

Belém, PA / Agosto, 2025

Tolerância de três cultivares de *Panicum maximum* ao alagamento do solo

Moacyr Bernardino Dias-Filho⁽¹⁾ e Monyck Jeane dos Santos Lopes⁽²⁾⁽¹⁾ Pesquisador, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. ⁽²⁾ Pesquisadora, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA.

Resumo — Este estudo analisou as respostas das cultivares Massai, Mombaça e Tanzânia de *Panicum maximum* (syn. *Megathyrsus maximus*) sob excesso de água no solo. Também avaliou a tolerância dessas cultivares a esse estresse. As plantas foram cultivadas em vasos, expostas a alagamento do solo por 5 dias e comparadas com plantas cultivadas em solo com drenagem adequada. O alagamento do solo reduziu o alongamento diário das folhas. A maior redução ocorreu na cultivar Tanzânia. As cultivares Mombaça e Massai tiveram redução semelhante, porém menor que a da Tanzânia. O alagamento do solo afetou mais a massa seca das folhas e o perfilhamento na cultivar Mombaça. A produção de raízes foi reduzida pelo alagamento em todas as três cultivares. A massa seca total e a taxa de crescimento relativo tiveram comportamento semelhante ao das produções de folhas e perfilhos entre as cultivares. Em plantas alagadas, a biomassa de raízes diminuiu nas cultivares Massai e Tanzânia. Na Mombaça, não houve mudança. A fotossíntese líquida e a condutância estomática foram mais diminuídas nas plantas alagadas da cultivar Tanzânia. Conclui-se que as cultivares apresentam diferentes níveis de tolerância ao alagamento, sendo Massai a mais tolerante, enquanto Mombaça e Tanzânia possuem tolerância semelhante, com vantagem para Tanzânia.

Termos para indexação: taxa de alongamento foliar, gramínea forrageira, fotossíntese, encharcamento do solo, trocas gasosas.

Tolerance of three *Panicum maximum* cultivars to soil waterlogging

Abstract — This study analyzed the responses of the Massai, Mombaça, and Tanzânia cultivars of *Panicum maximum* (syn. *Megathyrsus maximus*) under excess soil water. It also evaluated the tolerance of these cultivars to this stress. The plants were grown in pots, exposed to soil flooding for 5 days, and compared with plants grown in well-drained soil. Soil flooding reduced daily leaf elongation. The greatest reduction occurred in the Tanzânia cultivar. The Mombaça and Massai cultivars showed similar reductions, but smaller than that of Tanzânia. Soil flooding more significantly affected leaf dry mass and tillering in the Mombaça cultivar. Root production was reduced by flooding in all three cultivars. Total dry mass and relative growth rate showed similar patterns to leaf and tiller production among the cultivars. In flooded plants,

Embrapa Amazônia Oriental
Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n
66095-903 – Belém, PA
www.embrapa.br/amazonia-oriental
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Bruno Giovany de Maria

Secretária-executiva

Narjara de Fátima Galiza da Silva

Pastana

Membros

Adelina do Socorro Serrão Belém,

Alysson Roberto Baizi e Silva,

Andrea Liliane Pereira da Silva,

Anna Christina Monteiro Roffé

Borges, Clívia Danúbia Pinho da

Costa Castro, Delman de Almeida

Gonçalves, Marivaldo Rodrigues

Figueiró e Vitor Trindade Lôbo

Edição executiva e revisão de texto

Narjara de Fátima Galiza da Silva

Pastana

Normalização bibliográfica

Andréa Liliane Pereira da Silva

(CRB-2/1166)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Vitor Trindade Lôbo

Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

root biomass decreased in the Massai and Tanzânia cultivars. In Mombaça, there was no change. Net photosynthesis and stomatal conductance were more reduced in flooded plants of the Tanzânia cultivar. It is concluded that the cultivars exhibit different levels of tolerance to flooding, with Massai being the most tolerant, while Mombaça and Tanzânia have similar tolerance, with a slight advantage for Tanzânia. Index terms: leaf elongation rate, forage grass, photosynthesis, waterlogging, gas exchange.

Index terms: leaf elongation rate, forage grass, photosynthesis, waterlogging, gas exchange.

Introdução

Nas duas últimas décadas, o interesse por gramíneas forrageiras que apresentam maior tolerância ao acúmulo temporário de água no solo tem aumentado no Brasil (Dias-Filho, 2013). Um fator relevante para essa crescente demanda foi a confirmação, no início dos anos 2000, de que a síndrome que causa a morte do capim-braquiário (SMB) (*Brachiaria brizantha* 'Marandu') e em outras gramíneas forrageiras, inclusive em algumas cultivares de *Panicum maximum*, um importante fator da degradação das pastagens, está diretamente ligada à baixa tolerância de alguns capins ao excesso de água no solo (Teixeira Neto et al., 2000; Dias-Filho, 2006; Pedreira et al., 2019). Nesse contexto, as cultivares Tanzânia, Mombaça e Massai de *P. maximum* têm sido classificadas como tendo boa adaptação à SMB, enquanto as cultivares Tamani e Quênia dessa espécie apresentam baixa adaptação (Pedreira et al., 2014; Dias-Filho, 2017).

Uma razão adicional para esse interesse é que diversas áreas de pastagens, no Brasil, estão localizadas em áreas marginais, nem sempre adequadas para outras atividades agrícolas (Macedo, 2024), onde solos com problemas naturais de drenagem podem estar presentes.

A presença excessiva de água no solo impacta significativamente a competitividade e a sobrevivência das gramíneas forrageiras, restringindo as taxas de respiração aeróbica e os índices de energia celular, o que resulta em um crescimento reduzido e modifica o padrão de desenvolvimento das plantas (Dias-Filho, 2013; Loreti et al., 2016).

Há uma considerável diversidade na tolerância das gramíneas forrageiras tropicais ao alagamento do solo (Dias-Filho, 2013). Essa diversidade está ligada à capacidade dessas plantas de adaptarem suas reações morfofisiológicas a essa condição

adversa. Com a eficácia dessa adaptação, a planta desenvolverá uma aclimação em níveis metabólico, morfológico e anatômico, visando preservar processos essenciais para assegurar seu crescimento ou, no mínimo, sua sobrevivência em situações de anoxia ou hipoxia do solo (Mollard et al., 2008; Colmer; Voesenek, 2009; Yin et al., 2009; Voesenek; Bailey-Serres, 2013; Loreti et al., 2016; Herzog et al., 2016; Kaur et al., 2020; Ngumbi, 2025).

Dentro de uma mesma espécie de gramíneas forrageiras, pode existir uma considerável variação na tolerância ao alagamento do solo, inclusive em *P. maximum* (Silva et al., 2009; Dias-Filho, 2013) e em genótipos de *Brachiaria brizantha* (Dias-Filho, 2002; Caetano; Dias-Filho, 2008), de *Brachiaria decumbens* (Dias-Filho et al., 2018) e híbridos interespecíficos de *Brachiaria brizantha* x *Brachiaria decumbens* x *Brachiaria ruziziensis* (Dias-Filho et al., 2020).

Este estudo teve como objetivo investigar os impactos do alagamento do solo sobre aspectos fisiológicos e morfológicos em três cultivares de *Panicum maximum* reconhecidas como tendo boa adaptação à SMB. Além disso, buscou-se correlacionar essas respostas com a tolerância relativa dessas cultivares à saturação hídrica do solo.

Material e métodos

Material vegetal e condições de crescimento

Sementes de *Panicum maximum* (syn. *Megathyrsus maximus*) das cultivares Massai, Mombaça e Tanzânia foram semeadas em bandejas plásticas contendo areia e, 9 dias após, transplantadas individualmente para sacos plásticos (vasos), com capacidade para 2 kg (massa seca) de solo (solo superficial de área de floresta secundária e esterco bovino na proporção de 3:2 em volume), na Embrapa Amazônia Oriental, em Belém (1°28'S), PA.

Ao longo de toda a fase de experimentação, as plantas foram mantidas em um viveiro coberto por uma tela de polipropileno preta que bloqueava cerca de 20% da luz solar direta. Não houve controle sobre a umidade e temperatura do ar ou a incidência de chuvas, durante esse período.

Foram realizadas adubações com solução nutritiva (15% N, 30% P₂O₅, 15% K₂O, 0,02% B, 0,07% Cu, 0,15% Fe, 0,05% Mn, 0,0005% Mo e 0,006% Zn; 10 g L⁻¹), sendo utilizados 10 mL por planta, aplicados aos 11 e aos 18 dias após o transplante. Foram aplicados ainda 25 e 50 ppm de N (Ureia-45% N), de modo que cada planta recebeu 10 mL da solução. As adubações nitrogenadas

foram aplicadas com 4 (10 ppm), 7 (25 ppm) e 15 (50 ppm) dias após o transplantio.

Dezoito dias após o transplantio, foi iniciado o alagamento do solo. Cada vaso a ser avaliado sob alagamento foi inundado até 3 cm acima do nível do solo, por meio da sua inserção em recipiente sem dreno (Figura 1). O solo permaneceu alagado por 5 dias seguidos. As plantas que não foram alagadas permaneceram nos vasos com drenagem adequada e receberam irrigação diária até atingir a saturação do solo.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 1. Vista parcial do experimento.

Alongamento foliar

Diariamente, aproximadamente no mesmo horário, foi realizada a medição do comprimento de uma lâmina foliar em desenvolvimento (antes da visibilidade da lígula) em um perfilho vegetativo de cada planta. As folhas que estavam sendo medidas recebiam uma identificação com um anel plástico. Assim que a lígula da folha em avaliação se tornava aparente, uma nova folha da mesma planta era identificada e medida. O alongamento diário da folha foi calculado pela diferença no comprimento entre duas medições, em dias sucessivos.

Produção e alocação de biomassa e número de perfilhos

Ao final do experimento, 5 dias após o início da inundação do solo, foi feita a contagem de perfilhos por planta. As plantas foram retiradas do solo e separadas em folhas, colmos (incluindo as bainhas) e raízes.

As raízes foram enxaguadas com um fluxo suave de água para remover o solo. Cada parte da planta foi colocada individualmente em sacos

de papel e levada para secagem em uma estufa com ventilação forçada a 65 °C por 48 horas. Após a secagem, o material foi pesado para calcular a massa seca das folhas, colmos, raízes e a massa seca total da planta. Com esses dados, foram determinadas as razões de massa foliar (RMF), radicular (RMR) e de colmo (dados não apresentados) ao dividir a massa seca de cada parte pela massa seca total da planta. Todos os parâmetros de crescimento foram calculados conforme os métodos descritos por Hunt (1990). A taxa de crescimento relativo (mudança na massa seca total por massa seca total da planta por dia, TCR) também foi calculada.

Trocas gasosas

A fotossíntese líquida e a condutância estomática foram medidas utilizando um analisador portátil de gás infravermelho de fluxo aberto, equipado com uma fonte de luz LED vermelha (LI-6400, Li-Cor, Inc., Lincoln, NE, EUA). As medições ocorreram entre 9h e 11h, horário local, em uma folha jovem e totalmente desenvolvida de um perfilho vegetativo em cada planta, sob um nível de luz constante de 1.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Os parâmetros relacionados às trocas gasosas foram determinados com base na área da folha.

Delineamento experimental e análise estatística

Os vasos foram organizados em delineamento inteiramente causalizado, utilizando um arranjo fatorial composto por três cultivares de gramíneas e dois níveis de umidade do solo, totalizando cinco repetições. As variações em todas as variáveis foram examinadas por meio da análise de variância, considerando os níveis de umidade do solo (com e sem alagamento) e as cultivares (Massai, Mombaça e Tanzânia) como fatores principais. Quando necessário, foram efetuadas análises de contrastes de médias para verificar as diferenças entre os níveis de umidade do solo, em cada cultivar.

Utilizou-se o software Statistica para Windows, versão 6.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, EUA), para realizar todos os cálculos estatísticos e gerar os gráficos.

Coefficiente de tolerância ao alagamento

A determinação do coeficiente de tolerância ao alagamento do solo (CTA) foi realizada utilizando a fórmula: $\text{CTA} = (\text{PA} / \text{PN}) \times 100$, em que PA refere-se ao valor médio de uma variável em plantas submetidas ao alagamento, enquanto PN diz respeito ao valor médio dessa mesma variável em plantas que não foram alagadas. Assim, o CTA representa a proporção de similaridade no desempenho de uma cultivar específica sob condições de alagamento, em

relação ao seu desempenho em condições normais de cultivo (não alagado). Portanto, pode-se inferir que um valor de CTA mais elevado sugere uma maior tolerância do genótipo ao alagamento do solo para a variável em questão.

As variáveis empregadas na determinação do CTA foram o alongamento foliar, a produção de massa seca total, a produção de massa seca de folhas, a produção de massa seca de raízes, a taxa de crescimento relativo, o perfilhamento, a fotossíntese líquida e a condutância estomática.

Os valores do CTA também foram ilustrados graficamente utilizando a técnica multivariada de gráfico de ícone de raios. Para cada cultivar, as diferenças relativas entre as plantas não alagadas e alagadas, em relação às variáveis de resposta alongamento das folhas, produção de massa seca, produção de folhas, produção de raízes, taxa de crescimento relativo, perfilhamento, fotossíntese líquida e a condutância estomática, foram representadas por raios, começando na posição de “12 horas” e seguindo no sentido horário. O comprimento de cada raio representou quatro desvios padrão do valor da variável, calculado para as três cultivares. Os pontos correspondentes a cada valor foram conectados entre raios adjacentes por linhas.

Resultados e discussão

Taxa de alongamento foliar

Foi possível observar interação significativa entre genótipos x nível de umidade do solo para alongamento foliar ($F_{2,114} = 2,97$; $P = 0,05$). O alagamento do solo reduziu a taxa média diária de alongamento foliar de todos os genótipos (Figura 2).

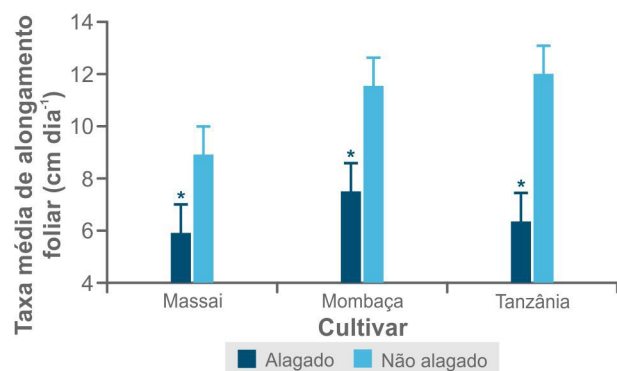


Figura 2. Taxa média de alongamento foliar diário para cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

A redução percentual média na taxa diária de alongamento foliar foi maior na cultivar Tanzânia (47,0%; $F_{1,114} = 53,1$, $P < 0,001$), sendo relativamente menor nas cultivares Massai (33,6%; $F_{1,114} = 14,9$, $P < 0,001$) e Mombaça (35,1%; $F_{1,114} = 27,3$, $P < 0,001$).

Estudos anteriores também identificam a sensibilidade do alongamento das folhas em gramíneas em resposta ao alagamento do solo (Dias-Filho, 2002; Mattos et al., 2005; Caetano; Dias-Filho, 2008; Promkhambut et al., 2010; Beloni et al., 2017; Dias-Filho et al., 2018; Thampi et al., 2023; Amaral et al., 2024). Essa resposta também tem sido verificada em outras famílias botânicas (Wilson et al., 2023).

Devido à elevada sensibilidade ao acúmulo de água no solo, a taxa de alongamento foliar em gramíneas forrageiras é recomendada como indicador precoce da vulnerabilidade da planta frente a esse tipo de estresse (Dias-Filho; Carvalho, 2000; Dias-Filho, 2002).

Assim, à medida que a diminuição na taxa de alongamento das folhas de uma determinada gramínea se torna mais pronunciada em decorrência do excesso de água no solo, a tolerância dessa espécie às condições adversas também diminui (Dias-Filho; Lopes, 2011). Entretanto, é fundamental destacar que outros fatores também precisam ser avaliados juntamente com o alongamento foliar, a fim de possibilitar uma análise mais aprofundada da tolerância de uma determinada gramínea forrageira ao encharcamento do solo.

Produção de massa seca de folha

Houve redução significativa na produção de massa seca de folhas somente nas plantas alagadas da cultivar Mombaça ($F_{1,15} = 5,2$, $P = 0,037$). Nas demais cultivares, observou-se uma tendência de redução na produção de massa seca foliar em plantas submetidas ao solo encharcado, sendo essa diminuição menos acentuada na cultivar Massai (Figura 3).

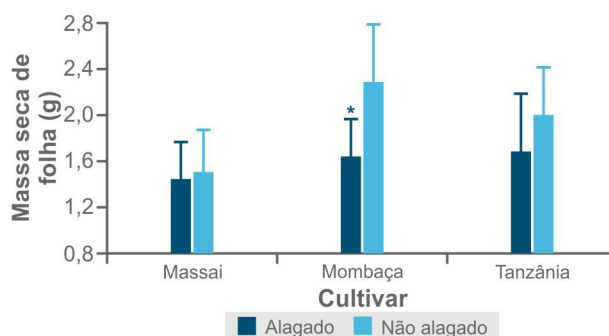


Figura 3. Massa seca de folhas por vaso de cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

O alagamento do solo afeta negativamente características morfológicas e anatômicas das plantas, abrangendo a biomassa total das folhas (Ngumbi, 2025). A produção de biomassa foliar é vista como um parâmetro importante para avaliar a tolerância das gramíneas forrageiras ao alagamento do solo (Cardoso et al., 2013a, 2013b).

Em um estudo sobre o desempenho de seis cultivares de gramíneas forrageiras submetidas a 5 dias de encharcamento do solo, Caetano e Dias-Filho (2008) notaram uma queda significativa na produção de massa seca das folhas em cinco dos genótipos analisados. De forma semelhante, Dias-Filho (2002) registrou uma redução nesse mesmo indicador em cinco genótipos de *B. brizantha* que passaram por 14 dias de saturação hídrica no solo.

Produção de massa seca de raiz

O alagamento do solo diminuiu a produção de biomassa radicular em todas as cultivares analisadas (Figura 4). A redução percentual na produção de raízes nas plantas alagadas foi semelhante para todas as cultivares, sendo 45,5% ($F_{1,18} = 33,5$, $P < 0,001$) na cultivar Tanzânia, 43,9% ($F_{1,18} = 23,4$, $P < 0,001$) na cultivar Massai e 41,9% na cultivar Mombaça ($F_{1,18} = 38,7$, $P < 0,001$).

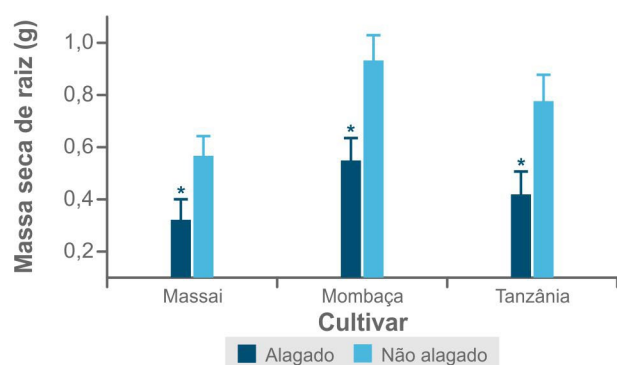


Figura 4. Massa seca de raiz por vaso para cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

O sistema radicular é o primeiro órgão a enfrentar a falta de oxigênio, o que provoca mudanças fenotípicas relevantes, lesões nos tecidos e redução do crescimento diante desse tipo de estresse (Herzog et al., 2016; Ren et al., 2016; Panozzo et al., 2019; Ribeiro et al., 2023). Ou seja, acúmulo excessivo de água no solo causa estresse

nas plantas, com efeitos que, em geral, são percebidos diretamente pelas raízes e de maneira indireta na parte aérea (Dias-Filho, 2013).

As raízes apresentam alta vulnerabilidade ao excesso de água no solo porque essa parte da planta possui uma demanda essencialmente aeróbica (Voesenek; Bailey-Serres, 2015; Loreti et al., 2016), tornando-se, assim, especialmente sensível à falta de oxigênio (Armstrong et al., 1994). Assim, mesmo em gramíneas forrageiras consideradas relativamente tolerantes ao alagamento do solo observa-se redução na produção de massa seca de raízes em plantas cultivadas sob esse estresse (Cardoso et al., 2013a).

Assim como no presente estudo, ao analisar a resposta de acessos de *Brachiaria* spp., após 5 dias de inundação do solo, Caetano e Dias-Filho (2008) observaram uma diminuição de 82% na produção de raízes de *B. ruziziensis* e de 74% na cultivar Marandu de *B. brizantha*. De maneira similar, Dias-Filho (2002) apontou que a inundação do solo resultou na queda considerável da produção de raízes em cinco acessos de *B. brizantha*.

Dessa forma, quando expostas à inundação do solo, as raízes enfrentam a falta de oxigênio, o que pode causar um impacto significativo em plantas não aquáticas, como as cultivares analisadas neste estudo, afetando também a parte aérea da planta.

Produção de massa seca total

O alagamento do solo reduziu a produção de massa seca total em todas as cultivares avaliadas (Figura 5). Essa redução foi proporcionalmente maior na cultivar Mombaça (42,9%; $F_{1,14} = 6,8$, $P < 0,001$) e menor nas cultivares Tanzânia (27,9%; $F_{1,14} = 7,4$, $P = 0,016$) e Massai (29,9%; $F_{1,14} = 6,7$, $P = 0,021$).

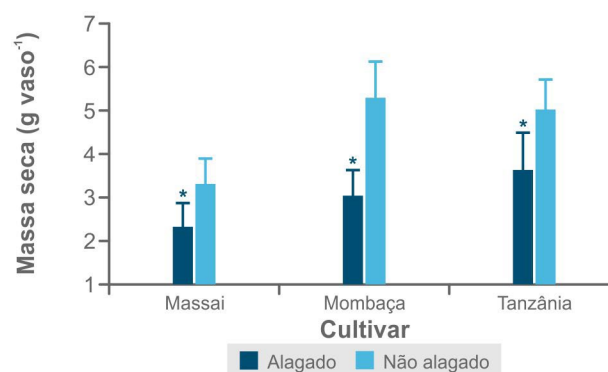


Figura 5. Massa seca total por vaso para cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

O alagamento do solo causa grandes reduções na produtividade das culturas, com a magnitude da redução variando de acordo com a cultura (Herzog et al., 2016; Tian et al., 2021; Langan et al., 2024), práticas de manejo (Kaur et al., 2020), diversidade genética (Luan et al., 2018) e condições de estresse (Langan et al., 2022).

A diminuição da produção de biomassa total em gramíneas forrageiras é uma reação frequente ao encharcamento do solo (Dias-Filho, 2002; Caetano; Dias-Filho, 2008; Jiménez et al., 2017; Dias-Filho et al., 2018, 2019, 2020; Dias-Filho; Lopes, 2019; Ribeiro et al., 2023). Essa reação ao encharcamento do solo pode acontecer mesmo em gramíneas que são tidas como relativamente tolerantes a esse tipo de estresse (Costa, 2004; Beloni et al., 2017).

Taxa de crescimento relativo

O alagamento do solo reduziu a taxa de crescimento relativo em todas as cultivares avaliadas. A cultivar Tanzânia (22,2%; $F_{1,18} = 6,5$, $P = 0,02$) seguida da cultivar Massai (26,3%; $F_{1,18} = 8,0$, $P = 0,01$) tiveram as menores reduções percentuais na taxa de crescimento relativo em decorrência do alagamento do solo, enquanto a cultivar Mombaça apresentou a maior redução nesse parâmetro (37,5%; $F_{1,18} = 20,0$, $P < 0,001$) (Figura 6).

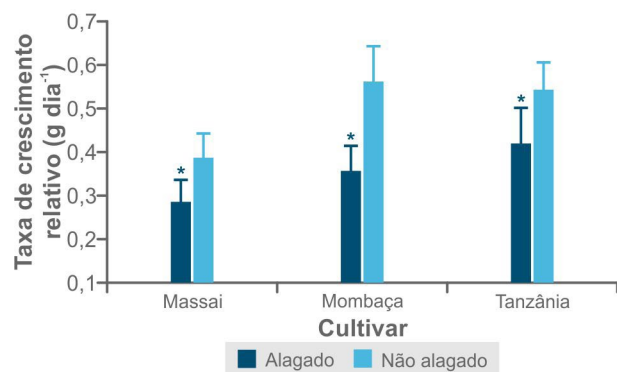


Figura 6. Taxa de crescimento relativo para cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

A queda na taxa de crescimento relativo é uma reação frequente em plantas expostas ao excesso de umidade no solo (Malik et al., 2002; Yu et al., 2023).

No presente estudo, a taxa de crescimento relativo apresentou uma correlação positiva com a resposta geral das três cultivares à saturação de

água do solo, com a cultivar Massai mostrando uma sensibilidade menor em comparação às demais cultivares avaliadas.

Razão de massa de folha

O alagamento do solo aumentou a razão de massa de folha (RMF) na cultivar Massai (38,2; $F_{1,14} = 5,5$, $P = 0,03$). Nas demais cultivares observou-se apenas uma tendência de aumento desse parâmetro nas plantas sob alagamento do solo (Figura 7).

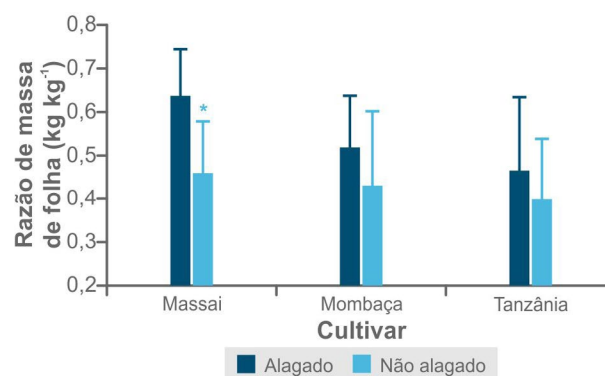


Figura 7. Razão de massa de folhas para cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

Aumento na RMF em resposta ao alagamento do solo tem sido reportado em gramíneas forrageiras (Dias-Filho; Carvalho, 2000; Dias-Filho, 2002; Caetano; Dias-Filho, 2008) e outras famílias vegetais (Fan et al., 2015; Zhao et al., 2023).

O incremento na razão de massa foliar (RMF) em plantas submetidas ao alagamento do solo reflete uma tendência de maior direcionamento de recursos para o desenvolvimento das folhas, em detrimento das raízes (Poorter et al., 2012). O que pode ser visto como uma estratégia vantajosa em plantas alagadas, pois a manutenção das raízes apresenta maior custo para a planta (Mauchamp et al., 2001).

Dessa forma, o aumento da alocação de biomassa para as folhas observado na cultivar Massai pode ser interpretado como um indicativo de maior tolerância ao alagamento do solo nessa cultivar.

Razão de massa de raiz

Não foi possível identificar uma diferença significativa na alocação de carbono para as raízes, nos níveis de umidade do solo entre as três cultivares

analisadas. Contudo, notou-se uma tendência de diminuição dessa variável nas plantas submetidas a alagamento nas cultivares Massai e Tanzânia, ao passo que na cultivar Mombaça os índices entre os diferentes níveis de umidade do solo mostraram-se comparáveis (Figura 8).

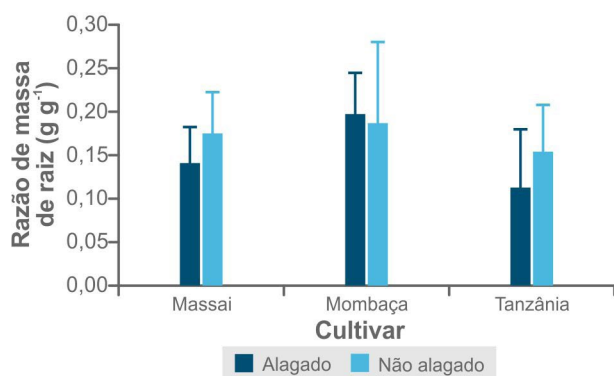


Figura 8. Razão de massa de raiz para cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

Embora no presente estudo não tenha sido possível detectar uma tendência significativa da razão de massa de raiz em função do alagamento do solo, nessa situação de estresse ambiental, é comum observar uma diminuição na distribuição de biomassa para as raízes (Malik et al., 2002; Poorter et al., 2012).

Em estudos conduzidos com gramíneas forrageiras tropicais, a relação entre a biomassa radicular e a total normalmente tende a ser inferior em plantas que crescem em solos alagados. (Dias-Filho, 2013).

A redução na alocação de biomassa para as raízes em ambientes com excesso de água no solo pode ser interpretada como uma estratégia para reduzir a respiração de manutenção que ocorre nas raízes, em relação à que ocorre na parte aérea. O motivo é que a manutenção da biomassa subterrânea em ambientes anóxicos pode apresentar um custo respiratório consideravelmente maior do que a manutenção da biomassa que se encontra acima do solo (Mauchamp et al., 2001).

Número de perfilhos

Foi possível observar interação significativa entre cultivar x nível de umidade para o número de perfilhos ($F_{2,24} = 4,97$; $P = 0,015$). A redução percentual no perfilhamento entre plantas não alagadas e alagadas foi maior na cultivar Mombaça

(60,5%; $F_{1,24} = 27$, $P < 0,001$), seguido pela cultivar Massai (30,2%; $F_{1,24} = 19,4$, $P < 0,001$). Houve uma tendência de redução no perfilhamento das plantas alagadas na cultivar Tanzânia, porém, essa redução não foi significativa (Figura 9).

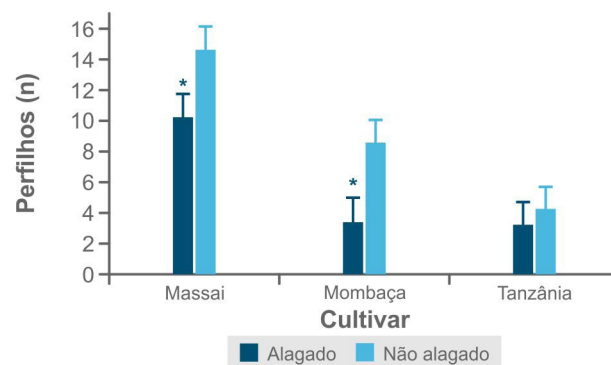


Figura 9. Número de perfilhos para cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

O perfilhamento é um atributo importante para a produtividade e persistência de gramíneas forrageiras (Jewiss, 1972; Assuero; Tognetti, 2010).

O alagamento do solo tem efeito supressivo na capacidade de perfilhamento de gramíneas (Malik et al., 2002). Da mesma forma que no presente estudo, Beloni et al. (2017) também reportaram redução significativa no perfilhamento da gramínea forrageira *Brachiaria brizantha* 'Marandu' sob alagamento do solo. Igualmente, Caetano e Dias-Filho (2008) também encontraram diminuição significativa no perfilhamento de gramíneas forrageiras do gênero *Brachiaria* ao alagamento do solo.

Na gramínea forrageira temperada *Festuca arundinacea*, o alagamento do solo reduziu o perfilhamento em mais de 70% (Menon-Martínez et al., 2021).

Fotossíntese

Houve interação significativa entre cultivar x nível de umidade do solo para a fotossíntese ($F_{2,167} = 7,92$; $P < 0,001$). O alagamento do solo reduziu a fotossíntese com maior intensidade na cultivar Tanzânia (24%; $F_{1,167} = 91,0$; $P < 0,001$) e com intensidades semelhantes nas cultivares Mombaça (14,6%; $F_{1,167} = 41,3$; $P < 0,001$) e Massai (12,1%; $F_{1,167} = 28,6$; $P < 0,001$) (Figura 10).

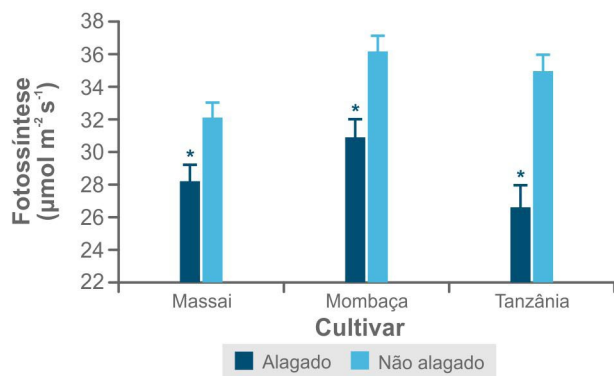


Figura 10. Taxa fotossintética líquida em cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

A fotossíntese é o processo fisiológico mais importante das plantas, sendo altamente suscetível ao alagamento (Zhang et al., 2019, 2023; Wilson et al., 2023). A eficiência fotossintética tem sido considerada uma característica de tolerância ao alagamento do solo em gramíneas forrageiras tropicais (Cardoso et al., 2013a).

É conhecido que a fotossíntese líquida é afetada de maneira drástica em plantas que são sensíveis a alagamentos (Pan et al., 2021). Por exemplo, o alagamento do solo reduziu fortemente as taxas líquidas de fotossíntese de cinco espécies de *Capsicum*, sugerindo uma baixa tolerância a esse estresse por espécies desse gênero (Ou et al., 2011). Analogamente, variedades de sorgo apresentaram diminuição em suas taxas de fotossíntese devido ao encharcamento do solo (Promkhambut et al., 2010).

Em dois genótipos de milho com diferentes graus de tolerância ao excesso de água no solo cultivados sob alagamento, observou-se maior redução da fotossíntese líquida no genótipo menos tolerante a esse estresse (Zhu et al., 2016). Uma tendência semelhante foi identificada em dois genótipos de sorgo por Zhang et al. (2023). Em contrapartida, o excesso de água no solo não provocou uma diminuição significativa da fotossíntese líquida nas gramíneas tropicais mais tolerantes a inundações em ambiente natural, como *Echinochloa polystachya* e *Brachiaria mutica* (Baruch, 1994), gramíneas forrageiras tidas como tolerantes ao excesso de água no solo (Dias-Filho, 2005).

Condutância estomática

Foi possível observar interação significativa entre cultivar x nível de umidade do solo para a

condutância estomática ($F_{2,167} = 6,04$; $P = 0,003$). A redução percentual na condutância estomática foi mais acentuada na cultivar Tanzânia (42,6%; $F_{1,167} = 73,04$; $P < 0,001$) e menor nas cultivares Massai (29,8%; $F_{1,167} = 24,1$; $P < 0,001$) e Mombaça (27,6%; $F_{1,167} = 24,1$; $P < 0,001$) (Figura 11).

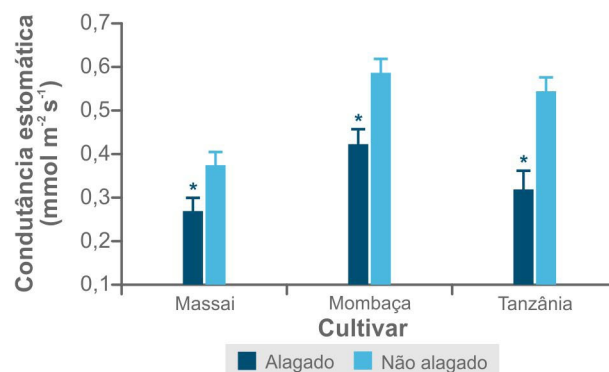


Figura 11. Taxa média de condutância estomática para cultivares de *Panicum maximum*, cultivadas em solo alagado e não alagado, durante 5 dias contínuos de alagamento do solo.

Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo para uma determinada cultivar.

O alagamento reduz a condutância estomática, que serve como um indicador inicial de estresse hídrico. Essa situação ocorre devido à baixa oxigenação na zona radicular causada pelo excesso de água no solo, restringindo a capacidade da planta de promover trocas gasosas com o meio externo (Lin et al., 2022). Durante o alagamento, os estômatos nas folhas se fecham, enquanto a degradação da clorofila, a senescência das folhas e o amarelecimento diminuem a habilidade das folhas de absorver luz, resultando, por fim, em uma queda na taxa de fotossíntese (Yan et al., 2018).

No presente trabalho, identificou-se uma relação significativa entre a condutância estomática e a taxa de assimilação de CO_2 nas três cultivares estudadas. Essa observação indica que a eficiência fotossintética foi, em grande medida, influenciada pela condutância estomática. Uma resposta análoga relacionada à condutância estomática foi registrada entre gramíneas forrageiras com diferentes níveis de tolerância à inundação, conforme mencionado por Baruch (1994), bem como em variedades de sorgo submetidas a alagamento do solo (Promkhambut et al., 2010).

Tolerância ao alagamento

O coeficiente de tolerância ao alagamento do solo para o arranjo Cultivar x Variável é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de tolerância relativa ao alagamento do solo (CTA) das cultivares avaliadas. A média para cada cultivar representa o valor médio das oito variáveis medidas.

Variável	Cultivar		
	Massai	Mombaça	Tanzânia
Alongamento	66,4	64,9	53
Massa seca total	70,1	57,1	72,1
Folha	95,3	71,8	84,3
Raiz	56,1	58,1	54,5
Taxa de crescimento relativo	73,7	62,5	77,8
Perfilhamento	69,8	39,5	76,2
Fotossíntese	87,9	85,4	76
Condutância estomática	70,2	72,4	57,4
Média	73,8	64,0	68,7

Percebe-se uma tendência em classificar as cultivares em três categorias de tolerância, fundamentando-se nos índices da CTA.

A representação gráfica da Tabela 11 também ressalta a diferença entre as três cultivares em relação à tolerância ao alagamento do solo (Figura 12).

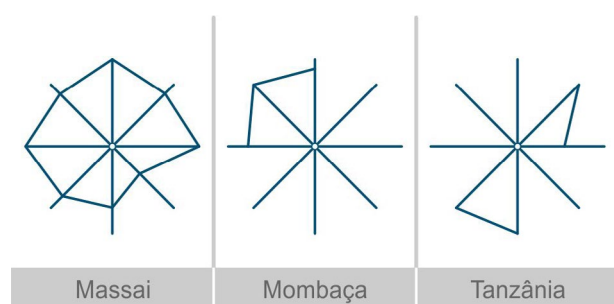


Figura 12. Raios indicando a resposta ao alagamento do solo para as cultivares Massai, Mombaça e Tanzânia. Iniciando na posição “12 horas” e seguindo no sentido horário, cada um dos raios representa as variáveis de resposta a seguir: alongamento foliar, produção total de massa seca, produção de massa seca das folhas, produção de massa seca das raízes, taxa de crescimento relativo, perfilhamento, fotossíntese líquida e condutância estomática. A maior distância entre o centro do gráfico e a extremidade do raio sinaliza que a variável sofreu menos influência do alagamento do solo.

Com base na Tabela 1 e na Figura 12, observa-se que a cultivar Massai (Figura 13) demonstrou uma tolerância maior ao alagamento do solo. Em comparação, a cultivar Mombaça (Figura 14) apresentou uma menor sensibilidade ao alagamento em relação a cultivar Tanzânia (Figura 15), especialmente no que diz respeito à taxa de alongamento das folhas, ao desenvolvimento das raízes e às trocas gasosas. Em contrapartida, a cultivar Tanzânia mostrou desempenho superior à cultivar Mombaça sob alagamento do solo, destacando-se na produção foliar, na massa seca total, na taxa de crescimento relativo e no perfilhamento.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 13. Aspecto de plantas da cultivar Massai de *Panicum maximum* cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 5 dias após o início do alagamento do solo.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 14. Aspecto de plantas da cultivar Mombaça de *Panicum maximum* cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 5 dias após o início do alagamento do solo.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 15. Aspecto de plantas da cultivar Tanzânia de *Panicum maximum* cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 5 dias após o início do alagamento do solo.

Conclusões

A cultivar Massai apresentou maior tolerância ao excesso de água no solo em comparação às demais cultivares. As cultivares Mombaça e Tanzânia exibiram uma tolerância relativamente similar ao excesso de água, e a cultivar Tanzânia evidenciou vantagem nesse aspecto.

Referências

- AMARAL, R. M.; SARANGO, L. A. C.; REIS, C. E. R.; LINS, T. O. J. D.; SCHULTZ, E. B.; GUERRERO, D. C. Comparison of the waterlogging tolerance and morphological responses of five *Urochloa* spp. grasses. **Stresses**, v. 4, n. 2, p. 320-329, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/stresses4020020>.
- ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v. 43, n. 4, p. 307-358, 1994.
- ASSUERO, S. G.; TOGNETTI, J. A. Tillering regulation by endogenous and environmental factors and its agricultural management. **The American Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 4, p. 35-48, 2010.
- BARUCH, Z. Responses to drought and flooding in tropical forage grasses. II. Leaf water potential, photosynthesis rate and alcohol dehydrogenase activity. **Plant and Soil**, v. 164, n. 1, p. 97-105, 1994.
- BELONI, T.; PEZZOPANE, C. G.; ROVADOSCKI, G. A.; FÁVERO, A. P.; DIAS-FILHO, M. B.; SANTOS, P. M. Morphological and physiological responses and the recovery ability of *Paspalum* accessions to water deficit and waterlogging. **Grass Forage Science**, v. 72, n. 4, p. 840-850, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12281>.
- CAETANO, L. P. S.; DIAS-FILHO, M. B. Responses of six *Brachiaria* spp. accessions to root zone flooding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 5, p. 795-801, 2008.
- CARDOSO, J. A.; JIMÉNEZ, J.; RINCÓN, J.; GUEVARA, E.; VAN DER HOEK, R.; JARVIS, A.; PETERS, M.; MILES, J.; AYARZA, M.; CAJAS, S.; RINCÓN, A.; MATEUS, H.; QUICENO, J.; BARRAGÁN, W.; LASCANO, C.; ARGEL, P.; MENA, M.; HERTENTAINS, L.; RAO, I. Advances in improving tolerance to waterlogging in *Brachiaria* grasses. **Tropical Grasslands-Forrages Tropicales**, v. 1, n. 2, p. 197-201, 2013b. DOI: [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)197-201](https://doi.org/10.17138/tgft(1)197-201).
- CARDOSO, J. A.; RINCÓN, J.; JIMÉNEZ, J. D. L. C.; NOGUERA, D.; RAO, I. M. Morpho-anatomical adaptations to waterlogging by germplasm accessions in a tropical forage grass. **AoB Plants**, v. 5, plt047, 2013a. DOI: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plt047>.
- COLMER, T. D.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 8, p. 665-681, 2009.
- COSTA, M. N. X. da. **Desempenho de duas gramíneas forrageiras tropicais tolerantes ao estresse hídrico por alagamento em dois solos glei húmicos**. 2004. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DIAS-FILHO, M. B. Características morfoanatômicas e fisiológicas de gramíneas associadas à tolerância a alagamento e encharcamento. In: SOUZA, F. H. D. de; MATTA, F. de P.; FÁVERO, A. P. (ed.). **Construção de ideótipos de gramíneas para uso diversos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. cap. 6, p. 125-150.
- DIAS-FILHO, M. B. Opções forrageiras para áreas sujeitas a inundação ou alagamento temporário. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. de; SILVA, S. C. da; FARIA, V. P. de (ed.). **Teoria e prática da produção animal em pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 71-93.
- DIAS-FILHO, M. B. Respostas morfofisiológicas de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo e a síndrome da morte do capim-marandu. In: BARBOSA, R. A. (ed.). **Morte de pastos de braquiárias**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2006. p. 83-101.
- DIAS-FILHO, M. B. **Soluções para problemas recorrentes em pastagens no Pará**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 27 p.
- DIAS-FILHO, M. B. Tolerance to flooding in five *Brachiaria brizantha* accessions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 439-447, 2002.
- DIAS-FILHO, 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.

- DIAS-FILHO, M. B.; CRUZ, E. D.; LOPES, M. J. dos S.; BARRIOS, S. C. L.; VALLE, C. B. do. **Tolerância relativa de doze híbridos interespecíficos de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2020. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 141). Disponível em: <https://bit.ly/3Zspiu1>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- DIAS-FILHO, M. B.; FREITAS, M. V. de; LOPES, M. J. dos S.; CRUZ, E. D.; BARRIOS, S. C. L.; VALLE, C. B. do. **Tolerância relativa de híbridos de *Brachiaria decumbens* ao alagamento do solo.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 23 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 127). Disponível em: <https://bit.ly/2LLML4s>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S. **Respostas de cultivares de *Brachiaria humidicola* e de *Brachiaria brizantha* 'Marandu' ao alagamento do solo.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. 27 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 137). Disponível em: <https://bit.ly/3bHFA7S>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S. Screening for tolerance to waterlogging in forage plants. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE BREEDING, 3., 2011, Bonito, MS. **Breeding forages for climate change adaptation and mitigation-eco-efficient animal production:** proceedings. [Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte], 2011. p. 333-346.
- DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S.; BARRIOS, S. C. L.; VALLE, C. B. do. **Tolerância relativa de dois acessos de *Brachiaria brizantha* ao alagamento do solo.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. 24 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 138). Disponível em: <https://bit.ly/2WM0pur>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- FAN, S.; YU, H.; LIU, C.; YU, D.; HAN, Y.; WANG, L. The effects of complete submergence on the morphological and biomass allocation response of the invasive plant *Alternanthera philoxeroides*. **Hydrobiologia**, v. 746, n. 1, p. 159-169, 2015.
- HERZOG, M.; STRIKER, G. G.; COLMER, T. D.; PEDERSEN, O. Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat – a review of root and shoot physiology. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, n. 5, p. 1068-1086, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12676>.
- HUNT, R. **Basic growth analysis for beginners.** London: U. Hyman, 1990. 112 p.
- JEWISS, O. R. Tillering in grasses—Its significance and control. **Grass and Forage Science**, v. 27, n. 2, p. 65-82, 1972.
- JIMÉNEZ, J. de la C.; CARDOSO, J. A.; ARANGO-LONDOÑO, D.; FISCHER, G.; RAO, I. Influencia de la fertilidad del suelo en la tolerancia a inundación en dos pastos de *Brachiaria*. **Agronomía Colombiana**, v. 33, n. 1, p. 20-28, Apr. 2015.
- KAUR, G.; SINGH, G.; MOTAVALLI, P. P.; NELSON, K. A.; ORLOWSKI, J. M.; GOLDEN, B. R. Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: a review. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 1475-1501, 2020.
- LANGAN, P.; BERNÁD, V.; WALSH, J.; HENCHY, J.; KHODAEIAMINJAN, M.; MANGINA, E.; NEGRÃO, S. Phenotyping for waterlogging tolerance in crops: current trends and future prospects. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 15, p. 5149-5169, 2022.
- LANGAN, P.; CAVEL, E.; HENCHY, J.; VILLÓ, B.; RUEL, P.; O'DEA, K.; YATAGAMPITIYA, K.; DEMAILLY, H.; GUTIERREZ, L.; NEGRÃO, S. Evaluating waterlogging stress response and recovery in barley (*Hordeum vulgare* L.): an image-based phenotyping approach. **Plant Methods**, v. 20, n. 146, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01256-6>.
- LIN, S. Y.; CHEN, P. A.; ZHUANG, B. W. The stomatal conductance and Fv/Fm as the indicators of stress tolerance of avocado seedlings under short-term waterlogging. **Agronomy**, v. 12, n. 5, Article 1084, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051084>.
- LORETI, E.; VAN VEEN, H.; PERATA, P. Plant responses to flooding stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 33, p. 64-71, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2qs5Vkw>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- LUAN, H.; GUO, B.; PAN, Y.; LV, C.; SHEN, H.; XU, R. Morpho-anatomical and physiological responses to waterlogging stress in different barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. **Plant Growth Regulation**, v. 85, n. 3, p. 399-409, 2018.
- MACEDO, M. C. M. Pastagens cultivadas no Brasil: importância, evolução e desafios. In: MARCHI, S. R. de; MARTINS, D. (ed.). **Matologia de pastagens.** Jaboticabal: Funep, 2024. p. 1-41.
- MALIK, A. I.; COLMER, T. D.; LAMBERS, H.; SETTER, T. L.; SCHORTEMEYER, M. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. **New Phytologist**, v. 153, n. 2, p. 225-236, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00318.x>.
- MATTOS, J. L. S.; 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, maio/jun. 2005.

MAUCHAMP, A.; BLANCH, S.; GRILLAS, P. Effects of submergence on the growth of *Phragmites australis* seedlings. **Aquatic Botany**, v. 69, n. 2-4, p. 147-164, 2001.

MENON-MARTÍNEZ, F. E.; GRIMOLDI, A. A.; STRIKER, G. G.; DI BELLA, C. E. Variability among *Festuca arundinacea* cultivars for tolerance to and recovery from waterlogging, salinity and their combination. **Crop and Pasture Science**, v. 72, n. 1, p. 75-84, 2021.

MOLLARD, F. P. O.; STRIKER, G. G.; PLOCHUK, E. L.; VEGA, A. S.; INSAUSTI, P. Flooding tolerance of *Paspalum dilatatum* (Poaceae: Paniceae) from upland and lowland positions in a natural grassland. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 203, n. 7, p. 548-556, Oct. 2008.

NGUMBI, E. N. Could flooding undermine progress in building climate-resilient crops? **Trends in Plant Science**, v. 30, n. 1, p. 85-94, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2024.07.017>.

OU, L. J.; DAI, X. Z.; ZHANG, Z. Q.; ZOU, X. X. Responses of pepper to waterlogging stress. **Photosynthetica**, v. 49, n. 3, p. 339-445, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-011-0043-x>.

PAN, J.; SHARIF, R.; XU, X.; CHEN, X. Mechanisms of Waterlogging Tolerance in Plants: Research Progress and Prospects. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, Article 627331, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331>.

PANOZZO, A.; DAL, C. C.; FERRARI, M.; VICELLI, B.; VAROTTO, S.; VAMERALI, T. Morphological changes and expressions of *AOX1A*, *CYP81D8*, and putative *PPF* genes in a large set of commercial maize hybrids under extreme waterlogging. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, Article 62, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00062>.

PEDREIRA, B. C.; DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. de; PEREIRA, D. H.; HOLSCHUCH, S. G.; CAVALLI, J. Convivendo com a síndrome da morte do braquiário na Amazônia. In: DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. de (ed.). **Recuperação de pastagens degradadas na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 127-151.

PEDREIRA, B. C.; DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. de; RIBEIRO, L. F. C.; PEREIRA, D. H.; PINA, D. dos S.; CARNEVALLI, R. A.; COSTA, F. C.; FELIPE, F. de L. Síndrome da morte do braquiário em Mato Grosso. In: PEDREIRA, B. C.; PEREIRA, D. H.; PINA, D. dos S.; CARNEVALLI, R. A.; LOPES, L. B. (ed.). **Intensificação da produção animal em pastagens**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 217-237.

POORTER, H.; NIKLAS, K. J.; REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2012.

PROMKHAMBUT, A.; YOUNGER, A.; POLTHANEE, A.; AKKASAENG, C. Morphological and physiological responses of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to waterlogging. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 4, p. 183, 2010.

REN, B.; ZHANG, J.; DONG, S.; LIU, P.; ZHAO, B. Root and shoot responses of summer maize to waterlogging at different stages. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 3, p. 1060-1069, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0547>.

RIBEIRO, R. H.; MIQUILINI, M.; LYON, S. W.; DIECKOW, J.; CHIAVEGATO, M. B. Inundation impacts on diversified pasture biomass allocation and soil particulate organic matter stocks. **Grass and Forage Science**, v. 78, n. 4, p. 563-577, 2023.

SILVA, A. S.; LAURA, V. A.; JANK, L. Soil Flood Tolerance of Seven Genotypes of *Panicum maximum* Jacq. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 6, p. 1341-1348, Nov./Dec. 2009.

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

THAMPI, A. C.; PRAMEELA, P.; ANTONY, S.; SEKHAR, L. Flood tolerance of hybrid napier (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) cultivars. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 35, n. 21, p. 394-402, 2023.

TIAN, L. X.; ZHANG, Y. C.; CHEN, P. L.; ZHANG, F. F.; LI, J.; YAN, F.; DONG, Y.; FENG, B. L. How does the waterlogging regime affect crop yield? A global meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, Article 634898, 2021.

VOESENEK, L.; BAILEY-SERRES, J. Flood adaptive traits and processes: an overview. **New Phytologist**, v. 206, n. 1, p. 57-73, 2015.

VOESENEK, L. A. C. J.; BAILEY-SERRES, J. Flooding tolerance: O₂ sensing and survival strategies. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 16, n. 5, p. 647-653, Oct. 2013.

WILSON, S.; DONAGHY, D.; HORNE, D.; NAVARRETE, S.; KEMP, P.; RAWLINGSON, C. Plantain (*Plantago lanceolata* L.) leaf elongation and photosynthesis rates are reduced under waterlogging. **Biology and Life Sciences Forum**, v. 27, n. 1, Article 26, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/IECAG2023-14976>.

YAN, K.; ZHAO, S.; CUI, M.; HAN, G.; WEN, P. Vulnerability of photosynthesis and photosystem I in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) exposed to waterlogging. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 125, p. 239-246, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.017>.

YIN, D.; CHEN, S.; CHEN, F.; GUAN, Z.; FANG, W. Morphological and physiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 87-93, Nov. 2009.

YU, D.; TANG, H.; LI, P.; MENGDI, Z.; GUANGYING, Z.; YANJING, L. Temperature and flooding depth thresholds for early recruitment stages in a bulbous plant *Bolboschoenus planiculmis*. **Wetlands Ecology and Management**, v. 31, p. 19-30, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11273-022-09899-9>.

ZHANG, R. D.; ZHOU, Y. F.; YUE, Z. X.; CHEN, X. F.; HUANG, R. D. Changes in photosynthesis, chloroplast ultrastructure, and antioxidant metabolism in leaves of sorghum under waterlogging stress. **Photosynthetica**, v. 57, n. 4, p. 1076-1083, 2019.

ZHANG, R.; YUE, Z.; CHEN, X.; HUANG, R.; ZHOU, Y.; CAO, X. Effects of waterlogging at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **Scientific Reports**, v. 13, Article 7212, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32478-8>.

ZHAO, Y.; WANG, D.; DUAN, H. Effects of drought and flooding on growth and physiology of *Cinnamomum camphora* seedlings. **Forests**, v. 14, n. 7, Article 1343, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14071343>.

ZHU, M.; LI, F. H.; SHI, Z. S. Morphological and photosynthetic response of waxy corn inbred line to waterlogging. **Photosynthetica**, v. 54, n. 4, p. 636-640, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0203-0>.