



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA MAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI**



TOLERÂNCIA DE SEIS ACESSOS DE *BRACHIARIA* SPP. AO ALAGAMENTO

LUANA PABLA DE SOUZA CAETANO

BELÉM - PA

2006



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA MAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI**



TOLERÂNCIA DE SEIS ACESSOS DE *BRACHIARIA* SPP. AO ALAGAMENTO

LUANA PABLA DE SOUZA CAETANO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), como parte das exigências do Curso de Mestrado em Botânica Tropical, para obtenção do título de **Mestre**.

Orientador: Prof. Dr. Moacyr B. Dias-Filho

Belém-Pará

2006

Caetano, Luana Pabla de Souza

Tolerância de seis acessos de *Brachiaria* SPP. ao alongamento/ Luana Pabla de Souza Caetano. ; orientado por Moacyr B. Dias-Filho -- Belém, 2006.

58f. : il.

Dissertação de mestrado em Botânica com área de concentração em Botânica Tropical pela Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi.

1. *Brachiaria brizantha* – Alongamento foliar. 2. *Brachiaria ruziziensis*. I. Título. II. Dias-Filho, Moacir B., Orient.

CDD 581



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA MAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI



TOLERÂNCIA DE SEIS ACESSOS DE *BRACHIARIA* SPP. AO ALAGAMENTO

LUANA PABLA DE SOUZA CAETANO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), como parte das exigências do Curso de Mestrado em Botânica Tropical, para obtenção do título de **Mestre**.

Aprovado em 27 de abril de 2006.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Moacyr B. Dias-Filho
(Orientador)
Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará.

Dr. Antônio Pedro Souza-Filho
(1º examinador)
Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará.

Dr. Ari Pinheiro-Camarão
(2º examinador)
Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará.

Dr. Benedito Gomes dos Santos Filho
(3º examinador)
Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará.

Dr. Jonas Bastos da Veiga
Suplente
Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará.

À DEUS, pela vida.

Aos meus pais, **VANILDE GONÇALVES DE SOUZA** e **MANUEL OLIVEIRA PEREIRA CAETANO** pela dedicação e incentivo durante toda a minha vida;

Ao meu filho **LUANN RICARDO CAETANO DE SOUZA** por sua existência;

Às minhas irmãs **CÍNTIA FABIANA DE SOUZA CAETANO** e **ANA PABLA DE SOUZA CAETANO** pelo carinho e amizade;

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida concedida, por todas as oportunidades, pelas dificuldades e pelo aprendizado;

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) pelo fornecimento de informações relevantes ao aperfeiçoamento dos meus conhecimentos;

Ao meu orientador, Dr. Moacyr B. Dias Filho, pela orientação, amizade, incentivo, paciência e dedicação;

Ao coordenador do curso de Mestrado, Prof. Dr. João Ubiratan Moreira dos Santos, pelo apoio para conclusão deste curso. E à secretária do curso, Dagmar Mariano, pela amizade e disponibilidade em seus atendimentos;

A todo corpo docente do curso de Mestrado por não medirem esforços em repassar seus conhecimentos aos alunos;

Ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado;

Ao Dr. Benedito Gomes dos Santos Filho, professor da Universidade Federal Rural da Amazônia, pela revisão da dissertação;

Ao Dr. José Edmar Urano de Carvalho, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, por disponibilizar as dependências do Laboratório de Propagação de Plantas, para a realização do presente estudo;

Às amigas Rita de Cássia Pereira dos Santos e Ana Thais Souza de Leão pelo apoio incondicional, amizade, fraternidade e parceria durante toda esta jornada. E também a Priscila Figueiredo, Vanessa Calandrini, Hellen Nunes e Natasha Lorena, que também fizeram parte da minha história;

Aos amigos da turma de Mestrado em Botânica: Luiz Alberto, Cíntia Soares, Waldemiro Jr, Érika Moraes, Fernando Peçanha, Stone Costa, Breno Rayol, Ana Paula, Sanae Rayashi, Luís Augusto, Neire Ferreira, Marília Fernandes, Holf Jr e Silvana Rocha pelo companheirismo e pela convivência amistosa;

Àquelas pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“As pessoas que vencem neste mundo são as que procuram as circunstâncias de que precisam e, quando não as encontram, as criam”.

George Bernard Shaw

SUMÁRIO

	P.
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 RESPOSTAS AO ALAGAMENTO OU ENCHARCAMENTO DO SOLO.....	17
2.2 TOLERÂNCIA DE PLANTAS AO ALAGAMENTO OU ENCHARCAMENTO DO SOLO.....	18
2.3 SÍNDROME DA MORTE DO CAPIM-MARANDU.....	20
3 METODOLOGIA	23
3.1 LOCAL.....	23
3.2 ACESSOS UTILIZADOS.....	23
3.3 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO.....	23
3.4 TAXA DE ALONGAMENTO FOLIAR.....	24
3.5 PRODUÇÃO DE MASSA SECA, ANÁLISES DE CRESCIMENTO E ALOCAÇÃO DE BIOMASSA.....	24
3.6 FOTOSSÍNTESE E TROCAS GASOSAS.....	24
3.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	25
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	25
3.8.1 Análise de variância.....	25
3.8.2 Análise multivariada	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 TAXA DE ALONGAMENTO FOLIAR.....	27

4.2	PRODUÇÃO DE BIOMASSA.....	29
4.2.1	Massa Seca de Folhas (MSF).....	29
4.2.2	Massa Seca de Colmos (MSC).....	30
4.2.3	Massa Seca de Raízes (MSR).....	31
4.2.4	Massa Seca Total (MST).....	32
4.2.5	Taxa de Crescimento Relativo (TCR).....	33
4.2.6	Número Médio de Perfilhos (n).....	34
4.3	ALOCAÇÃO DE BIOMASSA.....	35
4.4	TROCAS GASOSAS.....	38
4.4.1	Fotossíntese Líquida e Condutância Estomática.....	38
4.4.2	Transpiração.....	42
4.5	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A TOLERÂNCIA.....	43
5	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	48
	APÊNDICE.....	53

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Taxa de alongamento foliar (TAF) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (símbolo aberto, linha sólida) e alagado (símbolo fechado, linhas tracejada). Os valores são média + erro padrão. 28
- Figura 2. Massa seca de folha (MSF) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão. 29
- Figura 3. Massa seca do colmo (MSC) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão. 31
- Figura 4. Massa seca de raiz (MSR) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (1) e BRA004391 (cv. Arapoty) (2), BRA 003824 (4), BRA 003891 (5), BRA001911 (6) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão. 32
- Figura 5. Massa seca total (MST) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão. 33
- Figura 6. Taxa de crescimento relativo (TCR) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão. 34
- Figura 7. Número médio de perfilhos (n), por planta, dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão. 35

- Figura 8. Fotossíntese líquida dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão. 40
- Figura 9. Condutância estomática dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão. 40
- Figura 10. Transpiração dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão. 43
- Figura 11. Acessos de *Brachiaria* spp. plotados contra os dois primeiros fatores gerados por uma análise de fatores (factor analysis). 45
- Figura 12. Desempenho de seis acessos de *Brachiaria* spp. sob alagamento do solo. Iniciando na posição de “12 horas” e no sentido horário, cada raio representa as seguintes variáveis: taxa de alongamento foliar, biomassa foliar, biomassa radicular, biomassa total, taxa de crescimento relativo, número médio de perfilhos, taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração. Quanto maior a distância observada entre o centro do gráfico e o fim do raio melhor o desempenho. 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Razão de massa foliar (RMF, kg kg^{-1}), razão de massa do colmo (RMC, kg kg^{-1}) e razão de massa radicular (RMR, kg kg^{-1}) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã), BRA004391 (cv. Arapoty), BRA 003824, BRA 003891, BRA001911 e BRA000591 (cv. Marandu), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão.

TOLERÂNCIA DE SEIS ACESSOS DE *BRACHIARIA* SPP. AO ALAGAMENTO

RESUMO

Algumas respostas morfológicas e fisiológicas de cinco acessos de *Brachiaria brizantha* BRA000591 (cultivar Marandu), BRA002844 (cultivar Piatã), BRA004391 (cultivar Arapoty), BRA003824, BRA003891 e um acesso de *Brachiaria ruziziensis* BRA001911 foram comparados em plantas cultivadas em vasos, sob alagamento e solo bem drenado, durante cinco dias. O alagamento do solo reduziu a taxa de alongamento foliar de todos os acessos testados. Sob alagamento, houve queda na produção de biomassa de folhas em todos os acessos avaliados, com exceção do cv. Piatã. A produção de raízes foi reduzida pelo alagamento do solo no cv. Marandu e em BRA001911, enquanto que o alagamento diminuiu o percentual de biomassa alocado para as raízes apenas no acesso BRA001911. Para nenhum dos acessos testados foi possível detectar diferenças entre tratamentos controle e alagado na alocação de biomassa para colmos e folhas. O alagamento diminuiu o número médio de perfilhos no cv. Marandu, em BRA003824, BRA003891 e em BRA001911. Sob alagamento do solo, a taxa de crescimento relativo foi diminuída no cv. Marandu, em BRA003824 e em BRA001911. Com exceção do cultivar Arapoty, o alagamento reduziu a fotossíntese líquida, a condutância estomática e a transpiração de todos os acessos estudados. Os seis acessos avaliados diferiram na tolerância relativa ao alagamento do solo. O cv. Arapoty foi o relativamente mais tolerante. O acesso BRA001911 foi o menos tolerante, seguido pelo cv. Marandu. Os acessos BRA003824, BRA003891 e o cv. Piatã foram considerados como de tolerância intermediária.

Palavras-chave: alongamento foliar; fotossíntese; alocação de biomassa; taxa de crescimento relativo.

TOLERANCE TO FLOODING OF SIX *BRACHIARIA* SPP. ACCESSIONS

ABSTRACT

Some morphologic and physiological responses of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BRA000591), BRA002844 (cv. Piatã), BRA004391 (cv. Arapoty), BRA003824, BRA003891 and *B. ruziziensis* BRA001911 were compared in plants grown in pots, under flooded and well-drained conditions, during five days. Flooding reduced leaf elongation rate in all the studied accessions. Under flooding leaf dry matter production was lower in all evaluated accessions, but in cv. Piatã. Root dry matter production was reduced by flooding in cv. Marandu and in BRA001911, while biomass allocated to roots was reduced by flooding only in BRA001911. It was not possible to detect differences between treatments in the percentage of biomass allocated to culms and leaves in any of the accessions. Flooding decreased the mean number of tillers in cv. Marandu, in BRA003824, BRA003891 and in BRA001911. Under flooding, relative growth rate was decreased in cv. Marandu, in BRA003824 and BRA001911. Flooding reduced net photosynthesis, stomatal conductance and transpiration of all the studied accessions, with exception of cv. Arapoty. The six accessions tested differed in their relative tolerance to flooding. Cultivar Arapoty was the relatively most tolerant. BRA001911 was the most sensitive, followed by cv. Marandu. BRA003824, BRA003891 and cv. Piatã were classified as intermediate in flooding tolerance.

Key-words: leaf elongation rate, photosynthesis, biomass allocation, relative growth rate, waterlogging.

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que 6% da superfície terrestre são ocupados por áreas alagadas ou sujeitas ao alagamento temporário (MALTBY, 1990). Nesses locais, a difusão de gases da atmosfera até o solo é fortemente afetada (ARMSTRONG et al. 1994). No Brasil, os ecossistemas inundáveis, ao contrário do que se imagina, ocorrem com frequência em várias regiões, representando grande entrave ao estabelecimento e à persistência de pastagens cultivadas (HADDADE et al., 2002). Na Amazônia, existem estimativas indicando que até 10 milhões de hectares são áreas de pastagens inundadas. No Pantanal matogrossense, a maior parte de seus quatro milhões de hectares é utilizado como pastagem em áreas sujeitas ao alagamento na época das cheias (HADDAD et al, 2000).

Em pastagens, o alagamento (formação de lâmina de água) ou o encharcamento (saturação com água) do solo podem ser causados por períodos chuvosos intensos, drenagem deficiente do solo e elevação sazonal do nível de rios e do lençol freático. Por outro lado, mesmo em locais onde o excesso de água no solo não seja naturalmente esperado, práticas passadas ou vigentes de manejo podem tornar a área suscetível a ocorrência desse estresse (DIAS-FILHO, 2005a). Exemplos típicos dessa condição seriam certas áreas de pastagem nas quais o pisoteio do gado, o trânsito de máquinas, ou o impacto da chuva no solo descoberto, podem comprometer a sua capacidade natural de drenagem, devido à compactação, tornando-a suscetível à ocorrência de períodos mais intensos e frequentes de alagamento ou encharcamento (DIAS-FILHO, 2005a).

Em pastagens tropicais, o alagamento ou o encharcamento temporário do solo podem ser mais comuns, pois, geralmente, se encontram em áreas marginais, que não são totalmente apropriadas para a agricultura (DIAS-FILHO, 1998). Essas pastagens normalmente estão sujeitas ao alagamento temporário ou ao encharcamento durante a estação chuvosa, período em que as atividades fisiológicas são muito mais intensas na planta. Tal fato pode intensificar os efeitos nocivos do alagamento do solo nas plantas mais sensíveis, além de prejudicar o desenvolvimento de condições (e.g., construção de sistema radicular mais vigoroso) pela planta que garantiriam maior tolerância a estresses adicionais, durante a estação seca subsequente, como o déficit hídrico ou o superpastejo. Assim, o conhecimento da resposta dos capins tropicais ao alagamento ou encharcamento do solo é importante para determinar aqueles que têm potencial de uso em locais sujeitos a esse estresse (DIAS-FILHO, 2005a).

A anoxia ou a hipoxia sofrida pelo sistema radicular em plantas sob excesso de água no solo provoca queda imediata na respiração das raízes, tanto em plantas tolerantes como nas plantas sensíveis (revisado por LIAO & LIN, 2001). Tal condição causa inibição da atividade metabólica e, conseqüentemente, da produção de ATP. A queda na produção de ATP restringe o suprimento de energia para o crescimento das raízes, reduzindo o desenvolvimento geral da planta (revisado por DIAS-FILHO, 2005a).

Embora o alagamento ou o encharcamento temporário do solo sejam fatores limitantes para atividade pecuária, poucas pesquisas têm sido publicadas sobre o grau de tolerância de gramíneas forrageiras tropicais e os mecanismos envolvidos nas respostas dessas plantas a esses estresses (BARUCH, 1994a; 1994b; DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000; DIAS-FILHO, 2002; HADDADE et al, 2002). Segundo Dias-Filho (2005a), essa situação implica que o conhecimento sobre a tolerância de capins tropicais ao alagamento ou encharcamento do solo seja baseado em informações empíricas, sem confirmação experimental.

Este estudo teve como objetivo: determinar a tolerância de acessos de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo; determinar as respostas fisiológicas e morfológicas de acessos de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo e subsidiar, com informações, o Programa Nacional de Lançamento de Cultivares de Forrageiras da Embrapa.

Na formulação da hipótese postulou-se que: acessos de gramíneas forrageiras, mesmo quando pertencentes à mesma espécie, demonstram tolerância diferenciada ao excesso de água no solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRINCIPAIS RESPOSTAS AO ALAGAMENTO OU ENCHARCAMENTO DO SOLO

Sob alagamento do solo, a respiração aeróbica das plantas e microorganismos reduz rapidamente a concentração de oxigênio na solução do solo, levando à formação de ambiente hipóxico (pouco oxigênio) ou anóxico (sem oxigênio), culminando com o desaparecimento da vegetação sensível a essa condição (CRAWFORD & BRÄENDLE, 1996).

Com o encharcamento do solo há substituição da fase gasosa (ar) pela fase líquida. Como consequência, aparecem três fatores secundários de estresse que são a deficiência de O_2 , o excesso de CO_2 e o excesso de etileno (RODRIGUES et al., 1993). A deficiência de O_2 leva à diminuição da taxa de respiração aeróbica, o que, por sua vez, provoca acúmulo de toxinas metabólicas como o metano, o ferro reduzido e gás sulfídrico (PIRES et al., 2002). Na presença de O_2 , o piruvato, que é produto final da glicólise, é convertido à CO_2 e água, mas, na sua ausência, os produtos finais são o etanol, aldeídos e ácidos orgânicos, como o ácido láctico (RODRIGUES et al., 1993).

Quando a respiração aeróbica cessa nas raízes, os níveis de energia caem rapidamente, reduzindo a absorção e transporte de íons (KOZLOWSKI, 1997). Assim, o alagamento ou encharcamento do solo pode causar redução imediata nas trocas gasosas entre a planta e o meio ambiente (ARMSTRONG et al., 1994; LIAO & LIN, 2001). Além disso, sistemas radiculares privados de oxigênio são pouco eficientes em suprir nutrientes minerais para si mesmos e para a parte aérea (LIAO & LIN, 2001).

Certas gramíneas podem sobreviver muitas semanas em solo alagado, desde que parte das folhas esteja acima da superfície da água (BEARD & MARTIN, 1967, citado por HADDAD et al., 2000). Segundo Madsen (1993), quando a parte aérea da planta está submersa, além dos problemas quanto à difusão e concentração de oxigênio presente no ambiente, há também a restrição do CO_2 , diminuindo, assim, o metabolismo respiratório e fotossintético da planta, afetando grandemente o desenvolvimento vegetal.

As espécies sensíveis ao estresse de inundação desenvolvem sintomas, os quais resultam, principalmente, de distúrbios causados pela hipoxia ou anoxia nas raízes. Os mais comuns são a abscisão de folhas, flores e frutos, clorose nas folhas, redução no comprimento das raízes, redução no crescimento em altura, inibição da formação de primórdios foliares,

redução na expansão foliar e até mesmo morte das plantas (ARMSTRONG et al., 1994; KOZLOWSKI, 1997).

O murchamento é geralmente o primeiro sintoma que aparece em plantas sujeitas à inundação (LEVITT, 1980, citado por HADDAD et al., 2000). O fechamento dos estômatos ocorre depois de pouco tempo e em várias espécies pode-se observar a epinastia. Dependendo da espécie, em poucos dias, as folhas tornam-se cloróticas, senescem e morrem. Além disso, ocorre distúrbio do metabolismo do nitrogênio e desbalanço hormonal, podendo ocorrer formação de raízes adventícias em partes do caule acima da superfície da água. A falta de O₂ reduz o crescimento da parte aérea e das raízes, provoca escurecimento dos ápices radiculares e alteração das organelas celulares (RODRIGUES et al., 1993). A maior parte dessas modificações é desencadeada pela elevação nos teores de etileno interno, quando da inundação (JACKSON, 1985).

Pires et al. (2002) estudando as adaptações morfo-fisiológicas da soja em solo inundado, observaram que os principais efeitos da inundação do solo foram verificados nas raízes das plantas, onde ocorreu a morte da raiz principal e o crescimento de raízes adventícias. Também detectaram a redução dos teores de nutrientes nas folhas, a epinastia foliar, a formação de rachaduras no caule na região submersa e hipertrofia, além de uma região esponjosa na base do caule.

2.2 TOLERÂNCIA DE PLANTAS AO ALAGAMENTO OU ENCHARCAMENTO DO SOLO

Os mecanismos de tolerância das plantas ao alagamento do solo baseiam-se em uma série de características e estratégias adaptativas que melhoram a troca de gases e mantêm a produção de energia pela planta (ARMSTRONG et al., 1994). As espécies mais adaptadas geralmente evitam a hipoxia, desenvolvendo um eficiente sistema de transporte e difusão de O₂ da parte aérea às raízes submersas (ISHIDA et al., 2002).

A capacidade das espécies de se mostrarem tolerantes e adaptadas a períodos de encharcamento do solo ou mesmo inundação pode ser atribuída a mecanismos de adaptação morfológicos e anatômicos, tais como lenticelas hipertrofiadas, raízes superficiais, raízes adventícias, aerênquimas e crescimento caulinar (ARMSTRONG et al., 1994; KOZLOWSKI, 1997) e pneumatóforos em espécies de mangue (CALBO et al., 1998). Nas gramíneas, muitas

dessas características ocorrem tanto em espécies com forma de crescimento do tipo cespitoso como naquelas do tipo estolonífero (ISHIDA et al., 2002).

Em plantas de mangue é comum a ocorrência de órgãos especializados no transporte de oxigênio para as raízes. Estas estruturas denominadas pneumatóforos são raízes com geotropismo negativo cuja morfologia e anatomia facilitam o transporte de O₂ (CALBO et al., 1998). Pesquisas realizadas com a espécie de mangue *Avicennia marina* mostraram que a condutância nos pneumatóforos, para a difusão do ar, é suficiente para a oxigenação das raízes e que o aerênquima contido nas raízes funciona como um reservatório de oxigênio suficiente para manter as condições aeróbicas (CURRAN et al., 1986).

Além de adaptações morfo-anatômicas, a habilidade da planta em desenvolver-se em solo alagado ou encharcado pode ser determinada pela eficiência com que essa planta ajusta seu comportamento morfofisiológico, em resposta a esse ambiente, visando a maior eficiência na aquisição de carbono (DIAS-FILHO, 2005a). A natureza dessas respostas pode variar grandemente entre espécies, ou mesmo dentro da mesma espécie (diferentes ecótipos), de acordo com a capacidade de aclimação (plasticidade) em função da intensidade do estresse (DIAS-FILHO, 2005a).

As plantas mais adaptadas a hipoxia ou anoxia modificam a maioria de suas funções fisiológicas: taxa fotossintética, condutância estomática, taxa de transpiração (CHAPIN III et al., 1993; KOZLOWSKI, 1997), taxa de renovação foliar, taxa de crescimento relativo, para manter suas atividades vitais (CHAPIN III et al., 1993). A estratégia assumida por essas plantas consiste ainda de adaptações específicas para cada condição de estresse.

A diminuição na taxa de fotossíntese tem sido observada em plantas herbáceas e na maioria das plantas arbóreas (CALBO et al., 1998). Esta redução tem sido atribuída à diminuição da condutância estomática (BARUCH, 1994a; DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000; DIAS-FILHO, 2002). Em outras espécies existem indicações de que o estresse de inundação pode afetar diretamente a fotossíntese, independentemente da condutância estomática, como foi observado em tomateiro *Lycopersicon esculentum* (BRADFORD, 1983). A transpiração também é reduzida em função do menor número de raízes adventícias, pêlos radiculares e disfunção na absorção e condução pelas raízes (BARUCH & MÉRIDA, 1995).

O fechamento estomático aumenta a possibilidade de sobrevivência da planta, pois reduz a demanda de água e nutrientes para a raiz e, ainda, a absorção de nutrientes principalmente tóxicos (JACKSON, 1994). Porém, em algumas espécies de ambiente úmido o

fechamento estomático não ocorre (JACKSON & DREW, 1984), como é o caso do *Pinus silvestris* (ZAERR, 1983), onde não se observaram diferenças significativas na taxa de fotossíntese entre plantas inundadas e controle. Respostas semelhantes foram detectadas nas espécies *Nyssa aquática* e *Cephalanthus occidentalis*, as quais são muito adaptadas ao estresse de inundação (MCLEOD et al., 1987).

Em gramíneas, o aumento da taxa de alongamento foliar serve como indicador visual de crescimento e desenvolvimento da planta e pode variar intraespecificamente, sendo muito importante devido ao crescimento acelerado das folhas (BARUCH, 1994b; DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000; DIAS-FILHO, 2002). A imediata redução nesta taxa pode ser usada para detectar, precocemente, plantas sensíveis ao alagamento (DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000).

A produção de biomassa na planta é resultante praticamente da fotossíntese, portanto, sob alagamento, a taxa de crescimento relativo (TCR) também é reduzida. O alagamento do solo reduz a alocação de biomassa para o sistema radicular e para a parte aérea (YAMAMOTO et al, 1995; DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000), alterando a relação raiz: parte aérea. Essa resposta pôde ser observada em três espécies de *Brachiaria*, nas quais o alagamento do solo promoveu a alocação de biomassa principalmente para o colmo (DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000; DIAS-FILHO, 2002).

Uma das maiores preocupações com relação à adaptação de plantas forrageiras a ecossistemas inundáveis é o número de dias em que o solo pode permanecer alagado, sem causar sérios danos às plantas (HADDADE et al., 2000). A capacidade das plantas tolerarem baixos índices de oxigênio é variável com a espécie e varia desde o milho, que não sobrevive por mais de 72 h quando suas raízes estão em anoxia (SACHS et al., 1980, citado por MORAES et al., 2001 a; 2001b), até aquelas que são capazes de germinar, crescer e permanecerem viáveis por várias semanas sob o estresse, como algumas espécies de gênero *Echinochloa*, *Oryza sativa* L. e *Acorus calamus* L. (revisado por MORAES et al., 2001a; 2001b), dentre outras.

2.3 SÍNDROME DA MORTE DO CAPIM-MARANDU

A partir de 1994, começou a ser observado o murchamento, seguido da morte em pequenas áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, nos Estados do Acre e

Rondônia. Em 1998, verificou-se a mortalidade de extensas áreas, de forma contínua e irreversível em diversos locais da região Centro-Oeste e Norte (TEIXEIRA NETO et al., 2000; VALENTIM et al., 2000). Ao conjunto de fatores que causaram essas alterações nas pastagens denominou-se síndrome do murchamento e morte de pastagens de capim-marandu (TEIXEIRA NETO et al., 2000; VALENTIM et al., 2000; DIAS-FILHO, 2005a; DIAS-FILHO & ANDRADE, 2005).

O início do processo da morte das pastagens pode ser observado durante o período chuvoso, principalmente em áreas de baixa permeabilidade (VALENTIM et al., 2000). O encharcamento do solo submete as plantas a condições de estresse e favorece a proliferação de microorganismos que se tornam prejudiciais (DIAS-FILHO & ANDRADE, 2005; DIAS-FILHO, 2006). Inicialmente, pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental sugeriram que causas fisiológicas, entomológicas e fitopatológicas, atuando em conjunto, estariam causando este problema (TEIXEIRA NETO et al., 2000). Como causas fisiológicas, foram inicialmente sugeridas o estresse hídrico (falta ou excesso de água no solo), o estresse nutricional e o estresse de manejo. Dentre as causas fisiológicas, o excesso de água no solo foi apontado como o fator de maior importância, onde, isoladamente, pode levar o capim-marandu à morte, ou tornar essa gramínea mais suscetível a quaisquer estresses subsequentes (TEIXEIRA NETO et al., 2000). Conforme descrito em Dias-Filho (2006), atualmente, acredita-se que o problema da síndrome da morte do capim-marandu seja um reflexo da baixa tolerância desse capim a condições persistentes de encharcamento do solo, e a alterações morfofisiológicas sofridas pela planta sob esse estresse. Assim, seria possível inferir que o excesso de água no solo atuaria como fator de predisposição para a instalação do problema da síndrome da morte nessa cultivar (DIAS-FILHO, 2006). Plantas afetadas pelo excesso hídrico seriam, possivelmente, mais suscetíveis a danos causados por infecções de patógenos ou outros agentes bióticos, além de, naturalmente, terem a produtividade bastante diminuída por esse estresse (DIAS-FILHO, 2006).

Segundo Teixeira Neto et al. (2000), os 60 milhões de hectares de pastagens de capim-marandu existentes no Brasil encontram-se sob séria ameaça e a sua substituição implicaria em grandes prejuízos. A morte de pastagens de *B. brizantha* causa perdas econômicas, devido à redução da capacidade de suporte das pastagens e da produção animal (carne e leite) por hectare (VALENTIM et al., 2000). Além disso, essa síndrome também contribui para migração de produtores para novas áreas de floresta ou periferia das cidades, isso porque o

custo de recuperação e renovação de pastagens pode ser até três vezes maior que o custo de desmatamento de novas áreas de floresta (VALENTIM et al., 2000; DIAS-FILHO, 2005b).

Pelo menos 50% das áreas de pastagens existentes no Acre estão localizadas em áreas de médio a alto risco, devido à baixa permeabilidade do solo, se a gramínea estabelecida nestas áreas for *B. brizantha* (VALENTIM et al., 2000). A baixa adaptação dessa gramínea ao excesso de água no solo (DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000) desencadearia o problema da síndrome da morte das pastagens, como vem ocorrendo no Estado do Acre, causando a degradação de milhares de hectares de pastagens (VALENTIM et. al, 2000; DIAS-FILHO & ANDRADE, 2005).

Atualmente, recomenda-se a diversificação das pastagens com plantio, nas áreas de risco, de gramíneas forrageiras mais tolerantes a solos com drenagem deficiente (VALENTIM et al. 2004; DIAS-FILHO, 2005b; DIAS-FILHO & ANDRADE, 2005) em substituição aos extensos monocultivos de capim-marandu, que podem representar alto risco aos sistemas de produção atualmente praticados em grande parte do Brasil (DIAS-FILHO, 2006).

A necessidade da diversificação de pastagens, associado ao problema da síndrome da morte de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu ligado a sua relativamente alta suscetibilidade ao encharcamento do solo, levaram que a avaliação da tolerância ao alagamento do solo de novos acessos de gramíneas forrageiras fosse incorporada ao programa nacional de lançamento de novos cultivares de gramíneas forrageiras, liderado pela Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS. O presente estudo, portanto, faz parte desse programa.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL

O trabalho foi conduzido em telado, com cobertura de sombrite, com interceptação de cerca de 50% da luz solar direta ($\sim 1050 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ao meio dia), na Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pa ($01^\circ 24' 59''$ S), durante o período de 16/09/05 a 24/10/05. Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar no local do experimento foram $27,5^\circ \text{C}$ e 71%.

3.2 ACESSOS UTILIZADOS

Identidade	Espécie	Nome popular
BRA002844	<i>Brachiaria brizantha</i>	Cultivar Piatã
BRA004391	<i>Brachiaria brizantha</i>	Cultivar Arapoty
BRA003824	<i>Brachiaria brizantha</i>	B163
BRA003891	<i>Brachiaria brizantha</i>	B166
BRA000591	<i>Brachiaria brizantha</i>	Cultivar Marandu
BRA001911	<i>Brachiaria ruziziensis</i>	R124

3.3 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO

Sementes de cinco acessos de *Brachiaria brizantha* BRA000591 (cultivar Marandu), BRA002844 (cultivar Piatã), BRA004391 (cultivar Arapoty), BRA003824, BRA003891 e um acesso de *Brachiaria ruziziensis* BRA001911 fornecidas pela Embrapa Gado de Corte (Campo Grande, MS) foram germinadas em terriço. Após a germinação, as mudas foram transplantadas individualmente, para vasos com 2 kg de solo (3:2; terra preta e cama de aviário). Todos os vasos foram irrigados diariamente até a imposição do alagamento. Sete dias após o transplante, cada vaso recebeu 10 ml de solução nutritiva (15% N, 30% P_2O_5 , K_2O , 0,02% B, 0,07% Cu, 0,15% Fe, 0,05% Mn, 0,0005% Mo e 0,006% Zn; 10g L^{-1}), aplicados a 1 cm do coleto. Essa adubação foi repetida, aos 10 e 14 dias após o transplante. Dezesete dias após o transplante, as plantas foram adubadas com solução de 40 ppm de P ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) kg^{-1} de solo, aplicando-se 5 ml vaso⁻¹. No dia seguinte, realizou-se a adubação nitrogenada equivalente a 50 ppm de N (Uréia, 45% N), aplicando-se 5 ml vaso⁻¹. O alagamento foi imposto 30 dias após a germinação (20 dias após o transplante), colocando-se

os vasos do tratamento alagado em recipientes plásticos sem dreno e manutenção de lâmina d'água a 3 cm acima do nível do solo, durante cinco dias. As plantas do tratamento controle foram mantidas em vasos com drenos e eram irrigadas diariamente, próximo à capacidade de campo.

3.4 TAXA DE ALONGAMENTO FOLIAR

Diariamente, aproximadamente no mesmo horário (9 às 10h), foi medido o comprimento de lâminas de uma folha jovem, em expansão, a qual era marcada com um anel plástico colorido para identificação. Após a expansão da folha (aparecimento da lígula), uma nova folha em expansão era escolhida e marcada para medição. A taxa de alongamento foliar (TAF) foi calculada com base na diferença entre os comprimentos das lâminas de dois dias consecutivos. Mediu-se uma folha por planta.

3.5 PRODUÇÃO DE MASSA SECA, ANÁLISES DE CRESCIMENTO E ALOCAÇÃO DE BIOMASSA

Ao final do experimento, as plantas foram separadas em folhas, colmo (incluindo bainha) e raízes. As raízes foram lavadas manualmente, sob peneira de malha de 4mm, com jato de água fraco para retirada do solo. Em seguida todo material vegetal foi colocado individualmente em sacos de papel, devidamente identificados e secados em estufa de circulação forçada de ar a 65° C, durante 48 horas. Pesou-se o material para cálculo da massa seca da folha, do colmo, da raiz e total de cada planta. A partir desses dados, foram calculadas as razões de massa foliar (RMF), do colmo (RMC) e radicular (RMR) pela divisão da massa seca de cada órgão pela massa seca total da planta. A taxa de crescimento relativo (TCR) foi calculada pela mudança na massa seca total pela massa seca total da planta por dia. Todos os parâmetros de crescimento foram calculados de acordo com Hunt (1990) e Hunt et al. (2002).

3.6 FOTOSSÍNTESE E TROCAS GASOSAS

A fotossíntese líquida, condutância estomática ao vapor de água e transpiração foram medidos com um sistema fotossintético portátil (LI-6400, Li-cor, inc., Lincoln, NE, EUA). As medições foram realizadas no 2º e 4º dias após a imposição do tratamento em uma folha

jovem e completamente expandida de cada planta. As datas das avaliações foram determinadas em função de ensaios anteriores, que encontraram o período de dois até quatro dias, após o início do alagamento, como o mais apropriado para detectar o efeito desse estresse em gramíneas forrageiras em ambiente semi-controlado. Os parâmetros de troca gasosa foram calculados com base na área foliar. As medições de fotossíntese líquida e condutância estomática foram realizadas no período de 9 às 12 da manhã, utilizando luz artificial vermelha ($1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) acoplada a câmara de fotossíntese.

3.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As parcelas foram arrançadas em esquema fatorial 6×2 , envolvendo seis acessos de *Brachiaria* spp. e dois níveis de água no solo (capacidade de campo e lâmina d'água de 3 cm acima do solo). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais.

3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

3.8.1 Análise de variância

Utilizou-se cinco indivíduos para medida de crescimento e alocação de biomassa e quatro indivíduos para taxa de alongamento foliar e trocas gasosas. Diferenças em todas as variáveis foram testadas por análise de variância (ANOVA) com tratamentos e acessos como principais fatores. Foram realizadas análises de contraste de médias entre os tratamentos para cada acesso.

O pacote estatístico STATISTICA for Windows versões 5.5 e 6.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, EUA) foi usado para análise dos dados e confecção dos gráficos.

3.8.2 Análise multivariada

Visando classificar conjuntamente os acessos quanto à tolerância ao alagamento, procedeu-se uma análise de fatores (Factor Analysis), empregando-se o método de componentes principais para de extração de fatores. Utilizou-se como variáveis os valores

médios de redução percentual entre plantas controle e alagadas para a maioria das variáveis avaliadas (i.e., taxa de alongamento foliar, biomassa foliar, biomassa radicular, biomassa total, taxa de crescimento relativo, número médio de perfilho, taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração). Este resultado foi representado em um gráfico bidimensional dos dois primeiros fatores resultantes da análise.

As similaridades (e dissimilaridades) entre os acessos e o desempenho médio relativo destes para cada variável foram representados, graficamente, utilizando-se técnica multivariada (gráfico de raios). Individualmente, para cada acesso, as variáveis de resposta (taxa de alongamento foliar, biomassa foliar, biomassa radicular, biomassa total, taxa de crescimento relativo, número médio de perfilho, taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração) foram representadas por raios, iniciando na posição “12 horas” e movendo-se no sentido horário. O comprimento de cada raio representou quatro desvios padrões do valor da variável. Os pontos observados para cada valor foram conectados entre raios consecutivos por uma linha contínua.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TAXA DE ALONGAMENTO FOLIAR (TAF)

O alagamento do solo reduziu a taxa média de alongamento foliar em todos os acessos testados ($F_{5, 211} = 3,92$; $P = 0,002$) em relação ao tratamento controle. Essa redução foi de 48,6% para BRA000591 (cultivar Marandu), 56,3% para BRA002844 (cultivar Piatã), 35,6% para BRA004391 (cultivar Arapoty), 28,3% para BRA003824, 48,5% para BRA003891 e 40,9% para BRA001911 (Figura 1 – Apêndice 1). Resultados semelhantes são encontrados em Dias-Filho (2002), Dias-Filho & Queiroz (2003), Mattos et al. (2005a; 2005 b) e Modesto (2005), em estudos sobre o comportamento morfofisiológico de espécies do gênero *Brachiaria* sob alagamento do solo.

A TAF é um indicador visual do crescimento e desenvolvimento da planta e varia até intraespecificamente (BARUCH, 1994a; DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000; DIAS-FILHO, 2002). Segundo Dias-Filho & Carvalho (2000), a TAF está relacionada à tolerância ao alagamento do solo, podendo ser empregada como um mecanismo de detecção prematura de plantas sensíveis a esse estresse. Em outras espécies, a TAF também está geralmente associada à tolerância relativa ao alagamento (LIZASO & RITCHIE, 1997; YAMAUCHI & BISWAS, 1997).

A queda na TAF pode estar associada a um desbalanço hormonal na planta (ARMSTRONG et al., 1994), à deficiência de nutrientes (BARUCH, 1994b) e à diminuição da capacidade de extensão da parede celular (ZHANG & DAVIES, 1986). Estudo comparando a tolerância ao alagamento do solo em cinco acessos de *Brachiaria brizantha* (incluindo os cultivares Marandu, Piatã e Arapoty) mostrou que o alagamento reduziu significativamente a taxa de alongamento foliar em todos os acessos testados, sendo essa redução máxima em BRA003441 e mínima no cultivar Arapoty (DIAS-FILHO, 2002). Esta resposta também foi encontrada por Dias-Filho & Queiroz (2003), que compararam o comportamento de seis acessos de *B. brizantha* (dentre eles o cultivar Marandu e os acessos BRA003824 e BRRA003891). Neste último estudo, a TAF de todos os acessos testados foi diminuída pelo alagamento.

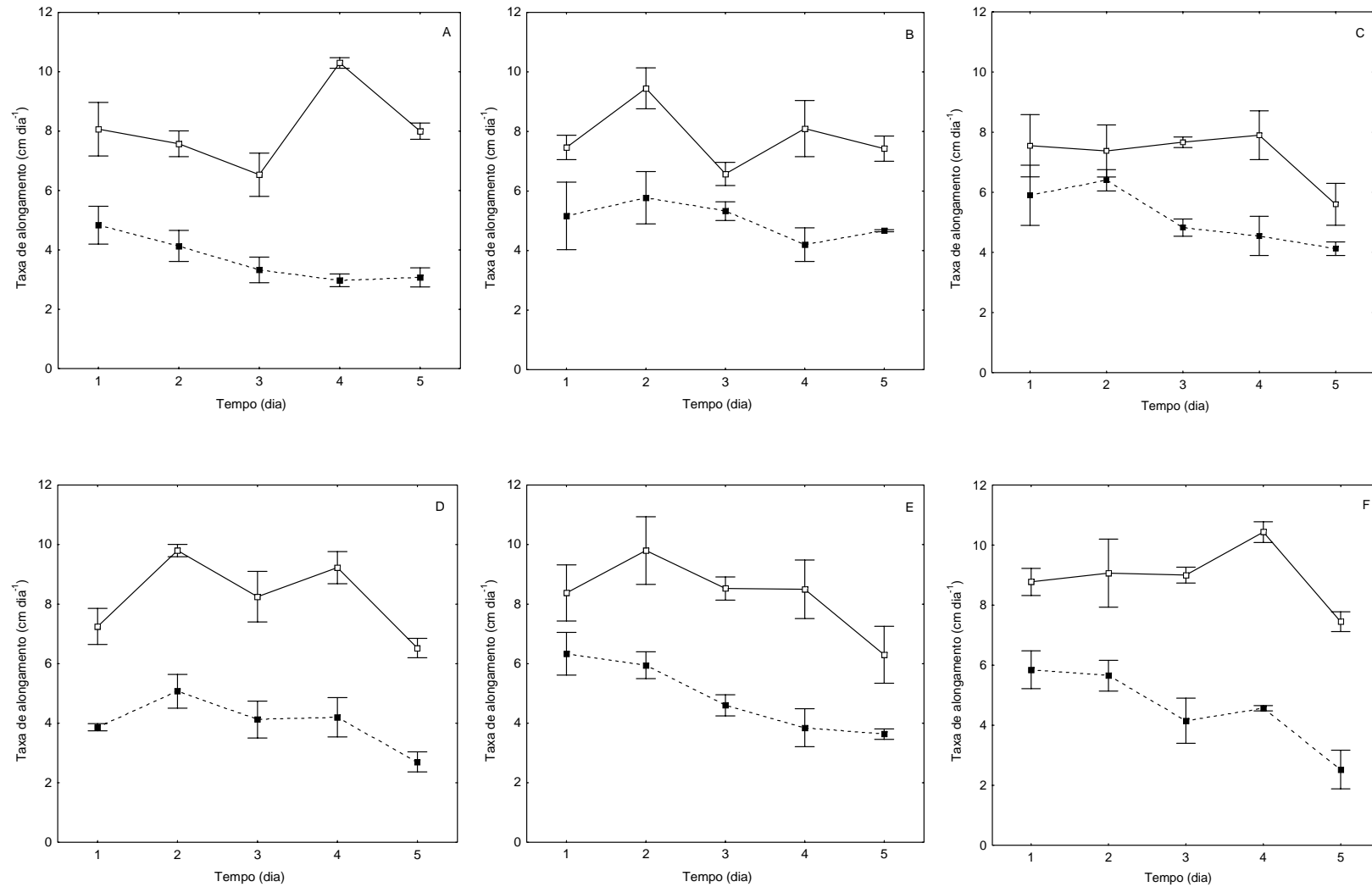


Figura 1. Taxa de alongamento foliar (TAF) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA003824 (C), BRA003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (símbolo aberto, linha sólida) e alagado (símbolo fechado, linhas tracejada). Os valores são média + erro padrão.

4.2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA

4.2.1 Massa Seca de Folhas (MSF)

O alagamento do solo reduziu a produção de biomassa de folhas na maioria dos acessos testados ($F_{5, 25} = 3,39$; $P = 0,018$) em relação ao tratamento controle (Figura 2 - Apêndice 2). Somente no acesso BRA002844 (cultivar Piatã) não foi possível detectar diferença estatisticamente significativa entre tratamentos para esse parâmetro ($F_{1, 25} = 0,76$; $P = 0,39$). Para os demais acessos, a redução nos valores de MSF em plantas alagadas foi máxima em BRA001911 (64,2%), sendo seguida pelo cultivar Marandu (62%), BRA003824 (54,4%), BRA003891 (46,9%) e o cultivar Arapoty (46,3%).

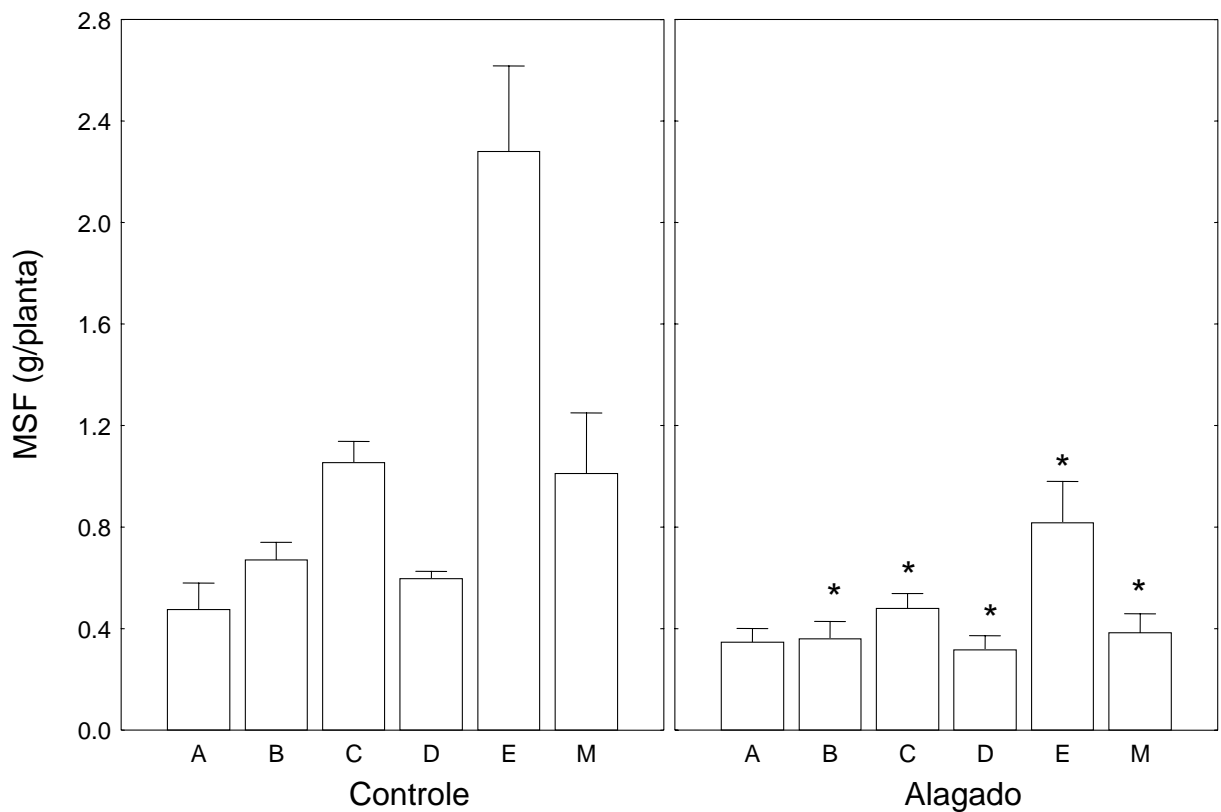


Figura 2. Massa seca de folha (MSF) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0,05$). Os valores são média + erro padrão.

A produção de biomassa de folhas tem grande importância em gramíneas forrageiras, por ser a parte preferencialmente consumida pelo animal. A lâmina foliar é um importante

componente para a produção de massa seca total, destacando-se por interceptar boa parte da energia luminosa e representar parte substancial do tecido fotossintético ativo, além de constituir-se em material de alto valor nutritivo para os ruminantes (ALEXANDRINO et al., 2004).

Em gramíneas forrageiras o alagamento reduz principalmente a produção de massa seca de folhas (MODESTO, 2005), conforme observado no presente estudo, onde o alagamento do solo reduziu a produção de biomassa de folhas na maioria dos acessos testados. No estudo de avaliação de tolerância de acessos de gramíneas ao alagamento do solo desenvolvido por Dias-Filho (2002) observou-se redução significativa da produção de massa seca de folhas nos cinco acessos de *B. brizantha* testados (dentre os quais os cultivares Arapoty, Piatã e Marandu). Esta redução, em função do alagamento, observada em *B. brizantha* cv Marandu, também foi detectada por Modesto (2005). No entanto, em pesquisa recente, Mattos et al. (2005b), comparando o comportamento de espécies de *Brachiaria*, sob alagamento, verificaram que não houve diferenças significativas quanto à produção de matéria seca verde de laminas foliares de plantas alagadas e não alagadas.

4.2.2 Massa Seca de Colmos (MSC)

Sob alagamento, houve redução na produção de biomassa de colmos em BRA 001911 (65,8%), BRA 003824 (59,4%) e nos cultivares Marandu (64,0%) e Arapoty (33,9%) em relação ao tratamento controle. No entanto, no cultivar Piatã (BRA002844) e no acesso BRA003891 não foi possível detectar diferença entre tratamentos (Figura 3 - Apêndice 2).

A produção de MSC também é de grande importância para a produtividade de pastagem, pois a alta relação folha/colmo facilita a colheita de folhas pelos animais (WILSON, 1982). Em Dias-Filho (2002) a maioria dos acessos testados apresentou redução significativa da MSC em plantas alagadas, incluindo os cultivares Arapoty, Piatã e Marandu. Esta resposta também foi encontrada por Modesto (2005) no cultivar Marandu e por Holanda (2004) em quatro cultivares de *Panicum maximum* (Massai, Mombaça, Milênio e Tanzânia). Segundo Mattos et al. (2005a), o alagamento causa respostas distintas nas espécies de *Brachiaria* quanto à produção de matéria seca do colmo, onde a *B. brizantha* responde negativamente e a *B. mutica* responde positivamente ao alagamento, ao passo que a *B. humidicola* e a *B. decumbens* mostram-se insensíveis.

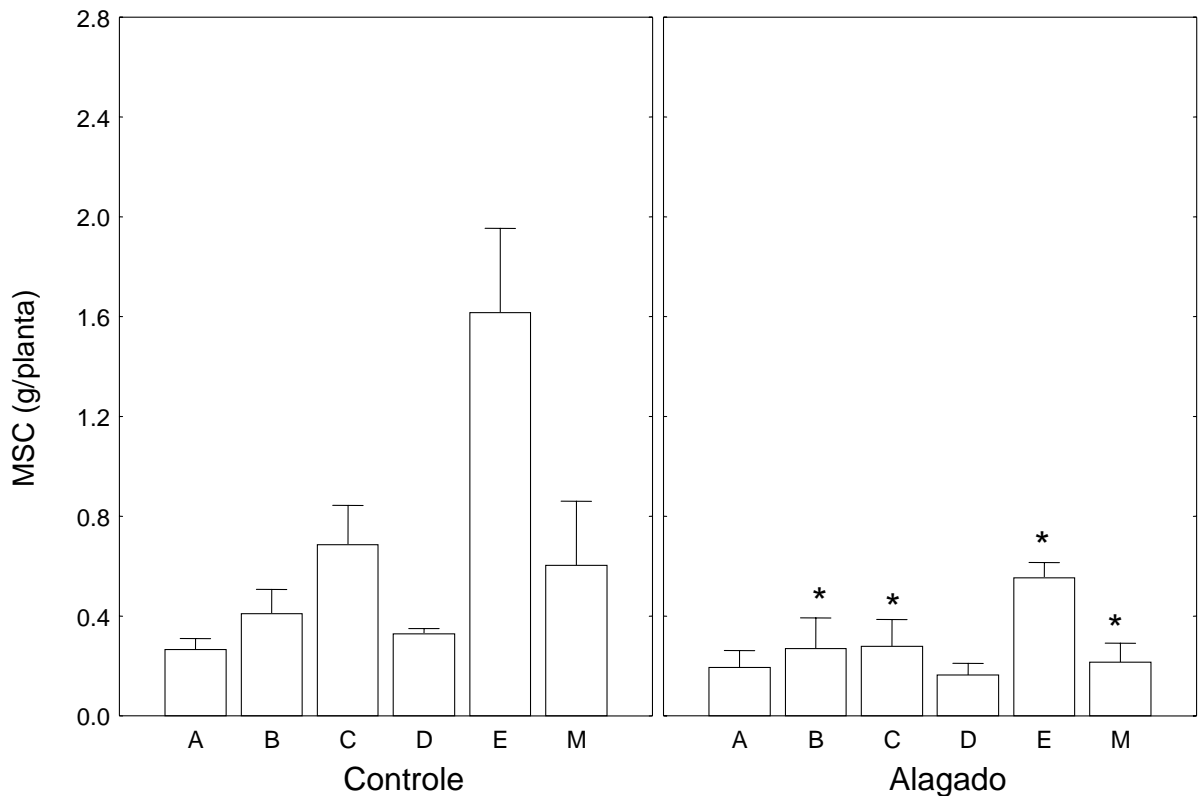


Figura 3. Massa seca do colmo (MSC) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0,05$). Os valores são média + erro padrão.

4.2.3 Massa Seca de Raízes (MSR)

O alagamento do solo reduziu significativamente a MSR no acesso BRA001911 (82%) ($F_{1, 25} = 31,07$; $P < 0,001$) e no cultivar Marandu (74%) ($F_{1, 25} = 7,59$; $P < 0,01$) em relação ao tratamento controle. Nos demais acessos testados, embora se tenha observado tendência de redução nos valores médios de produção de massa seca de raízes devido ao alagamento do solo, não foi possível detectar diferença estatística entre tratamentos (Figura 4 - Apêndice 2). Em termos percentuais, os cultivares Arapoty (BRA004391) e Piatã (BRA002844), com reduções médias na produção de raízes de 35,7% e 40,6%, foram os acessos relativamente menos afetados pelo alagamento do solo.

Dias-Filho (2002) detectou redução significativa na MSR, devido ao alagamento, no acesso de *B. brizantha* BRA004308 e nos cultivares Marandu e Piatã, os demais acessos avaliados naquele estudo também apresentaram tendência de redução nos valores de MSR.

Diminuição na produção de massa seca radicular em plantas alagadas também foi encontrado no cultivar Marandu (MODESTO, 2005) e em cultivares de *Panicum maximum* (Massai, Mombaça, Milênio e Tanzânia) (HOLANDA, 2004). Entretanto, Mattos et al (2005a) relataram que *B. decumbens*, *B. brizantha*, *B. humidicola* e *B. mutica* não reduziram a produção de raízes devido ao alagamento do solo.

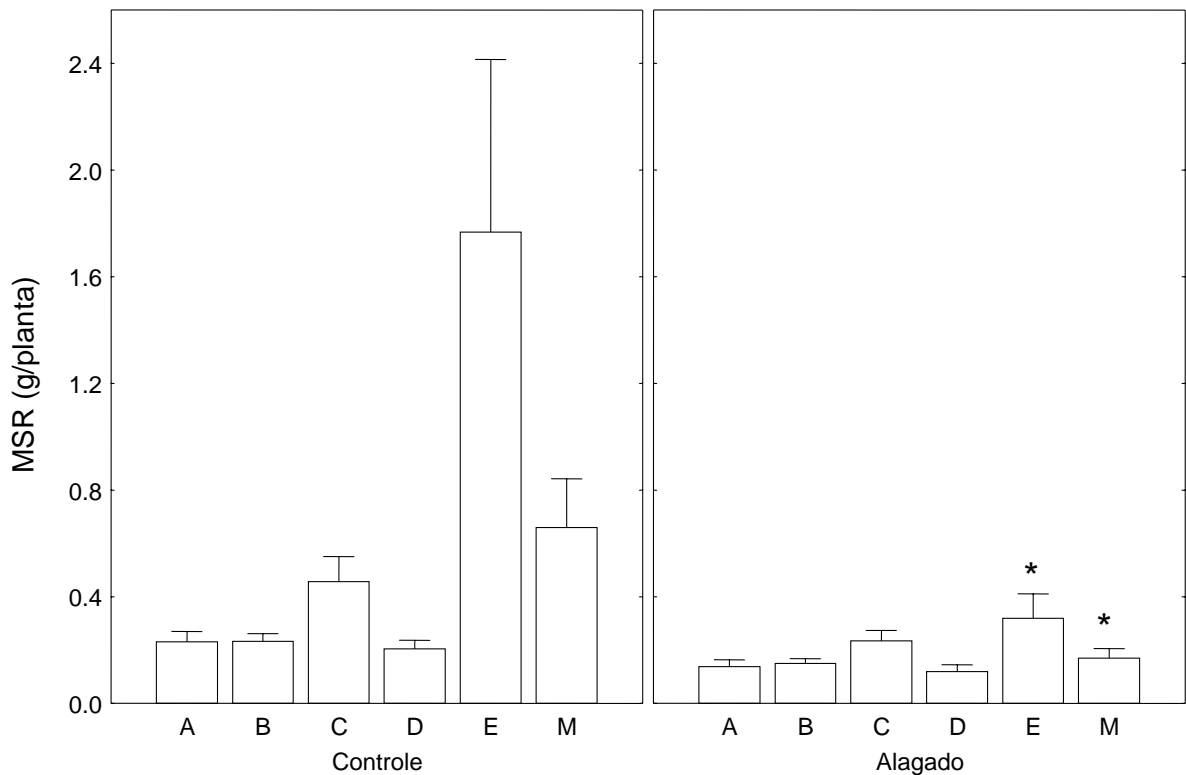


Figura 4. Massa seca de raiz (MSR) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (1) e BRA004391 (cv. Arapoty) (2), BRA 003824 (4), BRA 003891 (5), BRA001911 (6) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0,05$). Os valores são média + erro padrão.

4.2.4 Massa Seca Total (MST)

Quando se considerou a MST, observou-se redução significativa, sob alagamento do solo, em BRA003824 (54,7%), BRA001911 (70,2%) e no cultivar Marandu (66,1%) em relação ao tratamento controle. Por outro lado, nos cultivares Piatã (BRA002844) e Arapoty (BRA004391) e em BRA003891 não foi possível observar diferenças significativas entre tratamentos, apesar de todos os acessos apresentarem tendência de redução nos valores médios de MST de 30,3%; 40,6% e 46,9%, respectivamente (Figura 5 - Apêndice 2).

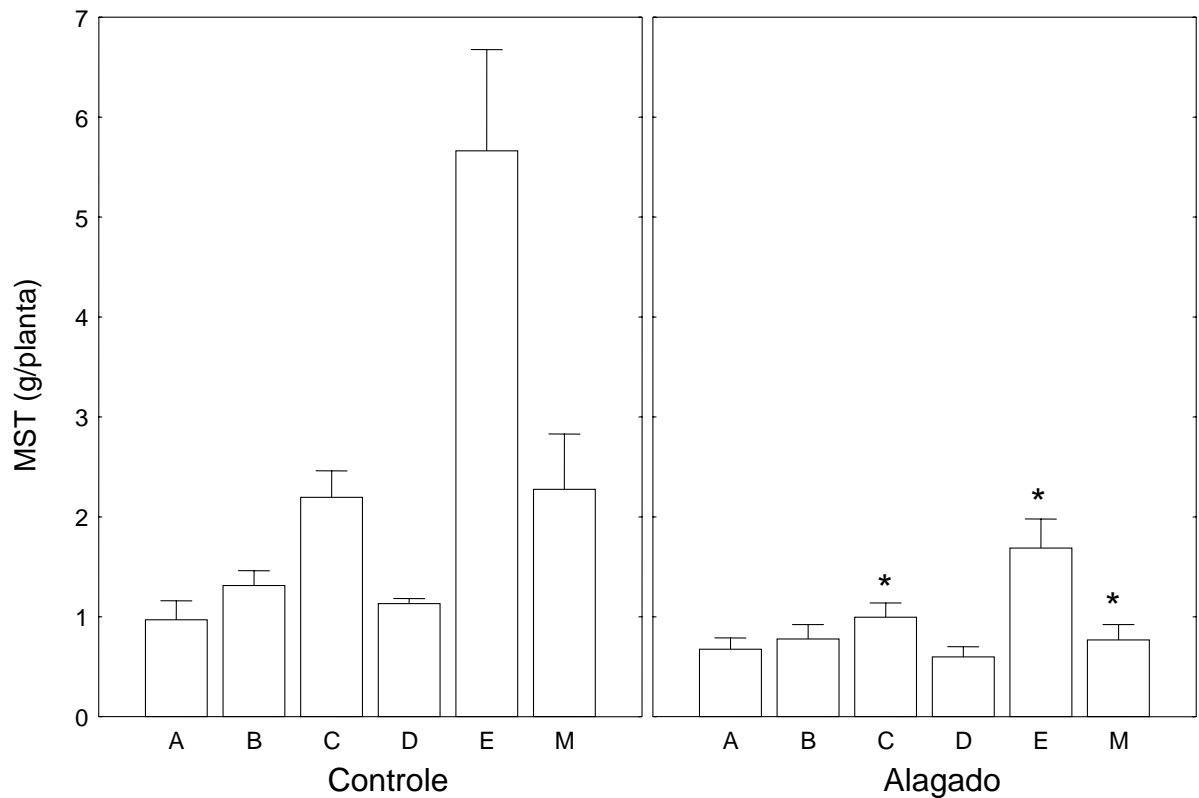


Figura 5. Massa seca total (MST) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0,05$). Os valores são média + erro padrão.

4.2.5 Taxa de Crescimento Relativo (TCR)

Seguindo o mesmo padrão de comportamento da massa seca total, a TCR não foi significativamente reduzida pelo alagamento nos cultivares Piatã (BRA002844) e Arapoty (BRA004391) e em BRA003891 em relação ao tratamento controle, embora em todos tenha ocorrido tendência de redução nos valores médios da TCR. Nos demais acessos, a redução da taxa de crescimento relativo, devido ao alagamento, foi máxima em BRA001911 (70,2%), sendo seguida pelo cultivar Marandu (66,1%) e BRA003824 (54,7%) (Figura 6 - Apêndice 3).

A TCR é um índice de eficiência da planta (HUNT, 1990), representando o desempenho geral da mesma (HOLANDA, 2004). Dias-Filho & Queiroz (2003) encontraram redução na TCR devido ao alagamento do solo em todos os acessos avaliados, inclusive no cultivar Marandu (BRA000591), BRA003824 e BRA003891. Em Dias-Filho (2002), o alagamento reduziu significativamente a TCR no cultivar Marandu (BRA000591) e em

BRA004308, enquanto que os demais acessos de *B. brizantha* testados (dentre os quais os cultivares Piatã e Arapoty) não diferiram entre os tratamentos controle e alagado. Em estudo onde se comparou a tolerância ao alagamento do solo em três acessos de *Brachiaria brizantha*, Modesto (2005) detectou redução na taxa de crescimento relativo em *B. brizantha* cv. Marandu e em BRA003395. Segundo Holanda (2004), o declínio na TCR foi significativo para a maioria dos cultivares de *P. maximum* (Massai, Mombaça e Tanzânia) submetidos ao alagamento, com exceção do cultivar Milênio.

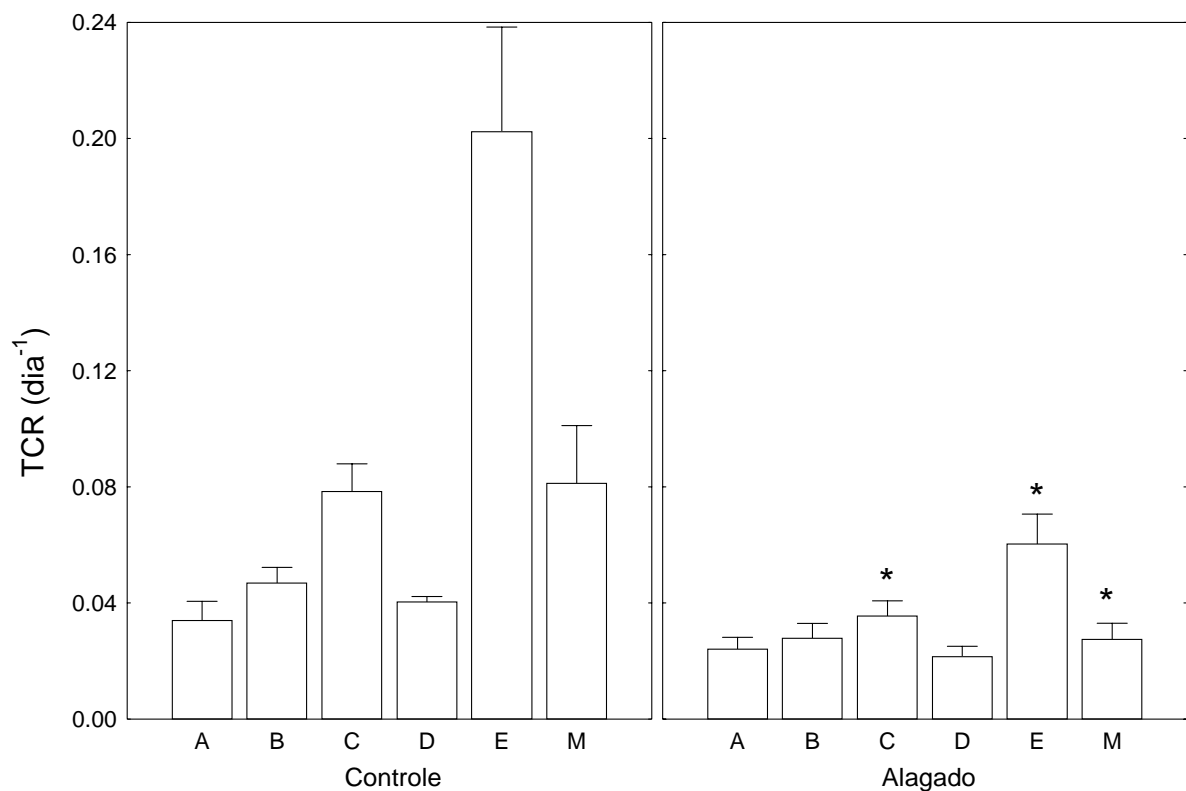


Figura 6. Taxa de crescimento relativo (TCR) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0,05$). Os valores são média + erro padrão.

4.2.6 Número Médio de perfilhos (n)

Sob alagamento, ocorreu diminuição no número médio de perfilhos na maioria dos acessos testados em relação ao tratamento controle (Figura 7 - Apêndice 4). Somente nos

cultivares Arapoty (BRA004391) e Piatã (BRA002844) não foi possível detectar diferença significativa entre tratamentos. Para os demais acessos, houve redução significativa para esse parâmetro em BRA003891 (100%), BRA001911 (74,2%), cultivar Marandu (55,5%) e BRA003824 (54,9%).

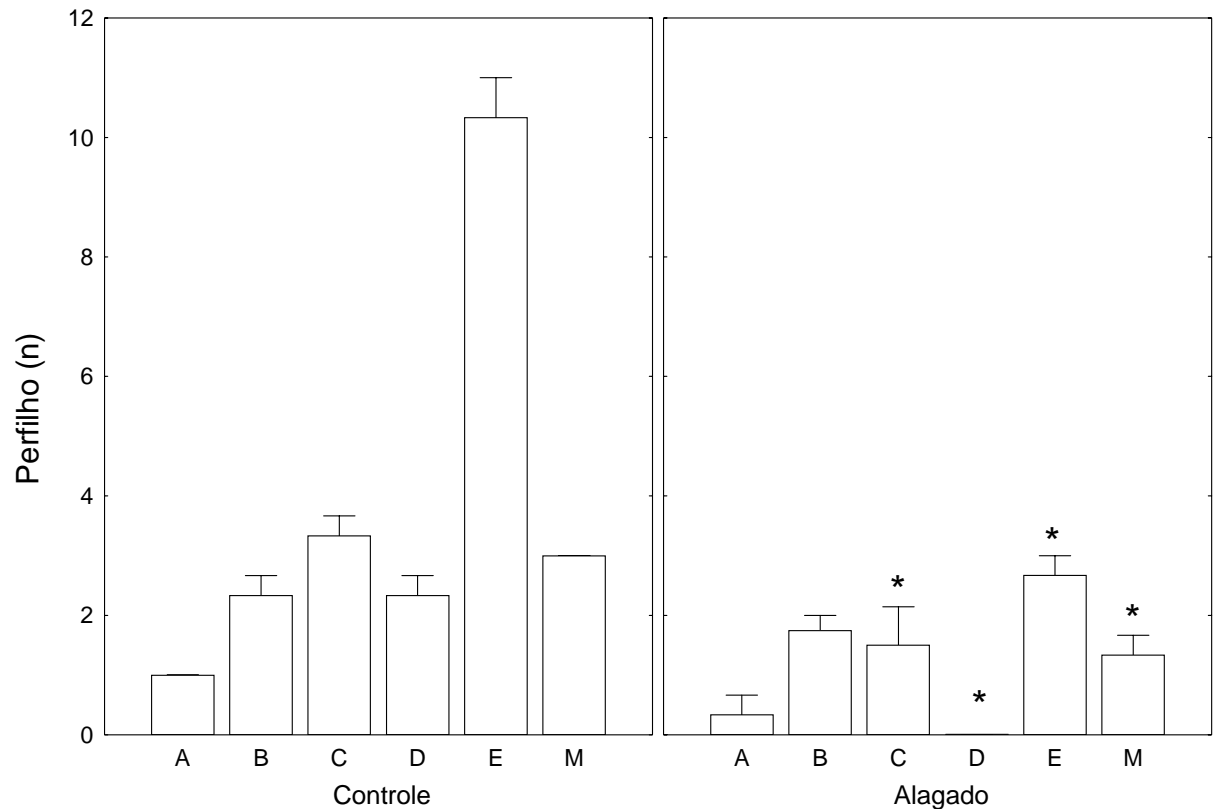


Figura 7. Número médio de perfilhos (n), por planta, dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0,05$). Os valores são média + erro padrão.

4.3 ALOCAÇÃO DE BIOMASSA

De modo geral, a maioria dos acessos testados não apresentou os padrões de alocação de biomassa significativamente afetados pelo alagamento do solo em relação ao tratamento controle (Tabela 1). Não foi possível detectar diferenças significativas entre tratamentos para alocação de biomassa para as folhas. De forma similar, esse efeito também não foi observado na alocação de biomassa para os colmos. A alocação de biomassa para as raízes seguiu o mesmo padrão observado para as folhas e colmos. No entanto, para o acesso BRA001911, as

plantas do tratamento alagado alocaram significativamente ($F_{1, 25} = 7,47$; $P = 0,01$) menor proporção de biomassa para as raízes do que as plantas controle.

Tabela 1. Razão de massa foliar (RMF, kg kg^{-1}), razão de massa do colmo (RMC, kg kg^{-1}) e razão de massa radicular (RMR, kg kg^{-1}) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã), BRA004391 (cv. Arapoty), BRA 003824, BRA 003891, BRA001911 e BRA000591 (cv. Marandu), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0,05$). Os valores são média + erro padrão.

Tratamentos	RMF	RMC	RMR
BRA002844 (cv. Piatã)			
Controle	0,46 (0,03)	0,29 (0,02)	0,25 (0,03)
Alagado	0,52 (0,03)	0,28 (0,02)	0,20 (0,03)
BRA004391 (cv. Arapoty)			
Controle	0,51 (0,03)	0,31 (0,02)	0,18 (0,03)
Alagado	0,46 (0,02)	0,34 (0,02)	0,20 (0,02)
BRA003824			
Controle	0,48 (0,03)	0,31 (0,02)	0,20 (0,03)
Alagado	0,49 (0,02)	0,27 (0,02)	0,23 (0,02)
BRA003891			
Controle	0,53 (0,03)	0,29 (0,02)	0,18 (0,03)
Alagado	0,53 (0,03)	0,27 (0,02)	0,20 (0,03)
BRA001911			
Controle	0,42 (0,03)	0,29 (0,02)	0,29* (0,03)
Alagado	0,48 (0,03)	0,34 (0,02)	0,18 (0,03)
BRA000591 (cv. Marandu)			
Controle	0,45 (0,03)	0,26 (0,02)	0,28 (0,03)
Alagado	0,50 (0,03)	0,28 (0,02)	0,22 (0,03)

A distribuição de biomassa dentro da planta ocorre de acordo com as necessidades de cada órgão e é influenciada pelo meio ambiente, obedecendo a seguinte ordem de prioridade: folha > colmo > perfilho > raízes > reservas (PETERNELLI, 2003). O alagamento geralmente

provoca redução na alocação de biomassa para o sistema radicular e para as folhas (YAMAMOTO et al., 1995; DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000), alterando a relação raiz:parte aérea (DIAS-FILHO, 2005a).

Em gramíneas forrageiras a redução da proporção das lâminas foliares não é desejável, já que as folhas são a principal fonte de alimento consumida pelos ruminantes (HOLANDA, 2004). Entretanto, alta proporção de biomassa foliar, em detrimento da biomassa radicular, pode contribuir para a instalação de déficit hídrico devido ao aumento da transpiração e diminuição da taxa de reposição da água transpirada (DIAS-FILHO, 2002). Segundo Armstrong et al. (1994), o ideal é que ocorra o equilíbrio na distribuição de biomassa nas plantas alagadas para garantir a sua sobrevivência.

Dias-Filho & Carvalho (2000) verificaram que a proporção de massa alocada para as folhas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu aumentou em plantas submetidas ao alagamento. Esta resposta também foi encontrada por Holanda (2004) em *Panicum maximum*, onde, sob alagamento do solo, a maioria dos cultivares (Tanzânia, Milênio e Massai) teve aumento significativo na proporção de massa alocada para as folhas. No entanto, Dias-Filho (2002), mostra que dentre acessos de *B. brizantha* testados sob alagamento (dentre os quais os cultivares Piatã, Arapoty e Marandu), embora tenha sido observado tendência de diminuição na proporção de biomassa alocada para folhas, não houve diferenças significativas entre tratamentos. Em Modesto (2005), houve declínio na RMF, sob alagamento, em todos os acessos estudados (incluindo o cultivar Marandu). Mattos et al. (2005a) comparando o crescimento de *B. decumbens*, *B. brizantha*, *B. humidicola* e *B. mutica* sob alagamento do solo relatou que a relação lâmina/colmo foi bastante comprometida pelo alagamento, denotando menor alocação de biomassa para a fração de lâminas foliares verdes com aumento da severidade do estresse.

O aumento da proporção de biomassa alocada para o colmo pode indicar baixa produtividade de forragem. Portanto, as plantas com alta RMC são consideradas menos apropriadas para a composição de pastagens (HOLANDA, 2004). No presente estudo, a proporção de massa alocada para o colmo não diferiu entre tratamentos. Resultados semelhantes também foram encontrados por Modesto (2005) no cultivar Marandu e em outros dois acessos de *B. brizantha*. No entanto, Dias-Filho & Carvalho (2000) observaram aumento significativo na RMC, sob alagamento, em *B. brizantha*, *B. decumbens* e *B. humidicola*. Este aumento na RMC também foi detectado por Dias-Filho (2002) no cultivar Marandu e em outros dois acessos de *B. brizantha*, porém, nos cultivares Piatã (BRA002844) e Arapoty

(BRA004391), a proporção de massa alocada para o colmo não diferiu entre tratamentos controle e alagado.

Neste trabalho, verificou-se ausência do efeito do alagamento sobre a proporção de biomassa alocada para as raízes na maioria dos acessos estudados. Esta reposta também foi encontrada por Modesto (2005) em acessos de *B. brizantha* (dentre os quais o cultivar Marandu). No entanto, em Dias-Filho & Queiroz (2003) o alagamento provocou redução na proporção de biomassa alocada para as raízes em todos os acessos testados (dentre os quais o cultivar Marandu, BRA003824 e BRA003891), sendo que o acesso BRA003824 foi relativamente menos afetado. Esta redução na RMR em plantas alagadas também foi detectada por Dias-Filho (2002) nos cultivares Marandu e Piatã e em outros dois acessos de *B. brizantha*, somente no cultivar Arapoty não foi possível detectar diferenças significativas entre tratamentos na proporção de biomassa alocada para as raízes.

4.4 TROCAS GASOSAS

De modo geral, todos os parâmetros relacionados às trocas gasosas foram afetados pelo alagamento do solo. A taxa fotossintética líquida, a condutância estomática e a transpiração apresentaram padrões de resposta ao alagamento do solo similares para a maioria dos acessos estudados.

4.4.1 Fotossíntese Líquida e Condutância Estomática

O alagamento do solo reduziu significativamente a fotossíntese líquida na maioria dos acessos avaliados ($F_{5, 274} = 19,56$; $P < 0,001$) em relação ao tratamento controle. A exceção foi o cultivar Arapoty (BRA004391), em que não foi possível detectar diferenças entre tratamentos controle e alagado ($F_{1, 274} = 0,17$; $P = 0,68$). Para os demais acessos, a redução percentual da fotossíntese líquida, devido ao alagamento, teve o seguinte comportamento: foi máxima em BRA001911 (63,9%), sendo seguida pelos cultivares Marandu (43,2%) e Piatã (39%), e os acessos BRA003824 (27,6%) e BRA003891 (22,7%) (Figura 8 - Apêndice 5).

Para a condutância estomática, não foi possível detectar diferença significativa entre plantas alagadas e não alagadas no cultivar Arapoty (BRA004391) ($F_{1, 274} = 0,28$; $P = 0,59$) e em BRA003891 ($F_{1, 274} = 1,73$; $P = 0,19$). Por outro lado, houve redução significativa da

condutância em plantas alagadas de BRA001911 (66,7%), cultivar Marandu (50,7%), cultivar Piatã (43,9%) e BRA003824 (25,2%) em relação ao tratamento controle (Figura 9 - Apêndice 5).

No presente estudo, em todos os acessos, existiu estreita relação entre as taxas de fotossíntese líquida (Figura 8) e as de condutância estomática (Figura 9), seguindo o mesmo padrão de comportamento observado em estudos semelhantes por Holanda (2004), em quatro cultivares de *Panicum maximum*, e por Modesto (2005), em três acessos de *Brachiaria brizantha*. No estudo de Dias-Filho (2002), foi encontrada redução significativa da taxa fotossintética, devido ao alagamento do solo, em todos os cinco acessos de *B. brizantha* estudados (dentre os quais os cultivares Arapoty, Piatã e Marandu), independentemente da época de avaliação (nove ou 14 dias após o início do alagamento do solo). No entanto, o menor percentual de redução da taxa fotossintética daquele estudo foi observado no cultivar Arapoty (BRA004391) (29.8% e 13.8%, respectivamente, para nove e 14 dias). Este resultado está de acordo como o encontrado no presente estudo, onde o cultivar Arapoty também foi o acesso com a taxa fotossintética relativamente menos afetada pelo excesso de água no solo.

Em estudo onde se comparou a tolerância ao alagamento do solo em *B. brizantha* cv. Marandu, *B. humidicola* e *B. decumbens*, Dias-Filho & Carvalho (2000) detectaram que a fotossíntese líquida foi comprometida pelo alagamento apenas em *B. brizantha* cv. Marandu, enquanto que qualquer efeito foi observado nas demais espécies. Dias-Filho & Queiroz (2003), comparando a tolerância ao alagamento do solo em seis acessos de *B. brizantha*, observaram que o cultivar Xaraés e o acesso BRA003361 apresentaram as maiores reduções na taxa de fotossíntese líquida e de condutância estomática devido ao alagamento. No entanto, essa redução não foi detectada no cultivar Marandu e nos acessos BRA003891 e BRA003824, os quais também foram testados no presente trabalho.

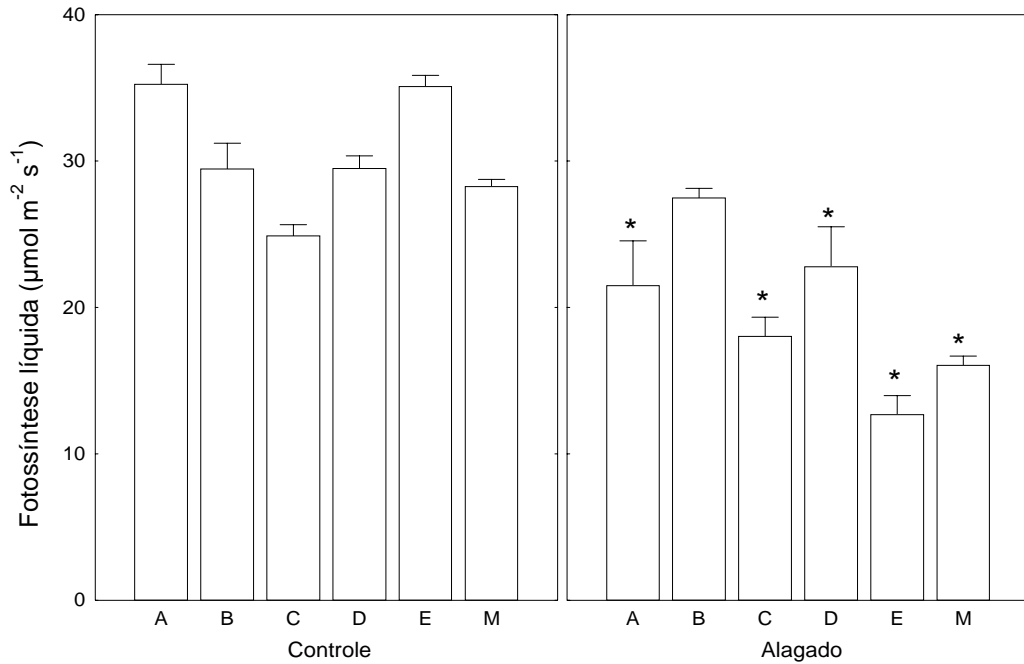


Figura 8. Fotossíntese líquida dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0,05$). Os valores são média + erro padrão.

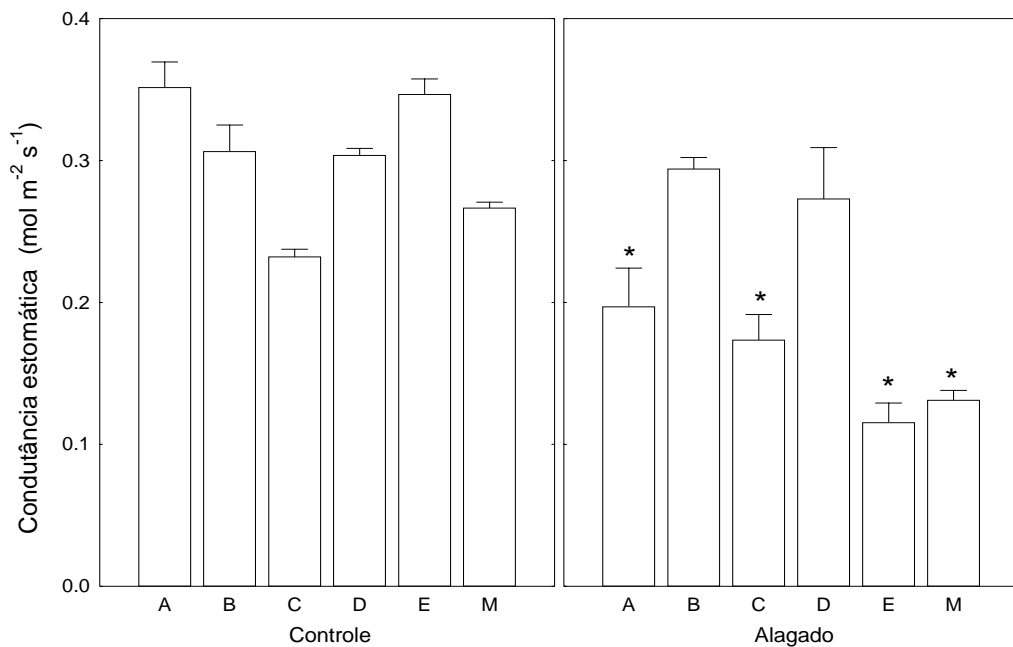


Figura 9. Condutância estomática dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0,05$). Os valores são média + erro padrão.

No presente estudo, o alagamento reduziu significativamente a condutância estomática na maioria dos acessos avaliados. Este resultado está de acordo com o encontrado por Dias-Filho (2002), onde a condutância estomática da maioria dos acessos testados (dentre eles os cultivares Arapoty, Piatã e Marandu) diferiu significativamente entre os tratamentos controle e alagado. No entanto, somente no cultivar Arapoty, de forma similar ao verificado no presente estudo, não foi possível encontrar esta resposta. Esta redução na condutância estomática, em função do alagamento, também foi encontrada no cultivar Marandu (MODESTO, 2005). Dias-Filho & Queiroz (2003) comparando a tolerância de seis acessos de *B. brizantha* ao alagamento do solo, detectaram que a maioria dos acessos testados (dentre os quais o cultivar Marandu, BRA 003824 e BRA 003891) mostraram queda na condutância estomática devido ao alagamento.

A inundação ou o alagamento temporário do solo pode causar redução imediata nas trocas gasosas entre a planta e o meio ambiente (ARMSTRONG et al., 1994; KOZLOWSKI, 1997; LIAO & LIN, 2001). Vários estudos têm mostrado que, o alagamento do solo é normalmente capaz de diminuir de forma significativa a capacidade fotossintética em plantas sensíveis a esse estresse (LIAO & LIN, 2001). Essa redução na taxa fotossintética tem sido atribuída principalmente à diminuição da condutância estomática (BARUCH, 1994a; KOZLOWSKI, 1997; GRAVATT & KIRBY; 1998; DIAS-FILHO & CARVALHO, 2000; DIAS-FILHO, 2002). Em algumas espécies, o alagamento pode afetar diretamente o aparelho fotossintético da planta, independentemente da condutância estomática, como foi observado em tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) (BRADFORD, 1983).

Segundo Gravatt & Kirby (1998), as respostas fotossintéticas e a condutância estomática servem como referência na determinação do nível de tolerância das plantas ao alagamento do solo. Isso foi observado na espécie arbórea *Acer rubrum* L., onde a manutenção da taxa fotossintética, sob inundação, foi usada como critério para diferenciar cultivares mais tolerantes a esse estresse (ANELLA & WIHTLOW, 1999). Porém, mesmo as gramíneas forrageiras *Echinochloa polystachia* e *Brachiaria mutica*, consideradas tolerantes, têm a fotossíntese líquida reduzida quando submetidas ao alagamento (BARUCH, 1994b). Fatores metabólicos, como o acúmulo de amido nas folhas, também têm sido apontados como responsáveis pela diminuição da fotossíntese durante o alagamento do solo (revisado por LIAO & LIN, 2001). De fato, resultados de pesquisa apresentados em Dias-Filho (2005a), sugerem alta correlação negativa entre o acúmulo de amido nas folhas de *Brachiaria*

brizantha cv. Marandu, *B. decumbens* e *B. humidicola* sob alagamento do solo e a capacidade fotossintética sob alagamento dessas espécies.

Vários estudos têm demonstrado que a fotossíntese é significativamente reduzida em consequência do alagamento do solo, podendo ocorrer dentro de horas a alguns dias depois que ocorre a inundação (revisado por KOZLOWSKI, 1997). A taxa fotossintética em mudas de *Pseudotsuga menziesii* foi muito reduzida cinco horas após a inundação do solo (ZAERR, 1983). Essa redução na taxa fotossintética pode ser atribuída a vários fatores: baixo potencial de água e condutância estomática; baixa atividade de enzimas fotossintéticas; transporte prejudicado de fotoassimilados e baixo conteúdo de clorofila (HUANG et al., 1994; LIAO & LIN, 1994).

4.4.2 Transpiração

Seguindo o mesmo padrão da taxa fotossintética e da condutância estomática, a transpiração foi significativamente reduzida pelo alagamento em BRA001911 (56,4%), em BRA003824 (19,9%), em BRA003891 (18,4%) e nos cultivares Marandu (33,7%) e Piatã (31,8%). No cultivar Arapoty (BRA004391), não foi possível detectar diferença significativa ($F_{1, 274} = 0,65$; $P = 0,8$) entre os valores de transpiração de plantas alagadas e não alagadas (Figura 10 - Apêndice 5).

No presente estudo pode-se observar que houve correlação positiva entre a transpiração (Figura 10), fotossíntese líquida (Figura 8) e a condutância estomática (Figura 9). A transpiração tem sido pouco estudada em ensaios de alagamento do solo. No entanto, o comportamento desse parâmetro seria muito semelhante aqueles da condutância estomática, conforme observado neste trabalho.

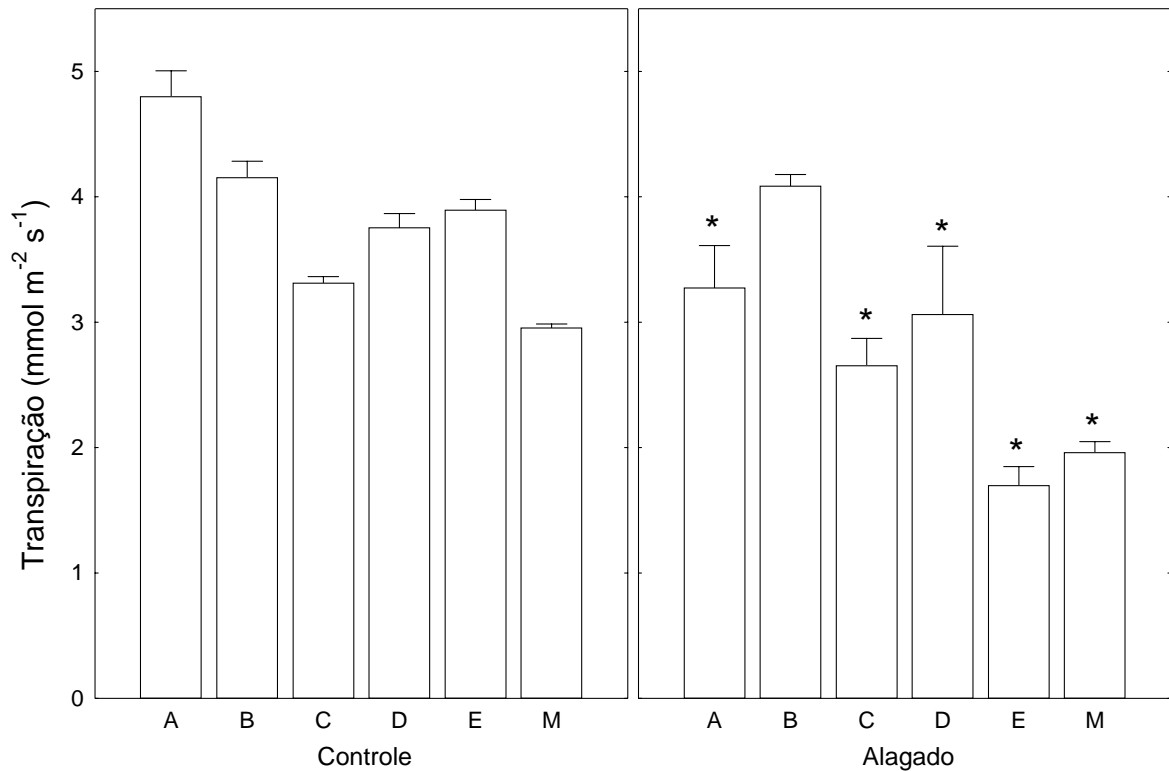


Figura 10. Transpiração dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado. O asterisco significa diferença estatística entre os tratamentos (contraste ortogonal *post hoc*, $P < 0.05$). Os valores são média + erro padrão.

4.5 CLASSIFICAÇÃO QUANTO A TOLERÂNCIA

Com base no gráfico gerado pela análise de fatores (Figura 11), os acessos foram classificados em três grupos distintos. O cultivar Marandu (BRA000591) e o acesso BRA001911 apresentam-se nitidamente isolados dos demais, podendo ser agrupados como os relativamente menos tolerantes ao alagamento do solo. Por outro lado, o cultivar Arapoty (BRA004391) também se destaca dos demais acessos, podendo ser classificado como o relativamente mais tolerante. Os acessos BRA003824, BRA003891 e o cultivar Piatã (BRA002844), agrupados relativamente próximos, foram considerados conjuntamente como de tolerância intermediária.

Conforme pode ser observado na Figura 12, existe certa variabilidade entre os acessos de *Brachiaria* spp. testados com relação as respostas ao alagamento do solo. Em termos comparativos, o cultivar Arapoty (BRA004391) apresentou desempenho satisfatório para a maioria das variáveis medidas, o que levou a ser considerado o de maior tolerância em relação

aos demais acessos estudados (Figura 11). Por outro lado, os acessos BRA003824, BRA003891 e o cultivar Piatã (BRA002844), embora de forma inferior ao cultivar Arapoty (BRA004391), também apresentaram desempenho satisfatório para algumas das variáveis medidas. Por exemplo, observa-se que o cultivar Piatã (BRA002844) apresentou menor redução da biomassa foliar, biomassa total e taxa de crescimento relativo devido ao alagamento do solo, quando comparado aos demais acessos testados. Já o acesso BRA003824 apresentou a menor redução na taxa de alongamento foliar. Estas características contribuíram para que estes acessos (BRA003824, BRA003891 e o cultivar Piatã) fossem agrupados dentre os acessos de desempenho intermediário (Figura 11). Observa-se ainda na Figura 12 que o cultivar Marandu (BRA000591) e o acesso BRA001911 tiveram em comum alto percentual de redução na biomassa foliar, biomassa radicular, biomassa total, taxa de crescimento relativo, taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração em função do alagamento do solo. Tais respostas contribuíram para que fossem agrupados dentre os acessos de menor tolerância ao alagamento do solo (Figura 11).

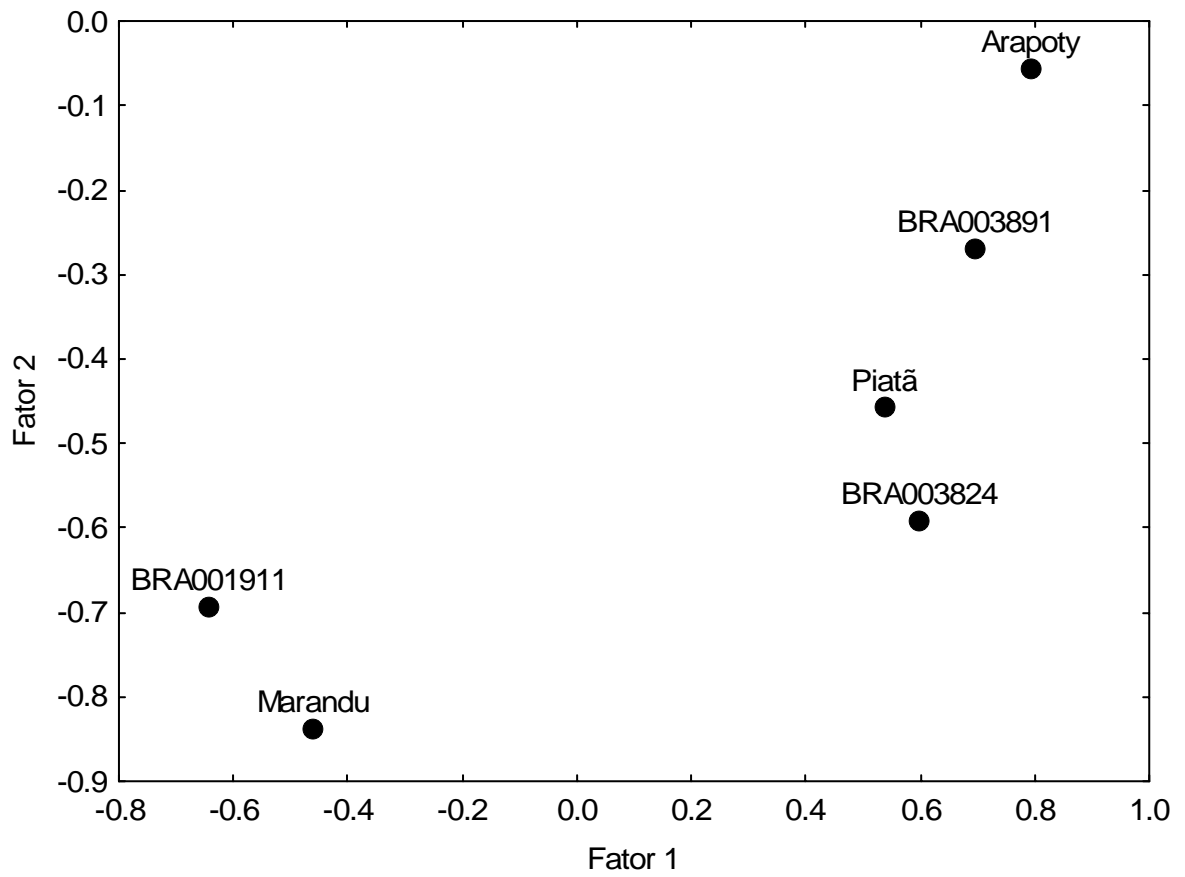


Figura 11. Acessos de *Brachiaria* spp. plotados contra os dois primeiros fatores gerados por uma análise de fatores (factor analysis).

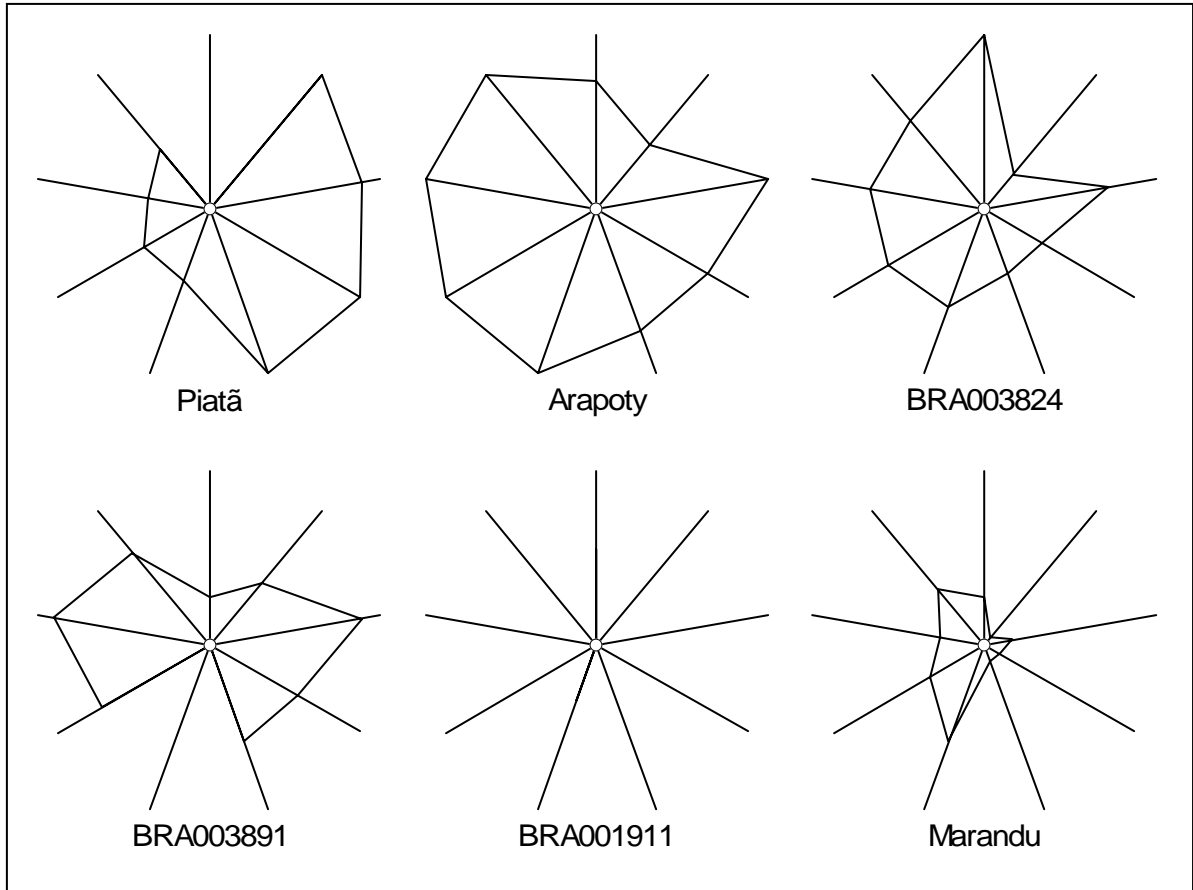


Figura 12. Desempenho de seis acessos de *Brachiaria* spp. sob alagamento do solo. Iniciando na posição de “12 horas” e no sentido horário, cada raio representa as seguintes variáveis: taxa de alongamento foliar, biomassa foliar, biomassa radicular, biomassa total, taxa de crescimento relativo, número médio de perfilhos, taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração. Quanto maior a distância observada entre o centro do gráfico e o fim do raio melhor o desempenho.

5 CONCLUSÕES

Os acessos testados apresentaram tolerância diferencial em relação ao alagamento do solo. O cultivar Arapoty (BRA004391) foi o relativamente mais tolerante. O acesso BRA001911 foi o menos tolerante, seguido pelo cultivar Marandu (BRA000591). Os acessos BRA003824, BRA003891 e o cultivar Piatã (BRA002844) foram considerados como de tolerância intermediária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRINO, E.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; MOSQUIM, P. R.; REGAZZI, A. J.; ROCHA, F. C. Características morfogênicas e estruturais na rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetidas a três doses de nitrogênio. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1372-1379, 2004.
- ANELLA, L. B.; WHITLOW, T. H. Flood-tolerance ranking of red Freeman apple cultivars. **Journal of Arboriculture**, v. 25, n. 1, p. 31-37, 1999.
- ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v.43, p.307-358, 1994.
- ARRUDA, G. M. T.; CALBO, M. E. R. Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H. F. Moore). **Acta Botânica Brasileira**, v. 18, n.2, p. 219-224, 2004.
- ASHRAF, M.; MEHMOOD, S. Effects of waterlogging on growth and some physiological parameters of four *Brassica* species. **Plant and Soil**, v. 121, n. 2, p. 203-209, 1990.
- BARUCH, Z. Responses to drought and flooding in tropical forages grasses. II. Leaf water potencial, photosynthesis rate and alcohol dehydrogenase activity. **Plant and Soil**, v. 164, p. 87-96, 1994a.
- _____, Z. Responses to drought and flooding in tropical forages grasses. I. Biomass allocation, leaf growth and mineral nutrients. **Plant and Soil**, v.164, p. 87-96, 1994b.
- _____, Z.; MÉRIDA, T. Effects of drought and flooding on root anatomy in four tropical forage grasses. **International Journal of Plant Science**, v. 156, n. 4, p.514-521, 1995.
- BRADFORD, K. J. Effects of soil flooding on leaf gas exchange of tomato plants. **Plant Physiology**, v. 73, p. 475-479, 1983.
- BRÂNCIO, P.A., EUCLIDES, V.P.B., NASCIMENTO JÚNIOR, D. do, FONSECA, D.M. da, ALMEIDA, R.G. de, MACEDO, M.C.M., BARBOSA, R.A. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo: disponibilidade de forragem, altura do resíduo pós-pastejo e participação de folhas, colmos e material morto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.1, p.55-63, 2003.
- CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. de; CALBO, A. G. Crescimento, condutância estomática, fotossíntese e porosidade do buriti sob inundação. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 10, n. 1, p. 51-58, 1998.
- CHAPIN III, F. S.; AUTUMN, K.; PUGNAIRE, Francisco. Evolution of suites of traits in response to environmental stress. **The American Naturalist**, v. 14(supplement), p. 78-92, 1993.
- CRAWFORD, R. M. M.; BRÄENDLE, R. Oxygen deprivation stress in a changing environment. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 295, p. 145-159, Feb. 1996.

CURRAN, M.; COLE, M.; ALLAWAY, W. G. Root aeration and respiration in young mangrove plants (*Avicennia marina* (Forst.) Vierg.). **Journal Experimental Botany**, v. 181, 1225- 1233, 1986.

DIAS-FILHO, M. B. Pastagens cultivadas na Amazônia oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 135-147.

_____, M. B. Tolerance to flooding in five *Brachiaria brizantha* accessions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 439-447, 2002.

_____, M. B. Opções forrageiras para áreas sujeitas à inundação ou alagamento temporário. In: Simpósio Sobre Manejo da Pastagem, 22 Piracicaba, 2005. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2005a. p.

_____, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 2. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005b.173p.

_____, M. B. Respostas morfofisiológicas de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo e a síndrome da morte do capim-marandu. In: Workshop "Morte de Capim-Marandu", 2005. Cuiabá: Embrapa Gado de Corte, 2006. 1 CD-ROM.

_____, M. B.; CARVALHO, C. J. R. de. Physiological and morphological responses of *Brachiaria* spp. to flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 1959-1966, 2000.

_____, M. B.; QUEIROZ, R. J. B. de. Tolerância ao alagamento do solo em seis acessos de *Brachiaria brizantha*. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 40, 2003, Sta. Maria, RS. **Anais...** CD-Rom.

_____, M. B.; ANDRADE, C.M.S de. Pastagens no ecossistema do trópico úmido. In: Simpósio Sobre Pastagens nos Ecossistemas Brasileiros, 2, 2005, Goiânia, **Anais...**Goiânia: SBZ, 2005. p. 95-104.

GRAVATT, D. A.; KIRBY, C. J. Patterns of photosynthesis and starch allocation in seedlings of four bottomland hardwood tree species subjected to flooding. **Tree Physiology**, v. 18, p. 411-417, 1998.

HUNT, R. **Basic growth analysis**. Londres: Unwin Hyman, 1990. p

_____, R.; CAUSTON, D. R.; SHEPLEY, B.; ASKEW, A. P. A. A modern tool for classical plant growth analysis. **Annals of Botany**, v. 90, p. 485-408, 2002.

HADDAD, C. M.; PLATZECK, C. O.; TAMASSIA, L. F. M.; CASTRO, F. G.F. Estabelecimento do capim *Setaria* cv. Kazungula em condições de inundação. **Scientia Agrícola**, v.57, n. 2, p. 205-212, 2000.

HADDADE, I. R.; OBEID, J. A.; FONSECA, D. M.; PEREIRA, O. G.; PEDRON e SILVA, M. A. Crescimento de espécies forrageiras tropicais submetidas a diferentes períodos de alagamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 3, n. 5, p. 1924-1930, 2002.

HOLANDA, S. W. da S. **Tolerância de quatro cultivares de *Panicum maximum* Jacq. ao alagamento**. 38f. 2004. Dissertação (Mestrado em Botânica), Universidade Federal Rural da Amazônia/Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.

HUANG, B. R.; JOHNSON, J. W.; NESMITH, D. S.; BRIDGES, D. C. Root and shoot growth of wheat genotypes in response to hypoxia and subsequent resumption of aeration. **Crop Science**, v. 34, n. 6, p. 1538 - 1544, 1994.

ISHIDA, F. Y.; OLIVEIRA, L. E. M. de; CARVALHO, C. J. R. de; ALVES, J. D. Efeitos da inundação parcial e total sobre o crescimento, teor de clorofila e fluorescência de *Setaria anceps* e *Paspalum repens*. **Ciência Agrotécnica**, v. 26, n. 6, p. 1152-1159, 2002.

JACKSON, M. B. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 36, p. 145-174, 1985.

_____, M. B. Root-to-shoot communication in flooded plants: involvement of abscisic acid, ethylene, and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. **Agronomy Journal**, v. 86, p. 775-782, 1994.

_____, M. B.; DREW, M. C. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: **Kozlowski, T. T. (Ed.), Flooding and Growth**. Academic Press, p. 47-128, 1984.

KOZLOWSKI, T. T. Responses of wood plants to flooding and salinity. **Tree Physiology**, v.1, 1997. Disponível em: www.heronpublishing.com/tp/monograph/kozlowski.pdf. Acesso em: Junho de 2005.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Effect of flooding stress on photosynthetic activities of *Momordica charantia*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 32, p. 479-485, 1994.

_____, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proc. Natl. Council**, v. 25, p. 148-157, 2001.

LIZASO, J. I. ; RITCHIE, J. T. Maize shoot and root response to root zone saturation during vegetative growth. **Agronomy journal**, v. 89, p. 125-134, 1997.

MADSEN, T. V. Inorganic carbon assimilation and growth of aquatic macrophytes. In: JACKSON, M. B.; DAVIES, D. D.; LAMBERS, H. (Eds.) **Plant life under oxygen stress**. The Hague: Academic Publishing, 1993. p. 265-286.

MATTOS, J. L. S. de; Gomide, J. A.; MARTINEZ Y HUAMAN, C. A. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria* sob alagamento em casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 765-773, 2005a.

_____, J. L. S. de; Gomide, J. A.; MARTINEZ Y HUAMAN, C. A. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria* sob déficit hídrico e alagamento a campo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 755-764, 2005b.

MALTBY, E. Wetlands their status and role in the biosphere. In: JACKSON, M. B.; DAVIES, D. D.; LAMBERS, H. (Eds.). **Plant life under oxygen deprivation: ecology, physiology and biochemistry**. The Hague: SPB Academic, 1990. p. 3-21.

MCLEOD, K. W.; DONOVAN, L. A.; STUMPF, N. J. Responses of woody seedlings to elevated flood water temperatures, In: HOOK, D. D.; MCKEE, W. H.; SMITH, H. K.; GREGORY, J.; BURRELL, V. G.; DEVOE, M. R.; SOJKA, R. E.; GILBERT, S.; BANKS, R.; STOLZY, L. H.; BROOKS, C.; MATTHEUS, T. D.; SHEAR, T. H. (eds.). **The ecology and management of wetlands**. Portland: Timber Press, 1987. p. 441-451.

MODESTO, R. C. **Tolerância de dois acessos de *Brachiaria brizantha* ao alagamento**. 37f. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.

MORAES, M. G. de; ALVES, J. D.; OLIVEIRA, L. E. M. de. Efeitos da anaerobiose induzida por alagamento em plântulas de seis espécies herbáceas **Ciência Agrotécnica**, v. 25, n.4, p. 941-951, 2001a.

_____, M. G. de; ALVES, J. D.; OLIVEIRA, L. E. M. de; VITORINO, P. F. P. G.; MAGALHAES, M. M. Caracterização do crescimento e da atividade das desidrogenases alcoólica e láctica em seis espécies herbáceas sob condições de hipoxia. **Ciência Agrotécnica**, v. 25, n.1, p. 86-95, 2001b.

PETERNELLI, M. **Características morfológicas e estruturais do capim-braquiarião [*Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf. Cv. Marandu] sob intensidades de pastejo**. 82f. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Pirassununga.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n. 1, p. 41-50, 2002.

RODRIGUES, T.J.D.; RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A. Adaptação de plantas forrageiras às condições adversas. In: Simpósio Sobre Ecossistema de Pastagens, 2., Jaboticabal, 1993. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1993. p.17-61.

TEIXEIRA NETO, J.F.T.; SIMÃO NETO, M.; COUTO, W. S.; DIAS-FILHO, M. B.; SILVA, A. de B.; BUARQUE, M. de L.; ALBUQUERQUE, F. C. **Prováveis causas da morte do capim -braquiarião (*Brachiaria Brizantha* cv. Marandu) na Amazônia Oriental**. Relatório Técnico. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, 20p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 36).

VALENTIM, J. F.; AMARAL, E. F. do; MELO, A. W. F. de. **Zoneamento de risco edáfico atual e potencial de morte de pastagens de *Brachiaria brizantha* no Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000, 28p. (Embrapa Acre. Boletim de Pesquisa, 29).

_____, J.F.; ANDRADE, C.M.S.; AMARAL, E.F. Soluções tecnológicas para o problema da morte de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu na Amazônia. In:

Encontro Internacional de Negócios da Pecuária, 2004, Cuiabá. **Anais...**Cuiabá: FAMATO, 2004. 1 CD-ROM

YAMAMOTO, F.; SAKATA, T.; TERAZAWA, K. Physiological, morphological and anatomical responses of *Fraxinus mandshurica* seedlings to flooding. **Tree Physiology**, v. 15, p. 713-719, 1995.

YAMAUCHI M.; BISWAS, J.K. Rice accession difference in seedling establishment in flooded soil. **Plant and Soil**, v.189, p.145-153, 1997.

ZAERR, J. B. Short term flooding and net photosynthesis in seedling of three conifers. **Forest Science**, v. 29, p. 71-78, 1983.

ZHANG. J.; DAVIES, W. J. Chemical and hydraulic influence on the stomata of flooded plants. **Journal Experimental Botany**. v. 37, n. 183, p. 1479-1491, 1986.

APÊNDICE

Apêndice 1. Taxa média diária de alongamento foliar (TAF, cm.dia⁻¹) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado.

Acessos	Tratamentos	Dias	TAF	Acessos	Tratamentos	Dias	TAF
A	Controle	1	8.07	D	Controle	1	7.25
	Controle	2	7.57		Controle	2	9.80
	Controle	3	6.53		Controle	3	6.55
	Controle	4	10.30		Controle	4	9.23
	Controle	5	8.00		Controle	5	6.53
	Alagado	1	4.83		Alagado	1	3.87
	Alagado	2	4.13		Alagado	2	5.07
	Alagado	3	3.33		Alagado	3	4.13
	Alagado	4	2.97		Alagado	4	4.20
	Alagado	5	3.08		Alagado	5	2.70
B	Controle	1	7.47	E	Controle	1	8.38
	Controle	2	9.45		Controle	2	9.80
	Controle	3	6.57		Controle	3	8.52
	Controle	4	8.10		Controle	4	8.50
	Controle	5	7.43		Controle	5	6.30
	Alagado	1	5.17		Alagado	1	6.33
	Alagado	2	5.78		Alagado	2	5.95
	Alagado	3	5.32		Alagado	3	4.60
	Alagado	4	4.20		Alagado	4	3.85
	Alagado	5	4.67		Alagado	5	3.63
C	Controle	1	7.55	M	Controle	1	8.77
	Controle	2	7.38		Controle	2	9.07
	Controle	3	7.67		Controle	3	9.00
	Controle	4	7.90		Controle	4	10.43
	Controle	5	5.60		Controle	5	7.45
	Alagado	1	5.90		Alagado	1	5.85
	Alagado	2	6.40		Alagado	2	5.65
	Alagado	3	4.82		Alagado	3	4.15
	Alagado	4	4.55		Alagado	4	4.57
	Alagado	5	4.13		Alagado	5	2.53

Apêndice 2. Valores médios de massa seca da folha (MSF, g), massa seca do colmo (MSC, g), massa seca da raiz (MSR, g) e massa seca total (MST, g) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado.

Acessos	Tratamentos	MSF	MSC	MSR	MST
A	Controle	0,47	0,26	0,23	0,97
	Alagado	0,35	0,19	0,14	0,68
B	Controle	0,67	0,41	0,23	1,31
	Alagado	0,36	0,27	0,15	0,78
C	Controle	1,05	0,69	0,46	2,20
	Alagado	0,48	0,28	0,23	0,99
D	Controle	0,60	0,33	0,20	1,13
	Alagado	0,32	0,16	0,12	0,60
E	Controle	2,28	1,62	1,77	5,66
	Alagado	0,82	0,55	0,32	1,69
M	Controle	1,01	0,60	0,66	2,27
	Alagado	0,38	0,22	0,17	0,77

Apêndice 3. Valores médios da taxa de crescimento relativo (TCR, dia⁻¹) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado.

Acessos	Tratamentos	TCR
A	Controle	0,0346
	Alagado	0,0242
B	Controle	0,0469
	Alagado	0,0279
C	Controle	0,0785
	Alagado	0,0355
D	Controle	0,0404
	Alagado	0,0214
E	Controle	0,2023
	Alagado	0,0604
M	Controle	0,0812
	Alagado	0,0275

Apêndice 4. Número médio de perfilhos (n), por planta, dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado.

Acessos	Tratamentos	n° médio perfilho/planta
A	Controle	1,00
	Alagado	0,33
B	Controle	2,33
	Alagado	1,75
C	Controle	3,33
	Alagado	1,50
D	Controle	2,33
	Alagado	0,00
E	Controle	10,33
	Alagado	2,67
M	Controle	3,00
	Alagado	1,33

Apêndice 5. Valores médios de fotossíntese líquida ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), condutância estomática ($\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e transpiração ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) dos acessos de *Brachiaria* spp. BRA002844 (cv. Piatã) (A) e BRA004391 (cv. Arapoty) (B), BRA 003824 (C), BRA 003891 (D), BRA001911 (E) e BRA000591 (cv. Marandu) (M), cultivados em solo não-alagado (controle) e alagado.

Acessos	Tratamentos	Fotossíntese líquida	Condutância estomática	Transpiração
A	Controle	35,23	0,35	4,80
	Alagado	21,49	0,20	3,28
B	Controle	29,46	0,31	4,15
	Alagado	27,47	0,29	4,09
C	Controle	24,90	0,23	3,31
	Alagado	18,01	0,17	2,65
D	Controle	29,51	0,30	3,75
	Alagado	22,79	0,27	3,06
E	Controle	35,10	0,35	3,89
	Alagado	12,66	0,12	1,70
M	Controle	28,25	0,27	2,96
	Alagado	16,04	0,13	1,96