



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI - UFSJ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CAMPUS SETE LAGOAS

TALITA CAMARGOS GOMES

**QUANTIFICAÇÃO E PERFIL DE EXTRATOS DE RAÍZES DE
SORGO E SEU EFEITO SOBRE SEMENTES DE SOJA, *Brachiaria
decumbens* E PICÃO-PRETO (*Bidens subalternans*).**

SETE LAGOAS

2018

TALITA CAMARGOS GOMES

**QUANTIFICAÇÃO E PERFIL DE EXTRATOS DE RAÍZES DE
SORGO E SEU EFEITO SOBRE SEMENTES DE SOJA, *Brachiaria
decumbens* E PICÃO-PRETO (*Bidens subalternans*).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del – Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. PhD.. Leonardo Lucas Carnevalli
Dias

Co- orientador: PhD. Décio Karam

SETE LAGOAS/MG

2018

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G633q Gomes, Talita Camargos.
 Quantificação e perfil de extratos de raízes de
 sorgo e seu efeito sobre sementes de soja,
 Brachiaria decumbens e picão-preto (Bidens
 subalternans). / Talita Camargos Gomes ; orientador
 Leonardo Lucas Carnevalli Dias; coorientador Décio
 Karam. -- Sete Lagoas, 2018.
 45 p.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
 Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São
 João del-Rei, 2018.

 1. sorgoleone. 2. efeito alelopático. 3. redução
 de germinação. 4. redução de IVG. 5. perfil
 cromatográfico. I. Dias, Leonardo Lucas Carnevalli,
 orient. II. Karam, Décio, co-orient. III. Título.

TALITA CAMARGOS GOMES

**QUANTIFICAÇÃO E PERFIL DE EXTRATOS DE RAÍZES DE
SORGO E SEU EFEITO SOBRE SEMENTES DE SOJA, *Brachiaria
decumbens* E PICÃO-PRETO (*Bidens subalternans*).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del – Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. PhD.. Leonardo Lucas Carnevalli
Dias

Co- orientador: PhD. Décio Karam

Sete Lagoas, 29 de junho de 2018.

Banca examinadora:

Dra. Maria Lúcia Ferreira Simeone – Embrapa Milho e Sorgo

Dr. Amilton Ferreira da Silva – UFSJ

Prof. PhD. Leonardo Lucas Carnevalli Dias
Orientador

À Deus, meu esposo Wanderson, meu filho Yuri, meus pais Sebastião e Elzi e meu irmão Paulo Victor, amores da minha vida e sem os quais seria impossível chegar aqui
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor e mestre da minha vida, por me permitir saúde para concluir esta etapa da minha vida.

A meu esposo tanto amado Wanderson, que SEMPRE com tanta paciência, dedicação e amor, esteve ao meu lado, e esteve forte nos momentos que mais precisei dele. Meu grande amigo e que acredita em mim mais do que eu mesma.

Ao meu pequeno filho Yuri, que chegou no meio desta jornada para nos alegrar e nos dar mais razões para crescer e sonhar.

Aos meus amados pais, Sebastião e Elzi, que com muito amor me apoiaram e me educaram, sem os quais também eu não teria chegado aqui, sendo também exemplo de fé, honestidade, amor e perseverança para mim.

Ao meu querido irmão, Paulo Victor, com todo seu apoio e paciência e dedicação nos cuidados com meu filho sempre que precisei.

À minha sogra Mercês, que é como mãe para mim, por todo seu apoio nos momentos difíceis e cuidados com Yuri, além das orações e de ser também grande exemplo de fé e amor.

À Emilly, que também se dedicou com tanto amor para cuidar de Yuri, agradecerei eternamente.

Aos meus líderes Pastor Eduardo, Missionárias Edésia e Tânia, por todas as orações e cuidados para comigo e minha família e por sonharem meus sonhos e se alegrarem com minhas alegrias.

Ao meu co-orientador Décio, por sempre com muita paciência orientou, ensinou, incentivou e é exemplo de profissional.

Ao meu orientador, Leonardo, que não tenho como agradecer por toda paciência e orientação nesses anos. Agradecerei sempre.

À Malu, por toda paciência, carinho e orientações nesses anos de pesquisa

A todos os amigos que fiz e que levarei para sempre.

À Embrapa, pelo espaço para realização dos experimentos concedidos.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Percentual médio da área dos picos cromatográficos relativas ao somatório total dos compostos presentes nos exsudatos de raízes de sorgo.....17

Tabela 2. Genótipos de sorgo utilizados, características agronômicas, massa seca em gramas de raízes (MSR), massa de extrato (ME), mg de extrato por grama de MSR.....17

Tabela 3. Genótipos de sorgo utilizados, quantidade de sorgoleone (SGL) encontrada no extrato produzido pelas raízes de cada genótipo, e quantidade de sorgoleone encontrada por grama de massa seca de raiz.....18

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

Figura 1. Estrutura sorgoleone1

CAPÍTULO 1

Figura 2. Exsudação de sorgoleone nos pelos radiculares do genótipo BRS 716. Foto ampliada 80x em equipamento Carl Zeiss11

Figura 3. Exsudação de sorgoleone nos pelos radiculares do genótipo BR 007 B. Foto ampliada 80x em equipamento Carl Zeiss12

Figura 4. Exsudação de sorgoleone nos pelos radiculares do genótipo CMSXS 206 B. Foto ampliada 80x em equipamento Carl Zeiss12

Figura 5. Comprimento médio de pelos radiculares (A) e densidade média de pelos radiculares por mm² (B), das raízes dos genótipos de sorgo BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B.....13

Figura 6. Pelos radiculares dos genótipos BR 007 B (A), BRS 716 (B) e CMSXS 206 B (C). Foto ampliada 16X em equipamento estereoscópio Axio Zoom V16 (Zeiss).....14

Figura 7. Curva de calibração para o composto sorgoleone15

Figura 8. Cromatograma típico de extrato de raízes de sorgo purificado por cromatografia. A- Genótipo BRS 716; B – Genótipo BR 007 B; C- Genótipo CMSXS 206 B16

CAPÍTULO 2

Figura 1. Efeito no percentual de germinação de sementes de soja sob doses de extratos de raízes de sorgo29

Figura 2. Efeito no IVG de sementes de soja sob doses de extratos de raízes de sorgo.....30

Figura 3. Percentual de germinação (A) e IVG (B) de sementes de soja sob efeito extrato de raízes de sorgo em μM 31

Figura 4. Percentual de germinação de sementes de soja sob efeito de extratos de raízes de sorgo31

Figura 5. Efeito no IVG de sementes de soja sob doses de extratos de raízes de sorgo.....32

Figura 6. IVG médio de sementes de soja sob efeito extratos padronizados em μM de sorgoleone33

Figura 7. Efeito no percentual de germinação de sementes de picão-preto (*Bidens subalternans*) sob doses de extratos de raízes de sorgo.....34

Figura 8. IVG de sementes de picão-preto (<i>Bidens subalternans</i>) sob doses de extratos de raízes de sorgo	35
Figura 9. IVG de sementes de picão-preto (<i>Bidens subalternans</i>) sob efeito de extratos de raízes de sorgo	35
Figura 10. Efeito no percentual de germinação de sementes de picão-preto (<i>Bidens subalternans</i>) sob doses de extratos de raízes de sorgo	36
Figura 11. Efeito no IVG de sementes de picão-preto (<i>Bidens subalternans</i>) sob doses de extratos de raízes de sorgo	37
Figura 12. Percentual de germinação (A) e IVG (B) de sementes de picão-preto (<i>Bidens subalternans</i>) sob efeito extrato de raízes de sorgo em μM	38
Figura 13. Efeito no percentual de germinação de sementes de <i>Brachiaria decumbens</i> sob doses de extratos de raízes de sorgo	38
Figura 14. Efeito no IVG de sementes de <i>Brachiaria decumbens</i> sob doses de extratos de raízes de sorgo	39
Figura 15. IVG de sementes de <i>Brachiaria decumbens</i> sob efeito de extratos de raízes de sorgo.....	40
Figura 16. Percentual de germinação (A) e IVG (B) de sementes de <i>Brachiaria decumbens</i> sob efeito extrato de raízes de sorgo em μM	40
Figura 17. Efeito no percentual de germinação de sementes de <i>Brachiaria decumbens</i> sob doses de extratos de raízes de sorgo	41
Figura 18. Efeito no IVG de sementes de braquiária sob doses de extratos de raízes de sorgo.....	42

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	3
CAPITULO I - QUANTIFICAÇÃO E PERFIL DE EXTRATOS DE RAÍZES DE DIFERENTES GENÓTIPOS DE SORGO	6
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. Materiais e métodos	9
2.1. Obtenção do exsudato radicular	9
2.2. Quantificação e perfil de extratos por HPLC	10
2.3. Quantificação dos pelos radiculares	10
2.4. Análise estatística	11
3. Resultados e discussão	11
3.1. Quantificação dos pelos radiculares	11
3.2. Quantificação e perfil de extratos por HPLC	15
4. Conclusões	18
5. Referências bibliográficas	19
CAPÍTULO 2 - EFEITO DE EXTRATOS DE RAÍZES DE DIFERENTES GENÓTIPOS DE SORGO NA GERMINAÇÃO DE SOJA, <i>Brachiaria decumbens</i> e PICÃO-PRETO (<i>Bidens subalternans</i>).	22
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO	24
1.1. Sorgo e sorgolone	24
1.2. Plantas daninhas e sorgoleone	25

2. Materiais e métodos	26
2.1. Espécies utilizadas	26
2.2. Preparo das soluções	26
2.3. Bioensaios	27
2.4. Potencial osmótico	27
2.5. Análise estatística	28
3. Resultados e discussão	28
3.1. Potencial osmótico	28
3.2. Bioensaios	29
3.2.1. Soja	29
3.2.2. Picão-preto	33
3.2.3. Braquiária	38
4. Conclusões	42
5. Referências bibliográficas	43

QUANTIFICAÇÃO E PERFIL DE EXTRATOS DE RAÍZES DE SORGO E SEU EFEITO SOBRE SEMENTES DE SOJA, *Brachiaria decumbens* E PICÃO-PRETO (*Bidens subalternans*)

Resumo: O sorgo (*Sorghum sp.*) é umas das espécies mais estudadas em razão de seus efeitos alelopáticos, causados pelos compostos em sua constituição, sendo sorgoleone o mais conhecido e estudado. Devido a utilização do sorgo como alternativa de cobertura e manutenção do sistema de semeadura direta, esses efeitos alelopáticos têm gerado problemas no desenvolvimento da soja em sucessão na safra principal, mas também têm causado controle em espécies daninhas. O objetivo deste trabalho foi extrair e quantificar o exsudato de raízes de sorgo de 3 genótipos (BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B), obter o teor de sorgoleone e o perfil cromatográfico de cada genótipo e determinar a toxicidade relativa dos extratos de raízes destes três genótipos de sorgo em sementes de soja, *Brachiaria decumbens* e picão-preto (*Bidens subalternans*) em condições de laboratório. A quantificação e o perfil de cada extrato foram realizados por cromatografia líquida de alta eficiência em triplicata. As frações encontradas em cada perfil de cada extrato foram comparadas a partir do tempo de retenção de cada pico cromatográfico. Por meio de fotografia, foram comparados o comprimento médio e a densidade média dos pelos radiculares entre os três genótipos de sorgo. Soluções de extratos concentrados de raízes de sorgo foram utilizadas em dois experimentos: no primeiro experimento, as concentrações de 418,44; 209,22; 104,61; 52,3 e 26,15 μM de extratos de raízes dos três genótipos de sorgo. O segundo experimento testou concentrações padronizadas de 50, 25, 12,5, 6,25 e 3,125 μM de sorgoleone presente nos extratos dos três genótipos. Os experimentos foram desenvolvidos em câmara de germinação, durante 7 dias no escuro e com temperatura média de 27 °C. As variáveis respostas avaliadas foram percentual de germinação (%G) e Índice de Velocidade de Germinação (IVG). Os dados de %G e IVG foram submetidos à análise de variância, utilizando o F e as médias quando significativas foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade para comparar os efeitos de cultivar pelo software Systat 2013.. O comprimento médio dos pelos radiculares do BRS 716 foi significativamente 30% (2,1 mm) maior do que o do BR 007 B e 40% (2,3 mm) maior do que o do CMSXS 206. A densidade média dos pelos de BRS 716 apresentou 50% a mais de números de pelos por mm^2 do que os outros dois genótipos de sorgo (BR 007 B e CMSXS 206 B), que apresentaram valores estatisticamente semelhantes. Sorgoleone foi composto encontrado em predominância (cerca de 79%) nos três extratos de sorgo avaliados, e o perfil cromatográfico detectou mais 5 outros compostos para os genótipos BR 007 e CMSXS 206 B e 6 compostos para BRS 716. Houve diferença entre a produção de massa seca de raízes, massa seca de extrato e teor de sorgoleone entre os três genótipos, com BRS 716 tendo a maior relação de sorgoleone por massa seca de raízes, seguido por BR 007 B e CMSXS 206 B. Em geral, os três extratos reduziram o percentual de germinação e do IVG para as três espécies receptoras. O extrato de BR 007 B foi o que mais reduziu a germinação e IVG para soja e picão-preto, seguido por BRS 716 e CMSXS 206 B. Já para a espécie de *B. decumbens*, CMSXS 206 B foi o extrato que mais reduziu o percentual de germinação e IVG desta espécie. São necessárias baixas doses de sorgoleone para causar efeito fitotóxico em sementes de soja, *B. decumbens* picão-preto, sendo então necessários mais estudos para se entender se há alguma relação entre a composição química dos genótipos de sorgo e as características botânicas das espécies receptoras.

Palavras-chave: sorgoleone, alelopatia, redução de germinação

Comitê orientador:
Prof. PhD. Leonardo Lucas Carnevalli Dias
PhD. Décio Karam

QUANTIFICATION AND PROFILE OF SORGHUM ROOT EXTRACTS AND THEIR EFFECT ON SOYBEAN, *Brachiaria decumbens* AND HAIRY BEGGARTICKS (*Bidens subalternans*)

Abstract: Sorghum (*Sorghum sp.*) is one of the most studied species due to its allelopathic effects, caused by the compounds in its constitution, being sorgoleone the best known and studied. Due to the use of sorghum as an alternative to cover and maintenance of the direct seeding system, these allelopathic effects have generated problems in soybean development in successions in the main crop, but also have caused weed control. The objective of this work was to extract and quantify sorghum root exudate of 3 genotypes (BR 007 B, BRS 716 and CMSXS 206 B) with different aptitudes, to determine the sorgoleone content and the chromatographic profile of each sorghum genotype. The goal was also to determine the relative toxicity of the root extracts of these three sorghum genotypes in soybean seeds, *Brachiaria decumbens* and hairy beggarticks *Bidens subalternans* under laboratory conditions. Quantification and profile of each extract were performed by high performance liquid chromatography in triplicate. The fractions found in each profile of each extract were compared from the retention time of each chromatographic peak. The average length and mean density of the root beetles among the three sorghum genotypes were compared. Solutions of concentrated extracts of sorghum roots were used in two experiments: in the first experiment the concentrations used were 418,44; 209,22; 104,61; 52,3 and 26,15 μM of root extracts of the three sorghum genotypes. The second experiment tested standard concentrations of 50,0; 20,0; 12,5; 6,25 and 3, 125 μM sorgoleone present in the extracts of the three genotypes. The experiments were carried out in a germination chamber for 7 days in the dark and with a mean temperature of 27 °C. The evaluated variables were percentage of germination (%G) and Germination Speed Index (GSI). The %G and GSI data were submitted to analysis of variance, using the F and means when significant were compared by the Tukey test at 5% probability to compare the effects of cultivar by Systat 2013 software. The mean root length of BRS 716 was significantly 30% (2.1 mm) higher than that of BR 007 B and 40% (2.3 mm) higher than that of the CMSXS 206. Considering the average root density, BRS 716 presented 50% more numbers of hairs per mm^2 than the other two sorghum genotypes (BR 007 B and CMSXS 206 B), which presented statistically similar values. Sorgoleone was found predominantly (about 79%) in the three evaluated sorghum extracts, and the chromatographic profile detected 5 other compounds for the BR 007 and CMSXS 206 B and 6 BRS 716 compounds. There was a difference between the dry mass of roots, dry mass of extract and sorgoleone content among the three genotypes, with BRS 716 having the highest ratio of sorgoleone per dry mass of roots, followed by BR 007 B and CMSXS 206 B. In general, the three extracts reduced the germination percentage and the GSI for the three receptor species. The BR 007 B extract was the one that reduced germination and GSI of soybean and hairy beggarticks, followed by BRS 716 and CMSXS 206 B. For the *B. decumbens* species, CMSXS 206 B was the extract that reduced the percentage of germination and GSI of this species. Low doses of sorgoleone are required to cause a phytotoxic effect in soybean seeds, *B. decumbens*, hairy beggarticks, and further studies are necessary to understand if there is any relation to the chemical composition of sorghum genotypes and the botanical characteristics of the recipient species.

Key words: sorgoleone, allelopathy, germination reduction

INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] vem se destacando nos sistemas agrícolas brasileiros sobretudo no uso em períodos de segunda safra, como cultura de sucessão, especialmente em ocorrência de períodos de veranico e em sistemas de plantio direto por deixar grande quantidade de palhada no solo (ELIAS et al., 2016; GARCIA & SUTIER, 2016). Essa utilização se deve às características da espécie, como possuir maiores taxas fotossintéticas e balanço de biomassa favorável com melhor performance ecofisiológica sob estresse hídrico (TABOSA et al., 2007; SANI et al., 2011; SANTOS et al., 2014; TOLK et al., 2013; SILVA et al., 2015). O sorgo é também é uma alternativa no uso de plantio direto por proporcionar condições favoráveis de umidade no solo, e produzindo grande quantidade de matéria seca com relação C/N relativamente alta (DAN et al., 2010; MAGALHÃES et al., 2014).

O sorgo é o quinto cereal mais cultivado no mundo, superado apenas por milho, trigo, arroz e cevada (FAOSTAT, 2017). A área de produção brasileira de sorgo alcança 612 mil hectares e possui produtividade média de 2.778 kg ha⁻¹ com um total de 1,7 milhão de toneladas anuais (CONAB, 2017). É uma importante alternativa no uso de palhada em sistema de plantio direto, além de ser matéria-prima para a produção de álcool e na utilização como suprimento de alimentação humana e principalmente animal. Possui uma enorme capacidade de rebrota e adaptabilidade às regiões áridas, com elevada produtividade de grãos e forragem de alta qualidade nutritiva e de energia para pastejo, exigindo menores custos de produção em relação a outras culturas normalmente usadas para estes fins (RODRIGUES, 2000; TABOSA et al., 2007; ELIAS, et al., 2016).

Sabe-se que plantas de sorgo possuem a capacidade de exsudar compostos químicos de caráter alelopáticos, que podem prejudicar ou estimular as espécies próximas e aquelas que vierem a ser cultivadas na mesma área em sucessão (NETZLY & BUTLER, 1986; PANASIUK et al., 1986; SANTOS et al., 2012; ALSAAADAWI et al., 2015; RAB et al., 2016).

Alelopatia é a liberação de substâncias químicas no ambiente por um organismo vivo, que são capazes de interagir com outros organismos no mesmo ambiente, inibindo ou estimulando o seu crescimento e desenvolvimento (RICE, 1984). A capacidade alelopática das espécies do gênero *Sorghum* se dá principalmente às substâncias

exsudadas por suas raízes, de caráter hidrofílicos (GUENZI et al., 1967; ALSAADAWI et al., 1986; PANASIUK et al., 1986) e hidrofóbicos sendo gotículas de coloração douradas localizadas próximas ao ápice dos pelos radiculares que podem ser extraídas com clorofórmio (NETZLY & BUTLER, 1986; CZARNOTA et al., 2003). Este exsudato dourado foi caracterizado quimicamente por Ressonância Magnética Nuclear (RMN) por Chang et al. (1986) e foi identificado como 2 – hidroxi – 5 – metoxi – 3 – [(8'z, 11'z) – 8', 11', 14' – pentadecatrieno] – p-benzoquinona, e Netzly et al. (1988) o nomearam de sorgoleone (Figura 1).

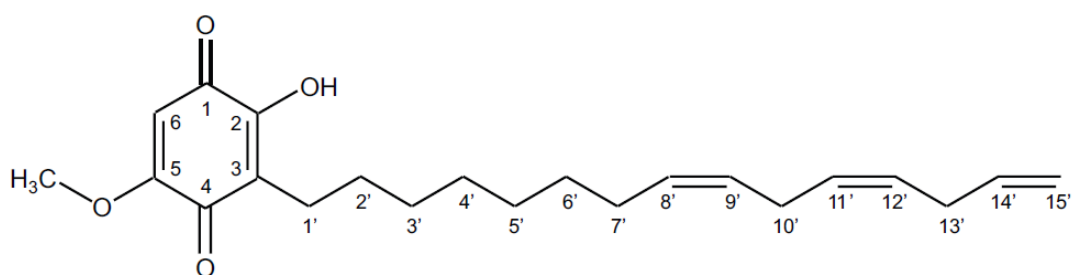


Figura 1. Estrutura sorgoleone Fonte: FRANCO et al. (2011).

O extrato de raízes de sorgo contendo sorgoleone mostrou-se um potente inibidor do desenvolvimento de outras plantas, tanto espécies daninhas quanto de culturas (NETZLY & BUTLER, 1986; SOUZA et al., 1999; TREZZI et al., 2005; MOKHTARI, 2015; RAB et al., 2016). Quantificações e fracionamentos dos extratos de raízes de sorgo concluíram que cerca de 90% da composição destes extratos é representado pelo sorgoleone (TREZZI et al., 2005; SANTOS et al., 2012; ALSAADAW et al., 2015; MAY et al., 2016).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo quantificar a substância sorgoleone em exsudatos radiculares de três genótipos de sorgo, obter o perfil cromatográfico de cada exsudato e avaliar seu potencial supressor sobre sementes de soja, braquiária (*Brachiara decumbens*) e picão-preto (*Bidens subalternans*). As hipóteses testadas foram: 1) diferentes genótipos de sorgo produzem diferentes quantidades de sorgoleone, e 2) existe uma concentração (dose) de sorgoleone, a qual é fitotóxica a outras espécies de plantas.

REFERÊNCIAS

ALSAADAWI, I. S.; AL-UQAILI, J. K.; ALRUBEAA, A. J.; AL-HADITHY, S. M. Allelopathic suppression of weed and nitrification by selected cultivars of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Journal of Chemistry Ecology**, n.12, p. 209– 219, 1986.

ALSAADAWI, I. S.; AL-KHATEEB, T. A.; HADWAN, H. A.; LAHMOOD, N. R. A chemical basis for differential allelopathic potential of root exudates of *Sorghum bicolor* L.(Moench) cultivars on companion weeds. **Journal Allelopathy Interactions**, v. 1, n.1, p.49-55, 2015.

CHANG, M.; NETZLY, D. H.; BUTLHER, L. G.; LYNN, D. G. Chemical regulation of distance: Characterization of the natural host germination stimulant for *Striga asiatica* Journal of the American Chemical Society, Easton, v. 108, n. 24, p. 7858-7860, 1986.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Quinto levantamento (Safra 2016/2017)**. Brasília: CONAB, v.4, n. 1, 176p., 2017.

CZARNOTA, M. A.; PAUL, R. N.; WESTON, L. A.; DUKE, S. Anatomy of sorgoleone-secreting root hairs of *Sorghum* species. **International Journal of Plants Science**, n. 164, v. 6, p. 861-866, 2003.

DAN, H. A.; CARRIJO, M. S.; CARNEIRO, D. F.; PINHO COSTA, K. A.; SILVA, A. G. Desempenho de plantas sorgo granífero sobre condições de sombreamento. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 675-679, 2010.

ELIAS, O. F. A. E.; LEITE, M. L. M. V.; AZEVEDO, J. M.; SILVA, J. P. S. S.; NASCIMENTO, G. F.; SIMLICIO, J. B. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de Pernambuco. **Revista Ciência Agrícola**, v. 14, n. 1, p. 26-36, 2016.

FAOSTAT. Food agriculture organization of the United Nations. Statistics Division, 2017.

FRANCO, F. H. S.; MACHADO, Y.; TAKAHASHI, J. A.; KARAM, D.; GARCIA, Q. S. Quantificação de sorgoleone em extratos e raízes de sorgo sob diferentes períodos de armazenamento. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 29, p. 953-962, 2011.

GARCIA, R. A.; SUTIER, G. A. S. Alelopatia de sorgo-sacarino na soja cultivada em sucessão. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2016, 28 p. (Embrapa Agropecuária Oeste -Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 74).

GUENZI, W. D.; MCCALLA, T. M.; NORDSTADT, F.A. Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat, oat, corn and sorghum residues. **Agronomy Journal**, n. 59, p. 163–165, 1967.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; MAY, A.; FILHO, O. F. L.; SANTOS, F. C.; MOREIRA, J. A. A.; LEITE, C. E. P.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FREITAS, R. S. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. In: Borém, A., Pimentel, L., Parrela, R. (eds.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 58- 88, 2014.

MAY, A.; CERDEIRA, A. L.; QUEIROZ, S. C. N.; SANTOS, M. S.; CORNIANI, N.; SILVA, E. H. F. M. Avaliação do teor de Sorgoleone presente em extratos de raízes de cultivares de sorgo por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Milho e Sorgo*, 21 p., 2016.

MOKHTARI KARCHEGANI, H.; HOSSEINI, C. C.; ZAHRA, S.; KAZEMEINI, S. A. The effects of nitrogen and water stress on allelopathic potential of sorghum forage on seed germination characteristics and primary growth safflower. **Journal of Oil Plants Production**, v. 1, n. 2, p. 79-94, 2015.

NETZLY, D. H.; BUTLER, L. G. Roots of sorghum exude hydrophobic droplets containing biologically active components. **Crop Science**, v. 26, p. 775-778, 1986.

NETZLY, D. H.; RIOPEL, J. L.; EJETA, G.; BUTLER, L. G. Germination stimulant of witchweed (*Striga asiatica*) from hydrophobic root exudate of sorghum (*Sorghum bicolor*). **Weed Science**, Champaign, v. 36, n. 4, p. 441-446, 1988.

PANASIUK, O.; BILLS, D. D.; LEATHER, G. R. Allelopathic influence of *Sorghum bicolor* on weeds during germination and early development of seedling. **Journal Chemical Ecology**, v. 12, n. 6, p. 1533-1543, 1986.

RAB, A.; KHALIL, S. K.; ASIM, M.; MEHMOOD, N.; FAYYAZ, H.; KHAN, I.; NAWAZ, H. Response of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) extract type, concentration and application time to weeds weight, grain and biomass yield of wheat. **Pure and Applied Biology**, v. 5, n. 4, p. 847-855, 2016.

RICE, E.L. **Allelopathy**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1984.

RODRIGUES, J. A. S. **Híbridos de sorgo sudão e sorgo bicolor: alternativa de forrageia para corte e pastejo**, Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 22 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 4).

SANI, B. M.; DANMOWA, N. M.; SANI, Y. A.; JALIYA, M. M. Growth, yield and water use efficiency of maize-sorghum intercrop at Samaru, Northern Guinea Savannah, Nigeria Niger. **Journal of Basic and Applied Science**, v. 19, n. 2, p. 253-259, 2011.

SANTOS, I. L. V. L.; DA SILVA, C. R. C.; DOS SANTOS, S. L.; MAIA, M. M. D. Sorgoleone: benzoquinona lipídica de sorgo com Efeitos alelopáticos na agricultura como herbicida. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 1, p. 135-144, 2012.

SANTOS, O. O.; FALCÃO, H.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; LUSTOSA, B. M.; SANTOS, M. G. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 203-212, 2014.

SILVA, A. G.; NETO, A. H.; TEIXEIRA, I. R.; DA COSTA, K. A. P.; BRACCINI, A. L. Selection of sorghum and brachiaria cultivars in intercropping for straw and grains production. **Revista Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 2951-2964, 2015.

SOUZA, C. N.; SOUZA, I. F.; PASQUIAL, M. Extração e ação de sorgoleone sobre o crescimento de plantas. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 331-338, 1999.

TABOSA, J. N.; COLAÇO, W.; REIS, O. V.; SIMPLÍCIO, J.B.; CARVALHO, H. W. L.; DIAS, F. M. Sorghum genotypes evaluation under salinity levels and gamma ray. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n.3, p. 339-350, 2007.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; PERALBA, M. C. R.; DICK, D. P. & KRUSE, N. D. Purificação e identificação de sorgoleone e sua quantificação em genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 15, p. 106-112, 2005.

TOLK, J.A.; HOWELL, T.A.; MILLER, F.R. Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress. **Field Crops Research**, v. 145, n. 1, p. 44-51, 2013.

CAPÍTULO 1- QUANTIFICAÇÃO E PERFIL DE EXTRATOS DE RAÍZES DE DIFERENTES GENÓTIPOS DE SORGO

Resumo: O sorgo (*Sorghum sp.*) é umas das espécies mais estudadas por causa de seus efeitos alelopáticos, causados pelos compostos em sua constituição, sendo sorgoleone o mais conhecido e estudado. O objetivo deste trabalho foi extrair e quantificar o exsudato de raízes de sorgo de 3 genótipos (BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B) com aptidões distintas e ainda determinar o teor de sorgoleone e o perfil cromatográfico de cada genótipo de sorgo. A quantificação e o perfil de cada extrato foram realizados por cromatografia líquida de alta eficiência em triplicata. As frações encontradas em cada perfil de cada extrato foram comparadas a partir do tempo de retenção de cada pico cromatográfico. Por meio de fotografia, foram comparados o comprimento médio e a densidade média dos pelos radiculares entre os três genótipos de sorgo pelo software livre IMAGEJ (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>). O comprimento dos pelos foi estimado pela média de dez pelos de cada uma das dez raízes de cada genótipo de sorgo. A densidade foi determinada pela contagem do número de pelos existentes por mm² do segmento visualizado. O comprimento médio dos pelos radiculares do BRS 716 foi significativamente 30% (2,1mm) maior do que o do BR 007 B e 40% (2,3 mm) maior do que o do CMSXS 206. Considerando a densidade média dos pelos radiculares, o BRS 716 apresentou 50% a mais de números de pelos por mm² do que os outros dois genótipos de sorgo (BR 007 B e CMSXS 206 B), que apresentaram valores estatisticamente semelhantes. Sorgoleone foi composto encontrado em predominância (cerca de 79%) nos três extratos de sorgo avaliados, e o perfil cromatográfico detectou mais 5 outros compostos para os genótipos BR 007 e CMSXS 206 B e 6 compostos para BRS 716. Houve diferença entre a produção de massa seca de raízes, massa seca de extrato e teor de sorgoleone entre os três genótipos, com BRS 716 tendo a maior relação de sorgoleone por massa seca de raízes, seguido por BR 007 B e CMSXS 206 B.

Palavras-chave: sorgoleone, efeito alelopático, pelos radiculares

CHAPTER 1 – QUANTIFICATION AND PROFILE OF ROOT EXTRACTS OF DIFFERENT SORGHUM GENOTYPES

Abstract: Sorghum (*Sorghum* sp.) is of the one most studied species due to its allelopathic effects, caused by the compounds in its constitution, being sorgoleone the best known and studied. The objective of this work was to extract and quantify the sorghum root exudate of 3 genotypes (BR 007 B, BRS 716 and CMSXS 206 B) with different aptitudes and to determine the sorgoleone content and the chromatographic profile of each sorghum genotype. Quantification and profile of each extract were performed by high performance liquid chromatography in triplicate. The fractions found in each profile of each extract were compared from the retention time of each chromatographic peak. The average length and mean root density of the three sorghum genotypes were compared by IMAGEJ free software (<http://rsweb.nih.gov/ij/>). The length of the hairs was estimated by the average of ten hairs from each of the ten roots of each sorghum genotype. The density was determined by counting the number of hairs per mm² of he displayed segment. The mean root length of BRS 716 was significantly higher than that of BR 007 B and 40% (2,3 mm) higher than that of CMSXS 206 B. The average root density, BRS 716 presented 50% more numbers of hairs per mm² than the other sorghum genotypes (BR 007 B and CMSXS 206 B), which presented statistically similar values. Sorgoleone was found predominantly (about 79%) in the three evaluated sorghum extracts, and the chromatographic profile detect another 5 other compounds for the BR 007 B and CMSXS 206 B genotypes and 6 BRS 716 compounds. There was a difference between the production of root dry mass, dry mass of extract and sorgoleone content among the three genotypes, with BRS 716 having the highest ratio of sorgoleone per dry mass of roots, followed by BR 007 B and CMSXS 206 B.

Key words: sorgoleone, allelopathic effect, root hair

1.1 Introdução

O efeito das espécies vegetais sobre outras espécies e sobre o meio onde estão inseridas é chamado de interferência, que pode ser por competição ou alelopatia, e pode afetar o desenvolvimento de forma positiva ou negativa (RADOSEVICH et al., 1997). O efeito alelopático é causado por meio da produção de metabólitos secundários, os chamados aleloquímicos (TAIZ & ZEIGER, 2009; DEWICK, 2009; SIMÕES et al., 2010; WATSON, 2014; REZENDE et al., 2016). O conhecimento destas substâncias, e a determinação do seu potencial alelopático, é necessário para se conhecer e avaliar o mecanismo de ação na biologia das espécies afetadas, entendendo ainda se a ação alelopática é um resultado da ação sinérgica ou antagônica de um grupo de aleloquímicos ou se de um apenas.

Estes compostos interferem em processos fisiológicos, como exemplo, na falta de vigor vegetativo ou morte de plântulas, amarelecimento ou clorose das folhas, redução do perfilhamento e atrofiamento ou deformação das raízes (UDDIN et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

O sorgo (*Sorghum sp.*) é umas das espécies mais estudadas em razão de seus efeitos alelopáticos (FRANCO et al., 2011; UDDIN et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015; DENADAI et al., 2016). O sorgo é uma espécie cultivada como cobertura do solo, verde ou morta, sendo uma alternativa de cultura de sucessão em safras principais como a soja, podendo ser usado na alimentação animal na forma de silagem ou *in natura* (RODRIGUES, 2000; BORGES et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015). Netzly e Butler (1986), identificaram o composto sorgoleone como o principal componente de extrato de raízes de sorgo com ação alelopática. Desde então vários pesquisadores vêm desenvolvendo métodos de extração, identificação e bioensaios para avaliar a ação alelopática dos extratos de raízes de sorgo sobre outras espécies, tanto daninhas quanto culturas (NETZLY e BUTLER, 1986; EINHELLIG e SOUZA, 1992; SOUZA et al., 1999; TREZZI et al., 2005; UDDIN et al., 2014; GONÇALVES et al., 2015; MAY et al., 2016; BIESDORF, 2017). Assim, sorgoleone tem sido estudado como modelo para o desenvolvimento de bio-herbicidas (BARBOSA et al., 2001; DAYAN et al., 2003; YANG et al., 2004)

Metodologias têm sido desenvolvidas com o intuito de extrair, quantificar e avaliar a produção de extrato com sorgoleone entre genótipos de sorgo e a variabilidade de compostos presentes nestes extratos (NIMBAL et al., 1996; CZARNOTA et al.,

2001; TREZZI et al., 2005; FRANCO et al., 2011; ALSAADAWI et al., 2015; MAY et al., 2016) com a finalidade de se conhecer os mecanismos que envolvem a produção e exsudação de extrato de cada cultivar de sorgo. O objetivo deste trabalho foi extrair e obter perfil cromatográfico de exsudatos de raízes de 3 genótipos de sorgo, com aptidões distintas e ainda determinar o teor de sorgoleone.

1.2. Materiais e métodos

O experimento foi realizado na Unidade da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG, nos laboratórios de Agroquímica e de Manejo de Plantas Daninhas e Dinâmica de Herbicidas da Embrapa Milho e Sorgo. Os genótipos de sorgo utilizados, BRS 716 (híbrido, biomassa), BR 007 B (linhagem, sacarino) e CMSXS 206 B (linhagem, forrageiro), foram cedidos pelo banco de sementes da Embrapa.

1.2.1. Obtenção do exsudato radicular

Para a obtenção de extrato radicular dos 3 genótipos de sorgo (BRS 716, BR 007 B e CMSXS 206 B) foram separadas 200 sementes de cada genótipo em triplicata, totalizando 600 sementes/genótipo, que passaram por procedimento de desinfecção com solução de hipoclorito de sódio a 2,5 % durante 10 minutos e posteriormente lavadas três vezes com água destilada (FRANCO et al., 2011). As sementes foram colocadas em caixa gerbox 250 mL (11 x 11 x 3,5 cm) de acrílico, forradas e cobertas com papel-filtro umedecido com 3 mL de água destilada e 3mL de solução de nistatina a 1%. Estas sementes foram cobertas com papel de filtro para manter a umidade e colocadas em câmara de germinação durante 7 (sete) dias no escuro (FRANCO et al., 2011) com temperatura média de 27 °C. Após os sete dias, as raízes foram destacadas e obtido seu peso fresco.

Cada grupo de 200 raízes foi mergulhado por 5 min em solução extratora de diclorometano e ácido acético glacial 0,0025 % v/v, com posterior filtração em algodão e o solvente concentrado em evaporador rotatório a 30 °C (FRANCO et al., 2011). Posteriormente a massa seca das raízes foi obtida após a secagem em estufa a 65 °C por 72 horas.

1.2.2. Quantificação e perfil dos extratos por HPLC

A quantificação de sorgoleone foi realizada por análise de CLAE (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência), aparelho da marca Waters modelo Alliance, sob as seguintes configurações: detector UV/Vis a 280 nm, coluna Waters XBridge C18 (4,6 x 150 mm 3,5 μ m), volume de injeção de 20 μ L, temperatura de coluna 30 °C, fase móvel acetonitrila : água e ácido acético (2,5%) 75:25 em fluxo 1,0 mL min⁻¹ (isocrático) com tempo de corrida de 25 min, obtendo-se o perfil cromatográfico de cada extrato. Estas análises foram realizadas em triplicata.

As frações encontradas em cada perfil de extrato foram comparadas a partir do tempo de retenção de cada pico cromatográfico. A análise de variância foi realizada pelo teste F, e quando significativa as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade pelo programa SYSTAT 2013.

1.2.3. Quantificação dos pelos radiculares

Dez sementes de cada genótipo de sorgo (BRS 716, BR 007 B, CMSXS 206 B) foram germinadas seguindo a metodologia da etapa de extração. Sete dias após a germinação, as raízes foram separadas da parte aérea e colocadas em solução 0,05 % de azul de tripano w/v em lactoglicerol (1:1:1 ácido láctico, glicerol e água) por 24 horas e posteriormente lavadas em etanol 70%.

Os pelos radiculares foram fotografados, cerca de um centímetro abaixo do início da raiz, com o estereoscópio Axio Zoom V16 (Zeiss). O comprimento e a densidade foram mensurados com o auxílio do software livre IMAGEJ (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>). O comprimento dos pelos foi estimado pela média de dez pelos de cada uma das dez raízes de cada genótipo de sorgo. A densidade foi determinada pela contagem do número de pelos existentes por mm² do segmento visualizado. Também foram realizadas fotografias dos pelos radiculares dos três genótipos de sorgo para comprovação visual da presença de sorgoleone.

A análise de variância foi realizada pelo teste F, e quando significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade pelo programa SYSTAT 2013.

1.2.4. Análise estatística

As variáveis avaliadas foram a produção total de extrato formado pelas 200 radículas dos três genótipos de sorgo, e sua relação com a massa seca de raízes, a produção total de sorgoleone. As variáveis foram submetidas à análise de variância pelo teste F e quando significativas foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância pelo programa SYSTAT 2013.

1.3. Resultados e discussão

1.3.1. Quantificação dos pelos radiculares

As imagens obtidas pelo microscópio eletrônico Carl Zeiss (Figuras 2, 3 e 4) capturaram as gotículas exsudando sorgoleone. Nota-se a coloração amarelo dourada descrita por Netzly & Butler (1986), que afirmaram em seu trabalho ser essa a característica da presença de sorgoleone.

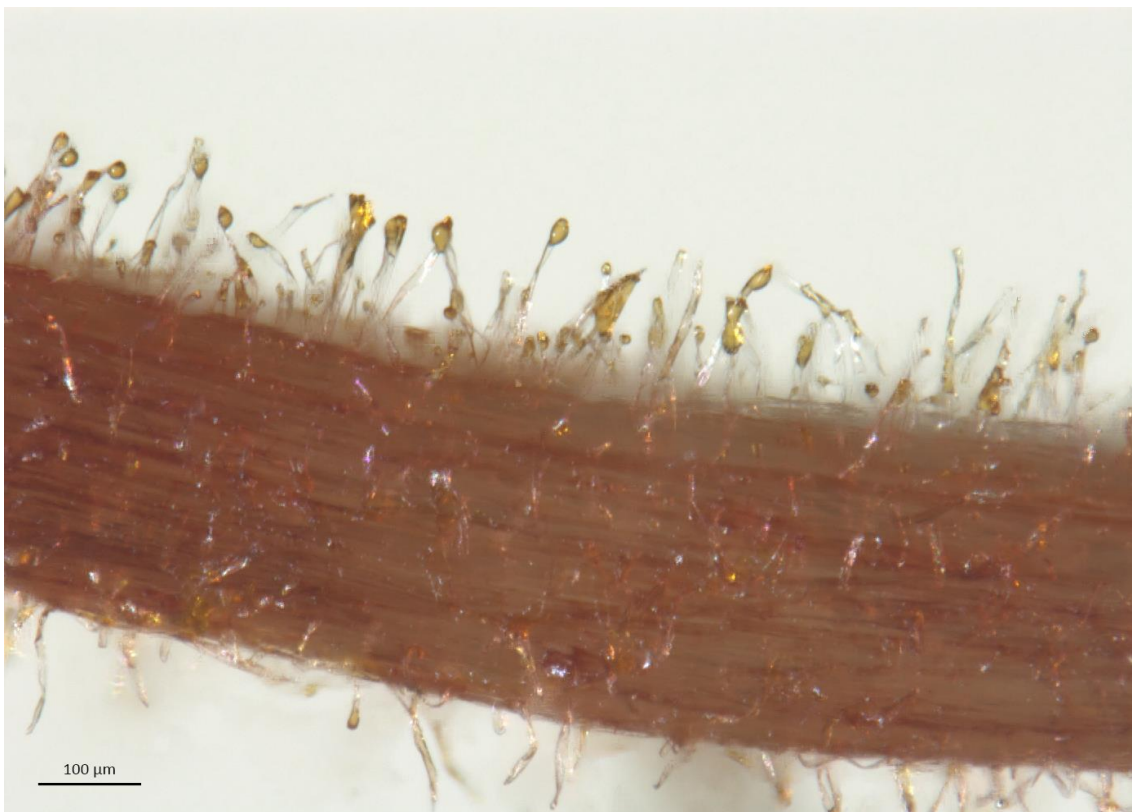


Figura 2. Exsudação de sorgoleone nos pelos radiculares do genótipo BRS 716. Foto ampliada 80x em equipamento Carl Zeiss.

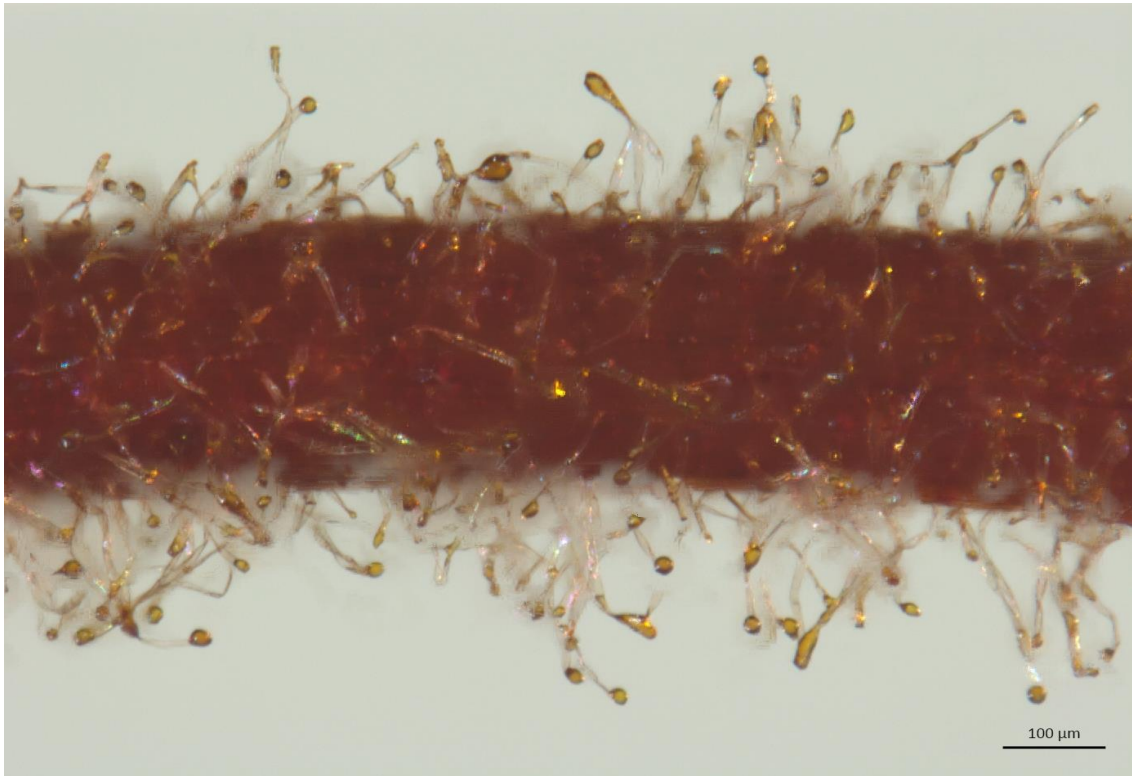


Figura 3. Exsudação de sorgoleone nos pelos radiculares do genótipo BR 007 B. Foto ampliada 80x em equipamento Carl Zeiss.

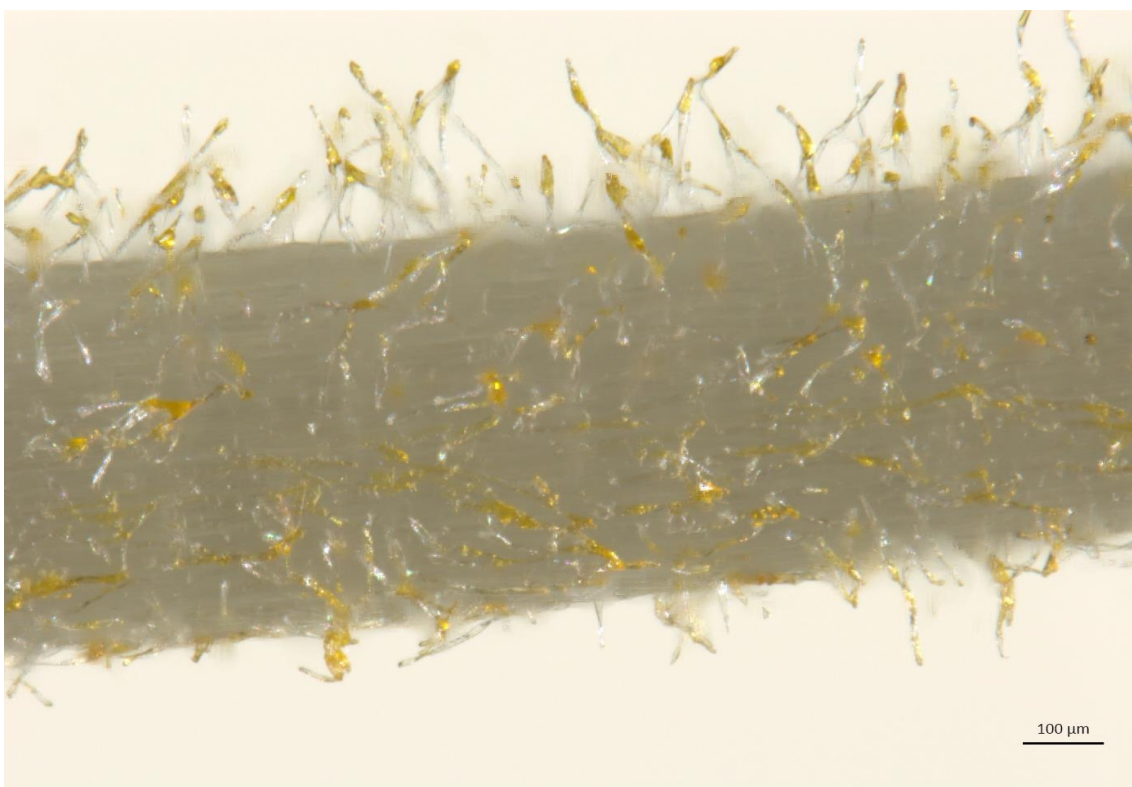


Figura 4. Exsudação de sorgoleone nos pelos radiculares do genótipo CMSXS 206 B. Foto ampliada 80x em equipamento Carl Zeiss.

Outros trabalhos, como o de Czarnota et al. (2003), através de estudos de microscopia eletrônica de transmissão, e Dayan et al. (2003), por análise de espectroscopia de ressonância magnética nuclear, comprovaram que os pelos radiculares de raízes de sorgo são a área de secreção de exsudato, e este é depositado entre a parede celular e a membrana plasmática, onde se juntam em maiores glóbulos passando pela parede celular e, assim, formando gotículas perto da ponta dos pelos radiculares.

O comprimento médio dos pelos radiculares do BRS 716 foi significativamente 30% (2,1 mm) maior do que o do BR 007 B e 40% (2,3 mm) maior do que o do CMSXS 206 B (Figura 5 A). Considerando a densidade média dos pelos radiculares, o BRS 716 apresentou 50% a mais de números de pelos por mm² do que os outros dois genótipos de sorgo (BR 007 B e CMSXS 206 B), que apresentaram valores estatisticamente semelhantes (Figura 5 B).

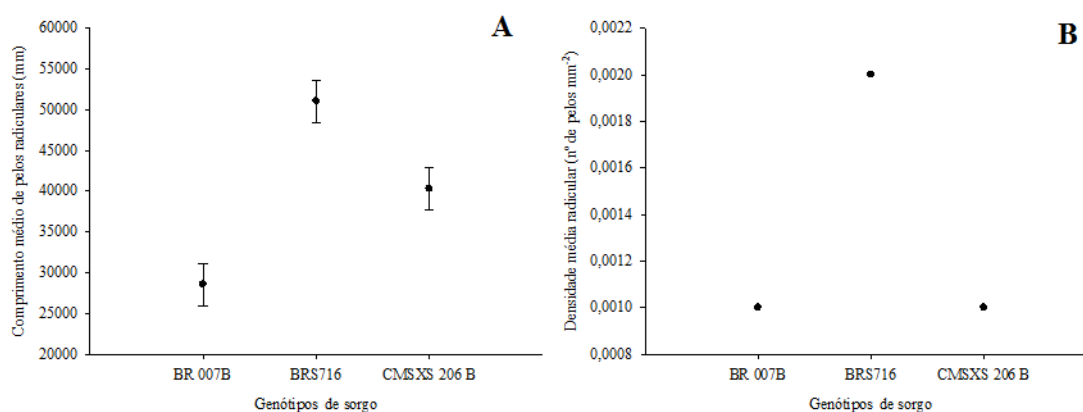


Figura 5. Comprimento médio de pelos radiculares (A) e densidade média de pelos radiculares por mm² (B), das raízes dos genótipos de sorgo BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B.

Os pelos radiculares são células únicas que parecem agir isoladamente e com ação rápida na produção de exsudatos radiculares bioativos (Duckett et al., 1994). Entretanto, o papel dos exsudatos de raízes de plantas de sorgo ainda não é claro. Possibilidades foram levantadas por Czarnota et al. (2001), em que a exsudação das raízes tem o propósito de absorver nutrientes, como agentes quelantes, e que este exsudato tem papel de defesa contra micróbios patogênicos do solo e microfauna e outras sementes. Estes autores concluíram ainda que plântulas de sorgo produzem exsudato pouco depois do surgimento da radícula e que esse exsudato serviu de inibidor de crescimento de outras plantas, fazendo que as plantas de sorgo tenham uma vantagem competitiva sobre as espécies adjacentes.

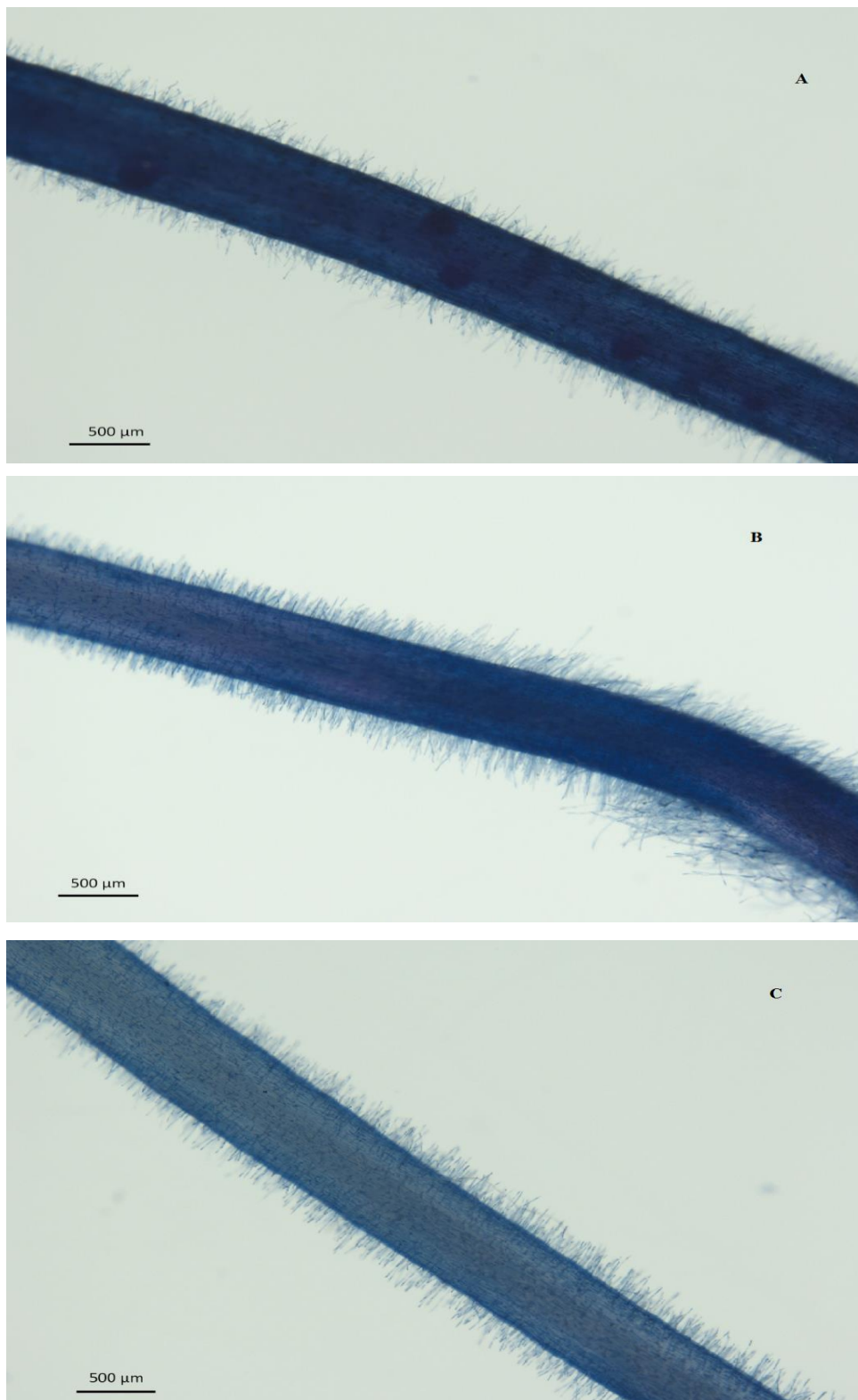


Figura 6. Pelos radiculares dos genótipos BR 007 B (A), BRS 716 (B) e CMSXS 206 B (C). Foto ampliada 16X em equipamento estereoscópio Axio Zoom V16 (Zeiss).

1.3.2. Quantificação e perfil e extratos por HPLC

O teor de sorgoleone de cada extrato foi determinado com base em uma curva de calibração (Figura 7) obtida através de padrão.

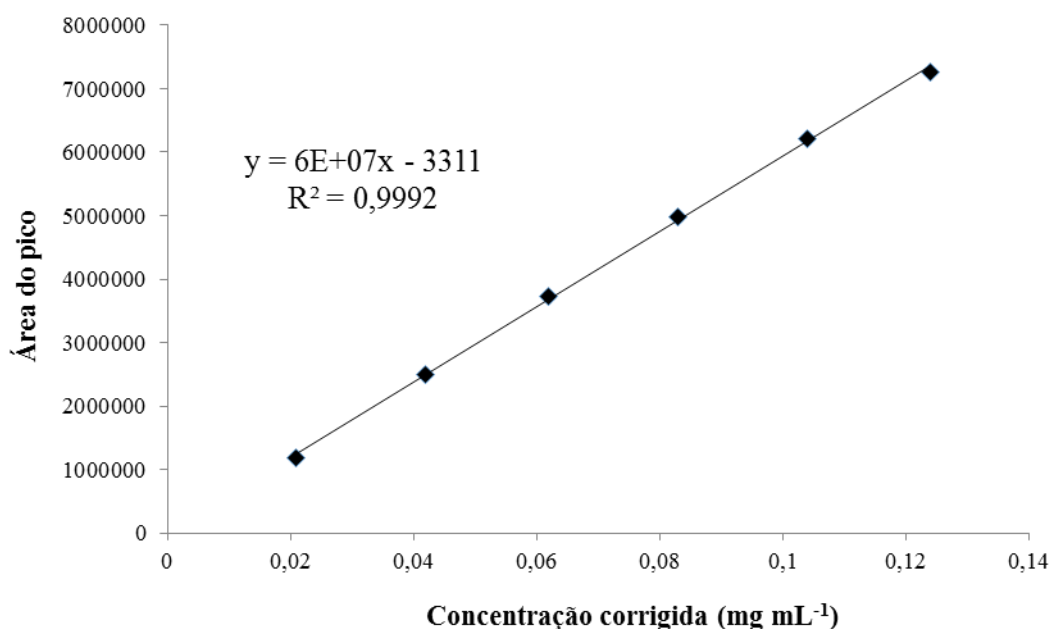


Figura 7. Curva de calibração para o composto sorgoleone.

As análises por cromatografia dos extratos brutos obtidos dos três genótipos avaliados detectaram seis compostos para os genótipos CMSXS 206 B e BR 007 B, e sete compostos para o genótipo BRS 716 (Figura 8). Trabalhos como os de Netzly et al. (1986), Nimbal et al. (1996), Czarnota et al. (2001), Trezzi et al. (2005), Franco et al. (2011), Alsaadawi et al. (2015), May et al. (2016), também realizaram análises por cromatografia em vários genótipos de sorgo, e constataram que, na composição dos extratos brutos a partir das raízes, existem de três a dez substâncias.

Sorgoleone é o composto predominante na composição dos extratos a partir de raízes das espécies de sorgo (NIMBAL et al., 1996; ALSAADAWI et al., 2015; MAY et al., 2016). Neste trabalho, sorgoleone foi a substância com maior área relativa nos três extratos com tempo de retenção médio de 8,9 minutos, representando em média 80% da composição dos extratos brutos avaliados (Figura 7). Estes valores estão de acordo com Czarnota et al. (2001), que concluíram que sorgoleone representa até 90% da composição dos extratos brutos de raízes de sorgo. Nos extratos dos genótipos CMSXS 206 B e BR 007 B foram observados outros 5 compostos com tempos médio de retenção de 9,3; 12,9; 15,2; 16,3; 21,1 minutos, e no genótipo BRS 716 além desses 5

compostos também foi observado o composto com tempo de retenção de 14,0 minutos (Figura 8).

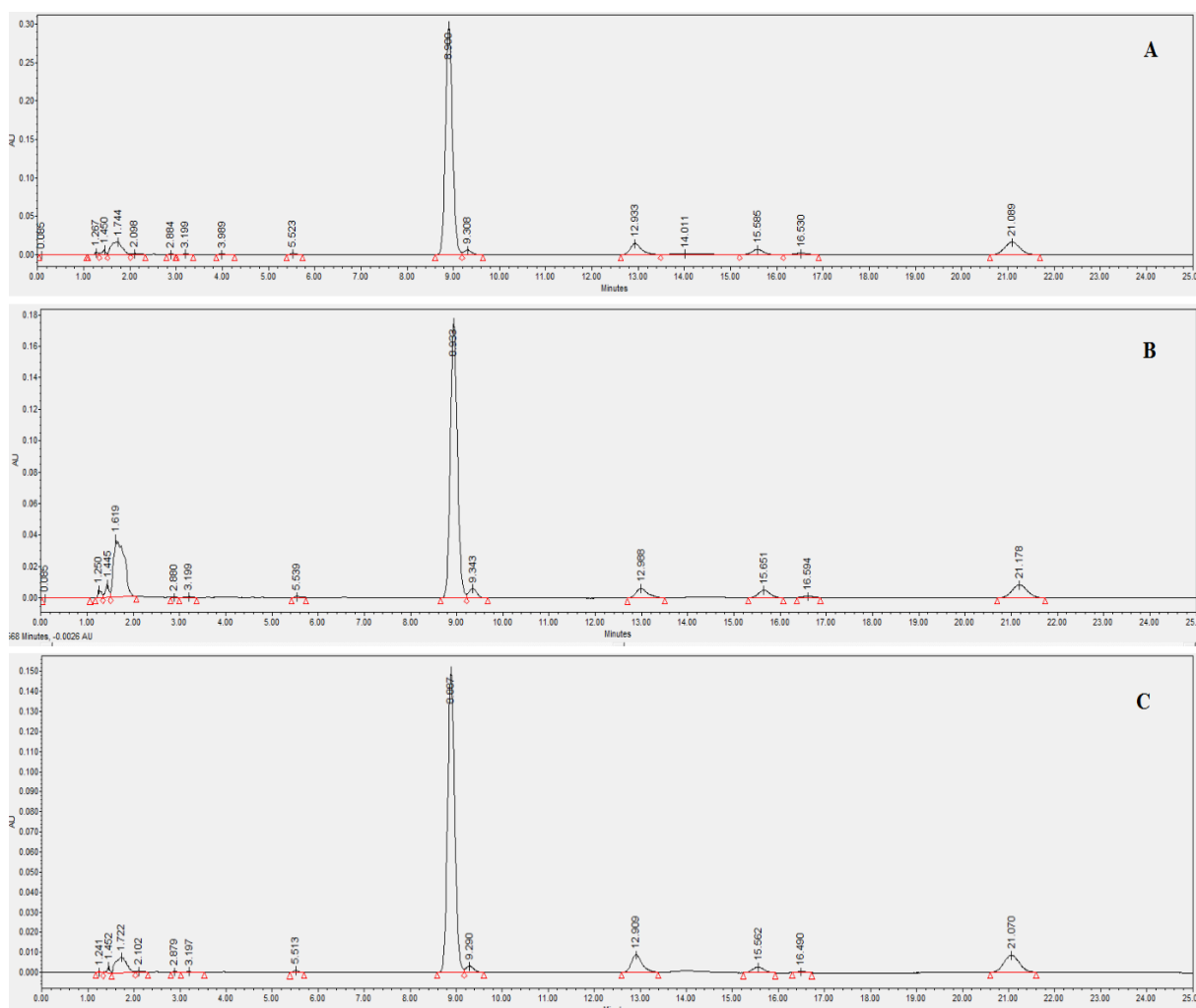


Figura 8. Cromatograma típico de extrato de raízes de sorgo purificado por cromatografia. A- Genótipo BRS 716; B – Genótipo BR 007 B; C- Genótipo CMSXS 206 B.

Análise da variação foi realizada entre as áreas dos picos detectados por cromatografia entre os três genótipos de sorgo. O perfil cromatográfico para o extrato do genótipo BRS 716 revelou que uma substância a mais que os outros dois genótipos, no tempo de retenção 14,0 minutos. Também foram encontradas diferença significativas entre a quantidade dos compostos presentes em cada extrato avaliado (Tabela 1). Alsaadawi et al. (2015) realizaram análise química de diferentes espécies de sorgo e obtiveram exsudatos radiculares com diferentes concentrações de sorgoleone, compostos fenólicos e ácidos entre as espécies avaliadas.

Tabela 1. Percentual médio da área dos picos cromatográficos relativas ao somatório total dos compostos presentes nos exsudatos de raízes de sorgo.

Genótipos	Área relativa à área total (%)							Total
	Compostos							
	SGL	2	3	4	5	6	7	
BR 007 B	79,84 a	2,67 a	4,88 b	3,44 a	0,58 b		8,59 a	100
BRS 716	77,51 b	1,79 b	6,26 a	0,83 c	3,05 a	0,95	9,61 a	100
CMSXS 206 B	79,50 a	2,36 a	6,24 a	2,44 b	0,45 c		9,00 a	100

Letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A produção de massa seca das raízes (MSR) dos genótipos BRS 716 e BR 007 B foram estatisticamente semelhantes, diferindo de CMSXS 206 B em cerca de 20% a mais (Tabela 2). Não houve diferença entre a produção de massa de extrato (ME) dos genótipos BRS 716 e CMSXS 206 B, apenas foi significativa a diferente entre eles e BR 007 B em cerca de 29%. Já CMSXS 206 B obteve 23,4% de massa de extrato a mais que BR 007 B. A produção de extrato por MSR foi igual entre os genótipos BRS 716 e CMSXS 206 B e ambas diferentes entre o genótipo BR 007 B em 37% a mais (Tabela 2).

Tabela 2. Genótipos de sorgo utilizados, características agronômicas, massa seca em gramas de raízes (MSR), massa de extrato (ME), mg de extrato por grama de MSR.

Genótipo	Aptidão	MSR (g)	ME (mg)	mg extrato g MSR ⁻¹
BR 007 B	Sacarino	0,152 ± 0,01 a	6,75 b	43,36 b
BRS 716	Biomassa	0,154 ± 0,01 a	10,05 a	69,46 a
CMSXS 206 B	Forageiro	0,122 ± 0,01 b	8,9 a	67,8 a

Letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Não houve diferença significativa entre a quantidade de sorgoleone (mg) encontrada entre os genótipos BR 007 B e CMSXS 206 B, contudo, ambos diferiram de BRS 716 em cerca de 30% a menos (Tabela 3). O mesmo ocorreu com a quantidade de sorgoleone (mg) por massa seca de raiz (g), sendo BRS 716 cerca de 22% maior que os outros dois genótipos.

Outros trabalhos também quantificaram teores diferentes de sorgoleone em diferentes genótipos de sorgo. Alsaadawi et al. (2015) avaliaram duas espécies de sorgo e detectaram uma diferença em torno de 15% no teor de sorgoleone por massa seca de raízes.

Tabela 3. Genótipos de sorgo utilizados, quantidade de sorgoleone (SGL) encontrada no extrato produzido pelas raízes de cada genótipo, e quantidade de sorgoleone encontrada por grama de massa seca de raiz.

Genótipo	Sorgoleone (mg)	mg g⁻¹ (SGL MSR⁻¹)
BR 007 B	3,29 b	20,56 b
BRS 716	4,55 a	28,67 a
CMSXS 206 B	3,17 b	23,97 b

Letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

May et al. (2016) encontraram uma diferença máxima de 94% do teor de sorgoleone por massa seca de raízes entre nove genótipos de sorgo de aptidões diferentes, e não encontraram relação direta entre o teor de sorgoleone e a massa seca de raízes e a aptidão de cada genótipo. Nimal et al. (1996) encontraram diferenças de 96% entre o maior e menor teor de sorgoleone por massa seca de raízes, entre os 25 genótipos de sorgo de aptidões diferentes avaliados.

A diferença no teor de cada substância encontrada nos extratos dos genótipos de sorgo indica uma variação química no conteúdo de exsudato de raiz que provavelmente tem base genética (CZARNOTA et al., 2003), uma vez que as condições de temperatura, água e umidade foram as mesmas para os três genótipos avaliados.

1.4. Conclusões

Sorgoleone é o composto predominante (79,84; 77,51 e 79,5%) em extratos de raízes dos genótipos de sorgo BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B respectivamente, nas condições deste trabalho.

O comprimento e a densidade dos pelos radiculares são variáveis entre os genótipos de sorgo.

A produção total de sorgoleone e a massa seca de raízes são variáveis entre genótipos de sorgo e aparentemente não dependem da aptidão da espécie.

Existe diferença quantitativa e qualitativa entre os compostos secundários presentes entre genótipos de sorgo, sendo necessário a caracterização destes compostos para melhores avaliações.

1.5. Referências

- ALSAADAWI, I. S.; AL-KHATEEB, T. A.; HADWAN, H. A.; LAHMOOD, N. R. A chemical basis for differential allelopathic potential of root exudates of *Sorghum bicolor* L.(Moench) cultivars on companion weeds. **Journal Allelopathy Interactions**, v. 1, n.1, p.49-55, 2015.
- BARBOSA, L. C. A.; FERREIRA, M. L.; DEMUNER, A. J. Preparation and phytotoxicity of sorgoleone analogues. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 751-755, 2001.
- BIESDORF, E. M.; **Alelopatia do sorgo granífero sobre a soja e as plantas daninhas**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, 17 de julho de 2017.
- BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S. D.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E. D.; ALVES, M. C. Absorção de nutrientes e alterações químicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 252-261, 2014.
- CZARNOTA, M. A.; PAUL, R. N.; DAYAN, F. E.; NIMBAL, C. I.; WESTON, L. A. Mode of Action, Localization of Production, Chemical Nature, and Activity of Sorgoleone: A potent PSII Inhibitor in *Sorghum* spp. Root Exudates. **Weed Technology**, v. 15, n. 4, p. 813-825, 2001.
- CZARNOTA, M. A.; PAUL, R. N.; WESTON, L. A.; DUKE, S. O. Anatomy of sorgoleone-secreting root hairs of *Sorghum* species. **International Journal of Plant Sciences**, v. 164, n. 4, p. 861-866, 2003.
- DAYAN, F. E.; KAGAN, I. A.; RIMANDO, A. M. Elucidation of the biosynthetic pathway of the allelochemical sorgoleone using retrobiosynthetic NMR analysis. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 278, p. 28607-28611, 2003.
- DUCKETT, C. M. K. J.; OPARKA, D. A. M.; PRIOR, L.; DOLAN, K.R. Dye-coupling in the root epidermis of *Arabidopsis* is progressively reduced during development. **Development**, v. 120, p. 3247 – 3255, 1994.
- DENADAI, M. S.; DE MELLO, L. M.; CHIODEROLI, C. A.; GAZOLA, R. D. N. Desiccation time of the spring sorghum as a predecessor crop for summer soybean and autumn bean in a no-tillage system. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 2, p. 94-101, 2016.
- DEWICK, P. M. Medicinal natural products: a biosynthetic approach. 3 ed. Chichester: John Wiley & Sons, p. 539, 2009.
- EINHELLIG, F. A.; SOUZA, I. F. Phytotoxicity of sorgoleone found in grain sorghum root exudates. **Journal of Chemistry Ecology**, v. 18, n. 1, p. 1-11, 1992.

FRANCO, F. H. S.; MACHADO, Y.; TAKAHASHI, J. A.; KARAM, D.; GARCIA, Q. S. Quantificação de sorgoleone em extratos e raízes de sorgo sob diferentes períodos de armazenamento. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 29, p. 953-962, 2011.

GONÇALVES, A. L. Z.; TONET, A. P.; STOFELL, A. V. S. Potencial alelopático das plantas daninhas sobre o desenvolvimento de plântulas de soja (*Glycine max* L.). **Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra Produção/construção e Tecnologia**, v. 4, n. 7, 2015.

MAY, A.; CERDEIRA, A. L.; QUEIROZ, S. C. N.; SANTOS, M. S.; CORNIANI, N.; SILVA, E. H. F. M. Avaliação do teor de Sorgoleone presente em extratos de raízes de cultivares de sorgo por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Milho e Sorgo, 21 p., 2016.

NETZLY, D. H.; BUTLER, L. G. Roots of sorghum exude hydrophobic droplets containing biologically active components. **Crop Science**, v. 26, p. 775-778, 1986.

NIMBAL, C. I.; PEDERSON, J.; YERKES, C. N.; WESTON, L.; WELLER, S. C. Phytotoxicity and distribution of sorgoleone in grain sorghum germplasm. **Journal of Agricultural And Food Chemistry**, Easton, v. 44, n. 5, p. 1343-1347, 1996.

OLIVEIRA, J.; PEIXOTO, C.; POELKING, V.; ALMEIDA, A. Avaliação de extratos das espécies *Helianthus annuus*, *Brachiaria brizanthae*, *Sorghum bicolor* com potencial alelopático para uso como herbicida natural. **Revista Brasileira de plantas medicinais**, v. 17, n. 3, p. 379-389, 2015.

RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. Weed ecology: implications for management. 2 Ed. New York: Wiley, p. 163-214, 1997.

REZENDE, F. M.; ROSADO, D.; MOREIRA, F. A.; CARVALHO, W. R. S. Botânica no inverno 2017. In. Vias de síntese de metabólitos secundários em plantas. 2016.

RODRIGUES, J. A. S. **Híbridos de sorgo sudão e sorgo bicolor: alternativa de forrageia para corte e pastejo**, Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 22 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 4).

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. Farmacognosia: da planta ao medicamento, 6 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; Florianópolis: Editora da UFSC, 1104 p., 2010.

SOUZA, C. N.; SOUZA, I. F.; PASQUIAL, M. Extração e ação de sorgoleone sobre o crescimento de plantas. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 331-338, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 819 p., 2009.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; PERALBA, M. C. R.; DICK, D. P.; KRUSE, N.D. Purificação e identificação de sorgoleone e sua quantificação em genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, v. 15, p. 105-112, 2005.

UDDIN, M. R.; PARK, S. U.; DAYAN, F. E.; PYON, J. Y. Herbicidal activity of formulated sorgoleone, a natural product of sorghum root exudate. **Pest management Science**, v. 70, n. 2, p. 252-257, 2014.

WATSON, R. R. Polyphenols in plants: isolation, purification and extract preparation. London: Academic Press, 331 p., 2014.

YANG, X.; OWENS, T. G.; SCHEFFLER, B. E.; WESTON, L. A. Manipulation of root hair development and sorgoleone production in sorghum seedling. **Journal of Chemical Ecology**, v. 30, n.1 , p.199-213, 2004.

CAPÍTULO 2 - EFEITO DE EXTRATOS DE RAÍZES DE DIFERENTES GENÓTIPOS DE SORGO NA GERMINAÇÃO DE SOJA, *Brachiaria decumbens* e PICÃO-PRETO (*Bidens subalternans*)

Resumo: Sorgoleone é o principal composto presente em plantas de sorgo e que apresenta uma potente capacidade aleloquímica. Por causa da utilização do sorgo como alternativa de cobertura e manutenção do sistema de semeadura direta, esses efeitos alelopáticos têm gerado problemas no desenvolvimento da soja em sucessão na safra principal, mas também têm causado controle em espécies daninhas. O objetivo do trabalho foi determinar a toxicidade relativa de extratos de raízes de sorgo de diferentes genótipos (BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B), em sementes de soja, *Brachiaria decumbens* e picão-preto (*Bidens subalternans*) em condições de laboratório. Foram utilizadas soluções de extratos concentrados de raízes de sorgo em dois experimentos: no primeiro, as concentrações utilizadas foram de 418,44; 209,22; 104,61; 52,3 e 26,15 μM de extratos de raízes dos três genótipos de sorgo. O segundo testou concentrações padronizadas de 50, 25, 12,5, 6,25 e 3,125 μM de sorgoleone presente nos extratos dos três genótipos. 3 mL de solução de extrato de cada concentração foram pipetados em 20 sementes de cada espécie, colocadas em caixa gerbox, em triplicata e esta foi a parcela experimental. Os experimentos foram desenvolvidos em câmara de germinação, durante 7 dias no escuro e com temperatura média de 27 °C. As variáveis respostas avaliadas foram percentual de germinação (%G) e Índice de Velocidade de Germinação (IVG). Os dados de percentual de germinação e IVG foram submetidos à análise de variância, e as médias quando significativas foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Para verificar o efeito das doses de extratos de raízes de sorgo, realizou-se análise de regressão não linear pelo software Sigmaplot 2011. Em geral, os três extratos reduziram o percentual de germinação e do IVG para as três espécies receptoras. O extrato de BR 007 B foi o que mais causou efeitos inibitórios de germinação e IVG para soja e picão-preto, seguido por BRS 716 e CMSXS 206 B. Já para a espécie de *B. decumbens*, CMSXS 206 B foi o extrato que mais reduziu o percentual de germinação e IVG desta espécie. São necessárias baixas doses de sorgoleone para causar efeito fitotóxico em de sementes de soja, *B. decumbens*, picão-preto, sendo necessários mais estudos para se entender se há alguma relação entre a composição química dos genótipos de sorgo e as características botânicas das espécies receptoras.

Palavras-chave: sorgoleone, fitotoxicidade, efeito alelopático

CHAPTER 2 - EFFECT OF ROOT EXTRACTS OF DIFFERENT SORGHUM GENOTYPES ON GERMINATION OF SOYBEAN, *Brachiaria decumbens* AND HAIRY BEGGARTICKS (*Bidens subalternans*).

Abstract: Sorgoleone is the main compound present in sorghum plants and presents a powerful allelochemical capacity. Due to the use of sorghum as an alternative to cover and maintenance of the direct seeding system, these allelopathic effects have generated problems in soybean development in succession to the main crop, but also have caused weed control. The objective of this work was to determine the relative toxicity of sorghum root extracts of different genotypes (BR 007 B, BRS 716 and CMSXS 206 B) in soybean, *Brachiaria decumbens* and hairy beggarticks (*Bidens subalternans*) seeds under conditions laboratory. Concentrated extract solutions of sorghum roots were used in two experiments: in the first experiment one, concentrations were 418,44; 209, 22; 104,61; 52,3 and 26,15 μM of root extracts of the three sorghum genotypes. The second tested standard concentrations of 50,0; 25,0; 12,5; 6,25 and 3,125 μM sorgoleone present in the extracts of the three genotypes. Three milliliters of extract solution of each concentration were pipetted in 20 seeds of each species, placed in gerbox box in triplicate and this was the experimental plot. The experiments were carried out in a germination chamber for 7 days in the dark and with an average temperature of 27 °C. The evaluated variables were percentage of germination (%G) and germination velocity index (GSI). The germination percentage and GSI data were submitted by the Tukey test at 5% probability to compare the effects of cultivar. To verify the effect of the sorghums root extract doses, non-linear regression analysis was performed by Sigmaplot 2011 software. In general, the three extracts reduced the percentage of germination and the GSI for the three receptors species. The extract of BR 007 B caused the inhibitoriest effects of germination and GSI for soybean and hairy beggarticks, followed by BRS 716 and CMSXS 206 B. for the *B. decumbens* species, CMSXS 206 B was the extract which further reduced the percentage of germination and GSI of this species. Low doses of sorgoleone are required to cause a phytotoxic effect in soybean seeds, *B. decumbens* and hairy beggarticks, and further studies are needed to understand if there is any relation to the chemical composition of sorghum genotypes and botanical characteristics of the species receiving.

Key words: sorgoleone, phytotoxicity, allelopathic effect

2.1. Introdução

2.1.1. Sorgo e sorgoleone

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) vem sendo estudado como uma importante opção na alimentação animal no lugar do milho bem como cobertura vegetal em sistemas de plantio direto (ALMEIDA FILHO et al., 2010; DENADAI et al., 2016). Uma das questões em foco é que tem sido observadas alterações do desenvolvimento das culturas em sucessão ao sorgo (BORGES et al., 2014; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015). Outra alteração que tem sido reportada é a menor incidência e controle das plantas daninhas nas áreas onde há a presença de resíduos de sorgo (ALSAADAWI & DAYAN, 2009; UDDIN et al., 2014; ALSAADAWI et al., 2015).

Estas observações se devem ao fato que o sorgo é considerado uma espécie alelopática por produzir compostos químicos (UDDIN et al., 2014; ALSAADAWI et al., 2015). A alelopatia é o efeito direto ou indireto, positivo ou negativo de uma espécie (animal ou vegetal) sobre outra(s), por causa da produção de compostos químicos liberados no ambiente (RICE, 1984). Dependendo do método de extração, o número de substâncias derivadas do metabolismo primário e secundário pode variar entre compostos hidrofílicos e hidrofóbicos, como açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, proteínas e substâncias fitotóxicas (ALSAADAWI, et. al., 1986; NETZLY & BUTLER, 1986; ALSAADAWI et al., 2015).

Sorgoleone (2-hidroxi-5-metoxi-3 - [(8 Z, 11 Z) -8, 11, 14 pentadecatrieno] -p-benzoquinona) é principal composto presente em plantas de sorgo e que apresenta uma potente capacidade aleloquímica (NETZLY & BUTLER, 1986; NIMBAL, et al., 1996; INDERJIT & DUKE, 2003). Este composto é uma quinona que foi isolada e identificada primeiramente por Chang et al. (1986), como exsudado, encontrado principalmente nos pelos das raízes de sorgo (CZARNOTA et. al., 2003; DAYAN, 2006; DAYAN et. al., 2007), sendo o principal componente hidrofóbico do extrato radicular (NETZLY et al., 1988). O sorgoleone tem sido estudado no manejo de plantas daninhas, como ferramenta para fornecer novas estruturas químicas para produção de bioativos, reduzido o impacto ao meio ambiente.

Dessa forma, é importante a condução de experimentos em laboratório de modo a se controlar os diferentes fatores, como temperatura, luz e água, variando um por vez, diferente de condições de campo. Distintas metodologias têm sido estudadas para

verificar o potencial alelopático de espécies vegetais em condições de laboratório, e, em sua maioria, se baseiam primeiramente na obtenção de extratos de plantas, identificação e quantificação das substâncias contidas nesses extratos (NIMBAL, et al., 1996; FERREIRA et. al., 1999; TREZZI, 2005; FRANCO, 2011; ALSAADAWI et al., 2015; MAY et al., 2016).

O Brasil é o segundo maior produtor de soja (*Glycine max*) do mundo, em 2017, atrás apenas dos Estados Unidos, com uma produção de 113.923 milhões de toneladas de grãos, com uma área plantada de 33.890 milhões de hectares gerando uma produtividade de 3.362 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017). Além disso, a soja é a cultura que possui maior ganho absoluto em área plantada (1,2 milhões de hectares) e o consumo interno em grãos está na casa dos 47 milhões de toneladas (CONAB, 2017), sendo um dos principais grãos processados consumidos pelos brasileiros. Este crescente aumento de produtividade se deve também ao clima favorável do Cerrado brasileiro, aliado às técnicas de manejo, a exemplo da utilização de inoculantes auxiliando a fixação biológica de nitrogênio, rotação de culturas e utilização do sistema de plantio direto (LEANDRO & ASMUS, 2015; PEREIRA et al., 2016; SALES et al., 2016).

Contudo, com a utilização do sorgo como alternativa de cobertura e manutenção do sistema de semeadura direta, efeitos no desenvolvimento da soja em sucessão na safra principal têm sido reportados, como menores crescimentos das partes aérea e radicular da soja e, conseqüentemente, menor acúmulo de nutrientes, redução da taxa de germinação e subdesenvolvimento de plântulas, além de sintomas típicos, como amarelecimento e clorose das folhas (OLIBONE, et al., 2006; SERAFIN, 2007; BORGES et al., 2014; DENADAI et al., 2016).

2.1.2. Plantas daninhas e sorgoleone

As plantas daninhas ou plantas invasoras são as espécies que nascem de forma espontânea e indesejada e que causam danos às atividades humanas e agrícolas, à saúde do homem e ao meio ambiente (PITELLI, 2015). Seu controle é realizado principalmente quimicamente através de herbicidas, colocando em risco a saúde de quem aplica, do consumidor e contaminando o meio ambiente e o próprio produtor em si.

Durante anos, trabalhos de pesquisas têm como objetivos conhecer e desenvolver alternativas naturais para o controle de espécies invasoras para reduzir o uso de herbicidas (ALSAADAWI et al., 2007; WESTON, ALSAADAWI, e BEARSON, 2013; OLIVEIRA et al., 2015; ALSAADAWI et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2016; BARBOSA, 2018). Sendo assim, os compostos químicos liberados pelas plantas de sorgo, seja por sua palhada deixada no campo, seja pelos exsudatos produzidos por suas raízes, são alvos de estudos como alternativa do controle das espécies infestantes (RODRIGUES et al., 2001; ALSAADAWI et al., 2007; ALSAADAWI et al., 2015). O cultivo do sorgo anterior à soja beneficiou o controle do grupo de plantas invasoras predominantes, além de suprimir em curto prazo as ervas daninhas em razão dos compostos fenólicos liberados pela decomposição dos resíduos de sorgo (ALSAADAWI et al., 2007; WESTON, ALSAADAWI, e BEARSON, 2013).

Mediante o exposto, objetivou-se determinar a toxicidade relativa de extratos de raízes de sorgo de diferentes genótipos, em sementes de soja, braquiária e picão-preto em condições de laboratório

2.2. Materiais e métodos

2.2.1. Espécies utilizadas

Os experimentos foram desenvolvidos em laboratório de Manejo de Plantas Daninhas e Dinâmica de Herbicidas da Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas. As sementes utilizadas foram soja (*Glycine max*) KWS 262 10, picão-preto (*Bidens subalternans*) e de capim braquiária (*Brachiraria decumbens*), que foram obtidas pelo banco de sementes da Embrapa Milho e Sorgo.

2.2.2. Preparo das soluções

Dois experimentos foram realizados, e ambos utilizando os extratos de raízes de sorgo dos três genótipos (CMSXS 206 B, BR 007 B, BRS 716), obtidos no Capítulo 1 que foram diluídos em álcool P.A. (99,5%). No primeiro experimento (Ensaio 1) as concentrações utilizadas foram de 418,44; 209,22; 104,61; 52,3 e 26,15 μM de extratos de raízes dos três genótipos de sorgo. O segundo experimento (Ensaio 2) testou concentrações padronizadas de 50, 25, 12,5, 6,25 e 3,125 μM de sorgoleone presente nos extratos dos três genótipos. Ambos os ensaios tiveram como testemunhas sem os extratos (álcool e água).

2.2.3. Bioensaios

Um volume de 3 mL de solução dos extratos de raízes de sorgo de cada genótipo foi pipetado em caixas gerbox de 250 ml (11 x 11 x 3,5 cm) de acrílico, forradas com papel-filtro autoclavado, e aguardou-se 12 h para a completa evaporação do solvente. 20 sementes de cada espécie foram colocadas em cada caixa, em triplicata e esta foi a parcela experimental. Os experimentos foram desenvolvidos em câmara de germinação, durante 7 dias no escuro e com temperatura média de 27 °C.

As variáveis respostas avaliadas foram percentual de germinação (%G) e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) pela fórmula $(G/D1 + G/D2 + G/D3 \dots G/DN)$, onde G é o número e sementes germinadas, D dia de contagem das sementes germinadas. As sementes foram contadas diariamente e foram consideradas germinadas aquelas com extensão radicular igual ou maior a 2 mm (JUNTILA, 1976).

2.2.4. Potencial osmótico

Para estimar o potencial osmótico de cada solução de extratos de cada um dos experimentos, foi realizada uma estimativa. Uma gota da amostra de cada solução de sacarose com concentrações conhecidas (0,0497; 0,0995; 0,1498; 0,1992; 0,2496 e 0,3 molar) foram colocadas sobre os cristais do refratômetro para sua leitura em °Brix e obteve-se uma curva de calibração ($y = 0,0303x - 0,0089$) com R^2 0,992. Este procedimento foi realizado em triplicata. A partir desta curva de calibração, uma gota da amostra de cada solução de extrato de raízes de sorgo dos experimentos 1 e 2, foi realizada a leitura em refratômetro e cada valor em °Brix que foram convertidos em concentração molar. A partir de cada valor de concentração molar de cada solução de extratos de sorgo, foi possível estimar o potencial osmótico de cada solução pela equação de Vant'off ($\Psi = -RTCi$), onde Ψ é o potencial osmótico (MPa), R é a constante dos gases perfeitos ($0,00820574587 \text{ L atm}^{-1} \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T é a temperatura ($K = ^\circ\text{C} + 273$), C é a concentração da solução (M), i é a constante de dissociação da molécula de estudo, no caso da sacarose é 1. Este procedimento foi realizado em triplicata.

As sementes de soja, *Brachiaria decumbens* e picão-preto foram colocadas sob as soluções de sacarose para assim avaliar sua germinabilidade e comparadas com uma

testemunha. Este teste foi realizado em triplicada e os valores de germinabilidade foram submetidos à análise variância pelo teste F pelo software SYSTAT 2013.

2.2.5. Análise estatística

Os dados de percentual de germinação e IVG foram submetidos à análise de variância, utilizando o F, e as médias quando significativas foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade para comparar os efeitos de cultivar pelo software Systat 2013. Para verificar o efeito das doses de extratos de raízes de sorgo, realizou-se análise de regressão não linear pelo software Sigmaplot 2011. Os valores de germinabilidade foram transformados por $\text{arc sen}\sqrt{x/100}$.

2.3. Resultados e discussão

2.3.1. Potencial osmótico

O teste que verificou a germinabilidade das sementes de soja, *Brachiaria decumbens* e picão-preto revelou que não houve diferença estatística entre a germinação das sementes sob as soluções de sacarose e a testemunha. A estimativa do potencial osmótico revelou, para todas as concentrações de extratos, valores maiores a - 0,11 Mpa. Segundo TREZZI (2005), estes níveis são incapazes de gerar efeitos osmóticos prejudiciais à germinação das sementes.

Uma das técnicas de bioensaio mais usadas no estudo da alelopatia utiliza a preparação de extratos aquosos e observa-se a influência destes em testes de germinação e crescimento radicular de espécies testes (INDERJIT E DASHINI, 1990). Na maioria das vezes, a resposta das sementes ou mudas para os extratos de plantas é por causa da ação alelopática desses extratos, mas existe a possibilidade de os extratos exercerem ação osmótica negativa nas espécies testadas. Isto se deve à composição de cada extrato que pode conter substâncias como açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos que são osmoticamente ativos e essa atividade pode mascarar o efeito alelopático (WARDLE et al., 1992). Assim, avaliar a influência osmótica das soluções estadas é importante, pois os efeitos osmóticos são conhecidos por induzir respostas de estresses nas plantas como desidratação de material vegetal (SLAYER, 1967; WARING & CLEARY, 1967).

2.3.2. Bioensaios

Não houve diferença entre as testemunhas somente álcool e água nas variáveis avaliadas.

2.3.2.1 Soja

No primeiro ensaio, houve interação entre os genótipos de sorgo e a variação das doses e extratos para o percentual de germinação ($P = 0,0000$; $F = 12,197$) e o IVG ($P = 0,0000$; $F = 33,186$) (Figuras 1 e 2).

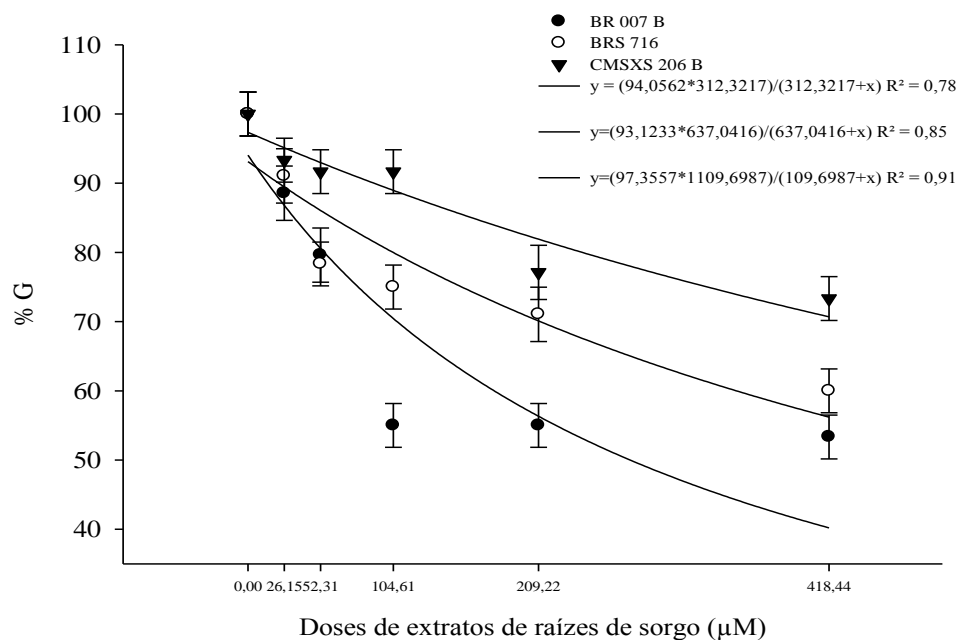


Figura 1. Efeito no percentual de germinação de sementes de soja sob doses de extratos de raízes de sorgo.

Os modelos de equações não lineares permitiram estimar o percentual máximo de redução de germinação de cada extrato de genótipos de sorgo para as espécies testadas. No primeiro experimento, os extratos dos genótipos BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B, conseguiram suprimir respectivamente, 60%, 44% e 29% a germinação de sementes de soja.

A redução do IVG das sementes de soja, foi estimada através das equações em 93%, 87% e 68% dos extratos de BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B, respectivamente.

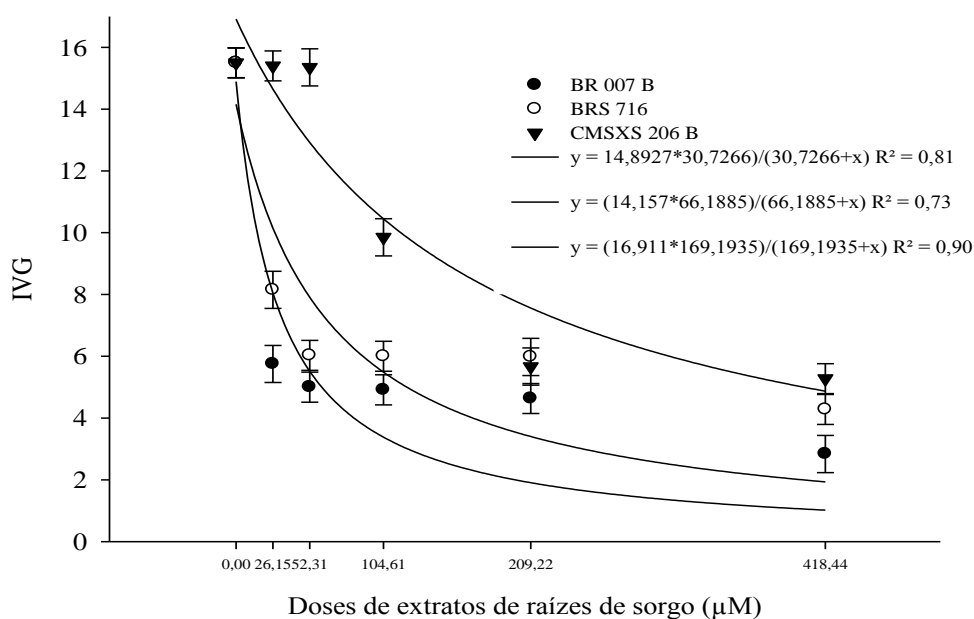


Figura 2. Efeito no IVG de sementes de soja sob doses de extratos de raízes de sorgo.

Em médias gerais, tanto o percentual de germinação ($P = 0,0000$; $F = 33,742$) quanto o IVG ($P = 0,000$; $F = 133,205$) das sementes de soja foram afetados pelos três genótipos de sorgo (Figura 1). BR 007 B teve maior potencial de inibição de germinação entre os três genótipos, cerca de 18% em relação a CMSXS 206 B e 10% em relação a BRS 716 (Figura 3 A). O IVG das sementes de soja também foi mais afetado pelo genótipo BR 007 B em relação aos outros dois genótipos (Figura 3 B). A germinação das sementes de soja sob o efeito de BR 007 B foi 75% mais lenta que CMSXS 206 B e 19% que BRS 716 (Figura 3 B). Estes resultados indicam que as sementes sob o extrato de BR 007 B foram mais afetadas, demorando mais tempo para germinar, uma vez que quanto maior o IVG menores foram os efeitos do extrato sobre as sementes.

No segundo experimento, não houve efeito entre os três genótipos de sorgo ($P = 0,505$; $F = 0,698$) e nem entre a interação dos três genótipos e a variação das doses em μM de sorgoleone ($P = 0,837$; $F = 0,555$) para o percentual de germinação. Apenas houve efeito para a variação das médias das doses com um percentual máximo de redução de germinação de cerca de 40% (Figura 4).

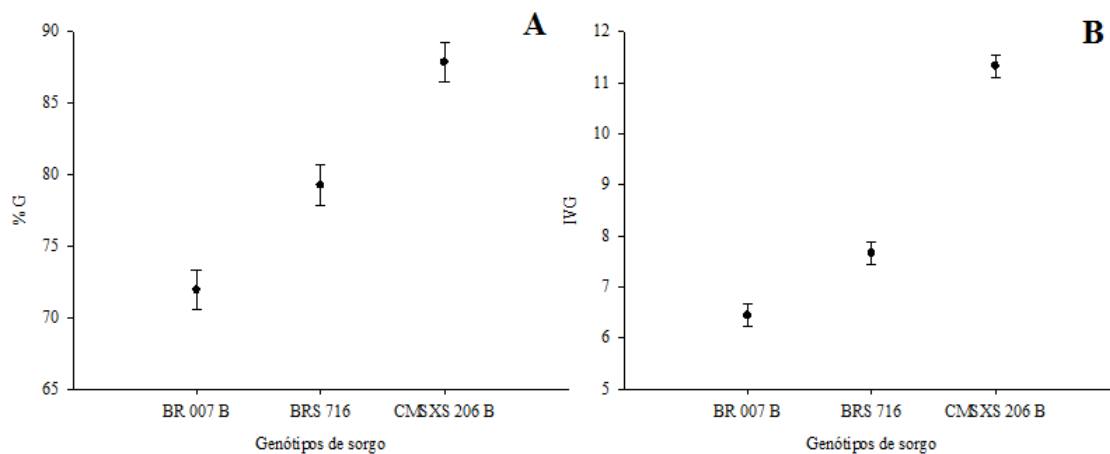


Figura 3. Percentual de germinação (A) e IVG (B) de sementes de soja sob efeito extrato de raízes de sorgo em μM .

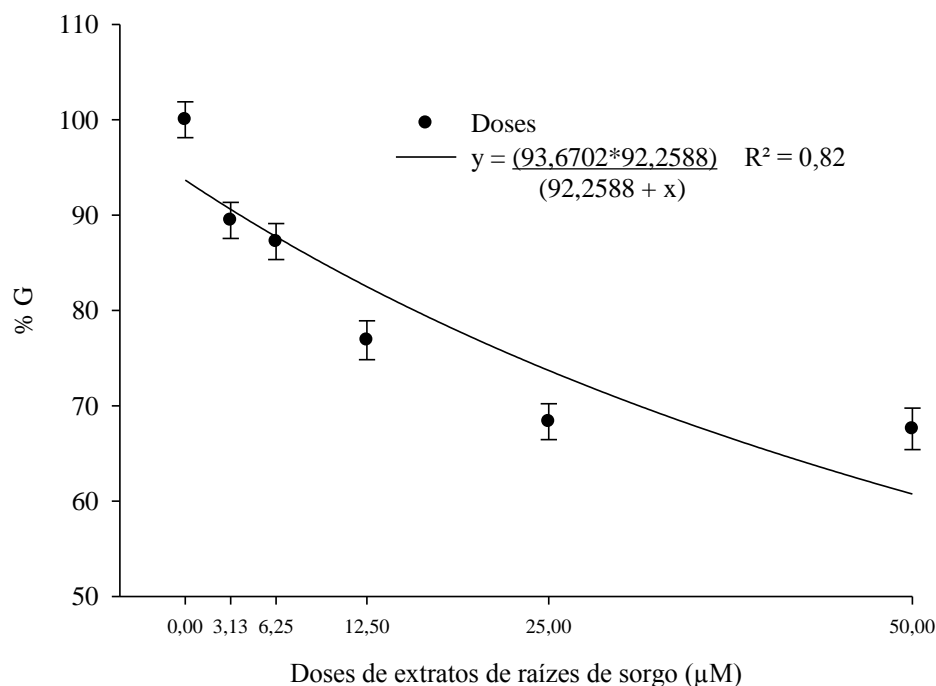


Figura 4. Percentual de germinação de sementes de soja sob efeito de extratos de raízes de sorgo.

O IVG das sementes de soja foi afetado pela interação entre os três genótipos de sorgo e a variação das doses de extratos de raízes de sorgo em termos de sorgoleone ($P = 0,0000$; $F = 5,227$) (Figura 5). Segundo os modelos de equações não lineares, as doses padronizadas de sorgoleone reduziram o IVG das sementes de soja em 86%, 89% e 79% pelos genótipos BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B.

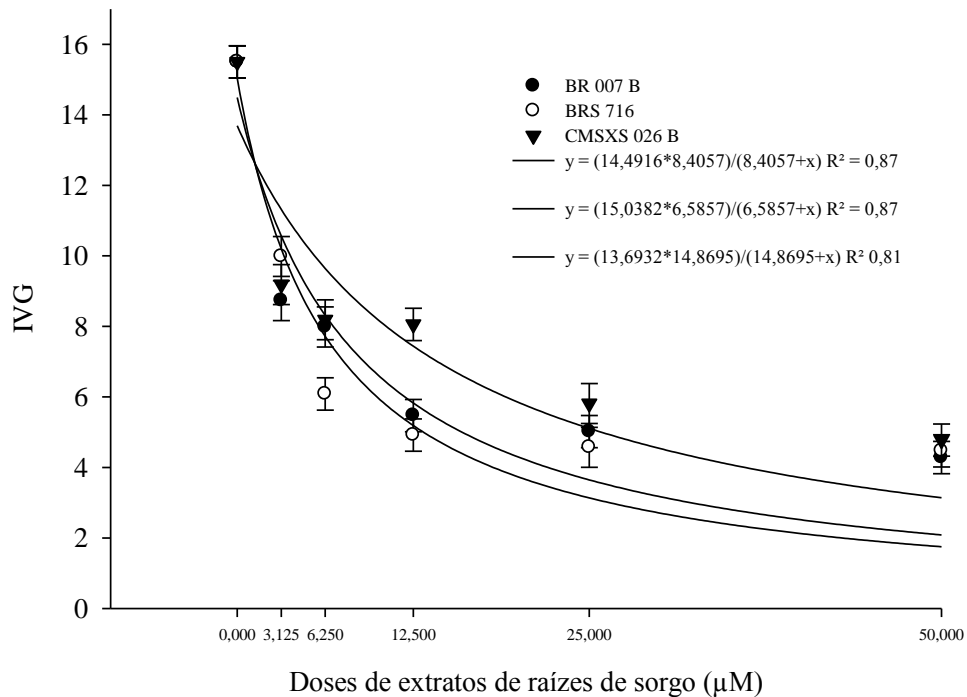


Figura 5. Efeito no IVG de sementes de soja sob doses de extratos de raízes de sorgo.

O IVG médio das sementes de soja apresentou diferença estatística entre genótipos de sorgo ($p = 0,005$; $F = 6,395$), sendo detectada diferença entre a cultivar CMSXS 206B para com BR 007 e BRS 716 que foram semelhantes (Figura 6). Estes resultados indicam que, em soluções padronizadas de sorgoleone, as sementes de soja também são mais sensíveis aos compostos do extrato de BR 007 B que dos demais extratos (BRS 716 e CMSXS 206 B), e que a ação alelopática pode estar ligada à composição de cada extrato e não especificamente ao sorgoleone.

Analisando os efeitos de resíduos de duas cultivares de sorgo sacarino na soja semeada em sucessão em função de intervalos de semeadura (0, 3, 6 e 9 dias) após o manejo do sorgo, Garcia e Sutier (2016) observaram que os resíduos das cultivares de sorgo sacarino prejudicaram o desenvolvimento da soja, com influência na atividade fotossintética e arquitetura do sistema radicular, além de sintomas visuais. Com este trabalho, estes autores concluíram que o intervalo de nove dias após o manejo do sorgo em vasos é suficiente para diminuir os efeitos fitotóxicos no crescimento da soja.

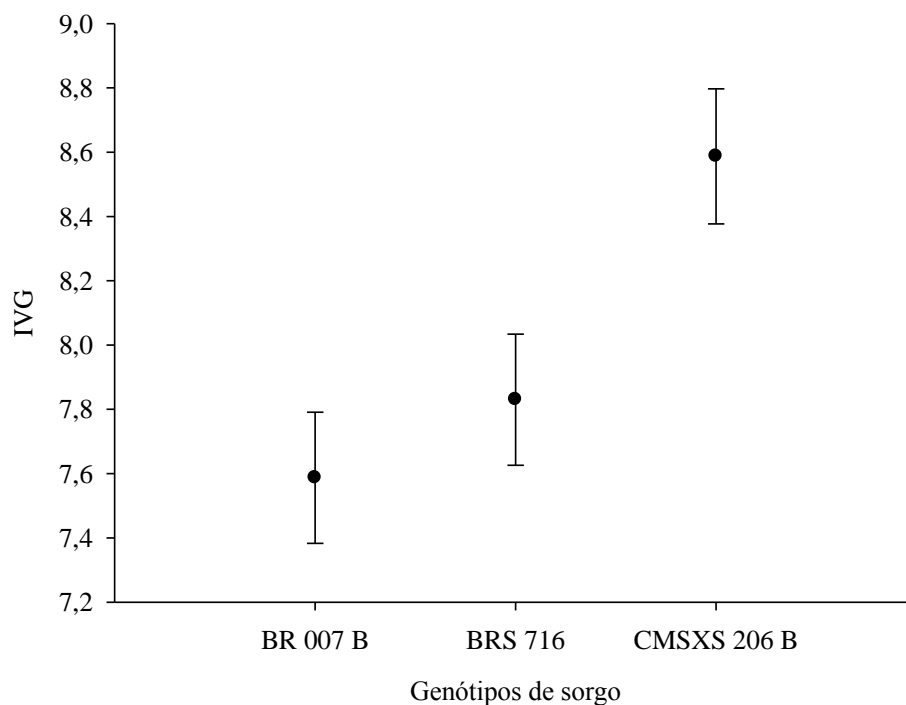


Figura 6. IVG médio de sementes de soja sob efeito extratos padronizados em μM de sorgoleone.

Biesdorf (2017) também avaliou o efeito alelopático do sorgo sobre a soja cultivada em diferentes datas (0, 20, 40, 60 e 80 dias) após a colheita do sorgo e também sobre o comportamento da comunidade vegetal infestante. Concluiu que até 40 dias após a colheita do sorgo a soja é afetada negativamente, apesar da produtividade final não ter sido afetada, e que o cultivo do sorgo influenciou a fitossociologia e reduziu em 30% a infestação de plantas daninhas na área.

Em bioensaios em casa de vegetação, Olibone et al. (2006) determinaram o efeito no crescimento inicial da soja e na formação do sistema radicular ao longo do tempo da presença de resíduos de espécies de sorgo. Concluíram que presença de material de sorgo diminuíram a saturação por bases do solo, além de prejudicar o crescimento da soja afetando partes aérea, radicular e menor acúmulo de nutrientes pela soja. Serafin (2007), por meio de bioensaios em laboratório, avaliou o potencial alelopático de soluções de baixas concentrações de sorgoleone em várias espécies de plantas daninhas e soja e trigo. Somente houve efeito inibitório de germinação para as culturas da soja, trigo e a planta daninha picão-branco (*Galinsoga parviflora*).

2.3.2.2 Picão-preto (*Bidens subalternans*)

No primeiro experimento, houve interação entre os três genótipos de sorgo e a variação das doses de extrato de raízes do percentual de germinação ($P = 0,0000$; $F = 11,435$) e IVG ($P = 0,0000$; $F = 18,415$) das sementes de picão-preto (Figuras 7 e 8). Seguindo a estimativa dos modelos de equações não lineares que foram ajustadas para cada genótipo, os extratos dos genótipos BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B, conseguiram suprimir, respectivamente, 73%, 64% e 63% da germinação de sementes de picão-preto. E a redução do IVG foi estimada em 73%, 71% e 54% dos extratos de BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B, respectivamente, das sementes de picão-preto.

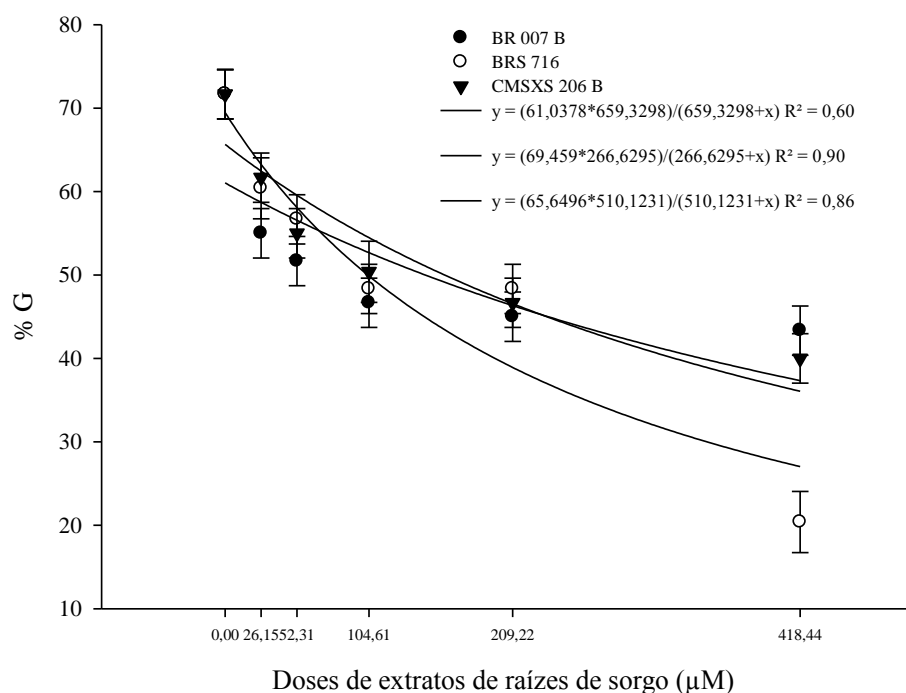


Figura 7. Efeito no percentual de germinação de sementes de picão-preto (*Bidens subalternans*) sob doses de extratos de raízes de sorgo.

Neste mesmo ensaio, em médias gerais, os três genótipos responderam estatisticamente semelhantes ($p = 0,205$; $F = 1,668$) com média geral de inibição de germinação de 48%. O IVG médio entre os três genótipos diferiu estatisticamente ($p = 0,000$; $F = 14,899$), sendo o IVG médio das sementes de picão-preto menos afetado pelo genótipo CMSXS 206 B, em 18% em relação a BR 007 B e 11% a BRS 716 (Figura 9).

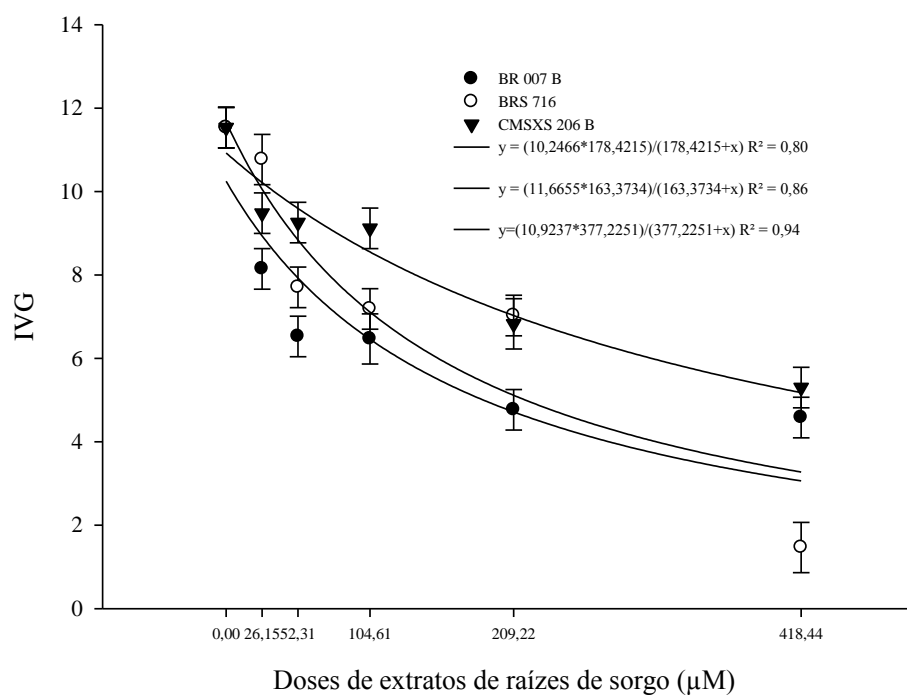


Figura 8. IVG de sementes de picão-preto (*Bidens subalternans*) sob doses de extratos de raízes de sorgo.

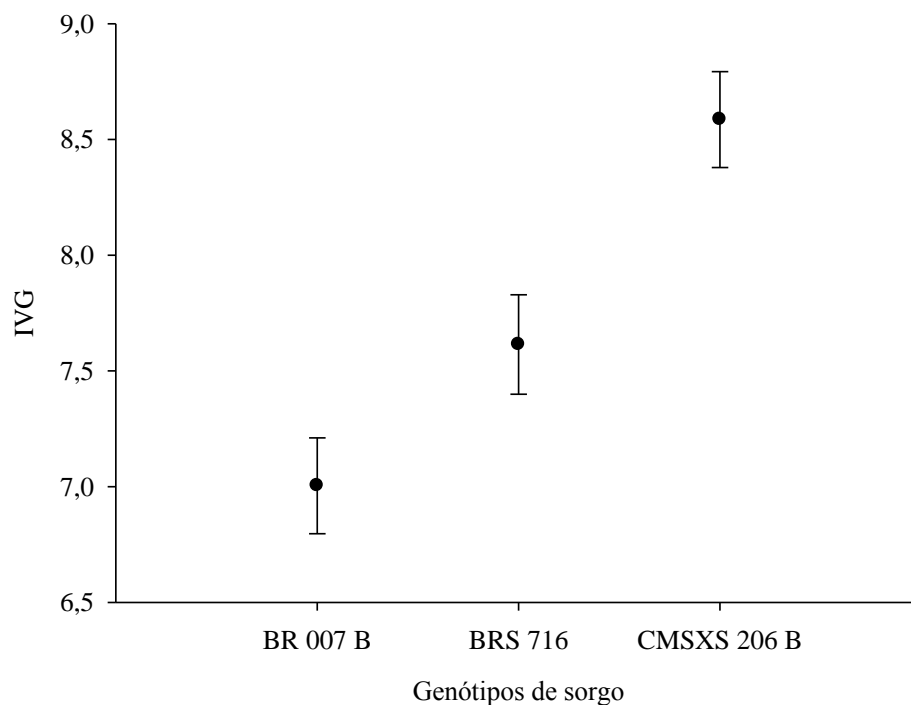


Figura 9. IVG de sementes de picão-preto (*Bidens subalternans*) sob efeito de extratos de raízes de sorgo.

A análise de variância verificou efeito significativo da interação entre os três genótipos de sorgo e a variação das doses de extratos no percentual de germinação ($P = 0,0000$; $F = 15,251$) e IVG ($P = 0,0000$; $F = 1,55$) das sementes de picão-preto do segundo experimento (Figuras 10 e 11). No segundo experimento, as doses padronizadas de 50 μM de sorgoleone, através das equações não lineares, estimaram uma redução do percentual de germinação das sementes de picão-preto de 89,5%, 80% e 73% dos extratos de BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B, respectivamente. O IVG das sementes de picão-preto foi reduzido em 96%, 86% e 69% pelos genótipos BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B, respectivamente (Figura 12).

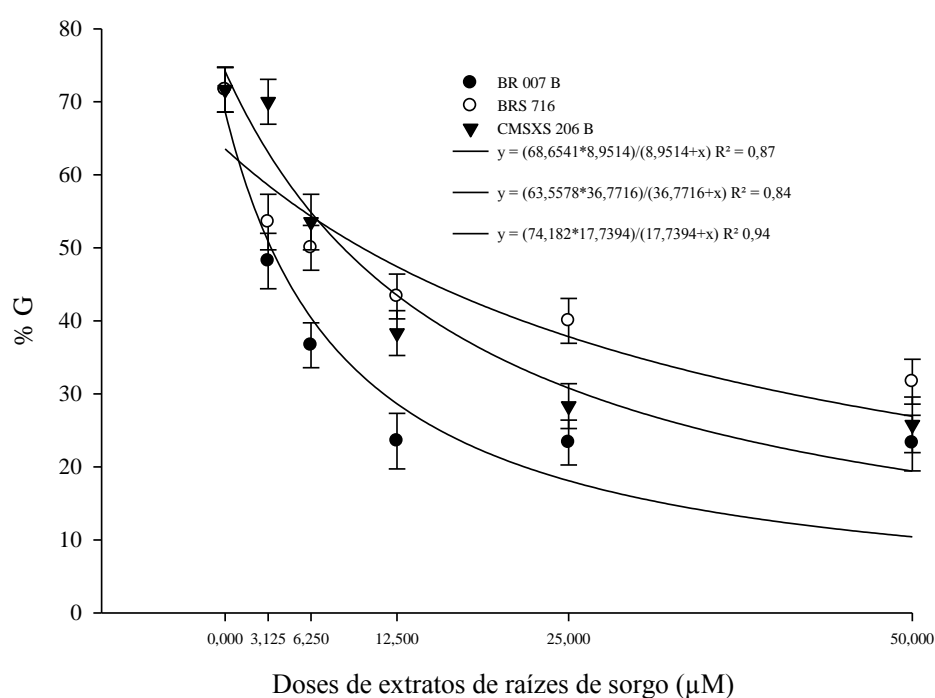


Figura 10. Efeito no percentual de germinação de sementes de picão-preto (*Bidens subalternans*) sob doses de extratos de raízes de sorgo.

As médias das doses em μM de sorgoleone afetaram significativamente a germinação entre os três genótipos de sorgo ($p = 0,000$; $F = 14,899$), com BR 007 B inibindo cerca de 34% da germinação das sementes de picão-preto e inibindo cerca de 22% a mais que os outros dois genótipos (BRS 716 e CMSXS 206 B), que foram estatisticamente iguais (Figura 12 A). Também houve efeito entre os três genótipos de sorgo quanto ao IVG das sementes de picão-preto, com BR 007 B reduzindo em 80% a menor que BRS 716 e 46% que CMSXS 206 B (Figura 12 B).

Estes resultados indicam que, as sementes de picão-preto são mais sensíveis aos compostos do extrato de BR 007 B que dos demais, e que a ação alelopática se deve à composição de cada extrato e não especificamente de apenas sorgoleone.

Serafin (2007) testou a ação alelopática de extratos de raízes de sorgo com sorgoleone em várias espécies de plantas daninhas, incluindo picão-preto, e a cultura da soja. Doses de 0,05 mM de extratos com sorgoleone foram suficientes para reduzir o percentual de germinação das sementes de soja, mas insatisfatórias para a inibição da germinação da espécie de picão-preto (SERAFIN, 2007).

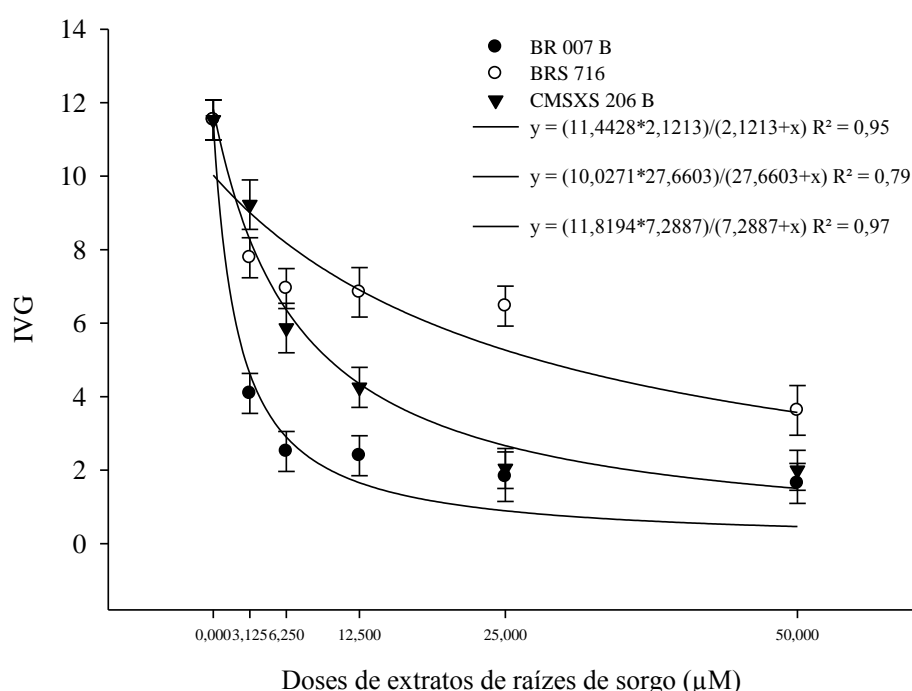


Figura 11. Efeito no IVG de sementes de picão-preto (*Bidens subalternans*) sob doses de extratos de raízes de sorgo.

Em laboratório, Barbosa (2018) concluiu que extratos aquosos de *Dolichos lab lab*, *Pachyrhizus* sp. e *Sorghum bicolor*, isolados e em mistura, afetaram negativamente a porcentagem de germinação, o índice de velocidade de germinação, o comprimento do hipocótilo e da raiz primária e a biomassa seca das plântulas de *B. pilosa*, com interação estatística entre os extratos vegetais e o modo de preparo dos extratos aquosos.

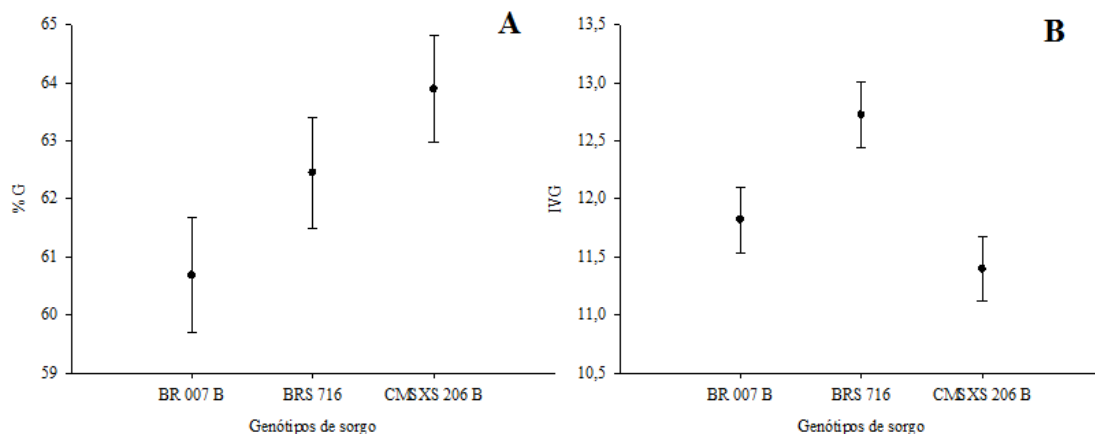


Figura 12. Percentual de germinação (A) e IVG (B) de sementes de picão-preto (*Bidens subalternans*) sob efeito extrato de raízes de sorgo em μM .

2.3.2.3 Brachiaria (*Brachiaria decumbens*)

No primeiro experimento, houve efeito na interação entre os três genótipos de sorgo e a variação das doses de extratos tanto para o percentual de germinação ($P = 0,0000$; $F = 13,799$) quanto o IVG ($P = 0,001$; $F = 4,675$) nas sementes de braquiária (Figuras 13 e 14).

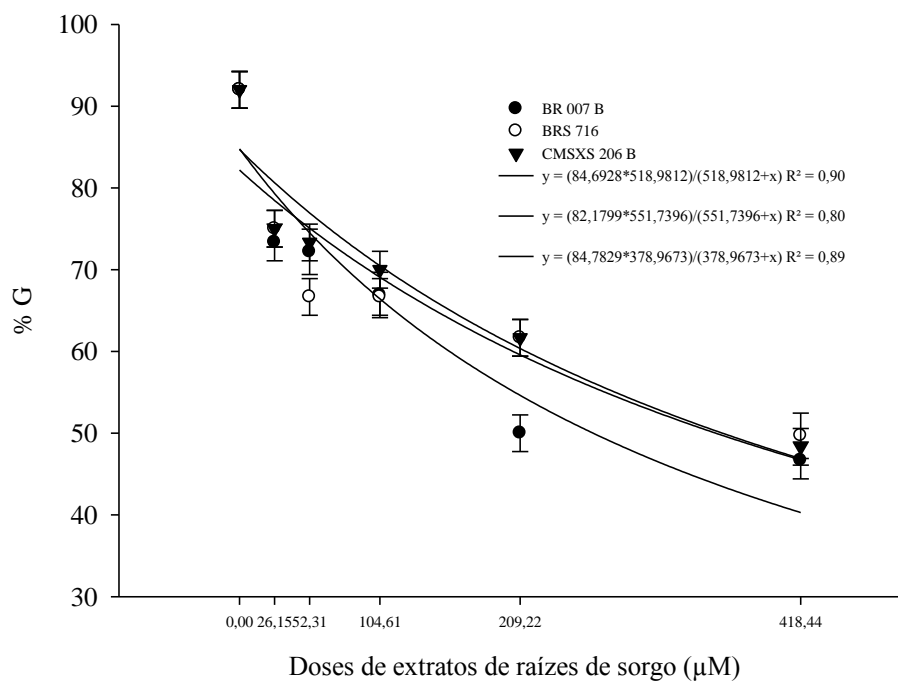


Figura 13. Efeito no percentual de germinação de sementes de *Brachiaria decumbens* sob doses de extratos de raízes de sorgo.

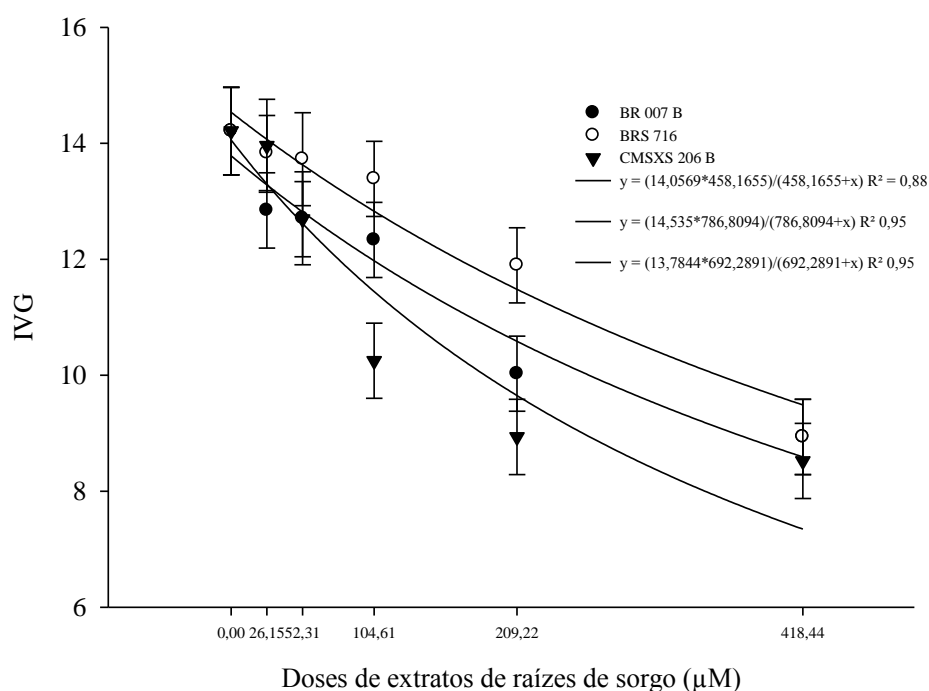


Figura 14. Efeito no IVG de sementes de *Brachiaria decumbens* sob doses de extratos de raízes de sorgo.

Aplicando os modelos de equações não lineares, o percentual máximo de redução de germinação de cada extrato de genótipos, BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B conseguiram suprimir, respectivamente, 53%, 53% e 60% da germinação das sementes de braquiária. A redução do IVG foi estimada em 39%, 33% e 48% dos extratos de BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B, respectivamente.

A interação entre os três genótipos de sorgo e a variação entre as doses de extratos de raízes sorgo em termos de sorgoleone foi significativa para o percentual de germinação ($P = 0,0000$; $F = 10,428$) e IVG ($P = 0,001$; $F = 4,348$) das sementes de braquiária (Figuras 17 e 18). De acordo com as equações que foram ajustadas, no segundo experimento, as doses padronizadas de sorgoleone, através das equações não lineares, estimaram uma redução do percentual de germinação das sementes de 58%, 43,0% e 64% dos extratos de BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B respectivamente (Figura 17).

As doses padronizadas de sorgoleone reduziram o IVG das sementes de braquiária em 41%, 40% e 45% pelos genótipos BR 007 B, BRS 716 e CMSXS 206 B (Figura 18).

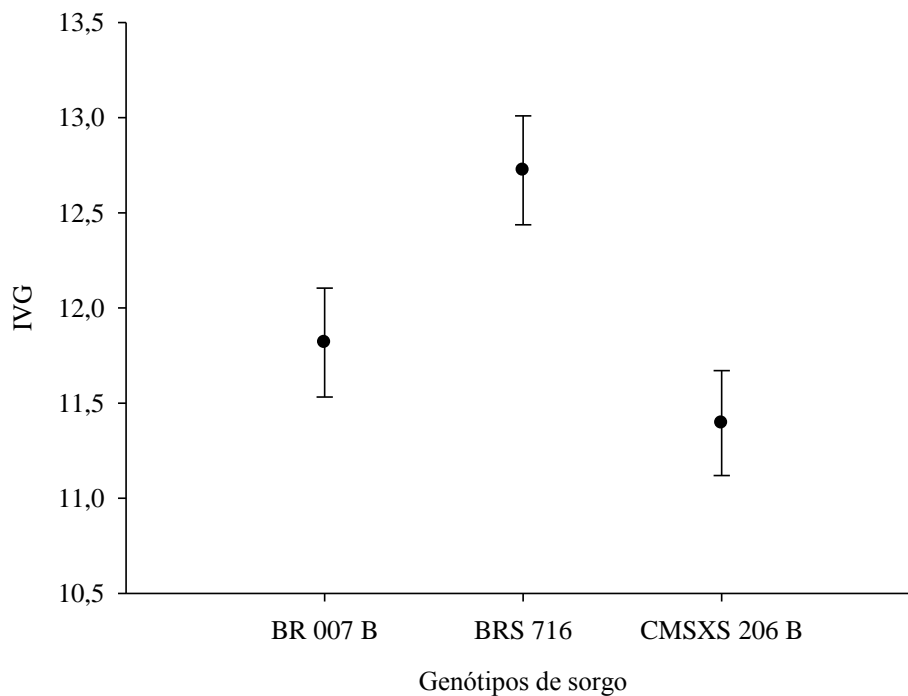


Figura 15. IVG de sementes de *Brachiaria decumbens* sob efeito de extratos de raízes de sorgo.

Ao se testar os extratos em termos de sorgoleone, dos três genótipos de sorgo, houve diferença no percentual de germinação ($P = 0,0000$; $F = 87,718$) e IVG ($P = 0,0000$; $F = 23,819$) das sementes de braquiária (Figura 16). CMSXS 206 B inibiu o percentual de germinação cerca de 41% a mais que BRS 716 e 8% que BR 007 B (Figura 16 A). O IVG das sementes de braquiária sob o extrato de CMSXS 206 B foi 34% menor que BRS 716 e 17% que BR 007 B (Figura 16 B).

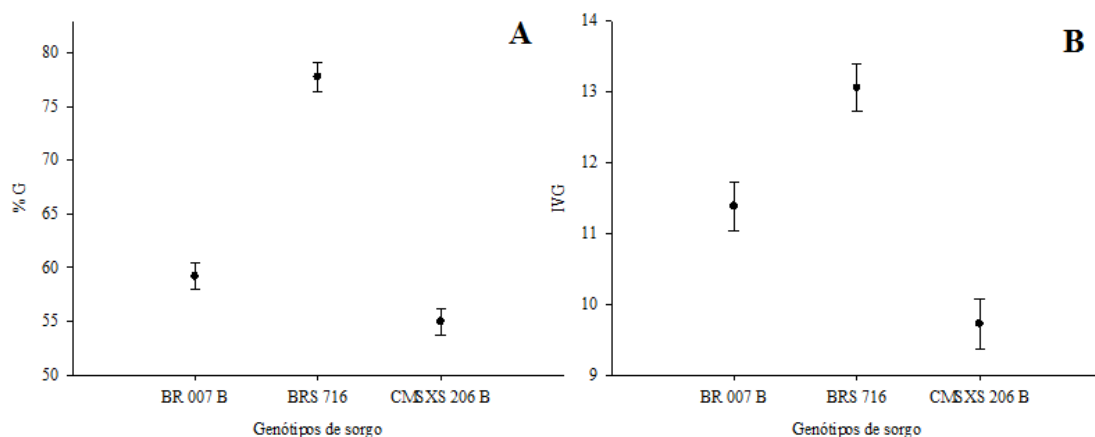


Figura 16. Percentual de germinação (A) e IVG (B) de sementes de *Brachiaria decumbens* sob efeito extrato de raízes de sorgo em μM .

Comumente, os estudos abordam os efeitos alelopáticos que as espécies de braquiárias exercem sobre outras espécies. Carvalho et al., (2016) avaliaram os efeitos das palhas de plantas de cobertura como crotalária (*Crotalaria anagyroides* H.B.K.), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) e guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) e poáceas aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb), sorgo cv. BRS 506 e milheto variedade BRS 1501 no controle da população de braquiária cv. Marandu em área de campo. Apenas as palhas de milheto e feijão-de-porco apresentaram efeito alelopático negativo nas plantas de braquiária (CARVALHO et al., 2016).

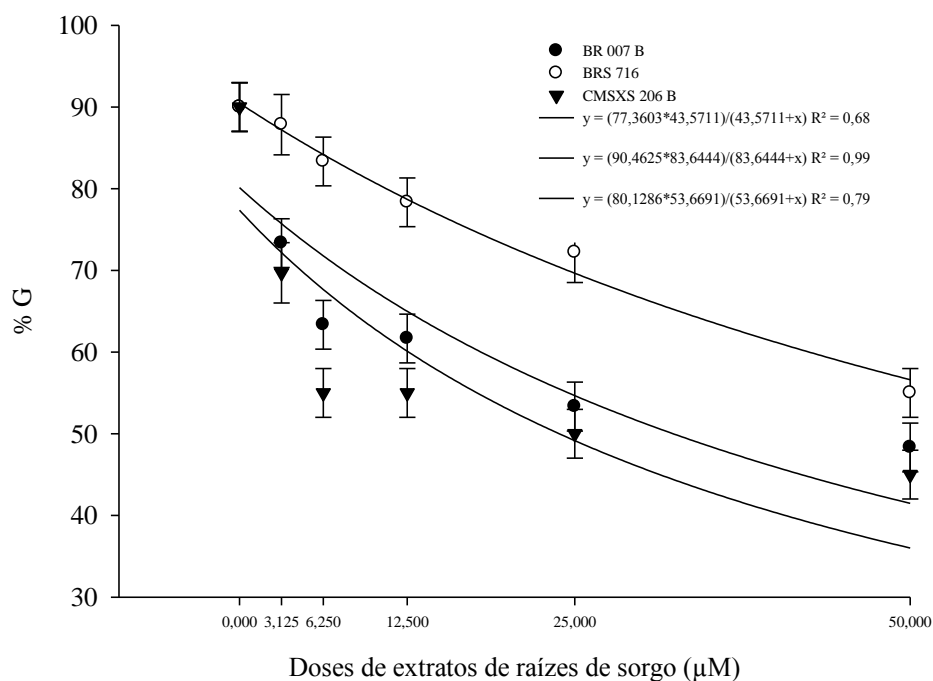


Figura 17. Efeito no percentual de germinação de sementes de *Brachiaria decumbens* sob doses de extratos de raízes de sorgo.

Um trabalho semelhante foi desenvolvido por Einhellig & Souza (1992), em que determinaram o potencial fitotóxico de extratos de sorgo com sorgoleone sob plantas daninhas, e concluíram que dosagens de 125 µM de sorgoleone reduziram o alongamento radicular de *Eragrostis tef*, e doses de 50 µM de sorgoleone atrofiaram o crescimento de *Lemna minor* L. Os autores concluíram ainda que soluções de extratos de raízes de sorgo com sorgoleone reduziram o crescimento das várias plantas daninhas testadas, tanto monocotiledônea quanto eudicotiledôneas (EINHELLIG & SOUZA, 1992).

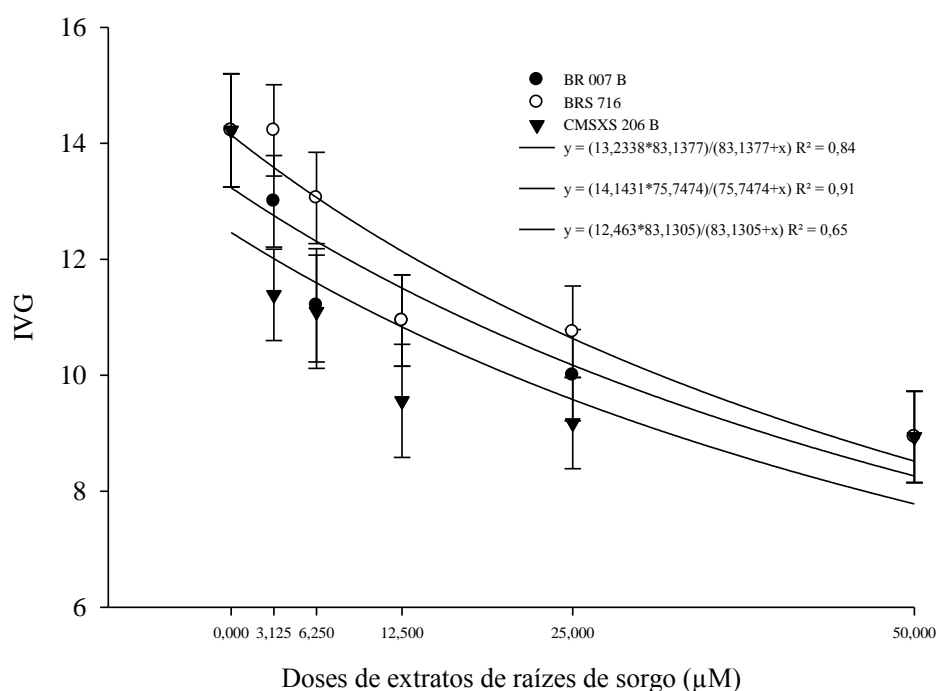


Figura 18. Efeito no IVG de sementes de braquiária sob doses de extratos de raízes de sorgo.

Os resultados encontrados neste trabalho revelaram sorgoleone como um potente inibidor de germinação e crescimento de plantas que pode estar envolvido na questão alelopática das plantas de sorgo. Sorgoleone em baixas concentrações reduziu significativamente o potencial de germinação e IVG das sementes das espécies de soja, picão-preto e braquiária, afetando tanto folha larga quanto estreita. Estes resultados são importantes pois confirmam a ação fitotóxica de sorgoleone em espécies diferentes.

2.4. Conclusões

São necessárias baixas doses de sorgoleone para causar efeito fitotóxico no percentual de germinação e IVG de sementes de soja, picão-preto e braquiária em condições de laboratório.

BR 007 B causou maiores efeitos alelopáticos sob sementes de soja e picão-preto, já CMSXS 206 B causou sob a espécie de braquiária, sendo então necessários mais estudos para se entender se há alguma relação entre a composição química dos genótipos de sorgo e as características botânicas das espécies receptoras.

2.5. Referências

- ALSAADAWI, I. S.; AL-UQAILI, J. K.; ALRUBEAA, A. J.; AL-HADITHY, S. M. Allelopathic suppression of weed and nitrification by selected cultivars of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Journal of Chemistry Ecology**, n.12, p. 209– 219, 1986.
- ALSAADAWI, I. S.; AL-EKEELIE, M. H. S.; AL-HAMZAWI, M. K. Differential allelopathic potential of grain sorghum genotypes to weeds. **Allelopathy Journal**, v. 19, p. 153-160, 2007.
- ALSAADAWI, I. S.; DAYAN, F. E. Potentials and prospects of sorghum allelopathy in agroecosystems. **Allelopathy Journal**, n. 24, p. 255-270, 2009.
- ALSAADAWI, I. S.; AL-KHATEEB, T. A.; HADWAN, H. A.; LAHMOOD, N. R. A chemical basis for differential allelopathic potential of root exudates of *Sorghum bicolor* L.(Moench) cultivars on companion weeds. **Journal Allelopathy Interactions**, v. 1, n.1, p.49-55, 2015.
- ALMEIDA FILHO, J. E.; TARDIN, F. D.; DE SOUZA, S. Â.; GODINHO, V. D. P. C.; CARDOSO, M. J. Desempenho agronômico e estabilidade fenotípica de híbridos de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 51-54, 2010. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v9n01p51-64.
- BARBOSA, J. A. Alelopatia de extratos de adubos verdes no controle de plantas daninhas. 2018. 84 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 28 de fevereiro de 2018.
- BIESDORF, E. M.; **Alelopatia do sorgo granífero sobre a soja e as plantas daninhas**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, 17 de julho de 2017.
- BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S. D.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E. D.; ALVES, M. C. Absorção de nutrientes e alterações químicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 252-261, 2014.
- CARVALHO, W. P.; TEIXEIRA, L. G. V.; NETO, D. O. A.; MOREIRA, J. M. S.; CUNHA, C. E. Alelopatia de resíduos de plantas de cobertura no controle de braquiária cv. Marandu. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 14, n. 2, 2016.
- CHANG, M.; NETZLY, D. H.; BUTLHER, L. G.; LYNN, D. G. Chemical regulation of distance: Characterization of the natural host germination stimulant for *Striga asiatica* Journal of the American Chemical Society, Easton, v. 108, n. 24, p. 7858-7860, 1986.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Quinto levantamento (Safra 2016/2017)**. Brasília: CONAB, v.4, n. 1, 176p., 2017.

CZARNOTA, M. A.; PAUL, R. N.; WESTON, L. A.; DUKE, S. O. Anatomy of sorgoleone-secreting root hairs of *Sorghum* species. **International Journal of Plant Sciences**, v. 164, n. 4, p. 861-866, 2003.

DAYAN, F.E. Factors modulating the levels of the allelochemical sorgoleone in *Sorghum bicolor*. **Planta**, n. 224, p. 339-346, 2006.

DAYAN, F. E.; WATSON, S. B.; NANAYAKKARA, N. P. D. Biosynthesis of lipid resorcinols and benzoquinones in isolated secretory plant root hairs. **Journal of Experimental Botany**, N. 58, p. 3263-3272, 2007.

DENADAI, M. S.; DE MELLO, L. M.; CHIODEROLI, C. A.; GAZOLA, R. D. N. Desiccation time of the spring sorghum as a predecessor crop for summer soybean and autumn bean in a no-tillage system. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 2, p. 94-101, 2016.
EINHELLIG, F. A.; SOUZA, I. F. Phytotoxicity of sorgoleone found in grain sorghum root exudates. **Journal of Chemistry Ecology**, . 18, v. 1, p. 1-11, 1992.

FERREIRA, M. L.; BARBOSA, L. C. A.; DEMUNER, A. J.; SILVA, A. A.; WAKIL, J. Análise e quantificação da sorgoleone em diferentes cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L.). **Acta Scientiarum**, n. 21, v. 3, p. 565 – 557, 1999.

FRANCO, F. H. S.; MACHADO, Y.; TAKAHASHI, J. A.; KARAM, D.; GARCIA, Q. S. Quantificação de sorgoleone em extratos e raízes de sorgo sob diferentes períodos de armazenamento. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 29, p. 953-962, 2011.

GARCIA, R. A.; SUTIER, G. A. S. Alelopatia de sorgo-sacarino na soja cultivada em sucessão. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2016, 28 p. (Embrapa Agropecuária Oeste -Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 74).

INDERJIT S. O.; DUKE. Ecophysiological aspects of allelopathy. **Planta**, n. 217, p. 529-539, 2003.

JUNTILA, O. Seed and embryo germination in *S. vulgaris* and *S. reflexas* as affected by temperature during seed development. **Physiology Plant**, v. 29, p. 264 – 268, 1976.

LEANDRO, H. M.; ASMUS, G. L. Rotação e sucessão de culturas para o manejo do nematoide reniforme em área de produção de soja. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 6, p. 945-950, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20130526

MAY, A.; CERDEIRA, A. L.; QUEIROZ, S. C. N.; SANTOS, M. S.; CORNIANI, N.; SILVA, E. H. F. M. Avaliação do teor de Sorgoleone presente em extratos de raízes de cultivares de sorgo por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Milho e Sorgo, 21 p., 2016.

NASCIMENTO, M. R.; JAEGGI, M. E. P. C.; SALUCI, J. C. G.; GUIDNELLE, R. B.; PEREIRA, I. M.; ZACARIAS, A. J.; RODRIGUES, R. R.; SILVA, S. F.; SOUZA, M. N. Efeito da adubação verde na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista Univap**, São Paulo, v. 22, n. 40, p. 698, 2016.

NETZLY, D. H.; BUTLER, L. G. Roots of sorghum exude hydrophobic droplets containing biologically active components. **Crop Science**, v. 26, p. 775-778, 1986.

NETZLY, D. H.; RIOPEL, J. L.; EJETA, G.; BUTLER, L. G. Germination stimulant of witchweed (*Striga asiatica*) from hydrophobic root exudate of sorghum (*Sorghum bicolor*). **Weed Science**, Champaign, v. 36, n. 4, p. 441-446, 1988.

NIMBAL, C. I.; PEDERSON, J.; YERKES, C. N.; WESTON, L.; WELLER, S. C. Phytotoxicity and distribution of sorgoleone in grain sorghum germplasm. **Journal of Agricultural And Food Chemistry**, Easton, v. 44, n. 5, p. 1343-1347, 1996.

OLIBONE, D.; CALONEGO, J. C.; PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Crescimento inicial da soja sob efeito de resíduos de sorgo. **Revista Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n. 2, p. 255-261, 2006.

OLIVEIRA, JUNIOR, R. S.; RIOS, F. A.; CONSTANTIN, J.; ISHIIWAMOTO, E. L.; GEMELLI, A.; MARTINI, P. E. Grass straw mulching to suppress emergence and early growth of weeds. *Planta Daninha*, v. 32, n. 1, p. 11-17, 2014.

OLIVEIRA, J.; PEIXOTO, C.; POELKING, V.; ALMEIDA, A. Avaliação de extratos das espécies *Helianthus annuus*, *Brachiaria brizanthae*, *Sorghum bicolor* com potencial alelopático para uso como herbicida natural. **Revista Brasileira de plantas medicinais**, v. 17, n. 3, p. 379-389, 2015.

PITELLI, R. A. O termo planta-daninha. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 622-623, 2016. DOI: 10.1590/S0100-83582015000300025

RICE, E.L. **Allelopathy**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1984.

RODRIGUES, J. C.; FERREIRA, F. A.; SANTOS, R. H. S.; MIRANDA, G. V. Determinação do conteúdo de sorgoleone nos exudatos radiculares de híbridos de sorgo. **Revista Ceres**, v. 48, n. 275, p. 49-54, 2001.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 429 – 438, 2016. DOI: 10.5935/1806-6690.20160052

SERAFIN, C. F. Ação do sorgoleone na germinação de sementes de soja e trigo e espécies invasoras 2007 62f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2007.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; PERALBA, M. C. R.; DICK, D. P.; KRUSE, N.D. Purificação e identificação de sorgoleone e sua quantificação em genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, v. 15, p. 105-112, 2005.

UDDIN, M. R.; PARK, S. U.; DAYAN, F. E.; PYON, J. Y. Herbicidal activity of formulated sorgoleone, a natural product of sorghum root exudate. **Pest Management Science**, v. 70, n. 2, p. 252-257, 2014.

WESTON, L. A.; ALSAADAWI, I. S.; BEARSON, S. R. Sorghum allelopathy: from ecosystem to molecule. **Journal Chemistry Ecology**, DOI: 10.1007/s10886-013-0245-8.