



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL NO SEMIÁRIDO

**Indicadores fisiológicos e agrônômicos para seleção de genótipos de
sorgo granífero tolerantes à restrição hídrica**

RENATO MENDES DE OLIVEIRA

Janaúba
Departamento de Ciências Agrárias - Unimontes
2019

RENATO MENDES DE OLIVEIRA

**INDICADORES FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO
GRANÍFERO TOLERANTES À RESTRIÇÃO HÍDRICA**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Orientador
Prof. Dr. Ignacio Aspiazú

JANAÚBA
2019

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Oliveira, Renato Mendes de

O48i Indicadores fisiológicos agronômicos para seleção de genótipos de sorgo granífero tolerantes à restrição hídrica [manuscrito] / Renato Mendes de Oliveira. – 2019.
55 p.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2019.

Orientador: Prof. D. Sc. Ignácio Aspiazú.

1. Interação genótipo-ambiente. 2. Restrição hídrica. 3. Sorgo. 3. I. Aspiazú, Ignácio. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.62

RENATO MENDES DE OLIVEIRA

**INDICADORES FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO
GRANÍFERO TOLERANTES À RESTRIÇÃO HÍDRICA**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2019.

**Prof. Dr. Ignacio Aspiazú
UNIMONTES (Orientador)**

**Dr. Paulo César Magalhães
EMBRAPA (Coorientador)**

**Dr. João Batista Ribeiro da Silva Reis
EPAMIG (Conselheiro)**

**Prof. Dr. Abner José de Carvalho
UNIMONTES (Conselheiro)**

**Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos
UNIMONTES (Conselheiro)**

**Janaúba
2019**

A Deus,
Agradeço.

Aos meus queridos pais, Manoel Serrat e Sônia Maria, que tanto trabalharam para garantir meus estudos; à minha companheira Karen Marcelle; aos meus irmãos, Rodrigo Mendes e Thaís Mendes; ao meu primo Jorge Fernando; e a todos os meus familiares e amigos, que me auxiliaram com apoio e carinho, e que sempre torceram por mim.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir chegar até aqui e por estar sempre junto a mim;

À Universidade Estadual de Montes Claros e a todos seus professores e demais funcionários;

Ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido;

À Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudos;

À EMBRAPA Milho e Sorgo e a todos seus funcionários;

Aos meus pais, Manoel Serrat e Sônia Maria, pelo amor, por não medirem esforços para que eu chegasse até aqui, me apoiando sempre e acreditando na minha capacidade;

À minha companheira, Karen Marcelle, por estar presente em todas as horas, boas ou ruins, me apoiando e ajudando com toda sua dedicação, amor e carinho. “Por trás de um grande homem, sempre tem uma grande mulher” (Autor desconhecido);

Aos meus irmãos Rodrigo Mendes e Thaís Mendes e todos os meus familiares e amigos por toda torcida, ajuda, carinho e amor;

Ao Professor Dr. Ignacio Aspiazú, pessoa extraordinária e profissional exemplar, pela amizade e oportunidade de ser seu orientado, confiança e ensinamentos passados. Pela colaboração e orientação na execução deste trabalho;

Ao Dr. Paulo César Magalhães, por ter me dado a oportunidade de participar deste trabalho que tanto me acrescentou, pela orientação, amizade e ensinamentos;

Ao Dr. Arley Figueiredo Portugal, pelo companheirismo, amizade, apoio e orientação;

Ao Professor Dr. Abner José de Carvalho, pela amizade, orientação e ensinamentos;

Ao Professor Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos, pela amizade e ensinamentos;

Ao Dr. João Batista Ribeiro da Silva Reis, pela amizade e contribuições;

Aos colegas pela amizade e convivência, aos quais não citarei nomes por medo de cometer a injustiça de esquecer algum;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho;

A toda sociedade brasileira que com o suor de seus impostos me fizeram chegar até aqui;

Espero que muitos como eu também consigam.

O MEU MAIS SINCERO E PROFUNDO AGRADECIMENTO NA REALIZAÇÃO DESTE SONHO!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	7
GENERAL ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO GERAL.....	9
ARTIGO 1 (Segundo normas da revista Pesquisa Agropecuária Tropical).....	10
INDICADORES FISIOLÓGICOS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO GRANÍFERO TOLERANTES À RESTRIÇÃO HÍDRICA	10
RESUMO	10
INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27
APÊNDICE	35
ARTIGO 2 (Segundo normas da revista Pesquisa Agropecuária Tropical).....	36
INDICADORES AGRONÔMICOS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO GRANÍFERO TOLERANTES À RESTRIÇÃO HÍDRICA.....	36
RESUMO	36
INTRODUÇÃO	37
MATERIAL E MÉTODOS	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE	54
CONCLUSÃO GERAL.....	55

RESUMO GERAL

OLIVEIRA, Renato Mendes de. **INDICADORES FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO GRANÍFERO TOLERANTES À RESTRIÇÃO HÍDRICA**. 2019. 55p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.¹

O estresse hídrico é uma das principais limitações na produção de alimentos, especialmente em regiões áridas e semiáridas. Desta maneira, há uma demanda crescente em selecionar culturas que possam sobreviver sob condições ambientais extremas. Objetivou-se, portanto, avaliar características fisiológicas e morfológicas como indicadores para a seleção de genótipos de sorgo granífero tolerantes à restrição hídrica. Os experimentos foram conduzidos nos anos de 2014, 2015 e 2016. Em cada ano foram instalados dois ensaios, sendo um submetido à irrigação plena e o outro à restrição hídrica. No primeiro, a irrigação foi realizada periodicamente, com turno de rega a cada dois dias para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo, enquanto que, no segundo a irrigação foi cortada no período pré-florescimento, sendo esse estresse mantido por 30 dias. Foram utilizados quatro genótipos de sorgo contrastantes para tolerância à seca: 9503062 e 9618158 - sensíveis à seca (S); 9910032 e P898012 - tolerantes à seca (T), em que consistiram os tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 16 parcelas. Ao final do período de restrição hídrica avaliou-se a condutância estomática, teor relativo de clorofila, fluorescência da clorofila (fv/fm) e área foliar fotossinteticamente ativa. Na ocasião da colheita foi avaliada a altura de plantas, peso de panículas, peso de grãos por panícula e produtividade. Foi realizada a análise conjunta dos experimentos submetidos à irrigação plena e à restrição hídrica dos três anos. Sob restrição hídrica não foi possível distinguir os materiais sensíveis dos tolerantes por meio das avaliações realizadas. As características avaliadas neste experimento não permitiram a distinção de forma conclusiva dos genótipos tolerantes em relação aos sensíveis.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* L., seca, déficit hídrico, irrigação, semiárido.

¹**Comitê orientador:** Prof. Dr. Ignacio Aspiazú - UNIMONTES (Orientador); Dr. Paulo Cesar Magalhães - EMBRAPA (Coorientador); Prof. Dr. Abner José de Carvalho - UNIMONTES (Conselheiro); Prof. Dr. Silvano Rodrigues dos Santos - UNIMONTES (Conselheiro); Dr. João Batista Ribeiro da Silva Reis - EPAMIG (Conselheiro).

GENERAL ABSTRACT

OLIVEIRA, Renato Mendes de. **Physiological and agronomic indicators for selection of grain sorghum strains in relation to tolerance to water stress** 2019. 55p. Thesis (Doctorate Degree in Plant Production in the Semi-Arid) – State University of Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brazil.²

Water stress is a major constraint in food production, especially in arid and semi-arid regions. In this way, there is a growing demand to select crops that can survive under extreme environmental conditions. The objective was to evaluate physiological and morphological characteristics as indicators for selection of sorghum genotypes tolerant to water restriction. The experiments were conducted in 2014, 2015 and 2016. Two trials were installed each year, one of which was submitted to full irrigation and the other to water restriction. In the first one the irrigation was performed periodically, with irrigation shift every two days to maintain soil moisture near the field capacity, while in the second irrigation was cut in the pre-flowering period, and this stress was maintained for 30 days. Four sorghum genotypes were used for drought tolerance: 9503062 and 9618158 - susceptible to drought (S); 9910032 and P898012 - tolerant to drought (T), which consisted of the treatments. The experimental design was in complete randomized blocks, with four replications, totaling 16 plots. At the end of the water restriction period, stomatal conductance, relative chlorophyll content, chlorophyll fluorescence (fv/fm) and photosynthetically active leaf area were evaluated. At the time of harvest, plant height, panicle weight, grain weight per panicle and yield were evaluated. A joint analysis of the experiments submitted to full irrigation and to the water restriction of the three years was performed. Under water restriction, it was not possible to distinguish the sensitive materials from the tolerant ones through the evaluations. The characteristics evaluated in this experiment did not allow a conclusive distinction between the tolerant and the sensitive genotypes.

Keywords: *Sorghum bicolor* L., dry, water deficit, irrigation, semi-arid.

²**Guidance committee:** Prof. Dr. Ignacio Aspiazú - UNIMONTES (Advisor); Dr. Paulo Cesar Magalhães - EMBRAPA (Co-advisor); Prof. Dr. Abner José de Carvalho - UNIMONTES (Counselor); Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos - UNIMONTES (Counselor); Dr. João Batista Ribeiro da Silva Reis - EPAMIG (Counselor).

INTRODUÇÃO GERAL

Com a crescente escassez de recursos necessários à produção de alimentos torna-se necessário buscar alternativas para contornar esta situação. Um recurso indispensável e principal limitante à produção agrícola é a água. Em regiões áridas e semiáridas a escassez deste recurso é uma realidade.

Em situações como esta, a busca por culturas mais eficientes no uso da água e tolerantes à restrição hídrica é de suma importância.

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é reconhecida por sua rusticidade e capacidade de adaptação a condições de estresse. Esta capacidade se deve a características fisiológicas e morfológicas próprias da cultura e que podem variar entre genótipos e sofrer interações com o ambiente.

Sabendo disto, tem-se buscado, por meio de programas de melhoramento genético, materiais mais tolerantes à restrição hídrica. Para tanto, é necessário identificar marcadores fisiológicos e, ou, morfológicos que possibilitem a seleção de genótipos de forma eficiente.

Objetivou-se, portanto, avaliar características fisiológicas e agronômicas da planta de sorgo no intuito de encontrar possíveis indicadores para a seleção de genótipos de sorgo granífero tolerantes à restrição hídrica.

1 **ARTIGO 1 (Segundo normas da revista Pesquisa Agropecuária Tropical)**

2

3 **INDICADORES FISIOLÓGICOS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO**
4 **GRANÍFERO TOLERANTES À RESTRIÇÃO HÍDRICA**

5

6 **RESUMO:** O estresse hídrico é uma das principais limitações na produção de alimentos,
7 especialmente em regiões áridas e semiáridas. Há uma demanda crescente em selecionar
8 culturas que possam sobreviver sob condições ambientais extremas. Objetivou-se, portanto,
9 avaliar características fisiológicas como indicadores para a seleção de genótipos de sorgo
10 granífero tolerantes à restrição hídrica. Os experimentos foram conduzidos nos anos de 2014,
11 2015 e 2016. Em cada ano foram instalados dois ensaios, sendo um submetido à irrigação
12 plena e o outro à restrição hídrica. No primeiro, a irrigação foi realizada periodicamente, com
13 turno de rega a cada dois dias para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo,
14 enquanto no segundo a irrigação foi cortada no período pré-florescimento, sendo essa
15 restrição mantida por 30 dias. Foram utilizados quatro genótipos de sorgo contrastantes para
16 tolerância à seca: 9503062 e 9618158 - sensíveis à seca (S); 9910032 e P898012 – tolerantes à
17 seca (T), em que consistiram os tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi em
18 blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 16 parcelas. Ao final do período de
19 estresse hídrico avaliou-se a condutância estomática, teor relativo de clorofila, fluorescência
20 da clorofila (*fv/fm*) e área foliar fotossinteticamente ativa. Foi realizada a análise conjunta dos
21 experimentos submetidos à irrigação plena e à restrição hídrica dos três anos. As
22 características avaliadas neste experimento não permitiram a distinção de forma conclusiva
23 dos genótipos tolerantes em relação aos sensíveis.

24 **Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* L., seca, déficit hídrico, teor relativo de clorofila,
25 condutância estomática.

26

27

INTRODUÇÃO

28

29 O estresse hídrico é uma das principais limitações que afetam a produção de
30 alimentos, especialmente em regiões áridas e semiáridas. Existe uma demanda crescente em
31 selecionar culturas que possam sobreviver sob condições ambientais extremas, como
32 deficiência hídrica e altas temperaturas, para maximizar a produção agrícola (Tester &
33 Langridge 2010).

34 O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é o quinto cereal mais importante no mundo e está bem
35 adaptado a ambientes de seca em comparação com outros cereais (Borrell et al., 2006), o que
36 o torna adequado para sistemas de produção agrícola em regiões semiáridas (Emendack et al.,
37 2018).

38 A cultura apresenta tolerância à seca e características fisiológicas que permitem
39 paralisar o crescimento ou diminuir as suas atividades metabólicas sob déficit hídrico e, após
40 o término de um período de estresse hídrico, as plantas podem até se recuperar mais
41 rapidamente do que as que não passaram por limitação hídrica (Amaral et al., 2003).

42 Embora apresente ampla adaptação a estresses abióticos, a resposta pode variar
43 dependendo do momento em que o estresse é sofrido (pré ou pós-florescimento, por exemplo)
44 (Kebede et al., 2001) e de genótipo para genótipo. Esta variação pode ser devido a
45 modificações morfológicas e fisiológicas (Borrell et al., 2006).

46 Os cultivos enfrentam diferentes cenários de seca, conseqüentemente, as
47 características fisiológicas que conferem resistência à seca em ambientes específicos podem
48 variar (Monneveux et al., 2012; Ghanem et al., 2015).

49 O impacto do estresse hídrico pode ser parcialmente mitigado por meio do
50 melhoramento genético para tolerância ao estresse. Neste sentido, têm havido esforços para
51 aumentar a eficiência da seleção de genótipos tolerantes à seca com base na produção e
52 características fisiológicas específicas (Mutava et al., 2011). No entanto, a seleção de
53 materiais com base em características fisiológicas requer uma compreensão abrangente destas
54 características, bem como suas contribuições para a produtividade e a responsividade das
55 mesmas ao ambiente (Ludlow & Muchow 1990).

56 Objetivou-se, portanto, avaliar características fisiológicas como indicadores para a
57 seleção de genótipos de sorgo granífero tolerantes à restrição hídrica.

58

59 **MATERIAL E MÉTODOS**

60

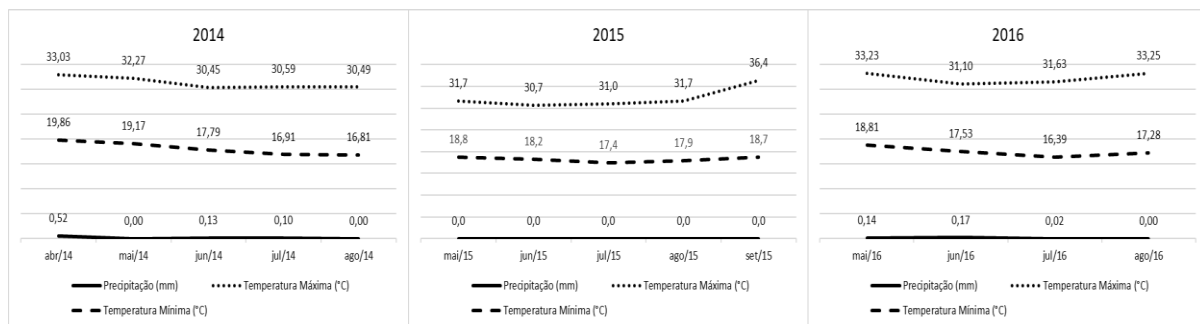
61 Os experimentos foram conduzidos na fazenda experimental da Embrapa Milho e
62 Sorgo, situada no perímetro irrigado do Gortuba no município de Nova Porteirinha, Minas
63 Gerais. Localizado no semiárido brasileiro (Longitude 43° 16' 18,2" W, e Latitude 15° 49'
64 51" S), com 540 m de altitude, e clima Aw segundo a classificação de Köppen, isto é, tropical
65 com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18 °C. A
66 pluviosidade média da região é de aproximadamente 870 mm, temperatura média anual de 24
67 °C, insolação de 2.700 horas anuais, umidade relativa média de 65 %.

68 O local e a época de implantação dos experimentos foram escolhidos pelo histórico de
69 ocorrência de baixa incidência de precipitação pluviométrica, de forma que o suprimento de

70 água fosse controlado apenas por irrigação, sem interferências de chuvas, durante a condução
71 dos ensaios.

72 As temperaturas máxima e mínima, bem como as precipitações pluviométricas médias
73 verificadas durante o período de condução dos experimentos estão apresentadas na Figura 1.

74



75

76

Fonte: INMET/BDMEP (2018).

77 Figura 1. Precipitação e temperaturas médias (mínima e máxima), referente ao período de
78 condução dos experimentos, nos anos de 2014, 2015 e 2016, no município de Nova
79 Porteirinha – MG.

80

81 Os solos do local são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo, epieutrófico,
82 de textura franco-argilo-arenoso. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao
83 acaso, com quatro repetições, totalizando 16 parcelas. Cada parcela experimental foi
84 constituída de quatro fileiras de 5 m de comprimento e espaçadas de 0,5 m, sendo
85 considerados como área útil as duas fileiras centrais. Em cada ano (2014, 2015 e 2016) foram
86 instalados dois ensaios, sendo um submetido à irrigação plena e o outro à restrição hídrica.
87 Em cada ensaio foram utilizados quatro genótipos de sorgo contrastantes para tolerância à
88 seca: 9503062 e 9618158 - sensíveis à seca (S); 9910032 e P898012 – tolerantes à seca (T),
89 em que consistiram os tratamentos.

90 Realizou-se o preparo do solo pelo processo convencional com grade aradora e grade
91 niveladora, e posteriormente foi feito o sulcamento da área. Os plantios foram realizados nos
92 dias 10/04/2014, 15/05/2015 e 11/05/2016, respectivamente, sendo a semeadura realizada
93 manualmente, utilizando-se 18 sementes por metro. Fez-se um desbaste 15 dias após a
94 semeadura, deixando-se 10 plantas por metro, totalizando um estande final de 200.000 plantas
95 ha⁻¹. As adubações de base e cobertura foram realizadas com base na análise de solo de
96 acordo com a recomendação para a cultura no estado de Minas Gerais (Alvarez et al., 1999).
97 Os tratos culturais e fitossanitários ocorreram de acordo com a necessidade da cultura.

98 Utilizou-se irrigação por sistema de aspersão convencional fixo, com aspersores
99 espaçados 12 x 12 m, pressão de serviço de 250 kPa, bocais de 4,0 x 2,6 mm de diâmetro e
100 com vazão de 1,6 m³ h⁻¹. A irrigação da cultura para os dois ambientes foi realizada
101 periodicamente, com turno de rega a cada dois dias para manter a umidade do solo próxima à
102 capacidade de campo. Nos ensaios submetidos à irrigação plena as parcelas foram irrigadas
103 regularmente mantendo-se sempre a umidade do solo próximo a capacidade de campo até a
104 maturação fisiológica dos grãos. Nos ensaios submetidos à restrição hídrica, as parcelas foram
105 irrigadas regularmente mantendo-se sempre a umidade do solo próximo a capacidade de
106 campo até o período pré-florescimento, momento em que foi imposta a restrição hídrica por
107 um período de 30 dias. Após este período a restrição hídrica foi cessada.

108 Ao final do período de restrição hídrica foram realizadas as seguintes avaliações:

109 - Condutância estomática (mmol m⁻² s⁻¹), utilizando-se de um porômetro (Decagon Devices,
110 Inc., Pullman, WA, EUA).

111 - Teor relativo de clorofila (LIMA et al., 2007), usando um clorofilômetro portátil (SPAD
112 “Soil plant analysis development”, Minolta SPAD 502 Osaka, Japan);

113 - Fluorescência da clorofila (*fv/fm*) obtida utilizando um fluorômetro de pulso modulado (PEA
114 - Pocket Chlorophyll Fluorimeter), (Handy PEA, *Hansatech* Instruments, King's Lynn,
115 Norfolk, UK).

116 - Área foliar fotossinteticamente ativa (cm²), estimado pelo produto das medidas do
117 comprimento e maior largura de cada lâmina foliar fotossinteticamente ativa multiplicada pelo
118 coeficiente de 0,75 (Balbinot Junior & Backes 2004).

119 Todas as avaliações (com exceção da área foliar) foram realizadas no período da
120 manhã entre as 8 e 10 horas, sempre na folha bandeira.

121 Os dados foram submetidos a análise de variância conjunta dos experimentos com
122 irrigação plena e com restrição hídrica, nos três anos, e quando significativos pelo teste F
123 ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey a um nível de 5% de significância.

124

125 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

126

127 Com relação à condutância estomática, analisando genótipos dentro de regime hídrico,
128 o genótipo P898012 (T) destacou-se em relação aos demais, que não diferiram entre si sob
129 irrigação plena (Tabela 1). Os genótipos não diferiram entre si quando submetidos à restrição
130 hídrica.

131 Os genótipos P898012 (T) e 9503062 (S) apresentaram menores valores de
132 condutância quando submetidos à restrição hídrica em detrimento à irrigação plena.

133 A restrição hídrica causou uma redução de 41,63% na condutância estomática.

134

135 Tabela 1. Condutância estomática ($s\ cm^{-1}$) e teor relativo de clorofila (unidades SPAD) em
 136 relação aos genótipos e aos regimes hídricos adotados no cultivo de sorgo granífero, em Nova
 137 Porteirinha, MG.

Ano	Condutância estomática		Teor relativo de clorofila	
	Irrigação plena	Restrição hídrica	Irrigação plena	Restrição hídrica
9910032 (T)	155,30 Ba	124,03 Aa	53,57 Aa	48,05 Ab
P898012 (T)	225,68 Aa	79,43 Ab	49,10 Ba	40,26 Bb
9503062 (S)	130,54 Ba	79,77 Ab	52,29 ABa	47,92 Ab
9618158 (S)	102,94 Ba	75,37 Aa	53,22 ABa	51,68 Aa
CV (%)	44,89		7,78	

138 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre
 139 si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

140

141 Maiores valores de condutância estomática foram observados no ano de 2014 sob
 142 irrigação plena (tabela 2). Sob restrição hídrica, o ano de 2015 destacou-se, com as plantas
 143 apresentando maiores valores para a variável. Observa-se ainda que, no ano de 2015, não
 144 houve diferença entre os regimes hídricos adotados. Em 2014 e 2016, a irrigação plena
 145 apresentou resultados superiores à restrição hídrica.

146

147

148

149 Tabela 2. Condutância estomática ($s\ cm^{-1}$), teor relativo de clorofila (unidades SPAD) e
 150 fluorescência da clorofila (fv/fm) em relação aos anos e aos regimes hídricos adotados no
 151 cultivo de sorgo granífero, em Nova Porteirinha, MG.

Ano	Condutância estomática		Teor relativo de clorofila		Fluorescência da clorofila	
	Irrigação	Restrição	Irrigação	Restrição	Irrigação	Restrição
	plena	hídrica	plena	hídrica	plena	hídrica
2014	218,12 Aa	82,31 Bb	48,74 Ba	40,20 Cb	0,70 Ba	0,69 Aa
2015	132,88 Ba	130,06 Aa	49,62 Ba	47,34 Ba	0,73 ABa	0,71 Aa
2016	109,84 Ba	56,58 Bb	57,76 Aa	53,39 Ab	0,75 Aa	0,63 Bb
CV (%)	44,89		7,78		6,24	

152 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre
 153 si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

154

155 Segundo Larcher (2006) o grau de abertura estomática se ajusta continuamente às
 156 oscilações dos fatores ambientais. Sob condições de estresse, especialmente hídrico e salino, a
 157 diminuição de abertura estomática pode ser vista como uma resposta positiva da planta para a
 158 manutenção de água (Taiz & Zeiger 2013).

159 A diminuição de abertura estomática é uma das primeiras respostas das plantas ao
 160 estresse hídrico, o que reduz a transpiração e fotossíntese (Souza et al., 2001), e aumenta a
 161 temperatura das folhas (Costa et al., 2012). Contudo, a redução da fotossíntese pode também
 162 estar relacionada com limitações não estomáticas. Assim, quando a energia de excitação
 163 luminosa é superior à energia usada no processo fotossintético e/ou em condições de
 164 temperaturas supra ótimas a acumulação de espécies reativas de oxigênio (EROs), tais como o

165 peróxido de hidrogênio ocorre (Cerqueira et al., 2015), podendo não só modificar e danificar
166 o aparelho fotossintético devido ao estresse oxidativo (Chaves et al., 2011, Dias et al., 2014),
167 mas também afetar o comportamento estomático (Vilela et al., 2007).

168 Sabendo-se que os estômatos regulam as trocas gasosas, aumentos na condutância
169 estomática implicam influxos de CO₂ no mesófilo foliar, possibilitando maiores taxas de
170 assimilação de dióxido de carbono (Shimazaki et al., 2007). O sorgo enrola as folhas de
171 maneira a deixar um ângulo de folha estreita em resposta ao estresse hídrico e térmico,
172 reduzindo efetivamente a transpiração e a exposição da área foliar à radiação solar (Hadebe et
173 al., 2017). Segundo Turner (1986), fatores que adiam a desidratação por reduzir a perda de
174 água, como a redução na condutância estomática e no crescimento foliar, são processos que
175 reduzem também a produtividade.

176 A sensibilidade da condutância estomática do sorgo à disponibilidade de água no solo
177 e déficit de pressão de vapor varia entre genótipos (Hadebe et al., 2017). Tal comportamento
178 pôde ser observado neste trabalho (Tabela 1), entretanto, os resultados obtidos demonstram a
179 impossibilidade deste parâmetro ser conclusivo para a identificação de genótipos tolerantes,
180 uma vez que sob restrição hídrica os materiais testados não diferiram entre si.

181 Embora não tenha havido grandes variações de temperatura e precipitação (Figura 1)
182 entre os anos de cultivo, verificou-se diferenças estatísticas para a condutância estomática,
183 teor relativo de clorofila, fluorescência da clorofila e área foliar fotossinteticamente ativa
184 (Tabelas 2 e 5). Este fato demonstra a complexidade da expressão de tolerância à restrição
185 hídrica, que pode ser influenciada por diversos fatores, como incidência de pragas e doenças,
186 fotoperíodo, velocidade do vento, umidade relativa do ar, competição com plantas daninhas,
187 dentre outros que não foram avaliados neste trabalho.

188 Espécies vegetais reduzem a fotossíntese por meio da modificação do aparelho
189 fotossintético sob estresse hídrico (Silva et al., 2014, Hadebe et al., 2017). A redução no teor
190 de clorofila faz parte dessa modificação (Kapanigowda et al., 2013). Desta maneira, a análise
191 dos pigmentos fotossintéticos pode ser uma importante ferramenta para avaliação da
192 integridade dos aparatos internos da célula e fornece uma precisa técnica de detecção de
193 plantas tolerantes ao estresse hídrico (Schaffert et al., 2011, Bacelar et al., 2012). Entretanto,
194 no presente trabalho, o teor relativo de clorofila não distinguiu de forma conclusiva as plantas
195 tolerantes das sensíveis ao estresse hídrico (Tabela 1).

196 O genótipo 9910032 (T) apresentou teor relativo de clorofila superior ao P898012 (T)
197 sob irrigação plena (Tabela 1). Sob restrição hídrica, os genótipos 9910032 (T), 9503062 (S) e
198 9618158 (S) não diferiram entre si e foram superiores ao P898012 (T). Apenas o genótipo
199 9618158 (S) não diferiu quando submetido aos dois regimes hídricos, sendo que os demais
200 apresentaram melhores resultados quando submetidos à irrigação plena.

201 Maiores valores de teor relativo de clorofila foram obtidos no ano de 2016, em ambos
202 regimes hídricos (Tabela 2). Em 2015, não houve diferença entre os regimes hídricos, porém
203 em 2014 e 2016 maiores valores foram obtidos sob irrigação plena. Em todos os anos, as
204 plantas submetidas à irrigação plena apresentaram maior teor relativo de clorofila. Houve uma
205 redução média de 9,74% no teor relativo de clorofila nas plantas submetidas à restrição
206 hídrica. É importante ressaltar que a condutância estomática também foi maior quando os
207 genótipos foram submetidos à irrigação plena. A partir deste resultado, pode-se inferir que as
208 taxas fotossintéticas foram maiores nas plantas que foram submetidas à irrigação plena.

209 Segundo O'Neill et al. (2006) é esperado que cultivares que mantenham maiores
210 conteúdos de clorofila sob deficiência hídrica tenham melhor capacidade de tolerar essa
211 condição, devido à estreita relação entre clorofila, potencial fotossintético e produtividade.

212 Desta maneira, os valores de teores relativos de clorofila foram considerados baixos nos
213 genótipos P898012 (T) e 9910032 (T) em comparação com 9503062 (S) e 9618158 (S), em
214 condições de restrição hídrica.

215 O conteúdo de clorofila varia de acordo com o estágio fenológico da cultura e é
216 genótipo dependente (Wang et al., 2014). A capacidade da planta se manter verde durante o
217 enchimento de grãos sob condições de estresse hídrico é chamada de senescência atrasada ou
218 "stay green" (Borrell et al., 2014), a qual permite a continuação da fotossíntese, o que pode
219 resultar em enchimento de grãos e maiores rendimentos em comparação com genótipos
220 senescentes (Tolk et al., 2013).

221 Segundo Torres Netto et al. (2005), leituras SPAD inferiores a 40 indicam o início da
222 deficiência de clorofila, o que afeta o processo fotossintético. Santana et al. (2017), avaliando
223 doze híbridos comerciais de sorgo granífero em condições com e sem restrição hídrica em
224 Teresina-PI, obtiveram valores SPAD de 53,9 com restrição e 56,0 sem restrição. Magalhães
225 et al. (2010), avaliando características morfofisiológicas e de produção de seis genótipos de
226 sorgo submetidos ao estresse hídrico em casa de vegetação, encontraram valores SPAD no
227 início do estresse variando de 53,11 a 60,08. Resultados semelhantes foram obtidos no
228 presente trabalho, em que os valores SPAD médios, com restrição hídrica foram 40,20; 47,34
229 e 53,39 para os anos de 2014, 2015 e 2016, respectivamente. Já sob irrigação plena, as médias
230 foram 48,74; 49,62 e 57,76 para os anos de 2014, 2015 e 2016, respectivamente (Tabela 2).

231 Para Efeoğlu et al. (2009), a redução do teor de clorofila está associada à aceleração da
232 senescência foliar causada pelo déficit hídrico. Portanto, tal redução pode ter impacto na
233 produção por reduzir a eficiência fotossintética (Blum, 2005), que é diretamente relacionada
234 com a quantidade de clorofila nas folhas (Santana et al., 2017).

235 Diversos fatores podem ocasionar mudanças no aparato fotossintético e seus efeitos
236 podem ser estudados a partir da fluorescência da clorofila (*fv/fm*) (Silva et al., 2015). Tal
237 técnica torna possível avaliar a eficiência fotoquímica do fotossistema II por meio de um
238 método simples, rápido, sensível e não destrutivo utilizado em investigações de danos ou
239 reparos causados no sistema fotossintético das plantas, em função de diversos tipos de
240 estresse (Suassuna et al., 2011; Martinazzo et al., 2012).

241 Para a Fluorescência da clorofila (*fv/fm*) o genótipo 9503062 (S) apresentou resultados
242 inferiores em relação aos demais (tabela 3). Em 2016 as plantas apresentaram valores
243 superiores aos encontrados em 2014, sob irrigação plena (Tabela 2). Entretanto, sob restrição
244 hídrica, as plantas cultivadas em 2014 e 2015 apresentaram valores superiores às do ano de
245 2016. Houve diferença significativa entre os regimes hídricos apenas em 2016, sendo a
246 irrigação plena superior.

247

248 Tabela 3. Fluorescência da clorofila (*fv/fm*) em relação aos genótipos (tolerantes (T) e
249 sensíveis (S)) no cultivo de sorgo granífero, em Nova Porteirinha, MG.

250

Genótipos	Médias
9910032 (T)	0,71 A
P898012 (T)	0,71 A
9503062 (S)	0,68 B
9618158 (S)	0,71 AB
CV (%)	6,24

251 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey
252 a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

253 Moreira et al. (2013), testando diferentes disponibilidades hídricas (80%, 60% e 40%
254 da capacidade de campo) na cultura do sorgo sacarino não encontraram efeito significativo da
255 interação entre os cultivares e a disponibilidade hídrica, assim como neste trabalho.

256 Sob condições de seca ocorrem modificações na fluorescência da clorofila, levando a
257 um aumento da dissipação não fotoquímica (produção de calor na forma de irradiação
258 infravermelha) e diminuição da eficiência quântica do fotossistema II. Além disso, ocorre
259 uma diminuição na entrada de CO₂, levando a uma redução na atividade fotossintética. A
260 fluorescência da clorofila (*fv/fm*) é utilizada para detectar perturbações no sistema
261 fotossintético causadas por estresses ambientais e bióticos (Baker & Rosenqvst, 2004).

262 Fracasso et al. (2016), avaliando a resposta de genótipos de sorgo à redução da água
263 no solo, verificaram que o estresse hídrico reduziu os valores de fluorescência da clorofila
264 (*fv/fm*) em todos os genótipos. Entretanto, no presente trabalho, a fluorescência da clorofila
265 (*fv/fm*) não foi eficiente na identificação de genótipos tolerantes à restrição hídrica, uma vez
266 que o teste F para os genótipos em relação aos regimes hídricos não foi significativo.

267 Para a área foliar fotossinteticamente ativa, nos cultivos sob irrigação plena, nos anos
268 de 2014 e 2016, o genótipo P898012 (T) apresentou menores valores em relação aos demais,
269 enquanto em 2015 não houve diferença entre os genótipos (tabela 4). Sob restrição hídrica, o
270 genótipo P898012 (T) apresentou menor área foliar em todos os anos e o genótipo 9503062
271 (S) destacou-se positivamente em relação aos demais no ano de 2016. Em 2014, o cultivo sob
272 irrigação plena apresentou resultados superiores para todos os genótipos, exceto ao 9618158
273 (S). Em 2015, os genótipos não diferiram quanto ao regime hídrico adotado, exceto o
274 P898012 (T), que apresentou melhores resultados sob irrigação plena. Em 2016 o cultivo sob
275 irrigação plena apresentou resultados superiores para todos os genótipos, exceto o P898012
276 (T).

277 Tabela 4. Área foliar fotossinteticamente ativa (cm²) em relação aos anos, genótipos
 278 (tolerantes (T) e sensíveis (S)) e regimes hídricos adotados no cultivo de sorgo granífero, em
 279 Nova Porteirinha, MG.

Ano	Genótipo	Irrigação plena	Restrição hídrica
2014	9910032 (T)	2455,64 Aa	860,76 BCb
	P898012 (T)	1201,25 Ba	276,47 Cb
	9503062 (S)	2774,66 Aa	1334,45 ABb
	9618158 (S)	2073,63 Aa	1906,10 Aa
2015	9910032 (T)	2394,08 Aa	1920,63 Aa
	P898012 (T)	1587,40 Aa	975,55 Bb
	9503062 (S)	2156,58 Aa	2194,19 Aa
	9618158 (S)	1972,14 Aa	1859,69 Aa
2016	9910032 (T)	2499,52 Aa	1230,55 Bb
	P898012 (T)	622,84 Ba	187,40 Ca
	9503062 (S)	2987,33 Aa	2232,51 Ab
	9618158 (S)	2498,03 Aa	1242,39 Bb
CV (%)	25,09		

280 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre
 281 si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

282

283 Em média, a redução da área foliar fotossinteticamente ativa das plantas submetidas à
 284 restrição hídrica foi de 35,69% em relação às que estavam sob irrigação plena. O genótipo
 285 9910032 (T), sob irrigação plena, não diferiu entre os anos de cultivo; entretanto, sob

286 restrição hídrica, foram observados piores resultados no ano de 2014 (Tabela 5). O genótipo
 287 P898012 (T) apresentou melhores resultados nos anos de 2014 e 2015, independentemente do
 288 regime hídrico adotado. O genótipo 9503062 (S) apresentou melhores resultados nos anos de
 289 2014 e 2016, sob irrigação plena; quando submetido à restrição hídrica, apresentou melhores
 290 resultados nos anos de 2015 e 2016. O genótipo 9618158 (S) não diferiu em relação aos anos
 291 em ambos regimes hídricos adotados.

292

293 Tabela 5. Área foliar fotossinteticamente ativa (cm²) em relação aos genótipos (tolerantes (T)
 294 e sensíveis (S)), anos e regimes hídricos adotados no cultivo de sorgo granífero, em Nova
 295 Porteirinha, MG.

Genótipo	Ano	Irrigação plena	Restrição hídrica
9910032 (T)	2014	2455,64 A	860,76 B
	2015	2394,08 A	1920,63 A
	2016	2499,52 A	1230,55 AB
P898012 (T)	2014	1201,25 AB	276,47 AB
	2015	1587,40 A	975,55 A
	2016	622,84 B	187,40 B
9503062 (S)	2014	2774,66 AB	1334,45 B
	2015	2156,58 B	2194,19 A
	2016	2987,33 A	2232,51 A
9618158 (S)	2014	2073,63 A	1906,10 A
	2015	1972,14 A	1859,69 A
	2016	2498,03 A	1242,39 A

296 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey
297 a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

298

299 O crescimento e a produtividade das plantas são promovidos pela fotossíntese, e
300 depende da interceptação da luz e, conseqüentemente, da área foliar (Kerbaudy, 2008). Em
301 geral, a fotossíntese é proporcional à área foliar (Taiz & Zeiger, 2013) sendo este, portanto
302 um valioso parâmetro para avaliar os efeitos do estresse hídrico em plantas. A eficiência
303 fotossintética depende da taxa fotossintética por unidade de área foliar e da interceptação da
304 radiação solar, as quais, entre outros aspectos, são influenciadas pelas características da
305 arquitetura da copa e da dimensão do sistema fotoassimilador. Assim sendo, a superfície
306 foliar de uma planta é a base do rendimento potencial da cultura (Favarin et al., 2002).

307 Em experimento avaliando 21 genótipos de sorgo com relação ao estresse hídrico pós-
308 florescimento, Rakshit et al. (2016) observaram que os materiais tolerantes à seca, sob
309 condições de restrição hídrica pós-florescimento, sofreram uma redução de 0,5% ao dia na
310 área foliar fotossinteticamente ativa, enquanto os materiais sensíveis tiveram uma redução de
311 1,2% ao dia. Já sem restrição hídrica, os materiais não apresentaram diferenças significativas.
312 Segundo Taiz & Zeiger (2013), a expansão foliar é um processo movido pelo turgor e
313 extremamente sensível ao déficit hídrico. A inibição da expansão celular provoca uma
314 lentidão da expansão foliar no início do desenvolvimento de déficits hídricos (Santana et al.,
315 2017).

316 Com os resultados obtidos, nas condições experimentais deste trabalho, a área foliar
317 fotossinteticamente ativa não demonstrou ser um bom parâmetro para a identificação de

318 forma conclusiva de tolerância, uma vez que a avaliação desta característica não diferenciou
319 os tolerantes dos sensíveis (Tabela 4).

320

321

CONCLUSÃO

322

323 As características avaliadas neste experimento não permitiram a distinção de forma
324 conclusiva dos genótipos tolerantes à restrição hídrica em relação aos sensíveis.

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

REFERÊNCIAS

- 341
342
- 343 ALVAREZ, V. H.; *Interpretação dos resultados das análises de solos*. In: RIBEIRO et al.
344 (eds). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Comissão de
345 *Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais*. Viçosa. p. 25-32, 1999
- 346
- 347 AMARAL, S. R. et al. Comportamento de genótipos de sorgo forrageiro submetidas a déficit
348 hídrico sob condição controlada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, p. 973-979, 2003.
- 349
- 350 BACELAR, E. L. V. A. et al. Water use strategies of plants under drought conditions. In:
351 AROCA, R. (Ed.). *Plant responses to drought stress*. Heidelberg: Springer-Verlag, p. 145-
352 195, 2012.
- 353
- 354 BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop
355 production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*,
356 v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.
- 357
- 358 BALBINOT JUNIOR, A. A.; BACKES, R. L. Crescimento inicial e competitividade do
359 milho com planta concorrente afetados pelo genótipo e massa das sementes. *Revista Ciências*
360 *Agroveterinárias*, n. 1, 2004. Disponível em:
361 <http://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5476/3675>. Acesso em 10 jan.
362 2019.

363 BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible,
364 dissonant or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 56, n. 11, p.
365 1159-1168, 2005. DOI: 10.1071/AR05069.

366

367 BORRELL, A. et al. *Drought adaptation in sorghum*. In J. M. Ribaut (Ed.), *Drought*
368 *adaptation in cereals* (pp. 335–378). Binghamton, NY: The Haworth Press Inc. 2006.

369

370 BORRELL, A. K. et al. Drought adaptation of stay–green sorghum is associated with canopy
371 development, leaf anatomy, root growth, and water uptake. *Journal of Experimental Botany*,
372 v. 65, p. 6251–6263, 2014.

373

374 CERQUEIRA, R. C. et al. Fisiologia e metabolismo foliar em duas variedades de videira
375 sujeitas a um ciclo de déficit hídrico e reidratação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.
376 10, n. 2, p. 211-217, 2015.

377

378 CHAVES, M. M.; COSTA, J. M.; SAIBO, N. Recent advances in photosynthesis under
379 drought and salinity. *Advances in Botanical Research*, v.57, p.49-104, 2011.

380

381 COSTA J. M. et al. Grapevine varieties exhibiting differences in stomatal response to water
382 deficit. *Functional Plant Biology*, v.39, n.3, p.179-189, 2012.

383

384 DIAS, M. C. et al. *Melia azedarach* plants show tolerance properties to water shortage
385 treatment: An ecophysiological study. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.75, p.123-127,
386 2014.

387

388 EFEOĞLU, B.; EKMEKÇI, Y.; ÇIÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars
389 to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*, v. 75, n. 1, p. 34-42, 2009.

390

391 EMBRAPA Milho e Sorgo - Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 9ª
392 edição Jul./2015 *Cultivo do sorgo*.

393

394 EMENDACK, Y. et al. Agro-morphological characterization of diverse sorghum lines for
395 pre-and post-flowering drought tolerance. *Australian Journal of Crop Science*, v.12, n.1,
396 p.135-150, 2018. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.01.pne790.

397

398 FAVARIN, J. L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro.
399 *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

400

401 FRACASSO, A., TRINDADE, L., AMADUCCI, S. Drought tolerance strategies highlighted
402 by two *Sorghum bicolor* races in a dry-down experiment. *Journal of Plant Physiology*, v. 190,
403 p. 1–14, 2016. DOI: 10.1016/j.jplph.2015.10.009.

404

405 GHANEM, M. E., MARROU, H., SINCLAIR, T. R. Physiological phenotyping of plants for
406 crop improvement. *Trends in Plant Science*, v. 20, n. 3, p. 139–144, 2015.

407

408 HADEBE, S. T., MODI, A. T., MABHAUDHI, T. Drought Tolerance and Water Use of
409 Cereal Crops: A Focus on Sorghum as a Food Security Crop in Sub-Saharan Africa. *Journal*
410 *of Agronomy and Crop Science*, 2017. ISSN 0931-2250.

411
412 INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Dados meteorológicos. Disponível em:
413 <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: Dez. 2018.
414
415 KAPANIGOWDA, M. et al. Genotypic variation in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]
416 exotic germplasm collections for drought and disease tolerance. *Springer Plus*, v. 2, p. 650–
417 657, 2013.
418
419 KEBEDE, H. et al. Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum
420 (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Theoretical and Applied Genetics*, v. 103, 266–276, 2001.
421
422 KERBAUY, G. B. *Fisiologia vegetal*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 431 p. 2008.
423
424 LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RIMA, 2006. 531p.
425
426 LUDLOW, M. M., MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields
427 in water-limited environments. *Advances in Agronomy*. v. 43, p. 107-153, 1990.
428
429 MAGALHÃES, P. C. et al. Características morfofisiológicas e de produção de seis genótipos
430 de sorgo submetidos ao estresse hídrico. Sete Lagoas: *Embrapa Milho e Sorgo*, 16 p.
431 (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 22). 2010.
432

433 MARTINAZZO, E. G. et al. Fluorescência da clorofila a em plantas de pessegueiro da
434 cultivar maciel enxertada sobre diferentes porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura*,
435 v. 34, p. 678-685, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452012000300005>.
436

437 MONNEVEUX, P.; JING, R.; MISRA, S. C. Phenotyping for drought adaptation in wheat
438 using physiological traits. *Frontier in Physiology*. 2012.
439 <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00429>.
440

441 MOREIRA, L. R. et al. Caracterização fisiológica de sorgo sacarino em diferentes
442 intensidades de irrigação. *Vértices*, v.15, n. 2, p. 39-48, 2013. DOI: 10.5935/1809-
443 2667.20130017).
444

445 MUNNÉ-BOSCH, S.; JUBANY-MARÍ, T.; ALEGRE, L. Enhanced photo - and antioxidative
446 protection, and hydrogen peroxide accumulation in drought-stressed *Cistusclusii* and
447 *Cistusalbidus* plants. *Tree Physiology*, v.23, n.1, p.1-12, 2002.
448

449 MUTAVA, R. N. et al. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought
450 tolerance. *Field Crops Research*, v. 123, n. 1, p. 10–18, 2011. doi:10.1016/j.fcr.2011.04.006
451

452 O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence
453 assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Science*,
454 v. 46, n. 2, p. 681-687, 2006.
455

456 PEREIRA, W. E. et al. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks
457 under aluminium stress. *Journal of Plant Physiology*, v. 157, n. 4, p. 513-520, 2000.
458

459 RAKSHIT, S. et al. Post-flowering drought stress response of post-rainy sorghum genotypes.
460 *Indian Journal of Plant Physiology*, v. 21, n. 8, 2016. [https://doi.org/10.1007/s40502-015-](https://doi.org/10.1007/s40502-015-0187-y)
461 0187-y.
462

463 RONG-HUA, L. I. et al. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as
464 indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, v. 5, n. 10, p. 551-
465 557, 2006.
466

467 SANTANA, M. C. B. et al. Produtividade de grãos e parâmetros fisiológicos de sorgo
468 granífero sob deficiência hídrica e irrigação plena. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.16,
469 n.3, p. 361-372, 2017. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n3p361-372>
470

471 SCHAFFERT, R. E. et al. *Phenotyping sorghum for adaptation to drought*. In:
472 MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J. M. (Ed.). *Drought phenotyping in crops: from theory to*
473 *practice*. México, DF: CGIAR: CIMMYT, v. 2, p. 287-299, 2011.
474

475 SHIMAZAKI, K. I. et al. Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant*
476 *Biology*, v. 58, n. 1, p. 219-247, 2007.
477

478 SILVA, F. G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob
479 lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v. 19, n. 10, p. 946-952,
480 2015.

481

482 SILVA, M. A. et al. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade
483 do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 1, p. 173-
484 181, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/113299>>.

485

486 SOUZA, C. R. DE; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira,
487 obtidas por dois porta-enxertos, submetidos à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária*
488 *Brasileira*, v.36, n.10, p.1221-1230, 2001.

489

490 SUASSUNA, J. F. et al. Desenvolvimento e eficiência fotoquímica em mudas de híbrido de
491 maracujazeiro sob lâminas de água. *Bioscience Journal*, v. 26, p. 566-571, 2010.

492

493 TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

494

495 TESTER, M.; LANGRIDGE, P. Breeding technologies to increase crop production in a
496 changing world. *Science*, 327, p. 818–822, 2010.

497

498 TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; MILLER, F. Yield componente analysis of grain sorghum
499 grown under water stress. *Field Crops Research*, v. 145, p. 44–51, 2013.

500

501 TORRES NETTO, A. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and
502 SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005.
503
504 TURNER, N. C. Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Australian Journal of*
505 *Plant Physiology*, v. 43, p. 175-190, 1986.
506
507 VAN OOSTEROM, E. J. et al. Functional dynamics of the nitrogen balance of sorghum II.
508 Grain filling period. *Field Crops Research*, v. 115, p. 29–38, 2010.
509
510 WANG, Y. et al. Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a
511 digital still color camera under natural light. *Plant Methods*, v. 10, p. 1–11, 2014.
512
513 VILELA, B. J. et al. Gain of function of stomatal movements in rooting *Vitis vinifera* L
514 plants: regulation by H₂ O₂ is independent of ABA before the protruding of roots. *Plant Cell*
515 *Reports*, v.26, n.12, p.2149-2157, 2007.

APÊNDICE

Resumo da análise de variância de genótipos de sorgo granífero, submetidos a diferentes regimes hídricos, para as variáveis teor relativo de clorofila (SPAD), fluorescência da clorofila (f_v/f_m), condutância estomática ($s\text{ cm}^{-1}$) e área foliar fotossinteticamente ativa (cm^2).

FV	GL	Teor relativo de clorofila	Fluorescência da clorofila	Condutância estomática	Área foliar fotossinteticamente ativa
GENÓTIPO (G)	3	271,915**	0,007*	20858,849**	9731938,127**
BLOCO	6	6,169 ^{NS}	0,001 ^{NS}	4717,738 ^{NS}	89634,656 ^{NS}
REGIME HÍDRICO (R)	1	616,005**	0,072**	98197,149**	13507260,976**
ANO (A)	2	1012,372**	0,008*	38239,43**	629558,026*
(G X R)	3	54,756*	0 ^{NS}	18676,75**	395198,601 ^{NS}
(G X A)	6	16,835 ^{NS}	0,004 ^{NS}	4811,46 ^{NS}	716775,821**
(R X A)	2	81,158**	0,029**	36057,87**	1291773,73**
(G X R X A)	6	24,891 ^{NS}	0,002 ^{NS}	2559,658 ^{NS}	473932,556*
ERRO	66	14,822	0,001	2981,644	187647,392
TOTAL CORRIGIDO	95				
CV (%)		7,78	6,24	44,89	25,09
MÉDIA GERAL		49,515	0,708	121,635	1726,828

^{NS} não significativo; *significativo a 5%; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

1 **ARTIGO 2 (Segundo normas da revista Pesquisa Agropecuária Tropical)**

2

3 **INDICADORES AGRONÔMICOS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO**
4 **GRANÍFERO TOLERANTES À RESTRIÇÃO HÍDRICA**

5

6 **RESUMO:** A seleção de plantas tolerantes à restrição hídrica é essencial para enfrentar os
7 desafios da produção de alimentos, particularmente em regiões áridas e semiáridas.
8 Objetivou-se, portanto, avaliar características agronômicas como indicadores para a seleção
9 de genótipos de sorgo granífero tolerantes à restrição hídrica. Os experimentos foram
10 conduzidos nos anos de 2014, 2015 e 2016. Em cada ano foram instalados dois ensaios, sendo
11 um submetido à irrigação plena e o outro à restrição hídrica. No primeiro, a irrigação foi
12 realizada periodicamente, com turno de rega a cada dois dias para manter a umidade do solo
13 próxima à capacidade de campo, enquanto que, no segundo a irrigação foi cortada no período
14 pré-florescimento, sendo esse estresse mantido por 30 dias. Foram utilizados quatro genótipos
15 de sorgo contrastantes para tolerância à seca: 9503062 e 9618158 - sensíveis à seca (S);
16 9910032 e P898012 – tolerantes à seca (T), em que consistiram os tratamentos. O
17 delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições,
18 totalizando 16 parcelas. Foi avaliada a altura de plantas, peso de panículas, peso de grãos por
19 panícula e produtividade. Foi realizada a análise conjunta dos experimentos submetidos à
20 irrigação plena e à restrição hídrica dos três anos. Sob restrição hídrica não foi possível
21 distinguir os materiais sensíveis dos tolerantes por meio das avaliações realizadas. As
22 características avaliadas neste experimento não permitiram a distinção de forma conclusiva
23 dos genótipos tolerantes em relação aos sensíveis.

24 **Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* L., seca, déficit hídrico, produtividade de grãos, peso de
25 panícula.

26

27

INTRODUÇÃO

28

29 O desenvolvimento de plantas tolerantes ao estresse hídrico é essencial para enfrentar
30 os desafios da produção de alimentos, particularmente em regiões áridas e semiáridas que são
31 vulneráveis a estresses ambientais (Badigannavar et al., 2018). A seleção de cereais tolerantes
32 constitui parte da solução para este problema.

33 Como uma cultura tolerante à seca, o sorgo é cultivado amplamente nas áreas mais
34 áridas do mundo (Ramazanzadeh & Asgharipour, 2011). Dotado de mecanismos
35 morfológicos e bioquímicos que conferem características xerófitas, essa espécie possui uma
36 cerosidade natural que a condiciona a perder menos água durante a transpiração (Tardin et al.,
37 2013). Em condições de estresse hídrico, a planta possui mecanismos de defesa que diminuem
38 o seu metabolismo e enrolam suas folhas e, finalizado este período, o estado normal de
39 desenvolvimento retorna de forma extraordinária (Magalhães & Durães 2003).

40 Sabendo que a tolerância à seca é diferenciada conforme o genótipo (Donatelli et al.,
41 1992), dentro da mesma espécie vegetal, diferentes genótipos podem responder de maneiras
42 distintas ao estresse causado pela deficiência hídrica (Amaral et al., 2003).

43 A avaliação da resistência à seca é um procedimento complexo, uma vez que envolve
44 vários processos da planta, manifestando-se muitas das vezes na perda significativa de
45 rendimento (Badigannavar et al., 2018). Uma boa compreensão dos fatores que limitam a
46 produtividade sob seca requer uma avaliação integrada da resposta da planta e a identificação
47 de características envolvidas nos níveis agrônomo, morfológico, fisiológico e molecular

48 (Emendack et al., 2018). Características agronômicas e morfológicas são os marcadores mais
49 antigos usados para estudar a diversidade genética em germoplasma e desempenham papéis
50 importantes na determinação da produtividade. Estes marcadores têm sido usados em
51 programas de melhoramento visando rendimento e introdução de variedades comerciais sob
52 condições de estresse hídrico (Mollasadeghi et al., 2011).

53 Objetivou-se, portanto, avaliar características agronômicas como indicadores para a
54 seleção de genótipos de sorgo granífero tolerantes à restrição hídrica.

55

56

MATERIAL E MÉTODOS

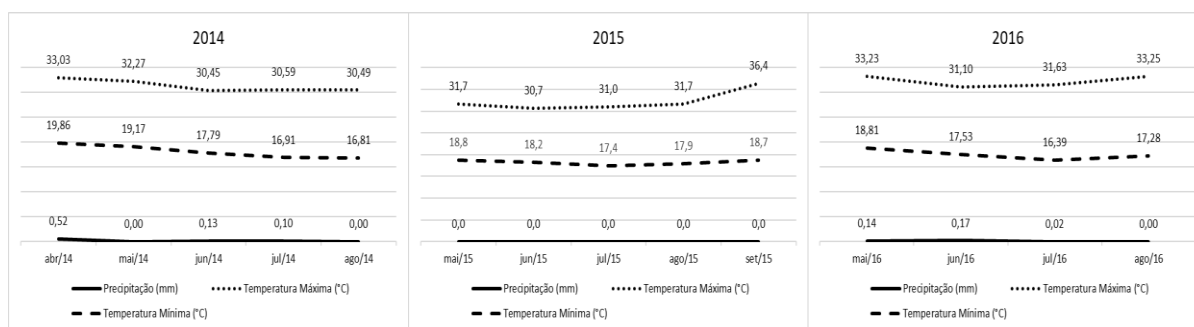
57

58 Os experimentos foram conduzidos na fazenda experimental da Embrapa Milho e
59 Sorgo, situada no perímetro irrigado do Gorutuba no município de Nova Porteirinha, Minas
60 Gerais. Localizado no semiárido brasileiro (Longitude 43° 16' 18,2" W, e Latitude 15° 49'
61 51" S), com 540 m de altitude, e clima Aw segundo a classificação de Köppen, isto é, tropical
62 com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18 °C. A
63 pluviosidade média da região é de aproximadamente 870 mm, temperatura média anual de 24
64 °C, insolação de 2.700 horas anuais, umidade relativa média de 65 %.

65 O local e a época de implantação dos experimentos foram escolhidos pelo histórico de
66 ocorrência de baixa incidência de precipitação pluviométrica, de forma que o suprimento de
67 água fosse controlado apenas por irrigação, sem interferências de chuvas, durante a condução
68 dos ensaios.

69 As temperaturas máxima e mínima, bem como as precipitações pluviais médias
70 verificadas durante o período de condução dos experimentos, estão apresentadas na Figura 1.

71



Fonte: INMET/BDMEP (2018).

Figura 1- Precipitação e temperaturas médias (mínima e máxima), referente ao período de condução dos experimentos, nos anos de 2014, 2015 e 2016, no município de Nova Porteirinha – MG.

Os solos do local são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo, epieutrófico, de textura franco-argilo-arenoso. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 16 parcelas. Cada parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 5 m de comprimento e, espaçadas de 0,5 m, sendo consideradas como área útil as duas fileiras centrais. Em cada ano (2014, 2015 e 2016) foram instalados dois ensaios, sendo um submetido à irrigação plena e o outro à restrição hídrica. Em cada ensaio foram utilizados quatro genótipos de sorgo contrastantes para tolerância à seca: 9503062 e 9618158 - sensíveis à seca (S); 9910032 e P898012 – tolerantes à seca (T), em que consistiram os tratamentos.

Realizou-se o preparo do solo pelo processo convencional com grade aradora e grade niveladora, e posteriormente foi feito o sulcamento da área. Os plantios foram realizados nos dias 10/04/2014, 15/05/2015 e 11/05/2016, respectivamente, sendo a semeadura realizada manualmente, utilizando-se 18 sementes por metro. Fez-se um desbaste 15 dias após a semeadura, deixando-se 10 plantas por metro, totalizando um estande final de 200.000 plantas

92 ha⁻¹. As adubações de base e cobertura foram realizadas com base na análise de solo de
93 acordo com a recomendação para a cultura no estado de Minas Gerais (Alvarez et al., 1999).
94 Os tratos culturais e fitossanitários ocorreram de acordo com a necessidade da cultura.

95 Utilizou-se irrigação por sistema de aspersão convencional fixo, com aspersores
96 espaçados 12 x 12 m, pressão de serviço de 250 kPa, bocais de 4,0 x 2,6 mm de diâmetro e
97 com vazão de 1,6 m³ h⁻¹. A irrigação da cultura para os dois ambientes foi realizada
98 periodicamente, com turno de rega a cada dois dias para manter a umidade do solo próxima à
99 capacidade de campo. Nos ensaios submetidos à irrigação plena as parcelas foram irrigadas
100 regularmente mantendo-se sempre a umidade do solo próximo a capacidade de campo até a
101 maturação fisiológica dos grãos. Nos ensaios submetidos à restrição hídrica as parcelas foram
102 irrigadas regularmente mantendo-se sempre a umidade do solo próximo a capacidade de
103 campo até o período pré-florescimento, momento em que foi imposta a restrição hídrica por
104 um período de 30 dias. Após este período a restrição hídrica foi cessada.

105 Na ocasião da colheita foram avaliadas as seguintes variáveis: altura das plantas (cm),
106 medindo o comprimento entre o colo da planta e o ápice da panícula; peso de panículas,
107 obtido pela medição da massa das panículas; peso de grãos por panícula, obtido pela medição
108 da massa e da umidade dos grãos de cada panícula da parcela, corrigindo-se o valor da massa
109 para a umidade de 13% e produtividade de grãos por hectare, obtido pela medição da massa e
110 da umidade dos grãos da parcela, corrigindo-se o valor da massa para a umidade de 13% e
111 extrapolando o resultado para kg.ha⁻¹.

112 Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta dos experimentos com
113 irrigação plena e com restrição hídrica, nos três anos, e quando significativos pelo teste F
114 ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey a um nível de 5% de significância.

115

RESULTADOS E DISCUSSÃO

116

117

118 Entre as diversas características, a altura de plantas é um fenótipo morfológico
119 fundamental que indica diretamente o crescimento das plantas e é altamente preditivo de
120 biomassa e rendimento final de grãos (Wang et al., 2018), e tem sido relatada por diversos
121 autores (Geipel et al., 2014, Li et al., 2016, Schirrmann et al., 2016).

122 Maior altura de plantas foi apresentada pelo genótipo 9910032 (T), em ambos regimes
123 hídricos, entretanto melhores resultados foram obtidos sob irrigação plena (Tabela 1). A altura
124 média dos genótipos submetidos à irrigação plena foi 1,18 m e dos submetidos à restrição
125 hídrica foi 1,10 m, havendo uma redução de 6,77 %. Da mesma maneira, Tardin et al. (2013)
126 encontraram médias de altura de híbridos de sorgo granífero, sob irrigação plena, entre 105 a
127 154 cm e sob restrição hídrica entre 75 a 130 cm.

128

129 Tabela 1. Altura de plantas (m) em relação aos genótipos (tolerantes (T) e sensíveis (S)), e
130 regimes hídricos adotados no cultivo de sorgo granífero, em Nova Porteirinha, MG.

Genótipos	Irrigação plena	Restrição hídrica
9910032 (T)	1,62 Aa	1,43 Ab
P898012 (T)	1,24 Ba	1,22 Ba
9503062 (S)	0,90 Ca	0,82 Da
9618158 (S)	0,96 Ca	0,96 Ca
CV (%)	10,70	

131 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre
132 si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

133 A altura de plantas não diferiu estatisticamente entre os anos de cultivo sob irrigação
 134 plena. Já sob restrição hídrica, o ano de 2014 apresentou menores valores para esta
 135 característica (Tabela 2). Dentre os regimes hídricos adotados observou-se diferença
 136 significativa apenas no ano de 2014 em que o regime de irrigação plena foi superior.

137
 138 Tabela 2. Altura de plantas (m), peso de panícula (g) e peso de grãos por panícula (g) em
 139 relação aos anos e regimes hídricos adotados no cultivo de sorgo granífero, em Nova
 140 Porteirinha, MG.

Ano	Altura de planta		Peso de panícula		Peso de grãos por panícula	
	Irrigação	Restrição	Irrigação	Restrição	Irrigação	Restrição
	plena	hídrica	plena	hídrica	plena	hídrica
2014	1,19 Aa	1,01 Bb	29,33 Ca	15,52 Cb	22,93 Ca	11,88 Bb
2015	1,21 Aa	1,15 Aa	36,26 Ba	34,87 Ba	28,77 Ba	29,54 Aa
2016	1,14 Aa	1,17 Aa	55,39 Aa	42,30 Ab	42,08 Aa	31,54 Ab
CV (%)	10,70		17,15		18,42	

141 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre
 142 si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

143
 144 Diferentemente dos resultados desse trabalho, Albuquerque et al., (2011) observaram
 145 interação genótipo x ambiente entre as cultivares de sorgo granífero avaliadas diante da
 146 variação de um ano chuvoso e um ano seco. Possivelmente a diferença nos resultados se deu
 147 devido, além dos genótipos utilizados, ao período em que as plantas foram submetidas à
 148 restrição hídrica. No presente trabalho, a restrição foi imposta no pré-florescimento, enquanto

149 que no trabalho de Albuquerque et al. (2011) possivelmente houve estresse no período
150 vegetativo.

151 Santos (2003) recomenda que a altura do sorgo granífero esteja no intervalo de 1,0 a
152 1,5 m, pois a colheita geralmente é realizada com adaptações de colhedoras para milho ou
153 soja, as quais operam neste intervalo. Associadas a isto, alturas inferiores a 1,5 m são
154 desejadas para evitar acamamento das plantas. Altura superior a 1,0 m é recomendada, pois
155 está positivamente correlacionada com produtividade de grãos.

156 Tardin et al. (2013) concluíram que o estresse hídrico diminuiu a média de todas as
157 características agronômicas da cultura, o que corrobora com os resultados obtidos no presente
158 trabalho. A característica altura de planta é um fenótipo morfológico de grande importância,
159 entretanto os resultados obtidos demonstram a impossibilidade do uso deste parâmetro, por si
160 só, para identificação de forma conclusiva de materiais tolerantes à restrição hídrica, uma vez
161 que sob restrição hídrica não foi possível distinguir os sensíveis dos tolerantes.

162 Para peso de panículas, no ano de 2014 não houve diferença significativa entre os
163 genótipos. Em 2015 destacou-se o genótipo 9618158 (S) e em 2016 o 9910032 (T), com os
164 maiores resultados (Tabela 3). De maneira geral os genótipos apresentaram melhores
165 resultados de peso de panícula no ano de 2016. Considerando-se apenas os regimes hídricos o
166 ano de 2016 apresentou os maiores resultados (Tabela 2). Apenas em 2015 não se observou
167 diferença entre os regimes hídricos. Nos demais anos de cultivo, o regime de irrigação plena
168 foi superior.

169

170

171 Tabela 3. Peso de panícula (g) e peso de grãos por panícula (g) em relação aos genótipos
 172 (tolerantes (T) e sensíveis (S)) e anos de cultivo de sorgo granífero, em Nova Porteirinha,
 173 MG.

Genótipos	Peso de panícula			Peso de grãos por panícula		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016
9910032 (T)	22,40 Ac	34,46 ABb	58,70 Aa	17,05 Ac	29,59 ABb	42,45 Aa
P898012 (T)	22,93 Ab	35,01 ABa	41,78 Ba	18,13 Ab	28,18 ABa	31,81 Ba
9503062 (S)	20,22 Ac	31,88 Bb	46,20 Ba	15,67 Ac	24,88 Bb	35,95 ABa
9618158 (S)	24,13 Ac	40,93 Ab	48,70 Ba	18,76 Ab	33,98 Aa	37,03 ABa
CV (%)	17,15			18,42		

174 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre
 175 si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

176

177 Embora não tenha havido resultados significativos para a interação genótipos x
 178 regimes hídricos, observaram-se menores resultados médios quando submetidos à restrição
 179 hídrica. Houve uma redução de 23,38% no peso médio de panículas das plantas submetidas à
 180 restrição hídrica, nos três anos de cultivo. Jabereldar et al. (2017), em estudos com cinco
 181 genótipos de sorgo no Sudão, avaliando o estresse hídrico, sendo a irrigação retida por três
 182 semanas, observaram que plantas tolerantes apresentaram menor comprimento e peso de
 183 panículas, menor número de grãos por panícula e peso de grãos por panícula.

184 Como esperado o peso de grãos por panícula apresentou resultados semelhantes aos
 185 encontrados para peso de panícula, com os genótipos não diferindo entre si em 2014. O
 186 genótipo 9618158 (S) foi superior ao 9503062 (S) em 2015. Em 2016, o genótipo 9910032

187 (T) foi superior ao P898012 (T). De maneira geral os genótipos apresentaram melhores
188 resultados no ano de 2016 (Tabela 3). Considerando a irrigação plena, maiores valores de
189 peso de grãos por panícula foram observados em 2016. Já para o regime de restrição hídrica
190 os anos de 2015 e 2016 não diferiram entre si, sendo superiores a 2014 (tabela 2). Em 2015
191 não foram apresentadas diferenças entre os regimes hídricos.

192 O peso médio de grãos por panícula, dos três anos de cultivo, sob irrigação plena foi
193 de 31,26 g. Com a restrição hídrica a média foi de 24,32 g (Tabela 2), 22,2% menor que o
194 resultado obtido sob irrigação plena. Tal redução pode ser atribuída à redução da
195 disponibilidade hídrica na fase de diferenciação floral, acarretando em menor número de
196 grãos por panícula e por consequência menor peso de grãos por panícula.

197 Kumari & Ganesamurthy (2010), conduzindo experimentos de campo para avaliação
198 de 100 genótipos de sorgo sob estresse hídrico pós-florescimento, obtiveram rendimentos de
199 grãos por planta dos genótipos tolerantes à seca variando entre 35,0 g e 44,55 g. Essa média
200 de rendimento é superior às observadas no presente trabalho. Tal diferença pode ser atribuída,
201 além de outros fatores não avaliados, à variação entre os genótipos utilizados, uma vez que
202 esta é uma característica genótipo dependente.

203 Com relação à produtividade, para o regime de irrigação plena não houve diferenças
204 significativas entre os genótipos em todos os anos avaliados (Tabela 4). Já sob restrição
205 hídrica apenas no ano de 2015 observou-se diferença entre os genótipos, destacando-se o
206 P898012 (T). Sob restrição hídrica a produtividade foi 15,99% menor. Segundo Rakshit et al.
207 (2016), o estresse hídrico durante o estágio de floração e enchimento de grãos pode reduzir o
208 rendimento de grãos em 35%.

209 A produtividade dos genótipos P898012 (T) e 9618158 (S) não diferiu de um regime
210 hídrico para outro em 2014. Em 2015, apenas o genótipo 9503062 (S) reduziu a produtividade

211 quando submetido à restrição hídrica. Em 2016 todos os genótipos apresentaram melhores
 212 resultados quando submetidos à irrigação plena (Tabela 4).

213

214 Tabela 4. Produtividade (kg. ha⁻¹) em relação aos anos, genótipos (tolerantes (T) e sensíveis
 215 (S)) e regimes hídricos adotados no cultivo de sorgo granífero, em Nova Porteirinha, MG.

Ano	Genótipo	Irrigação plena	Restrição hídrica
2014	9910032 (T)	5085,00 Aa	3875,00 Ab
	P898012 (T)	4210,00 Aa	5030,00 Aa
	9503062 (S)	5380,00 Aa	3795,00Ab
	9618158 (S)	4945,00 Aa	4550,00 Aa
2015	9910032 (T)	4135,00 Aa	3562,50 Ba
	P898012 (T)	4695,00 Aa	5517,50 Aa
	9503062 (S)	5100,00 Aa	3935,00 Bb
	9618158 (S)	5242,50 Aa	4550,00 ABa
2016	9910032 (T)	8962,25 Aa	6780,75 Ab
	P898012 (T)	8551,25 Aa	5758,25 Ab
	9503062 (S)	7839,25 Aa	6516,50 Ab
	9618158 (S)	8259,50 Aa	6956,50 Ab
CV (%)	14,18		

216 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre
 217 si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (p≤0,05).

218

219 Considerando a irrigação plena, todos os genótipos apresentaram maior produtividade
 220 em 2016 (Tabela 5). Da mesma maneira para a restrição hídrica, exceto para o genótipo
 221 P898012 (T) que não diferiu dentre os anos de cultivo.

222
 223 Tabela 5. Produtividade (kg. ha⁻¹) em relação aos genótipos (tolerantes (T) e sensíveis (S)),
 224 anos e regimes hídricos adotados no cultivo de sorgo granífero, em Nova Porteirinha, MG.

Ano	Genótipo	Irrigação plena	Restrição hídrica
	2014	5085,00 B	3875,00 B
9910032 (T)	2015	4135,00 B	3562,50 B
	2016	8962,25 A	6780,75 A
	2014	4210,00 B	5030,00 A
P898012 (T)	2015	4695,00 B	5517,50 A
	2016	8551,25 A	5758,25 A
	2014	5380,00 B	3795,00 B
9503062 (S)	2015	5100,00 B	3935,00 B
	2016	7839,20 A	6516,50 A
	2014	4945,00 B	4550,00 B
9618158 (S)	2015	5242,50 B	4550,00 B
	2016	8259,50 A	6956,50 A
CV (%)	14,18		

225 Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey
 226 a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

227

228 Almeida Filho et al. (2014), avaliando a produtividade de 22 híbridos de sorgo
229 granífero em diferentes localidades, não observaram efeito significativo de híbridos, em
230 nenhum dos experimentos, a maioria dos híbridos apresentou produtividade acima da média
231 brasileira, que foi 2664 kg ha⁻¹ naquele ano (2013). Albuquerque et al. (2011), avaliando
232 cultivares de sorgo granífero em condições semiáridas, obtiveram produtividade de grãos
233 entre 5500 e 7000 kg ha⁻¹ em um ano chuvoso e, em um ano com baixa disponibilidade
234 pluviométrica, valores inferiores a 3000 kg ha⁻¹. As médias de produtividade obtidas no
235 presente trabalho foram 6033 kg ha⁻¹ na irrigação plena e 5068 kg ha⁻¹ com restrição hídrica.
236 Resultados que superam em muito a média de produtividade brasileira atual estimada em
237 2856 kg ha⁻¹ (CONAB 2018).

238 Outros autores relatam decréscimo na produtividade do sorgo granífero sob restrição
239 hídrica. Santana et al., (2017) relatou redução de 33,1% em ensaio realizado em Teresina-PI.
240 Batista et al., (2016) observou redução de 35% e 65% em Nova Porteirinha-MG e Teresina-
241 PI, nos anos de 2014 e 2015, respectivamente. Menezes et al. (2015) e Tardin et al. (2013)
242 relataram reduções de produtividade ocasionadas pela restrição hídrica pós-florescimento de
243 39% e 54%, respectivamente.

244 Fica clara a variação dos resultados em virtude das diferentes localidades em que
245 foram conduzidos os ensaios, com condições edafoclimáticas, materiais genéticos e manejo
246 distintos, dentre outras variáveis difíceis de serem mensuradas.

247 A redução da produtividade nas plantas submetidas à restrição hídrica pode ser
248 explicada pela junção de vários fatores. Dentre eles, a menor altura de planta pode implicar
249 em menor área foliar e por consequência redução na produção de fotoassimilados. Além disto,
250 o estresse hídrico na diferenciação floral reduz o número de grãos por panícula. Estes grãos,

251 por falta de fotoassimilados, terão menor peso, acarretando em menor peso de panícula e por
252 consequência menor produtividade.

253

254

CONCLUSÃO

255

256 As características avaliadas neste experimento não permitiram a distinção de forma
257 conclusiva dos genótipos tolerantes em relação aos sensíveis.

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

REFERÊNCIAS

- 275
276
277 ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de
278 sorgo granífero no semiárido. *Bragantia*, v. 70, p. 278-285, 2011.
279
280 ALMEIDA FILHO, J. E. et al. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero em
281 diferentes regiões produtoras do Brasil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.13, n.1, p. 82-
282 95, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p82-95>.
283
284 AMARAL, S. R. et al. Comportamento de genótipos de sorgo forrageiro submetidas a déficit
285 hídrico sob condição controlada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, n. 8, p. 973-979,
286 2003.
287
288 ALVARES V. V. H. et al. *Interpretação dos resultados das análises de solos*. In: RIBEIRO et
289 al. (eds). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Comissão
290 de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa. 1999. p. 25-32.
291
292 BADIGANNAVAR, A. et al. Physiological, genetic and molecular basis of drought resilience
293 in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Indian Journal of Plant Physiology*, v. 23, n. 4,
294 p. 670-688, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0416-2>
295
296 BATISTA, P. S. Seleção fenotípica de híbridos de sorgo granífero para tolerância à seca.
297 2016. 95 f. *Dissertação* (Mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2016.

298 CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Análise mensal*. Sorgo, Março de 2018.
299 Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-sorgo)
300 [extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-sorgo](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado/historico-mensal-de-sorgo) Acesso em: 19 março. 2019.

301

302 DONATELLI, M.; HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. Genotype and water limitation
303 effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain sorghum. *Crop Science*, v.
304 32, p. 781-786, 1992.

305

306 EMENDACK, Y. et al. Agro-morphological characterization of diverse sorghum lines for
307 pre-and post-flowering drought tolerance. *Australian Journal of Crop Science*, v. 12, n. 1, p.
308 135-150, 2018. ISSN:1835-2707. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.01.pne790

309

310 GEIPEL, J., LINK, J., CLAUPEIN, W. Combined spectral and spatial modeling of corn yield
311 based on aerial images and crop surface models acquired with an unmanned aircraft system.
312 *Remote Sensing*, v. 6, p. 10335-10355, 2014. <http://dx.doi.org/10.3390/rs61110335>.

313

314 INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Dados meteorológicos. Disponível
315 em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: Dez. 2018.

316

317 JABERELDAR, A. A. et al., Effect of water stress on yield and water use efficiency of
318 sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in semi-arid environment. *International Journal of*
319 *Agriculture and Forestry*, v. 7, n; 1, p. 1–6, 2017.

320

321 KUMARI V. N.; GANESAMURTHY, K. Evaluation of morpho-physiological characters in
322 sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes under post-flowering drought stress.
323 *Electronic Journal of Plant Breeding*, v. 1, n. 4, p. 585-589, 2010.

324

325 LI, W. et al. Remote estimation of canopy height and aboveground biomass of maize using
326 high-resolution stereo images from a low-cost unmanned aerial vehicle system. *Ecological*
327 *Indicators*, v. 67, p. 637-648, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.036>.

328

329 MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. *Fisiologia da Planta de*
330 *Sorgo*. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2003. 4 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular técnica,
331 86).

332

333 MENEZES, C. B. et al., Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo em ambientes
334 com e sem restrição hídrica. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 14, n. 1, p. 101-115,
335 2015. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v14n1p101-115.

336

337 MOLLASADEGHI, V. et al., Classifying bread wheat genotypes by multivariable statistical
338 analysis to achieve high yield under after anthesis drought. *Middle-East Journal of Scientific*
339 *Research*, v. 72, p. 217-220, 2011.

340

341 RAKSHIT, S. et al., Post-flowering drought stress response of post-rainy sorghum genotypes.
342 *Indian Journal of Plant Physiology*, v. 21, n. 1, p. 8-14, 2016.

343

344 RAMAZANZADEH, S.; ASGHARIPOUR, M. Physiological growth responses of sorghum
345 genotypes to impairment of plant photosynthesis using potassium iodide. *Australian Journal*
346 *of Basic and Applied Sciences*, v. 5, p. 1884–1890, 2011.

347

348 SANTANA, M. C. B. et al. Produtividade de grãos e parâmetros fisiológicos de sorgo
349 granífero sob deficiência hídrica e irrigação plena. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.16,
350 n.3, p. 361-372, 2017.

351

352 SANTOS, F. G. *Cultivares de Sorgo*. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2003. 3 p.
353 (EMBRAPA-CNPMS. Circular técnica, 77).

354

355 SCHIRRMANN, M. et al. Estimating wheat biomass by combining image clustering with
356 crop height. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 121, p. 374-384, 2016.
357 <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.007>.

358

359 TARDIN, F. D. et al. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivadas sob
360 irrigação e estresse hídrico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.12, n.2, p. 102-117, 2013.
361 DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n2p102-117>.

362

363 WANG, X. et al. Field-based high-throughput phenotyping of plant height in sorghum using
364 different sensing technologies. *Plant Methods*. P. 14-36. 2018. DOI:
365 <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0324-5>

APÊNDICE

Resumo da análise de variância de genótipos de sorgo granífero, submetidos a diferentes regimes hídricos, para as variáveis altura de planta (m), peso de panícula (g), peso de grãos por panícula (g) e produtividade (kg. ha⁻¹).

FV	GL	Altura de planta	Peso de panícula	Peso de grãos por panícula	Produtividade
GENÓTIPO (G)	3	2,171**	219,93**	132,014**	668850,565 ^{NS}
BLOCO	6	0,01 ^{NS}	72,629 ^{NS}	29,139 ^{NS}	1059273,038 ^{NS}
REGIME HÍDRICO (R)	1	0,125**	2131,935**	1156,689**	22340715,843**
ANO (A)	2	0,059*	5584,837**	3057,335**	86798064,572**
(G X R)	3	0,044*	23,316 ^{NS}	22,094 ^{NS}	1295034,51 ^{NS}
(G X A)	6	0,012 ^{NS}	164,529**	75,153*	1419190,878*
(R X A)	2	0,084**	388,71**	357,169**	5320831,156**
(G X R X A)	6	0,019 ^{NS}	80,17 ^{NS}	53,097 ^{NS}	1739773,572*
ERRO	66	0,015	37,327	26,212	619590,113
TOTAL CORRIGIDO	95				
CV (%)		10,7	17,15	18,42	14,180
MÉDIA GERAL		1,148	35,616	27,793	5551,322

ns não significativo; *significativo a 5%; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

CONCLUSÃO GERAL

As características fisiológicas e agronômicas avaliadas não se mostraram bons indicadores para a seleção de genótipos tolerantes à restrição hídrica, uma vez que não permitiram a distinção de forma conclusiva dos genótipos tolerantes em relação aos sensíveis.