

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
UNIDADE DE IPAMERI
CURSO: ENGENHARIA AGRONÔMICA

AMANDA AYDA GARCIA BASÍLIO

**ESTABELECIMENTO DE PLANTAS DE SORGO GRANÍFERO SOB DIFERENTES
REGIMES HÍDRICOS**

IPAMERI – GO
2023

AMANDA AYDA GARCIA BASÍLIO

**ESTABELECIMENTOS DE PLANTAS DE SORGO GRANÍFERO SOB
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica, pela Universidade Estadual de Goiás – Unidade de Ipameri, sob a orientação do professor Dr. Fábio Santos Matos.

IPAMERI – GO
2023

GB312 Garcia Basílio, Amanda Ayda
e ESTABELECIMENTO DE PLANTAS DE SORGO GRANÍFERO SOB
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS / Amanda Ayda Garcia
Basílio; orientador Fábio Santos Matos; co-orientador
Larissa Pacheco Borges. -- Ipameri, 2023.
26 p.

Graduação - Agronomia -- Unidade de Ipameri,
Universidade Estadual de Goiás, 2023.

1. Estresse hídrico. 2. Desenvolvimento inicial de
plantas. I. Santos Matos, Fábio, orient. II. Pacheco
Borges, Larissa, co-orient. III. Título.



Ata de Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso

No 12º dia do mês de junho de dois mil e vinte e três, às 10 horas, realizou-se na Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri, sessão pública de apresentação e apreciação (Defesa) do Trabalho de Conclusão de Curso, TCC intitulado: **Estabelecimento de Plantas de Sorgo Granífero sob Diferentes Regimes Hídricos**, resultante de **Artigo Científico**, apresentado pela acadêmica **Amanda Ayda Garcia Basilio**, do curso de **Agronomia**, como exigência parcial para a obtenção do título de **Agrônomo**.

A Banca foi constituída pelos professores: **Fábio Santos Matos**(orientador), **Larissa Pacheco Borges** e **Talles Eduardo Borges dos Santos**.

A Banca examinadora passou a arguição pública do aluno. Encerrados os trabalhos os examinadores deram o parecer final sobre o Trabalho de Conclusão de Curso.

Parecer APROVADA pela Banca Examinadora

Nota: 10,00

Banca Examinadora:

Fábio Santos Matos (orientador)

Fábio Santos Matos

Larissa Pacheco Borges

Larissa Pacheco Borges

Talles Eduardo Borges dos Santos

Talles Eduardo Borges dos Santos

AMANDA AYDA GARCIA BASÍLIO

**ESTABELECIMENTO DE PLANTAS DE SORGO GRANÍFERO SOB DIFERENTES
REGIMES HÍDRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma, pela Universidade Estadual de Goiás – Unidade de Ipameri, sob a orientação do professor Dr. Fábio Santos Matos.

Aprovada em _____, de _____, de _____, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Fábio Santos Matos – Orientador
Doutor em Fitotecnia
Universidade Estadual de Goiás

Larissa Pacheco Borges – Avaliadora
Doutora em Ciências Agrárias
Universidade Estadual de Goiás

Talles Eduardo Borges dos Santos
Doutor em Agronomia
Universidade Estadual de Goiás

Ao meu avô José e ao meu pai Newton, que foram motivos de inspiração e exemplos de força de vontade, amor pelo trabalho e determinação. A Deus, por ter guiado meu caminho e por ter fornecido sabedoria e forças nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Palavras não conseguem expressar tamanha gratidão, respeito e orgulho por cada pessoa que encontrei nesta caminhada. A Deus, quero agradecer por ter se mostrado presente em diversas situações de desânimo, me proporcionando forças e confirmando que esse era um dos sonhos que sonhou para mim, mostrou que apesar das dificuldades nada é impossível para aquele que crê.

Aos meus pais, Newton e Aline, agradeço por todo apoio, incentivo, por toda educação que me deram, por serem exemplos de determinação e coragem e por me darem a oportunidade de estudar o que se tornou meu fascínio.

Aos meus avós, por todas as palavras de carinho e de estímulo, por sempre estarem presentes torcendo pelo meu sucesso profissional e pessoal, por todos os conselhos e por ensinarem um bom caminho a ser seguido.

Ao meu orientador e professor, Dr. Fábio Santos Matos e a minha coorientadora, Dr. Larissa Pacheco Borges, pela disponibilidade, generosidade, auxílio e paciência em todos os anos de pesquisa, promovendo desenvolvimento intelectual, ético e pessoal, tornando possível o progresso deste trabalho.

Aos meus amigos e meu companheiro, que por vezes deixaram os momentos ruins mais leves, contribuindo cada um de sua maneira, obrigada pelo companheirismo, por toda assistência e amparo, foi um imenso prazer partilhar desta caminhada com vocês.

A Universidade Estadual de Goiás, por proporcionar professores qualificados, por todos os ensinamentos e por todas as oportunidades de aprendizagem fornecidas nesses cinco anos de estudo.

Este agradecimento, mesmo que de uma maneira simples, é uma forma de expressar o quão importante todos foram até esse momento. Que Deus abençoe a todos grandemente.

Semeia um pensamento, colhe um ato. Semeia um ato, colhe um hábito. Semeia um hábito, colhe um caráter. Semeia um caráter, colhe um destino.
(LAURENSE, Marion)

ESTABELECIMENTO DE PLANTAS DE SORGO GRANÍFERO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

AMANDA AYDA GARCIA BASÍLIO

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo identificar o efeito da disponibilidade hídrica no crescimento inicial de plantas de sorgo, bem como, identificar a estratégia de tolerância a seca e ao excesso de água. O trabalho foi conduzido sob bancada em casa de vegetação coberta com plástico transparente e laterais com sombrite que interceptam 50% da radiação solar na Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, UnU-Ipameri. As sementes de *Sorghum bicolor* foram semeadas em vaso com capacidade de cinco litros contendo uma mistura de solo, areia e esterco na proporção de 3:1:1 respectivamente. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e seis repetições. Após a emergência e desenvolvimento inicial de 20 dias as plantas foram irrigadas com volumes de água referentes a 0%, 25%, 50%, 100%, 200% e 400% da evapotranspiração diária. As avaliações ocorreram aos 40 dias após emergência. A restrição hídrica limita o crescimento de plantas de sorgo, no entanto, para tolerar o estresse as plantas incrementam o comprimento do sistema radicular e reduzem a transpiração através de eficiente controle estomático e mantem-se hidratada para continuidade do crescimento. O excesso de água entre 100% e 400% da ET não limitou o crescimento de plantas de *Sorghum bicolor*, pois a elevada taxa transpiratória eliminou para atmosfera o excesso de água no solo, no entanto, a partir de 230% da ET as plantas apresentaram acanhados sinais de decréscimo na iniciação de folhas e teor relativo de água.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*; seca; inundação.

ESTABLISHMENT OF GRAIN SORGHUM PLANTS UNDER DIFFERENT WATER REGIMES

AMANDA AYDA GARCIA BASÍLIO

ABSTRACT

The present study aimed to identify the effect of water availability on the initial growth of sorghum plants, as well as to identify the drought and excess water tolerance strategy. The work was conducted under a bench in a greenhouse covered with transparent plastic and sides with shade that intercept 50% of solar radiation at the State University of Goiás, Campus Sul, UnU-Ipameri. The seeds of *Sorghum bicolor* were sown in vases with a capacity of five liters containing a mixture of soil, sand and manure in the proportion of 3:1:1 respectively. A completely randomized design with six treatments and six replications was used. After emergence and initial development for 20 days, the plants were irrigated with volumes of water corresponding to 0%, 25%, 50%, 100%, 200% and 400% of daily evapotranspiration. The evaluations occurred at 40 days after emergence. Water restriction limits the growth of sorghum plants, however, to tolerate stress the plants increase the length of the root system and reduce transpiration through efficient stomatal control and remain hydrated for growth continuity. Excess water between 100% and 400% of the ET did not limit the growth of *Sorghum bicolor* plants, since the high transpiration rate eliminated the excess water in the soil from the atmosphere, however, from 230% of the ET the plants showed skimpy signs of decrease in leaf initiation and relative water content.

Keywords: *Sorghum bicolor*; drought; flood.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MATERIAL E MÉTODOS	14
Variáveis de crescimento	15
Pigmentos fotossintéticos.....	15
Teor relativo de água na folha.....	15
Taxa de transpiração	15
Procedimentos Estatísticos.....	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4 CONCLUSÕES	23
5 REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos agrícolas foi notória a expressiva expansão da cultura do sorgo no Brasil, com destaque para o estado de Goiás que se consolidou como o maior produtor dessa cultura, tendo uma produção estimada de 1,1 milhões de toneladas em 2023 (IBGE, 2022). Para a safra 2023, a Companhia Nacional de Abastecimento estima que Goiás representará 44% da produção de sorgo do Brasil (CONAB, 2022). Segundo Ribas et al. (2014), a significativa expansão da área cultivada com sorgo ocorreu por se tratar de uma excelente opção de substituição do milho na nutrição animal.

Na alimentação animal, o sorgo pode substituir parcialmente o milho nas rações para aves e suínos e totalmente para ruminantes, com a vantagem de requerer menor custo de produção e se obter preços correspondentes a 80% do preço do milho (DUARTE, 2012). Além de ser considerado como uma boa alternativa para a alimentação animal, o sorgo possui outras importâncias fundamentais para a economia. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (2022), o sorgo é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países, sendo utilizado na forma de farinha, açúcar, bebidas alcoólicas fermentadas, alimentos matinais, entre outros. Também pode ser consumido nas indústrias químicas, na petroquímica e farmacêutica (NOERHARTATI et al., 2019).

Do ponto de vista agrônomo, o crescimento do cultivo da cultura do sorgo é explicado, principalmente, pelo alto potencial de produção de grãos, além da extraordinária capacidade de suportar estresses ambientais, como o déficit hídrico corriqueiro nas safrinhas (JORDAN et al., 2017). No entanto, com a quantidade ideal de água o sorgo tem a capacidade de aumentar sua produção, é possível pensar que se cultivado em uma safra na qual há maior disponibilidade de água durante os dias, o sorgo colocaria o Brasil em posição melhor no ranking de produção do cereal, onde atualmente ocupa o 9º lugar de acordo com a USDA (2022).

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L.) é uma espécie de origem tropical e, portanto, exigente em clima quente para expressar o máximo potencial genético. A planta de sorgo não suporta baixas temperaturas e, por isso, no Brasil, o sorgo é cultivado em regiões com temperaturas médias superiores a 20° C (WANI et al., 2012). No cerrado brasileiro, a cultura do sorgo pode ser utilizada como uma opção para o cultivo de safrinha (cultivo em sucessão), visando à produção de grãos, ou ao fornecimento de resíduo vegetal para o sistema de plantio direto (JÚNNYOR et al., 2015), podendo ser semeada após o cultivo de soja ou milho, pela sua maior tolerância ao déficit hídrico (CHOUDHARY et al., 2019).

De acordo com Bell et al. (2018), há uma resposta linear positiva do rendimento de grãos e a evapotranspiração da cultura (ETc). Apesar da rusticidade do sorgo, é possível verificar que nos estádios de estabelecimento e crescimento, compreendidos entre a germinação e a iniciação da panícula a espécie pode ter o desenvolvimento prejudicado pelo déficit hídrico ocasionado pelas estiagens, comuns nos períodos de safrinha, ou pelo excesso de precipitação, que pode ocorrer no início das safrinhas. Nos estádios de florescimento e enchimento de grãos, o déficit hídrico, prejudica o rendimento de grãos e essas perdas de rendimento podem depender da soma de fatores como a capacidade de armazenamento de água no solo, evapotranspiração e tolerância do material vegetal utilizado (MASASI et al., 2019).

As avaliações de sistemas de manejos alternativos da água, do cultivo e de produção iniciam com o conhecimento das respostas da cultura à quantidade de água disponível no solo. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo identificar o efeito da disponibilidade hídrica no crescimento inicial de plantas de sorgo, bem como, identificar a estratégia de tolerância a seca e ao excesso de água.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação coberta com plástico transparente e laterais em sombrite com interceptação de 50% da radiação solar, localizada na Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, UnU-Ipameri (Lat. 17° 42' 59,12 S, Long. 48°08'40,49''W, Alt. 773 m), Ipameri, GO. Essa região possui clima tropical com inverno seco e verão úmido (Aw) de acordo com a classificação de Köppen e temperatura média de 20 °C (ALVARES et al., 2013). Foram utilizadas três sementes de sorgo granífero DOW 1G100 (variedade superprecoce, com ciclo completado em aproximadamente 90 dias) em vaso com capacidade de cinco litros e preenchidos com 5 kg de substrato composto por Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, areia e esterco na proporção de 3:1:1, respectivamente. A análise química da mistura revelou os seguintes valores: pH (CaCl₂) 5.4; 16 g dm⁻³ de matéria orgânica; 68 mg dm⁻³ de P; 6.81 mmolc dm⁻³ de K (Mehlich⁻¹); 22 mmolc dm⁻³ (Tampão SMP) de H + Al; 31 mmolc dm⁻³ de Ca; 15 mmolc dm⁻³ de Mg; 53 mmolc dm⁻³ de SB; 75 mmolc dm⁻³ de CTC; e 71% de saturação por bases.

Aos 20 dias após a emergência (DAE) das plantas quando estavam no estágio fisiológico 2, foi realizado o desbaste deixando uma planta por vaso e nesta idade os tratamentos foram impostos, as plantas foram irrigadas com volumes de água referentes a 0%, 25%, 50%, 100%, 200% e 400% da evapotranspiração diária durante 20 dias, encerrando-se 40 (DAE) da planta quando a mesma estava no estágio fisiológico 4. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e seis repetições.

As mudas foram irrigadas diariamente com volume de água correspondente a 100% da evapotranspiração diária até os 20 dias de idade. Como o coeficiente da cultura (kc) para sorgo ainda não foi determinado para a região de Ipameri, GO, utilizamos o kc igual a 1,00 seguindo estimativa da FAO 56 (ALLEN et al., 1998) para um grupo de culturas em estágio de crescimento inicial.

O volume de água fornecido foi estimado determinando a evapotranspiração de referência e o coeficiente da cultura conforme equação:

$$ET_c = E_{T_o} \times kc$$

Onde:

ET_c = evapotranspiração da cultura

kc = coeficiente da cultura

E_{T_o} = Evapotranspiração de referência

O cálculo da E_{T_o} diária foi feito pelo método de Penman-Monteith recomendado pela FAO (SMITH et al., 1991) utilizando os dados diários de temperatura máxima e mínima do ar,

umidade relativa do ar, insolação e velocidade do vento obtidos na Estação Meteorológica do INMET localizado no município de Ipameri, GO.

Aos 40 DAE as seguintes variáveis foram analisadas: Altura de planta, diâmetro de caule, comprimento de raiz, número de folhas, área foliar, razão de massa foliar, razão de massa radicular, razão de massa foliar, biomassa, clorofila *a* e *b*, teor relativo de água na folha e taxa de transpiração.

Variáveis de crescimento: A altura de planta foi mensurada a partir da região de transição da raiz com o caule na base da planta rente ao solo (coleto) até o ápice do caule utilizando régua milimétrica. O diâmetro do caule foi mensurado na altura do coleto com paquímetro digital. O tamanho da raiz foi medido através de uma régua milimétrica, posicionando-a no início da formação radicular. O número de folhas foi obtido por contagem. A área foliar foi calculada por um scanner específico. As folhas, raízes e caules foram destacados e colocados para secar em estufa a 72 °C por 72 h até atingir massa seca constante e, em seguida, pesados separadamente. Com os dados de massa seca calculou-se a biomassa total somando-se as massas de todas as partes da planta e razões de massa foliar, caulinar e radicular dividindo-se a massa do órgão específico pela biomassa total.

Pigmentos fotossintéticos: Para a determinação da concentração de clorofilas e carotenoides totais foram retirados dois discos foliares de 0,6 mm de diâmetro cada em folhas totalmente expandidas e colocados em vidros contendo 3 ml de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com carbonato de cálcio 50 (g L⁻¹). Posteriormente, realizou-se a extração em banho-maria a 65 °C por uma hora. Retirou-se alíquotas para leitura espectrofotométrica a 480, 646 e 663 nm. O conteúdo de clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*) e carotenoides totais (Car) foram determinados seguindo a equação proposta por Wellburn, (1994):

$$[\text{Cl } a] (\mu\text{g cm}^{-3}) = 12,19 A_{665} - 3,45 A_{649};$$

$$[\text{Cl } b] (\mu\text{g cm}^{-3}) = 21,99 A_{649} - 5,32 A_{665};$$

$$[\text{Car}] (\mu\text{g cm}^{-3}) = \{[(1000 A_{480} - 2,14 \text{ Clorofila } a - 70,16 \text{ Clorofila } b) * 10] / 220 \times M\}.$$

Teor relativo de água na folha: Para obtenção do teor relativo de água foram retirados cinco discos foliares de 1,2 cm de diâmetro em folhas totalmente expandidas, pesados para registrar a massa fresca (MF) e colocados para saturar por 24 horas em placas de petri com água destilada quando foram novamente pesados e determinada a massa túrgida (MT), em seguida, colocados para secar à temperatura de 70 °C por 72 horas, sendo posteriormente obtida a massa seca (MS) e, em seguida, calculado o teor relativo de água seguindo a equação: (MF – MS)/(MT – MS).

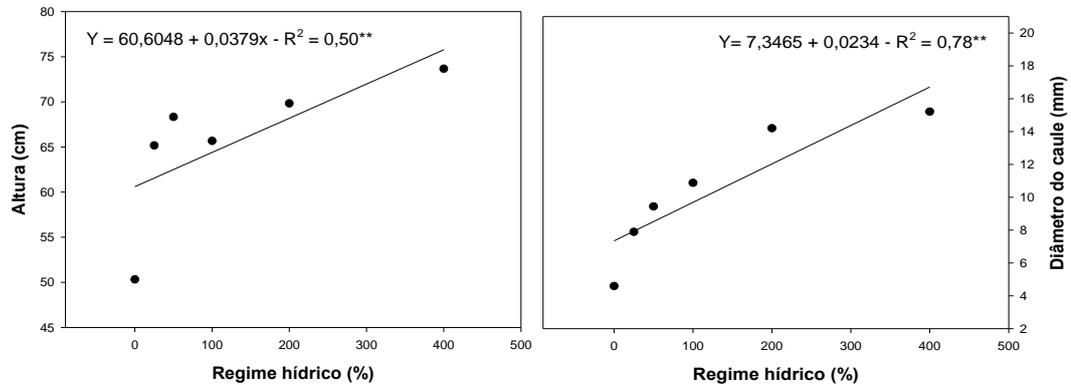
Taxa de transpiração: A transpiração diária total da planta foi mensurada pela diferença de peso dos vasos. Inicialmente cada vaso foi inserido dentro de um saco plástico fixado com

borracha no caule da planta, ficando apenas a parte aérea (folhas e caule) externa ao saco, em seguida, o conjunto vaso com planta e saco plástico foram pesados (massa 01), e 24 horas depois novamente pesados (massa 02). A transpiração total foi estimada pela diferença entre a massa 01 e massa 02.

Procedimentos Estatísticos: Foi realizada uma análise de variância e uma regressão linear e quadrática e nos casos de significância da regressão pelo teste F, o coeficiente de determinação (R^2) foi calculado pela razão da soma dos quadrados da regressão sobre a soma total dos quadrados. A análise multivariada foi realizada por regressão múltipla usando o modelo forward stepwise (SOKAL e ROLF, 1995) e a análise de componentes principais foi realizada usando uma análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA - ANDERSON, 2001). Os softwares Statsoft (STATISTICA, 2007) e SigmaPlot 10.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2006) foram utilizados para realizar essas análises.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

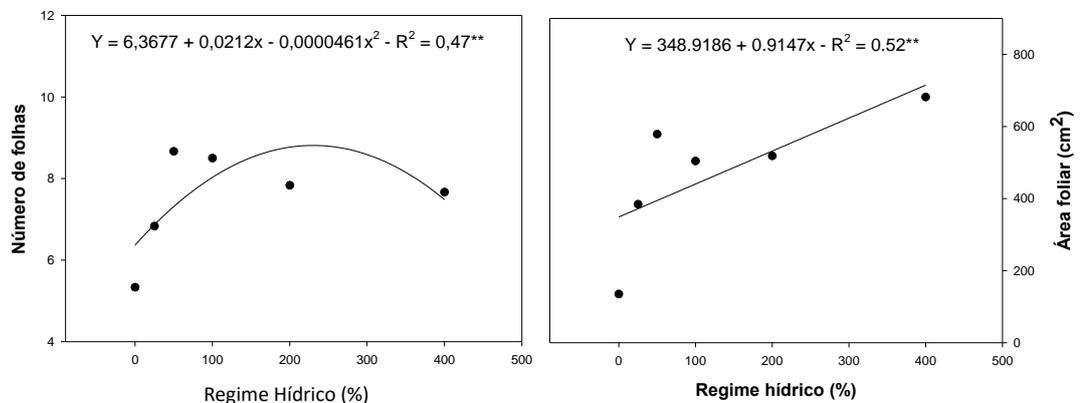
As variáveis com diferenças e ajustes significativos de regressão são mostradas abaixo com as devidas equações.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 1. Gráficos de regressão para altura e diâmetro do caule para plantas de *Sorghum bicolor* irrigadas com diferentes regimes hídricos. * significativo a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade.

Na figura 1 observa-se que a altura de planta, diâmetro do caule foram em média 20% e 56% menores nas plantas sem irrigação em relação às plantas irrigadas com volume de água correspondente a 400% da evapotranspiração (ET) respectivamente, as variáveis apresentam incrementos lineares à medida que aumentou o número de água. A turgidez das células representa condição essencial para expansão da parede celular relaxada conforme relata Matos et al. (2019). No presente estudo observa-se em *Sorghum bicolor*, espécie tolerante a deficiência hídrica, que a água é indispensável para manifestação do máximo potencial genético. Os dados corroboram aos encontrados por Osman et al. (2018), que relataram a importância da água no crescimento vegetativo de plantas de *Sorghum bicolor* e identificaram diminuição principalmente na altura de plantas sob escassez de água.

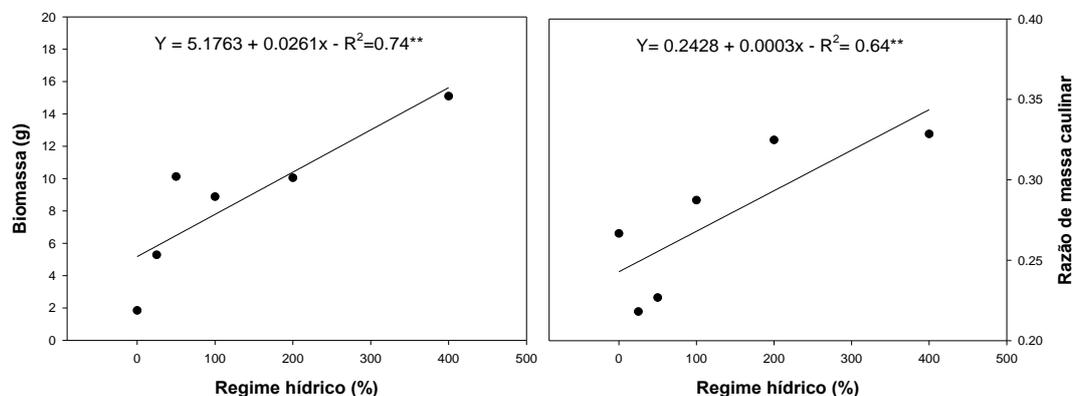


Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 2. Gráficos de regressão para número de folhas e área foliar para plantas de *Sorghum bicolor* irrigadas com diferentes regimes hídricos. * significativo a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade.

O número de folhas apresentou ajuste de regressão quadrático com o número máximo de folhas alcançado em plantas irrigadas com volume de água correspondente a 230% da ET. Sob déficit hídrico severo o número de folhas foi 20% menor que no ponto máximo. O crescimento é dependente da pressão hidrostática entre protoplasto túrgido e parede celular, de forma que a variação da disponibilidade de água resulta em alterações na expansão e divisão celular (IMOROU et al., 2018; SCHULZE et al., 2019). No entanto, segundo Matos et al. (2019) a iniciação foliar é resultado de mecanismos morfofisiológicos e bioquímicos de sinalização em que a água é o principal fator indutor da iniciação foliar, dessa forma, no presente estudo o incremento da disponibilidade de água aumentou o número de folhas e o excesso de água com volumes superiores a 230% da ET comprometeu a iniciação foliar e indica um razoável efeito negativo do alto volume de água fornecido.

A área folia expõe uma diferença de 51% em relação as plantas irrigadas com 0% e aquelas com 400% da evapotranspiração fornecida, constatando-se que a insuficiência de água é uma das causas mais comuns de redução da área foliar e está relacionada com a expansão das células (Krieg, 1983). De acordo com informações supracitadas, a turgidez das células são uma condição extremamente importante para o crescimento da planta, quando a mesma se encontra sob estresse hídrico e necessita diminuir a água das células a consequência é a diminuição do seu desenvolvimento.

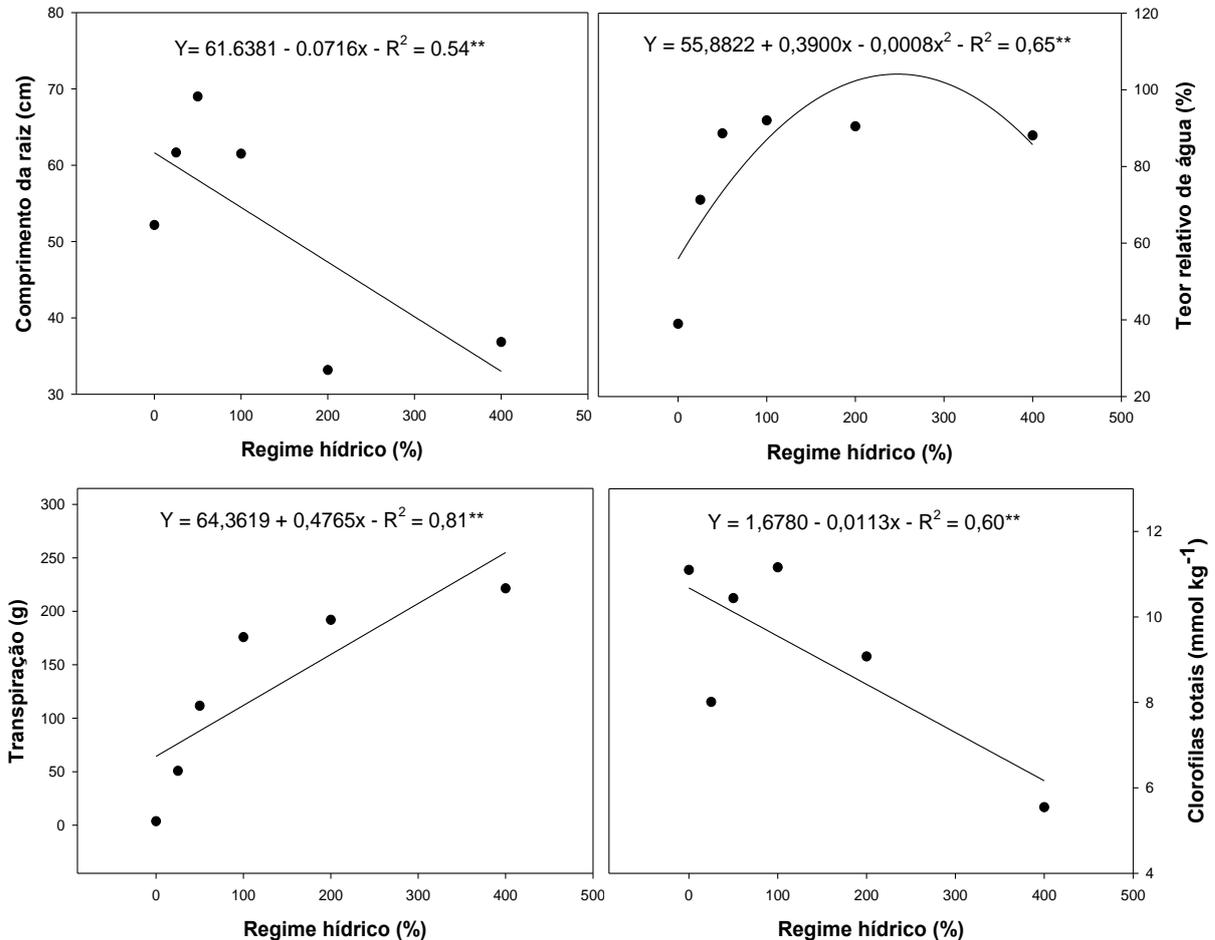


Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 3. Gráficos de regressão para biomassa e razão de massa caulinar para plantas de *Sorghum bicolor* irrigadas com diferentes regimes hídricos. * significativo a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade.

Na figura 3 observa-se que a biomassa total e a razão de massa caulinar foram em média 67% e 33% menores nas plantas sob déficit hídrico rigoroso em relação às plantas irrigadas com volume de água correspondente a 400% de evapotranspiração. O crescimento linear das variáveis se deve ao mecanismo de resistência do sorgo, quando a planta assimila que está em um período de estresse hídrico as raízes sinalizam a falta de água e o teor de ácido

abscísico aumenta, os estômatos se fecham e a planta diminui sua taxa de transpiração. No entanto, os estômatos também são responsáveis por trocas gasosas essenciais para realização da fotossíntese, com isso a respiração da planta diminui. Relaciona-se esse fato à literaturas existentes, onde se afirma que aproximadamente 95% da biomassa total da planta provém da fotossíntese realizada.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 4. Gráficos de regressão de comprimento de raiz, teor relativo de água, transpiração e clorofilas totais para plantas de *Sorghum bicolor* irrigadas com diferentes regimes hídricos. * significativo a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade.

Os resultados da figura 4 demonstram que o comprimento da raiz e concentrações foliares de clorofilas totais em plantas sob déficit hídrico foram 46% e 42% superiores às plantas irrigadas com volume de água referente a 400% da ET. Estas variáveis ajustaram-se a modelos lineares decrescentes com o aumento do volume de água. Sob escassez de água é corriqueiro ocorrer incremento do comprimento do sistema radicular e, assim aumentar a possibilidade de alcançar umidade. A redução nas concentrações de clorofilas representa importante estratégia de minimizar a absorção de energia luminosa e evitar a fotoinibição da fotossíntese conforme relata Taiz e Zeiger et al. (2017).

O teor relativo de água (TRA) ajustou-se ao modelo quadrático de regressão com máximo TRA nas plantas irrigadas com volume de água referente a 244% da ET. As plantas sob déficit hídrico severo sem irrigação tiveram o TRA 46% menor que as plantas com máximo TRA. A hidratação dos tecidos foi condição indispensável para o crescimento e manutenção do metabolismo bioquímico necessário para atividades enzimáticas, síntese de compostos essenciais e funcionamento celular. Os resultados demonstram que o decréscimo do TRA ocorreu em plantas irrigadas com volume de água superior a 244% da ET e indica razoável efeito negativo do excesso de água.

A taxa transpiratória foi 75% inferior nas plantas sob déficit hídrico severo em relação às plantas irrigadas com volume de água correspondente a 400% da ET. O eficiente controle estomático limitante da perda excessiva de água é o principal mecanismo de tolerância de plantas de *Sorghum bicolor* ao déficit hídrico. Segundo Matos et al. (2014) o alto controle estomático pode manter o crescimento, mesmo que desacelerado, em condição de déficit hídrico. Os resultados indicam que o forte controle estomático permitiu as plantas de sorgo reduzirem a transpiração mantendo-se hidratada e conservando o crescimento.

A curva de transpiração não apresenta consonância com o TRA e indica que quando as plantas de *Sorghum bicolor* sob déficit hídrico reduzem a perda de água para a atmosfera não apresentam reduções proporcionais nem constância do TRA, mas sim, reduções brandas do TRA, de forma que os dados apontam para o mecanismo intermediário entre iso-hídrico e aniso-hídrico de sinalização. De acordo com Júnior et al. (2007) existem plantas classificadas como anisohídricas, que têm ampla variação diária segundo a variação da condutância estomática e plantas com menor amplitude diária no potencial da folha, independente da condutância estomática, classificadas como isohídricas. No caso das primeiras, a exemplo do sorgo, o comportamento sugere que os sinais para regulação da condutância estomática provêm, principalmente, da parte aérea, provavelmente pelo acúmulo de ABA.

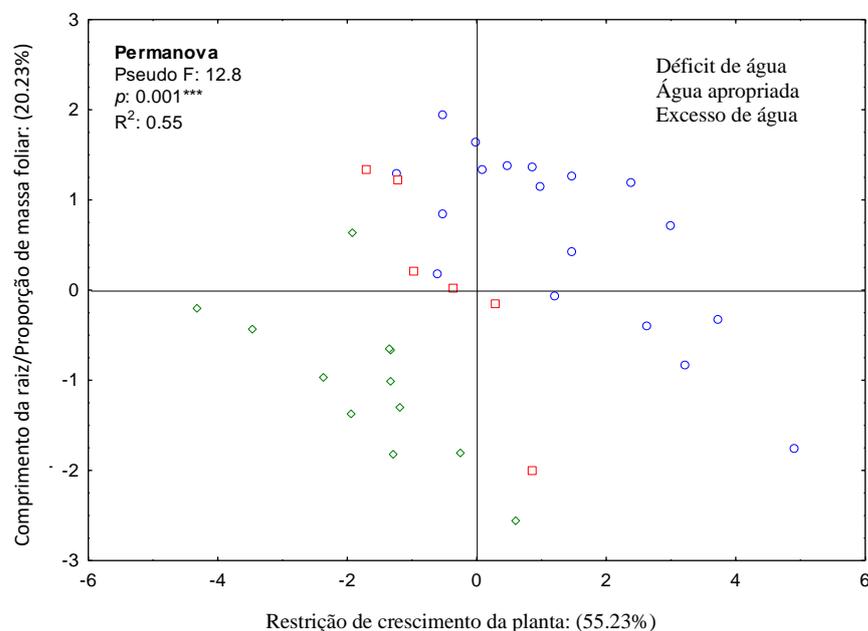
É imperativo afirmar que no intervalo entre déficit hídrico rigoroso e irrigação com volume de água referente a 100% da ET a proporção de inclinação das curvas de regressão das variáveis número de folhas (presente na figura 2) e teor relativo de água (presente na figura 4) é menor que no intervalo entre 100% da ET e 400% da ET. Este resultado indica que a limitação do crescimento é maior quando as plantas são irrigadas com volumes de água inferiores a 100% da ET e, portanto, o déficit hídrico no presente estudo foi mais limitante que o excesso de água. Segundo Taiz e Zeiger et al. (2017) a expansão celular é limitada em células flácidas ou com baixo volume de água.

Tabela 1. Modelo de regressão múltipla para avaliar a importância das variáveis analisadas na biomassa total em plantas de *Sorghum bicolor* irrigadas com diferentes volumes de água.

Biomassa	R ² = 0,91		F (07,28) =45,5		p<0,0000	
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t (28)	p-level
Interceptar			-8.71	2.31	-3.76	0.0008
Diâmetro da haste	0.82	0.1	1.02	0.12	8.27	0.0000**
Área Foliar	0.34	0.09	0.01	0	3.88	0.0006**
Razão de massa radicular	0.22	0.07	10.96	3.36	3.26	0.0029**
Teor relativo de água	-0.29	0.08	-0.07	0.02	-3.45	0.0018**
Clorofilas Totais	0.12	0.07	0.25	0.15	1.66	0.1081
Transpiração	0.18	0.08	0.01	0	2.22	0.0351
Comprimento da Raiz	0.1	0.07	0.03	0.02	1.33	0.1938

Fonte: Aatoria própria, 2019.

A análise de regressão múltipla mostrada na tabela 1 representa 91% da variação da biomassa da planta e indica que as alterações no status hídrico e nas variáveis relacionadas ao sistema radicular e parte aérea são determinantes para o acúmulo de biomassa em plantas de *Sorghum bicolor*. A biomassa, como dito anteriormente, depende da fotossíntese para seu acúmulo, visto que é através dela que a planta desenvolve melhor a parte aérea e a incrementa a densidade das raízes. A água influencia a estrutura molecular e as propriedades de proteínas, membranas e ácidos nucleicos, além disso, constitui o ambiente em que ocorre maioria das reações químicas na célula, participando da maioria das reações essenciais.



Fonte: Aatoria própria, 2019.

Figura 5. Classificação dos pontos da análise de componentes principais (PCA) para a morfofisiológica de plantas de *Sorghum bicolor* irrigadas com diferentes regimes hídricos.

A análise de componentes principais mostrada na figura 5 ratifica os resultados anteriormente apresentados e representa 75,46% da variação dos dados. Com base no eixo 1 que indica restrição do crescimento e eixo 2 que demonstra a relação entre comprimento de raiz

e massa da folha, é notório que as plantas sob déficit hídrico apresentaram menor crescimento (à direita do eixo 1) e maior investimento de recursos em raiz pela localização positiva ao eixo 2.

As plantas irrigadas com 100% do volume de água referente a ET apresentaram valores intermediários e às irrigadas com maior volume de água (400% ET) exibiram maior crescimento da planta como um todo e alto investimento de recursos na parte aérea (inferior ao eixo 2). O estabelecimento de plantas de *Sorghum bicolor* demonstrou estreita dependência da hidratação dos tecidos pela disponibilidade de água no solo, de forma que a elevada sensibilidade estomática limita a perda deste recurso na condição de seca e intensifica a transpiração sob excesso de água.

A restrição hídrica limita o desenvolvimento de plantas de sorgo, no entanto, para tolerar o estresse as plantas incrementam o comprimento do sistema radicular e reduzem a transpiração através de eficiente controle estomático e mantem-se hidratada para continuidade do crescimento.

4 CONCLUSÕES

As plantas de sorgo possuem elevada resistência ao déficit hídrico por seu mecanismo controle estomático avançado. No entanto, com a quantidade ideal de irrigação as plantas da espécie alcançam seu máximo potencial genético e aumentam de forma significativa sua produção e biomassa total.

O excesso de água entre 100% e 400% da ET não limitou o crescimento de plantas de *Sorghum bicolor*, pois a elevada taxa transpiratória eliminou para atmosfera o excesso de água no solo, no entanto, a partir de 230% da ET as plantas apresentaram acanhados sinais de decréscimo na iniciação de folhas e teor relativo de água.

5 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, p.1-300, 1998.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDERSON, M. J. A new method for nonparametric multivariate analysis of variance. **Australian Ecology**. v. 26, p. 32-46. 2001.
- BELL, J. M.; SCHWARTZ, R.; MCINNES, K. J.; HOWELL, T.; MORGAN, C. L. S. Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. **Agricultural water management**, v. 203, p. 289-296, 2018.
- CHOUDHARY, S.; GUHA, A.; KHOLOVA, J.; PANDRAVADA, A.; MESSINA, C. D.; COOPER, M.; VADEZ, V. Maize, sorghum, and pearl millet have highly contrasting species strategies to adapt to water stress and climate change-like conditions. **Plant Science**, v. 295, p. 01-14, 2019.
- CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. s, v. 7- Safra 2022/23 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-13 novembro 2022.
- DUARTE, J. O. Mercado e Comercialização. In: RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do sorgo**. 8. ed. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 26p.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Em julho, IBGE prevê alta de 6,8% na safra de 2023. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/go>
- IMOROU, L.; AHOTON, E. L.; ZOUMAROU-WALLIS, N.; KANLINDOGBE, C. Water stress effect on agro-morphological and physiological parameters of three local cultivars of maize (*Zea mays* L.) of South Benin. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 12, n. 5, p. 2294-2308, 2018.
- JORDAN, R. A.; ALMEIDA, A.; QUEIROZ, M. V.; GOMES, E. P.; REZENDE, R. K. Energy balance of irrigated and rainfed sorghum production. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, p. 907-917, 2017.
- Júnior, P. A. V., Neto, D. D., de Oliveira, R. F., Peres, L. E. P., Martin, T. N., Manfron, P. A., & Bonnacarrère, R. A. G. (2007). Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 29(4), 555-561
- JÚNNYOR, W. D. S. G.; SEVERIANO, E. D. C.; SILVA, A. G. D.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R.; MARTINS, B. R. R.; CUSTÓDIO, G. D. Sweet Sorghum Performance Affected by Soil Compaction and Sowing Time as a Second Crop in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1744-1754, 2015.

KRIEG, D. R. Sorghum. In: TEARE, I. D.; PEET M. M. (Eds) **Crop water relations**: New York: John Wiley, 1983. 547p.

MASASI, B.; TAGHVAEIAN, S.; GOWDA, P. H.; WARREN, J.; MAREK, G. Simulating Soil Water Content, Evapotranspiration, and Yield of Variably Irrigated Grain Sorghum Using AquaCrop. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 55, n. 4, p. 976-993, 2019.

MATOS, F.S.; BORGES, L. P.; AMARO, C. L.; DE OLIVEIRA, D. B.; DO CARMO, M. S.; TORRES JUNIOR, H. D. **Folha Seca: Introdução à Fisiologia Vegetal**. 1ª ed. Curitiba, PR: Appris, 2019. 189 p.

MATOS, F. S.; CARVALHO, D. D. C.; SOUZA, A. C.; NEVES, T. G.; RIBEIRO, R. P.; CRUVINEL, C. K. L.; ROSA, V. R.; SANTOS, P. G. D. Viabilidade agrônômica do consórcio entre pinhão manso e soja. **Revista Agrarian**, v. 7, n. 24, p. 226-232, 2014.

NOERHARTATI, E.; KARYATI, P. D.; SOEPRIYONO, S.; YUNARKO, B. Entrepreneurship Sorghum towards Industry 4.0. **Advances in Economics, Business and Management Research**, v. 88, p. 01-09, 2019.

OSMAN, H. A. H.; AHMED, E. E. A.; ELKHALIL, E. A. I. Effect of Water Stress on Vegetative and Reproductive Growth of Some Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Monech) Cultivars. **Sudan Journal of Desertification Research**, v. 6, n. 1, p. 79-99, 2018.

RIBAS, P. M.; LANDAU, E. C.; KARAM, D.; SILVA, L. O. Eficiência da cadeia produtiva do sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

SCHULZE, E. D.; BECK, E.; BUCHMANN, N.; CLEMENS, S.; MÜLLER-HOHENSTEIN, K.; SCHERER-LORENZEN, M. Water Relations. In: **Plant Ecology**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2019. p. 329-365.

SMITH, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. **Rome FAO**. 45p. 1991.

SOKAL, R. R.; ROLF, F. J. **Biometry**. Third edition. W. H. Freeman, New York, 1995.

STATSOFT, INC. **Statistica** (data analysis software system). version 7. 2007. Disponível em: < <http://www.statsoft.com/Products/STATISTICA-Features>> acesso em 17 jun. 2019

SYSSTAT SOFTWARE, INC– SSI. **SigmaPlot for Windows**. version 10. 2006. Disponível em: < <https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>> acesso em 17 jun. 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

USDA, **Foreign Agricultura Service, Sorghum explores**, 2022. Disponível em: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0459200&sel_year=2022&rankby=Production. Acessado em: 18/06/2023

WANI, S. P.; ALBRIZIO, R.; VAJJA, N. R. *Sorghum*. In: **Crop yield response to Water**. FAO Irrigation and Drainage Paper 66. FAO, Rome, pp. 144-151, 2012.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.