100 e 120% da ETo), em diferentes estações do ano (outono/inverno e primavera/verão). A resposta das diferentes gramíneas em termos de produtividade de matéria seca dependeu da lâmina de irrigação e da estação do ano. De forma geral, a estação primavera/verão, em virtude de apresentar maior temperatura, proporcionou também maior produtividade em relação à estação outono/inverno. Os efeitos das lâminas de irrigação foram dependentes da estação, havendo maior produtividade apenas na irrigação de outono/inverno. O capim-xaraés apresentou maior produção de matéria seca.

É sabido que a compactação do solo é favorecida pela alta umidade. Baseado nessa informação, Torres et al. (2012) verificaram o efeito do impacto do pisoteio bovino na resistência à penetração do solo em uma área de Latossolo Vermelho distrófico, cultivada com Tifton 85, com e sem irrigação. Os autores concluíram que a resistência à penetração foi influenciada pela umidade do solo nas áreas com e sem irrigação; o pisoteio animal causou o aumento da densidade do solo no tratamento não irrigado; existiu correlação positiva entre a densidade e a umidade, e negativa entre as variáveis umidade, densidade e resistência à penetração. A maior produção de fitomassa ocorreu sempre na área irrigada.

2.4 Os níveis de depleção de água no solo

De toda a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), deve-se utilizar apenas uma fração, para que sejam evitados prejuízos às culturas, devido aos efeitos do déficit hídrico antes das irrigações. Assim, surgiu o conceito de água facilmente disponível (AFD).

A fração da CAD que define a AFD é denominada de fator de depleção de água no solo ("f" ou "p"), variando de 0 a 1, de acordo com a sensibilidade das culturas ao déficit hídrico. Dessa forma, para culturas mais sensíveis ao estresse hídrico, como as hortaliças, recomendam-se valores de "f" menores do que para aquelas mais resistentes ao estresse hídrico (forrageiras e oleaginosas) (ALLEN et al., 1998).

Allen et al. (1998) sugerem a máxima fração de esgotamento da água disponível do solo ("f"), para fins de irrigação sem estresse hídrico e evapotranspiração de cultivo padrão de 5 mm d^{-1}, das espécies forrageiras, de 0,6.

Quando a evapotranspiração é diferente de 5 mm d^{-1}, deve-se ajustar o valor de "f" por meio da equação (1):

$$f = f_{tab} + 0{,}04\ (5 - ETc) \qquad (1)$$

Em que:

f - depleção de água no solo máxima permitida, que não causa estresse às plantas, decimal;

f_{tab} - depleção de água no solo dada por Allen et al. (1998), decimal; e,

ETc - evapotranspiração máxima da cultura, mm d^{-1}.

A CAD pode variar muito de solo para solo e até mesmo dentro do mesmo perfil de solo (variabilidade espacial), porque existem várias propriedades físicas que estão diretamente ligadas com a proporção e a distribuição de macroporos e microporos. Essas propriedades físicas são: textura do solo, tipo de argila, densidade global, estrutura do solo e teor de matéria orgânica (VANZELA e ANDRADE, 2014).

Solos com textura argilosa apresentam uma maior estruturação, favorecendo a formação de uma maior quantidade de microporos em relação a macroporos, e por isso sua CAD será maior que a de solos arenosos. Porém, se a densidade deste

mesmo solo for muito alta, mesmo sendo mais argiloso, o solo pode apresentar uma CAD menor, o que mostra que todas as propriedades estão relacionadas. Argilas do tipo 2:1, como as montmorilonitas e vermiculitas (600 a 800 $m^2 g^{-1}$), têm maior área superficial externa que as caulinitas e ilitas (50 a 100 $m^2 g^{-1}$), o que favorece uma maior área de contato com a água, e por isso conseguem reter mais água por tensão superficial (adsorção).

A estrutura do solo também influencia a proporção de macro e microporos. Solos com estrutura granular, como é o caso de muitos latossolos, possuem maior quantidade de macroporos, o que facilita a infiltração de água. Solos com estrutura em blocos ou colunar, como é o caso de argissolos, favorecem a formação de microporosidade, aumentando-se a capacidade de retenção de água. A matéria orgânica, além de apresentar uma alta área superficial externa (560 a 800 $m^2 g^{-1}$), favorece a estruturação e a capacidade do solo reter água.

Barros Junior et al. (2008) estudaram o consumo de água e a eficiência do uso da água para duas cultivares de mamona (BRs-149 e BRs-188). Estas foram submetidas a diferentes conteúdos de água no solo (40, 60, 80 e 100% de água disponível). Os autores observaram que ambas as cultivares apresentaram comportamento similar ao das plantas conduzidas sem déficit hídrico, ou seja, houve alta produção de fitomassa, o que indica elevada eficiência da mamona na transformação da água consumida em matéria seca.

Diferentes níveis de irrigação por gotejamento na cultura do pimentão, conduzida em casa de vegetação, foram estudados por Teodoro (1993). Foi verificado que as maiores produções ocorreram nos tratamentos irrigados, quando níveis intermediários de depleção de água no solo eram consumidos. O tratamento a 30% de água disponível consumida (f = 0,30) apresentou maior produção em relação aos demais (10%, 50% e 70%). Já o tratamento mantido mais seco (70% de depleção ou f = 0,70) apresentou maior porcentagem de frutos defeituosos.

Utilizando-se de quatro níveis de água no solo (40, 60, 80 e 100% da CAD), Nascimento et al. (2004) observaram os efeitos do estresse hídrico sobre o crescimento e a produção de grãos verdes do feijão caupi cv. IPA 206. Os resultados observados mostraram que o nível crescente de déficit hídrico afetou drasticamente o desempenho desta cultivar, em comparação com a testemunha. As maiores reduções estimadas foram constatadas no comprimento da haste principal, 26 e 48%, no número de folha por planta, 23 e 35%, no número de vagens por planta, 32

e 49%, e na massa de vagens por planta, 23 e 30%, respectivamente, para a manutenção dos níveis de 60 e 40% de água disponível do solo (ou seja, p = 0,40 e p = 0, 60, respectivamente).

Costa et al. (2008) submeteram plantas de milho ao estresse irrigando-as no ponto de murcha permanente, a 50, a 75 e a 100% de água disponível no solo, cultivando-as em vasos de 10 L, em casa de vegetação nos estádios vegetativo e reprodutivo. Os autores observaram que o estresse aplicado no estádio vegetativo reduziu o conteúdo relativo de água na planta, a área foliar, a matéria seca das raízes e a parte aérea das plantas. No estádio reprodutivo, os tratamentos também influenciaram negativamente esses parâmetros, exceto a produção de massa seca das raízes, que não apresentou resposta aos tratamentos.

O controle estomático é uma importante propriedade fisiológica por meio da qual as plantas limitam a perda de água, ocasionando reduções na condutância estomática e, geralmente, reduzindo as trocas gasosas, como forma de resposta das plantas a diversos fatores, incluindo o estresse hídrico (PAIVA et al., 2005).

Com base nisso, Paiva et al. (2005) determinaram a condutância estomática do feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação, quais sejam: T1 - irrigado quando a umidade com base em volume (Ɵ) atingiu à 40% da capacidade de água disponível (f = 0,60); T2 - quando Ɵ atingiu 60% da CAD (f = 0,40); T3 - quando Ɵ atingiu 80% da CAD (f = 0,20), e T4 - não irrigado (irrigado somente para favorecer a emergência das plântulas). Em todos os tratamentos, em diversas medições, foi observada a redução da condutância estomática em resposta a baixos valores de potencial mátrico e a altos valores de déficit de pressão de vapor e vice-versa. As folhas das plantas do tratamento T4, que foram submetidas à menor disponibilidade hídrica no solo, apresentaram os menores valores de condutância estomática durante os estádios de florescimento e de enchimento de grãos.

2.5 A evapotranspiração das culturas

A combinação de dois processos simultâneos, nos quais a água é perdida para a atmosfera, pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração das plantas, é denominado evapotranspiração (ET). A energia necessária para alterar o estado da água, de líquida para vapor, é proveniente da radiação solar e da

temperatura do ar (ALLEN et al., 1998). Outros fatores climáticos que influenciam o processo da evapotranspiração são a umidade do ar e a velocidade do vento.

A transpiração consiste na vaporização da água líquida contida nos tecidos vegetais e na remoção deste vapor para atmosfera. As plantas perdem água através de seus estômatos, que são pequenos poros localizados nas folhas para realização de trocas gasosas. A transpiração também é dependente da energia proveniente da radiação solar, do gradiente de pressão de vapor, do vento e da umidade do ar.

A evapotranspiração é variável, conforme o estádio de desenvolvimento das culturas, e é dependente da espécie vegetal, da umidade do solo e da sua capacidade em conduzir a água para as raízes (condutividade hidráulica), além da concentração externa de dióxido de carbono (CO_2). No início do desenvolvimento da cultura, grande parte do solo ainda não é sombreado pelas plantas; assim sendo, o fenômeno predominante é a evaporação. Conforme aumenta a cobertura do solo, pelo aumento do índice de área foliar, a transpiração passa a ser dominante.

A taxa de evapotranspiração que ocorre em uma superfície de referência (padrão), cujas características que a definem são: extensa superfície com vegetação em crescimento ativo cobrindo toda superfície, altura da vegetação de 0,12 m, índice de área foliar de 2,88, resistência aerodinâmica da superfície de 70 s m^{-1} e albedo 0,23, é denominada evapotranspiração de referência (ETo). Ela é utilizada como um índice padronizado e reprodutível que caracteriza a demanda climática da atmosfera por vapor d'água. O objetivo de se definir ETo é universalizar seu cálculo, permitindo, pela multiplicação do seu valor por um coeficiente de cultura (kc), estimar a evapotranspiração da cultura, ou seja, ETc = kc . ETo. O kc é obtido pela razão ETc/ETo e varia conforme o estágio de desenvolvimento da cultura.

Pode-se determinar a evapotranspiração de referência de forma direta ou indireta. De forma direta, têm-se os métodos dos lisímetros de pesagem ou de drenagem, e o método do balanço de água no solo. De forma indireta, citam-se os modelos micrometeorológicos, teóricos e empíricos, baseados na utilização de dados climáticos, como por exemplo: Penman-Monteith – Padrão FAO 56; Hargreaves; Método do Tanque Classe "A"; razão de Bowen; entre outros. Os métodos diretos, embora forneçam as melhores estimativas de evapotranspiração, são de realização demorada, dispendiosos e de difícil execução nas condições em campo; por isso, são geralmente utilizados por pesquisadores para calibrar os métodos indiretos.

Bezerra et al. (2010) utilizaram dos métodos da razão de Bowen e de Penman-Monteith para determinar a evapotranspiração do algodoeiro. A ETc da cultura variou em função de sua fenologia, obtendo-se valores médios de 3,8 mm d^{-1} no período da emergência a 10% da cobertura de solo (Fase I); 5,0 mm d^{-1} no período do crescimento vegetativo (Fase II); 5,9 mm d^{-1} no período do desenvolvimento reprodutivo (Fase III) e 5,4 mm d^{-1} no período de maturação (Fase IV). O kc pode ser definido como uma função quadrática dos dias após a emergência (DAE), pela equação: $kc = -0{,}00006\ DAE^2 + 0{,}009\ DAE + 0{,}632$.

Souza et al. (2011) determinaram a evapotranspiração real (ETc), os coeficientes de cultivo (kc) e a eficiência do uso da água (EUA) para a cultura do pimentão cultivado em plantio direto (PD) e plantio convencional (PC), na baixada fluminense, no Estado do Rio de Janeiro. O manejo da irrigação e a quantificação da demanda evapotranspirométrica foram realizados mediante ao cálculo diário do balanço de água no solo, utilizando-se a técnica da sonda TDR e dados coletados em uma estação meteorológica automática. Verificou-se que a ETc acumulada durante 181 dias após transplantio (DAT) foi de 363 e de 335 mm, para PC e PD, respectivamente. Os kc's encontrados foram de 0,32; 1,18 e 0,77 e de 0,34; 1,05 e 0,86, para os sistemas PC e PD, nas fases de crescimento inicial (0-40 DAT), média (81-120 DAT) e final (181 DAT), respectivamente. Os valores encontrados de kc para a cultura do pimentão, relativos ao sistema PC, foram semelhantes aos valores preconizados pela FAO, sendo, no entanto, não-recomendados para o PD. Considerando-se a lâmina total aplicada (chuva e irrigação), os valores médios de EUA foram de 3,9 e 4,5 kg m^{-3}, para PC e PD, respectivamente.

Duarte et al. (2010) determinaram o consumo hídrico do tomateiro com adubação orgânica, visando avaliar as estimativas da evapotranspiração e do coeficiente de cultura (kc) em ambiente protegido, com o uso dos métodos do Tanque Classe A, da Radiação Solar, de Penman e de Penman-Monteith. O consumo hídrico do tomateiro, durante 88 dias de cultivo, foi de 477 mm. As estimativas da evapotranspiração de referência pelos métodos do tanque Classe A, da Radiação Solar e de Penman apresentaram alta precisão e concordância com os valores medidos da evapotranspiração da cultura. A evapotranspiração de referência apresentou valores próximos da evapotranspiração da cultura ao longo do período de cultivo, sendo a ETc determinada com o uso dos métodos do tanque Classe A, da

Radiação Solar e de Penman, mantendo o kc médio de 0,95; 1,02 e 1,01 respectivamente; já para o método de Penman-Monteith, o kc médio foi de 1,41.

Santana et al. (2013) determinaram os coeficientes de cultura e a evapotranspiração do abacaxizeiro irrigado, com gotejadores em superfície e enterrados, em Latossolo Vermelho distroférrico de textura franco-arenosa. Para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) foi utilizada a equação de Penman-Monteith, e para obtenção da evapotranspiração da cultura (ETc) utilizou-se o método do balanço de água no solo. O maior valor de evapotranspiração da cultura foi de aproximadamente 6,8 mm d^{-1} obitida para os tubogotejadores superficiais. Os valores de ETc médios encontrados quando a irrigação foi efetuada com tubogotejadores enterrados e superficiais foram, respectivamente, de 2,88 e 3,37 mm d^{-1}; os valores médios dos coeficientes de cultura foram de 0,97 (tubogotejador enterrado) e 0,91 (tubogotejador superficial) para todo o ciclo do abacaxi.

Junior et al. (2013) determinaram o kc do girassol, por lisímetros de pesagem, e a ETo pelo método Penman-Monteith. As durações das fases fenológicas foram definidas em 28, 15, 27 e 20 dias de duração para a fase inicial (Fase I), de desenvolvimento vegetativo (Fase II), de floração (Fase III) e de maturação fisiológica (Fase IV), respectivamente. Os kc’s obtidos para os diferentes estádios de desenvolvimento foram de 0,52, 0,74, 0,98 e 0,81 para as respectivas fases I, II, III e IV.

Manejando a irrigação com lâminas de reposição da ETc (33, 66, 100, 133 e 166%) para a cultura do tomateiro, Silva et al. (2013) observaram que os diâmetros transversal e longitudinal dos frutos e a massa dos frutos aumentaram linearmente com o acréscimo nos níveis de reposição da ETc. O número de flores por planta, o número de flores abortadas, a quantidade de frutos por planta, a produção e a eficiência no uso da água foram maiores com as plantas sob uma reposição entre 100 e 133% do consumo de água pleno para a cultura. Assim sendo, recomendou-se que o tomateiro 'Caline IPA 6' poderia ser cultivado com uma lâmina de água entre 100 e 133% da ETc.

Muniz et al. (2013) quantificaram o balanço de energia pelo método da razão de Bowen e a evapotranspiração do capim Mombaça irrigado sob sistema de pastejo rotacionado, em uma pesquisa realizada na Unidade Experimental da Universidade Estadual do Norte Fluminense (Darcy Ribeiro, no Município de Campos dos

Goytacazes-RJ). Os fluxos de calor latente, sensível e do solo, representaram em média, durante o período de cultivo, 66, 23 e 12% do saldo de radiação, respectivamente. A evapotranspiração média do capim Mombaça irrigado foi 3,87 mm d^{-1}; a ETc máxima foi de 8,93 mm d^{-1} e a mínima de 0,43 mm d^{-1}.

Trabalhando com a cultura do feijoeiro irrigado em dois sistemas de plantio, direto e convencional, sobre Latossolo Vermelho Distroférrico, Bizari et al. (2009) observaram que os valores de evapotranspiração da cultura (ETc) determinados por balanço hídrico, foram crescentes conforme os estádios de desenvolvimento vegetativo, de florescimento e de enchimento de grãos, decrescendo na maturação fisiológica. Com a estimativa da ETo pelo método Penman-Monteith, os autores calcularam a razão entre ETc e ETo obtendo-se, assim, o coeficiente da cultura (kc). Os valores obtidos foram bem próximos para o estádio vegetativo, independente do sistema de plantio, o que corrobora o fato deste coeficiente ser uma característica da fisiologia da planta; nos demais estádios, o valor de kc foi menor no plantio direto quando comparado ao convencional; desta forma, há uma maior economia de água no primeiro sistema de plantio. O período de maior exigência de água pela planta ocorreu durante os estádios de florescimento (4,31 e 5,72 mm d^{-1}) e de enchimento de grãos (5,43 e 6,21 mm d^{-1}) no plantio direto e no convencional, respectivamente.

Carvalho et al. (2013) quantificaram, sob manejo agroecológico, o consumo hídrico e os valores de kc's para a cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.), em Seropédica-RJ; também simularam a evapotranspiração da cultura (ETc), utilizando os kc's obtidos e os kc's preconizados pela FAO. O consumo hídrico foi obtido por meio do balanço hídrico do solo, utilizando sondas de TDR instaladas a 0,15 e a 0,30 m de profundidade. Nas diferentes fases de desenvolvimento, o kc foi determinado pela razão entre a ETc e a evapotranspiração de referência, obtida por Penman-Monteith FAO 56. Os kc's obtidos foram 0,35; 0,45; 1,29 e 0,63. A ETc acumulada obtida em campo foi de 109,6 mm, enquanto as ETc's acumuladas obtidas a partir dos kc's FAO foram de 142,2 e 138,0 mm, considerando os valores clássicos e os corrigidos para as condições climáticas locais, respectivamente. A simulação do consumo hídrico com base nos dados meteorológicos da série histórica de 1961 a 2007 proporcionou maior valores de ETc quando comparados com os obtidos em campo. A partir dos dados meteorológicos obtidos na série histórica, observou-se que a utilização de kc's preconizados pela FAO podem

superestimar a quantidade de água na irrigação em 9%, considerando o mesmo período de cultivo.

Paes et al. (2012) descreveram as necessidades hídricas do quiabeiro em cada estádio do seu desenvolvimento, por meio da determinação da ETc e dos kc's. A cultivar utilizada foi a Santa Cruz 47, plantada no espaçamento 0,25 m x 1,00 m, em uma área de 1024 m^2, irrigada por aspersão convencional. Na área, foram feitas as determinações da evapotranspiração da cultura e do coeficiente cultural, utilizando-se um lisímetro de 6 m^2 com balança eletrônica, com sensibilidade de peso de 0,58 kg. Os resultados obtidos permitiram quantificar a evapotranspiração da cultura em 314 mm. O kc do quiabeiro, no primeiro estádio de desenvolvimento, variou entre os valores de 0,8 e 0,5, sendo o valor médio 0,68; no segundo estádio, variou de 0,5 a 1,0, sendo a média de 0,79; e no terceiro estádio o kc variou de 1,0 a 0,3, sendo a média de 0,54.

Bastos et al. (2012) determinaram a ETc diária e horária da melancia (*Citrullus lanatus* Schrad, var. Crimson Sweet) irrigada por gotejamento e o kc em cada fase de desenvolvimento desta cultura. O estudo foi conduzido em uma área experimental de 1,27 ha da Embrapa Meio-Norte, localizada em Parnaíba – PI. Utilizaram-se quatro lisímetros de pesagem eletrônica, de 1,5 m x 1,5 m de largura e comprimento, com 1 m de profundidade, para determinar a ETc. A cultura foi irrigada por gotejamento com uma linha lateral por fileira de planta e gotejadores espaçados a cada 0,5 m. A ETo foi estimada com base na equação de Penman-Monteith, a partir dos dados climáticos obtidos com sensores eletrônicos. A evapotranspiração total, durante o ciclo da cultura da melancia, foi de 233,87 mm, com valores médios de 3,7 mm d^{-1}, mínimo de 1,18 e máximo de 8,14 mm d^{-1}. O kc da melancieira irrigada por gotejamento foi de 0,18 no estádio inicial; de 0,18 a 1,3, no estádio de crescimento; 1,3 no estádio intermediário, e 0,43 no estádio final.

2.6 O déficit hídrico e seus efeitos nas plantas

O déficit hídrico pode ser definido como o fenômeno que ocorre quando o conteúdo de água de um tecido ou célula está abaixo do conteúdo de água exibido no seu estado de maior hidratação (TAIZ e ZEIGER, 2009). Ou seja, desenvolve-se na planta quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção e transporte de água.

Células ou tecidos vegetais sob condição de reduzida disponibilidade hídrica apresentam inibição do processo de crescimento, mudanças metabólicas devido ao fechamento estomático, redução da fotossíntese e da transpiração, e aumento da tolerância à desidratação. A seca é um dos principais fatores de estresse do ambiente, alterando diversos processos fisiológicos das plantas, os quais comprometem o seu crescimento e desenvolvimento, o que consequentemente, levam à redução da produtividade.

A deficiência hídrica exerce influências negativas sobre as plantas e, na maioria dos casos, seus danos são mensurados mediante ao acompanhamento dos processos que, em geral, estão relacionados ao crescimento, como as alterações que ocorrem em nível morfológico e no acúmulo de biomassa por parte dos distintos órgãos vegetais. A análise de crescimento, além de descrever as condições morfofisiológicas dos vegetais, possibilita a avaliação do seu desenvolvimento como um todo, e a mensuração da contribuição relativa dos diferentes órgãos no crescimento total. A partir dos dados de crescimento pode-se deduzir, ainda, inferências acerca das eventuais causas de alterações nos padrões de crescimento entre as plantas cultivadas sob diferentes condições de manejo (SILVA et al., 2012).

O estresse causado pelo deficit hídrico afeta toda a planta, dos pelos radiculares aos estômatos; causa alterações morfológicas como a redução da área foliar, do crescimento das raízes e interfere no fechamento estomático. Respostas fisiológicas ao estresse hídrico variam de acordo com o genótipo das plantas, mas em geral ocorrem devido ao baixo potencial de água no solo, causando baixo potencial nas folhas, incremento na produção de osmoprotetores como açúcares de prolina, redução no conteúdo de água nas folhas, decréscimo na condutância estomática e na taxa fotossintética (GRAÇA et al., 2010).

Silva et al. (2011) estudaram os efeitos da aplicação de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, por meio de irrigação com água residuária de esgoto doméstico, no crescimento e na produção das plantas de pinhão-manso. Os tratamentos constaram de cinco níveis de reposição de água (Nr1= 0,25; Nr2= 0,50; Nr3= 0,75, Nr4=1,00 e Nr5= 1,25 da evapotranspiração); foram avaliadas a altura das plantas, o diâmetro caulinar, o número de folhas, a área foliar e o número de cachos. O estresse hídrico ocasionou efeito significativo em todas as variáveis estudadas, indicando a sensibilidade do pinhão-manso ao baixo teor de umidade do solo.

Almeida et al. (2011) submeteram plantas de cafeeiro, com cinco pares de folhas, a 40 dias de restrição hídrica, em vasos sob casa de vegetação. Mediram a altura de plantas, o número de pares de folhas e o potencial hídrico foliar, após este período. Verificaram que as plantas cultivadas sob estresse hídrico apresentaram redução do potencial hídrico foliar, do crescimento em altura e redução do número de pares de folhas formadas. Esses processos são resultantes das alterações metabólicas que ocorreram nas mesmas, devido à condição de baixo potencial hídrico do solo.

Brito et al. (2013) utilizaram cinco lâminas de irrigação (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc) na cultura do milho, e concluíram que o crescimento da cultura é limitado pela deficiência hídrica, notadamente quando se usam lâminas inferiores a 80% da ETc; o diâmetro do colmo e a massa seca do colmo foram as variáveis indicadas para o estudo do estresse hídrico em milho doce; a lâmina de 80% da ETc pode ser aplicada na cultura do milho na fase vegetativa, pois não há comprometimento na definição do número de grãos por fileiras e de fileiras por espiga.

Silva et al. (2013) avaliaram três cultivares de *P. maximum*: Tanzânia, Mombaça e Massaí, em três níveis hídricos: 80%, 50% e 30% de volume total de poros (VTP), sendo 80% de VTP o nível controle (testemunha). Os autores concluíram com este trabalho que ambos os níveis de estresse, 50% e 30%, foram suficientes para causar redução nas características altura, massa verde e massa seca da parte aérea em todas as cultivares. No caso da cultivar Massaí, não foi observado redução na altura das plantas nas duas primeiras avaliações, independente do nível de estresse aplicado, sugerindo que esta cultivar pode ser mais tolerante à seca que as demais. Pois, os capins Tanzânia e Mombaça foram sensíveis desde o início do período de estresse, considerando esta característica.

Suassuna et al. (2012) avaliaram a tolerância de porta-enxertos de citros ao estresse hídrico. Estudaram dois fatores: (1) manejo hídrico (‘sem estresse’ e ‘com estresse’), neste último caso, com irrigação baseada em 50 e 25% da capacidade de campo e (2) tipo de porta-enxerto. Concluiu-se que o déficit hídrico reduziu a fitomassa total e aumentou, em alguns porta-enxertos, a relação raiz/parte aérea. A fitomassa foliar foi a variável mais afetada, negativamente, nos porta-enxertos de citros, sob deficiência hídrica.

Freitas et al. (2013) avaliaram a produção e a qualidade de sementes de feijão-caupi, submetidos ao estresse hídrico por determinado número de dias de suspensão da irrigação, em plantio direto e convencional. Concluíram que as sementes provenientes de plantas submetidas ao estresse hídrico resultaram em menor qualidade fisiológica; contudo, fisicamente, mostraram-se maiores e mais pesadas. O sistema de plantio direto proporcionou sementes com melhor qualidade fisiológica. Plantas de feijão-caupi submetidas ao estresse hídrico após o florescimento, produziram menor quantidade de sementes. Quando o estresse ocorreu nos estádios iniciais de desenvolvimento da semente, os autores observaram decréscimo na produção, além de efeitos negativos na atividade fotossintética, com redução na produção de assimilados para o desenvolvimento da semente, podendo também ocorrer redução na qualidade fisiológica das sementes.

Nascimento et al. (2011) analisaram o crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) sob déficit hídrico. As plantas foram cultivadas em vasos contendo 8 kg de solo e quatro níveis hídricos (irrigações de 100%, 75%, 50% e 25% da capacidade de vaso (CV)). Verificaram que o déficit hídrico afetou o crescimento das plantas quanto à altura, ao diâmetro do caule e à produção de matéria seca para os diversos órgãos, quando cultivadas em níveis a partir de 50% da CV. O número de folhas reduziu-se em todos os níveis de estresse, quando comparados com o tratamento 100% da CV. Além disso, o padrão de alocação de biomassa, a relação raiz/parte aérea, a razão de área foliar e a área foliar específica foram afetados pelo estresse. O número de folhas foi a variável mais sensível ao estresse. As mudas de jatobá não paralisaram o seu crescimento quando cultivadas com baixa disponibilidade de água no solo, na fase inicial do desenvolvimento. No entanto, seu crescimento foi severamente afetado em níveis de água abaixo de 50% da CV.

Martins et al. (2010) estudaram o crescimento de plantas jovens de nim-indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.) submetidas a diferentes regimes hídricos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com sete tratamentos (irrigações de 100, 80, 60, 40 e 20% da capacidade de vaso, suspensão de rega e reirrigado). Avaliaram-se, semanalmente, a altura, o número de folhas e o diâmetro do caule. Ao final do experimento, as plantas tiveram seus órgãos separados e levados à estufa para obtenção da matéria seca das folhas, do caule, das raízes e total e, ainda, a alocação da biomassa nas folhas, no caule e nas raízes. Também

foram calculadas a área foliar, a razão de área foliar e a área foliar específica. O déficit hídrico diminuiu a altura, o número de folhas e o diâmetro do caule das plantas nos tratamentos mais severos. Os efeitos do estresse também foram observados na redução da matéria seca das folhas, do caule, das raízes e total, e na alocação da biomassa para as folhas. A área foliar também apresentou reduções, mas a razão de área foliar e a área foliar específica não diferiram entre os tratamentos. As plantas reirrigadas mostraram recuperação, evidenciada principalmente pela emissão de novas folhas. Desse modo, os autores recomendam que, para máximo crescimento, o nim deve ser cultivado, na fase inicial de desenvolvimento, com 80% da capacidade de vaso.

Leão et al. (2011) cultivaram sorgo em vasos contendo diferentes doses de fósforo (0 mg dm^{-3}, 50 mg dm^{-3}, 100 mg dm^{-3} e 150 mg dm^{-3}), e suspenderam a irrigação 45 dias após a semeadura, até que as plantas enrolassem as folhas. O estresse hídrico reduziu o acúmulo de K na parte aérea das plantas. A adubação fosfatada proporcionou aumento na absorção de N, P, Ca, S, Mn e Fe e redução na absorção de Zn. O fornecimento de P acima de 125 mg dm^{-3} causou redução no acúmulo de macronutrientes nas plantas de sorgo.

Fialho et al. (2010) estudaram a influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de uma lavoura cafeeira, aplicado em diferentes épocas: 30, 60, 90 e 120 dias após o transplantio. Os tratamentos consistiram na submissão das mudas transplantadas a déficits hídricos, com duração fixa de 30 dias, sendo D0 = sem déficit hídrico; D1 = plantas submetidas a déficit hídrico entre o 30º e 60º dia após o transplantio; D2 = plantas submetidas a déficit hídrico entre o 60º e 90º dia após o transplantio; D3 = plantas submetidas a déficit hídrico entre o 90º e 120º dia após o transplantio e; D4 = plantas submetidas a déficit hídrico entre o 120º e 150º dia após o transplantio. Após 180 dias do transplantio, avaliaram-se a massa seca da parte aérea e do sistema radicular, a área foliar, o diâmetro da copa e a altura das plantas. O efeito do déficit hídrico foi especialmente importante nas variáveis estudadas, quando aplicado aos 30, 60 ou 90 dias após o transplantio. Não houve efeitos significativos sobre as variáveis área foliar, diâmetro da copa e altura das plantas, quando o déficit foi aplicado aos 120 dias após o transplantio.

Gonçalves et al. (2010) avaliaram o comportamento, em casa-de-vegetação, de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas a déficit hídrico durante a fase inicial do crescimento vegetativo. Os níveis de água no solo foram

baseados na CAD, ficando assim definidos: controle (manutenção da umidade entre 80 a 100% da CAD), estresse hídrico moderado (40 a 60% da CAD) e estresse hídrico severo (0 a 20% da CAD). A deficiência hídrica provocou reduções significativas na condutância estomática, na transpiração foliar, na fotosíntese líquida e na eficiênca de uso da água de produção, independente da variedade.

Graça et al. (2010) avaliaram parâmetros fisiológicos de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico. Para investigar o processo envolvido na susceptibilidade das plantas de cana-de-açúcar ao déficit hídrico, diferentes parâmetros fisiológicos foram avaliados em cultivares tolerantes (SP83-2847 e CTC15) e sensível (SP86-155) ao déficit hídrico. O déficit hídrico afetou o aparato fotossintético de todas as plantas de forma diferenciada, dentro e entre as cultivares. A taxa fotossintética e a condutância estomática diminuíram significativamente para todas as cultivares submetidas ao déficit hídrico. Nas plantas controle das cultivares tolerantes (SP83-2847 e CTC15), a taxa fotossintética foi maior do que na cultivar sensível (SP86-155). A cultivar CTC15 apresentou o maior teor relativo de água durante o período de déficit hídrico. A eficiência fotossintética da cultivar SP83-2847 foi mais estável nos últimos dias do tratamento experimental, sugerindo que o decréscimo do teor relativo de água estimulou o ajustamento da capacidade fotossintética para tolerar as mudanças da disponibilidade hídrica. De modo geral, as cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC15 apresentaram melhor desempenho fotossintético do que a cultivar sensível SP86-155. Os dados permitem sugerir que tais parâmetros fisiológicos podem ser usados na avaliação e na distinção de genótipos de cana-de-açúcar tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico.

Marinho et al. (2010) avaliaram o efeito das condições de déficit hídrico, importante durante a fase de maturação da uva, sobre a produção e a qualidade da variedade 'Superior Seedless' na Região do Submédio do Vale do São Francisco. Os tratamentos foram: três épocas de alteração da aplicação das lâminas de irrigação (21, 13 e 5 dias antes da colheita); três lâminas de irrigação (100, 50 e 0% da ETc); e um tratamento controle (manejo de irrigação adotado pelo produtor). As épocas de irrigação e as lâminas de irrigação utilizadas influenciaram a firmeza das bagas e a acidez titulável. A interrupção da irrigação aos 13 ou 21 dias antes da colheita resultou em produtividade, qualidade de frutos e eficiência do uso da água semelhantes às obtidas pelo produtor; assim, os autores concluíram que este manejo de irrigação pode ser adotado para economia de água de irrigação.

Silva et al. (2013) observaram as trocas gasosas do girassol quando submetido a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios fenológicos, sendo o experimento conduzido em Pentecoste-CE. Nas parcelas, foram avaliadas as épocas de indução ao déficit hídrico, nos diferentes estádios fenológicos (vegetativo, floração e formação da produção). A cultura foi irrigada com uma lâmina equivalente a 100% da ETo e 50% da ETo. As épocas de avaliação influenciaram a maioria das variáveis analisadas, com exceção da eficiência intrínseca de uso da água. Os resultados da temperatura foliar e das taxas de fotossíntese, de transpiração, assim como a condutância estomática, a concentração interna de CO_2 e as eficiências instantânea e intrínseca do uso da água, não mostraram efeitos em relação ao nível de déficit hídrico avaliado, independentemente da época em que os mesmos foram aplicados. A fotossíntese e a transpiração decresceram com o estádio de desenvolvimento da cultura, causando reduções na eficiência instantânea de uso da água. Portanto, concluiu-se que a cultura pode ser irrigada com 50% da ETo, durante todo o ciclo, sem danos ao processo fotossintético.

Biscaro et al. (2012) avaliaram a produtividade de grãos, os componentes da produção e a quantidade de óleo produzido por duas cultivares de mamona, irrigadas por gotejamento e submetidas a diferentes lâminas de água. O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2009, em um Latossolo Vermelho distroférrico, de textura argilosa, em uma área experimental no município de Dourados-MS. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial, com cinco lâminas de água (0, 25, 50, 100 e 150% da ETc sob irrigação localizada), em duas cultivares de mamona (IAC 2028 e IAC 80), com quatro repetições. O turno de rega foi pré-determinado em duas irrigações semanais, excetuando-se os dias em que ocorreu precipitação pluviométrica. O aumento das lâminas de irrigação proporcionou incremento significativo da maioria dos componentes da produção e da produtividade da cultura, sem, no entanto, alterar o teor de óleo contido nas sementes. A aplicação da maior lâmina de água aumentou em 80% a produtividade em relação ao tratamento que não recebeu irrigação complementar.

Um conceito muito utilizado na avaliação das respostas das plantas ao déficit hídrico é o conceito da fração de água transpirável no solo (FATS). Neste conceito, assume-se que a quantidade de água do solo utilizada pela planta para a transpiração varia de acordo com o conteúdo de água no solo. A FATS em que se

inicia o fechamento estomático (FATS crítica) é um parâmetro que pode ser usado para identificar genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico.

Lago et al. (2012) determinaram a resposta da transpiração e do crescimento foliar ao conteúdo de água disponível no solo, representado pela fração de água transpirável no solo (FATS), em dois clones de batata (um antigo e um recente), adaptados ao Sul do Brasil. Foram realizados três experimentos em um ambiente protegido por abrigo telado em Santa Maria-RS; dois deles na primavera (cultivo de safra), com plantios em 20/08/2008 (E1) e 20/10/2008 (E2), e um experimento no outono (cultivo de safrinha), com plantio em 25/03/2009 (E3). Foram usados dois clones de batata: um antigo ('Macaca') e um recente ('SMINIA793101-3'). A água disponível, representada pela FATS, a transpiração e o crescimento foliar foram medidos diariamente durante o período de imposição da deficiência hídrica. A FATS crítica, que começa a alterar a transpiração, indicativa do início do fechamento estomático, foi de 0,39, 0,47 e 0,28 no clone 'Macaca' e de 0,47, 0,49 e 0,33 no clone 'SMINIA793101-3', para os experimentos E1, E2 e E3, respectivamente. Já o crescimento foliar começou a ser reduzido com um valor de FATS crítica maior para o clone 'Macaca', indicando que o clone 'SMINIA793101-3' é mais tolerante ao déficit hídrico do que o clone 'Macaca'.

Lago et al. (2011) determinaram a transpiração e o crescimento foliar de duas cultivares de mandioca, em resposta ao conteúdo de água disponível no solo, representado pela fração de água transpirável no solo (FATS). Foram realizados dois experimentos, em vasos de 8 L, com as cultivares Fécula Branca e Fepagro RS 13. A água disponível, a transpiração e o crescimento foliar foram medidos diariamente, em cada experimento, durante o período de imposição da deficiência hídrica. A FATS crítica, em que a transpiração começa a ser reduzida, foi de 0,45 para 'Fécula Branca' e 0,50 para 'Fepagro RS 13'. A redução do crescimento foliar começou quando a FATS atingiu 0,51 para 'Fécula Branca' e 0,49 para 'Fepagro RS 13'. Os autores concluíram que a FATS crítica para a transpiração e para o crescimento foliar varia segundo as condições de atmosfera (com baixa ou com alta demanda evaporativa do ar), e conforme a cultivar de mandioca utilizada.

Bortolini et al. (2011) observaram as características morfofisiológicas relacionadas à resposta ao déficit hídrico (manutenção da umidade do solo em 90 e 40% da capacidade de campo) do trevo branco (sete cultivares). O déficit hídrico teve um significante efeito sobre as características altura, área foliar, número de

folhas vivas, comprimento de estolões, produção de massa seca da parte aérea, taxa fotossintética, condutância estomática e eficiência do uso da água. O cultivar 1 foi o mais tolerante ao estresse hídrico, apresentando maior produção de massa seca sob alta disponibilidade hídrica, e uma das maiores produções de massa seca sob déficit hídrico. Os autores concluíram que as características número de folhas vivas e taxa fotossintética poderiam ser usadas para a seleção precoce de plantas de trevo branco para tolerância ao estresse hídrico.

Oliveira et al. (2011) observaram as trocas gasosas em mudas de *Tabebuia aurea* (Paratudo) com cinco meses de idade. O estresse hídrico foi simulado pela supressão da irrigação durante 21 dias. Após 14 dias de supressão de irrigação, os valores de transpiração, de condutância estomática e de fotossíntese líquida das folhas foram nulos, enquanto o potencial hídrico das folhas atingiu a -2,4 MPa. A partir deste ponto, foi reiniciada a irrigação diária, sendo que após 96 horas as taxas voltaram a oscilar na faixa dos valores iniciais (transpiração de 3,2 a 3,5 mmol $m^{-2}s^{-1}$, condutância estomática de 0,32 a 0,35 mol $m^{-2}s^{-1}$ e fotossíntese de 8,0 a 9,8 $\mu molm^{-2}$ s^{-1}). O potencial hídrico voltou a apresentar valores similares ao início do experimento (-0,6 MPa), demonstrando que a espécie possui mecanismos para tolerar o déficit hídrico durante um período que pode ser considerado ecologicamente relevante.

Meira et al. (2013) avaliaram a produção de fitomassa e de óleo essencial da *Melissa officinalis* L. em função de lâminas de irrigação no Norte de Minas Gerais, como medidas para o uso racional da água. Foram utilizados seis tratamentos definidos pelas lâminas de irrigação (T1 = 0,50.ETo; T2 = 0,75.ETo; T3 = 1,0.ETo; T4 = 1,25.ETo; T5 = 1,5.ETo e T6 = 1,75.ETo), e quatro repetições; o estudo foi conduzido em microlisímetros. Com base na análise de regressão, observou-se que o crescimento e a produção de fitomassa foram influenciados pela disponibilidade hídrica. Maiores produções e teores de óleos essenciais foram conseguidos com a menor lâmina; a época de avaliação não influenciou o efeito das lâminas.

Alvarenga et al. (2011) avaliaram o efeito de diferentes períodos de estresse hídrico antes da colheita do alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*), sobre o conteúdo de óleo essencial e de flavonóides. O experimento foi realizado durante 270 dias de cultivo, com lisímetros de drenagem, com cinco tratamentos: 0, 2, 4, 6 e 8 dias de supressão da irrigação antes da colheita, com quatro repetições. Foram determinados a produção de matéria fresca e seca, o teor de óleo essencial, o teor

de flavonóides totais, a tensão e a temperatura das folhas. Observou-se decréscimo de aproximadamente 50% no teor de óleo e de 60% no teor de flavónoides totais, com a diminuição do potencial hídrico foliar em 0,3 MPa. O óleo essencial mostrou-se mais sensível ao estresse hídrico do que os flavonóides totais.

Trentin et al. (2011) avaliaram a variação diurna da transpiração e da temperatura foliar da cana-de-açúcar, cv. RB867515, sob diferentes potenciais matriciais de água no substrato de cultivo e em diferentes condições meteorológicas, em ambiente protegido. O efeito do estresse hídrico na transpiração e na temperatura foliar foi determinado a partir da suspensão da irrigação. Nas suspensões, foram realizadas três campanhas de medições, iniciadas aos 122; 150 e 185 dias após o plantio (DAP), até que o potencial matricial de água no substrato (Ψ) alcançasse -1.500 kPa, aproximadamente. Sob ausência de estresse hídrico (Ψ>-50 kPa), a transpiração das plantas atingiu o valor máximo entre 10 e 13 h, próximo a 60; 70 e 100 g planta^{-1} h^{-1} para 122; 150 e 185 DAP, respectivamente. Sob condições de estresse hídrico severo (Ψ<-1.100 kPa), houve redução na transpiração diária de aproximadamente 73%, comparativamente às medições realizadas sem estresse e sob condições meteorológicas similares. Em condições de ausência de estresse hídrico e de céu nublado, o valor médio da diferença entre a temperatura foliar e a temperatura do ar foi de -2,9 ºC. Em contraste, sob condições de estresse hídrico severo e valores elevados de radiação solar global, a temperatura foliar chegou a ser 6,6 ºC superior à temperatura do ar.

Santos et al. (2011) avaliaram clones de capim-elefante (*Pennisetum* sp.) submetidos a diferentes níveis de tempo de supressão da reposição hídrica. Foram utilizados quatro clones de *Pennisetum* sp. e quatro níveis de estresse hídrico (0, 7; 14 e 21 dias sem irrigação). Os autores estimaram a evapotranspiração, a percentagem e a produção de MS, a EUA a altura média das plantas, o número de perfilhos basais, os sintomas do estresse hídrico nas plantas, o número de plantas rebrotadas e o de perfilhos basais após o estresse. O maior tempo de supressão da reposição hídrica reduziu mais a ETc do que a produção de MS, tendo a EUA atingido valores de 449 e 591 g de água por g de matéria seca, nos tratamentos com 21 dias de déficit hídrico e sem estresse hídrico, respectivamente. Sete dias sem irrigação elevaram o teor de MS de 25,11% para 53,07% e de 29,25% para 46,89%, nos clones Australiano e HV 241, respectivamente, não tendo havido mudanças significativas nos dois outros clones. Dentre os clones avaliados, o Australiano e o

HV 241 apresentaram maior produção de massa seca quando sujeitos ao estresse hídrico moderado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida em uma casa de vegetação (Figura 1) pertencente ao Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, no município de Piracicaba-SP, situado às coordenadas geográficas de 22° 42' de latitude sul e 47° 38' de longitude oeste, com uma altitude de cerca de 540 m. O experimento foi realizado no período de setembro de 2014 a fevereiro de 2015.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, isto é, tropical úmido, com três meses mais secos (junho, julho e agosto), ocorrendo chuvas na primavera e no verão, apresentando inverno seco, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 ºC e do mês mais frio inferior a 18 ^{o}C.

A casa de vegetação era provida de cobertura em arco, com 6,4 m de largura, 3 m de pé direito e 22,5 m de comprimento. As paredes laterais e frontais foram confeccionadas com telas anti-afídeos e o rodapé com concreto armado, com 0,30 m de altura. A cobertura da estrutura foi constituída de manta de polietileno de baixa densidade, transparente, com 0,15 mm de espessura, tratada contra a ação de raios ultravioletas.

Figura 1 - Casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, utilizada no experimento

3.2 Caracterização do material de solo utilizado

Foram utilizadas duas classes de solo de texturas distintas, encontradas no campus da ESALQ/USP, sendo ambos os materiais utilizados coletados da camada 0-30 cm. Os perfis destes solos foram classificados como Latossolo Vermelho

Amarelo (Série “Sertãozinho”) de textura franco-arenosa, e Nitossolo Vermelho (Série “Luiz de Queiroz”) de textura franco-argilosa.

Após a coleta, os materiais de solo foram secos ao ar e peneirados em malha de 10 mm. Em seguida, amostras foram retiradas e enviadas ao Laboratório de Análise de Solos pertencente ao Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, sendo caracterizadas física e quimicamente, conforme Embrapa 1997. Os resultados das análises encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Resultados da análise química dos dois solos utilizados no experimento

Solo	pH $CaCl_2$	P mg dm^{-3}	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V %
			----------mmolc dm^{-3}----------						
Latossolo	5,7	30	4,2	29	11	20	44,2	64,2	69
Nitossolo	5,4	4	2,8	20	7	28	29,8	57,8	52

Tabela 2 - Resultados da caracterização física dos dois solos utilizados no experimento

Solo	----------%---------- Argila	Silte	Areia	Classe Textural	Massa específica -----Mg m^{-3}-----
Latossolo	19,9	9,1	71,0	Franco-arenoso	1,42
Nitossolo	59,5	11,2	29,3	Franco-argiloso	1,12

De acordo com (RAIJ et al., 1996) os resultados da a análise química (Tabela 1) apontaram que o Latossolo possuiu fertilidade adequada para o estabelecimento do capim-mombaça, caracterizada pelo elevado teor de fósforo, elevada saturação de bases e faixa de pH adequada. O Nitossolo apresentou baixo teor de fósforo e baixa saturação de bases, sendo necessário realizar fosfatagem e calagem do solo.

As curvas de retenção de água no solo (Figura 2) foram obtidas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, utilizando-se dos métodos da Mesa de Tensão e da Câmara de Richards (1965). Para isso, um vaso de cada classe de solo foi colocado em uma caixa, contendo água ao nível de 2/3 da altura do vaso, para ascensão da água via capilaridade, até a saturação completa. Após a saturação, foram retirados três anéis de Kopeck de cada vaso, os quais foram enviados ao referido laboratório para aplicação das tensões.

(a) (b)

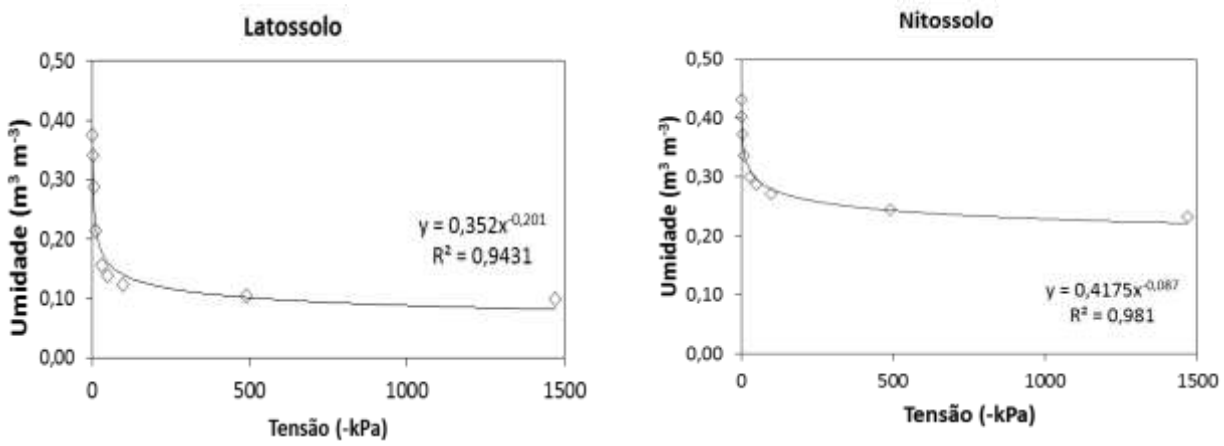

Figura 2 - Curvas de retenção de água do Latossolo (a) e do Nitossolo (b), utilizadas no experimento

Conforme verifica-se na Figura 2, e assumindo uma tensão de -10 kPa para a capacidade de campo e de -1500 kPa para o ponto de murcha permanente, o Latossolo apresentou umidade volumétrica na capacidade de campo (Ɵcc) de 21% e no ponto de murcha permanente (Ɵpmp) de 10%, resultando em uma capacidade de água disponível do solo (CAD) de 11%. O Nitossolo apresentou Ɵcc de 34% e Ɵpmp de 23%, o que resultou em uma CAD de também 11%, embora em uma faixa de umidade mais elevada.

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Aplicaram-se quatro tratamentos correspondentes a quatro níveis de depleção da água disponível dos solos (60, 45, 30 e 15% da CAD). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos aleatorizados com quatro repetições. Os vasos de 14,7 L (dimensões 0,28 x 0,30 x 0,24 m), foram espaçados de 0,50 m. Na Figura 3 é ilustrada a disposição dos tratamentos impostos.

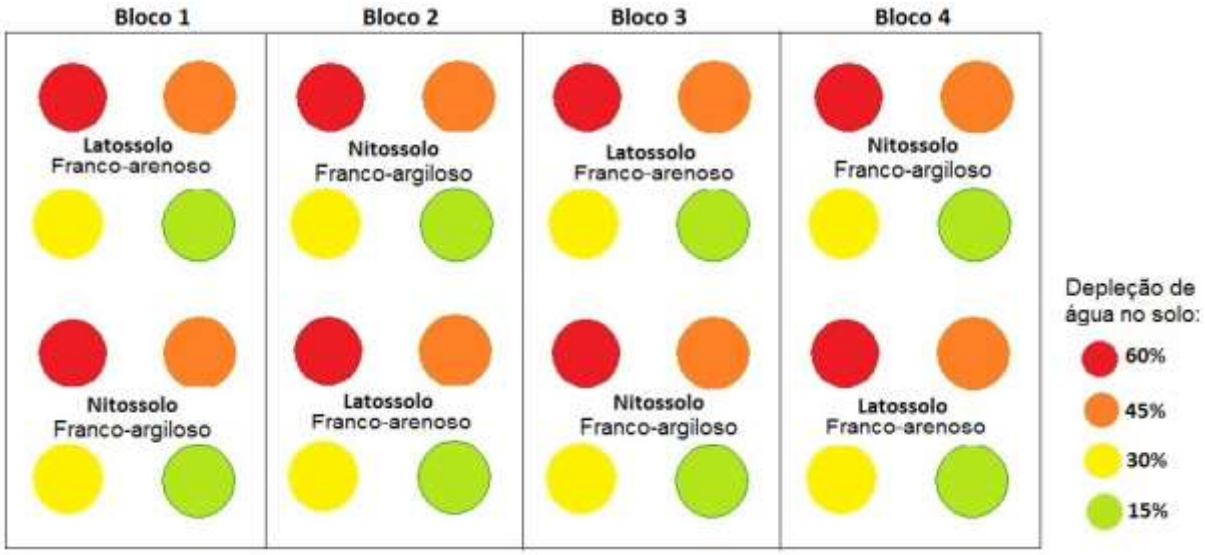

Figura 3 - Croqui da área experimental, no qual se representa os quatro blocos e os níveis de depleção aplicados às duas classes de solo

3.4 Implantação do experimento, adubação, condução e irrigação dos vasos

Antes do preenchimento com o solo, os vasos de 14,7 L receberam uma camada de 3 cm de brita n° 1, que foi coberta por manta geotêxtil (Bidim® OP 30), para se evitar a perda do solo e facilitar a eventual drenagem do mesmo. Padronizou-se a massa de solo adicionada aos vasos, sendo de 16 kg com Nitossolo e de 17 kg com Latossolo.

De acordo com a recomendação de adubação e calagem para cultura (RAIJ et al., 1996), e segundo os resultados da análise química dos solos presentes na Tabela 1, apenas o Nitossolo recebeu 15 g por vaso de calcário dolomítico PRNT 100%, para elevação da saturação de bases a 70%. Em seguida, irrigaram-se os vasos, mantendo a umidade próxima da capacidade de campo por 15 dias, para ocorrer a reação do calcário. Não foi necessário realizar calagem no Latossolo.

Em 10/09/2014 foi realizada a adubação de fundação e a semeadura com 3 g de sementes por vaso, incorporadas a 2 cm de profundidade. Como adubação de fundação, aplicou-se ao Nitossolo 10 g de superfosfato simples como fonte de fósforo, não sendo necessário aplicá-lo ao Latossolo.

A emergência média ocorreu em 19/09/2014; quinze dias após a emergência, foi realizado um desbaste, deixando-se duas plantas por vaso. Neste

momento, realizou-se adubação com 5 g de uréia e 5 g de cloreto de potássio em todos os vasos, de ambos os solos.

Os vasos foram mantidos, por meio de irrigações diárias, com umidade próxima à capacidade de campo por 30 dias. Após os 30 dias realizou-se um corte para a padronização das plantas (Figura 4) e deu-se início aos tratamentos relativos ao momento da irrigação.

Figura 4 - Corte de nivelamento do capim-mombaça, realizado para o início dos tratamentos de irrigação

A irrigação foi realizada manualmente com o uso de provetas. Quatro vasos de cada classe de solo (um bloco) eram pesados diariamente em balança de 30 kg de capacidade máxima, com incerteza de 10 g; a quantidade de água a ser adicionada era aquela suficiente para elevar o solo de volta à capacidade de campo.

Considerando-se a profundidade do vaso de 0,30 m, a área da superfície do vaso de 0,07 m^2 e a capacidade de água disponível dos solos de 0,11cm^3 cm^{-3}, calcularam-se as lâminas e os volumes que cada tratamento deveria propiciar no momento da irrigação. Os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Lâminas e volumes de água aplicados nos vasos, de acordo com os níveis de depleção propostos

Níveis de Depleção	**Ɵcad (cm^3 cm^{-3})**	**Lâmina (mm)**	**Volume (L/vaso)**
0,15	0,11	4,95	0,35
0,30	0,11	9,90	0,70
0,45	0,11	14,85	1,05
0,60	0,11	19,80	1,40

No centro do ambiente protegido foi instalado um sensor tipo “Vaisala (HMP45C-L12) Campbell Scientific” para obter os dados de temperatura e de

umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação. As leituras eram registradas em um datalogger, em intervalos de 30 minutos.

3.5 Medidas realizadas para avaliação dos efeitos dos tratamentos impostos

3.5.1 Turnos de rega e lâmina total de irrigação aplicada

Os turnos de rega foram obtidos pela contagem do intervalo em dias entre duas irrigações consecutivas. Calculou-se a lâmina total aplicada por tratamento, conforme o número de irrigações realizadas.

3.5.2 Número de cortes e suas datas

Em 10/09/2014 realizou-se a semeadura do capim-mombaça; considerou-se que a emergência média ocorreu em 19/09/2014. Quinze dias após a emergência foi realizado um desbaste deixando-se duas plantas por vaso, e quarenta e cinco dias após a emergência foi feito um corte de nivelamento; a partir deste dia começaram a ser aplicados os tratamentos e o monitoramento da umidade do solo. O primeiro corte foi realizado em 15/12/2014, o segundo corte em 15/01/2015 e o terceiro em 27/02/2015, perfazendo períodos de desenvolvimento de 26, 30 e 42 dias, respectivamente.

3.5.3 Altura das plantas

Foi medida com uma trena métrica, sendo correspondente à distância da superfície do solo até a extremidade superior das folhas, no momento do corte.

3.5.4 Fitomassas fresca e seca da parte aérea

As plantas, após o corte, eram colocadas em sacos de papel e pesadas em balança analítica com incerteza de 0,01 g. Os sacos de papel contendo as plantas eram levados à estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 ^{o}C ± 1 ^{o}C,

permanecendo nesta temperatura até apresentarem massa constante, determinando-se posteriormente esta massa em balança analítica.

3.5.5 Área foliar das plantas

As folhas de uma planta de cada repetição, para cada classe de solo, foram medidas em um medidor de área foliar de mesa (“LICOR AREA METER”), modelo LI-3100C, obtendo-se a área foliar total da planta. Neste mesmo material foi realizada a medição da massa fresca de cada folha. Partindo-se do princípio de que há uma correlação linear entre a massa e a área, calculou-se a área foliar a partir das pesagens da massa fresca.

3.5.6 Produtividade da água

A produtividade da água foi determinada por meio da razão entre a fitomassa seca da parte aérea (MSPA) produzida em cada corte, e a quantidade de água utilizada nos respectivos períodos, seguindo as orientações de Pieterse et al. (1997), tal como é expressa na equação (2):

$$\mathrm{PDA} = \frac{\mathrm{MSPA}}{\mathrm{L}} \qquad (2)$$

Em que:

PDA – Produtividade da água, kg MSPA m^{-3};

MSPA – Massa seca da parte aérea produzida no período, kg MSPA $vaso^{-1}$; e

L – Quantidade de água utilizada no período de produção, m^3 $vaso^{-1}$.

3.5.7 Trocas gasosas

Os valores de taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), de condutância estomática (gs) e de transpiração foliar (E), foram medidos entre 8 e 11 horas da manhã na data de 27/02/2015, na porção mediana da segunda folha mais jovem expandida em todos os vasos, utilizando-se de um analisador portátil de gás a infravermelho IRGA (ADC, modelo LCi, Hoddesdon, UK).

A eficiência no uso da água foi obtida pela razão entre a taxa de assimilação líquida de CO_2 e a transpiração foliar (A/E).

3.5.8 Análise estatística

Os fatores quantitativos, relativos aos níveis de depleção, avaliados por dados de altura, fitomassas fresca e seca, área foliar, fotossíntese, condutância estomática, transpiração foliar e eficiência no uso da água, foram submetidos à análise de variância (Teste “F”). Quando siginificativos fez-se a análise de regressão linear e polinomial, sendo utilizado o programa estatístico ASSISTAT, versão 7.6 beta (SILVA e AZEVEDO, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis climáticas ao longo do experimento

No interior da casa de vegetação, a temperatura máxima registrada foi de 48,6 ^{o}C aos 23 dias após a emergência (DAE) das plantas, e a temperatura mínima foi de 9,8 ^{o}C por volta dos 10 DAE; esta última é considerada crítica ao desenvolvimento da espécie forrageira estudada, mas como foi de curta duração, possivelmente não prejudicou o crescimento. As médias das umidades relativas máxima e mínima foram, respectivamente, de 91,3 e 38,8% (Figura 5).

Externamente, a temperatura máxima registrada foi de 38,6 ^{o}C e a mínima de 10,4 ^{o}C. A umidade relativa média máxima foi de 99,9% e a mínima de 50,8% (Figura 6).

Durante a condução do experimento, foram registrados vários dias consecutivos de temperaturas altas, devido ao longo período de estiagem que acometeu a região do Estado de São Paulo. Isto pode ter implicado em uma maior frequência de irrigação, devido a maior evapotranspiração.

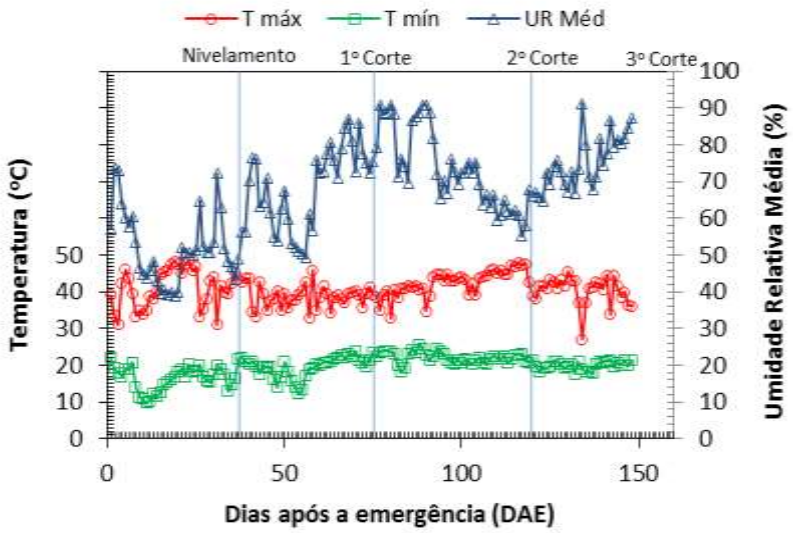

Figura 5 - Variáveis climáticas no interior da casa de vegetação, englobando o período da emergência ao 3º corte do capim-mombaça

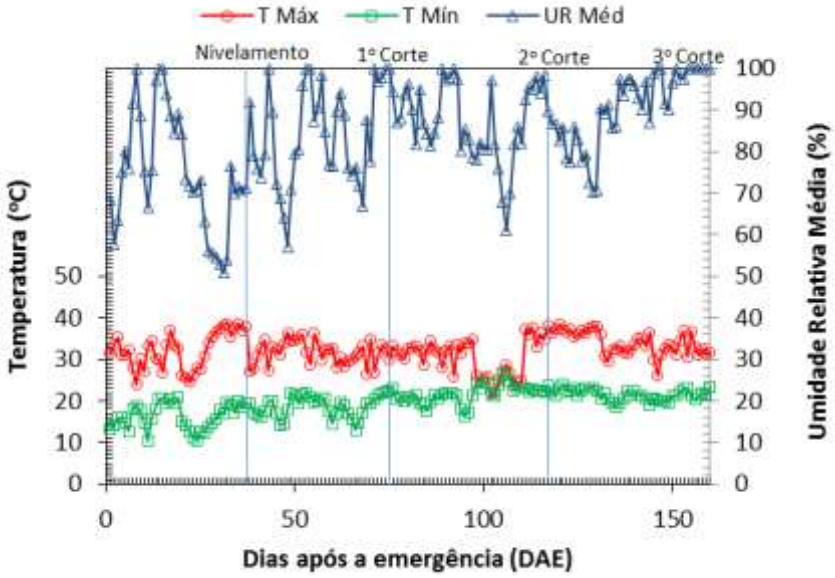

Figura 6 - Variáveis climáticas externas à casa de vegetação, englobando o período da emergência ao 3º corte do capim-mombaça

Com base nas Normais Climatológicas (1961-1990), fornecidas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para a região de Piracicaba-SP, as temperaturas máximas médias para os meses de setembro a fevereiro situam-se em torno de 28,5 ^{o}C e umidade relativa média em 65,5%.

Para o período desse estudo, a média das temperaturas máximas foi de 32,1 ^{o}C, com o recorde de 38,6 ^{o}C ocorrido em outubro. Esse valor superou a máxima absoluta de 35,5 ^{o}C, registrada em janeiro de 1971. A condição do experimento, portanto, ocorreu durante um período atípico para a região, composto por elevadas temperaturas e valores de umidade relativa abaixo das Normais Climatológicas.

4.2 Manejo da irrigação

4.2.1 Turno de rega por tratamento

Os turnos de rega são apresentados na Tabela 4. Conforme verifica-se nesta Tabela, os valores dos turnos de rega no terceiro período foram, em sua maioria, menores que no primeiro período. Isto pode ser devido às elevadas temperaturas registradas no interior da casa de vegetação (Figura 5), e a um maior

desenvolvimento das plantas, em virtude de ter sido um período mais longo entre os cortes.

Tabela 4 - Valores de turno de rega (TR) para ambos os solos

Solo/Depleção (%)	Corte 1	Corte 2	Corte 3	TR Moda (dias)
Latossolo-60	8,67	15,50	12,00	12
Latossolo-45	3,25	1,63	1,63	2
Latossolo-30	1,45	1,47	1,16	1
Latossolo-15	1,45	1,04	1,10	1
Nitossolo-60	26,00	5,17	4,00	11
Nitossolo-45	6,50	1,55	1,41	3
Nitossolo-30	4,34	1,55	1,24	2
Nitossolo-15	1,45	1,55	1,10	1

4.2.2 Lâmina total aplicada por tratamento

Na Tabela 5 são apresentadas as lâminas totais aplicadas nos tratamentos, para ambos os solos, nos três períodos de desenvolvimento.

Tabela 5 - Lâminas (mm) aplicadas para ambos os solos

Solo/Depleção (%)	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Lâmina Total (mm)
Latossolo-60	59,40	39,60	59,40	158,40
Latossolo-45	118,80	282,15	326,70	727,65
Latossolo-30	178,20	207,90	306,90	693,00
Latossolo-15	89,10	148,50	163,35	400,95
Nitossolo-60	19,80	118,80	178,20	316,80
Nitossolo-45	59,40	297,00	326,70	683,10
Nitossolo-30	59,40	198,00	287,10	544,50
Nitossolo-15	89,10	99,00	163,35	351,45

Para ambos os solos, a lâmina total aplicada apresentou um comportamento quadrático, ou seja, aumentou da depleção de 15% até a de 45%, e diminuiu de 45% até 60%. Este comportamento se assemelha com os resultados obtidos de massa fresca, os quais serão discutidos em item posterior.

No terceiro corte, para o Latossolo, a lâmina máxima calculada foi de 344,5 mm, equivalente à depleção 35,37% de água no solo; já no Nitossolo, a lâmina máxima calculada foi de 324,2 mm para a depleção de 38,43%. Considerando-se o

ciclo desse período equivalente a 42 dias, a evapotranspiração média ocorrida é de 8,20 mm d^{-1} e 7,72 mm d^{-1}, respectivamente, para o Latossolo e para o Nitossolo.

Dessa forma, conforme Allen et al. (1998), o nível ideal de depleção sugerido para as referidas evapotranspirações (Equação 1) seria de 0,47 e 0,49, respectivamente, para o Latossolo e o Nitossolo. Considerando-se que as máximas produções de massa fresca e seca foram obtidas para "f" próximo de 0,30 e que acima deste houve queda na produção, pode-se concluir que o capim-mombaça apresentou-se sensível ao déficit hídrico, quando comparado com o padrão médio das forrageiras.

4.3 Medidas de trocas gasosas

4.3.1 Taxa de assimilação líquida de CO_2, condutância estomática, transpiração foliar e eficiência no uso da água das plantas cultivadas no Latossolo

O resumo da análise de variância para a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), a condutância estomática (gs), a transpiração foliar (E) e a eficiência no uso da água (A/E) é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise de variância para as variáveis fisiológicas estudadas no Latossolo

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		A	gs	E	A/E
Regressão Linear	1	86,39**	0,00015**	0,638**	4236,09**
Regressão Quadrática	1	$5,36^{ns}$	0,00017**	0,232**	1190,39**
Tratamentos	3	468,10	0,00044	0,3510	1813,77
Blocos	6	$2,44^{ns}$	$0,00000^{ns}$	$0,00461^{ns}$	$2,27^{ns}$
Resíduo	18	1,38	0,00000	0,00355	4,25
C.V. (%)		7,47	9,14	8,96	7,33

** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)
^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)

As medidas realizadas de taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (gs), transpiração foliar (E) e eficiência no uso da água (A/E), para os quatro níveis de depleção de água no Latossolo encontram-se representadas na Figura 7.

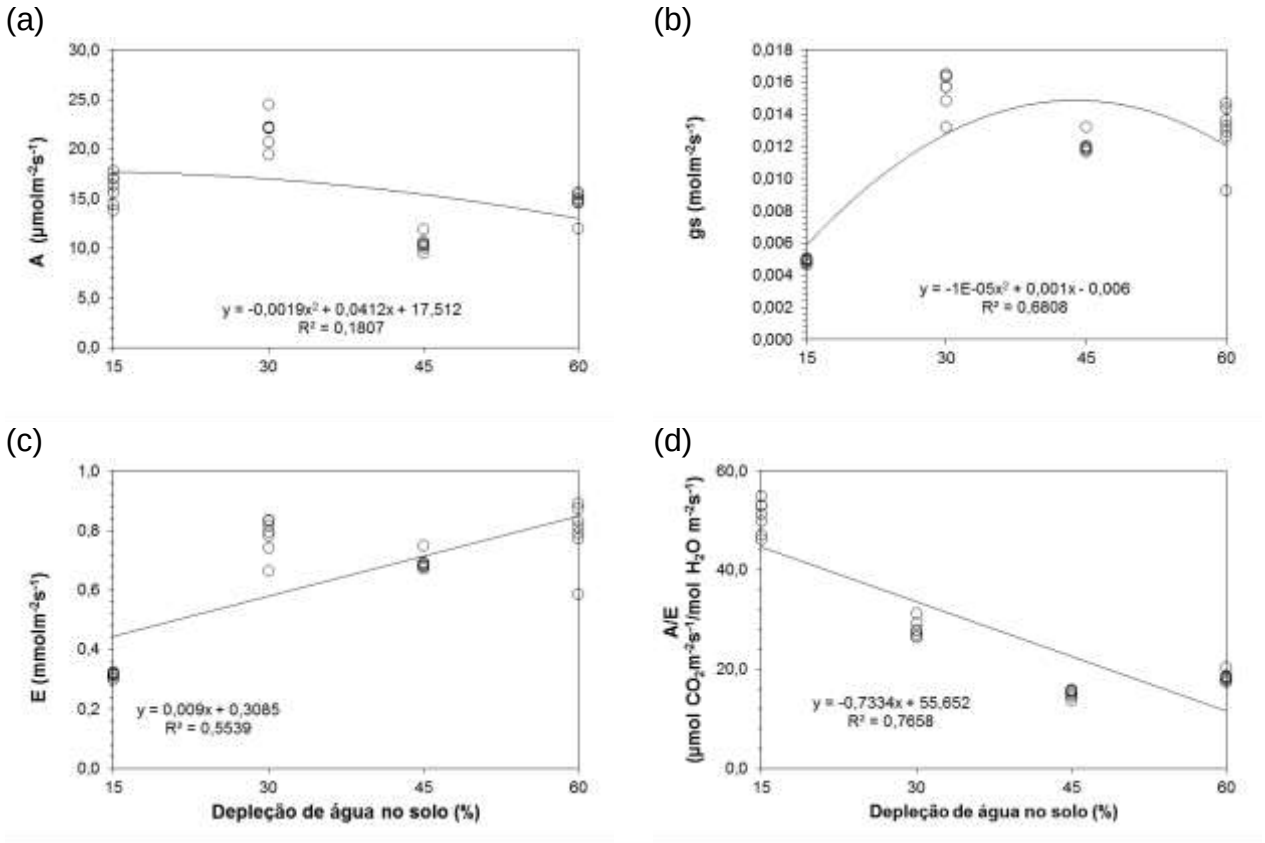

Figura 7 - Taxa de assimilação líquida de CO_2 (a), condutância estomática (b), transpiração foliar (c) e eficiência no uso da água (d) em função do nível de depleção de água no solo, para o capim-mombaça cultivado no Latossolo

Conforme observado na Figura 7, houve decréscimo da taxa de assimilação líquida de CO_2 e da eficiência do uso da água com o aumento do nível de depleção. Por outro lado, houve um comportamento atípico de acréscimo da transpiração foliar e da condutância estomática quando ocorreu incremento no déficit hídrico.

A redução da transpiração em consequência do fechamento estomático (redução da condutância estomática) é uma das primeiras respostas fisiológicas no sentido de reduzir o uso de água pelas plantas sob deficiência hídrica (LARCHER 2004; TAIZ e ZEIGER, 2009). Este comportamento não foi observado neste estudo, o que pode indicar uma aclimatação fisiológica em resposta ao estresse hídrico sofrido, no qual as plantas elevaram a transpiração para manter a temperatura foliar em um patamar adequado, com a finalidade de se evitar colapso do aparato fotossintético.

Em mudas de eucalipto, Tatagiba et al. (2008) constataram que o déficit hídrico promoveu redução nos valores de A, gs, E e de A/E. Roza (2010) observou

que a diminuição da umidade do solo em plantas de pinhão-manso causou decréscimo em A, E e de A/E, sendo que estas acompanharam os decréscimos na condutância estomática.

A deficiência hídrica afeta diversos processos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos das plantas, notadamente por aumentar a resistência difusiva ao vapor de água, mediante ao fechamento estomático, o que reduz a transpiração e o suprimento de dióxido de carbono para o processo fotossintético, causando diminuição do crescimento celular e aumento da fotorrespiração (SHINOZAKI e YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2007).

De acordo com Larcher (2004), os estômatos atuam como moduladores da perda de água pela transpiração, respondendo ao déficit hídrico com a alteração da abertura do poro, a uma faixa crítica de valores do potencial hídrico foliar.

Nascimento et al. (2011) cultivaram feijão-caupi em Argissolo Amarelo, de textura franco-arenosa, submetendo-o ao déficit hídrico ao aplicar aproximadamente a metade da lâmina de irrigação requerida pelas plantas. Estes autores observaram uma redução de 72% na condutância estomática.

Oliveira et al. (2005) concluíram que, em plantas de feijão, o déficit hídrico diminuiu a condutância estomática e aumentou a resistência difusiva ao vapor de água, mediante ao fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, em consequência, a taxa fotossintética, devido ao menor suprimento de CO_2 para a fotossíntese, corroborando os resultados de Shinozaki e Yamaguchi-Shinozaki (2007).

4.3.2 Taxa de assimilação líquida de CO_2, condutância estomática, transpiração foliar e eficiência no uso da água das plantas cultivadas no Nitossolo

O resumo da análise de variância para a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), a condutância estomática (gs), a transpiração foliar (E) e a eficiência no uso da água (A/E) encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Análise de variância para as variáveis fisiológicas estudadas no Nitossolo

		Quadrado Médio			
F.V.	**G.L.**	**A**	**gs**	**E**	**A/E**
Regressão Linear	1	581,65**	0,00089**	3,23343**	812,26205**
Regressão Quadrática	1	201,91**	0,00001*	0,05177**	845,03094**
Tratamentos	3	261,54	0,00031	1,109	591,99295
Blocos	6	$0,28^{ns}$	$0,00000^{ns}$	$0,007^{ns}$	$1,549^{ns}$
Resíduo	18	0,46	0,00000	0,00324	1,25700
C.V. (%)		5,69	8,60	8,37	5,58

** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)
* significativo em nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)
^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)

As medidas realizadas de A, gs, E e de A/E, encontram-se representadas na Figura 8.

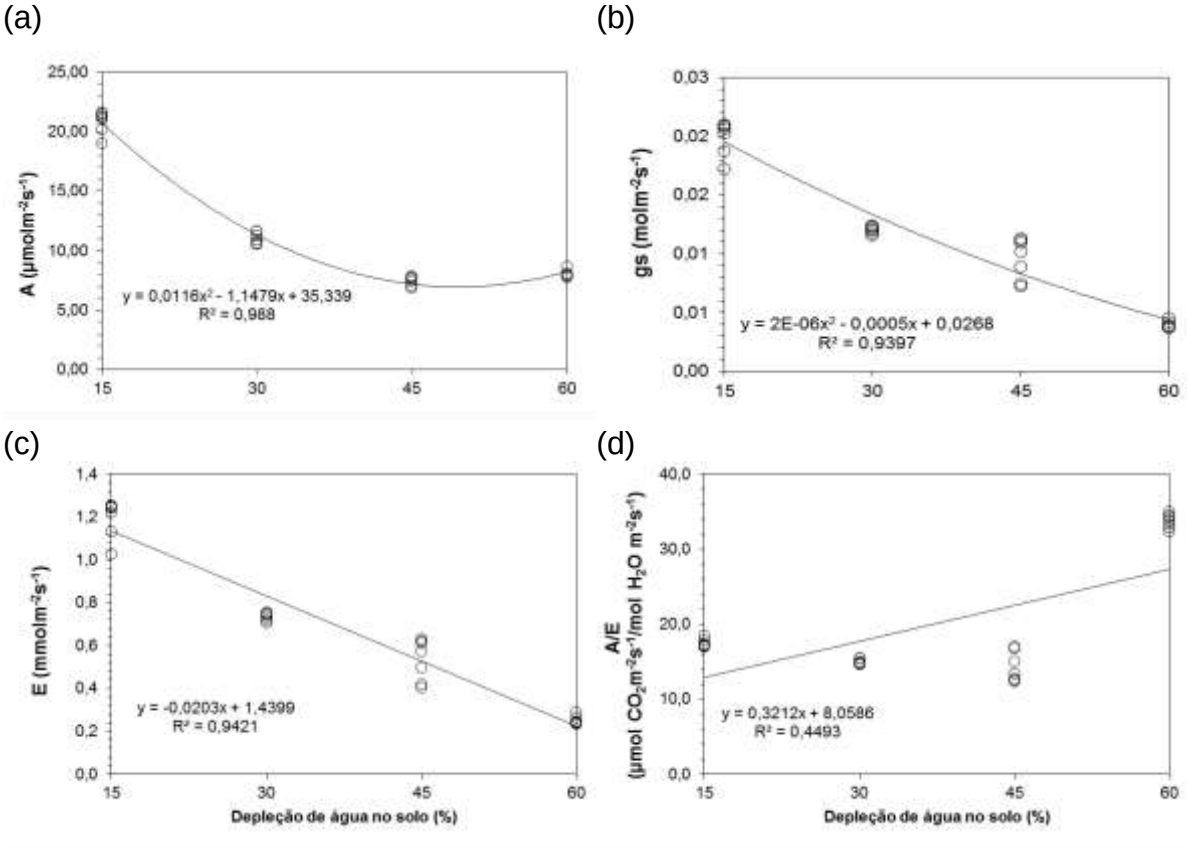

Figura 8 - Taxa de assimilação líquida de CO_2 (a), condutância estomática (b), transpiração foliar (c) e eficiência no uso da água (d), em função dos níveis de depleção de água no solo, para o capim-mombaça cultivado no Nitossolo

Observou-se redução na taxa de assimilação líquida de CO_2, na transpiração foliar e na condutância estomática do capim-mombaça, à medida que houve diminuição da disponibilidade de água no solo (Figura 8). Resultado semelhante foi observado por Araújo et al. (2010), que analisaram três genótipos de capim-elefante em regime irrigado e não irrigado. O estresse hídrico causa o fechamento estomático, o que reduz a perda de água pela planta (CHAVES, 1991; LAWLOR, 1995). Como consequência, a difusão do CO_2 no mesófilo foliar é restringida (FARQUHAR e SHARKEY, 1982). Segundo Cornic (2000), a diminuição da concentração interna desse gás no sítio de carboxilação da enzima rubisco resulta na limitação da fotossíntese (Figura 8a).

Para a depleção de 15% de água no solo, A foi de 20,48 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, enquanto para o nível de depleção de 60% de água no solo A foi de 8,43 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, sendo que neste nível as plantas apresentaram murcha das folhas.

A eficiência no uso da água (Figura 8d) variou entre 17,02 µmol CO_2.mmol H_2O^{-1} para as plantas menos estressadas, e 34,99 µmol CO_2.mmol H_2O^{-1} para as plantas mais estressadas, indicando uma aclimatação fisiológica do capim em condição de estresse hídrico. Scalon et al. (2011) avaliaram o crescimento inicial das mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia*) sob diferentes regimes hídricos: irrigação aos 100%, 50%, 25% e 12,5% da capacidade de campo. A condutância estomática, a fotossíntese e a transpiração foram menores sob 12,5% da CC; porém, a eficiência no uso da água não variou entre as diferentes condições.

Na natureza, a eficiência no uso da água é influenciada pelas condições climáticas. Geralmente, a eficiência no uso da água alcança os maiores valores durante as primeiras horas do período da manhã, quando o ar contém grande quantidade relativa de vapor d'água e há radiação suficiente para se atingir a capacidade fotossintética máxima. Nas horas seguintes, a eficiência no uso da água declina, quando a folha é fortemente aquecida, a umidade relativa do ar diminui e as correntes turbulentas do ar promovem a evaporação (LARCHER, 2004).

Lopes (2010) obteve os valores de 5,29 a 6,50 µmol CO_2.mmol H_2O^{-1} para eficiência no uso da água do capim-massaí adubado com doses crescentes de nitrogênio.

Gonçalves et al. (2010) avaliaram o comportamento de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico durante a fase inicial de crescimento, sendo os tratamentos denominados: controle (80 a 100% da CAD), estresse hídrico

moderado (40 a 60% da CAD) e estresse hídrico severo (0 a 20% da CAD). A deficiência hídrica provocou reduções significativas na condutância estomática (gs), na transpiração foliar (E), na fotosíntese líquida (A) e na eficiênca de uso da água de produção (EUAp), independente da variedade. Resultados experimentais mostram que, sob estresse, uma das primeiras respostas das plantas pode ser o fechamento estomático, como forma de minimizar a perda de água (LARCHER, 2004; TAIZ e ZEIGER, 2009).

A tendência de redução nas taxas transpiratórias coincidiu com as reduções observadas na condutância estomática. Esta relação direta entre a transpiração e a condutância estomática é esperada, tendo em vista a diminuição do fluxo de vapor d'água para a atmosfera e, consequentemente, da transpiração, à medida que se fecham os estômatos.

4.4 Desenvolvimento e produção da cultura

4.4.1 Altura média das plantas

A análise de variância para a altura média das plantas, nos três cortes, é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise de variância da altura média (cm) do capim-mombaça submetido a diferentes níveis de depleção de água no solo, para os três cortes da parte aérea, em ambos os solos

		Q.M. - Latossolo			Q.M. - Nitossolo		
F.V.	**G.L.**	**Altura 1**	**Altura 2**	**Altura 3**	**Altura 1**	**Altura 2**	**Altura 3**
Regressão Linear	1	720*	4590,45**	5362,81**	877,81**	1496,45^{ns}	1930,61^{ns}
Regressão Quadrática	1	56,25^{ns}	3080,25*	4064,06*	126,56^{ns}	6561,01*	4533,56^{ns}
Tratamentos	3	262,500	3230,25	3480,723	372,395	2950,416	2210,062
Blocos	3	50,000^{ns}	294,416^{ns}	476,562^{ns}	80,729^{ns}	583,416^{ns}	223,395^{ns}
Resíduo	9	90,277	412,194	448,784	71,006	714,916	1638,673
C.V. (%)		11,52	27,58	26,79	10,92	42,19	54,84

** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo em nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)

Na Figura 9 é ilustrada a variação da altura média das plantas, para os três cortes realizados, em função dos níveis de depleção de água no solo.

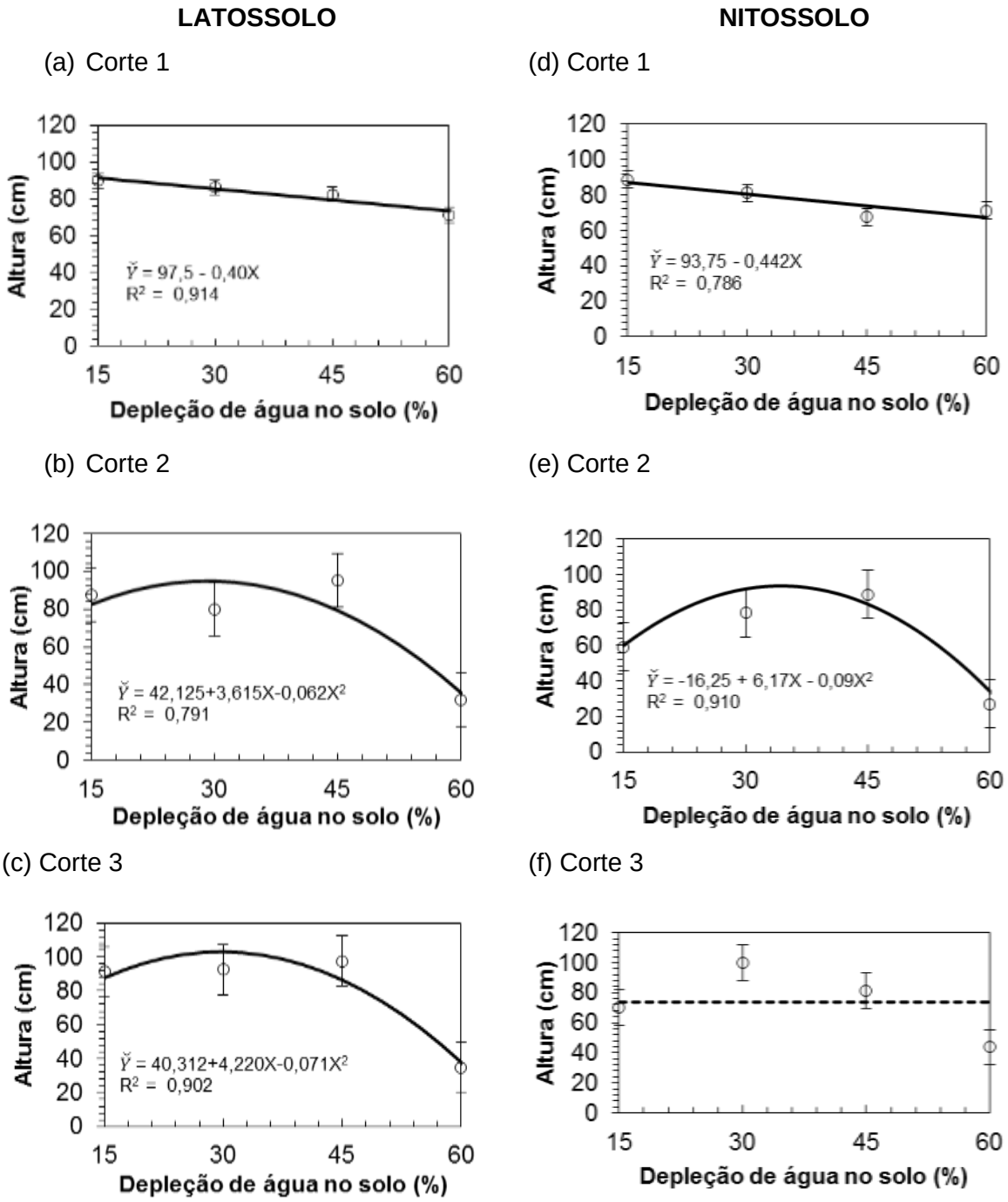

Figura 9 - Altura média (cm) do capim-mombaça em função da depleção de água no solo: (a) corte 1, (b) corte 2 e (c) corte 3 para o Latossolo; (d) corte 1, (e) corte 2 e (f) corte 3 para o Nitossolo

A redução do crescimento e, consequentemente, da altura da planta é apontada como um dos principais sintomas do estresse hídrico (RITCHIE, 1975). Este comportamento foi observado por Aguilar Chavarria (1985) em sete cultivares de capim-elefante; por Machado et al. (1983) em *Andropogon gayanus, Cenchrus*

ciliaris e *Brachiaria humidicola*; e por Dias Filho et al. (1989) em *Panicum maximum* cv. Tobiatã.

Para o primeiro corte (Figura 9a e 9d), observa-se um comportamento linear de diminuição da altura das plantas cultivadas no Latossolo e no Nitossolo, em função do aumento do estresse hídrico. Este mesmo comportamento foi observado por Holanda et al. (2014), em cana-de-açúcar, no estágio inicial de desenvolvimento. O valor máximo da altura foi de 91,5 cm, correspondente a depleção de 15%, e o valor mínimo de foi de 73,5 cm, correspondente a depleção de 60% no Latossolo. No Nitossolo os valores máximo e mínimo da altura foram de 87,1 e 67,2 cm, para as depleções de 15 e 60%, respectivamente.

Para o segundo corte, ambos os solos (Figura 9) proporcionaram um comportamento quadrático de variação da altura das plantas com o acréscimo de estresse hídrico. No Latossolo, a altura máxima calculada foi de 94,8 cm para o nível de 29,1% de depleção de água no solo, decrescendo em 36,0% para a depleção de 60%. No Nitossolo, a altura das plantas apresentou valor máximo calculado de 93,6 cm para o nível de 34,2% de depleção, reduzindo-se em 29,0% para o nível de 60% de depleção de água no solo.

No terceiro corte, a altura máxima média das plantas cultivadas no Latossolo (Figura 9c) foi de 104 cm para o nível de 29,7% de depleção de água no solo, decrescendo 36% para o nível de 60% de depleção de água no solo. No Nitossolo (Figura 9(e)) a variável altura não apresentou significância, possivelmente devido ao alto valor do coeficiente de variação calculado (48,56%), sendo a média obtida de 74 cm.

Ao estudar a altura das plantas de pinhão-manso, em função da lâmina de reposição da ETc (frações de 0,25; 0,50; 0,75, 1,0 e 1,25 da evapotranspiração da cultura), Silva et al. (2011) observaram que o aumento do suprimento hídrico ocasionou um maior crescimento na altura das plantas; a melhor resposta da altura das plantas de pinhão-manso ocorreu nos tratamentos de maior nível de reposição da ETc, indicando que o pinhão-manso é uma cultura sensível ao estresse hídrico.

Holanda et al. (2014) submeteram mudas de quatro cultivares de cana-de-açúcar a tratamentos com estresse hídrico (irrigação à umidade de 50% da capacidade de campo) e sem estresse hídrico (umidade mantida próxima da capacidade de campo). Concluíram que, para a variável altura da planta, em todas

as avaliações, houve redução siginificativa na altura, sendo a diferença máxima de 30% entre os tratamentos com e sem estresse.

A expansão da célula, processo diretamente ligado ao crescimento da planta, é um dos mais sensíveis ao déficit hídrico (PÁEZ et al., 1995). Para Taiz e Zeiger (2009) vários processos fisiológicos das plantas são afetados pelo déficit hídrico e, como o crescimento das plantas é controlado pela divisão celular, seguido de sua expansão, uma quantidade de água insuficiente tende a manter as células das zonas de crescimento em condições de flacidez. Isto reduz o coeficiente de divisão celular e a expansão de todas as células, impedindo, deste modo, o crescimento vegetativo das plantas.

4.4.2 Massa fresca da parte aérea

A análise de variância para a massa fresca das plantas, nos três cortes, é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise de variância para a massa fresca (MF) do capim-mombaça para ambos os solos estudados

		Q.M. - Latossolo			Q.M. - Nitossolo		
F.V.	**G.L.**	**MF 1**	**MF 2**	**MF 3**	**MF 1**	**MF 2**	**MF 3**
Regressão Linear	1	10632,96**	14713,15**	70961,57**	5426,86*	8368,95^{ns}	23701^{ns}
Regressão Quadrática	1	7813,67**	15156,07**	146124,61**	1398,38^{ns}	5719,14^{ns}	129220**
Tratamentos	3	6280,304	10225,09	73322,10	2563,5	5823,04	18659,26
Blocos	3	1375,33^{ns}	58,55^{ns}	2635,32^{ns}	873,48^{ns}	1160,72^{ns}	4475,46^{ns}
Resíduo	9	563,55	341,29	2195,76	742,68	1654,56	3573,01
C.V. (%)		27,17	21,98	26,79	62,82	62,59	42,32

** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo em nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)

Observa-se na Tabela 9 que os coeficientes de variação para a MF das plantas cultivadas no Nitossolo foram maiores que das plantas cultivadas no Latossolo. Este fato possivelmente foi devido à morte de duas plantas cultivadas sob o nível de depleção de 60% e uma planta cultivada sob 15% de depleção de água no solo.

Os resultados da massa fresca da parte aérea para os três cortes, nos dois solos estudados, encontram-se na Figura 10.

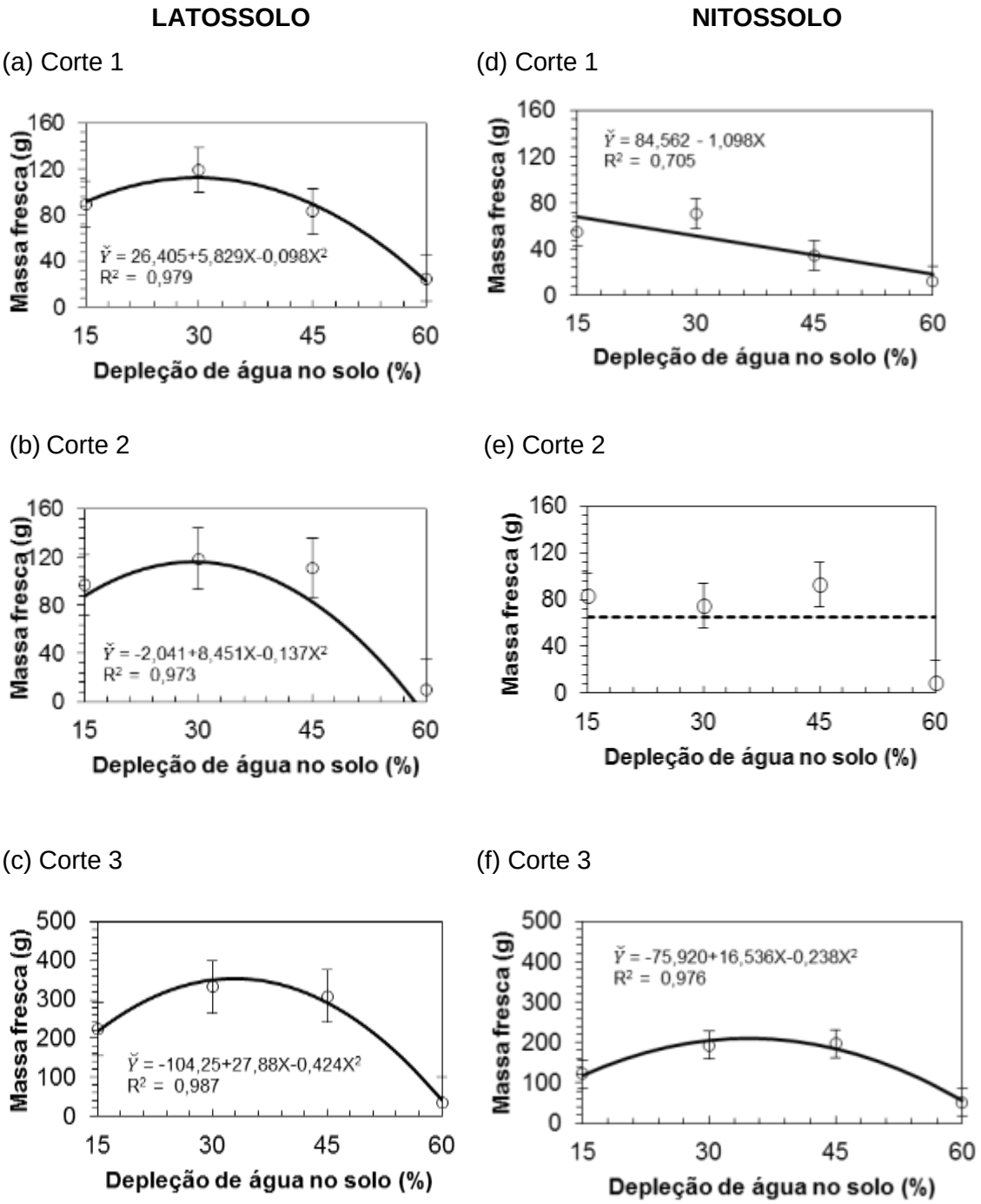

Figura 10 - Massa fresca da parte aérea do capim-mombaça em função da depleção de água no solo; (a) corte 1, (b) corte 2 e (c) corte 3 para o Latossolo; (d) corte 1, (e) corte 2 e (f) corte 3, para o Nitossolo

Observou-se um comportamento quadrático na variação de produção da massa fresca da parte aérea, em função dos níveis de depleção de água no solo, para os três cortes realizados, nas plantas cultivadas no Latossolo (Figura 10a,b,c). Os valores máximos calculados ocorreram para os níveis de 29,7; 30,8 e 32,8% de depleção de água no solo, correspondentes a 120, 118 e 352 g nos cortes 1, 2 e 3,

respectivamente. No Nitossolo, no primeiro corte, a redução de produção da massa fresca foi linear, com valores máximos e mínimos de 68,8 e 18,6 g, respectivamente, para 15 e 60% de depleção de água. No segundo corte, a variação não foi significativa devido ao elevado coeficiente de variação, de 63%, apresentando média de 65 g. Já no terceiro corte a resposta foi quadrática com a produção máxima de 210,3 g para a depleção de água de 34,7% (Figura 10 d,e,f). Suassuna et al. (2012), em avaliações do efeito do estresse hídrico na formação de porta-enxertos de citrus, em casa de vegetação, também verificaram reduções significativas na fitomassa fresca da parte aérea em função do déficit hídrico.

Era de se esperar redução na acumulação de fitomassa e diminuição na taxa de crescimento da planta também no segundo corte do Nitossolo. A redução no crescimento em resposta ao decréscimo da disponibilidade de água no solo pode ser atribuída à diminuição da atividade fotossintética, causada pelo fechamento estomático (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Em termos gerais, o ponto de máxima produção de massa fresca obtido foi de 30% de depleção de água no Latossolo e de 35% no Nitossolo. Em condições de maior umidade do solo, pode ter havido deficiência na aeração, causando hipoxia das raízes e, consequentemente, limitando o desenvolvimento da parte aérea das plantas.

4.4.3 Massa seca da parte aérea

A análise de variância para a massa seca das plantas, nos três cortes, está apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise de variância para a massa seca (MS) do capim-mombaça em função dos níveis de depleção, para ambos os solos

		Q.M. - Latossolo			Q.M. - Nitossolo		
F.V.	**G.L.**	**MS 1**	**MS 2**	**MS 3**	**MS 1**	**MS 2**	**MS 3**
Regressão Linear	1	7,11^{ns}	1494,72**	8506,57**	189,05*	276,76^{ns}	1430,92^{ns}
Regressão Quadrática	1	1518,33**	1584,83**	23392,17**	132,47*	1059,17*	4171,22*
Tratamentos	3	775,4	1032,19	10736,38	108,32	544,26	1879,39
Blocos	3	150,06*	16,72^{ns}	316,52^{ns}	40,04^{ns}	43,52^{ns}	363,00^{ns}
Resíduo	9	30,84	63,89	380,13	21,8	133,86	602,87
C.V. (%)		24,84	31,47	23,50	47,22	63,28	54,24

** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$)

* significativo em nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < 0.05$)

^{ns} não significativo ($p \geq 0.05$)

Os resultados da medição da massa seca da parte aérea, para os três cortes, em ambos os solos, encontram-se ilustrados na Figura 11.

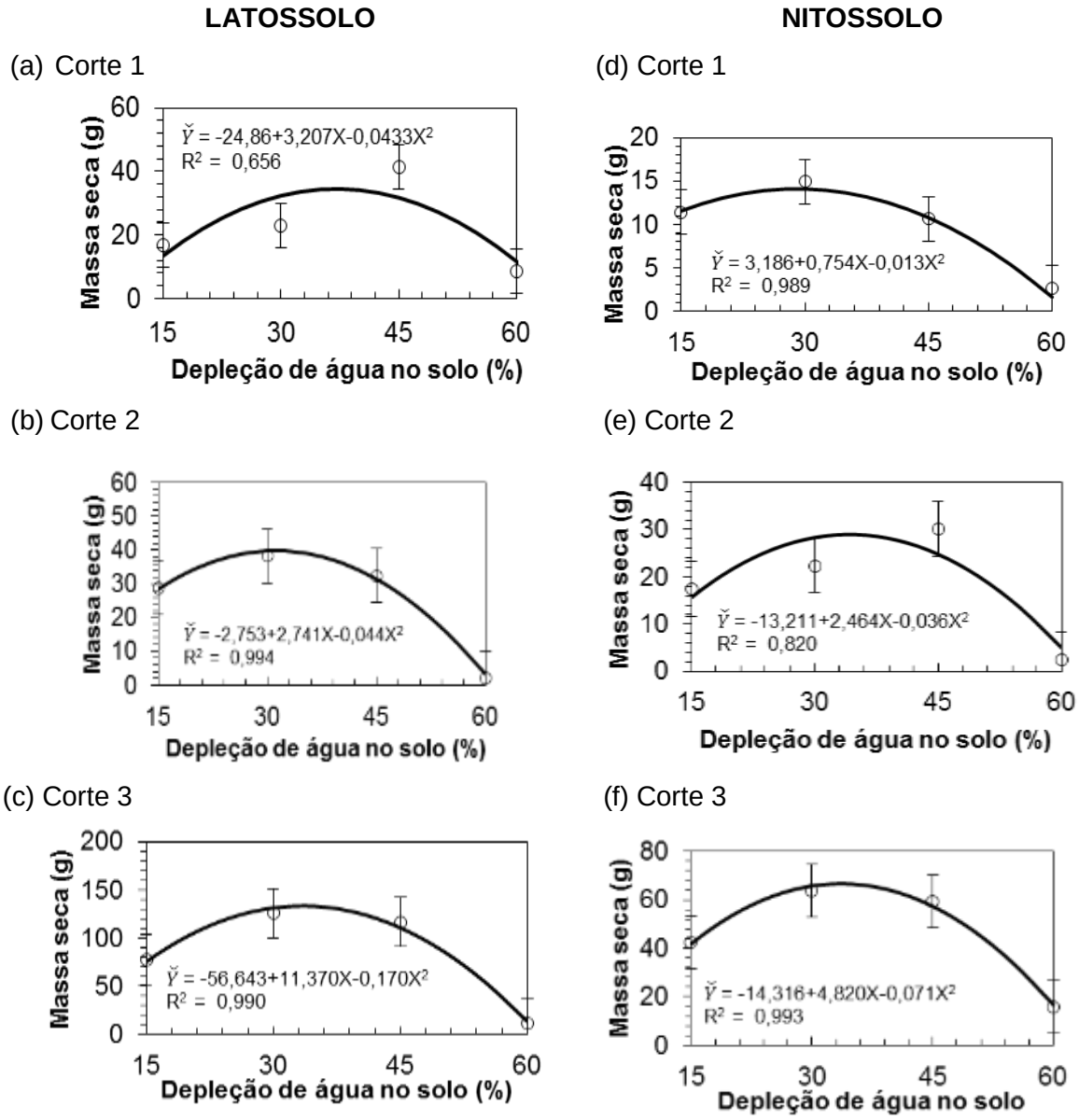

Figura 11 - Produção de massa seca da parte aérea do capim-mombaça em função dos níveis de depleção de água no solo; (a) corte 1, (b) corte 2 e (c) corte 3 para o Latossolo; (d) corte 1, (e) corte 2 e (f) corte 3 para o Nitossolo

Houve variação de forma quadrática na produção de massa seca segundo o incremento do estresse hídrico implementado para ambos os solos, causado pelo acréscimo da depleção de água no solo. Os níveis de depleção de água no Latossolo calculados, que promoveram produção máxima de MS foram: 37,0; 31,1;

33,4% respectivamente, nos cortes 1, 2 e 3; já no Nitossolo, foram de 29,0; 34,2 e 34,0% nos cortes 1, 2 e 3, respectivamente.

Os maiores valores de massa seca foram obtidos no terceiro corte, para o nível de depleção aproximado de 34% de água no solo, correspondentes a 133,05 g no Latossolo e 66,48 g no Nitossolo.

Em condições de baixa disponibilidade de água no solo, vários processos metabólicos das plantas podem ocorrer, como o fechamento estomático, a redução da fotossíntese e da transpiração (PORTES et al., 2006), fenômenos estes que tendem a diminuir o alongamento celular, afetando assim o crescimento, o desenvolvimento e a produção das plantas.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Corte), a produção de massa seca do capim-mombaça em ha ano^{-1} pode chegar a 33 Mg. Müller et al. (2002), sob forma de pastejo rotacionado e irrigado com o capim-mombaça na Bahia, obtiveram uma produção de massa seca na primavera de 4,96 Mg ha^{-1} com período de descanso médio de 40 dias, e de 3,96 Mg ha^{-1} no inverno com período de descanso de 88 dias. Para estes autores, as principais variáveis climáticas responsáveis pela produção da forragem foram a temperatura mínima do ar e a disponibilidade de água no solo.

Nas condições desse estudo, extrapolando-se os valores obtidos nos vasos, o Latossolo apresentou a produção de 19 Mg ha^{-1} e o Nitossolo 9,50 Mg ha^{-1} para o período médio de um corte (cerca de 42 dias). Dessa forma, é possível afirmar que os resultados deste experimento estão em uma ordem de grandeza semelhante àquela obtida por outros autores.

4.4.4 Área foliar

A análise de variância para a área foliar das plantas, nos três cortes e para ambos os solos, está representada no Tabela 11.

Tabela 11 - Análise de variância para a área foliar do capim-mombaça em função dos níveis de depleção de água no solo, para ambos os solos estudados

		Q.M. - Latossolo		
F.V.	**G.L.**	**AF 1**	**AF 2**	**AF 3**
Regressão Linear	1	8220537,51**	12562771,63**	68277991,59*
Regressão Quadrática	1	6040895,98**	12610051,80**	96140348,79**
Tratamentos	3	4855417,36	8629886,07	58685634,94
Blocos	3	1063293,08^{ns}	71587,40^{ns}	41272654,79*
Resíduo	9	358385,70	292115,89	8480439,39
C.V. (%)		23,34	21,11	44,86
		Q.M. - Nitossolo		
F.V.	**G.L.**	**AF 1**	**AF 2**	**AF 3**
Regressão Linear	1	4195607,01*	44455718270,09^{ns}	6891883,65^{ns}
Regressão Quadrática	1	1081117,07^{ns}	2065053222,79^{ns}	31594848,44^{ns}
Tratamentos	3	1981893,25	2346502958,18	13092115,60
Blocos	3	675307,44^{ns}	32760263,75^{ns}	11396745,45^{ns}
Resíduo	9	574181,12	46827785,52	7634739,20
C.V. (%)		51,22	49,06	67,10

** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo em nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < 0,05$)

^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)

Os resultados das medidas de área foliar dos três cortes, para as plantas cultivadas no Latossolo e no Nitossolo, estão ilustrados graficamente na Figura 12.

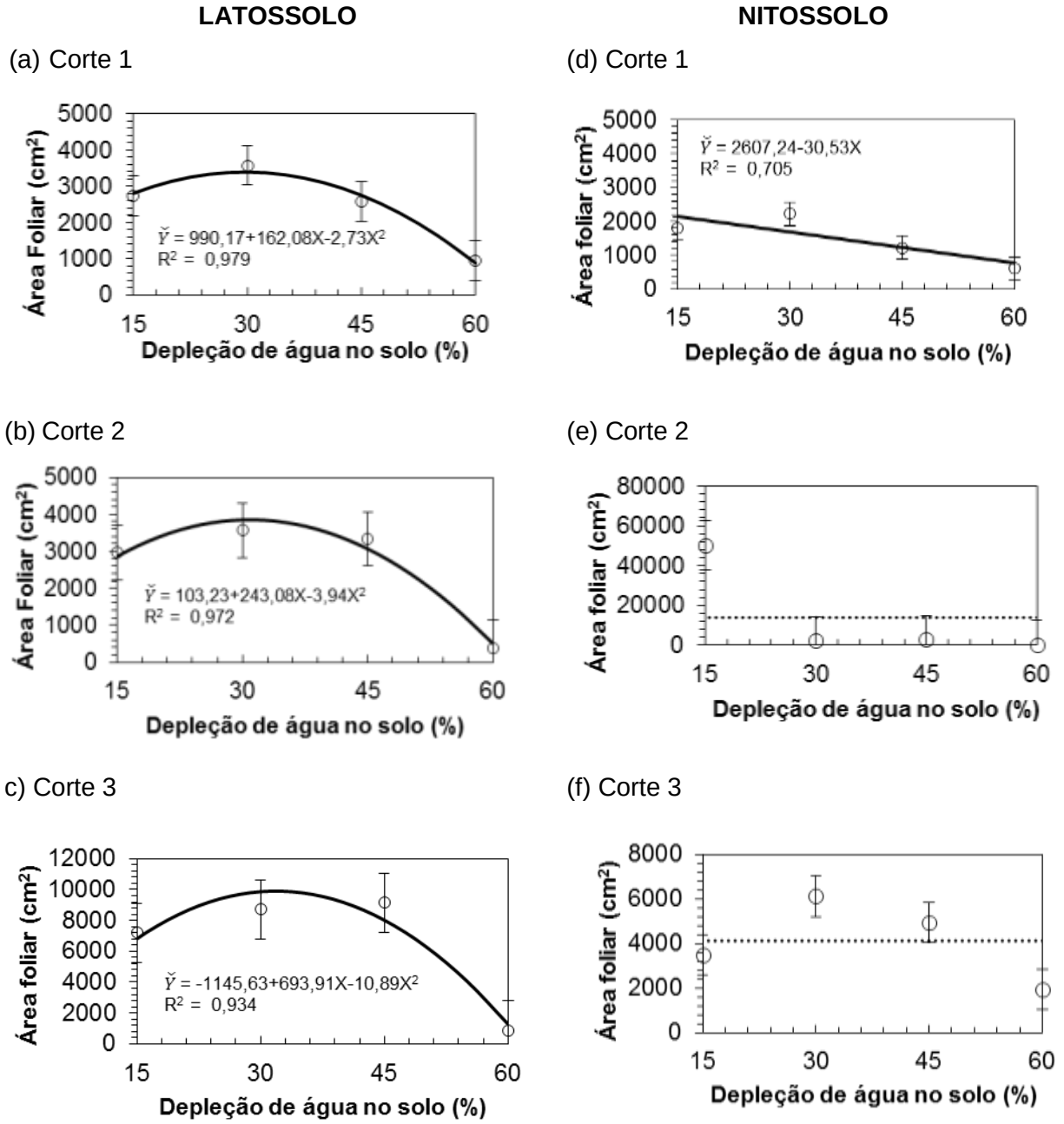

Figura 12 - Área foliar (cm^2) do capim-mombaça em função dos níveis de depleção de água no solo, sendo (a) corte 1, (b) corte 2 e (c) corte 3 para o Latossolo; (d) corte 1, (e) corte 2 e (f) corte (3) para Nitossolo

Observou-se uma tendência geral de decréscimo da área foliar das plantas conforme aumento do estresse hídrico, corroborando os resultados de produção das fitomassas fresca e seca do capim-mombaça. A deficiência hídrica provoca alterações no desenvolvimento das plantas e da área foliar; esta última determina o

uso da água pelas plantas. O potencial de produtividade das forrageiras pode ser severamente inibido quando expostas ao déficit hídrico (CARLESSO, 1998).

A produção possui estreita relação com a área foliar, que é uma característica relevante no desenvolvimento das gramíneas, visto que as folhas são fontes de fotoassimilados para o desenvolvimento das raízes, que são estruturas que participam da assimilação de nutrientes e desempenham importante papel na resistência ao déficit hídrico (BONFIM-SILVA et al., 2011).

As plantas cultivadas no Latossolo apresentaram resposta quadrática à depleção de água no solo, com valores máximos de área foliar correspondentes à depleção de 30% de água no solo (3394,70; 3849,63 e 9866,32 cm^2 respectivamente, para os cortes 1, 2 e 3). No Nitossolo, para o primeiro corte, a resposta da área foliar foi linear e o valor máximo obtido foi de 2149,29 cm^2, correspondente ao nível de 15% de depleção; não foi verificado significância no segundo e no terceiro cortes, possivelmente devido aos elevados coeficientes de variação calculados, de 49 e 67%, respectivamente.

Em meio às características morfológicas, a área foliar é a primeira afetada pelo estresse imposto pela deficiência hídrica, devido ao decréscimo da expansão foliar, podendo ser acompanhada da senescência foliar como forma de redução da área transpiratória. Esses ajustes da planta, como diminuição da altura e da área foliar, são estratégias adaptativas de sobrevivência ao ambiente estressante (ZHANG et al., 2004; DÍAZ-LOPEZ et al., 2012).

Taiz e Zeiger (2009) relatam que plantas submetidas a déficit hídrico desenvolvem folhas menores e mais espessas, com o objetivo de minimizar a perda de água por transpiração. Para Bergamaschi et al. (2009), a baixa disponibilidade de água no solo pode provocar redução da área foliar, por secamento ou queda das folhas; trata-se de uma tentativa da planta de reduzir a perda de água por transpiração, aumentando a eficiência de uso da água; todavia, isto resulta em queda da fotossíntese total que, por sua vez, reduz a taxa de crescimento e a produção da planta.

4.4.5 Produtividade da água

Na Tabela 12 são apresentados os valores de produtividade da água calculados para os quatro níveis de depleção estudados, em ambos os solos.

Tabela 12 - Produtividade da água (PDA) do capim-mombaça em função dos tratamentos impostos, para ambos os solos estudados

Solo/Depleção	Corte 1	Corte 2	Corte 3	PDA Total (kg m^{-3})
Latossolo-60	2,04	1,80	5,64	9,48
Latossolo-45	5,16	2,26	5,92	13,34
Latossolo-30	1,82	2,09	5,50	9,41
Latossolo-15	2,65	2,92	6,25	11,82
Nitossolo-60	1,86	0,88	2,73	5,47
Nitossolo-45	2,65	1,88	1,57	6,10
Nitossolo-30	3,55	1,20	3,77	8,52
Nitossolo-15	1,81	2,41	5,20	9,42

Para o Nitossolo, as médias obtidas sugerem uma maior produção de matéria seca por unidade de volume de água, com o incremento da disponibilidade de água no solo. No Latossolo, os níveis de depleção não permitiram que se pudesse observar uma tendência nítida.

Amaral (2014) cultivou o capim Tifton-85 e observou em Latossolo Vermelho Amarelo, que a produtividade da água apresentou resposta linear e decrescente com o aumento da água disponível no solo. O autor obteve valores de 6,32 kg m^{-3} para 20% de água disponível no solo e 5,00 kg m^{-3} para 100% de água disponível no solo.

Cunha et al. (2008) estudaram três níveis de irrigação (50, 75 e 100% da CAD) para o capim-tanzânia cultivado em Latosolo Vermelho Amarelo e observaram que o nível de irrigação de 50% apresentou a maior PDA em relação aos outros níveis de irrigação, ou seja, quanto maior a disponibilidade de água, menor foi a PDA do capim. Comportamento semelhante foi verificado por Lourenço (2004), que registrou valores de PDA de 2,9; 2,7 e 2,1 kg m^{-3} para os tratamentos de lâminas de irrigação de 50, 75 e 100% da evapotranspiração da cultura, respectivamente, em capim-tanzânia adubado com 110 kg ha^{-1} corte^{-1} de N.

Junior et al (2008) cultivaram mamona sob quatro níveis de água no solo (40, 60, 80 e 100% de água disponível no solo), e observaram que a produtividade da água aumentou com o volume de água aplicado na irrigação, observando-se a maior eficiência na utilização desta no tratamento com nível mais alto de água disponível, ou seja, as plantas apresentaram maior capacidade de reverter o volume de água consumido em produção de matéria seca, sempre que o conteúdo de água no solo foi aumentando.

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o experimento foi conduzido e os resultados obtidos, foi possível concluir que o nível de depleção de água no solo que maximizou o crescimento e a produtividade do capim-mombaça foi de 30% para as duas classes de solo estudadas; já as trocas gasosas foram afetadas negativamente pelo aumento da deficiência hídica.

REFERÊNCIAS

AGUILAR CHAVARRIA, J.A. **Avaliação da sobrevivência ao estresse hídrico e de outras características morfofisiológicas de sete clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum*.) em condições controladas.** Recife: UFRPE, 1985. 189p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1985.

ALENCAR, C.A.B. de, OLIVEIRA, R.A. de; CÓSER, A.C.; MARTINS C.E.; CUNHA, F.F. da; FIGUEIREDO J.L.A. Produção de capins cultivados sob pastejo em diferentes lâminas de irrigação e estações anuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande**,** v.13, n.6, p.680–686, 2009.

ALENCAR, C.A.B.; CÓSER, A.C., MARTINS, C.E.; OLIVEIRA, R.A. de; CUNHA, F.F. da. FIGUEIREDO, J.L.A. Altura de capins e cobertura do solo sob adubação nitrogenada, irrigação e pastejo nas estações do ano. **Acta Scientiarum**, Maringá v. 32, n. 1, p. 21-27, 2010.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 297p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56.)

ALMEIDA, J.A.S. de; SAKAI, E.; MEDINA, P.F. M.; SILVAROLLA, B. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de plantas de *Coffea arabica* submetidas ao estresse hídrico. **In**: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7, 22 a 25 Ago 2011, Araxá - MG

ALVARENGA, I C A.; VALADARES, R. V.; MARTINS, E.R.; OLIVEIRA F.G.; FIGUEIREDO L.S. de; KOBAYASHI M. K. Water stress before harvest of pepper-rosmarin**. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 7 p. 706-711 July 2011.

AMARAL, M.A.C.M. do. **Desempenho produtivo de Cynodon spp. cv. Tifton 85 sob diferentes condições de manejo da irrigação e momentos de aplicação da adubação nitrogenada**. 2014.67p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-04042014-094919/>. Acesso em: 2015-07-14

ARAUJO, L.C. de; SANTOS, P.M.; MENDONÇA F.C.; MOURAO, G.B. Establishment of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, under levels of soil water availability in stages of growth of the plants. **Revista Brasileira Zootecnia,** Viçosa v.40, n.7, p.1405-1411, 2011.

ARAÚJO, S.A. do C.; VASQUEZ, H.M.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A.T.; DEMINICIS, B.B.; LIMA É. da S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Animal Sciences.** Maringá, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H.O.C.; CAVALCANTI, M.L.F.; LACERDA, R.D. de. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 350-355. Aug. 2008.

BASTOS, E.A.; SILVA, C.R.; RODRIGUES, B.H.N.; A. JR., ADERSON S.; IBIAPINA, L.M.M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da melancia irrigada por gotejamento no litoral do Piauí. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n. 3, p. 582-590, 2012.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.831-839, 2009.

BEZERRA, J.R.C.; AZEVEDO, P.V. de; SILVA, B.B. da; DIAS, J.M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.6, p.625–632, 2010.

BISCARO, G.A.; VAZ, M.A.B.; GIACON, G.M.; GOMES, E.P.; SILVA, S.B. da; MOTOMIYA, A.V. de A. Produtividade de duas cultivares de mamona submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n. 9, p. 925-930, 2012.

BIZARI, D.R.; MATSURAI, E.E.; ROQUEII M.W.; SOUZA, A.L. de. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e Convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, p. 2073 - 2079, 2009.

BONFIM-SILVA, E.M; SILVA, T.J.A. Da; CABRAL, C.E.A.; KROTH, B.E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180-186, abr.-jun., 2011.

BORTOLINI, F.; DALL'AGNOL, M.; BISSANI, C.A. Características morfofisiológicas associadas à tolerância à seca em sete genótipos da coleção nuclear de trevo branco. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n. 9, p. 1632-1638, 2011.

BRITO, M.E.B.; FILHO, G.D. de A.; WANDERLEY, J.A.C.; MELO, A.S. de; COSTA, F.B. da; FERREIRA, M.G. Crescimento, fisiologia e produção de milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal,** Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, Sept./Oct. 2013

BUENO, M.R.; TEODORO, R.E.F.; ALVARENGA, C.B. de; GONÇALVES, M.V. Determinação do coeficiente de cultura para o capim tanzânia. **Bioscience Journal,** Uberlândia, v. 25, n. 5, p. 29-35, Sept./Oct. 2009.

CARLESSO, R. Resposta do sorgo granífero a déficits hídricos aplicados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 211-215, 1998.

CARNEVALLI, R.A. **Dinâmica da rebrotação de pastos de capim-mombaça submetidos a regimes de desfolhação intermitente.** 2003. 136 p.Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura" Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-09022004-145840/>. Acesso em: 04 mar. 2014.

CARVALHO, D.F. de; SILVA, D.G. da; ROCHA, H.S. da; ALMEIDA, W.S. de; SOUSA, E. da S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da batata em sistema agroecológico de produção. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v.33, n. 1, p. 201-211, 2013.

CHASE, A. Grasses of Brazil and Venezuela. **Agriculture in the America,** Washington, v. 4, p. 123-126, 1944.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 42, n. 234, p.1-16, 1991.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 5, n. 5, p. 187-188, 2000.

CORSI, M. Adubação nitrogenada das pastagens. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.). **Pastagens**: fundamentos da exploração racional. Piracicaba**:** Fealq, 1994. p. 121-153.

COSTA, J.R. da; PINHO, J.L.N. de; PARRY, M.M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, out. p. 443-450, 2008.

CUNHA, F.F. da; SOARES, A.A.; MANTOVANI, C.E.; SEDIYAMA, C.; GILBERTO; PEREIRA, O.G.; ABREU, F.V. de S. Produtividade do capim tanzânia em diferentes níveis e freqüências de irrigação. **Acta Scientarium Agronomy,** Maringá, v. 30, n. 1, p. 103-108, 2008.

DIAS FILHO, M.B.; CORSI, M.; CUSATO, S. Respostas morfológicas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatã ao estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília**,** v.24, n.7, p. 893-898, 1989.

DÍAZ-LOPEZ L.; GIMENO V.; SIMÓN, I.; MARTÍNEZ, V. RODRÍGUEZ-ORTEGA, W.M. *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. **Agricutural Water Management**, Oxford, v. 105, p. 48-56, 2012.

DUARTE, G.R.B.; SCHÖFFEL, E.R.; MENDEZ, M.E.G.; PAULA, V.A. de. Medida e estimativa da evapotranspiração do tomateiro cultivado sob adubação orgânica em ambiente protegido. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, n. 3, p. 563-574, jul./set. 2010.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997

FABRICIO, J.A.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A.F.; BENETT, C.G.S. Produtividade e composição bromatológica do capim-tobiatã com adubação NPK. **Acta Scientarium, Agronomy**. Maringá, v.32, n. p. 333-337, 2010.

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

FIALHO, G.S.; SILVA, D.P. da; REIS E.F. dos; FONSECA, A.F.A. da; FERRÃO, M.A.G. Comportamento de plantas de café arábica submetidas ao déficit hídrico durante o desenvolvimento inicial. **IDESIA** (Chile) v. 28, n. 3, Septiembre-Diciembre, p. 35-39, 2010.

FREITAS, R.M.O. de; TORRES, S.B; NOGUEIRA, N.W.; LEAL, C.C.P.; FARIAS, R.M. deas. Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi em função de sistemas de plantio e estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical,** Goiânia, v. 43, n. 4, p. 370-376, out. / dez. 2013

GOMES, R.A.; LEMPP, B.; JANK L.; CARPEJANI, G.C.; MORAIS, M.DA G. Características anatômicas e morfofisiológicas de lâminas foliares de genótipos de Panicum maximum. **Pesquisa Aagropecuária Brasileira,** Brasília**,** v.46, n.2, p.205-211, Fev 2011.

GONÇALVES, E.R.; FERREIRA, V.M.; SILVA, J.V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. de G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GRAÇA, J.P. da; RODRIGUES, F.A.; FARIAS, J.R.B.; OLIVEIRA, M.C.N. de; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; ZINGARETTI, S.M. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 22, n. 3, p. 189-197, 2010.

HOLANDA, L.A.; SANTOS, C.M.; SAMPAIO NETO, G.D.; SOUSA, A.P.; SILVA, M.A. Variáveis morfológicas de cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n.4, p. 573-584, out.-dez 2014.

JUNIOR, E. G.C.; MEDEIROS, J. F. de; MELO, T. K. de; SOBRINHO, J.E.; BRISTOT, G.; ALMEIDA, B.M. de. Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.3, p.261–267, 2013.

JUNIOR, G.B.; GUERRA, H.O.C.; CAVALCANTI, M.L.F.; LACERDA R.D. de. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia e Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p.350–355, 2008.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A.; SOUZA, A.T. de; SILVA, M.R. da. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao deficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n. 11, p. 1415-1423, 2011**.**

LAGO, I.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J.; HANAUER, J.G.; BISOGNIN, D.A.; SILVA, M.R. da. Transpiração e crescimento foliar de clones de batata em resposta à fração de água transpirável no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 745-754, 2012.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: ed. Rima Artes e Textos RiMa, 2004. 531p

LAWLOR, D.W.The effects of water deficit on photosynthesis. In: SMIRNOFF N. **Environment and plant metabolism.** Oxford: Bios Scientific Publishers, 1995*.* p.129–160,

LEÃO, D.A.S.; FREIRE, A.L. de O.; MIRANDA, J.R.P. de. Estado nutricional de sorgo cultivado sob estresse hídrico e adubação fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 74-79, jan./mar. 2011.

LOPES, M.N. **Adubação nitrogenada em capim-massaí: trocas gasosas, morfofisiologia e composição químico-bromatológica.** 2010. 156p Monografia (Graduação em Engenharia Agronômica) - Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2010.

LOURENÇO, L.F. **Avaliação da produção de capim-tanzânia em ambiente protegido sob disponibilidade variável de água e nitrogênio no solo,** 2004. 77p. (Dissertação de Mestrado na área de Produção Vegetal).- Escola Superior de Agricultura, “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, 2004.

MACHADO, R.C.R.; SOUZA, H.M.F.; MORENO, M.A. Variáveis relacionadas com a tolerância de gramíneas forrageiras ao déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, cidade,** Brasíllia, v.18, n.6, p.603-608, 1983.

MARINHO, L.B.; RODRIGUES, J.J.V.; SOARES, J.M.; LIMA, M.A.C. de; MOURA, M.S.B. de; BRANDÃO, E.O.; SILVA, T.G.F. da; CALGARO, M.; Produção e qualidade da videira 'Superior Seedless' sob restrição hídrica na fase de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília v.44, n. 12**,** p. 1682-1691, 2010.

MARTINS, M. de O.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; AZEVEDO NETO, A.D. de; SANTOS, M.G. dos. Crescimento de plantas jovens de Nim-Indiano (Azadirachta indica a. juss. - Meliaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore,** Viçosa v. 34, n. 5, p. 771-779, Oct. 2010

MEIRA, M.R.; MELO, MARCO T.P. de; MARTINS, E.R.; PINTO, M.J. da S.; SANTANA, C.S. Crescimento vegetativo, produção de fitomassa e de óleo essencial de *Melissa officinalis* L. sob diferentes lâminas de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n. 5, p. 779-785, 2013.

MÜLLER, M. dos S.; FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCIA A.; OVEJERO, R.F.L. Produtividade do *Panicum maximum* cv. Mombaça irrigado, sob pastejo rotacionado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.3, p.427-433, jul./set. 2002.

MUNIZ, R.A.; SOUSA, E.F. de; MENDONÇA, J.C.; ESTEVES, B. dos S.; LOUSADA, L. de L.Energy balance and evapotranspiration of the grass Mombaça under rotated pasture. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 47-54, Mar. 2013.

NASCIMENTO, H.H.C. do; NOGUEIRA, R.J.M.C; SILVA, E.C. da; SILVA, M.A. da. Análise do crescimento em mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, Edição Especial, p.617-626, 2011.

NASCIMENTO, J.T.; PEDROSA, M.B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira,** Brasília, v.22, n.2, p.174-177, abril-junho 2004.

NASCIMENTO, S.P. do, BASTOS E.A.; ARAÚJO, C.E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.8, p.853–860, 2011.

OLIVEIRA, A.D.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, p.86-95, 2005.

OLIVEIRA, A.K.M.; GUALTIERI, S.C.J. de; BOCCHESE, R.A. Trocas gasosas em plantas envasadas de Tabebuia aurea sob estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.33, n 4, p. 641-647, 2011.

PAES, H.M.F.; ESTEVES, B. dos S.; SOUSA, E.F. De. Determinação da demanda hídrica do quiabeiro em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n. 2, p. 256-261, 2012.

PÁEZ, A.; GONZÁLEZ M.E.; YRAUSQUÍN X.; SALAZAR, A.; CASANOVA A. Water stress and clipping management effects on guineagrass: I. Growth and biomass allocation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 698-706, 1995.

PAIVA, A.S.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D. TURCO, J.E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, Apr. 2005 .

PIETERSE, P.A.; RETHMAN, N.F.G.; VAN BOCH, J. Production, water use efficiency and quality of four cultivars of *Panicum maximum* Jacq. at different levels of nitrogen fertilization. **Tropical Grassland,** Brisbane, v. 31, n. 2, p. 117-123, 1997.

PORTES, M.T.; ALVES, T.H.; SOUZA, G.M. Water deficit affects photosynthetic induction in *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae) and Esenbeckia leiocarpa Engl. (Rutaceae) growing in understorey and gap conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v.18, p.491-512, 2006.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).

RIBEIRO, E.G.; CARLOS FONTES, A. de A.; PALIERAQUI, J.G.B.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; SILVA, R.C. da Influência da irrigação, nas épocas seca e chuvosa, na produção e composição química dos capins napier e mombaça em sistema de lotação intermitente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.8, p.1432-1442, 2009.

RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Agronomy 9, pt 1. p.128-152.

RITCHIE, J.T. Atmospheric and soil water influences on the plant water balance. In: STONE, J.F. (Ed.) **Plant modification for more efficient water use**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing,1975. p.183-198.

ROCHA G.L. **Ecosssistemas de pastagens – aspectos dinâmicos.** Piracicaba: SBZ; FEALQ, 1991. 391p.

ROZA, F.A. **Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *Jatropha cucas* L. submetidas ao déficit hídrico**. 2010. 106 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Santa Cruz - BA. 2010.

SANTANA, M.J. de; SOUZA, O.P. de; CAMARGOS, AYZA E.V.; ANDRADE, J.P.R. Coeficientes de cultura do abacaxizeiro nas condições edafoclimáticas de Uberaba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.6, p.602–607, 2013

SANTOS M.C.S., LIRA M.A., TABOSA J.N., MELLO A.C.L., SANTOS M.V.F.. Comportamento de clones de pennisetum submetidos a períodos de restrição hídrica controlada. **Archivos de zootecnia.** Cordoba, v.60(229), p. 31-3, 2011.

SCALON, S. de P.Q.; EUZÉBIO, R. da M.M.; MELLO, V. de; KODAMA F.M.; KISSMANN, C.Estresse hídrico no metabolismo e no crecimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, out.-dez., 2011

SHINOZAKI, K; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 221-227,2007.

SILVA, P.M.P. da; CHIARI, L.; JANK, L.; ARAÚJO, A.R.; EUCLIDES, V.P.B. Avaliação de Cultivares de *Panicum maximum* Jacq. Submetidas ao Déficit Hídrico. **In:** WORKSHOP SOBRE TOLERÂNCIA A ESTRESSES ABIÓTICOS**, 1.,** 2013 Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande, MS , 2013.

SILVA M.B.R.; FERNANDES, P.D.; NETO, JOSÉ DANTAS; NERY, A R.; RODRIGUES, L.N.; VIÉGAS, R. A. Crescimento e produção do pinhão-manso irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.6, p.621–629, 2011.

SILVA, A.R.A. da; BEZERRA, F.M.L.; FREITAS, C.A.S. de; FILHO, J.V.P.; ANDRADE R. R.; FEITOSA, D.R.C.F. Morfologia e fitomassa do girassol cultivado com déficits. hídricos em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.9, p.959–968, 2012.

SILVA, A.R.A. da; BEZERRA, F.M.L.; LACERDA FILHO, C.F. de; PEREIRA FILHO, J.V.; FREITAS, C.A. de. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos**. Revista Ciência Agronômica,** Fortaleza, v.44, n. 1, p. 86-93, 2013.

SILVA, A.G; FRANÇA, A.F.S.; MIYAGI, E.S.; MELLO, S.Q.S.; FERREIRA, J.L.; CARVALHO, E.R. Frações proteicas do capim-mombaça submetido a doses de nitrogênio em duas alturas de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.61, n.5, p.1148-1155, out 2009.

SILVA, F. de A.S.; AZEVEDO, C.A.V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, 2009. Reno-NV-USA **Proceedings…** American Society of Agricultural Engineers, 2009 p.393-396.

SILVA, J.M. da; FERREIRA, R.S.; MELO, A.S. de; SUASSUNA, J.F.; DUTRA, A.F.; GOMES, J.P. Cultivation of tomato in greenhouse under different replenishment rates of evapotranspiration. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p. 40-46. 2013.

SILVA, L.D.B. da; FOLEGATTI, M.V.; NOVA, N.A.V. Evapotranspiração do capim tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v.25, n.3, p.705-712, set./dez. 2005.

SILVA, M.B.R.; FERNANDES, P.D.; NETO, J.D.; NERY, A.R.; RODRIGUES, L. N. VIÉGAS, R.A. Crescimento e produção do pinhão-manso irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.6, p.621–629, 2011.

SOUZA, A.P. de; PEREIRA, J.B.A.; SILVA, L.D.B. da; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, D.F. de. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy,** Maringá, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

SUASSUNA, J.F.; FERNANDES, P.D.; NASCIMENTO, R. do; OLIVEIRA, A.C.M. DE; BRITO, K.S.A. de; MELO, A.S. De. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental,** Campina Grande**,** v.16, n.12, p.1305–1313, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4 ed. São Paulo: Artmed, 2009. 820p.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E.F. dos. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 38, n. 2, p.387-400, abr./jun. 2008.

TEODORO, R.E.F.; OLIVEIRA, A.S. de; MINAMI, K.. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão *(Capsicum annuum* L.) em casa-de-vegetação. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, vol.50, n.2, pp. 237-243. 1993,

TORRES, J.L.R.; JUNIOR, D.J.R.; SENE G.A.; JAIME, D.G.; VIEIRA, D.M da S. Resistência à penetração em área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal,** Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 232-239, Mar. 2012.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A.J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n. 6, p.1085-1095, 2011.

VANZELA L.S.; ANDRADE, M.C N. de. **Manejo da irrigação via solo**. Disponível em: *www.agr.feis.unesp.br/manejoirrigacao.html* Acesso em: jan. 2014.

VOLTAM, F.S; LIMA, M.C.Q. de; GALLO, M.P. de C; MENDONCA, F.C.; SANTOS, P.M. Comportamento de Panicum Maximum cv. Tanzânia sob diferentes graus de estresse hídrico. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais…** João Pessoa, PB: Universidade Federal de Pernanbuco, 2006. p. 1-3.

WHITHEMAN, P.C. **Tropical pasture Science**. New York: Oxford University Press, 1980. 392p.

ZHANG, W.L.; LI, L. H.; ZU, Y.G.; PEREZ, S. Effect of priming on the germination of *Peltophorum dubium* seeds under water stress. **Journal of Forestry Research**, Shanghai, v. 15, n.4, p. 287-290, 2004.