



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
POGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

ANTÔNIO ALVES DO NASCIMENTO FILHO

EXCESSO DE ÁGUA NO SOLO SOBRE O DESENVOLVIMENTO
DA GRAMA BERMUDA

FORTALEZA

2013

ANTÔNIO ALVES DO NASCIMENTO FILHO

**EXCESSO DE ÁGUA NO SOLO SOBRE O DESENVOLVIMENTO
DA GRAMA BERMUDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial a obtenção do Título de Mestre. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

FORTALEZA

2013

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Projeto aprovado em: ____ / ____ / 2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Caroline de Moura D'Andréa Mateus
Universidade do Sagrado Coração (USC)

Aos meus pais Antônio Alves do Nascimento e Verônica Maria de Holanda Angelim Alves que com esforço persistiram em nos dar a mim e meus irmãos uma educação de qualidade e hoje colho os frutos desta trajetória.

DEDICO

A minha esposa Juliana Pinheiro Vieira Alves do Nascimento e a minha filha Iamaê Maria Vieira Alves pela paciência, incentivo e desculpando-me pelos momentos que estive ausente.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter iluminado o caminho fazendo com que eu possa seguir em frente e me reerguido nos momentos difíceis da vida;

A minha família, pelo amor, conforto, união e sempre presente na minha trajetória;

A Universidade Federal do Ceará, sobretudo aos Departamentos de Ciências do Solo e de Engenharia Agrícola, que me acolheram neste período de Pós-graduação e me deram suporte para realização deste trabalho;

Ao Professor Raimundo Nonato Távora Costa, amigo, conselheiro que me deu todo apoio e com o seu amplo conhecimento e profissionalismo é peça fundamental na finalização desta etapa de minha vida acadêmica;

Aos amigos e contemporâneos de mestrado, Alisson Simplício, Bruno Meneses, Carlos Vítor, Cleyton Sayali, Gildivan dos Santos, Juciane Maria e Júnior Cavalcante, que iniciamos juntos e estamos concluindo uma fase importante de nossas carreias;

À Funcap pela contribuição da bolsa de estudo;

À Banca examinadora por enriquecer o conteúdo da dissertação e auxiliar na finalização deste trabalho;

Aos Engenheiros Agrônomos e amigos de profissão Paulo Antônio, Alexandre Santos, Flávio Piquet, José Giacoia, Jefferson Nobre, Leonardo Maia, que contribuem na minha formação profissional;

Às empresas Greenleaf Gramados, Itograss, Correia Cavalcanti que me apoiaram na instalação do experimento;

Aos componentes do grupo de pesquisa GPEAS, principalmente os que se dispuseram a contribuir na condução do experimento, David, Lourenço, Tiago e Humberto;

Aos amigos de Universidade: Gabriel Nuto, Mariana Menezes, Carlos Henrique, que estavam à disposição para auxílio e troca de conhecimentos;

Enfim, a todos que contribuíram direto ou indiretamente para finalização deste trabalho de pesquisa.

“Nunca desista dos seus sonhos, pois eles podem levar a lugares inimagináveis.”

Alves Filho

“Nossos sonhos podem se transformar em realidade se o desejamos tanto a ponto de correr atrás deles”

Walt Disney

RESUMO

A drenagem é uma etapa importante na construção de um gramado esportivo, auxiliando no desenvolvimento da grama e na utilização por parte dos usuários. Para um projeto de drenagem, informações sobre a sensibilidade da cultura ao estresse por excesso de água facilitarão nas tomadas de decisões quanto ao dimensionamento do projeto. Partindo da premissa de que o excesso de água prejudica o crescimento e desenvolvimento da cultura da grama e que os índices Sum excess water (SEW_{30}) e Index day stress (IDS) são sensíveis às variáveis de desenvolvimento da cultura, objetivou-se com este estudo identificar a sensibilidade da cultura da grama bermuda ao excesso de água com base na análise de variáveis de desenvolvimento da cultura. O experimento foi conduzido com a grama bermuda (*Cynodon spp.*), durante três meses, em um modelo físico localizado no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC). No local foram construídos tanques de alvenaria que medem 1,5 m de altura, 2,0 m de largura e 1,5 m de comprimento, que permitem controlar o nível do lençol freático em diferentes posições. Foi utilizado substrato à base de areia, conforme especificações da United States Golf Association (USGA). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em elevações do lençol freático, variando as profundidades entre 0,05 m e 0,20 m, realizadas quinzenalmente, com duração de três dias, além do tratamento sem elevação do lençol freático. As variáveis utilizadas para testar os tratamentos foram: comprimento de raiz, taxa de fotossíntese, massa da matéria seca de raízes, estolões, rizomas, colmos e folhas e massa seca das aparas de grama. Na análise de variância os tratamentos foram comparados pelo teste F, considerando-se um nível mínimo de significância de 5% de probabilidade. Os resultados permitem concluir que os valores associados às variáveis analisadas demonstram decréscimos em seus rendimentos com o incremento no nível de estresse por excesso de água; a cultura da grama bermuda mostra-se mais sensível ao excesso de água no primeiro estágio de desenvolvimento e a taxa fotossintética no tratamento com maior nível de estresse, ou seja; lençol freático a 0,05m da superfície do solo decresceu em torno de 2/3 do valor para a condição de ausência do lençol freático.

Palavras-chave: Drenagem. Grama. Lençol freático.

ABSTRACT

The drainage is an important stage in building a filed sports turf helping in the development of grass and in use by the users. For a drainage project information on the sensitivity of culture to stress by excess water will facilitate making decisions as to the design of the project. Assuming that the excess water affect the growth and development of the culture of grass and that the indices SEW₃₀ and IDS are sensitive to the variables of development of the cultivation, the objective of this study was to identify the sensitivity of the culture of Bermuda grass to the excess of water based on the analysis of variables for crop development and stress treatments by excess water as referenced in the indices SEW₃₀ and IDS. The experiment was conducted for three months with the Bermuda grass (*Cynodon spp.*) in the area of the Laboratory of hydraulic and irrigation of the Department of Agricultural Engineering of Federal University of Ceará (UFC). On the site were constructed tanks of masonry which measure 1.5 m in height, 2.0 m wide and 1.5 m in length, which allows you to control the level in the groundwater in different positions. The soil mix used the base of sand as per specifications of the United States Golf Association (USGA). The experimental design was completely randomized with five treatments and four replications. The treatments consisted of six elevations in the groundwater, varying the depths between 0.05 m and 0.20 m, and carried out monthly, with a duration of three days and the treatment without elevation of the groundwater. The variables used to test the treatment was root length, photosynthesis rate, dry weight of roots, rhizomes, stolons, culms and leaves and dry weight of clippings grass. In the variance analysis the treatments was compared by F test, considering a minimum level of significance was 5% probability. It was concluded that the values assigned to the variables analyzed showed decreases in their income with the increase in the stress level by excess water; The culture of bermudagrass was more sensitive to excess water in the first stage of development; and the photosynthetic rate at higher stress levels, decreases reaches approximately 2/3 of the value for the condition of no groundwater.

Keywords: Drainage. Grass. Groundwater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo físico dos tanques de drenagem.....	22
Figura 2 - Piezômetro e hidrômetro.....	24
Figura 3 – Sistema de drenagem conforme especificações da USGA.	26
Figura 4 - Precipitação pluviométrica no município de Fortaleza (CE), durante o período de março a julho de 2013.	28
Figura 5 - Aparelho IRGA (LICOR 6400XT, Licor, USA), utilizado para medir a taxa de fotossíntese.	29
Figura 6 - Material separado para determinação da massa da matéria seca de raízes, estolões, rizomas, folhas e colmos.	30
Figura 7 - Cortador de grama utilizado na área experimental.	30
Figura 8 - Comprimento de raiz da grama bermuda em função dos tratamentos SEW ₃₀	32
Figura 9 - Taxa de fotossíntese da grama bermuda em função dos níveis de SEW ₃₀	35
Figura 10 - Produção de massa seca das aparas de grama bermuda em função dos níveis de SEW ₃₀	38
Figura 11 - Índice diário de estresse (IDS) na grama bermuda em função dos níveis de SEW ₃₀	40

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Atributos físicos da areia utilizada na composição do substrato colocado nos tanques de drenagem (Fortaleza, CE, 2013).....	25
Tabela 2 – Granulometria e classe textural da areia utilizada na composição do substrato colocado nos tanques de drenagem (Fortaleza, CE, 2013).....	25
Tabela 3 - Tamanho de partícula e classificação da areia utilizada na composição do substrato colocado nos tanques de drenagem (Fortaleza, CE, 2013).....	25
Tabela 4 - Elevações do lençol freático durante a condução do experimento (Fortaleza, Ceará, 2013).....	27
Tabela 5 - Comprimento de raiz (cm) da grama bermuda aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.....	32
Tabela 6 - Taxa de fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) da grama bermuda verificada em condição de lençol freático rebaixado (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.....	33
Tabela 7 - Taxa de fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) da grama bermuda sob condições de lençol freático elevado (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.....	34
Tabela 8 – Massa da matéria seca das raízes, rizomas e estolões (Mg ha^{-1}) de grama bermuda aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.....	36
Tabela 9 – Massa da matéria seca de colmos e folhas (Mg ha^{-1}) de grama bermuda aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.....	37
Tabela 10 – Massa da matéria seca das aparas de grama bermuda aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013).....	37
Tabela 11 – Massa da matéria seca das aparas de grama bermuda no tratamento sem estresse (testemunha) e com estresse em três estádios de desenvolvimento, aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013).....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Grama bermuda (<i>Cynodon spp.</i>).....	15
2.2 Excesso de água no solo	16
2.3 Índices de estresse por excesso de água no solo.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Modelo físico utilizado no estudo	22
3.2 Delineamento experimental.....	23
3.3 Instalação do experimento	23
3.4 Caracterização do substrato	24
3.5 Etapas de campo	26
3.6 Variáveis analisadas	28
3.6.1 Comprimento de raiz.....	28
3.6.2 Taxa de fotossíntese.....	29
3.6.3 Massa da matéria seca de raízes, estolões, rizomas, colmos e folhas	29
3.6.4 Massa seca das aparas de grama.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Comprimento de raiz	31
4.2 Taxa de fotossíntese.....	32
4.2.1 Taxa de fotossíntese com lençol freático rebaixado.....	32
4.2.2 Taxa de fotossíntese com lençol freático elevado	33
4.3 Massa da matéria seca de raízes, rizomas, estolões, colmos e folhas.....	35
4.4 Massa da matéria seca das aparas de grama	37
4.5 Fator de susceptibilidade da cultura (SC).....	39
5. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42
APÊNDICES	45

1. INTRODUÇÃO

A cultura da grama tem se espalhado de forma contínua e é bastante utilizada em áreas públicas e residenciais. Cada vez mais, gramados vêm sendo utilizados na prática de esportes em todo o mundo, com destaques para o golfe, o futebol americano, o futebol, o baseball, o tênis, o pólo e o rúgbi. O mercado da grama movimentou bilhões de dólares no mundo, principalmente nos Estados Unidos e Europa onde o nível de especialização é altíssimo (SILVA, 2008).

O Brasil sediou recentemente a Copa das Confederações 2013 e sediará ainda eventos esportivos de ordem mundial, incluindo a Copa do Mundo FIFA 2014, sendo Fortaleza-CE uma das capitais escolhidas para sediar alguns jogos e as Olimpíadas 2016 que terão como sede a cidade do Rio de Janeiro-RJ. Vale ressaltar que esses eventos terão como palco principal jogos que acontecerão sobre áreas gramadas, inclusive o golfe, que em 2016 voltará a ser esporte olímpico.

Abaixo de um excelente gramado esportivo existe uma infraestrutura instalada para dar condições de uso com o melhor desempenho possível. Dentre as recomendações para o estabelecimento de um gramado esportivo, a drenagem é considerada uma das etapas mais importantes, já que um campo mal drenado irá interferir negativamente no desenvolvimento da grama, além de trazer prejuízo para sua utilização (NASCIMENTO, 2009).

Segundo o Guia de Preparação de Gramados (2011), elaborado pelo Comitê Organizador Local (COL) brasileiro, que tem a finalidade de auxiliar as Cidades – sede no projeto, construção, manutenção e uso dos gramados para a Copa das Confederações e Copa do Mundo, o critério básico na construção dos campos de todos os estádios é que drenem de forma eficiente e ainda assim consigam manter uma população de plantas saudáveis e que o piso permaneça estável durante o jogo.

Para o delineamento de um sistema de drenagem são necessárias investigações preliminares sobre levantamento topográfico, atributos físicos do solo, estudos hidrológicos quanto a precipitações intensas e sua previsão, escoamento superficial, tempo de rebaixamento do lençol freático, materiais de drenagem como tubos e envoltórios, entre outros. Infelizmente, é comum a instalação de sistemas de drenagem sem o devido cálculo hidráulico de seu delineamento, e, sobretudo, sem levar em consideração as condições de

drenabilidade natural dos solos. Nestas condições, estudos de avaliação técnico-financeira têm demonstrado, com certa frequência, ineficiência hidráulica nos sistemas e superdimensionamento nas estruturas hidráulicas de controle (COSTA *et al.*, 2008).

Como exemplo de problemas ocasionados por um solo mal drenado em gramados esportivos, destaca-se o péssimo desenvolvimento das raízes por falta de oxigênio, má absorção de nutrientes, favorecimento ao aparecimento de pragas e doenças, dificuldade no corte da grama e na prática de jogos pelos usuários devido ao aparecimento de poças d'água e depressões no solo (GREENLEAF GRAMADOS, 2009).

Vasconcelos (2003), citando Bouwer (1974), afirma que uma das maiores limitações aos projetos de drenagem tem sido a ausência de coeficientes que representem os requerimentos de drenagem das diversas culturas sob condições locais.

O SEW_{30} (somatório dos excedentes de água acima de 0,30m de profundidade) e o IDS (índice de estresse diário) têm sido usados para relacionar a redução na produtividade e desenvolvimento das culturas com a ocorrência de flutuação no lençol freático acima de um nível crítico (VASCONCELOS, 2003).

Partindo da premissa de que o excesso de água prejudica o crescimento e desenvolvimento da cultura da grama e que os índices SEW_{30} e IDS são sensíveis às variáveis de desenvolvimento da cultura, objetivou-se com este trabalho identificar a sensibilidade da grama bermuda ao excesso de água com base na análise de variáveis de desenvolvimento da cultura referenciados nos índices SEW_{30} e IDS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Grama bermuda (*Cynodon spp.*)

Originária da África, a grama bermuda possui altas taxas de crescimento estolonífero rizomatoso, resultando em grande capacidade de recuperação pelo tráfego excessivo (GODOY *et al.*, 2012). Devido a esta característica de rápido crescimento e fácil recuperação, a grama bermuda tem sido a principal espécie utilizada em campos esportivos, principalmente em regiões de clima quente onde o seu desenvolvimento é abundante. Os locais de maior utilização deste tipo de grama são regiões de clima tropical a temperado-quente, pois seu crescimento ótimo se dá em temperaturas de 20-35°C (ALDAHIR, 2012; TAN *et al.*, 2010).

A grama bermuda possui crescimento rasteiro e folhas estreitas de coloração verde quando não deficiente nutricionalmente e nem sob estresse hídrico. A maior concentração de raízes encontra-se a 0,10 a 0,15 m de profundidade, mas o sistema radicular ocupa grande área, estendendo-se a camadas mais profundas, formando uma rede de raízes logo abaixo da superfície do solo (GODOY; VILLAS BÔAS, 2003).

Esta espécie de grama pode ser reproduzida de forma vegetativa, principalmente através de tapetes, rolos, mudas e estolões ou por semente. Híbridos de grama bermuda, Tifton 419, Tifway, TifDwarf, TifEagle, Tifgreen são bastante utilizadas em campos esportivos (futebol, rúgbi, golfe, pólo, baseball) e propagadas apenas vegetativamente pelo fato de não produzirem sementes viáveis. O principal cruzamento para obtenção desses híbridos são entre as espécies *Cynodon dactylon* x *Cynodon transvaalensis* (ZHANG *et al.*, 1999; SILVA, 2008; GODOY, 2012).

Gramados do gênero *Cynodon spp.* não toleram sombra, são altamente exigentes em nutrientes, umidade e manutenção, resultando em maior número de podas. Não se desenvolvem bem em áreas de má drenagem, em solos compactados e em baixas temperaturas (GODOY *et al.*, 2012). A grama bermuda tem seu crescimento prejudicado quando submetida ao sombreamento, por isso, mesmo em maiores temperaturas, é essencial a presença da luz para o seu melhor desenvolvimento (BALDWIN *et al.*, 2009; TRAPPE *et al.*, 2011).

Em estações frias, com temperaturas mais baixas e pouca luminosidade, a grama bermuda tem o seu crescimento reduzido, podendo entrar em dormência. Neste período é comum a prática de “overseeding”, onde é semeada sobre o gramado uma espécie de grama de clima frio. No Brasil esta prática é bastante usual nas regiões sul e sudeste.

Para a Copa das Confederações 2013, Copa do Mundo 2014 e Olimpíadas 2016 a grama bermuda é a principal espécie utilizada nos gramados que sediarão as diversas modalidades de esporte.

2.2 Excesso de água no solo

Considerando o solo como um sistema, ele é dividido em três fases: sólida (mineral e orgânica), líquida (solução do solo) e gasosa (ar do solo). Uma vez que o volume de solo é constante, a parte gasosa ocupa o espaço poroso do solo à medida que o conteúdo de água não varia (AMARO FILHO *et al.*, 2008). Assim, a fase gasosa é inversamente proporcional a fase líquida.

Wesseling (1974 *apud* Vasconcelos, 2003) exprime que o excesso de água no solo interfere nas trocas gasosas, diminuindo a troca de gases entre o solo e a atmosfera externa, o que resulta em deficiência de oxigênio na zona radicular. A deficiência de oxigênio reduz a taxa de respiração dos tecidos radiculares e, como consequência, diminui a densidade radicular, aumentando a resistência das paredes celulares ao movimento de água e dos nutrientes, além de provocar formação de compostos tóxicos no solo e na planta. Costa (1994), analisando a dinâmica do lençol freático sobre o rendimento da cultura do milho, considera a falta de aeração como um dos principais fatores causadores de injúria nas plantas.

Baruch (1994); Flaresso e Saibro (1991), citados por Mattos *et al.* (2005) afirmam que o alagamento também reduz a taxa de fotossíntese e crescimento, resultando em queda da produção da parte aérea e raízes, pois parte da massa seca das plantas é constituída de carbono que é fixado pela fotossíntese (GRANDIS, 2010). Malik *et al.* (2001) observaram redução de 70 a 80% na taxa de fotossíntese do trigo em condições de saturação acima de 0,20 m de profundidade do solo. Wang e Jiang (2007) analisando cultivares de Kentucky bluegrass (*Poa*

pratensis L.) observaram uma grande variação na massa seca da parte aérea e concentração de clorofila sob estresse de inundação na superfície do solo.

É comum o problema de alagamento em áreas com elevada precipitação ou irrigação excessiva e drenagem natural lenta ou inexistente. Pouco se sabe sobre problemas de excesso de água em gramados, porém pesquisas indicam que o aumento da frequência de inundações afeta negativamente a qualidade e o crescimento do gramado em solos com problemas de aeração.

Segundo Thomson e Greenway (1991) citado por Mattos (2005), o excesso de água no solo acarreta diminuição na taxa de difusão do oxigênio (O_2), sendo este elemento importante e necessário à respiração radicular, causando hipoxia (baixa concentração de oxigênio) ou anoxia (ausência de oxigênio) no solo, limitando o crescimento e podendo causar a morte das plantas. Para Mukhatar *et al* (1996), um solo com concentração de O_2 acima de 80%, indica um sistema de solo bem oxidado.

Waddington e Baker (1965) observaram que o crescimento radicular de Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) é altamente reduzido quando a taxa de difusão de oxigênio é baixa. Baixo teor de oxigênio causado por compactação do solo diminui a massa de raiz de Kentucky bluegrass na profundidade de 0,15 a 0,20 m do solo (AGNEW; CARROW, 1985).

Os resultados para desenvolvimento das plantas a partir da disponibilidade de oxigênio são bem discutíveis, já que espécies de plantas variam em relação à distribuição das raízes e forma de absorção de oxigênio. Espécies de plantas de sistema radicular raso e fibroso são mais eficientes na absorção de oxigênio, em condições de pouca aeração, do que plantas de sistema radicular profundo (NÚÑEZ FLECHA, 2004), por isso é interessante ter mais estudos sobre problemas de alagamento em várias espécies.

Num campo esportivo o excesso de água no solo além de prejudicar o desenvolvimento da grama ocasionando muitas vezes estragos irreversíveis, trazendo prejuízos à sua manutenção, dificulta a utilização do gramado por parte dos usuários e pode causar sérios riscos de lesões e torções.

Mecanismos de tolerância ao alagamento podem ser associados com características de plantas à limitação de oxigênio, incluindo mudanças na morfologia, anatomia e metabolismo (SETTER; WATERS, 2003). Para estudos sobre excesso de água no solo é interessante conhecimentos prévios de características físicas do solo, fisiologia, morfologia de plantas.

Jiang e Wang (2006) argumentam que as respostas das plantas ao excesso de água têm sido utilizadas em solos completamente alagados, porém os danos podem ocorrer com elevação do lençol freático antes de chegar à superfície, dependendo da profundidade e da duração do estresse.

2.3 Índices de estresse por excesso de água no solo

Bouwer (1974 *apud* VASCONCELOS, 2003) afirma que o efeito da variação do lençol freático na produção de algumas culturas tem sido estudado desde 1960 e que o conceito de Stress Excess Water (SEW_p) ou estresse por excesso de água foi introduzido por Sieben (1964), onde foi estudado o somatório dos excedentes de água acima de uma profundidade P.

Para efeito de cálculo o valor de SEW pode ser obtido a partir da expressão:

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

em que:

SEW_p: somatório dos excedentes de água acima da profundidade P, em cm dia;

P: profundidade crítica do lençol freático, cm;

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

m: número de dias da estação de crescimento

Portanto, SEW₃₀ corresponde ao somatório de água acima da profundidade de 0,30 m e é utilizado para determinar os efeitos de flutuação do lençol freático sobre culturas que possuam sistemas radiculares mais rasos. Este índice é facilmente encontrado em pesquisas com as culturas do milho, trigo, beterraba, ervilha e cenoura.

Em razão da flutuação contínua do lençol freático, o SEW₃₀ pode ser mais precisamente expresso como:

$$SEW_{30} = \int_0^T f(x) dt \quad (2)$$

sendo:

$f(x) = 30 - x$; para $x < 30$;

$f(x) = 0$; para $x > 30$.

T - comprimento da estação de crescimento;

t - tempo em dias;

x - profundidade do lençol freático em cm.

Além de fornecer uma indicação sobre o tempo de permanência do lençol freático em profundidade menor que 0,30 m, o índice de estresse por excesso de água permite também a avaliação da qualidade da drenagem (OBREZA *et al.*, 1993). Entretanto, existem limitações quanto ao uso do SEW_{30} em que valores iguais de SEW obtidos a partir de diferentes níveis de drenagem podem produzir níveis de estresse iguais na cultura. Esta afirmação pode não ser verdadeira. Por exemplo, o método admite que um lençol freático mantido a 0,05 m de profundidade por um dia ($SEW_{30} = 25$ cm dia) tem o mesmo efeito de um lençol freático mantido a 0,25 m de profundidade durante cinco dias ($SEW_{30} = 25$ cm dia) (VASCONCELOS, 2003; NÚÑEZ FLECHA, 2004).

No dimensionamento de um projeto de drenagem, o tempo de rebaixamento do lençol freático é levado em consideração a partir da resistência da cultura ao excesso de água. Quanto menor for a resistência da cultura ao excesso de água mais rápido deve ser o tempo de rebaixamento do lençol freático, fazendo com que a cultura permaneça por um menor período sob condições de estresse.

Costa (2008) citando Hiler (1969) afirma que este autor idealizou o conceito do Índice Diário de Estresse (IDS) que permite determinar o grau de estresse imposto a uma cultura durante diferentes estádios de desenvolvimento. O conhecimento das respostas das culturas às elevações do lençol freático é muito importante.

Ferreira (2001) citado por Garcia *et al* (2010) observa que o IDS é um parâmetro relevante ao otimizar um sistema de irrigação e drenagem, possibilitando a avaliação do estresse pela falta ou o excesso de água imposto à cultura durante seu período de crescimento,

sendo aplicado para caracterizar as necessidades de irrigação, em áreas com problemas de déficit hídrico, bem como a necessidade de drenagem em solos com excesso de água.

O IDS para um determinado período é a soma dos produtos do fator de susceptibilidade da cultura pelo fator de estresse diário, conforme equação:

$$IDS = \sum_{i=1}^n (SC_i SD_i), \quad (3)$$

em que:

IDS: Índice diário de estresse;

n: número de estádios de crescimento da cultura;

SC_i: fator de susceptibilidade no estágio de desenvolvimento i da cultura;

SD_i: fator de estresse diário no estágio de desenvolvimento i da cultura;

O SD, sendo a medida do grau de estresse imposto sobre uma cultura, reflete a intensidade e duração do estresse. O SC, sendo a medida da suscetibilidade da cultura para uma unidade de estresse, é função da cultura e de seu estágio de desenvolvimento. O índice de estresse de excesso de água no solo SEW₃₀ é normalmente utilizado como fator de estresse diário da cultura, em estudos que envolvem o índice de estresse diário (COSTA, 2008).

O fator de suscetibilidade da cultura é determinado experimentalmente, tomando-se por base o nível crítico de estresse ao qual a cultura foi submetida, durante cada estágio de desenvolvimento fisiológico, bem como a quantificação de sua resposta à produtividade e pode ser calculado pela expressão:

$$SC = \frac{Y_0 - Y_i}{Y_0}, \quad (4)$$

sendo SC a suscetibilidade da cultura, Y₀ a produtividade da cultura sem estresse, Y_i a produtividade da cultura sob condições de estresse no estágio i.

Neste experimento utilizaram-se três estádios de desenvolvimento da cultura (Adaptado de Epstein & Bloom, 2006) :

1º Estádio - 12 dias após o plantio em sprigs até o 42º dia após o plantio, na fase de enraizamento das mudas, onde o sistema radicular está se estabelecendo.

2° Estádio – 43 dias após o plantio até o 72° dia após o plantio, na fase em que o sistema radicular da cultura tem acesso a nutrientes e água, alongando as raízes e estolões e o crescimento acima do solo se acelera.

3° Estádio – 73 dias após o plantio até o 115° dia após o plantio, fase que a grama já está estabelecida e o solo já praticamente todo coberto pela cultura. A partir desta fase, em condições ótimas de temperatura para o crescimento da grama, a taxa de crescimento é constante. Lima (2009) avaliando doses de nitrogênio com a taxa de cobertura do solo pela grama bermuda observou que aos 89 dias após o plantio, o gramado já tinha coberto 97,3% da área em estudo.

Os valores de SC variam de zero, para o estádio no qual a cultura é insensível ao estresse, até próximo de um, para os estádios em que a cultura é mais sensível ao estresse de água no solo (AHMAD; KANWAR, 1989).

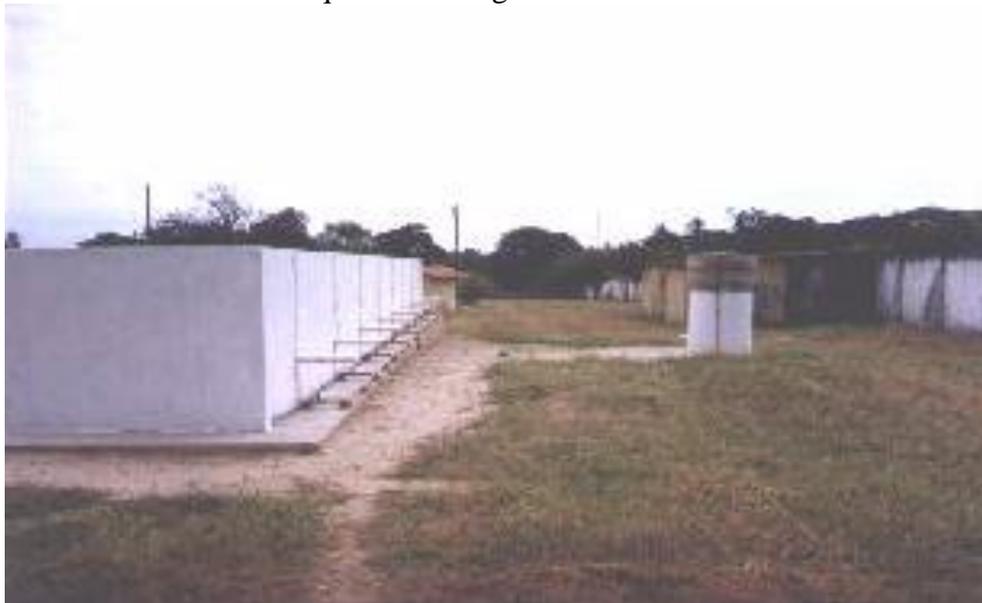
O estudo destes índices é importante tanto no dimensionamento de um projeto de drenagem quanto na obtenção de informações de sensibilidade das culturas a diferentes níveis de lençóis freáticos e diferentes estádios de crescimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Modelo físico utilizado no estudo

O modelo físico foi instalado em área do Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC). No local foram construídos oito tanques de alvenaria que medem 1,5 m de altura, 2,0 m de largura e 1,5 m de comprimento, sendo estes tanques revestidos de argamassa e internamente impermeabilizados (Figura 1).

Figura 1 - Modelo físico dos tanques de drenagem.



Na parte interna de cada tanque foi instalado um dreno tubular corrugado e flexível de PVC (DN 65) na profundidade de 1,10 m em relação à parte superior do tanque. Duas entradas de água foram colocadas junto ao fundo da parede frontal, ambas ligadas a um registro, permite o enchimento individual dos tanques.

O modelo físico possibilita uma saturação do solo por fluxo ascendente, através de um reservatório existente ao lado do mesmo. Um sistema de boia regula a altura máxima da água no reservatório de onde a mesma chega aos tanques até um nível máximo a 0,10 m da borda superior.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em elevações do lençol freático, realizadas quinzenalmente, com duração de três dias e a testemunha, ou seja:

- a) Tratamento 1: $SEW_{30} = 0$ cm, lençol ao nível dos drenos (testemunha);
- b) Tratamento 2: $SEW_{30} = 180$ cm dia (elevação do lençol freático até a profundidade de 0,20m);
- c) Tratamento 3: $SEW_{30} = 270$ cm dia (elevação do lençol freático até a profundidade de 0,15m);
- d) Tratamento 4: $SEW_{30} = 360$ cm dia (elevação do lençol freático até a profundidade de 0,10m);
- e) Tratamento 5: $SEW_{30} = 450$ cm dia (elevação do lençol freático até a profundidade de 0,05m).

Na análise de variância os tratamentos foram comparados pelo teste F, considerando-se um nível mínimo de significância de 5% de probabilidade. As comparações entre médias foram realizadas pelo teste de Tukey em níveis de 5% e 1% de probabilidade.

3.3 Instalação do experimento

Na parte externa de cada tanque instalou-se na parede frontal um piezômetro constituído de uma mangueira plástica transparente (Figura 2), acoplada à entrada de água próximo ao registro, que permite verificar e controlar o nível do lençol freático.

O piezômetro se prolonga até a altura em que se deseja manter o lençol freático, sendo possível este acompanhamento pelo princípio de vasos comunicantes. No ponto de descarga dos drenos adaptou-se um hidrômetro com um registro que permite rebaixar o nível do lençol freático, quando necessário (Figura 2).

Figura 2 - Piezômetro e hidrômetro.



3.4 Caracterização do substrato

O substrato utilizado nos tanques de drenagem era uma mistura de areia e matéria orgânica. A matéria orgânica utilizada de nome comercial Turfa Fértil é vendida como um condicionador de solo e fabricado no estado de Santa Catarina.

Segundo o modelo recomendado pela United States Golf Association (USGA, 2004), para construção de “greens” de campo de golfe (Figura 3), a areia para mistura foi coletada no município de São Luís do Curu – CE (84 km da cidade de Fortaleza – CE) e analisada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Segundo o modelo USGA, a areia deve ter no mínimo 60% das partículas com tamanho entre 0,25mm e 1,0mm, argila não mais que 3%, porosidade total 35 a 55% e condutividade hidráulica de no mínimo 150 mm h^{-1} . Os resultados das análises da areia estão apresentados nas Tabelas 1,2 3.

Tabela 1 – Atributos físicos da areia utilizada na composição do substrato colocado nos tanques de drenagem (Fortaleza, CE, 2013).

Propriedades físicas do solo arenoso – São Luís do Curu / CE	
Condutividade hidráulica	450 mm h ⁻¹
Porosidade total	45 %
Densidade do solo	1480 kg m ⁻³
Argila dispersa em água	0,7 %

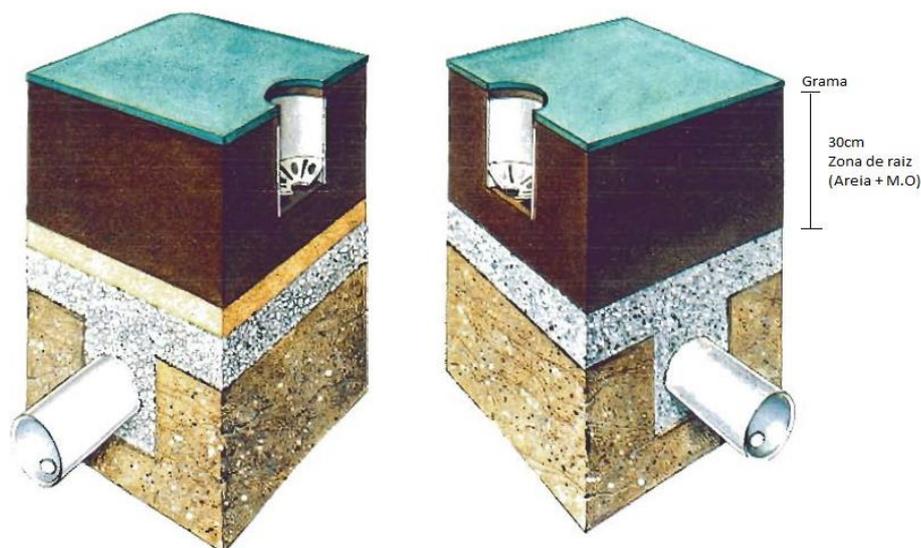
Tabela 2 – Granulometria e classe textural da areia utilizada na composição do substrato colocado nos tanques de drenagem (Fortaleza, CE, 2013).

Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação textural
94,67	4,13	1,2	Arenoso

Tabela 3 - Tamanho de partícula e classificação da areia utilizada na composição do substrato colocado nos tanques de drenagem (Fortaleza, CE, 2013).

Tamanho da partícula (mm)	Porcentagem		Classificação
	retida individual (%)	retida acumulada (%)	
2,0	0	0	Cascalho
1,0	3,05	3,05	Areia muito grossa
0,5	18,31	21,36	Areia grossa
0,25	39,97	61,33	Areia média
0,125	31,19	92,52	Areia fina
0,05	7,48	100	Areia muito fina

Figura 3 – Sistema de drenagem conforme especificações da USGA.



3.5 Etapas de campo

Na zona de raízes (0 a 0,30 m da superfície), a areia foi misturada a um composto orgânico (Turfa fértil), que segundo o fabricante é livre de patógenos e sementes de plantas invasoras, na proporção de 90% de areia e 10% de matéria orgânica. Em seguida foi realizado o plantio da grama bermuda em forma de estolões.

O plantio ocorreu no dia 22 de março de 2013. As mudas foram pesadas e plantadas na proporção de $1,0 \text{ kg m}^{-2}$, sendo os estolões espalhados na área e, em seguida, levemente compactados e enterrados para aumentar o contato com o solo. As mudas foram irrigadas frequentemente com auxílio de uma mangueira até o início do enraizamento. Para a condução do experimento foram necessários três meses, iniciando no dia 03 de abril de 2013.

Em relação ao SEW, a cada quinze dias o lençol freático era mantido em uma posição, conforme os diferentes tratamentos, durante três dias, e depois rebaixado até o nível do dreno (1,10 m). No tratamento testemunha não havia elevação do lençol freático, mantendo-o sempre no mesmo nível (dreno). Em outros três tanques, o lençol freático foi mantido à superfície do solo durante quatro dias em intervalos de 30 dias com o objetivo de determinar o coeficiente de susceptibilidade da cultura em diferentes estádios de desenvolvimento.

1° Estádio – 12 aos 42 dias após o plantio.

2° Estádio – 43 aos 73 dias após o plantio.

3° Estádio – 73 aos 115 dias após o plantio.

As datas das elevações do lençol freático e condução do experimento estão na Tabela 4. As adubações foram realizadas com adubo NPK de formulação 15-09-20, quinzenalmente, a partir do dia 13 de abril de 2013 com aplicação manual na quantidade de 200 kg ha⁻¹, seguindo as recomendações de 50 a 75 kg ha⁻¹ de N (MATEUS, 2011) citando (DEPUTY, 2000) e relação N:K 1:1,5 (TAPIA, 2003) citado por Mateus (2011). Após a aplicação do fertilizante o gramado era irrigado e o controle de plantas invasoras era realizado de forma manual sempre que necessário.

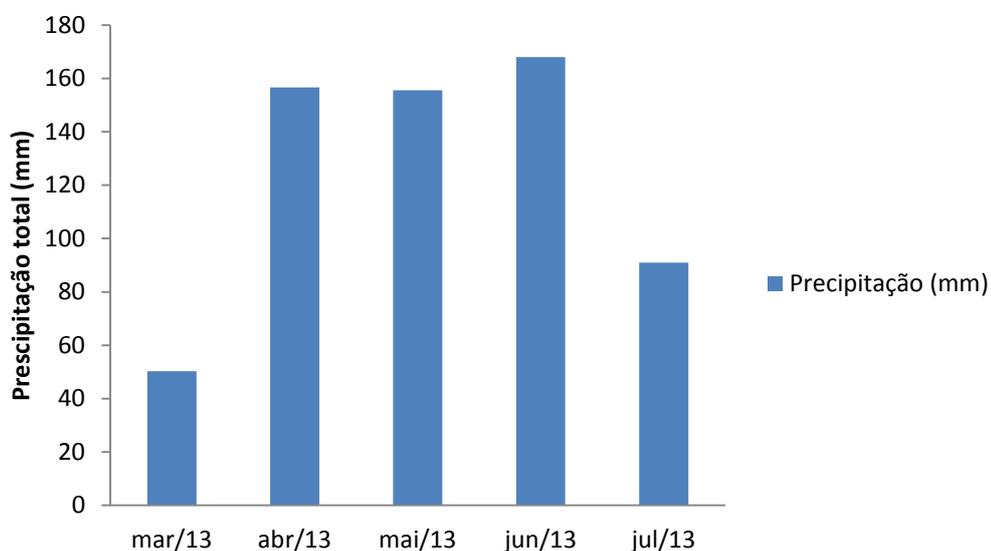
Tabela 4 - Elevações do lençol freático durante a condução do experimento (Fortaleza, Ceará, 2013).

Níveis lençol freático (cm)	SEW ₃₀ (cm dia)	Datas elevações	Datas CS*
5	450	19 – 21/04	I (19 – 22/04)
10	360	06 – 08/05	II (19 – 22/05)
15	270	23 – 25/05	III (19 – 22/06)
20	180	09 – 11/06	
		26 – 28/06	
		13 – 15/07	

* CS – Coeficiente de susceptibilidade ao excesso de água.

Os dados de precipitação pluvial e temperatura na região durante a instalação e condução do experimento, março de 2013 a julho de 2013, foram obtidos a partir da estação meteorológica instalada nas dependências da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, e apresentados na Figura 4. As temperaturas variaram entre mínima média de 22,5 °C e máxima média de 31,8 °C neste período e a precipitação total no período foi de 590 mm.

Figura 4 - Precipitação pluviométrica no município de Fortaleza (CE), durante o período de março a julho de 2013.



3.6 Variáveis analisadas

As variáveis utilizadas para estudar os tratamentos foram: comprimento de raiz, taxa de fotossíntese, massa da matéria seca de raízes, rizomas, colmos e folhas e massa da matéria seca das “aparás” de grama.

3.6.1 Comprimento de raiz

Para verificar o comprimento de raiz foram coletados quatro “plugs”, um por repetição, com tamanho de 100 cm² e profundidade de 20 cm. Retirava-se o solo aderido nas raízes e com auxílio de uma trena graduada media-se o comprimento das raízes.

3.6.2 Taxa de fotossíntese

Para medição da taxa fotossintética foi utilizado um medidor de trocas gasosas, IRGA (LICOR 6400XT, Licor, USA) (Figura 5). As medições foram realizadas entre nove e 11h da manhã utilizando fonte de luz artificial de radiação de $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Foram realizadas leituras de fotossíntese em dias que o lençol freático estava elevado, bem como em dia que o lençol freático estava rebaixado.

Figura 5 - Aparelho IRGA (LICOR 6400XT, Licor, USA), utilizado para medir a taxa de fotossíntese.



3.6.3 Massa da matéria seca de raízes, estolões, rizomas, colmos e folhas

Após a medição das raízes, os “plugs” foram separados em raízes + estolões + rizomas e folhas + colmos (Figura 5). Com auxílio de uma balança de precisão foi verificado o peso fresco e em seguida o material foi acondicionado em sacos de papel e levado para estufa de circulação e renovação de ar forçada a 65°C por 72 horas e depois pesado para determinação da massa da matéria seca.

Figura 6 - Material separado para determinação da massa da matéria seca de raízes, estolões, rizomas, folhas e colmos.



Raízes + estolões + rizomas



Folhas + colmos

3.6.4 Massa seca das aparas de grama

Com auxílio de um cortador de grama (Figura 7) que possuía coletor acoplado, realizou-se a roçada do gramado na parcela útil, com 0,10 m de bordadura, sendo o material coletado, separado em sacos e pesado para determinação da massa fresca. De cada material coletado foram retiradas subamostras, acondicionadas em sacos de papel, pesadas e secas em estufa de circulação e renovação de ar forçada a 65°C por 72 horas. Após esse período o material foi pesado novamente para determinação da massa da matéria seca e a umidade, sendo calculado em seguida a quantidade de matéria seca total coletada na parcela e posteriormente transformado para Mg ha^{-1} .

Figura 7 - Cortador de grama utilizado na área experimental.



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comprimento de raiz

A Tabela 5 contém os resultados referentes ao comprimento de raiz. Os quadros contendo análise de variância, teste F e análise de regressão encontram-se nos apêndices A e B, respectivamente.

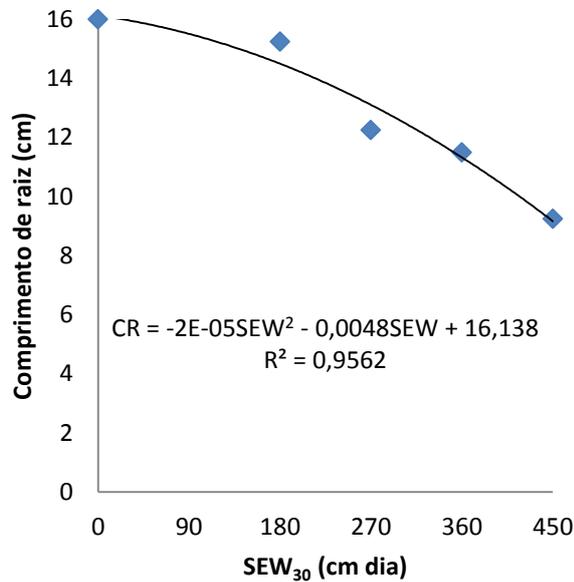
O comprimento de raiz variou de 9,25 cm no tratamento 5, com maior estresse causado pelo excesso de água (0,05 m da superfície) a 16,00 cm para o tratamento 1 (testemunha), onde o lençol freático esteve mantido sempre ao nível dos drenos (1,10 m). É possível observar que à medida que houve incremento no estresse causado pelo excesso de água próximo a superfície, o comprimento de raiz foi reduzido (Figura 8), diminuindo também a capacidade da planta em explorar e aproveitar maior quantidade de solo e nutrientes. O comprimento de raiz apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Estes resultados corroboram com Carribeiro (2010), em trabalho com grama esmeralda, citando O'Neil e Carrow (1982) e Romero e Dukes (2009), em que afirmam que ao se aplicar água com frequência, reduzindo o conteúdo de ar no solo, cria-se então um ambiente desfavorável ao crescimento de raízes. Desta forma o acúmulo de água, seja por dificuldade de drenagem ou irrigações excessivas, pode provocar o desenvolvimento de um sistema radicular raso, resultando em menor comprimento das raízes.

Jiang e Wang (2006) atribuem a redução no teor de carboidratos, a partir do aumento do estresse causado pelo excesso de água, o fato de ser um dos principais fatores para diminuição do crescimento das raízes.

Epstein e Bloom (2006) citando Fraser, Silk e Rost (1990), exprimem que o estresse hídrico reduz as taxas de alongamento de células na base da região de alongamento, levando à diminuição na região de crescimento e decréscimo nos tamanhos finais das células, resultando em menor comprimento do sistema radicular.

Um campo esportivo com o sistema radicular raso oferece diversos problemas: grama soltando com facilidade, o que prejudica o andamento de uma partida, além de perigo aos usuários, devido os riscos de lesões e/ou torções.

Figura 8 - Comprimento de raiz da grama bermuda em função dos tratamentos SEW₃₀**Tabela 5** - Comprimento médio de raiz (cm) da grama bermuda aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.

Tratamento	Médias	5%	1%
1	16,00	a	A
2	15,25	ab	A
3	12,25	bc	AB
4	11,50	c	AB
5	9,25	c	B

4.2 Taxa de fotossíntese

4.2.1 Taxa de fotossíntese com lençol freático rebaixado

Os resultados para taxa de fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) sem a presença do lençol freático, ou seja, no período em que todos os tratamentos estavam no nível do dreno é apresentado na Tabela 6. A taxa de fotossíntese com o lençol freático rebaixado não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Estes resultados demonstram que a taxa fotossintética foi pouco alterada quando os tratamentos estavam em condições semelhantes com relação ao nível do lençol freático e também fatores extrínsecos que influenciam os valores da taxa de fotossíntese: temperatura, intensidade luminosa e concentração de CO₂.

Tabela 6 - Taxa de fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) da grama bermuda verificada em condição de lençol freático rebaixado (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.

Tratamento	Taxa de fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	5%	1%
1	6,98	a	A
3	6,86	a	A
5	6,57	a	A
4	6,0	a	A
2	5,05	a	A

4.2.2 Taxa de fotossíntese com lençol freático elevado

Os resultados da taxa fotossintética com elevação do lençol freático nos dias programados são apresentados na Tabela 7. Verifica-se que a elevação do lençol freático influenciou nos resultados, sendo a taxa de fotossíntese reduzida à medida que o nível de água aproximava-se da superfície.

O comportamento da taxa de fotossíntese em função dos níveis de SEW₃₀ pode ser visualizado na Figura 9. O tratamento 1, com nível do lençol freático mantido na altura do dreno, diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Já entre os tratamentos 3, 4 e 5 não houve diferenças estatística significativa. A taxa de fotossíntese foi reduzida em 64% ao se comparar o tratamento sem estresse com o tratamento com maior nível de estresse.

Tabela 7 - Taxa de fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) da grama bermuda sob condições de lençol freático elevado (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.

Tratamento	Taxa de Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	5%	1%
1	5,80	a	A
2	3,94	ab	AB
3	2,62	b	B
5	2,59	b	B
4	2,07	b	B

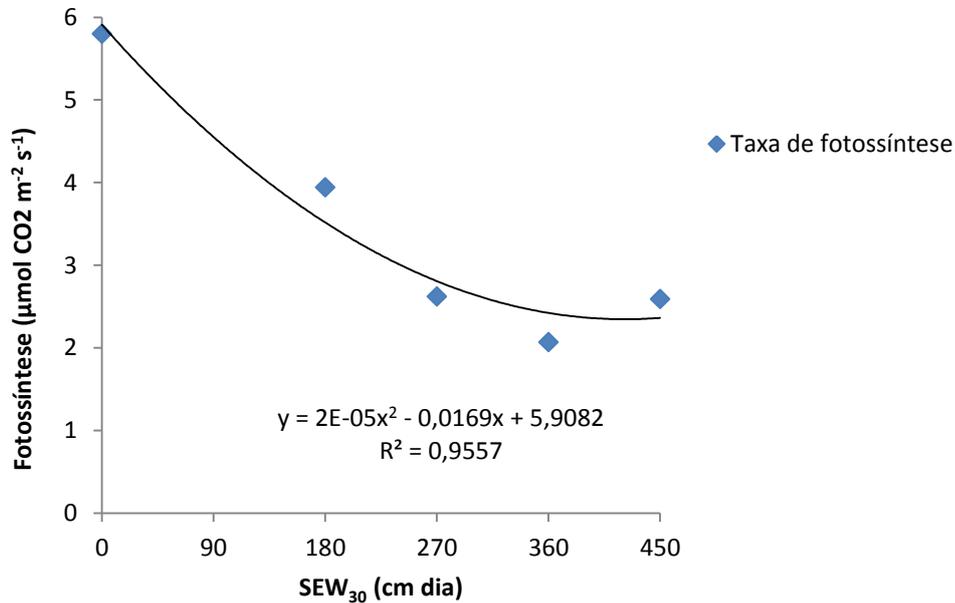
Mattos *et al.* (2005) observaram que o excesso de água reduz a taxa de fotossíntese e crescimento, resultando em queda da produção de biomassa. Grandis (2010) afirma que grande parte da massa da matéria seca das plantas é constituída de carbono que é fixado pela fotossíntese, desta forma a redução na taxa fotossintética irá contribuir negativamente na produção de raízes, rizomas, estolões, colmos, folhas e conseqüentemente diminui o aproveitamento da cultura aos nutrientes, oxigênio, luz solar, formando uma planta frágil e propensa ao ataque de pragas e doenças.

Outro fator que interfere na taxa fotossintética é a clorofila e foi possível notar visualmente nas plantas que sofreram maior estresse hídrico, perda da coloração originalmente verde, mostrando um tom mais amarelado e, conseqüentemente, menor taxa de fotossíntese.

A molécula de clorofila tem a capacidade única de converter energia solar em energia química (fotossíntese). Nesse processo, a energia da luz é usada pelas plantas na síntese de carboidratos e, segundo Jiang e Wang (2006), o estresse hídrico ocasiona redução da síntese de carboidrato e clorofila fazendo com que a planta diminua o seu desenvolvimento e perca sua cor original.

Os quadros contendo análise de variância, teste F e análise de regressão para taxa de fotossíntese com lençol freático rebaixado e com lençol freático elevado são apresentados nos apêndices C, D, E e F, respectivamente.

Figura 9 - Taxa de fotossíntese da grama bermuda em função dos níveis de SEW₃₀.



4.3 Massa da matéria seca de raízes, rizomas, estolões, colmos e folhas

Os resultados de massa da matéria seca de raízes, rizomas e estolões (Ra + Ri + E) não apresentaram diferenças significativas de acordo com os tratamentos propostos (Tabela 8). Os quadros contendo análise de variância, teste F e análise de regressão encontram-se nos apêndices G e H, respectivamente.

Na coleta do material visualizou-se que, embora não ocorra alongamento do sistema radicular quando aumenta o estresse, existe acúmulo maior de raízes próximo à superfície, o que, provavelmente, seja um fator de sobrevivência para condições adversas.

Estes resultados demonstram que a grama em condições de estresse procurou desenvolver mecanismos de defesa para garantir sua sobrevivência em condições adversas, produzindo maior quantidade de órgãos importantes para o seu estabelecimento.

Jiang e Wang (2006), pesquisando sobre o efeito do excesso de água na grama creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera* L.) não observaram diferenças significativas na massa seca das raízes quando compararam os tratamentos em diferentes níveis de alagamento.

No tratamento com o nível do lençol freático mantido na altura do dreno, a massa de matéria seca de raízes, rizomas e estolões foi de 8,48 Mg ha⁻¹, valor acima do máximo obtido por Lima (2009), que foi de 6,57 Mg ha⁻¹. Ainda conforme o mesmo autor, citando

Christians (1998), afirma que raízes, rizomas e estolões em produção de grama são as partes da planta mais importantes, por proporcionarem melhor estrutura e resistência do tapete para ser manuseado após a colheita.

Em gramados esportivos, é comum a prática de cortes verticais leves e agressivos para desbaste e limpeza de material seco e renovação do gramado, retirando excesso de estolões, que pode diminuir a jogabilidade do campo.

Tabela 8 – Massa da matéria seca das raízes, rizomas e estolões (Mg ha^{-1}) de grama bermuda aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.

Tratamento	Massa da matéria seca de raízes, rizomas e estolões (Mg ha^{-1})	5%	1%
1	8,48	a	A
5	6,68	a	A
4	6,52	a	A
3	5,52	a	A
2	5,00	a	A

A Tabela 9 contém os resultados de massa da matéria seca dos colmos e folhas (C + F). Os quadros contendo análise de variância, teste F e análise de regressão encontram-se nos apêndices I e J. O tratamento 1, com o lençol o freático mantido no nível do dreno diferiu estatisticamente dos tratamentos 4, 5, 3 e 2, havendo redução de 65, 67, 70 e 75% respectivamente, na massa da matéria seca (C + F).

As folhas são órgãos das plantas que desenvolveram a capacidade de captar a luz e trocar gases com a atmosfera para realizar a fotossíntese e respiração. A fotossíntese ocorre nos cloroplastos, que nas gramíneas é encontrado principalmente nos colmos e folhas.

No que diz respeito à redução na taxa de fotossíntese, os valores associados às variáveis massa da matéria seca de raízes, rizomas e estolões e massa da matéria seca de colmos e folhas na presença do lençol freático elevado foram reduzidas.

Tabela 9 – Massa da matéria seca de colmos e folhas (Mg ha^{-1}) de grama bermuda aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si. Teste de Tukey a 5% e 1% de probabilidade.

Tratamento	Massa da matéria seca de folhas e colmos (Mg ha^{-1})	5%	1%
1	6,70	a	A
4	2,32	b	B
5	2,21	b	B
3	1,96	b	B
2	1,67	b	B

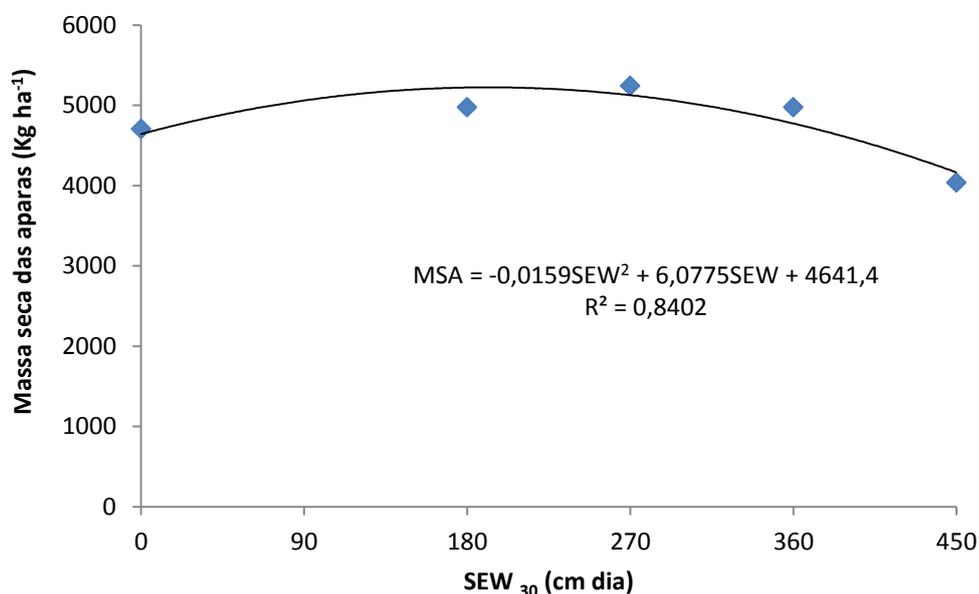
4.4 Massa da matéria seca das aparas de grama

Na Tabela 10 verifica-se a massa de matéria seca das aparas de grama bermuda (Mg ha^{-1}) nos diferentes tratamentos. Observa-se acréscimo seguido de uma redução na quantidade de aparas recolhidas demonstrando interferência negativa do excesso de água na produção de biomassa (Figura 10).

Tabela 10 – Massa da matéria seca das aparas de grama bermuda aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013).

SEW ₃₀	Massa seca das aparas
----- Tratamentos -----	----- Mg ha^{-1} -----
1	4,7
2	5,0
3	5,2
4	5,0
5	4,0

Figura 10 - Produção de massa seca das aparas de grama bermuda em função dos níveis de SEW₃₀



Além da redução na massa da matéria seca das aparas também foi notável que a grama bermuda ficou esteticamente fragilizada e perdeu coloração verde, ficando a planta mais amarelada, principalmente nos tratamentos de maior estresse causado pelo excesso de água no solo.

Quando a grama está em condições de estresse hídrico seja pela falta ou excesso de água, comumente o gramado perde a coloração, fato este associado, principalmente, à perda de clorofila, que é a substância relacionada com a cor verde das plantas.

O comprimento de raízes no tratamento 3 foi de 12,25 cm, assim, o lençol freático a 0,15 m, não chegou a comprometer o crescimento e desenvolvimento da parte aérea da grama, resultando na maior quantidade de material coletado, mesmo não diferindo estatisticamente.

Com práticas de manutenção diferentes das fazendas de produção de grama, em manutenção de gramados esportivos nem sempre o crescimento excessivo de grama é bem vindo.

Lima (2009) verificando a influência de doses de nitrogênio na massa da matéria seca das aparas da grama bermuda, observou valor máximo de 5567 kg ha⁻¹ e cita Quiroga-Garza et al. (2001), informando que o crescimento acelerado resulta em maiores custos de manutenção, já que são necessários mais cortes. O valor máximo estimado para

produção da massa seca das aparas foi de 5222,21 kg ha⁻¹, correspondente a um valor de SEW₃₀ igual a 191,11 cm dia.

Em campos de golfe e futebol, dependendo das condições de uso e manutenção, chega-se a cortar o gramado todos os dias, valendo ressaltar que a perda de nutrientes também ocorre pelo corte das aparas de grama, fato que acarreta em mais adubações e maior gasto de combustível nas máquinas que executam o corte.

Há a necessidade de se manter a grama verde e em crescimento, mas sem que a quantidade de operações de manutenção, principalmente adubações, cortes e aplicações de defensivos, tragam prejuízos financeiros e ecológicos aos produtores e/ou gerentes de campo.

4.5 Fator de susceptibilidade da cultura (SC)

Na análise do fator de susceptibilidade da cultura, utilizou-se como variável de referência a massa da matéria seca das aparas de grama, tendo em vista que quanto maior o crescimento da cultura, maior será a quantidade de aparas recolhidas e, portanto sua produtividade.

Na Tabela 11 são apresentados os valores de massa da matéria seca das aparas de grama no tratamento testemunha e nos tratamentos com estresse em três diferentes estádios de desenvolvimento.

Tabela 11 – Massa da matéria seca das aparas de grama bermuda no tratamento sem estresse (testemunha) e com estresse em três estádios de desenvolvimento, aos 105 dias após o plantio (Fortaleza, CE, 2013).

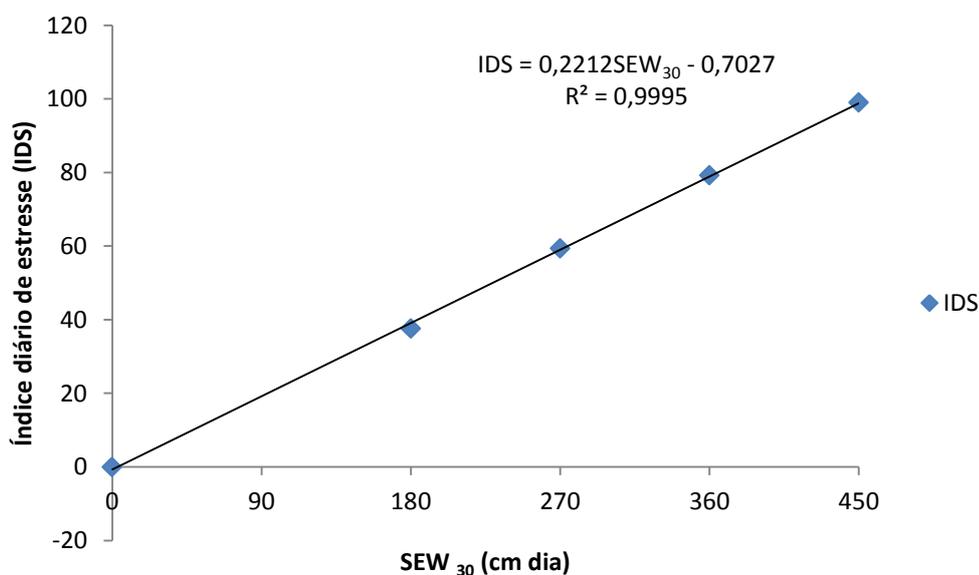
SEW ₃₀	Massa seca aparas
----- Tratamentos -----	----- kg ha ⁻¹ -----
Testemunha	4.704,36
1° Estádio	3.262,23
2° Estádio	3.887,28
3° Estádio	3.805,88

O fator de susceptibilidade da cultura para cada estágio de crescimento foi determinado em função da quantidade de massa da matéria seca das aparas, tanto sem nível de estresse (testemunha), quanto no estresse ocasionado nos diferentes estágios de desenvolvimento, utilizando-se a equação 3. Os valores obtidos foram: $SC_1 = 0,306$; $SC_2 = 0,174$; $SC_3 = 0,191$, demonstrando que a cultura se mostrou mais sensível no primeiro estágio.

Com base no valor da média ponderada do índice SC, de 0,22 e nos valores de SEW_{30} para cada um dos tratamentos, calcularam-se os valores para o índice diário de estresse (IDS), os quais corresponderam a: 0; 37,6 cm dia; 59,4 cm dia; 79,2 cm dia e 99,0 cm dia, para os valores de SEW_{30} de 0 cm dia; 180 cm dia; 270 cm dia; 360 cm dia; 450 cm dia, respectivamente.

A relação funcional entre o índice diário de estresse (IDS) e a soma do excesso de água (SEW) apresentou comportamento linear com correlação positiva entre as variáveis (Figura 11), sugerindo incremento de 0,22 cm dia no índice diário de estresse para cada incremento de 1,0 cm dia na soma do excesso de água.

Figura 11 - Índice diário de estresse (IDS) na grama bermuda em função dos níveis de SEW_{30}



5. CONCLUSÕES

Os valores associados às variáveis analisadas demonstraram decréscimo com o incremento no nível de estresse por excesso de água, sendo que a variável massa da matéria seca de colmos e folhas, além da taxa fotossintética em presença de lençol freático, nesta ordem, foram as mais sensíveis às condições de excesso de água.

A cultura da grama bermuda mostrou-se mais sensível ao excesso de água no primeiro estágio, se comparado ao segundo e terceiro estágios de desenvolvimento. Assim, o estabelecimento desta cultura em nível de campo deve ser programado em período que não ocorra grande precipitação pluviométrica nos primeiros trinta dias após o plantio.

A taxa fotossintética no tratamento com maior nível de estresse, lençol freático a 0,05 m da superfície do solo, decresceu em torno de $2/3$ do valor para a condição de ausência do lençol freático, o que acarretou coloração não adequada à grama, demonstrando as consequências do nível de aeração inadequado no sistema radicular da cultura.

REFERÊNCIAS

- AGNEW, M. L.; CARROW, R. N. Soil compaction and moisture stress preconditioning in kentucky bluegrass. I. soil aeration, water use, and root responses. **Agronomy Journal**. v. 77 n. 6, p. 872-878, 1985.
- AHMAD, N.; KANWAR, R. S. Crop susceptibility factors of corn and their effect on estresse-day index. **Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)**. vol. 32, n 6, p. 1979-1986, 1989.
- ALDAHIR, P. C. F. Composição e uso de campos esportivos. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 6., 2012, Botucatu. **Anais...** Botucatu – Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, 2012.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA. **Física do solo: conceitos e aplicações**. 290p. 2008
- BALDWIN, C.M.; LIU, H; MACCARTY, L. B; LUO, H; TOLER, J. E. Nitrogen and plant growth regulator influence on ‘Champion’ bermudagrass putting green under reduced sunlight. **Agronomy Journal**, USA, v.101, p. 75-81, 2009.
- CARRIBEIRO, L.S. **Potencial de água no solo e níveis de compactação para o cultivo de grama esmeralda**. 2010. 79f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, 2010.
- COSTA, R.N.T. **Espaçamento econômico de drenos laterais e a dinâmica do lençol freático sobre o rendimento da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1994. 88f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- COSTA, R.N.T. Índices de estresse de excesso de água no solo. **Apostila de Drenagem**. 2008.
- COSTA, R. N. T.; ARAÚJO, D. F.; SANTOS, M. D. S.; NASCIMENTO FILHO, A. A.; MEDEIROS, A. T. Avaliação do sistema de drenagem do Estádio Castelão, CE. In **II Workshop internacional de inovações tecnológicas na irrigação, 2008**, Fortaleza.
- EPSTEIN, Emanuel.; BLOOM, Arnold J. **Nutrição de plantas: princípios e perspectivas**. Trad. Maria Edna Tenório nunes, 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 401 p.
- GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; FIGUEIREDO, W. S. C.; SANTOS, D. B. Fator de susceptibilidade e produtividade da ervilha para diferentes alturas de lençol freático. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.5, n 2: p. 265-271, 2010.

GRANDIS, A. **Respostas fotossintéticas e de crescimento da espécie amazônica *Senna reticulata* sob elevada concentração de CO₂**. 2010. 126f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de botânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GODOY, L. J. G et al. **Nutrição, adubação e calagem para produção de gramas**. 2012, 146p.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L. Nutrição de gramados. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 1., 2003, Botucatu. **Anais...** Botucatu – Faculdade de Ciências Agrômicas, UNESP, 2003.

GREENLEAF GRAMADOS. **Artigos / informativos**. Disponível em: <http://www.greenleafgramados.com.br/novosite/artigo07_10mandamentos.asp>. Acesso em: 03 jul. 2012.

GUIA DE PREPARAÇÃO DE GRAMADOS. In: **Seminário de preparação de gramados das sedes Copa 2014**, 2011, 27p.

HERRMANN, P. S. P.; ANDRADE, M. G.; COLNAGO, L. A.; SILVEIRA, P. M. Equipamento para medida da taxa de difusão de oxigênio e potencial de oxirredução no solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.32. n°07, p: 725-730, 1997.

JIANG, Y.; WANG, K. Growth, physiological, and anatomical responses of creeping bentgrass cultivars to different depths of waterlogging. **Crop Science**. v. 46: p.2420–2426, 2006.

LETEY, J.; STOLZY, L.H. Measurement of oxygen difusion rates with the platinum microelectrode: correlation of plant response lo soil oxygen difusion rate. **Hilgardia**. v.35, n.20, p: 567-576, 1964.

LIMA, C. P. **Nutrição, produção e qualidade de tapetes de grama bermuda e esmeralda influenciados pela adubação nitrogenada**. 2009. 139f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

MALIK, A. I.; COLMER, T. D.; LAMBERS, H.; SCHORTEMAYER, M. Changes in physiological and morphological traits of roots and shoots of wheat in response to different depths of waterlogging. **Australian Journal of Plant Physiology**. v.28: p.1121–1131, 2001.

MATEUS, C. M. D. **Exportação de nutriente pela grama bermuda ‘Tifdwarf’ utilizada em greens de campos de golfe**. 2011. 72f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2011.

MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria* sob alagamento em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 34, n. 3, p. 765-773, 2005.

MUKHTAR S.; BAKER J. L.; KANWAR R. S. Effect of short-term flooding and drainage on soil oxygenation. **Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)**. vol. 39, n° 3, pp. 915-920, 1996.

NASCIMENTO FILHO, A.A. **Desempenho de envoltórios em drenos tubulares para gramados esportivos**. 2009. 42f. Monografia (Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

NÚÑEZ FLECHA, P. A. **Sensibilidade das culturas da batata e da alface ao excesso de água no solo**. 2004. 68f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

OBREZA, T.A.; YAMATAKI, H.; PEARLSTINE, L.G. Classification of land suitability for citrus production using Drainmod. **Journal of Soil and Water Conservation**. v.48, no1: p. 58-64, 1993.

SETTER, T.L.; WATERS, I. Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. **Plant Soil**. v. 253: p.1–34, 2003.

SILVA, C. M. K. **Morfofisiologia de gramas ornamentais e esportivas: Aspectos anatômicos, morfológicos e de manejo**. 2008. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2008.

TAN, S.; ZHU, M.; ZHANG, Q. Physiological responses of bermudagrass (*Cynodon dactylon*) to submergence. **Acta Physiol Plant**. v. 32:p.133–140, 2010.

TRAPPE, J. M.; KARCHER, D. E; RICHARDSON, M. D; PATTON, A. J. Shade and traffic tolerance varies for bermudagrass and zoysiagrass cultivars. **Crop Science**, USA, v.51, p. 870-877, 2011.

VASCONCELOS, J. P. **Efeitos do Excesso de água no solo sobre os componentes de produção da Beterraba**. 2003. 55f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

WADDINGTON, D.V.; BAKER J.H. Baker. 1965. Influence of soil aeration on the growth and chemical composition of three grass species. **Agronomy Journal**. 57:253–258, 1965.

WANG, K.; JIANG Y. Waterlogging tolerance of kentucky bluegrass cultivars. **HortScience**, 42: 386-390, 2007.

ZHANG, L. H.; . Differentiation of bermudagrasses (*Cynodon* spp.) genotypes by AFLP analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, v.98, p.895-902, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F PARA A VARIÁVEL COMPRIMENTO DE RAIZ

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
LF	4	123,3000000	30,8250000	10,6908	0,00045
Resíduo	15	43,2500000	2,8833333		
Total	19	166,5500000			
Média Geral =	12,850000	CV = 13,214%			

APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO POLINOMIAL PARA A VARIÁVEL COMPRIMENTO DE RAIZ

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
Regressão linear	1	4,1108108	4,1108108	1,42571	0,24994
Regressão quadrática	1	72,4528122	72,4528122	25,12814	0,00031
Desvio de regressão	2	46,7363770	23,3681885	8,10457	0,00437
Resíduo	15	43,2500000	2,8833333		

APÊNDICE C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TAXA DE FOTOSSÍNTESE COM LENÇOL FREÁTICO REBAIXADO

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
LF	4	10,0836956	2,5209239	1,6547	0,21206
Resíduo	15	22,8529827	1,5235322		
Total	19	32,9366783			
Média Geral =	6,296000	CV = 19,605%			

APÊNDICE D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO POLINOMIAL PARA A VARIÁVEL TAXA DE FOTOSSÍNTESE COM LENÇOL FREÁTICO REBAIXADO

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
Regressão linear	1	6,2881534	6,2881534	4,12735	0,05774
Regressão quadrática	1	0,6059189	0,6059189	0,39771	0,54397
Desvio de regressão	2	3,1896113	1,5948056	1,04678	0,37690
Resíduo	15	22,8529827	1,5235322		

APÊNDICE E – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TAXA DE FOTOSSÍNTESE COM LENÇOL FREÁTICO ELEVADO

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
LF	4	36,2387899	9,0596975	7,0905	0,00238
Resíduo	15	19,1658672	1,2777245		
Total	19	55,4046570			
Média Geral =	3,406500	CV = 33,183%			

APÊNDICE F – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO POLINOMIAL PARA A VARIÁVEL TAXA DE FOTOSSÍNTESE COM LENÇOL FREÁTICO ELEVADO

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
Regressão linear	1	2,6885723	2,6885723	2,10419	0,16472
Regressão quadrática	1	28,5654573	28,5654573	22,35651	0,00046
Desvio de regressão	2	4,9847540	2,4923770	1,95064	0,17544
Resíduo	15	19,1658672	1,2777245		

APÊNDICE G – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MASSA SECA DAS RAÍZES, RIZOMAS E ESTOLÕES

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
LF	4	28,6210138	7,1552535	1,7469	0,19170
Resíduo	15	43,2500000	4,0958561		
Total	19	166,5500000			
Média Geral =	6,443500	CV = 31,409%			

APÊNDICE H – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO POLINOMIAL PARA A VARIÁVEL MASSA SECA DAS RAÍZES, RIZOMAS E ESTOLÕES

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
Regressão linear	1	24,7319954	24,7319954	6,03830	0,02533
Regressão quadrática	1	2,5971131	2,5971131	0,63408	0,55628
Desvio de regressão	2	1,2918838	0,6459419	0,15771	0,85573
Resíduo	15	61,4378414	4,0958561		

APÊNDICE I – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MASSA SECA DE COLMOS E FOLHAS

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
LF	4	70,4744159	17,6186040	11,3601	0,00036
Resíduo	15	23,2638045	1,5509203		
Total	19	93,7382204			
Média Geral =	2,977000	CV = 41,833%			

APÊNDICE J – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO POLINOMIAL PARA A VARIÁVEL MASSA SECA DE COLMOS E FOLHAS

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
Regressão linear	1	36,3644321	36,3644321	23,44700	0,00039
Regressão quadrática	1	21,3074555	21,3074555	13,73859	0,00239
Desvio de regressão	2	12,8025297	6,4012649	4,12740	0,03651
Resíduo	15	23,2638045	1,5509203		