



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MARIA DE FÁTIMA DE QUEIROZ LOPES**

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E  
QUALIDADE NUTRICIONAL DO GERGELIM ASSOCIADAS A APLICAÇÃO DE  
DESSECANTE**

**AREIA**  
**2023**

**MARIA DE FÁTIMA DE QUEIROZ LOPES**

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E  
QUALIDADE NUTRICIONAL DO GERGELIM ASSOCIADAS A APLICAÇÃO DE  
DESSECANTE**

Tese apresentada ao Programa e Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

**Orientadora:** Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno

**Coorientadores:** Dra. Nair Helena Castro Arriel e Dr. Tarcísio Marcos de Souza Gondim

**AREIA**

**2023**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

L864a Lopes, Maria de Fátima de Queiroz.

Alterações fisiológicas nos componentes de rendimento e qualidade nutricional do gergelim associadas a aplicação de dessecante / Maria de Fátima de Queiroz Lopes. - Areia:UFPB/CCA, 2023.

110 f. : il.

Orientação: Riselane de Lucena Alcântara Bruno.

Coorientação: Nair Helena Castro Arriel, Tarcísio Marcos de Souza Gondim.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Colheita. 3. Fotossíntese. 4. Potencial produtivo. 5. Sesamum indicum. I. Bruno, Riselane de Lucena Alcântara. II. Arriel, Nair Helena Castro. III. Gondim, Tarcísio Marcos de Souza. IV. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.2)

**MARIA DE FÁTIMA DE QUEIROZ LOPES**

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E  
QUALIDADE NUTRICIONAL DO GERGELIM ASSOCIADAS A APLICAÇÃO DE  
DESSECANTE**

Tese apresentada ao Programa e Pós-Graduação em  
Agronomia, da Universidade Federal da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de Doutora em  
Agronomia.

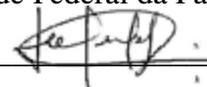
Aprovado em: 30/01/2022

**BANCA EXAMINADORA BANCA EXAMINADORA**



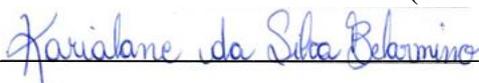
Profa. Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



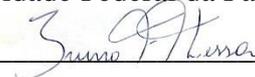
Prof. (a) Dr. Leossávio César de Souza

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



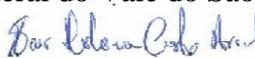
Dra. Karialane da Silva Belarmino

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



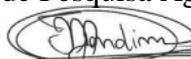
Prof. (a) Dr. Bruno França da Trindade Lessa

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)



Dra. Nair Helena Castro Arriel

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)



Dr. Tarcísio Marcos de Souza Gondim

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Aos meus pais, Mário Evandro e Maria do Socorro, responsáveis pela minha educação e  
formação, DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora de Fátima, por me guiar e proteger, me concedendo saúde, sabedoria e paciência para seguir em frente.

A minha família, meus pais Maria do Socorro e Mário Evandro, e meu irmão Francisco Marcelo, pela minha formação, e pelo apoio.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno, Dra. Nair Helena Castro Arriel, e Dr. Tarcísio Marcos de Souza Gondim, por todo auxílio, orientação, apoio e incentivo na condução desta pesquisa.

A Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Doutorado.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), incluindo as unidades, Embrapa Algodão e Embrapa Agroindústria Tropical, pelo suporte às atividades em campo e nos laboratórios.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA-UFPB) pelos ensinamentos transmitidos e contribuição em minha formação durante o doutorado.

Aos técnicos de campo da Embrapa Algodão, Sebastião Lemos, Washington, Jorge Silva e Juarez Luiz, sou grata por todo auxílio na condução da pesquisa em campo.

Aos responsáveis pelo Laboratório de Físico Química de Alimentos (FSQA-EMPRAPA), Dra. Deborah dos Santos Garruti e Ídila Maria da Silva Araújo, e aos estagiários, Sofia Rodrigues, Yago Silva, Eclenia Dias, Beatriz Dantas e Jamila Louredo, agradeço pela colaboração.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Sementes (LAS-UFPB), Sr. Rui, e Sr. Biu, pela disponibilidade e atenção na realização dos experimentos.

Aos amigos da Pós-Graduação, Arthur Peixe, Bruno Oliveira, Ícaro Fonseca, Jackson Nóbrega, Jean Ferreira, Joana Moura, Rodrigo Nascimento, Romário Figueiredo, Teodoro de Fátima e William Santana. Agradeço a amizade e colaboração, vocês direta ou indiretamente contribuíram na condução e realização deste trabalho, só tenho a agradecer a todos.

A Lucas Kennedy, pela ajuda e incentivo em todas as fases da condução desta pesquisa. Agradeço também por me motivar e acreditar sempre no meu potencial, por toda paciência, atenção, cuidado e carinho, sempre se fazendo presente na minha vida, apesar da distância física.

Aos meus amigos da graduação, pelas palavras de incentivo e energias positivas durante toda essa jornada, tenho imenso carinho por cada um, André Nogueira, Antônio Ageu, Caio

Bezerra, Érica Costa, Francisco Araújo, Marcelo Clementino, Marina Monteiro, Maíra Saldanha, Mário Rógeson, Rafaela Magalhães, Raiza Neves e Tarcísio Hugo.

As amigas de longa data, Kilvia Cristina e Marcia Sousa, agradeço pelo apoio, carinho e atenção.

Aos membros da Banca Examinadora, pela atenção, disponibilidade, observações e contribuições dadas ao trabalho.

**Muito Obrigada!**

*“Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois, o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”  
Josué 1:9*

## RESUMO GERAL

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é considerado uma das espécies oleaginosas mais importantes do mundo. Apesar da importância, a desuniformidade na maturação da cultura ocasiona dificuldade para sua expansão e perdas na colheita. Nesse sentido, os herbicidas surgem como alternativa para dessecação e otimização no processo de colheita. Com isso, o objetivo da pesquisa foi avaliar o potencial de dessecantes a partir da identificação do tipo e época de aplicação do produto na cultura, bem como, o período de colheita em diferentes partes da planta, a fim de avaliar seus efeitos na fisiologia da planta e de suas sementes, componentes de produção e qualidade nutricional de sementes oriundas de duas fases de maturação. Para isso, a cultivar BRS Anahí foi cultivada em condições de sequeiro por dois anos, aplicando-se como dessecantes em pré-colheita glifosato e diuron + paraquat, em duas fenofases (R5 e R7), com três formas de aplicação (pulverização convencional, jato dirigido, testemunha) utilizando-se o delineamento em blocos casualizados. Foram avaliadas as trocas gasosas, eficiência fotoquímica, clorofila a, b e total, fitotoxicidade, componentes de produção, qualidade fisiológica de sementes, composição centesimal e conteúdo de minerais. Os dados foram submetidos a análise multivariada de agrupamento, componentes principais e correlação. Dentre os produtos utilizados, o glifosato causou menor interferência sobre a fisiologia da planta, quando comparado ao diuron + paraquat e proporcionou uma maior produção da cultura e não foram observadas expressivas alterações na composição centesimal e mineral em relação ao controle, promovendo melhorias na uniformidade de dessecação da planta; por outro lado, ambos os produtos prejudicam a qualidade fisiológica das sementes, sendo o glifosato responsável por promover maior fitotoxicidade ao sistema radicular de plântulas de gergelim. O jato dirigido para ambos os produtos na base da planta promove menor fitotoxicidade e é mais eficiente na produção por evitar a abertura das cápsulas e liberação das sementes, e principalmente, por facilitar a colheita mecanizada da cultura e garantir bom potencial fisiológico das sementes, em contrapartida, a aplicação convencional reduz a produtividade e a velocidade de germinação e emergência das plântulas. A aplicação em R7 mostra-se mais eficiente e não interfere na produção, qualidade fisiológica e composição nutricional da semente. A colheita tardia se sobressai e a aplicação feita na parte inferior da planta apresenta resultados mais favoráveis em relação a qualidade fisiológica e composição centesimal das sementes, enquanto na parte superior, verifica-se maior conteúdo de minerais. Dessa forma, com relação a colheita tardia (90-105 dias) para a produção destinada ao consumo, a aplicação do glifosato na fase R7, com o jato dirigido, não altera a composição centesimal e mineral de sementes de gergelim. Com isso, para produção destinada ao consumo a dessecação com glifosato na fase R7, aplicado com o jato dirigido e colheita tardia não altera a composição centesimal e mineral de sementes de gergelim.

**Palavras-chave:** colheita; fotossíntese; minerais; potencial produtivo; *Sesamum indicum*; vigor.

## GENERAL ABSTRACT

Sesame (*Sesamum indicum*) is considered one of the most important oilseed species in the world. Despite the importance, the non-uniformity in the maturation of the crop causes difficulty for its expansion and losses in the harvest, in this sense, herbicides appear as an alternative for desiccation and optimization in the harvesting process. With this, the objective of the research was to evaluate the potential of desiccants from the identification of the type and time of application of the product in the culture, as well as the harvest period in different parts of the plant, in order to evaluate their effects on the physiology of the plant, plant and its seeds, production components and nutritional quality of seeds from two stages of maturation. For this, the cultivar BRS Anahí was cultivated under rainfed conditions for two years, applying glyphosate and diuron + paraquat as desiccants in pre-harvest, in two reproductive periods (R5 and R7), with different forms of application (conventional spraying, directed jet, control) using a randomized block design. Gas exchange, photochemical efficiency, chlorophyll a, b and total, phytotoxicity, production components, physiological seed quality, proximate composition and mineral content were evaluated. Data were subjected to multivariate analysis of clustering, principal components and correlation. Among the products used, glyphosate caused less interference on the physiology of the plant and provided a greater production of the culture and there were no expressive changes in the centesimal and mineral composition in relation to the control, promoting improvements in the uniformity of desiccation of the plant, on the other hand. On the other hand, both products impair the physiological quality of the seeds, and glyphosate is responsible for promoting greater phytotoxicity to the root system of sesame seedlings. The jet directed, for both products, at the base of the plant promotes less phytotoxicity and is more efficient in production by avoiding the opening of the capsules and seed release, and mainly by facilitating the mechanized harvest of the culture and guaranteeing good physiological potential of the seeds, in contrast, the conventional application. reduces the productivity and speed of germination and emergence of seedlings. The application in R7 is more efficient and does not interfere with the production and physiological quality and nutritional composition of the seed. The late harvest stands out in relation to the early harvest and the lower part of the plant presents more favorable results in relation to the physiological quality and proximate composition of the seeds, while the upper part has a higher mineral content. Thus, with regard to late harvest (90-105 days) for grain production, the application of glyphosate in the R7 phase, with the directed jet, does not change the centesimal and mineral composition of sesame seeds. In conclusion, for grain production, desiccation with glyphosate in the R7 phase, applied with the directed jet and late harvest is recommended, as it does not change the proximate and mineral composition of sesame seeds.

**Key-words:** harvest; photosynthesis; minerals; productive potential; *Sesamum indicum*; vigor.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CAPÍTULO I

Figura 1 – Dados de precipitação referente aos meses de cultivo da cultura do gergelim em dois anos no município de Alagoinha-Paraíba, Brasil.....	38
Figura 2 – Atributos fisiológicos e pigmentos fotossintetizantes de plantas de gergelim submetidas a diferentes desseccantes, formas de aplicação e períodos de colheita avaliados no primeiro ano.....	44
Figura 3 – Atributos fisiológicos e pigmentos fotossintetizantes de plantas de gergelim submetidas a diferentes desseccantes, formas de aplicação e estágios fenológicos avaliados no segundo ano. ....	48

### CAPÍTULO II

Figura 1 – Dados biométricos e de produção de gergelim no primeiro ano. A: Heatmap para os 48 tratamentos em função dos sete caracteres de componentes de produção; B-G: box plot considerando a produtividade de primeira e segunda colheita. ....	56
Figura 2 – Box plot para dados do primeiro ano gerado a partir dos grupos formados na análise de Cluster para os caracteres biométricos e de produção do gergelim submetido a diferentes desseccantes, métodos, períodos, colheita e parte da planta. ....	57
Figura 3 – Dados biométricos e de produção de gergelim no segundo ano. ....	59
Figura 4 – Box plot do segundo ano gerado a partir dos grupos formados na análise de Cluster para os caracteres biométricos e de produção do gergelim submetido a diferentes desseccantes, métodos, períodos, colheita e parte da planta. ....	63

### CAPÍTULO III

Figura 1 – Dados referentes aos meses de cultivo nos dois anos de cultivos no município de Alagoinha-Paraíba, Brasil.....	70
Figura 2 – Teor de água (%) das sementes de gergelim em função da aplicação de desseccantes, período de aplicação, colheita e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior) no primeiro ano.....	77
Figura 3 – Qualidade fisiológica de sementes de gergelim em função do desseccante, período de aplicação, colheita e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior) no primeiro ano. ....	78
Figura 4 – Qualidade fisiológica das sementes de gergelim, colhidas no primeiro ano em função dos grupos formados na análise de agrupamento. ....	80
Figura 5 – Teste de envelhecimento acelerado conduzido em sementes de gergelim provenientes do primeiro ano de colheita.....	80
Figura 6 – Teor de água (%) no segundo ano das sementes de gergelim em função da aplicação de desseccantes, período de aplicação, colheita e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior).....	83

Figura 7 – Qualidade fisiológica de sementes de gergelim oriundas do segundo ano do experimento. ....	824
Figura 8 – Qualidade fisiológica das sementes de gergelim, colhidas no segundo ano em função dos grupos formados na análise de agrupamento. ....	85
Figura 9 – Teste de envelhecimento acelerado conduzido em sementes de gergelim provenientes do segundo ano de colheita .....	87

#### **CAPÍTULO IV**

Figura 1 – Composição centesimal de sementes de gergelim em função do dessecante, período de aplicação e colheita (antecipada e tardia) e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior). ....	104
Figura 2 – Composição centesimal de sementes de gergelim em função do dessecante, período de aplicação e colheita (antecipada e tardia) e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior). ....	105
Figura 3 – Minerais em sementes de gergelim em função do dessecante, período de aplicação e colheita (antecipada e tardia) e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior). ....	106
Figura 4 – Box plot gerado a partir dos grupos formados na análise de Cluster para os minerais extraídos em sementes de gergelim oriundas de plantas submetidas a diferentes dessecantes, métodos, períodos de aplicação, colheita e parte da planta. ....	107
Figura 5 – Minerais de sementes de gergelim em função do dessecante, período de aplicação e colheita (antecipada e tardia) e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior)... ..	108

## **LISTA DE TABELAS**

### **CAPÍTULO I**

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados na cultura do Gergelim BRS Anahí durante dois anos. ....	40
Tabela 2 – Escala de notas visuais (EWRC, 1964) para avaliação da intensidade de fitotoxidez causada por produtos dessecantes, em função dos níveis e características dos sintomas nas plantas.....	391

### **CAPÍTULO III**

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados na cultura do Gergelim BRS Anahí durante dois anos. ....	702
--	-----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Histórico da cultura .....	17
2.2 Características morfológicas.....	17
2.3 Produção .....	18
2.4 Utilidades da cultura.....	19
2.5 A técnica da dessecação artificial.....	21
2.6 Época de colheita.....	22
2.7 Qualidade fisiológica de sementes .....	23
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>27</b>
<b>3 CAPÍTULO I - TROCAS GASOSAS E PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS DE PLANTAS DE GERGELIM SOB A APLICAÇÃO DE DESSECANTES .....</b>	<b>33</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>33</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
3.2.1 Local do estudo e condições experimentais .....	36
3.2.2 Delineamento experimental em campo .....	37
3.2.3 Cultivar utilizada e manejo.....	37
3.2.4 Aplicação dos dessecentes.....	38
3.2.5 Análise de fitotoxicidade .....	39
3.2.6 Análises fisiológicas .....	39
3.2.7 Análise estatística .....	40
<b>3.3 RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
3.3.1 Primeiro ano .....	41
3.3.2 Segundo ano .....	43
<b>3.4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>3.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>
<b>4 CAPÍTULO II - COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO GERGELIM SUBMETIDO A DESSECAÇÃO EM DUAS FENOFASES DO ESTÁDIO REPRODUTIVO .....</b>	<b>49</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>49</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>50</b>

<b>4.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
4.2.1 Local do estudo e condições experimentais .....	52
4.2.2 Delineamento Experimental .....	52
4.2.3 Caracteres produtivos .....	52
4.2.4 Análise estatística .....	53
<b>4.3 RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
4.3.1 Primeiro ano .....	53
4.3.2 Segundo ano .....	55
<b>4.4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>4.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>
<b>5 CAPÍTULO III - QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES OBTIDAS DE PLANTAS DE GERGELIM DESSECADAS EM DUAS FASES DE MATURAÇÃO ...</b>	<b>64</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>64</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>65</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>67</b>
5.2.1 Condições experimentais em campo .....	67
5.2.2 Material vegetal e manejo no campo.....	68
5.2.3 Aplicação dos tratamentos.....	69
5.2.4 Delineamento experimental em campo .....	71
5.2.5 Colheita e beneficiamento das sementes .....	71
5.2.6 Instalação e condução do experimento em laboratório .....	71
5.2.7 Variáveis avaliadas .....	72
5.2.8 Delineamento experimental e análise estatística .....	74
<b>5.3 RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
5.3.1 Primeiro ano .....	74
5.3.2 Segundo ano .....	80
<b>5.4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>85</b>
<b>5.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>91</b>
<b>6 CAPÍTULO IV - COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DA SEMENTE DE GERGELIM OBTIDA DE PLANTAS DESSECADAS EM DUAS FASES DE MATURAÇÃO .....</b>	<b>95</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>95</b>
<b>6.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>97</b>

<b>6.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>97</b>
6.2.1 Local do estudo e condições experimentais .....	97
6.2.2 Delineamento experimental em campo .....	98
6.2.3 Colheita e beneficiamento das sementes .....	98
6.2.4 Instalação e condução em laboratório .....	98
2.5 Variáveis avaliadas .....	98
2.6 Análise estatística .....	99
<b>6.3 RESULTADOS .....</b>	<b>100</b>
<b>6.4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>105</b>
<b>6.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) pertencente à família Pedaliaceae, se destaca entre as principais oleaginosas. O principal produto são suas sementes que podem ser consumidas naturalmente ou incorporadas como ingredientes em vários produtos alimentícios. Atualmente, existe uma forte conscientização dos benefícios à saúde provenientes do consumo de óleo e sementes de gergelim, incluindo efeitos hipocolesterolêmicos, anti-inflamatórios e antimutagênicos (CHEN et al., 2005; LAZAROU et al., 2007). Além disso, o consumo de gergelim tem sido associado à redução do risco de doenças cardiovasculares, aterosclerose e relacionadas ao estresse oxidativo (GOUVEIA, 2016).

No Brasil, a exploração do grão e óleo do gergelim tem um mercado crescente, (QUEIROGA et al., 2010). Com o aumento da demanda pelos produtos processados com esta oleaginosa, há uma busca por cultivares mais produtivas que estão diretamente associadas ao potencial genético e fisiológico das sementes e principalmente, pelo manejo de produção e técnicas para colheita. O gergelim representa uma alternativa na diversificação de culturas que tem por finalidade de aumentar a oferta de espécies usadas no sistema produtivo e como complemento na fonte de renda para os produtores do Nordeste brasileiro, por apresentar tolerância as condições edafoclimáticas da Região semiárida (SILVA et al., 2016). No entanto, a expansão de cultivos em grandes áreas no Cerrado brasileiro faz da cultura um importante componente nos sistemas de rotação e/ou sucessão de cultivos nessa região agrícola.

A característica da deiscência dos frutos é um dos principais fatores que elevam as perdas da produção do gergelim. A cultura apresenta desuniformidade na maturação dos frutos que causam a queda das sementes no solo antes do início do processo de colheita, o que ocasiona prejuízos econômicos. Além disso, as colheitas parceladas oneram o custo de produção e são inviáveis em grandes áreas por não ter como selecionar o estágio de maturação (QUEIROGA et al., 2009; PORTO et al., 2013; GUPTA et al., 2015). A utilização de desseccantes, portanto, pode se tornar uma estratégia eficiente para uniformizar o processo de secagem da planta e a posterior colheita antes da abertura dos frutos (PORTO et al., 2013; GUPTA et al., 2015).

Além da necessidade de um adequado processo de maturação, os campos de produção estão susceptíveis a vários fatores que influenciam na qualidade final das sementes (MATTIONI et al., 2013). O elevado grau de umidade é um deles, e pode acelerar o processo natural de deterioração das sementes, pelo início da atividade metabólica do embrião e pela consequente perda rápida da capacidade de germinação e vigor (LIMA et al., 2014). Nesse

sentido, a prática de dessecação em pré-colheita, o produto aplicado e o adequado momento da aplicação podem interferir no potencial fisiológico das sementes (KRENCHINSKI et al., 2017).

As diferentes culturas respondem de forma particular a utilização de produtos desseccantes. Diante da utilização dos herbicidas, a planta passa por alterações morfo-fisiológicas, afetando a taxa fotossintética, os teores de clorofila e promovendo fitotoxidez. Tais consequências são bastante variáveis em razão da sensibilidade da cultivar, intensidade de sintomas em virtude da formulação e concentração do produto, volume de calda aplicado, doses e adjuvantes; além da nutrição da planta e condições climáticas (VARSHNEY et al., 2012; ARALDI et al. 2015; PIRES, 2017).

Além das condições de manejo, informações a respeito da qualidade nutricional do gergelim, sob o manejo de desseccantes, são necessárias pela escassez de estudos que abordem a composição mineral dos alimentos. Esse conhecimento é essencial para definir taxas de consumo, determinar a rotulagem nutricional e servir de parâmetro para balancear a dieta alimentar de pessoas de diferentes grupos etários (FREITAS et al., 2018).

Nesse contexto, a presente pesquisa objetivou avaliar a fisiologia e os componentes de produção de plantas de gergelim, assim como a qualidade nutricional e fisiológica de suas sementes em função do uso de desseccantes aplicados em épocas e direcionamentos distintos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Histórico da cultura

Acredita-se que a cultura do gergelim surgiu no continente africano onde a maioria das espécies silvestres do gênero *Sesamum* foi encontrada, sendo, posteriormente, introduzida na Índia, onde foram relatados indícios de uso agrícola a partir de escavações em Harappa (3600-1750 a. C), onde era cultivado pela Civilização do Vale do Indo e se difundiu pelo Ocidente na Ásia, China e Japão (BELTRÃO; VIEIRA, 2001; ASHRI 2007; ZHANG et al., 2013; LIMA et al., 2013). Na atualidade, é cultivado em mais de 70 países incluindo 26 e 24 países da África e Ásia, respectivamente (AMJAD, 2014).

A planta de gergelim é designada conforme o local em que é cultivada, sendo conhecida por diversos nomes, a forma mais popular em que é chamada mundialmente é de “Sésamo”, na África Ocidental é conhecida como “Benniseed”, na África Oriental de “Simsim” e na Índia de “Até” (WARRA, 2011). O gergelim é conhecido, também, como “Hu ma” na China, “Til” na Índia, “Sesame” na França, “Goma” no Japão, “Ajonjoli” na Espanha e “Gergelim” no Brasil. E, ainda é chamado de “Rainha das sementes oleaginosas” por fornecer matéria-prima de qualidade para diversos produtos (BHALODIYA et al., 2019).

A espécie foi mencionada nas primeiras lendas hindus, com destaque para uma lenda assíria onde aborda que os deuses quando se encontraram para criar o mundo, beberam vinho produzido a partir de sementes de gergelim e que elas representavam um símbolo de imortalidade (ANILAKUMAR et al., 2010).

Considerada uma das oleaginosas mais importantes do mundo é mais comumente cultivada em locais tropicais secos e regiões subtropicais, a exemplo de Mianmar, Índia, China e África (PHUMICHAJ et al., 2017). No Brasil, o gergelim foi introduzido pelos portugueses durante o século XVI a partir da região Nordeste, onde obteve boa adaptação às condições edafoclimáticas (ARRIEL, 2005; ARRIEL, 2007).

Apesar de ser uma cultura que tem menos expressividade quando comparada às tradicionais culturas produtoras de grãos, o gergelim, destaca-se em algumas regiões do Brasil como opção de diversificação, principal mente em segunda safra, como opção de diversificação (FIORESE et al., 2020).

### 2.2 Características morfológicas

O gergelim é uma planta herbácea pertencente à classe Magnoliopsida, ordem Lamiales, família Pedaliaceae, gênero *Sesamum* (ARRIEL et. al., 2007; ZHANG et al., 2013), com

número cromossômico  $2n = 2x = 26$  (ZHANG et al., 2013). A família Pedaliaceae, possui 36 espécies, estas estão localizadas na África Oriental e na Índia (NAYAR e MEHRA 1970; ASHRI 2007); sendo a espécie *S. indicum*, a única cultivada comercialmente.

*Sesamum indicum* L é cultivado principalmente na África, China, Índia e América do Sul (OYINLOYE et al., 2016). No entanto, esta espécie possui variedades cultivadas em vários outros países como nos EUA, Índia, Rússia, Quênia, China e Coreia do Sul e, em menor quantidade, no Japão, constituindo um valioso conjunto de genes de gergelim (KAFIRITI, 2013).

De ciclo anual ou perene, o gergelim possui caule herbáceo e ereto, ramificado ou não, com ou sem pilosidade, altura variável de 0,5 m a 3,0 m, de coloração verde clara ou escura e sistema radicular pivotante (BELTRÃO e VIEIRA, 2001). As folhas são simples e completas com nervação penínérvea e o limbo de textura semi-coriáceo, com formato ovado a lanceolado e ápice acuminado a agudo, com filotaxia oposta, sub-oposta e/ou alterna. Possui formação abundante de flores, completas, axilares, bilaterais e gamopétalas pilosas, hermafroditas, variando de 1 a 3 por axila foliar, de cor branca, rósea ou vermelhas, cada uma origina um fruto que contém de 40 a 50 sementes (BELTRÃO e VIEIRA, 2001; VASCONCELOS et al., 2011; BELTRÃO et al., 2013, FRANCIS, 2013).

O fruto é uma cápsula alongada, pilosa, deiscente ou indeiscente, dependendo da variedade, variando de 2 a 8 cm de comprimento e 0,5 a 2 cm de diâmetro. Possui cápsulas longas e densas que estão associadas ao alto rendimento de sementes (YOL et al., 2017). As sementes são pequenas, com peso médio de 1000 sementes entre 2 a 4g. A coloração dessas sementes pode variar entre branca, marrom, verde-oliva, amarela e preta (VASCONCELOS et al., 2011; BELTRÃO et al., 2013).

Regulada por dois genes a cor das sementes é considerada marcador de evolução no gênero *Sesamum* e importante característica agrônômica que pode estar associada, entre os acessos de gergelim, às propriedades bioquímicas das sementes, ao conteúdo e atividade antioxidante e, também, ao nível de resistência à doenças (ZHANG et al., 2012; ZHANG et al., 2013).

### 2.3 Produção

A Produção global registrada para o gergelim é de 6.015,573 toneladas por ano, em área plantada de 11.743,382 ha, onde ela se concentra em 54,9% na Ásia; 40,8% na África e 4,3% nas Américas (FAOSTAT, 2018). Os cinco principais produtores contam com aproximadamente 70% da produção global (NAYYAR et al., 2018).

A Índia ocupa a primeira posição em relação à área total e produção de variedades de oleaginosas, sendo o gergelim uma das mais antigas e importantes culturas oleaginosas cultivadas juntamente com o amendoim e a mostarda (WARRA 2011).

No Brasil, a área estimada de gergelim na safra de 21/22 é de 117 mil hectares. Considerada uma boa alternativa para a segunda safra, a cultura do gergelim está crescendo como alternativa após o término da semeadura do milho. Mato Grosso é o estado com maior produção, e atende com 80% do plantio em todo o Brasil. Além de Mato Grosso e o Pará, o Tocantins tem se apresentado como nova fronteira agrícola para o gergelim o que pode ser atribuído a características da cultura por exibir resistência a estiagem e alta rentabilidade, o que tem despertado interesse dos produtores. Estima-se que a produtividade média de 523 kg/ha, deverá resultar em 61,6 mil toneladas de gergelim (CONAB, 2022).

Na Região Centro-Sul, a exploração ocorre em localidades com precipitação média superior a 500mm e altitude de 180 a 722m, o que pode ocasionar rendimentos médios até 3 vezes superiores em relação a outros países produtores da cultura (ARRIEL et al., 2009). Na região Nordeste, é cultivada praticamente por pequenos produtores, com elevada dependência de mão-de-obra familiar nos períodos de semeadura, desbaste e colheita/beneficiamento atribuído ao escasso uso de tecnologias para otimização do trabalho no campo (QUEIROGA e SILVA, 2008).

#### 2.4 Utilidades da cultura

A cultura exibe várias propriedades farmacológicas; estudos são conduzidos no sentido de explorar suas funções medicinais. Há evidências experimentais que seus ingredientes ativos, sesamina, sesamol que é precursor do sesamol possuem propriedades hepatoprotetoras, hipoglicêmicas, anti-hipertensivas e propriedades anti-câncer (MAJDALAWIEH et al., 2017).

A sesamina é uma lignana solúvel em gordura do tipo furofurano, encontrada em cerca de 30 plantas diferentes pertencentes a diferentes gêneros, dentre elas o *Sesamum* (DAR e ARUMUGAM, 2013, STEWART et al., 2016). A espécie serve como a principal fonte vegetal para a aquisição de grandes quantidades de sesamina, um composto bioativo (ANILAKUMA et al., 2010) que age de diversas formas. Dentre as ações benéficas foi demonstrado que, a sesamina e o óleo de gergelim como moduladores da homeostase do colesterol dos macrófagos, um evento importante na aterogênese, levando à ação antiaterogênica (MAJDALAWIEH e RO, 2014). Além disso, protege o fígado de dano oxidativo (ANILAKUMA et al., 2010).

Do mesmo modo, o sesamol também tem potencial terapêutico, atuando como um regulador metabólico de efeitos antioxidante, antimutagênico, anti-hepatotóxico, anti-

inflamatório, antienvelhecimento, quimiopreventivo e anticancerígeno (NAYAK et al., 2013; SIRIWARIN e WEERAPREEYAKUL, 2016).

Apesar de pouco explorada no estudo da espécie, as folhas também possuem grande potencial, onde a extração de fito-biomoléculas de folhas de gergelim mostra propriedades que incluem a eliminação de radicais livres, quelante de ferro e peroxidação lipídica (SARMA et al., 2019). Por outro lado, o grande destaque são as sementes de gergelim, onde foram identificados na sua composição, flavonoides que atuam como antioxidantes, possuem efeitos antibacterianos, antifúngicos, antivirais e anti-inflamatórios (ANILAKUMAR et al., 2010; ZHOU et al., 2017).

O gergelim também pode ser explorado para obtenção de biocombustíveis. No Brasil, a Companhia Nacional de Petróleo Brasileiro, SA (Petrobras) tem média de produção de 200.000 barris por dia (USEIA, 2020). Devido a intensa exploração de combustíveis fósseis, teme-se que, em um futuro próximo, haja uma possível crise energética (QURESHI et al., 2016). Diante desse cenário, busca-se soluções na matriz energética em combustíveis alternativos, materiais a base de plantas são um recurso para a produção de bioetanol, biodiesel e o biogás a partir de diferentes resíduos vegetais da planta (PAUL e DUTTA, 2018, HSU et al., 2018).

Considerando a importância de combustíveis originados de fontes renováveis, a cultura do gergelim é bastante promissora pois possui elevado conteúdo de material lenhocelulósico, que pode ser utilizado para produzir biocombustíveis como o bioetanol após processo de hidrólise e disponibilidade de açúcares para leveduras fermentativas (KUMAR et al., 2019). Além disso, possui potencial para obtenção de biodiesel, obtido através do óleo de gergelim que contém alta estabilidade à oxidação em comparação ao biodiesel obtido de outros óleos vegetais, em função da presença de substâncias conhecidas como lignanas, como sesamina, sesamolina e sesamol (SAYDUT et al., 2008; ROSTAMI et al., 2014).

A semente de gergelim produz 46 a 50% de óleo, esses valores são superiores aos relatados para as principais matérias-primas utilizadas no Brasil para a produção de biodiesel, como algodão e soja, com extração média de 30% e 15% de óleo, respectivamente (FARIA et al., 2013; MILAZZO et al., 2013). Na composição de óleo de gergelim, estão presentes ácidos graxos como ácido linoleico, com maior porcentagem na composição (42,9-54,0%), oleico (31,6-42%), palmítico (7,2-9,7%) e esteárico (3,8-5,6%), que correspondem a aproximadamente 98% do óleo vegetal bruto (ARRUDA et al., 2016).

O óleo é rico em ácidos graxos mono e poli insaturados, utilizado como matéria prima para produção de margarina, cosméticos, perfumes, óleos de banho, inseticidas, tintas e produtos farmacêuticos, produtos de panificação e confeitaria, suas sementes e folhas jovens

são consumidas como ensopados e usados para confeccionar sabões na Ásia (GRUBBEN e DENTON 2004; RANGKADILOK et al., 2010).

## 2.5 A técnica da dessecação artificial

O sistema de cultivo do gergelim varia em função das práticas agropecuárias adotadas desde a semeadura até a colheita e o beneficiamento, assim o nível de tecnologias e práticas adotadas poderão promover incrementos e melhorias na produtividade da lavoura (FIORESE et al., 2020). Dentre as práticas de manejo dessa cultura, estudos para avaliar o uso de desseccantes químicos no gergelim ainda são incipientes.

A prática da dessecação em culturas tem o objetivo de uniformizar as plantas com haste verde ou retenção foliar (EMBRAPA, 2005). O uso de herbicidas/desseccantes antecipa o processo de colheita minimizando a deterioração de sementes, já que um maior período exposição no campo acarreta a perda da qualidade fisiológica e conseqüentemente afeta o vigor, em função dos altos índices de temperatura e umidade em que são submetidas (GARCIA et al., 2004).

Dentre as vantagens de se utilizar a dessecação da cultura através de produtos químicos, está também o controle de plantas daninhas remanescentes no campo, o planejamento e a maior eficiência do processo de colheita (MARCOS-FILHO, 2015). Deve-se considerar o modo de ação do herbicida, a fenologia da planta, condição ambiental, velocidade do vento durante a aplicação do herbicida e eventuais efeitos no produto final (LACERDA et al., 2005).

Nesse sentido, o processo de dessecação química por aplicação de herbicidas é uma técnica para retardar a colheita das culturas (MALALGODA et al., 2020). Um dos herbicidas mais utilizados para a dessecação química é o glifosato [N-(phosphonomethyl) glycine], pertencente ao grupo químico dos aminoácidos fosfonados, caracterizado como um produto de ação sistêmica pós-emergente não seletivo de amplo espectro, absorvido na planta através de suas folhas e dos caulículos novos (AMARANTE JUNIOR e SANTOS, 2002; COUTINHO e MAZO, 2005).

Outro herbicida conhecido no mercado e aplicado para dessecação nas culturas é o Diuron + paraquat (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridium + 3-[3,4-dichlorophenyl]-1,1-dimethylurea), pertencente ao grupo químico dos bipyridílio + dimetilureia, com ação de contato, não seletivo de pós-emergência (MARTINS, 2013).

O êxito na aplicação de desseccantes depende de estudos sobre a relação entre cultivares e produtos para se averiguar o princípio ativo, estágio e tipo de aplicação na planta que influenciam de forma direta e indireta no modo de ação, na produtividade e qualidade de

sementes (PEREIRA et al., 2015). Resultados contrastantes são reportados na literatura sobre a dessecação química precoce influenciando desde os componentes de produção até a qualidade de sementes (GUIMARÃES et al., 2012; LAMEGO et al., 2013).

O uso de dessecantes é realizado para retardar a colheita em diversas culturas como Feijão caupi (RAISSE, 2019), Feijão fava (JILANI et al., 2012), Soja (LACERDA et al., 2001), Canola (ALBRECHT et al., 2013), Trigo (MALALGODA et al., 2020) e Arroz (BOND e BOLLICH, 2007), prática adotada para obter maior eficiência nas máquinas colhedoras, controle de plantas daninhas que prejudicam a colheita e a redução dos danos oriundos de pragas e fungos que possam acometer as culturas no final do ciclo (RAISSE, 2019).

Atualmente no Brasil, a plataforma Agrofitec pertencente ao Ministério da Cultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), fornece informações sobre diversos tipos de agroquímicos recomendados para as culturas agrícolas, no entanto, não existe, até o momento produtos herbicidas dessecantes registrados para a cultura do gergelim e pesquisas sobre forma de aplicação e que visem o estágio ideal, com umidade adequada, para realização da colheita sem ocasionar perdas excessivas, em função da deiscência na cultura do gergelim e mantendo a qualidade fisiológica das sementes.

## 2.6 Época de colheita

O processo da colheita é a etapa mais importante para garantir melhor rendimento final do sistema produtivo (FIORESE et al., 2020). Para se determinar de forma adequada a época da colheita, características externas de frutos são adotadas como bons indicadores, como a coloração, tamanho e textura (CARRASCO, 2003). Na cultura do gergelim essa determinação não é fácil pois a maturação ocorre de forma desigual na planta, e as variações surgem em função da posição do fruto na planta (NOGUEIRA FILHO et al., 2017).

O estudo do processo de maturação das sementes é fundamental para se determinar o ponto ideal da colheita, assegurando boa produção e elevada qualidade fisiológica (NOGUEIRA et al., 2013). É um processo resultante de alterações morfológicas, fisiológicas e funcionais que ocorrem desde a fertilização do óvulo até maturidade estando aptas para serem colhidas, leva-se em consideração características de natureza física e fisiológica, tais como: dimensões, teor de água, massa seca, germinação e vigor (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

A maturidade inicia-se a partir da parte inferior da planta, sendo os frutos localizados próximos a base do caule, os primeiros a iniciar a abertura natural das cápsulas e liberar as sementes, por conseguinte os frutos próximos ao ápice são os que abrem posteriormente, com

maturação mais tardia (QUEIROGA et al., 2009). Geralmente, o retardamento da colheita após a maturação, caracteriza-se como uma das principais causas da redução da germinação e do vigor das sementes (SEDYAMA, 2013).

Na maturidade fisiológica, as sementes deixam de receber nutrientes e compostos fotoassimilados, ocorrendo em momento similar ao ponto máximo de potencial fisiológico, entretanto, não se pode considerar o momento ideal da colheita em virtude da elevada umidade (em torno de 40%) que pode ocasionar problemas (MARCOS-FILHO, 2015; CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

O plantio do gergelim exige planejamento principalmente em regiões que passam por períodos chuvosos mais extensos a fim de não prejudicar a maturação dos frutos e conseqüentemente o rendimento da cultura, para cultivares com ciclo mais precoce (noventa dias) a sementeira deve ocorrer no início dos três últimos meses do período chuvoso (ARRIEL et al., 2006).

## 2.7 Qualidade fisiológica de sementes

A obtenção de sementes de qualidade é de extrema importância para o processo produtivo das culturas. Essa qualidade está relacionada com o manuseio realizado no cultivo (KRENCHINSKI et al., 2017). As sementes são insumos responsáveis por levar ao produtor características desejáveis e potencial genético a partir de uma cultivar a fim de se obter sucesso na implantação da cultura e na produtividade (VIEIRA, 2007).

A origem das sementes pode influenciar a germinação e, por conseguinte, a plântula resultante. Com isso, os campos de produção estão susceptíveis a vários fatores que interferem na qualidade final das sementes produzidas (MATTIONI et al., 2013), podendo ocorrer durante todo o processo produtivo, a exemplo de fatores ambientais (temperatura, umidade relativa do ar), precipitações pluviométricas irregulares, ataques de pragas ou surgimento de doenças (SILVA et al., 2016).

Além disso, o manejo empregado no campo, durante a colheita, secagem, o processamento, armazenamento e na sementeira, constituem etapas de grande importância, sendo necessário colher as sementes no ponto de maturidade fisiológica e adequado grau de umidade, para evitar danos e a deterioração das sementes (VIEIRA, 2007; LACERDA, 2007). Nesse sentido, a prática de dessecação em pré-colheita, juntamente com o produto aplicado e momento da aplicação podem interferir no potencial fisiológico das sementes (KRENCHINSKI et al., 2017).

Sementes colhidas com grau de umidade inadequado podem apresentar a ocorrência de aceleração dos processos naturais de degeneração, com isso, as sementes perdem rapidamente seu vigor e capacidade de germinação (LIMA et al., 2014).

A partir dos testes de germinação e vigor é possível avaliar o potencial fisiológico das sementes, obtendo-se a máxima qualidade (HÖLBIG et al., 2013). Posteriormente, quando há possíveis semelhanças entre os resultados de germinação, os testes de vigor oferecem informações adicionais aquelas já obtidas (JESUS et al., 2015; NOGUEIRA FILHO et al., 2017).

Empresas produtoras de sementes executam testes de germinação e vigor como parte do controle interno de qualidade, utilizando-se de normas que são indispensáveis para garantir a qualidade do lote a fim de determinar o potencial de desempenho em campo (GRZYBOWSKI et al., 2015). Diversos estudos já foram conduzidos na cultura da soja que com a finalidade de avaliar o efeito do uso de dessecantes à qualidade fisiológica de sementes (DALTRO et al., 2010; MARCANDALLI et al., 2011; SANTOS et al., 2018).

### Fenologia da cultura

<b>Fases fenológicas da Cultura do gergelim</b>			
<b>Fase vegetativa</b>		<b>Fase reprodutiva</b>	
V0	Cotilédones acima da superfície do solo	R1 Início da floração	Botão floral de 0,5 cm em qualquer terceiro nó
V1	Folhas totalmente formadas no primeiro nó. O entrenó anterior com comprimento maior ou igual a 0,5 cm	R2 Primeira flor	Primeira flor branca em qualquer terceiro nó
V2	Folhas totalmente formadas no segundo nó da haste principal	R3 Início da formação, crescimento da capsula e floração completa	Aparecimento das primeiras capsulas com comprimento maior ou igual a 0,5 cm e crescendo em qualquer nó. Flores abertas maiores ou a 90%
Vn	Número de nós da haste principal com folhas totalmente desenvolvidas ou cicatriz na haste principal ou capsulas desenvolvidas na haste principal	R4 Capsulas verdes	Capsulas que atingiram seu comprimento máximo em qualquer nó dos três terços da planta
		R5 Início da maturação	Queda das folhas do terço inferior e aparecimento das

		primeiras mudanças de cor da planta (amarelecimento ascendente)
	R6	Queda das folhas inferiores e primeira mudança de coloração da planta
	R7 Corte de maturidade	Abertura incipiente das capsulas do terço inferior e médio, desfolha e alteração da coloração da planta e capsulas



## REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L. P.; KRENCHINSKI, F. H.; PLACIDO, H. F.; BOMM, M. A. R.; KUNZ, V. L.; KORBER, A. H. C.; BIELER, R. R. Canola desiccation at different stages of pods maturation. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p.143-150, 2013.
- AMJAD, M. Oilseed crops of Pakistan. 2014. Plant Sciences Division, Pakistan Agricultural Research Council, Islamabad. [http://www.parc.gov.pk/files/parc\\_pk/January-15/Status%20Papers/Status%20Paper%20\(Oilseed%20Crops\)%202014.pdf](http://www.parc.gov.pk/files/parc_pk/January-15/Status%20Papers/Status%20Paper%20(Oilseed%20Crops)%202014.pdf).
- ANILAKUMAR, K. R.; PAL, A.; KHANUM, F.; BAWA, A. S. Nutritional, Medicinal and Industrial Uses of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seeds - An Overview. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 75, n.4, p.159-168, 2010.
- ARALDI, R.; CORNIANI, N.; TROPALDI, L.; GIROTTI, M.; BELAPART, D.; SIMÕES, P.S.; VELINI, E.D. Chlorophyll fluorescence in guanandi tree (*Calophyllum brasiliense*) after herbicide application. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 77-82, 2015.
- ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P.T.; BELTRÃO, N. E. M.; SOERES J. J. V.; ARAÚJO A E.; SILVA A.C; FERREIRA G. B. A cultura do gergelim. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2007. 72p (coleção plantar, 50).
- ARRIEL, N. H. C.; MAURO, A. O. D.; MAURO, S. M. Z. D.; BAKKE, O. A.; UNÊDATREVISOLI, S. H.; COSTA, M. M.; CAPELOTO, A.; CORRADO, A.R. Técnicas multivariadas na determinação da diversidade genética em gergelim usando marcadores RAPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.801-809, 2006.
- ARRUDA, T. B. M. G.; RODRIGUES, F. E. A.; ARRUDA, D. T. D.; RICARDO, N. M. P. S.; DANTAS, M. B.; ARAÚJO, K. C. Chromatography, spectroscopy and thermal analysis of oil and biodiesel of sesame (*Sesamum indicum*) – An alternative for the Brazilian Northeast
- ASHRI, A. em: RJ Singh (Ed.), Recursos genéticos, engenharia de cromossomos e melhoria de culturas. Vol. 4: Culturas de oleaginosas, CRC Press, Boca Raton (FL, EUA), 2007, p.231–289.
- ASHRI, A. Sesame (*Sesamum indicum* L.). In: R. J. Singh, (Ed.) Genetic Resources, 9 Chromosomes Engineering, and Crop Improvement. Vol. 4: Oilseed Crops. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. 2007, p. 231–10 289.
- BELTRÃO, N. E. M.; FERREIRA, L. L.; QUEIROZ, N. L.; TAVARES, M. S.; ROCHA, M. S.; ALENCAR, R. D.; PORTO, V. C. N. (Organizadores). – Natal: IFRN, 2013. 225p. : il. O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro. 2013.
- BHALODIYA, D.; DHADUK, H. K. L.; KUMAR, S.; GEDIYA, L. N.; PATEL, H. P. Line x tester analysis for seed yield, protein and oil content and SSR based diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.). **Ecological Genetics and Genomics**, v.13, p.1-8, 2019.
- CARRASCO, P. G. **Produção de mudas de espécies florestais de restinga, com base em estudos florísticos e fitossociológicos, visando a recuperação de áreas degradadas em Ilha Comprida – SP**. 2003. 187 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas).
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5.ed. FUNEP: Jaboticabal, 2012. 590p.

CHEN, P.R.; CHIEN, K.L.; SU, T.C.; CHANG, C.J.; LIU, T.L.; CHENG, H.; TSAI, C. Dietary sesame reduces serum cholesterol and enhances antioxidant capacity in hypercholesterolemia. **Nutrition Research**, v.25, p.559-567, 2005.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 7 - Safra 2019/20 - Oitavo levantamento, Brasília, p. 1-66, maio 2020.

DALTRO, E. M. F.; ALBUQUERQUE, A. C. F.; FRANÇA NETO, J. B.; GUIMARÃES, S. C.; GAZZIERO, D. L. P.; HENNING, A. A. Aplicação de dessecantes em pré-colheita: efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n.1, p.111-122, 2010.

EMBRAPA SOJA. Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil, Fundação Meridional, 242p. (Embrapa Soja. Sistema de Produção, 6) 2005.

FARIA, G.M.P.; OLIVEIRA, M.S.; CARVALHO, L.P.; CRUZ, C. D. Ganhos da seleção para óleo conteúdo em algodão. **Indian Culture Products**. 51, 370-75, 2013.

FIGLIARELLI, D. A.; MACHADO, T. M.; PELEGRIN, J. H. B.; CERVO, F. M.; RAMOS, A. C. M.; PEREIRA, A. E. S. Perdas na colheita do gergelim. **Agriworld**, v. 11, n.1, p. 42-49, 2020.

FREITAS, M. N.; BARROS, M. E. S; FIRMINO, P. T.; ARRIEL N. H. C. Composição química de três variedades de gergelim – Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria. Tropical, ISSN 1679-6543; 160.

GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. A Secagem de Sementes. **Ciência Rural**, v. 34, n. 02, p. 603-608, 2004.

GRZYBOWSKI, C. R. S.; VIEIRA, R. D.; PANOBIANCO, M. Testes de estresse na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 3, p. 590-596, 2015.

GUIMARÃES, V. F.; HOLLMANN, M. J.; FIGLIARELLI, S. L.; ECHER, M. M.; RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; ANDREOTTI, M. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de estádios de dessecação e herbicidas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 567-573, 2012.

GUPTA, S. K. (Ed.). **Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production: Opportunities and Constraints**. Academic Press, 2015, 584p.

HÖLBIG, L. S.; HÄRTER, F. S.; VILLELA, F. A. Avaliação do vigor de sementes pelo teste de deterioração controlada. In: Schuch, L. O. B.; Vieira, J. F. V.; Rufino, C. A.; Abreu Júnior, J. (Orgs.). Sementes: produção, qualidade e inovações tecnológicas. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, v.1, 2013. p. 151-169.

HSU, T.A., 2018. Pretreatment of biomass. In: Handbook on bioethanol, Routledge, pp. 179-212.

JESUS, L. L.; NERY, M. C.; ROCHA, A. S.; MELO, S. G. F.; CRUZ, S. M.; DIAS, D. C. F. S. Teste de tetrazólio para sementes de *Sesamum indicum*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n.3, p.422-428, 2015.

KAFIRITI E, MPONDA. <http://www.eolss.net/sample-chapters/c10/e1-05a-46.pdf> [Son eris in: 21 de março de 2013.

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PEREIRA, V. G. C.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P. Yield and physiological quality of wheat seeds after desiccation with different herbicides **Journal of Seed Science**, v.39, n.3, p.254-261, 2017.

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PEREIRA, V. G. C.; ALFREDO JUNIOR, P. A.; ALBRECHT, L. P. Yield and physiological quality of wheat seeds after desiccation with different herbicides. **Journal of Seed Science**, v.39, n.3, p.254-261, 2017.

LACERDA, A. L. S. Fatores que afetam a maturação e qualidade fisiológica das sementes de soja (*Glycine max* L.). 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_3/maturacao/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/maturacao/index.htm)>. Acesso em: 15/09/2015.

LACERDA, A. L. S.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E.; VALÉRIO FILHO, W. V. Efeitos da dessecação de plantas de soja no potencial fisiológico e sanitário das sementes. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 447-457, 2005.

LACERDA, A. L. S.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E.; WALTER FILHO, V. V. Aplicação de desseccantes na cultura de soja: antecipação da colheita e produção de sementes. **Planta daninha** v.19 n.3, 2001.

LAMEGO, F. P.; GALLON, M.; BASSO, C. J.; KULCZYNSKI, S. M.; RUCHEL, Q.; KASPARY, T. E.; SANTI, A. L. Dessecação pré colheita e efeitos sobre a produtividade e qualidade fisiológica de sementes. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 929-938, 2013.

LAZAROU, D., GROUGNET, R., PAPADOPOULOS, A. Antimutagenic properties of a polyphenol- enriched extract derived from sesame-seed perisperm. **Mutation Research**, p.163–171, 2007, 634p.

LIMA, D. C.; DUTRA, A. S.; CAMILO, J. M. Physiological quality of sesame seeds during storage. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 138-145, 2014.

LIMA, D. C.; DUTRA, A. S.; CAMILO, J. M. Physiological quality of sesame seeds during storage. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 138-145, 2014.

LIMA, F. A.; SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. DE A.; PINHEIRO NETO, L. G.; AZEVEDO, B. M. DE; CARVALHO, C. M. DE. Irrigação da cultura do gergelim em solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, p.102-111, 2013.

MAJDALAWIEHUM, A. F.; MASSRIUM, M.; NASRALLAH, G. K. A comprehensive review on the anti-cancer properties and mechanisms of action of sesamin, a lignan in sesame seeds (*Sesamum indicum*). **European Journal of Pharmacology**. v. 815, n.15, p. 512-521, 2017.

MALALGODA, M.; OHM, J.; RANSOM, J. K.; HOWATT, K.; SIMSEK, S. Effects of Pre-Harvest Glyphosate Application on Spring Wheat Quality Characteristics. **Agriculture**. v.110, p. 1-17, 2020.

MARCANDALLI, L. H.; LAZARINI, E.; MALASPINA, I. C. Épocas de aplicação de desseccantes na cultura da soja: qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**. v.33, n.2, p. 1-10, 2011.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 659p.

- MARTINS T. Herbicida Paraquat: conceitos, modo de ação e doenças relacionadas. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 34, n. 2, p. 175-186, 2013.
- MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A.; ZEN, H. D.; MERTZ, L. M. Fertilidade do solo na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias* v.8, n.4, p.656-661, 2013.
- MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A.; ZEN, H. D.; MERTZ, L. M. Fertilidade do solo na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias* v.8, n.4, p.656-661, 2013.
- MILAZZO, M. F.; SPINA, F.; PRIMERANO, P.; BART, J. C. J. Soy biodiesel pathways: Global prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 26, n.1, p.579-624, 2013.
- NAYYAR, B.G.; WOODWARD, S.; MUR L.A.J.; AKRAM, A.; ARSHAD, M.; NAQVI, S.M.S.; AKHUND, S. Identificação e patogenicidade de *Fusarium* espécies associadas ao gergelim (*Sesamum indicum* L) sementes do Punjab, Paquistão, **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.102, n.1, p.128-135, 2018.
- NOGUEIRA FILHO, F. P.; OLIVEIRA, A. B.; PEREIRA, M. S.; LOPES, M. F. Q.; SILVA, R. T. Efetividade do teste de raios-X para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sésamo, devido à posição dos frutos na planta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.4, p.435-440, 2017.
- NOGUEIRA, N. W.; RIBEIRO, M. C. C.; FREITAS, R. M. O.; MARTINS, H. V. G.; LEAL, C. C. P. Physiological maturity and dormancy in *Sabia* (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) seeds. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 876-883, 2013.
- OYINLOYE, B. E.; AJIBOYE, B. O.; OJO, O.A.; NWOZO, S.O.; KAPPO, A. P. Cardioprotective and Antioxidant Influence of Aqueous Extracts from *Sesamum indicum* Seeds on Oxidative Stress Induced by Cadmium in Wistar Rats. **Pharmacognosy Magazine**. v.12 n. 2, p.170-174, 2016.
- PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A.; MANTOVANI, A.; MATHIAS, V. Dessecação química para antecipação de colheita em cultivares de soja Chemical desiccatin for early harvest in soybean cultivars. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, 2383, 2015.
- PHUMICHAI, C., W. MATTHAYATTHAWORN.; N. CHUENPOM, et al. Identification of a scar marker linked to a shattering resistance trait in sesame. **Turkish Journal of Field Crops**. v.22, n.2, p.258-265, 2017.
- PIRES, H. F. **Bioestimulante na recuperação de fitotoxicidade causada por herbicidas aplicados em pós emergência na cultura da soja**. Trabalho de Conclusão de Curso, Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- PORTO, V. C. N.; BELTRÃO, N. E. D. M.; ROCHA, M. D. S.; QUEIROZ, N. L.; FERREIRA, L. L.; TAVARES, M. D. S.; ALENCAR, R. D. **O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro**, 2013, 225p.
- QUEIROGA, V. D. P., GONDIM, T. D. S., & SILVA, O. Características do gergelim indeiscente e semindeiscente para semeadura e colheita no sistema produtivo mecanizado. **Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2009.

- QUEIROGA, V. D. P., GONDIM, T. D. S., & SILVA, O. Características do gergelim indeiscente e semindeiscente para semeadura e colheita no sistema produtivo mecanizado. **Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2009.
- QUEIROGA, V. P.; BORBA, F. G.; ALMEIDA, K. V.; SOUSA, W. J. B.; JERÔNIMO, J. F.; QUEIROGA, D. A. N. Qualidade fisiológica e Composição química das Sementes de gergelim com distintas cores. **Revista Agro@mbiente on-line**, v.4, n.1, p.27-33, 2010.
- QUEIROGA, V. P.; BORBA, F. G.; ALMEIDA, K. V.; SOUSA, W. J. B.; JERÔNIMO, J. F.; QUEIROGA, D. A. N. Qualidade fisiológica e Composição química das Sementes de gergelim com distintas cores. **Revista Agro @mbiente on-line**, v.4, n.1, p.27-33, 2010.
- RANGKADILOK, N.; PHOLPHANA, N.; MAHIDOL, C.; WONGYAI, W.; SAENGSOOKSREE, K.; NOOKABKAEW, S.; SATAYAVIVAD, J. **Foodchemistry**, v.122, p.724–730, 2010.
- ROSTAMI, M., FARZANEH, V., BOUJMEHRANI, A., MOHAMMADI, M., BAKHSHABADI, H. Optimizing the extraction process of sesame seed's oil using responsesurface method on the industrial scale. **Industrial Crops and Products**. 58, p. 160–165, 2014.
- SANTOS, F.L.; BERTACINE, F.; SOUZA, J.S.; SIMÕES, I.; BOSSOLANI, J. W.; SÁ, M. E. A influência de dessecante na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. v. 12, n.1, p.68-76, 2018.
- SEDYAMA, T. Tecnologia e produção de sementes de soja. Londrina: Mecenas, 2013. 352p.
- SILVA, I. F.; FENILLI JUNIOR, A.; LORENZETTI, E. E. Efeito de dessecantes na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista cultivando o saber**. v. 9, n. 3, p. 224-242, 2016.
- SILVA, T. M.; LOPES, M. F. Q.; OLIVEIRA, A. B.; NOGUEIRA, A. L. S. P.; VIANA, I. E. T.; LESSA, B. F. T. Physiological quality of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] seeds in response to planting density in semi-arid region. **Australian Journal of Crop Science**. v.11, n.6, p.694-700, 2017.
- SIRIWARIN, B.; WEERAPREEYAKUL, N. Sesamol induced apoptotic effect in lung adenocarcinoma cells through both intrinsic and extrinsic pathways. **Chemico-Biological Interactions**. v. 254, p. 109–116, 2016.
- USEIA. The U.S. Energy Information Administration: Short-Term Energy Outlook. World liquid fuel production and consumption balance. Retrieved from [https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global\\_oil.php](https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php). 2019.
- VARSHNEY, S.; HAYAT, S.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, A. Effects of Herbicide Applications in Wheat Fields: Is Phytohormones Application a Remedy? **Plant Signaling and Behavior**, v.7, n. 5, p. 570-575, 2012.
- VASCONCELOS, G. C. L.; MEDEIROS, N. I.; MEDEIROS, K. A. DE A. L.; LUCENA, A. M. A.; ARRIEL, N. H. C. Caracterização morfológica de progênies de *Sesamum indicum* L.(pedaliaceae) cultivada em casa de vegetação. CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, Fortaleza, 2011.
- VIEIRA, B. G. T. L. **Adequação de metodologia alternativa para o teste de frio em semente de soja**. Dissertação (Mestrado em Produção e Tecnologia de Sementes). Universidade estadual paulista, Jaboticabal, 2007.

WARRA, A. A. Sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil methods of extraction and its prospects in cosmetic industry: a review, **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**. v.4, n.2, p.164–168, 2011.

YOL, E.; TOKER, C.; UZUN, B. Inheritance of long and dense capsule characteristics in sesame. **Turkish Journal of Field Crops**. v. 22, n. 1, p.8-13, 2017.

ZHANG, H., MIAO, H., WANG, L., QU, L., LIU, H., WANG, Q., YUE, M. Genome sequencing of the important oilseed crop *Sesamum indicum* L. **Genome Biology**. v.14, n.1, p.1-9, 2013.

ZHANG, H.; MIAO, H.; WEI, L., MA Q. **Analysis of Sesame karyotype and resemblance-near coefficient**. Chin Bull Bot. In press. NM NAYAR, KL MEHRA, Econ Bot 24 (1) (1970) 2012, p. 20-31.

ZHANG, H.; MIAO, H.; WEI, L.; LI, C.; ZHAO, R.; WANG, C. Genetic Analysis and QTL Mapping of Seed Coat Color in Sesame (*Sesamum indicum* L.) **PLOS ONE**, v. 8, n. 5, p.1-10, 2013.

ZHOU, Y.; XING, X.; LANG, J.; CHEN, D.; CHENG, S.; LIN, W.; LIU, C. A comprehensive biomass burning emission inventory with high spatial and temporal resolution in China. **Atmospheric Chemistry Physics**. v.17, n. 4, p.2839-2864, 2017.

### 3 CAPÍTULO I - TROCAS GASOSAS E PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS DE PLANTAS DE GERGELIM SOB A APLICAÇÃO DE DESSECANTES

#### RESUMO

Os herbicidas são amplamente utilizados para controlar espécies vegetais infestantes e, como dessecantes para otimizar o processo de colheita. O objetivo deste trabalho foi avaliar as trocas gasosas e os pigmentos fotossintéticos do gergelim submetido a aplicação de dessecantes. Para isso, a cultivar BRS Anahí foi cultivada em sequeiro por dois anos, aplicando-se como dessecante em pré-colheita, glifosato e diuron + paraquat, em duas fenofases (R5 e R7) e utilizando-se três formas de aplicação (pulverização convencional, jato dirigido e testemunha). Decorrido o período de 48 h após as aplicações foram avaliadas as trocas gasosas, eficiência fotoquímica, clorofila a, b e total e fitotoxicidade, em delineamento de blocos casualizados. Os dados foram submetidos a análise multivariada. Com base nos resultados, observou-se a formação de quatro e três grupos, respectivamente, para o primeiro e segundo ano. Plantas que não receberam os dessecantes, nos períodos R5 e R7 contribuíram de forma positiva na condutância estomática (0,148; 0,147 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiração (2,719; 2,862 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e taxa de fotossíntese líquida (12,02; 13,64 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). O glifosato aplicado de forma convencional contribuiu para incremento do carbono interno com valores de 225,82 e 227,68 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, enquanto o diuron + paraquat influenciaram negativamente a maioria das variáveis estudadas além de promover maior fitotoxicidade. Com isso, o diuron + paraquat externam maior potencial de dano ao aparelho fotossintético em relação ao glifosato e a forma de aplicação com o jato dirigido promove menor fitotoxidez.

**Palavras-chave:** clorofila; fotossíntese; *Sesamum indicum* L.; fenofases, ação de herbicidas.

## GAS EXCHANGE AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS OF SESAME PLANTS UNDER THE APPLICATION OF DESICCANTS

### ABSTRACT

Herbicides are widely used to control weed plant species and also as desiccants to optimize the harvesting process. Thus, the objective of this research was to evaluate the gas exchange and photosynthetic pigments of sesame submitted to the application of desiccants. For this, the cultivar BRS Anahí was cultivated under dry conditions for two years, applying glyphosate and diuron + paraquat as a pre-harvest desiccant, in two reproductive periods (R5 and R7) using three forms of application (conventional spraying, directed jet and control). After 48 hours of applications, gas exchange, photochemical efficiency, and total chlorophyll a, b and total and phytotoxicity were evaluated in a randomized block design. Data were subjected to multivariate analysis. Based on the results, four and three groups were formed, respectively, for the first and second year. Plants that did not receive desiccants in periods R5 and R7 contributed positively to stomatal conductance ( $0.148; 0.147 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiration ( $2.719; 2.862 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) and net photosynthesis rate ( $12.02; 13.64 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). The glyphosate together with the conventional application contributes to the increase of the internal carbon with values of  $225.82$  and  $227.68 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , while the diuron + paraquat contributed negatively to most of the variables studied in addition to greater phytotoxicity. Thus, diuron + paraquat externalizes greater potential for damage to the photosynthetic apparatus in relation to glyphosate and the form of application with the directed jet promotes less phytotoxicity in the plant.

**Keywords:** chlorophyll; photosynthesis; *Sesamum indicum* L; reproductive periods; action of herbicides.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O gergelim é uma das oleaginosas mais cultivadas mundialmente, sua produção global é de 6.015,573 toneladas por ano, com área plantada de 11.743,382 ha, concentrando-se em 54,9% na Ásia, 40,8% na África e 4,3% nas Américas (FAO, 2018). No Brasil, a área estimada na safra de 21/22 é de 117 mil hectares, onde estima-se que a produtividade média de 523 kg/ha, deverá resultar em 61,6 mil toneladas de gergelim, (CONAB, 2022).

Pelo fato de a maturação fisiológica desta espécie ocorrer em função da posição do fruto na planta, alguns parâmetros como tamanho e coloração do fruto servem como indicadores de colheita, contudo, esse processo precisa ocorrer com grau de umidade adequado para evitar danos físicos as sementes (CARRASCO, 2003; NOGUEIRA et al., 2013). O processo de dessecação química é um aliado para uniformizar a colheita das culturas (MALALGODA et al., 2020). Um dos herbicidas mais utilizados para a dessecação química é o glifosato [N-(phosphonomethyl) glycine], pertencente ao grupo químico dos aminoácidos fosfonados, caracterizado como um sistêmico pós-emergente não seletivo de amplo espectro, absorvido na planta através de suas folhas e dos caulículos novos (AMARANTE JUNIOR e SANTOS, 2002; COUTINHO e MAZO, 2005). Outro herbicida aplicado para dessecação nas culturas é o Diuron + Paraquat (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridium + 3-[3,4-dichlorophenyl]-1,1-dimethylurea), pertence ao grupo químico dos bipyridílio + dimetilureia, com ação de contato, não seletivo de pós-emergência (MARTINS, 2013).

Em resposta ao estresse desempenhado pelos herbicidas, os danos ao aparelho fotossintético podem ser mensurados pela fluorescência da clorofila, um método de diagnóstico rápido e não destrutivo, capaz de detectar alterações na atividade do fotossistema II, a qual serve para avaliar se a capacidade fotossintética foi comprometida por determinado tratamento, permitindo distinguir qual a reação de cada produto (MENEGAT et al., 2012; DARWISH et al., 2013; ARALDI et al. 2015).

A fisiologia da planta é afetada diretamente pela ação dos herbicidas, e uma das características influenciadas pelo seu uso é a taxa fotossintética relacionada à radiação fotossinteticamente ativa e as trocas gasosas que são dependentes da abertura estomática (TORRES et al., 2012; VARSHNEY et al., 2012). As plantas atingidas pelos herbicidas passam por alterações morfológicas denominadas de fitotoxicidade, que surge por consequência de sensibilidade da cultura ao herbicida, com sintomas e velocidade de surgimento variáveis dependendo do produto utilizado, além disso, a fitotoxicidade pode variar de intensidade por fatores fisiológicos, doses utilizadas, presença de adjuvantes, tipo de formulação e concentração

do produto, volume de calda aplicada, nutrição da planta, cultivar e clima (MADALOSSO et al., 2014; LOURENÇO et al., 2016; PIRES, 2017).

A determinação do período de aplicação, o uso de dessecante e o momento de colheita já são objetos de estudos em lavouras comerciais de soja (GUIMARAES et al., 2012; CRUZ et al., 2019, SILVA et al., 2021), contudo, estudos com esse propósito relacionados a produção do gergelim, são importantes para auxiliar os produtores no processo de colheita da cultura. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a ação dos dessecantes e formas de aplicação nas trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos na cultura do gergelim.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.2.1 Local do estudo e condições experimentais

O experimento foi conduzido nos anos de 2019 e 2020, em campo, na mesorregião do Agreste paraibano, no município de Alagoinha, Paraíba, Brasil na unidade experimental da Embrapa Algodão, 6° 54' 16" S, 32° 27' 57" W e 33° 36' 00", com 140 m de altitude. A região possui clima As' (tropical chuvoso com verão seco) de acordo com a classificação de Köppen 1948. O solo foi classificado como Latossolo vermelho eutródico, típico em ambas as áreas utilizadas no estudo (SANTOS, 2018). Dados de pluviometria foram coletados na estação meteorológica da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária – EMPAER, permitindo a representação meteorológica (Figura 1).

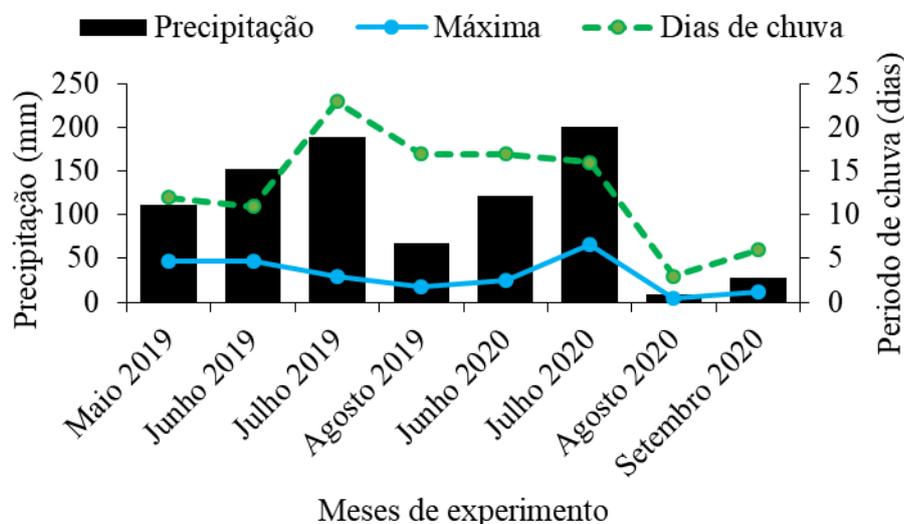


Figura 1 - Dados de precipitação referente aos meses de cultivo da cultura do gergelim em dois anos no município de Alagoinha-Paraíba, Brasil.

Análises de química do solo foram realizadas antes da instalação do experimento nos dois anos. No primeiro ano, amostras coletadas na camada de 0 – 20 cm, apresentaram as seguintes características: pH (H<sub>2</sub>O): 4,6; P: 2,0 mg.dm<sup>3</sup>; Ca: 10,4 mmolc.dm<sup>3</sup>; Mg: 40,6 mmolc.dm<sup>3</sup>; Na: 0,5 mmolc.dm<sup>3</sup> e K: 0,7 em mmolc.dm<sup>3</sup>; S: 16,2 mmolc.dm<sup>3</sup>; Al: 2,0 mmolc.dm<sup>3</sup>; H + Al: 23,1 mmolc.dm<sup>3</sup> e CTC: 39,3 em mmolc.dm<sup>3</sup> e V = 41,2% e M.O: 7,8 g.kg<sup>-1</sup>.

No segundo ano, as seguintes características: pH (H<sub>2</sub>O): 4,9; P: 1,6 mg.dm<sup>3</sup>; Ca: 32,2 mmolc.dm<sup>3</sup>; Mg: 22,8 mmolc.dm<sup>3</sup>; Na: 0,4 mmolc.dm<sup>3</sup> e K: 2,2 em mmolc.dm<sup>3</sup>; S: 57,6 mmolc.dm<sup>3</sup>; Al: 1,0 mmolc.dm<sup>3</sup>; H + Al: 37,1 mmolc.dm<sup>3</sup> e CTC: 94,7 em mmolc.dm<sup>3</sup> e V = 60,8% e M.O: 17,0 g.kg.

### 3.2.2 Delineamento experimental em campo

O experimento em campo foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial (2 x 3 x 2) incluindo-se, dessa forma, dois dessecantes por meio dos produtos comerciais Shadow® e Gramocil® (glifosato e diuron + paraquat), três formas de aplicação uma atingindo toda a planta outra direcionada apenas para base do colo (convencional, jato dirigido) e sem aplicação (testemunha), dois períodos de aplicação (67 à 72 e 77 à 82 dias) referente às fenofases R5 e R7, com um total de 12 tratamentos.

### 3.2.3 Cultivar utilizada e manejo

A época de plantio (maio a agosto) atendeu as orientações do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) referente ao município de Alagoinha – PB (6° 57' 12" S, 35° 32' 19" W), em sistema de sequeiro. O preparo do solo se deu de duas gradagens antes do plantio. A adubação com Fosfato Monoamônico (MAP) foi realizada por ocasião do plantio, conforme os resultados da análise química e fertilidade do solo.

As parcelas foram compostas por quatro linhas de plantio com 5,00 m de comprimento, sendo as duas linhas centrais consideradas área útil e as demais a bordadura, obedecendo o espaçamento de 0,76 x 0,10 m, com área total de 15,00 m<sup>2</sup> por parcela. Foi implementada a distância de 1,50 m entre as parcelas, para facilitar a locomoção e evitar a deriva em parcelas vizinhas.

Para o cultivo do gergelim em sequeiro, foram utilizadas, em ambos os anos, sementes da cultivar BRS Anahí cedida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a qual apresenta alto potencial produtivo; porte mediano e hábito de crescimento não ramificado (EMBRAPA, 2015).

Para o controle de plantas daninhas no primeiro ano, uma mistura de Diuron (1,5 L.ha<sup>-1</sup>) + Glifosato (5 L.ha<sup>-1</sup>) foi aplicada na fase de pré-emergência. Para o segundo ano foi utilizado Pendimetalina (1 L.ha<sup>-1</sup>) + Diuron (2 L.ha<sup>-1</sup>) na fase de pré emergência. Para ambos os anos, foram feitas duas aplicações do inseticida Tiametoxam (200 g i.a ha<sup>-1</sup>) para o controle da mosca branca.

No segundo ano foi utilizado o fungicida (TRIFLOXISTROBINA) + (TEBUCONAZOL), para Mancha-de-alternaria (*Alternaria sesami*).

No primeiro ano foram realizadas duas adubações de cobertura, a primeira com Sulfato de amônia (150 kg.ha<sup>-1</sup>) e Cloreto de potássio (30 kg.ha<sup>-1</sup>), a segunda com Ureia (90 kg.ha<sup>-1</sup>) e Cloreto de potássio (30 kg i.a ha<sup>-1</sup>). No segundo ano foram realizadas duas adubações de cobertura, ambas com Ureia (100 kg.ha<sup>-1</sup>).

#### 3.2.4 Aplicação dos dessecantes

Para dessecação em pré-colheita, em ambos os anos, foram utilizados isoladamente glifosato (4 L.ha<sup>-1</sup>) e diuron+paraquat (2 L.ha<sup>-1</sup>) em duas fenofases da planta entre 67 à 72 e 77 à 82 dias após a semeadura (DAS). Esses períodos se referem as fases R5 e R7 da fase reprodutiva do gergelim, quando ocorre o fim do crescimento, queda das folhas inferiores e alteração na coloração da planta com abertura incipiente dos frutos (RINCÓN e SALAZAR, 1997).

A aplicação foi feita com pulverizador costal manual com Bateria Kawashima PEM-P20 20 Litros, com bico leque “Laranja e vazão - 0,33 a 0,46 l/min”, com pressão de 2,5 bar. Cada dessecante, foi aplicado com pulverizadores similares para evitar efeitos residuais entre eles.

Na área útil de cada parcela (10 m<sup>2</sup>), quando as plantas apresentavam em média 95 cm de altura, 8 mm de diâmetro e 28 cm da inserção do primeiro fruto, foram iniciadas as aplicações.

Durante a fase reprodutiva da cultura foram aplicados diferentes tratamentos em campo conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos utilizados na cultura do Gergelim BRS Anahí durante dois anos.

Trat <sup>1</sup>	Produtos	Tipo de aplicação	Fase reprodutiva	Período
T1	Glifosato <sup>2</sup>	CON <sup>4</sup>	R5 <sup>7</sup>	P1 <sup>9</sup>
T2	Glifosato	CON	R7 <sup>8</sup>	P2 <sup>10</sup>

T3	Glifosato	JD <sup>5</sup>	R5	P1
T4	Glifosato	JD	R7	P2
T5	Glifosato	TEST <sup>6</sup>	R5	P1
T6	Glifosato	TEST	R7	P2
T7	Diuron + Paraquat <sup>3</sup>	CON	R5	P1
T8	Diuron + Paraquat	CON	R7	P2
T9	Diuron + Paraquat	JD	R5	P1
T10	Diuron + Paraquat	JD	R7	P2
T11	Diuron + Paraquat	TEST	R5	P1
T12	Diuron + Paraquat	TEST	R7	P2

<sup>1</sup>Tratamentos presentes em ambos os anos; <sup>2</sup>[N-(phosphonomethyl) glycine]; <sup>3</sup>(1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridium + 3-[3,4-dichlorophenyl]-1,1-dimethylurea); <sup>4</sup>Pulverização convencional; <sup>5</sup>Jato dirigido, que consiste na aplicação localizada no colo da planta à base da haste do gergelim, entre 0,10 m a 0,20 m da superfície do solo; <sup>6</sup>Sem aplicação; <sup>7</sup>Cápsulas que atingiram seu comprimento máximo; <sup>8</sup>Abertura dos primeiros frutos na parte inferior do caule principal e alterações avançadas na coloração da planta e dos frutos; <sup>9</sup>período de 67 a 72 dias após a semeadura (DAS); <sup>10</sup>período de 77 a 82 dias após a semeadura (DAS).

### 3.2.5 Análise de fitotoxicidade

Para observação do efeito dos dessecantes foram realizadas avaliações visuais de intoxicação (notas de fitotoxicidade) entre 67 a 72, como também entre 77 a 82 dias, com o uso de uma escala percentual de notas variando entre 1 (um) e 9 (nove), em que a nota 1 implica ausência de quaisquer injúrias e 9 indica a morte da planta utilizando-se a escala de valores da EWRC (1964), apresentada na Tabela 1. Essa análise é muito importante uma vez que as plantas podem não sofrer diminuição considerável da biomassa, entretanto, podem ocorrer danos perceptíveis importantes nas plantas que devem ser relatados.

Tabela 2 - Escala de notas visuais (EWRC, 1964) para avaliação da intensidade de fitotoxicidade causada por produtos dessecantes, em função dos níveis e características dos sintomas nas plantas

Nota	Descrição
1	Sem sintomas
2	Muito leve
3	Leve
4	Sem influência na produção
5	Média
6	Quase forte
7	Forte
8	Muito forte
9	Total (destruição completa)

### 3.2.6 Análises fisiológicas

Aos 75 e 85 DAS no primeiro ano e aos 74 e 80 DAS no segundo ano foram avaliados os componentes fisiológicos 48h após a aplicação dos dessecantes, entre as 9 e 12 horas da

manhã, no terceiro par de folhas da parte superior, (contadas do ápice para a base) que se encontravam totalmente expandidas (SUASSUNA, 2013), utilizando-se o analisador de gás por radiação infravermelha [Infra redgasanalyser (IRGA), Mod. Li-COR<sup>®</sup> 6400 XT] foram analisadas as seguintes variáveis: Concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); Condutância estomática (gs) ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); Transpiração (E) ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); Taxa de fotossíntese líquida (A) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); Temperatura da folha (TF) (°C). Posteriormente a coleta dos dados, foram calculadas a eficiência do uso da água (EUA) (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) (A/g<sub>s</sub>) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) (A/Ci).

No primeiro ano, foram realizadas aferições de eficiência fotoquímica e clorofila apenas após uma época de aplicação (75 DAS), em virtude das condições ambientais desfavoráveis, com incidência de chuvas que inviabilizaram as leituras.

Para as avaliações das variáveis de fluorescência da clorofila “a” foi utilizado fluorômetro modulado (Sciences Inc.- Model OS-30p, Hudson, USA). Pinças foliares foram colocadas por 30 minutos antes das leituras para adaptação das folhas ao escuro. Foi mensurada a fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), fluorescência variável (F<sub>v</sub> = F<sub>m</sub>-F<sub>0</sub>), a razão F<sub>v</sub>/F<sub>0</sub> e rendimento quântico do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>).

As determinações do índice de clorofila *a*, *b* e total foram realizadas pelo método não destrutivo, utilizando-se clorofilômetro portátil (ClorofiLOG<sup>®</sup>, modelo CFL 1030, Porto Alegre, RS), sendo os valores dimensionados em índice de clorofila Falker (ICF). Totalizando dezessete caracteres fisiológicos.

### 3.2.7 Análise estatística

Os dados de cada ano foram submetidos à análise multivariada utilizando-se como medida de dissimilaridade a distância Euclidiana e método de agrupamento UPGMA (Unweighted Pair Grouped Method Average), juntamente com a análise de agrupamento foi gerado o *heatmap* para os 12 tratamentos e 17 variáveis fisiológicas. Uma segunda análise de agrupamento com *heatmap* considerando os fatores isolados (dois dessecantes e três formas de aplicação) também foi realizada. Os dados também foram submetidos à análise de componentes principais (PC) e os tratamentos foram plotados em relação aos dois primeiros componentes (PC1 e PC2). O número de grupos foi definido com base na análise de Cluster e dispersão nos dois primeiros componentes (PC1 e PC2).

### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 Primeiro ano

Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) referentes a oito variáveis fisiológicas  $C_i$ ,  $g_s$ ,  $E$ ,  $A$ ,  $TF$ ,  $EUA$ ,  $EiUA$ ,  $EiC$  contribuíram com 88,90% na explicação da variação dos tratamentos. Através da análise do *heatmap* foi observada a formação de quatro grupos (Figura 2A, B).

Os maiores níveis de fotossíntese ( $14,30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $0,18 \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e transpiração ( $3,19 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) foram registrados nos tratamentos com ausência de aplicação de dessecantes, formando o grupo 1 (G1), ao passo que a pulverização do diuron + paraquat (GRA) de forma convencional (CON), no segundo período (R7), resultou nos menores valores de fotossíntese, condutância estomática e transpiração  $6,14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ;  $0,07 \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ;  $1,75 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, e elevada concentração de carbono interno  $240,44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , formando de forma isolada o grupo 4 (G4) (Figura 2A, B).

A aplicação na forma de jato dirigido (JD) no segundo período (R7) resultou em menor alteração na fisiologia das plantas de gergelim em relação à aplicação convencional, devido à formação do G2 com presença de tratamentos que não receberam a aplicação dos dessecantes, sendo esse grupo influenciado principalmente pela eficiência do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água e eficiência intrínseca de carboxilação (Figura 2A).

Na análise de componentes principais, considerando os fatores isolados e as 17 variáveis fisiológicas, os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) contribuíram com 81,80% para explicar a variação dos tratamentos, sendo verificada a formação de quatro grupos o que foi confirmada na análise de Cluster do *heatmap* (Figura 2C, D).

No grupo 1, formado pelo glifosato e aplicação convencional, o carbono interno ( $220,7$  e  $219,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e as variáveis de fluorescência da clorofila, FM ( $452,5$  e  $426,3$ ), FV ( $333,7$  e  $322$ ), FV/FM ( $0,74$  e  $0,73$ ) e FV/FO ( $2,88$  e  $2,75$ ) apresentaram elevados valores, respectivamente, para o glifosato e aplicação convencional; enquanto o jato dirigido formou grupo isolado em relação aos demais fatores (grupo 2), com baixos valores para os teores de clorofila a, b e total, além da transpiração, condutância estomática, fotossíntese líquida e eficiência intrínseca de carboxilação. Por outro lado, as variáveis citadas anteriormente foram favorecidas pelo tratamento que não recebeu nenhum tipo de aplicação (testemunha), formando o grupo 4. A pulverização das plantas de gergelim com diuron + paraquat (G3) reduziu de forma expressiva as trocas gasosas e aumentou a temperatura da folha e a eficiência intrínseca do uso da água. A fitotoxicidade foi maior nos tratamentos com aplicação do jato dirigido e

convencional o que resultou em correlação negativa com os parâmetros fisiológicos (Figura 2C, D).

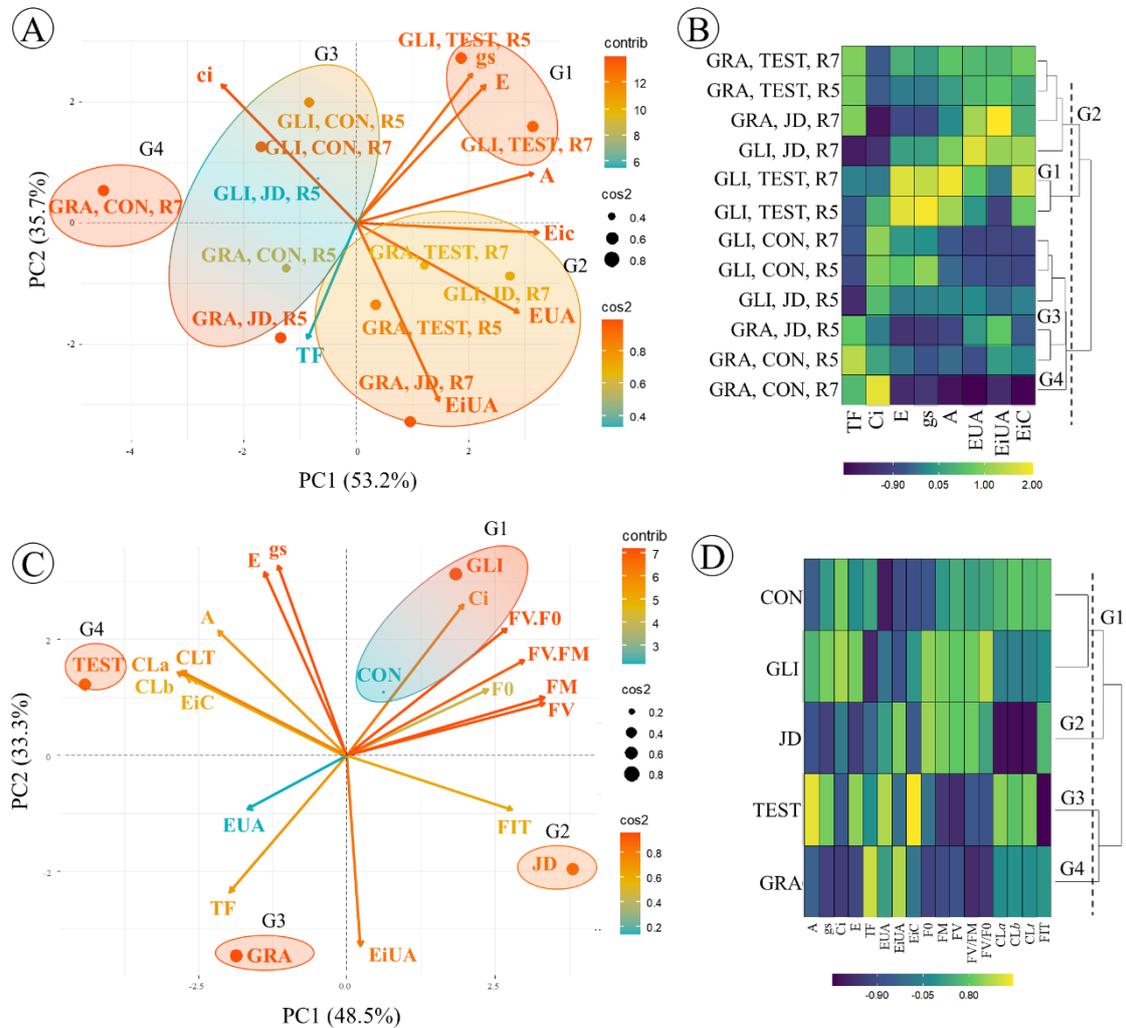


Figura 2 - Atributos fisiológicos e pigmentos fotossintetizantes de plantas de gergelim submetidas a diferentes dessecantes, formas de aplicação e estádios fenológicos avaliados no primeiro ano.

A: Dispersão dos tratamentos em função dos dois primeiros componentes e correlação em círculo. As setas representam a direção da característica e suas cores de gradiente representam a contribuição, azul (baixo) para vermelho (alto), de cada característica para os dois componentes; B: Heatmap para os 12 tratamentos em função dos 8 caracteres fisiológicos; C: Dispersão dos tratamentos em função dos dois primeiros componentes e correlação em círculo; D: Heatmap para os fatores isolados em função dos 17 caracteres fisiológicos. GRA: diuron + paraquat; GLI: glifosato; CON: aplicação convencional; JD: aplicação em jato dirigido; TEST: testemunha; R5: fase reprodutiva (67 a 72 DAS); R7: fase reprodutiva (77 a 82 DAS); Ci: Concentração interna de CO<sub>2</sub> (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); gs: Condutância estomática (mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); E: Transpiração (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); A: Taxa de fotossíntese líquida (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); TF: Temperatura da folha (°C). EUA: eficiência do uso da água (A/E), EiUA: eficiência intrínseca do uso da água (A/g<sub>s</sub>) e EiC: eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci).

### 3.3.2 Segundo ano

Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) referente a sete variáveis fisiológicas contribuíram com 73,5% na explicação da variação dos tratamentos. Através da análise do heatmap é possível verificar variação entre os tratamentos e na análise de agrupamento foi possível observar a formação de quatro grupos (Figura 3 A, B).

Nos tratamentos com ausência de aplicação de dessecantes observou-se resultados mais expressivos para as variáveis fotossíntese líquida, eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água, com  $6,27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $4,20$ ; e  $121,26$  respectivamente, formando o grupo 3. Por outro lado, a pulverização com diuron + paraquat de forma convencional no período R7, registrou menores valores de fotossíntese ( $2,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e transpiração ( $0,70 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), formando o grupo 4 (Figura 3 A, B).

Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) referentes as dezessete variáveis fisiológicas contribuíram com 95,7% na explicação da variação dos fatores isolados. Através da análise do heatmap foi possível verificar variação entre os fatores, que constituem os produtos e as formas de aplicação, constatando-se a formação de três grupos (Figura 3 C, D).

O grupo 1, formado pela testemunha (sem aplicação), contribuiu positivamente para as variáveis clorofila a, clorofila total, fotossíntese líquida, condutância estomática, eficiência do uso da água e transpiração. Por outro lado, não houve contribuição para as variáveis de fluorescência, clorofila b, temperatura da folha, carbono interno e eficiência intrínseca do uso da água, sendo o inverso do grupo 3, este composto pelo glifosato e o jato dirigido, que tiveram alta contribuição para essas variáveis. No grupo 2, houve baixa contribuição do diuron + paraquat e aplicação convencional na eficiência intrínseca do uso da água e contribuição negativa nas variáveis das relações FV/M, FV/F0, clorofila a, clorofila total, fotossíntese, condutância estomática e eficiência intrínseca de carboxilação.

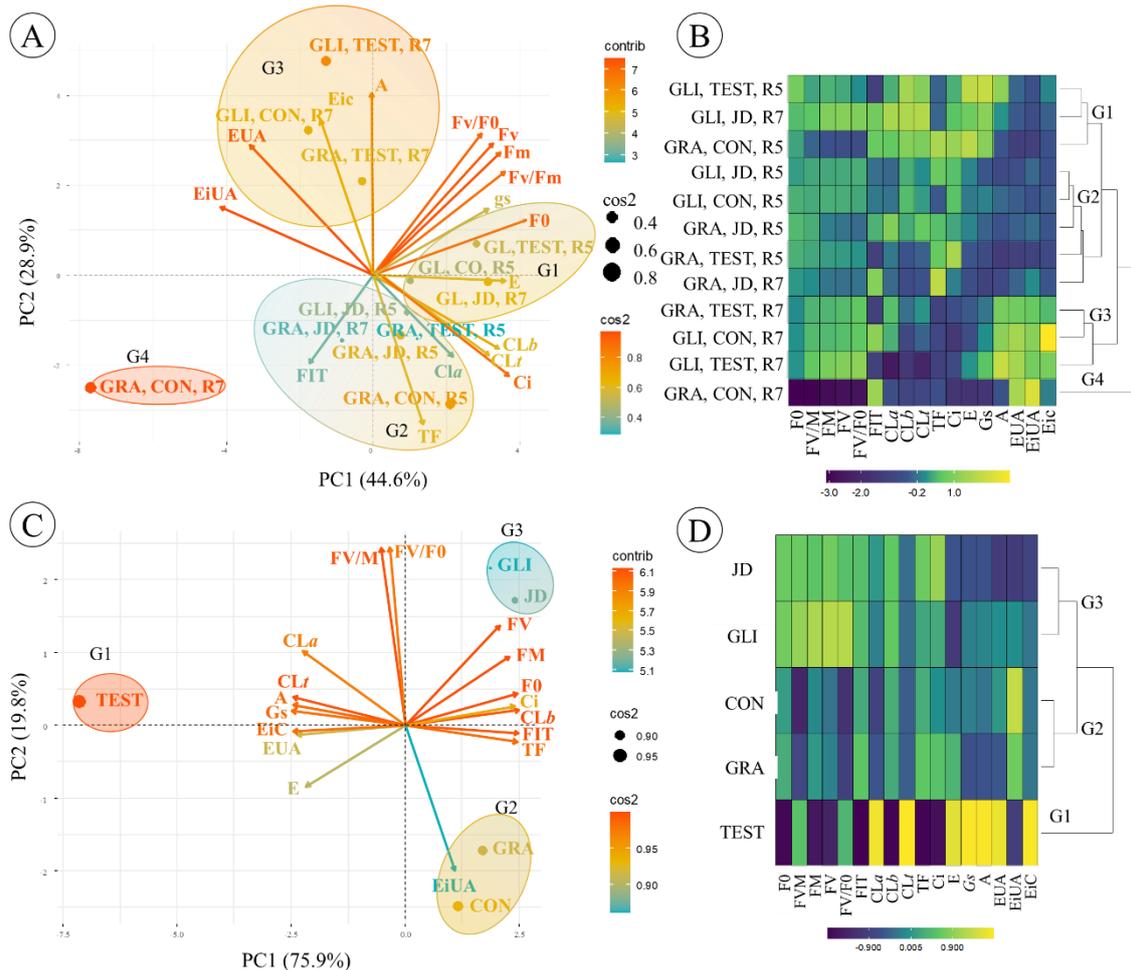


Figura 3 - Atributos fisiológicos e pigmentos fotossintetizantes de plantas de gergelim submetidas a diferentes dessecantes, formas de aplicação e estádios fenológicos avaliados no segundo ano.

A: Dispersão dos tratamentos em função dos dois primeiros componentes e correlação em círculo. As setas representam a direção da característica e suas cores de gradiente representam a contribuição, azul (baixo) para vermelho (alto), de cada característica para os dois componentes; B: Heatmap para os 12 tratamentos em função dos 17 caracteres fisiológicos; C: Dispersão dos tratamentos em função dos dois primeiros componentes e correlação em círculo; D: Heatmap para os fatores isolados em função dos 17 caracteres fisiológicos.

GRA: diuron + paraquat; GLI: glifosato; CON: aplicação convencional; JD: aplicação em jato dirigido; TEST: testemunha; R5: fase reprodutiva (67 a 72 DAS); R7: fase reprodutiva (77 a 82 DAS); Ci: Concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); gs: Condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); E: Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); A: Taxa de fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); TF: Temperatura da folha ( $^{\circ}\text{C}$ ). EUA: eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) e EiC: eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci).

### 3.4 DISCUSSÃO

Reduções acentuadas foram observadas na comparação dos grupos com tratamentos sem aplicação dos dessecantes e aqueles com utilização do diuron + paraquat, nos dois anos, para a taxa de fotossíntese (57,02; 54,96%); condutância estomática (58,42; 67,12%) e transpiração de (45,46; 52,18%). A mistura de produtos afetou mais os parâmetros fisiológicos pois o Gramocil composto por Diuron e Paraquat possui dois processos envolvidos, atuando no

fotossistema I e II, em que o Diuron bloqueia o fluxo de elétrons nos aceptores quinona do PSII, competindo pelo sítio de ligação da plastoquinona e o paraquat aceita elétrons dos aceptores primários do PSI e, então, reage com o oxigênio para formar superóxido, O<sub>2</sub>, uma espécie que é muito prejudicial aos componentes do cloroplasto (TAIZ et al., 2017)

Comparando-se os produtos utilizados observa-se maior atuação do diuron + paraquat, onde dois mecanismos de ação atuam juntos diretamente nos fotossistemas da planta e causam paralização do metabolismo vegetal, enquanto o glifosato atua numa outra rota, a do ácido chiquímico, que atinge a fotossíntese como uma consequência, onde o glifosato inibe a enzima 5 enolpiruvatochiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPS), que catalisa uma reação chave na via do ácido chiquímico, uma rota metabólica específica de plantas, necessária para a produção de muitos compostos secundários, incluindo auxina e aminoácidos aromáticos (TAIZ et al., 2017).

Com base na forma de aplicação, observa-se que a aplicação convencional contribuiu de forma negativa para os parâmetros fisiológicos avaliados. Os herbicidas aplicados nas folhas são absorvidos através da cutícula das células da epiderme foliar, após atravessar essa cutícula, o herbicida entra na célula para exercer seu mecanismo de ação ou ser transportado até os feixes vasculares para translocação até o local de ação na planta; enquanto na aplicação com jato dirigido no caule a absorção foi similar, porém com área de absorção mais limitada, com diferenças na forma de movimentação pois a periderme apresenta substâncias hidrofóbicas limitando, assim, a absorção de herbicidas polares. A presença de lenticelas são rotas preferenciais de absorção (ROMAN et al., 2005). Isso reflete no tempo que a planta leva para absorver e translocar os herbicidas, tornando a aplicação convencional mais efetiva.

Embora ocorra decréscimos nas variáveis avaliadas da fisiologia da cultura com o uso dos dois herbicidas dessecantes, foi possível verificar que o diuron + paraquat contribuiu com maior interferência negativa, atuando na maioria das variáveis logo após a primeira aplicação, dessa forma, a planta perde rapidamente suas funções deixando de consumir CO<sub>2</sub> e evoluindo para morte. Além disso, esses dados podem variar conforme os fatores externos, como radiação, deficiência nutricional, ataque de patógenos, salinidade, estresse hídrico, dentre outros. Apesar dos produtos terem o mecanismo conhecido não havia até então, informações quantitativas acerca de registros, sobretudo na cultura do gergelim.

### 3.5 CONCLUSÕES

O diuron + paraquat (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridium + 3-[3,4-dichlorophenyl]-1,1-dimethylurea) possuem maior potencial de dano ao aparelho fotossintético das plantas de gergelim;

A forma de aplicação com o jato dirigido promove menor fitotoxidez nas plantas de gergelim.

## REFERÊNCIAS

- AMARANTE JUNIOR, O. P.; RODRIGUES, S. T. C. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.
- ARALDI, R.; CORNIANI, N.; TROPALDI, L.; GIROTTO, M.; BELAPART, D.; SIMÕES, P.S.; VELINI, E.D. Chlorophyll fluorescence in guanandi tree (*Calophyllum brasiliense*) after herbicide application. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 77-82, 2015.
- CARRASCO, P. G. Produção de mudas de espécies florestais de restinga, com base em estudos florísticos e fitossociológicos, visando a recuperação de áreas degradadas em Ilha Comprida – SP. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), 2003. 187 f.
- COUTINHO, C. F. B.; MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p.1038-1045, 2005.
- DARWISH, M.; LOPEZ-LAURI, F.; SALLANON, H. Estudo do processo de fotossíntese na presença de baixas concentrações de herbicida clomazona no tabaco ( *Nicotiana tabacum*). *Journal Stress Physiology Biochemisry*, v.9, n.1, p.229-245, 2013.
- FAO <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- FIGUEIREDO, F. R. A.; NÓBREGA, J. S.; FÁTIMA, R. T.; SILVA, T. T.; NASCIMENTO, R. G. S.; LOPES, M. F. Q.; DIAS, T. J.; BRUNO, R. L. A. Plant development, gas exchange and pigments of *Mesosphaerum suaveolens* submitted to osmoconditioning and salt stress. **Acta Botanica Croata**. v.80, n.1, p.29–34, 2021.
- LOURENÇO, E.; ALENCAR, J. R. C. C. Estudo da fitotoxicidade de herbicidas aplicados em pós emergência na cultura do trigo **Revista Iniciar**, v. 1, n. 1, p. 79-90, 2016.
- MADALOSSO, M. G.; BALARDIN, R.; FAVERA, D. D.; MARQUES, L.; DEBORTOLI, M. P. Fatores Que Interferem na Fitotoxicidade. **CULTIVAR: Grandes culturas**, v. 179, n. 1, p. 14-17, 2014.
- MENEGAT, A.; KAISER, Y.; STEPHAN, A.; NI, H.; GERHARDS, R. Chlorophyll fluorescence microscreening as a rapid Detection method for herbicide resistance in grass Weeds in north china plain winter wheat Production systems and beyond. *Pakistan Journal Weed Science Research*, v18, p. 409-418, Special Issue, 2012.
- NOGUEIRA, N. W.; RIBEIRO, M. C.C.; FREITAS, R. M. O.; MARTINS, H. V. G.; LEAL, C. C. P. Maturação fisiológica e dormência em sementes de sabiá (*Mimosa Caesalpinifolia* benth.) Physiological maturity and dormancy in Sabia (*Mimosa caesalpinifolia* benth.) seeds. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 876-883, 2013.
- PIRES, H. F. Bioestimulante na recuperação de fitotoxicidade causada por herbicidas aplicados em pós emergência na cultura da soja. Trabalho de Conclusão de Curso, Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C., OLIVEIRA, J. B. DE, CUNHA, T. J. F. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa.
- SUASSUNA, J. F. Tolerância de genótipos de gergelim ao estresse salino. Campina Grande, 2013. 181p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande.

SOARES, L. A. D. A., FERNANDES, P. D., LIMA, G. S. D., BRITO, M. E. B., NASCIMENTO, R. D., ARRIEL, N. H. C. Physiology and production of naturally colored cotton under irrigation strategies using salinized water. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 53, p.746-75, 2018.

TORRES, L.G.; FERREIRA, E. A.; ROCHA, P. R. R.; FARIA, A.T.; GONÇALVES, V. A.; GALON, L.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de Cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 581-587, 2012.

VARSHNEY, S.; HAYAT, S.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, A. Effects of Herbicide Applications in Wheat Fields: Is Phytohormones Application a Remedy? **Plant Signaling and Behavior**, v.7, n. 5, p. 570-575, 2012.

## 4 CAPÍTULO II - COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO GERGELIM SUBMETIDO A DESSECAÇÃO EM DUAS FENOFASES DO ESTÁDIO REPRODUTIVO

### RESUMO

Diante da necessidade de otimizar a colheita e evitar perdas de produção, a dessecação é uma técnica que pode viabilizar o processo produtivo do gergelim, embora ainda não haja nenhum produto registrado nem época ideal para aplicação recomendada para esse propósito. Assim, foi avaliado os componentes de produção do gergelim submetido a dessecação em duas fases de maturação. A cultivar BRS Anahí foi conduzida em sequeiro durante dois anos seguindo o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial  $2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 2$ , sendo dois produtos dessecantes (glifosato e diuron + paraquat), três tipos de aplicação (convencional, jato dirigido e testemunha), dois períodos de aplicação (67 a 72 e 77 a 82 dias), duas colheitas (antecipada e tardia) e duas partes da planta (superior e inferior), totalizando 48 tratamentos. As variáveis avaliadas foram caracteres biométricos e de produção. Para análise dos dados foram gerados heatmaps para os 48 tratamentos. Para os dois anos cinco grupos foram formados e com os dados separados por grupo foram gerados gráficos do tipo blox plot para cada variável. No primeiro ano, o grupo 4, formado principalmente por sementes da parte superior, colhidas na fase R7, se destacou com maior número de frutos (39) e produtividade ( $559,60 \text{ kg. ha}^{-1}$ ), obtendo incremento de 67% em relação aos tratamentos do grupo 2, que apresenta o menor desempenho. No segundo ano, o grupo 2 se destaca quanto ao peso da semente, peso de mil sementes e produtividade, com incremento de 45,54; 23,68 e 49,78%, em relação aos tratamentos do grupo 4, que possuíam o menor desempenho. A dessecação com glifosato aplicado em jato dirigido no período correspondente ao R7, com colheita antecipada é uma prática recomendada para essas condições enquanto a aplicação convencional independente do produto utilizado prejudicou a produtividade da cultura.

**Palavras-chave:** colheita; herbicida; potencial produtivo; *Sesamum indicum* L.

## **PRODUCTION COMPONENTS OF SESAME SUBMITTED TO DESICCATION IN TWO PHENOPHASES OF THE REPRODUCTIVE STAGE**

### **ABSTRACT**

Faced with the need to optimize harvesting and avoid production losses, desiccation is a technique that can make the sesame production process viable, although there is still no product or ideal time for application recommended for this purpose. Thus, the production components of sesame submitted to desiccation in two stages of maturation were evaluated. The cultivar BRS Anahí was grown under rainfed conditions for two years following a randomized block design in a 2 x 3 x 2 x 2 x 2 factorial scheme, with two desiccant products (glyphosate and diuron + paraquat), three types of application (conventional, directed and control), two application periods (67 to 72 and 77 to 82 days), two harvests (early and late), two parts of the plant (upper and lower). Biometric and production characters were evaluated. For data analysis, heatmaps were generated for the 48 treatments. Five groups were formed, for both years, and with the data separated by group, blox plot graphs were generated for each variable. In the first year, group 4, formed mainly by seeds from the upper part, harvested in the R7 phase, stood out with the highest number of fruits (39) and productivity (559.60 kg.ha<sup>-1</sup>), obtaining an increase of 67% in relation to the treatments of group 2, which presented the lowest performance. In the second year, group 2 stood out for seed weight, weight of a thousand seeds and productivity, with an increase of 45.54; 23.68 and 49.78%, in relation to the treatments of group 4, which presented the lowest performance. Desiccation with glyphosate applied in a directed jet in the period corresponding to R7, with early harvest is recommended for these conditions, while the conventional application regardless of the product used harmed the productivity of the crop.

**Keywords:** harvest; herbicide; productive potential; *Sesamum indicum* L.

## 4.1 INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma das mais antigas espécies vegetais cultivadas pelo homem, considerada uma oleaginosa de fácil adaptação a diversas condições climáticas (SHILPI et al., 2014). Cultivado em 70 países, incluindo 26 e 24 países da África e da Ásia, respectivamente, com produção global média próxima a 3 milhões de toneladas por ano (NAYYAR, et al., 2018). O consumo mundial de sementes de gergelim foi de US\$ 6.559,0 milhões em 2018 e chegará a US\$ 7.244,9 milhões até 2024, com uma taxa de crescimento anual composta de 1,7% (MYINT et al., 2020). No Brasil, o cultivo na região Centro-Oeste tem registrado grande expansão, por exibir tolerância a estiagem e ampla rentabilidade ocupando maior número de áreas a cada safra (CONAB 2020; CONAB 2021).

No Nordeste brasileiro, o gergelim tem importância econômica e social, sendo uma cultura de subsistência que gera renda para população (RIBEIRO et al., 2019). Apesar do gergelim possuir menor produção quando comparada a outras oleaginosas, tal como soja, mamona e girassol, ele se destaca por requerer práticas agrícolas mais acessíveis e de fácil assimilação (ARRIEL et al., 2007).

Diante dos avanços da pesquisa, maior conhecimento sobre a cultura e criação de novas tecnologias ou adaptação das já existentes são necessárias para aumentar a produtividade (BELTRÃO et al., 2013). Dentre os fatores que impactam na redução do rendimento da cultura do gergelim, destaca-se a a maturação desuniforme dos grãos, pois pode representar perdas igual ou superior a 50% em decorrência da abertura dos frutos e dispersão das sementes (ARRIEL et al., 2007).

A maturação da dos frutos do gergelim ocorre de maneira distinta entre as partes da planta, a partir da base para o ápice (NOGUEIRA FILHO et al., 2017). A partir disso, surge a necessidade de buscar formas para uniformizar esse processo, como o uso de dessecantes que pode minimizar os danos por injúrias e as perdas, resultando em maior eficiência das máquinas colhedoras (RAISSE, 2019). Atrelado a isso, o estágio da planta no campo no momento da aplicação, assim como o produto, o princípio ativo e a forma que é aplicado na planta são fatores que podem elevar a produtividade e diminuir os custos de produção (FRANÇA-NETO et al., 2016).

Investigações referentes a ação de herbicidas dessecantes sob a produção de culturas tem sido desenvolvidas nas culturas de soja (GUIMARAES et al., 2012; CRUZ et al., 2019), trigo (KRENCHINSKI et al., 2017) e canola (ALBRECHT et al., 2013), mostrando efeitos distintos na produção. A partir da hipótese que é viável o uso de dessecantes para facilitar a colheita e garantir sementes de qualidade sem comprometer a produção da cultura, o objetivo

deste estudo foi avaliar a produção de gergelim submetido a dessecação em duas fases de maturação.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Local do estudo e condições experimentais

Os experimentos foram conduzidos nos anos 2019 e 2020 em campo, na mesorregião do Agreste Paraibano, na unidade experimental da Embrapa Algodão de Alagoinha-Paraíba, Brasil localizada latitudes 6° 54' 16" S e longitude 32° 27' 57" W e 33° 36' 00" com altitude de 140 m.

As condições climáticas, instalação e condução do experimento em campo, cultivar utilizada e manejo foram idênticas as descritas na sessão material e métodos do Capítulo 1 (página 38).

### 4.2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial (2 x 3 x 2 x 2 x 2) com quatro repetições, incluindo dois desseccantes por meio dos produtos comerciais Shadow® e Gramocil® (glifosato e diuron + paraquat), três tipos de aplicação duas formas de aplicação, uma atingindo toda a planta e outra direcionada apenas para base do colo e sem aplicação (convencional, jato dirigido e testemunha), dois períodos de aplicação (67 à 72 e 77 à 82 dias), referente às fenofases R5 e R7, duas colheitas (antecipada e tardia) e duas partes da planta (parte superior e parte inferior), constituídos por 48 tratamentos.

### 4.2.3 Caracteres produtivos

Ao final de cada ano, a produtividade foi estimada com a colheita das plantas da área útil. Dessa forma, por meio da divisão da massa das sementes (g/planta) pela densidade final de plantas/ha<sup>-1</sup> da área útil de cada parcela, obteve-se o valor em kg.parcela<sup>-1</sup>, sendo o mesmo transformado para kg.ha<sup>-1</sup>.

Após a colheita de dez plantas por parcela, foi realizada a divisão de cada porção ainda no campo e posteriormente as partes da planta foram levadas à ambiente protegido nas dependências do Laboratório de análise de sementes da Universidade Federal da Paraíba (LAS-UEPB) para secagem e beneficiamento, determinando-se seguidas variáveis descritas abaixo.

- a) Biometria de frutos (comprimento e largura): mensurados com um paquímetro digital utilizando-se quatro repetições de 10 cápsulas por porção da planta. Para determinar o

- comprimento considerou-se toda a extensão da cápsula no sentido longitudinal e o diâmetro da cápsula (largura) foi determinado na porção mediana no sentido transversal;
- b) Número de frutos: Realizada por contagem manual dos frutos por porção da planta (dividindo-se parte superior e inferior da planta);
  - c) Peso de frutos e sementes (g): Determinado em balança analítica de 0,0001 de precisão;
  - d) Peso de mil sementes: A massa de 100 sementes foi determinada pesando-se oito amostras de 100 sementes em balança de precisão ( $\pm 0,001$  g).

#### 4.2.4 Análise estatística

Os dados de cada ano foram submetidos a análise de agrupamento por meio da medida de dissimilaridade utilizando-se a distância Euclidiana como método de agrupamento *Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average* (UPGMA). Juntamente com a análise de agrupamento foi gerado o heatmap para os 48 tratamentos e sete variáveis de produção (comprimento de fruto; largura de fruto; peso de sementes; número de frutos; peso de frutos; peso de mil sementes; e produção. Um mapa de calor é uma ferramenta gráfica que auxilia na interpretação de conjuntos de dados, visando indicar o grupo que proporcionou melhor produção de grãos. A partir dos grupos formados foram gerados box-plot para os caracteres comprimento de fruto, largura de fruto, peso de sementes, número de frutos peso de fruto, peso de mil sementes, produtividade e os dados dos grupos foram submetidas a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $P \leq 005$ ). Além disso, foi realizada a comparação dos fatores isolados em cada colheita, produto, forma de aplicação e período em ambos os anos. Todas as análises foram realizadas no software R v4.0.0 (R Development Core Team, 2020).

### 4.3 RESULTADOS

#### 4.3.1 Primeiro ano

O *heatmap* elaborado com todos os caracteres biométricos e de produção provenientes do primeiro ano evidenciou ampla variação, sendo visualizada através do mapa de calor (Figura 1A). Independente do produto e da forma de aplicação, o período de aplicação mais tardio, em R7, e a segunda colheita (colheita tardia) exibiram resultados mais relevantes, com valores positivos e tons de verde e amarelo para a maioria dos caracteres, formando os grupos 4 e 5 (Figura 1A). Por outro lado, os grupos 1 e 2 se destacaram para a maioria dos caracteres, com valores negativos e tons de azul e lilás, índices biométricos e de produção desfavoráveis

indicando que o período de aplicação em R5 e a primeira colheita não obtiveram êxito (Figura 1A).

Com relação ao *boxplot*, avaliando a média de produtividade no primeiro ano, não houve variação entre os produtos utilizados na primeira colheita, entretanto, na segunda colheita constatou-se maior produtividade com uso do glifosato (Figura 1B-C). Não houve distinção entre os métodos de aplicação (Figura 1D-E) em primeira e segunda colheita ( $p \geq 0,05$ ). Porém, houve variação de 53,77% nas maiores produtividades obtidas entre as colheitas (Figura 1D-E). O período que corresponde ao R7 se sobressaiu entre os períodos de aplicação em primeira e segunda colheita, com valores de 628,91 e 1.233,65 kg.ha<sup>-1</sup> ao passo que o primeiro período registrou produtividade de 460,76 e 1050,24 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 1 F-G), respectivamente.

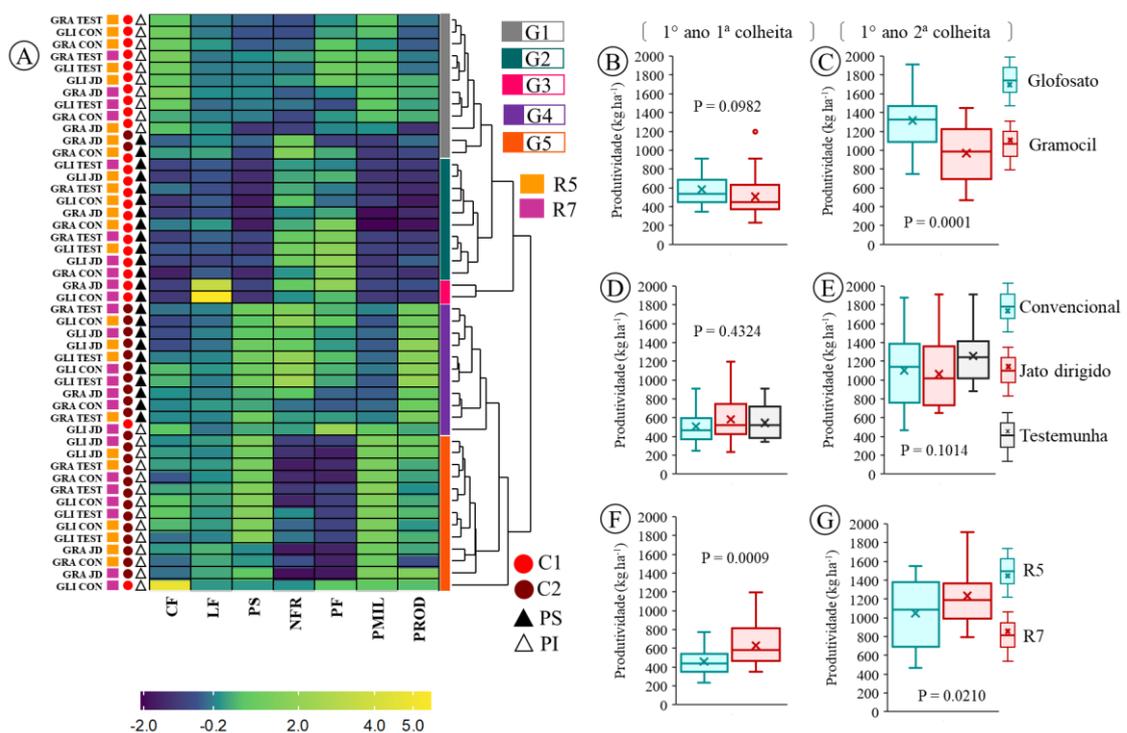


Figura 1 - Dados biométricos e de produção de gergelim no primeiro ano. A: Heatmap para os 48 tratamentos em função dos sete caracteres de componentes de produção; B-G: box plot considerando a produtividade de primeira e segunda colheita.

CF: comprimento de fruto; LF: largura de fruto; PS: peso de sementes; NFR: número de frutos; PF: peso de frutos; PMIL: peso de mil sementes; PRDT: produtividade. Diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados referentes aos box plots gerados para os caracteres biométricos e de produção revelaram respostas distintas entre os grupos. Os grupos 1, 4 e 5 foram semelhantes para o comprimento do fruto (Figura 2A); entretanto somente o grupo 4 e 5 se destacaram no peso das sementes (Figura 2C), O grupo 3 destacou-se com maior largura de frutos (Figura 2B). A produtividade dos tratamentos que formaram o grupo 4 foi 67,64% maior em comparação

aos tratamentos que formaram o grupo 2 (Figura 2G). A mesma tendência ocorreu para o número de frutos (Figura 2D). O grupo 4 foi formado por ambos os produtos e formas de aplicação em sua maioria no segundo período de aplicação (R7), tendo em comum a segunda colheita e avaliação da parte superior da planta. Os tratamentos que constituíram o grupo 5 exibiram o menor peso de fruto, porém, resultaram no maior peso de mil sementes (Figuras 2E e F, respectivamente).

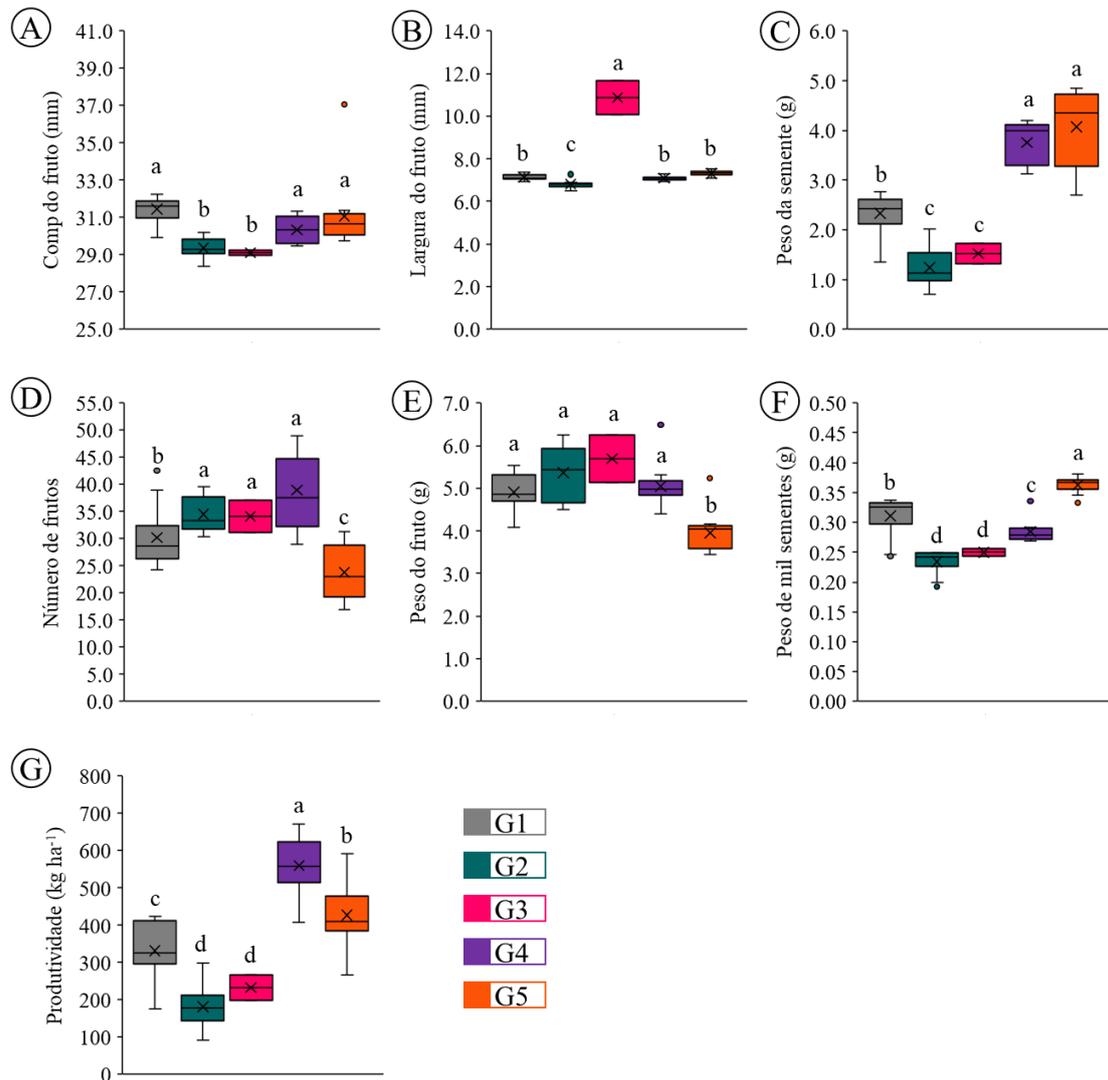


Figura 2 - Box plot para dados do primeiro ano gerados a partir dos grupos formados na análise de Cluster para os caracteres biométricos e de produção do gergelim submetido a diferentes desseccantes, métodos, períodos, colheita e parte da planta.

Letras minúsculas comparam as médias entre os grupos pelo teste Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

#### 4.3.2 Segundo ano

O *heatmap* elaborado com todos os caracteres biométricos e de produção provenientes do segundo ano evidenciou ampla variação, visualizada através da escala de cor (Figura 3A).

De acordo com o mapa de calor, ambos os dessecantes aplicados na forma de jato dirigido apresentaram melhor desempenho. O glifosato aplicado independente da fenofase (R5 e R7) e da época de colheita (antecipada ou tardia) e diuron + paraquat aplicado na fase R7, colhido de maneira antecipada (88 DAS), ambos com sementes provenientes da parte inferior da planta, foram responsáveis pelas melhores médias, compondo o grupo 2, com valores positivos e tons de verde e amarelo para a maioria dos caracteres (Figura 3A).

Por outro lado, os grupos 4 e 5 que correspondem a 27% dos tratamentos apresentaram para a maioria dos caracteres valores inferiores, representado por tons de azul e lilás, com tratamentos compostos principalmente de diuron + paraquat aplicado de forma convencional no período que corresponde ao R5, com colheita realizada de forma antecipada e a parte superior de maneira predominante (Figura 3A).

A produtividade do segundo ano foi semelhante na comparação entre os dois dessecantes na primeira colheita, porém, na segunda colheita o glifosato apresentou incremento de 18,78% em relação ao diuron + paraquat (Figuras 3B-C). A produtividade utilizando a pulverização com jato dirigido na primeira colheita foi 29,72% maior em relação as plantas que não dessecadas (testemunha) e 18,38% em relação a aplicação convencional (Figura 3D). Na segunda colheita foi verificada a mesma tendência, onde o jato dirigido obteve maior produtividade, sendo 31,33% e 18,16% maior em comparação ao controle e a aplicação convencional, respectivamente (Figura 3E). Na primeira colheita houve diferença significativa entre os períodos de aplicação (fenofases), com acréscimo de 15,93% a mais para o período R7, enquanto na segunda colheita não houve diferença significativa (Figura 3 F-G).

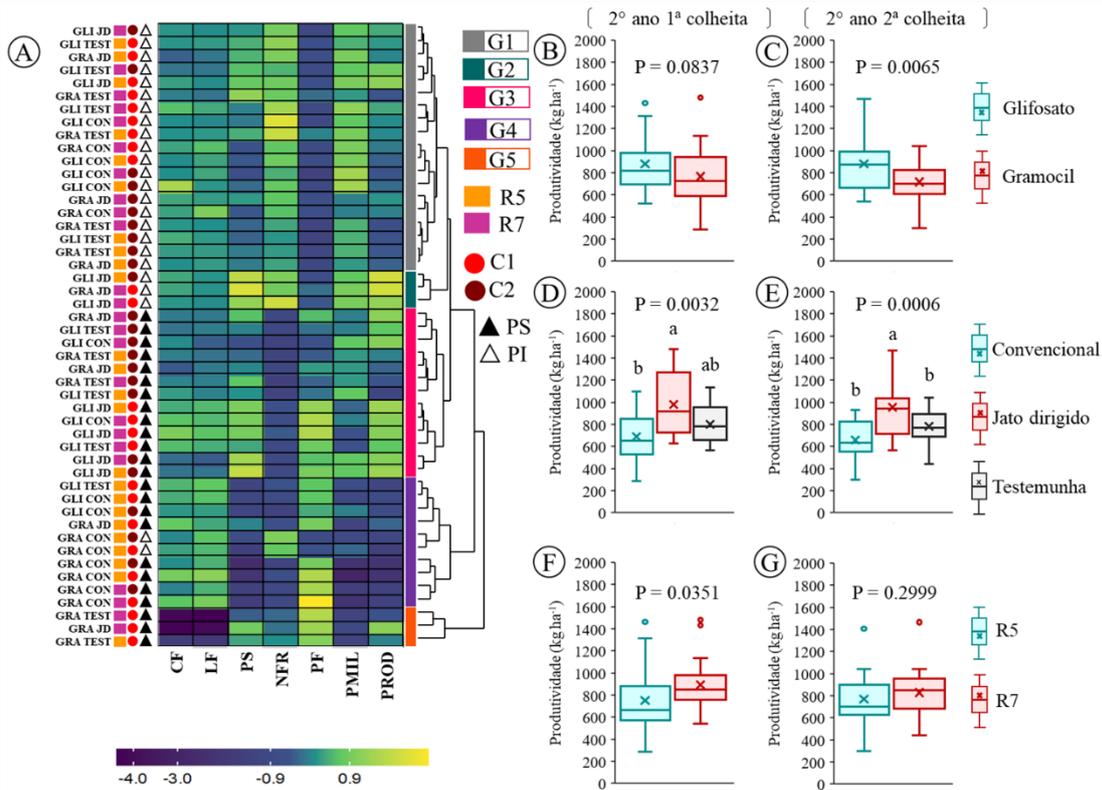


Figura 3 - Dados biométricos e de produção de gergelim no segundo ano.

A: Heatmap para os 48 tratamentos em função dos sete caracteres de componentes de produção; B-G: box plot considerando a produtividade de primeira e segunda colheita.

CF: comprimento de fruto; LF: largura de fruto; PS: peso de sementes; NFR: número de frutos; PF: peso de frutos; PMIL: peso de mil sementes; PRDT: produtividade Diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os box-plots gerados para os caracteres biométricos e de produção revelaram resposta semelhante entre os grupos para o comprimento e largura do fruto, com menor valor nos tratamentos que formaram o grupo 5 (Figura 4A, B). O grupo 2, formado por ambos os produtos, períodos de aplicação e colheita tendo em comum a aplicação com jato direcionado e avaliada a porção inferior da planta, se destacou para o peso da semente e produtividade, com incremento de 55 e 50%, respectivamente, em relação aos tratamentos que formaram o grupo 4, que mostrou o menor desempenho (Figura 4C, G). O grupo 2 também se destacou para o número de frutos por planta e peso de mil sementes, porém não deferiu dos grupos 1 (Figura 4D) e 3 (Figura 4F). Maior massa de fruto foi registrada nos tratamentos que formaram os grupos 3, 4 e 5, diferindo ( $p \leq 0,05$ ) dos grupos 1 e 2 (Figura 4E).

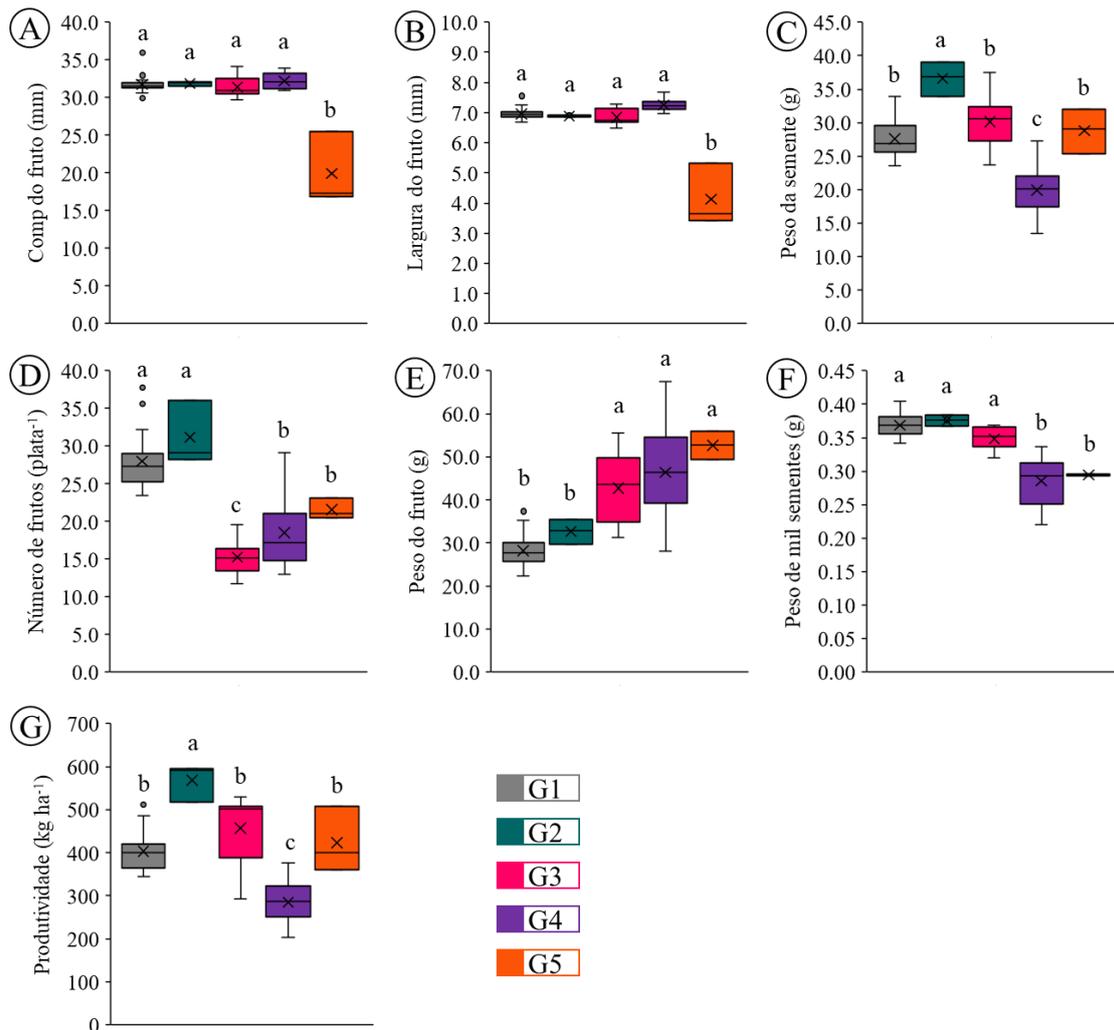


Figura 4 - Box plot do segundo ano gerados a partir dos grupos formados na análise de Cluster para os caracteres biométricos e de produção do gergelim submetido a diferentes desseccantes, métodos, períodos, colheita e parte da planta. Letras minúsculas compara as médias dos grupos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

#### 4.4 DISCUSSÃO

Na avaliação da primeira colheita, apesar da distinção entre os mecanismos de ação dos desseccantes não foi evidenciada variação concisa nos componentes de produção, com semelhança na produtividade no primeiro e segundo ano (Figuras 1B, 4B). Por outro lado, quando avaliada a segunda colheita, nos dois anos de produção, o uso do glifosato resultou em aumento de 26 e 19% na produtividade em relação ao diuron + paraquat (Figuras 1C, 4C). Tais resultados podem estar associados a dessecação ocorrer de forma gradual quando utilizado o glifosato, diferente do diuron + paraquat que seca a planta com maior rapidez deixando-a mais susceptível a ação do vento, causando maior perda natural dos grãos antes da colheita. Os resultados podem ser distintos em função da espécie estudada, pois em estudos conduzidos com

dessecantes na pré-colheita da soja, não houve diferenças em função da época de aplicação ou dos produtos utilizados, bem como na produção (GUIMARÃES et al., 2013; PEREIRA et al., 2015).

O jato dirigido se sobressaiu em relação aos demais, o que pode ser observado de forma precisa no segundo ano (Figura 3 D, E). A utilização de herbicidas dessecantes de forma dirigida é mais favorável quando comparada com a forma convencional pois, evita o aumento do custo de produção, por ocasionar menor perda no momento da aplicação, além de ser uma forma de evitar a deriva para outros plantios e gerar maior segurança na aplicação. A aplicação convencional contribuiu para uma menor produtividade em relação aos demais, provavelmente isso aconteceu por que nesse caso, os produtos foram mais absorvidos e em maior velocidade, pois a aplicação foi diretamente na folha, matando (dessecando) rapidamente a planta antes da semente atingir o pico de acúmulo de matéria seca. Os dessecantes podem exibir importante papel no objetivo de consolidar a cadeia produtiva do gergelim no Brasil, fazendo parte de um pacote tecnológico para estruturar o processo produtivo e gerar estabilidade de produção, visto que é comum observar em uma mesma região produtividades bem distintas. Dessa forma, a consolidação da cadeia produtiva tem reflexo direto sobre o nível tecnológico que é empregado para as culturas (QUEIROGA et al., 2009).

A produção nacional do gergelim foi de  $671 \text{ kg.ha}^{-1}$  na safra de 21/22 e estudos conduzidos na região do Brejo paraibano com a cultivar Anahí resultaram em produtividade de  $1466,0 \text{ kg.ha}^{-1}$  (SILVA, 2020). Nas condições deste estudo a produtividade utilizando glifosato e diuron + paraquat foi de  $1830,0 \text{ kg.ha}^{-1}$  e  $1477,91 \text{ kg.ha}^{-1}$  respectivamente, ao passo que o tratamento controle registrou produtividade de  $1692,77 \text{ kg.ha}^{-1}$ , indicando que a aplicação de dessecantes resulta em incremento da produtividade.

Em ambos os anos houve maior produtividade para o período de aplicação na fase reprodutiva (R7). Nesse caso, o resultado pode ser atribuído ao maior período de tempo para enchimento do grão, no qual se dá pelo acúmulo de matéria seca (proteínas, carboidratos e lipídeos) (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Quando a planta recebe a aplicação de forma mais tardia, o grão está mais próximo de sua maturidade fisiológica, apresentando maior massa, apto a passar pela uniformidade que o processo de dessecação química proporciona, gerando consequentemente maior produtividade.

O período R7 (77 a 82 DAS) proporcionou incremento de 19 e 12% na produtividade, no primeiro e segundo ano em relação ao período R5, respectivamente. Esse resultado deve ter ocorrido devido ao maior acúmulo de massa seca nas sementes colhidas de forma tardia, permitido que as plantas permanecessem por mais tempo em campo, havendo maior

translocação de fotoassimilados para as sementes o que colaborou com a produtividade em relação a colheita realizada de forma precoce na fase R5.

Foi possível inferir que a utilização do glifosato utilizado na forma de jato dirigido, com aplicação em R7 e colheita tardiamente, sobretudo nas sementes oriundas da parte inferior da planta, apresenta maior potencial, contudo, este estudo serve de base para outras regiões produtoras a fim de garantir melhorias no processo de colheita e para evitar perdas de produção, sendo necessário avaliar a aplicação desses tratamentos em diferentes polos de produção do gergelim. Nesse contexto, o estudo apresenta recomendações de manejo e produção de gergelim em condições edafoclimáticas da mesorregião do Agreste paraibano.

#### **4.5 CONCLUSÕES**

A dessecação com glifosato aplicado em jato dirigido no período correspondente ao R7, com frutos colhidos tardiamente é viável nas condições edafoclimáticas da mesorregião do Agreste Paraibano;

A aplicação convencional independente do produto utilizado prejudicou a produtividade da cultura do gergelim colhido de forma precoce ou tardia nos dois ciclos de avaliação.

## REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L. P.; KRENCHINSKI, F. H.; PLACIDO, H. F.; BOMM, M. A. R.; KUNZ, V. L.; ÂNGELO KORBER, H. C.; BIELER, R. R. Canola desiccation at different stages of pods maturation1 Dessecação de canola em diferentes pontos de maturação das síliquas **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p.143-150, 2013.
- ARRIEL, N.H.C.; FIRMINO, P.T.; BELTRÃO, N. E. M.; SOARES, J.J.; ARAUJO, A. E.; SILVA, A.C.; FERREIRA, G. B. A. **A cultura do gergelim**. Brasília: EMBRAPA, 72p, 2007.
- BELTRÃO, N. E. M.; FERREIRA, L. L.; QUEIROZ, N. L.; TAVARES, M. S.; ROCHA, M. S.; ALENCAR, R. D.; PORTO, V. C. N. **O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro**. Natal: IFRN, 2013. 245 p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.8 n.7 - Safra 2020/21 – Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-116, abril 2021.
- CRUZ, L. P.; CARVALHO, T. C. Efeito da dessecação na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista cultivando o saber**, v.12, n.2, p. 206 - 223. 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA –EMBRAPA. Gergelim, BRS Anahí.1 ed. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2015. 2 p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016) FAOSTAT Production Crops. [on-line]. Disponível em: < <http://faostat3.fao.org/home>
- FIGLIARESE, D. A.; MACHADO, T. M.; PELEGRIN, J. H. B.; CERVO, F. M.; RAMOS, A. C. M.; PEREIRA, A. E. S. Perdas na colheita do gergelim. **Agriworld**, v. 11, n.1, p. 42-49, 2020.
- FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P.; LORINI, I. HENNING, F. A. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p. il. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n.38
- GUIMARÃES, V. F.; HOLLMANN, M.J.; FIGLIARESE. S.L.; ECHER, M.M.; RODRIGUES-COSTA. A.C.P.; ANDREOTTI. M. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de estádios de dessecação e herbicidas. **Planta Daninha**, v.30, n.3, p.567-573, 2012.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura. Econômica México, 1948.

KRENCHINSKI, F.Q.; CESCO, V.J.S.; RODRIGUES, D.M.; PEREIRA, V.G.C.; ALBRECHT, A.J.P.; ALBRECHT, L.P. Yield and physiological quality of wheat seeds after desiccation with different herbicides. **Journal of Seed Science**, v.39, n.3, p.254-261, 2017.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina, PR: ABRATES, 2015. 660 p.

MYINT, D.; GILANI, S.A.; KAWASE, M.; WATANABE, K.N. Sustainable Sesame (*Sesamum indicum* L.) Production through Improved Technology: An Overview of Production, Challenges, and Opportunities in Myanmar. **Sustainability**, v.12, n.1, p. 1-21, 2020.

NAYYAR, B. G.; WOODWARD, S.; MUR, L.; AKRAM, A.; ARSHAD, M.; SAQLAN NAQVI, S. M.; AKHUND, S. Identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds from the Punjab, Pakistan. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.102, n.1, p.128-135, 2018.

NOGUEIRA FILHO, F. P.; OLIVEIRA, A. B.; PEREIRA, M. S.; LOPES, M. F. Q.; SILVA, R. T. Efetividade do teste de raios-X para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sésamo, devido à posição dos frutos na planta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 435-440, 2017.

QUEIROGA, V. P.; GONDIM, T. M. S.; QUEIROGA, D. A. N. Tecnologias sobre operações de semeadura e colheita para a cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 3, n. 2, p. 106-121, 2009.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.

RAÍSSE, E. R. **Efeito de herbicidas dessecantes na antecipação da colheita, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi**. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa. 2019. 45p.

RIBEIRO, R. M. P.; ALBUQUERQUE, J. R. T.; PEREIRA, C. C. A; PEREIRA, L. A. F.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M.; GRANGEIRO, L. C. Nutrientuptake in sesame cultivars under cultivation in semiarid conditions. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 1, p. 137-147, 2019

RINCÓN, C. A.; SALAZAR, N. Descripción de las etapas de desarrollo del ajonjolí. **Revista Agronomía Tropical**, v.47, n.1, p.475-487, 1997.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SHILPI, S.; NURUZZAMAN, M.; AKHTER, F.; ISLAM, M. N; SUBSTITUIÇÃO, G. N. C. Response of nitrogen and sulfur on the oil content of sesame and nutrient status of soil. **International Journal of Bioresource and Stress Management**, v. 5, n. 1, p. 41-46, 2014.

## 5 CAPÍTULO III - QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES OBTIDAS DE PLANTAS DE GERGELIM DESSECADAS EM DUAS FASES DE MATURAÇÃO

### RESUMO

A colheita do gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma etapa crítica no processo produtivo, logo, o uso de dessecantes surge como alternativa para sua uniformização e possibilidades de maior qualidade das sementes. Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de gergelim oriundas da aplicação de dessecantes em diferentes fases do processo produtivo. Para isso, os dessecantes glifosato e diuron + paraquat foram aplicados em dois anos de cultivo da cultivar BRS Anahí nas fenofases R5 e R7, nas formas de pulverização convencional, jato dirigido e sem nenhuma aplicação (testemunha), realizando-se duas colheitas (antecipada e tardia). Quanto as análises fisiológicas, o delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, sendo os dados submetidos a análise multivariada. No grupo 1, em ambos os anos se registrou germinação de 93% e 98% respectivamente, apresentando em comum sementes do terço inferior, utilizando jato dirigido no estágio R7, colhidos de forma tardia. Por outro lado, maior porcentagem de plântulas anormais (46%), foi registrada nas plantas pulverizadas de forma convencional. Desse modo, a colheita do gergelim deve ser realizada dos 90 aos 105 DAS; com aplicação do dessecante na forma de jato dirigido.

**Palavras chave:** colheita; estágio reprodutivo; germinação; *Sesamum indicum* L.; vigor de sementes.

## PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SEEDS OBTAINED FROM DRIED SESAME PLANTS IN TWO MATURATION STAGES

### ABSTRACT

Harvesting sesame (*Sesamum indicum* L.) is a critical step in the production process, therefore, the use of desiccants appears as an alternative for its standardization and possibilities for higher seed quality. The objective was to evaluate the physiological quality of sesame derived from the application of desiccants at different stages of the production process. For this, the desiccants glyphosate and diuron + paraquat were applied in two years of cultivation of the BRS Anahí cultivar in the R5 and R7 phenophases, in the forms of conventional spraying, directed jet and without any application (control), carrying out two harvests (early and late). As for the physiological analyses, the design used was completely randomized, with the data submitted to multivariate analysis. In group 1, in both years, germination rates were 93% and 98%, respectively, with seeds from the lower third in common, using a directed jet at the R7 stage, harvested late. On the other hand, a higher percentage of abnormal seedlings (46%) was registered in plants sprayed in a conventional way. Thus, the sesame harvest should be carried out from 90 to 105 DAS; with application of the desiccant in the form of a directed jet.

**Keywords:** harvest; reproductive stage; germination; *Sesamum indicum* L.; seed vigor.

## 5.1 INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), pertencente à família Pedaliaceae, é cultivado em mais de 70 países, especialmente em climas tropicais e regiões subtropicais como África, China, Índia e América do Sul (OYINLOYE et al., 2016; PHUMICHAH et al., 2017; BHALODIYA et al., 2019). No Brasil, seu cultivo ocorre nas regiões Centro-Sul e Nordeste (MIRANDA; RODRIGUES 2015). Possui potencial para produção de bioetanol, biodiesel e biogás, além de muito apreciado por ser matéria-prima para fabricação de diversos produtos como cosméticos, perfumes, óleos de banho, inseticidas, tintas, produtos farmacêuticos e, principalmente, produtos de panificação e confeitaria (PAUL; DUTTA 2018; HSU et al., 2018).

Considerada como seu principal órgão, as sementes estão sujeitas a processos degenerativos, tendo em vista ter a espécie maturação desuniforme nos diferentes segmentos da planta, o que ocasiona abertura natural de suas cápsulas após o início da maturação e a liberação das sementes no solo, dificultando o processo de colheita (QUEIROGA et al., 2012; NOGUEIRA FILHO et al., 2017). As perdas devido à natureza deiscente das cápsulas podem ser superiores a 50% da produção; aliado ao fato do Brasil ainda não dispor de cultivares indeiscentes que reúnam características desejáveis e que facilitem a mecanização da lavoura na fase da colheita (ARRIEL et al., 2009).

No processo de produção do gergelim, a colheita deve ser realizada de forma planejada levando-se em consideração o ponto de maturidade fisiológica, uma vez que a qualidade das sementes está associada ao grau de umidade no momento da colheita (MOREANO et al., 2013). Neste sentido, a dessecação química configura-se como alternativa promissora, pois, a utilização de herbicidas, favorece, de forma mais rápida, o processo de perda de água (TOLEDO et al., 2012).

Fatores como escolha do produto, modo de ação, estágio reprodutivo da cultura, forma de aplicação, momento ideal para aplicação, juntamente com o tempo de colheita, e condições ambientais no momento da aplicação são importantes para minimizar impactos no rendimento e proporcionar maior uniformidade das sementes no momento da colheita (GUIMARÃES et al., 2012). Desse modo, para a produção de sementes e facilitar o processo da colheita mecanizada é preciso adotar práticas que contribuam para garantia de elevada qualidade fisiológica, assegurando a formação de plântulas vigorosas.

Na literatura são reportados estudos que avaliam a eficiência de dessecantes, mostram resultados contrastantes dependendo de doses e produtos aplicados, em culturas como *Glycine max* L. (TOLEDO et al. 2012; SILVA et al. 2016; COMIN et al. 2018; ZUFFO et al., 2019);

*Phaseolus vulgaris* L. (LIMA et al., 2018; ROSADO et al., 2019), *Triticum aestivum* L. (TARUMOTO et al., 2015; KRENCHINSKI et al., 2017; SEIDLER et al., 2019), *Brassica napus* L. (ROSA et al., 2019) e *Sorghum bicolor* L. (BARROS et al., 2019), contudo, estudos dessa natureza com a cultura do gergelim são escassos e incipientes, havendo a necessidade de avanços nesse campo para determinação do dessecante, método e período de aplicação que promovam um menor impacto à qualidade fisiológica das sementes e possa ser utilizado em campos de multiplicação de sementes desta espécie.

Com base na hipótese de que a qualidade fisiológica de sementes é mantida após a aplicação de dessecantes, sendo capaz de reduzir as perdas e, conseqüentemente, favorecer a melhor época de colheita, assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de gergelim oriundas de diferentes fases do processo reprodutivo através da aplicação de dessecantes.

## **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.1 Condições experimentais em campo**

O experimento foi conduzido nos anos 2019 e 2020, em campo, na mesorregião do Agreste paraibano, no município de Alagoinha, Paraíba, Brasil na unidade experimental da Embrapa Algodão, 6° 54' 16" S, 32° 27' 57" W e 33° 36' 00", com 140 m de altitude. A região possui clima As' (tropical chuvoso com verão seco) de acordo com a classificação de Köppen 1948. O solo foi classificado como Latossolo vermelho eutróxico, típico em ambas as áreas (SANTOS, 2018).

Dados de pluviosidade foram coletados na estação meteorológica da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária – EMPAER, permitindo a representação meteorológica (Figura 1)

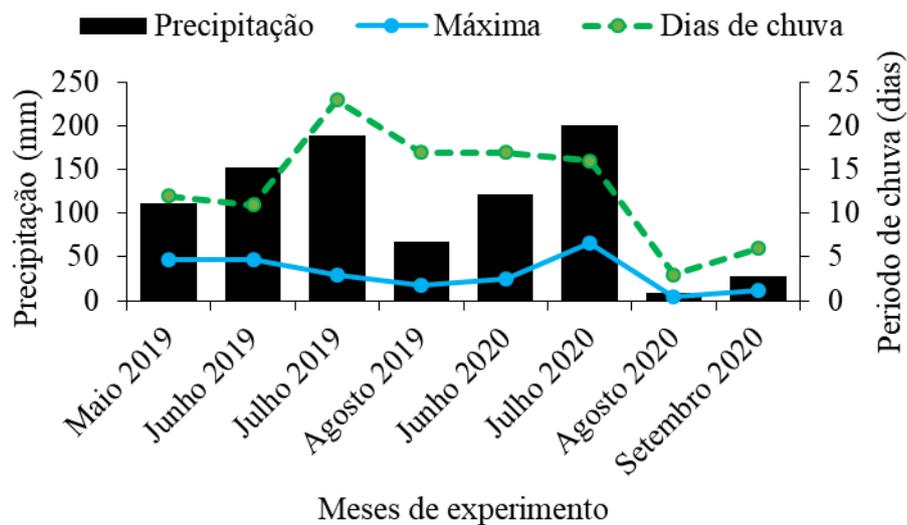


Figura 1 - Dados referentes aos meses de cultivo nos dois anos de cultivos no município de Alagoinha-Paraíba, Brasil.

Análises de química do solo foram realizadas antes da instalação do experimento nos dois anos. No primeiro ano, amostras coletadas na camada de 0 – 20 cm, apresentaram as seguintes características: pH (H<sub>2</sub>O): 4,6; P: 2,0 mg.dm<sup>3</sup>; Ca: 10,4 mmolc.dm<sup>3</sup>; Mg: 40,6 mmolc.dm<sup>3</sup>; Na: 0,5 mmolc.dm<sup>3</sup> e K: 0,7 em mmolc.dm<sup>3</sup>; S: 16,2 mmolc.dm<sup>3</sup>; Al: 2,0 mmolc.dm<sup>3</sup>; H + Al: 23,1 mmolc.dm<sup>3</sup> e CTC: 39,3 em mmolc.dm<sup>3</sup> e V = 41,2% e M.O: 7,8 g.kg<sup>-1</sup>.

No segundo ano, as seguintes características: pH (H<sub>2</sub>O): 4,9; P: 1,6 mg.dm<sup>3</sup>; Ca: 32,2 mmolc.dm<sup>3</sup>; Mg: 22,8 mmolc.dm<sup>3</sup>; Na: 0,4 mmolc.dm<sup>3</sup> e K: 2,2 em mmolc.dm<sup>3</sup>; S: 57,6 mmolc.dm<sup>3</sup>; Al: 1,0 mmolc.dm<sup>3</sup>; H + Al: 37,1 mmolc.dm<sup>3</sup> e CTC: 94,7 em mmolc.dm<sup>3</sup> e V = 60,8% e M.O: 17,0 g.kg.

### 5.2.2 Material vegetal e manejo no campo

A época de plantio (maio a agosto) atendeu as orientações do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) referente ao município de Alagoinha – PB (6° 57' 12" S, 35° 32' 19" W), em sistema de sequeiro. O preparo do solo se deu de duas gradagens antes do plantio. A adubação com MAP foi realizada por ocasião do plantio, conforme os resultados da análise química e fertilidade do solo.

As parcelas foram compostas por quatro linhas de plantio com 5,00 m de comprimento, sendo as duas linhas centrais consideradas área útil e as demais a bordadura, obedecendo o espaçamento de 0,76 x 0,10 m, ou seja, área de 15,00 m<sup>2</sup> por parcela. Foi implementada a

distância de 1,50 m entre as parcelas, para facilitar a locomoção e evitar a deriva em parcelas vizinhas.

Para o cultivo do gergelim em sequeiro, foi utilizada, em ambos os anos, sementes da cultivar BRS Anahí cedida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a qual apresenta alto potencial produtivo; porte mediano e hábito de crescimento não ramificado (EMBRAPA 2015).

Para o controle de plantas daninhas no primeiro ano, o Diuron ( $1,5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) + Glifosato ( $5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) foi aplicado na fase de pré-emergência. Para o segundo ano foi utilizado Pendimetalina ( $1 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) + Diuron ( $2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na fase de pré emergência. Foram feitas aplicações de inseticida utilizando Tiametoxam ( $200 \text{ g i.a ha}^{-1}$ ) para controle da mosca branca, para ambos os anos.

No segundo ano foi utilizado o fungicida (TRIFLOXISTROBINA) + (TEBUCONAZOL), para Mancha-de-alternaria (*Alternaria sesami*).

No primeiro ano foram realizadas duas adubações de cobertura, a primeira com Sulfato de amônia ( $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e Cloreto de potássio ( $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), a segunda com Ureia ( $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e cloreto de potássio ( $30 \text{ kg i.a ha}^{-1}$ ). No segundo ano foram realizadas duas adubações de cobertura, ambas com Ureia ( $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Para dessecação em pré-colheita, em ambos ambos os anos, foram utilizados isoladamente glifosato ( $4 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e diuron + paraquat ( $2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em duas fenofases da planta (R5 e R7) aplicado com pulverizador costal manual com bateria Kawashima PEM-P20 20 Litros, com bico leque “Laranja e vazão - 0,33 a 0,46 l/min”, com pressão de 2,5 bar. Cada dessecante, foi aplicado com pulverizadores similares para evitar efeitos residuais entre eles.

### 5.2.3 Aplicação dos tratamentos

Durante a fase reprodutiva da cultura foram aplicados diferentes tratamentos em campo conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos utilizados na cultura do Gergelim BRS Anahí por período de dois anos.

Trat <sup>1</sup>	Produtos	Tipo de aplicação	Fase reprodutiva	Período	Colheita	Parte da planta
T1	Glifosato <sup>2</sup>	CON <sup>4</sup>	R5 <sup>7</sup>	P1 <sup>9</sup>	C1 <sup>11</sup>	PS <sup>13</sup>
T2	Glifosato	CON	R7 <sup>8</sup>	P2 <sup>10</sup>	C1	PS
T3	Glifosato	JD <sup>5</sup>	R5	P1	C1	PS
T4	Glifosato	JD	R7	P2	C1	PS
T5	Glifosato	TEST <sup>6</sup>	R5	P1	C1	PS
T6	Glifosato	TEST	R7	P2	C1	PS
T7	Diuron + Paraquat <sup>3</sup>	CON	R5	P1	C1	PS
T8	Diuron + Paraquat	CON	R7	P2	C1	PS
T9	Diuron + Paraquat	JD	R5	P1	C1	PS
T10	Diuron + Paraquat	JD	R7	P2	C1	PS
T11	Diuron + Paraquat	TEST	R5	P1	C1	PS
T12	Diuron + Paraquat	TEST	R7	P2	C1	PS
T13	Glifosato	CON	R5	P1	C1	PI <sup>14</sup>
T14	Glifosato	CON	R7	P2	C1	PI
T15	Glifosato	JD	R5	P1	C1	PI
T16	Glifosato	JD	R7	P2	C1	PI
T17	Glifosato	TEST	R5	P1	C1	PI
T18	Glifosato	TEST	R7	P2	C1	PI
T19	Diuron + Paraquat	CON	R5	P1	C1	PI
T20	Diuron + Paraquat	CON	R7	P2	C1	PI
T21	Diuron + Paraquat	JD	R5	P1	C1	PI
T22	Diuron + Paraquat	JD	R7	P2	C1	PI
T23	Diuron + Paraquat	TEST	R5	P1	C1	PI
T24	Diuron + Paraquat	TEST	R7	P2	C1	PI
T25	Glifosato	CON	R5	P1	C2 <sup>12</sup>	PS
T26	Glifosato	CON	R7	P2	C2	PS
T27	Glifosato	JD	R5	P1	C2	PS
T28	Glifosato	JD	R7	P2	C2	PS
T29	Glifosato	TEST	R5	P1	C2	PS
T30	Glifosato	TEST	R7	P2	C2	PS
T31	Diuron + Paraquat	CON	R5	P1	C2	PS
T32	Diuron + Paraquat	CON	R7	P2	C2	PS
T33	Diuron + Paraquat	JD	R5	P1	C2	PS
T34	Diuron + Paraquat	JD	R7	P2	C2	PS
T35	Diuron + Paraquat	TEST	R5	P1	C2	PS
T36	Diuron + Paraquat	TEST	R7	P2	C2	PS
T37	Glifosato	CON	R5	P1	C2	PI
T38	Glifosato	CON	R7	P2	C2	PI
T39	Glifosato	JD	R5	P1	C2	PI
T40	Glifosato	JD	R7	P2	C2	PI
T41	Glifosato	TEST	R5	P1	C2	PI
T42	Glifosato	TEST	R7	P2	C2	PI
T43	Diuron + Paraquat	CON	R5	P1	C2	PI

T44	Diuron + Paraquat	CON	R7	P2	C2	PI
T45	Diuron + Paraquat	JD	R5	P1	C2	PI
T46	Diuron + Paraquat	JD	R7	P2	C2	PI
T47	Diuron + Paraquat	TEST	R5	P1	C2	PI
T48	Diuron + Paraquat	TEST	R7	P2	C2	PI

<sup>1</sup>Tratamentos presentes em ambos os anos; <sup>2</sup>[N-(phosphonomethyl) glycine]; <sup>3</sup>(1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridium + 3-[3,4-dichlorophenyl]-1,1-dimethylurea); <sup>4</sup>Pulverização convencional; <sup>5</sup>Jato dirigido que consiste na aplicação localizada no colo da planta à base da haste do gergelim, entre 0,10 m a 0,20 m da superfície do solo; <sup>6</sup>Sem aplicação; <sup>7</sup>Cápsulas que atingiram seu comprimento máximo; <sup>8</sup>Abertura dos primeiros frutos na parte inferior do caule principal e alterações avançadas na coloração da planta e dos frutos; <sup>9</sup>período de 67 a 72 dias após a semeadura (DAS); <sup>10</sup>período de 77 a 82 dias após a semeadura (DAS); <sup>11</sup>82 a 88 dias após a semeadura DAS <sup>12</sup>90 a 105 dias após a semeadura DAS; <sup>13</sup>parte superior (metade que vai do ápice ao meio da planta); <sup>14</sup>parte inferior (metade que vai da inserção do primeiro fruto próximo ao meio da planta).

#### 5.2.4 Delineamento experimental em campo

Com relação a produção de sementes, os experimentos em campo foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial (2 x 3 x 2 x 2 x 2) incluindo dois dessecantes por meio dos produtos comerciais Shadow® e Gramocil® (glifosato e diuron + paraquat), três formas de aplicação, uma atingindo toda a planta e outra direcionada apenas para base do colo (convencional, jato dirigido) e testemunha, dois períodos de aplicação (67 à 72 e 77 à 82 dias) referente às fenofases R5 e R7, duas colheitas (antecipada e tardia) e duas partes da planta (parte superior e parte inferior) com um total de 48 tratamentos (Tabela I).

#### 5.2.5 Colheita e beneficiamento das sementes

No primeiro ano, aos 88 e 105 dias e no segundo ano aos 82 e 90 dias após semeadura (DAS) foram colhidas, 10 plantas ao acaso realizando-se o corte na altura de inserção dos primeiros frutos (35 cm de altura em relação à superfície do solo), onde procedeu-se o corte da planta separando em duas partes (superior e inferior). Em seguida foram levadas à ambiente protegido nas dependências do Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal da Paraíba (LAS-UFPB) e distribuídas horizontalmente em bancadas, para secagem natural. Posteriormente, após dez dias efetuou-se o beneficiamento (recolhimento e limpeza das sementes), sendo as sementes acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificadas para a realização das análises.

#### 5.2.6 Instalação e condução do experimento em laboratório

As análises de qualidade fisiológica foram realizadas no Laboratório de Análise de Sementes, pertencente ao Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais (DFCA) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, localizado no município de Areia, PB (6° 57' 42" S, 35° 41' 43" W).

### 5.2.7 Variáveis avaliadas

As determinações do grau de umidade foram realizadas pelo método da estufa a  $105 \pm 3$  °C durante 24 horas (BRASIL, 2009). A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada através dos ensaios:

I) Primeira Contagem de Germinação (PCG) – conduzida em conjunto com o teste de germinação, onde se obteve a porcentagem de plântulas normais no terceiro dia após a sua instalação (BRASIL, 2009).

II) Germinação (G%) – o teste foi realizado com quatro repetições de 50 sementes, a temperatura constante de 25 °C, com contagens efetuadas aos três e seis dias após a semeadura, de acordo com os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009);

III) Índice de Velocidade de Germinação (IVG) – realizado simultaneamente ao teste de germinação, com leituras realizadas da primeira (terceiro dia) até a última contagem (sexto dia após a semeadura) e posterior cálculo conforme equação proposta por Maguire (1962).  $IVG = G1/N1 + G2/N2 + G3/N3 + \dots + Gn/Nn$ , onde: IVG = Índice de Velocidade de Germinação; G1, G2, Gn = número de plântulas normais computadas na primeira, segunda e última contagem; N1, N2, Nn = número de dias de semeadura da primeira, segunda e última contagem.

IV) Tempo Médio de Germinação (TMG) - obtido pela contagem das sementes germinadas diariamente até o sexto dia após a semeadura (Labouriau 1983);  $TMG = \sum (ni \cdot ti) / \sum ni$ , em que: TMG = tempo médio de germinação (dias); ni = número de sementes germinadas no intervalo entre cada contagem; ti = tempo decorrido entre o início da germinação e a i-ésima contagem.

V) Massa seca da parte aérea (MSPA) as plântulas oriundas do teste de germinação de cada tratamento foram colocadas em sacos de papel e levadas para estufa regulada a 65° C até atingirem peso constante, procedendo-se, em seguida, a pesagem em balança de precisão com resultado da massa da matéria seca parte área; e

VI) massa da matéria seca da raiz (MSR) e

VII) massa seca total das plântulas expressos em  $g.plântulas^{-1}$ .

VI) Comprimento da parte aérea (CPA) – a medição foi realizada nas plântulas oriundas do teste de germinação de cada tratamento com o auxílio de uma régua graduada em centímetro da base do colo até a inserção da última folha.

VII) Comprimento da raiz (CR) – a medição foi realizada nas plântulas oriundas do teste de germinação de cada tratamento com o auxílio de uma régua graduada em centímetro da base do colo até a inserção da última folha.

VIII) Comprimento da plântula (CPT) – a medição foi realizada nas plântulas oriundas do teste de germinação de cada tratamento com o auxílio de uma régua graduada em centímetro da base do colo até a inserção da última folha.

IX) Condutividade elétrica (CE)- realizada utilizando quatro repetições de 50 sementes por tratamento. As sementes foram colocadas em copos descartáveis de 200 mL contendo 50 mL de água deionizada, mantidos em temperatura de 25° C por 8 horas para, em seguida, proceder-se a leitura com condutivímetro Mars®, modelo MB-11P (TORRES et al. 2009), cujos resultados foram expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ .

X) Emergência de Plântulas (EP%) – conduzido em bandejas com substrato de areia lavada, onde foram semeadas quatro repetições de 50 sementes e mantidas em ambiente protegido. As avaliações foram realizadas aos 15 dias após a semeadura determinando-se a porcentagem de plântulas emersas.

XI) Índice de Velocidade de Emergência (IVE) - paralelo ao teste de emergência, foi determinado o número de plântulas emersas diariamente até aos 15 dias após a semeadura (MAGUIRE 1962). Considerou-se emersas as plântulas que abriram seus cotilédones e seu eixo caulinar se posicionou verticalmente;  $\text{IVE} = (E1/N1) + (E2/N2) + \dots + (En/Nn)$ , em que: IVE = índice de velocidade de emergência; E1, E2, En = número de plântulas emersas e computadas na primeira, na segunda e na última contagem; N1, N2, Nn = número de dias da semeadura à primeira, à segunda e à última contagem.

XII) Tempo Médio de Emergência (TME) - obtido através da contagem diária das plântulas emersas até o décimo quinto dia após a semeadura (LABOURIAU 1983);  $\text{TME} = \Sigma (ni \cdot ti) / \Sigma ni$ , em que: TME = tempo médio de emergência (dias); ni = número de sementes emersas no intervalo entre cada contagem; ti = tempo decorrido entre o início da emergência e a i-ésima contagem.

XIII) Comprimento da parte aérea (CPA) – a medição foi realizada nas plântulas oriundas do teste de emergência de cada tratamento com o auxílio de uma régua graduada em centímetro da base do colo até a inserção da última folha.

XIV) Comprimento da raiz (CR) – a medição foi realizada nas plântulas oriundas do teste de emergência de cada tratamento com o auxílio de uma régua graduada em centímetro da base do colo até a inserção da última folha.

XV) Comprimento da plântula (CTP) – a medição foi realizada nas plântulas oriundas do teste de germinação de cada tratamento com o auxílio de uma régua graduada em centímetro da base do colo até a inserção da última folha.

XVI) Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) - as plântulas oriundas do teste de emergência de cada tratamento foram colocadas em sacos de papel e levadas para estufa regulada a 65° C até atingirem peso constante, procedendo-se, em seguida, a pesagem em balança de precisão para determinação da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA);

XVII) Massa Seca da Raiz (MSR) e

XVIII) Massa Seca Total (MST) com resultado expressos em g.plântulas<sup>-1</sup>.

#### 5.2.8 Delineamento experimental e análise estatística

Para avaliação da qualidade fisiológica em ambos os anos o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições de 50 sementes. Os dados de cada ano foram submetidos a análise de agrupamento por meio da medida de dissimilaridade utilizando-se a distância Euclidiana, como método de agrupamento *Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average* (UPGMA), juntamente com a análise de agrupamento foi gerado *heatmap* para os 48 tratamentos e 18 variáveis de qualidade fisiológica. A partir dos grupos formados foram gerados *box-plot* para os caracteres germinação, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação, emergência, índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência e os dados dos grupos foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Além disso, com o grupo que obteve o melhor desempenho foi gerado um novo *heatmap* para selecionar entre os melhores tratamentos o que proporcionou maior qualidade fisiológica das sementes. A rede de correlação de Pearson também foi usada para determinar a relação entre as variáveis considerando-se os 48 tratamentos e os tratamentos do grupo com melhor desempenho para a qualidade fisiológica das sementes. Todas as análises foram realizadas no software R v4.0.0 (R Development Core Team, 2020).

### 5.3 RESULTADOS

#### 5.3.1 Primeiro ano

Na primeira colheita (antecipada), o teor de água das sementes oriundas da parte inferior da planta variou de 7 a 8%, e na parte superior de 6 a 11% (Figura 2A). Na segunda colheita, o teor de água das sementes da parte inferior variou de 6 a 7%, enquanto na parte superior houve variação no teor de água das sementes de 7 a 8% (Figura 2B).

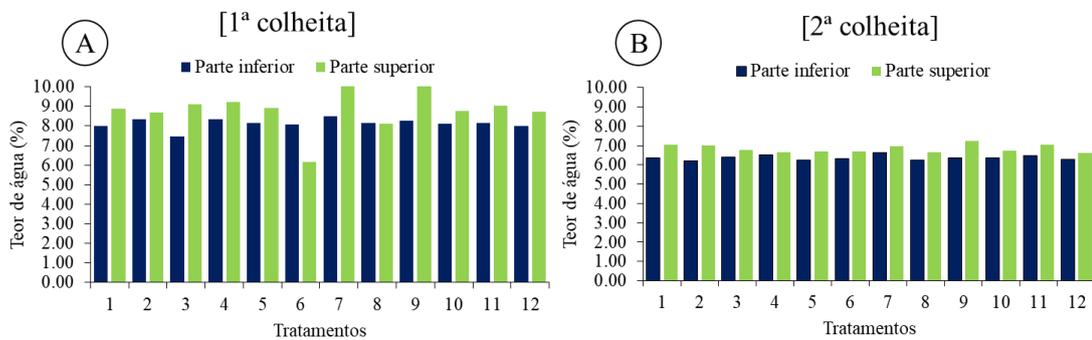


Figura 2 - Teor de água (%) das sementes de gergelim em função da aplicação de dessecantes, período de aplicação, colheita e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior) no primeiro ano.

Tratamentos: 1: glifosato, pulverização convencional, período R5; 2: glifosato, pulverização convencional, período R7; 3: glifosato, jato dirigido, período R5; 4: glifosato, jato dirigido, período R7; 5: testemunha, período R5; 6: testemunha, período R7; 7: diuron + paraquat, pulverização convencional, período R5; 8: diuron + paraquat, pulverização convencional, período R7; 9: diuron + paraquat, jato dirigido, período R5; 10: diuron + paraquat, jato dirigido, período R7; 11: testemunha, período R5; 12: testemunha, período R7.

O *heatmap* elaborado com todos os tratamentos e variáveis de qualidade fisiológica provenientes do primeiro ano evidenciou ampla variação entre os tratamentos. Sendo observada a formação de seis grupos a partir das 48 combinações de tratamentos, com nítida separação na qualidade fisiológica das sementes da parte superior (PS) e inferior (PI) e entre as duas colheitas (C1 e C2), enquanto os períodos de aplicação e dessecantes não foram decisivos para a formação de grupos (Figura 3).

O glifosato quando aplicado de maneira convencional no período correspondente a fase reprodutiva R5, majoritariamente com plantas colhidas de forma mais tardia (em segunda colheita) principalmente se tratando da parte superior da planta (Grupo 6) resultou para a maioria dos caracteres valores inferiores (tons de azul e lilás), indicando sementes de qualidade inferior em relação as sementes oriundas dos demais tratamentos. Além disso, baixa qualidade fisiológica das sementes foi observada com a aplicação do Diuron + paraquat de forma convencional independente do período de aplicação, na primeira colheita, principalmente com sementes oriundas da parte superior, formando o grupo 5 (Figura 3).

Maior qualidade fisiológica das sementes de gergelim foi alcançada nos tratamentos que formaram o grupo 1, com o glifosato aplicado em jato dirigido, juntamente com a testemunha (sem aplicação) tendo em comum a colheita tardia com sementes oriundas da parte inferior que exibiram valores positivos (tons de verde e amarelo) para a maioria dos caracteres, enquanto os dados que compõem os grupos 3 e 4 expressam resultados intermediários (Figura 3). Os tratamentos alocados no grupo 4 (G4) que tiveram em comum a avaliação das sementes provenientes da parte inferior da planta e da primeira colheita se destacaram para as características de germinação (tons de verde claro), enquanto para os dados de emergência apresentaram baixos valores (tons de azul escuro).

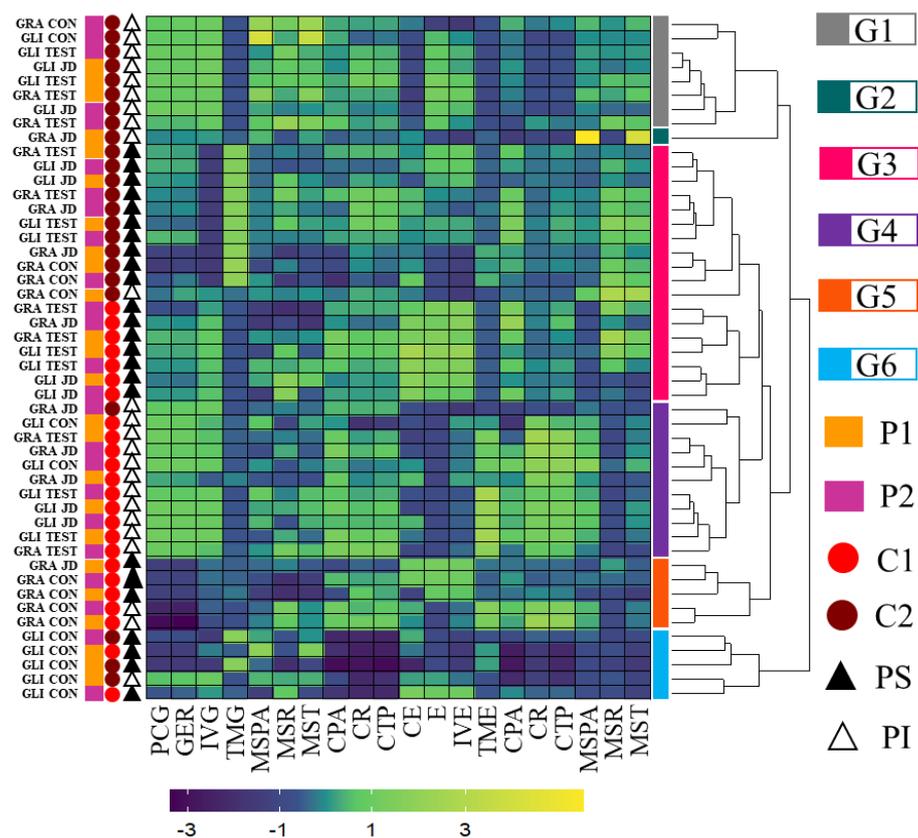


Figura 3 - Qualidade fisiológica de sementes de gergelim em função do dessecante, período de aplicação, colheita e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior) no primeiro ano. *Hetmap* para os 48 tratamentos em função das 20 variáveis de qualidade fisiológica de sementes. Cada retângulo representa a contribuição de cada característica para a qualidade fisiológica das sementes de gergelim em função dos 48 tratamentos. A escala varia do lilás ao amarelo, correspondendo de baixa a alta contribuição, respectivamente.

G1: grupo 1; G2: grupo 2; G3: grupo 3; G4: grupo 4; G5: grupo 5; G6: grupo 6; P1: 67 à 72 DAS, P2: 77 à 82 DAS; C1: primeira colheita; C2: segunda colheita; PS: parte superior; PI: parte inferior; GLI: glifosato; GRA: diuron + paraquat ; CON: aplicação convencional JD: jato dirigido; TEST: testemunha; PCG: primeira contagem

de germinação; GER: germinação; IVG: índice de velocidade de germinação; TMG: tempo médio de germinação; MSPA: massa seca de parte aérea; MSR: massa seca de raiz; MST: massa seca total; CPA: comprimento de parte aérea; CR: comprimento de raiz; CTP: comprimento total da planta; CE: condutividade elétrica; E: Emergência; IVE: índice de velocidade de emergência; TME: tempo médio de emergência; CPA: comprimento de parte aérea; CR: comprimento de raiz; CTP: comprimento total de plântulas; MSPA: massa seca de parte aérea; MSR: massa seca de raiz; MST: massa seca total.

As sementes produzidas a partir dos tratamentos provenientes dos grupos G1 e G4, tiveram desempenho satisfatório para as variáveis germinação (92%), índice de velocidade de germinação (43 e 38%) e conseqüentemente para o tempo médio de germinação (1 dia), apesar de este último não expor diferença entre os demais grupos, enquanto é possível verificar também que o G1 proporcionou um melhor desempenho aos resultados de emergência (63%), índice de velocidade de emergência (6%) e tempo médio de emergência (3 dias) (Figura 4A-F). Ao observar o heatmap dos tratamentos que compõem o G1, constatou-se que os tratamentos com glifosato aplicado em jato direcionado na fenofase R5 foi semelhante a testemunha do período R7, com registros valores positivos e tons de verde e amarelo para a maioria dos caracteres, com melhores resultados quando comparado aos demais tratamentos que compõem o grupo (Figura 4G).

Na análise de correlação, houve correlação positiva de alta magnitude entre o valor médio de primeira contagem de germinação e germinação ( $r= 0,99$ ), um resultado já esperado. Houve correlação negativa, também de alta magnitude, entre o índice de velocidade de germinação e o tempo médio de germinação ( $r= -0,89$ ), porém não houve correlação forte entre as características de germinação e emergência (Figura 4H).

A rede de correlação realizada entre os tratamentos do G1 seguiu a mesma tendência da análise realizada com todos os tratamentos com ressalva para a condutividade elétrica (CE) onde se denota uma correlação negativa de alta magnitude com o IVE ( $r= -0,89$ ) e positiva com o TME ( $r= 0,79$ ) (Figura 4I).

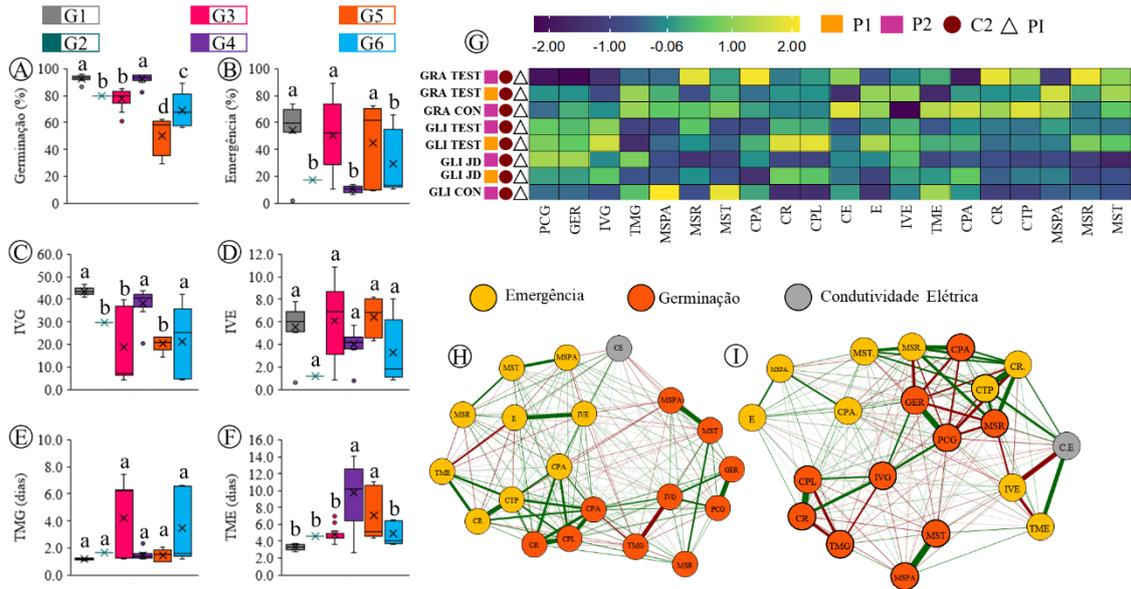


Figura 4 - Qualidade fisiológica das sementes de gergelim, colhidas no primeiro ano em função dos grupos formados na análise de agrupamento.

A-F: Comparação de médias entre os grupos; G: Heatmap para os oito tratamentos que mais se destacaram; H: rede correlação de Pearson entre os 48 tratamentos e I rede correlação de Pearson entre os tratamentos selecionados do grupo 1.

P1: 67 à 72 DAS, P2: 77 à 82 DAS; C2: segunda colheita; PI: parte inferior; GLI: glifosato; GRA: diuron + paraquat ; CON: aplicação convencional JD: jato dirigido; TEST: testemunha; PCG: primeira contagem de germinação; GER: germinação; IVG: índice de velocidade de germinação; TMG: tempo médio de germinação; MSPA: massa seca de parte aérea; MSR: massa seca de raiz; MST: massa seca total; CPA: comprimento de parte aérea; CR: comprimento de raiz; CTP: comprimento total de plântulas; CE: condutividade elétrica; E: Emergência; IVE: índice de velocidade de emergência; TME: tempo médio de emergência; CPA: comprimento de parte aérea; CR: comprimento de raiz; CTP: comprimento total de plântulas; MSPA: massa seca de parte aérea; MSR: massa seca de raiz; MST: massa seca total.

O heatmap elaborado com todos os caracteres de envelhecimento acelerado provenientes do primeiro ano exibiu ampla variação entre a classificação de plântulas (Figura 5A). Dessa forma, plântulas provenientes de tratamentos em que foi utilizado o glifosato aplicado de forma convencional às plantas, principalmente de maneira antecipada, mostraram menor índice de plântulas normais (24%) e conseqüentemente maior número de plântulas anormais (53%), sementes dormentes (9%) e mortas (14%), formando o G1. O G4 também apresentou resultados desfavoráveis, com baixa porcentagem de plântulas normais (47%) e alto valor nos índices de plântulas anormais (43%), e registros de sementes dormentes (3%) e sementes mortas (7%) (Figura 5A, B).

Por outro lado, é possível perceber no G3 que plântulas oriundas de sementes cujas plantas foram submetidas ao glifosato aplicado de forma dirigida de maneira tardia (R7), com colheita antecipada de sementes provenientes da parte inferior da planta, apresentaram melhores resultados, valores de plântulas normais de 86,73%, plântulas anormais com 11%, e 0,9% e 1,8% para sementes dormentes e mortas, respectivamente (Figura 5A, B).

O grupo 2 assume posição intermediária, composto por sementes oriundas de plantas que receberam aplicação do diuron + paraquat, em jato dirigido, independente do período de aplicação, juntamente com a testemunha (sem aplicação), sendo a colheita antecipada com sementes provenientes da parte superior, registrando-se 69% de plântulas normais, 15% anormais e por fim 9 e 7% de sementes dormentes e mortas, respectivamente (Figura 5B). Na figura 5C, observa-se registros de plântulas representativas da formação de cada grupo, onde é possível ver clara distinção entre o grupo 1, no qual observa-se plântulas deformadas com radícula pouco desenvolvida acometidas por fitotoxicidade e de plântulas que não receberam a aplicação de dessecantes (testemunha) que apresentam bom desenvolvimento de parte aérea e raízes bem formadas.

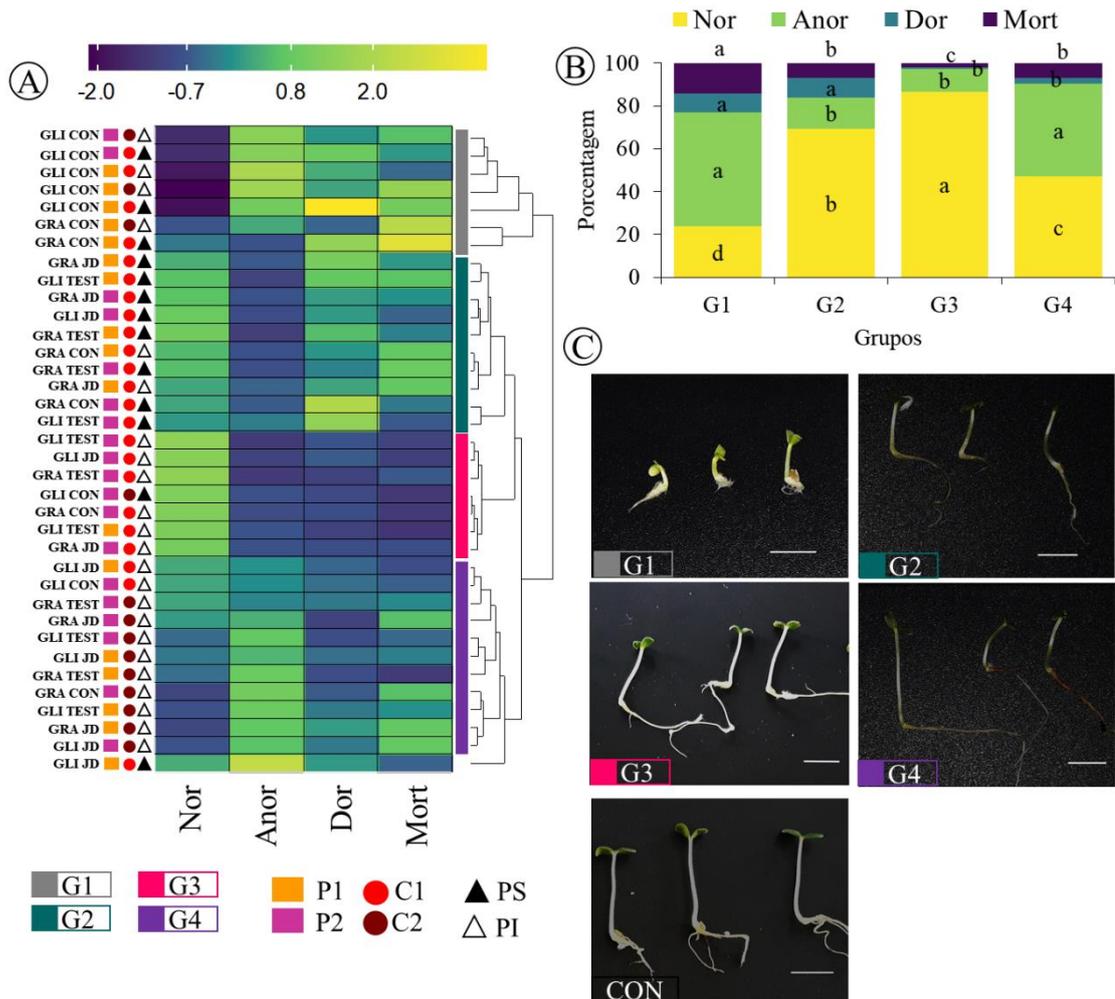


Figura 5 - Teste de envelhecimento acelerado conduzido em sementes de gergelim provenientes do primeiro ano de colheita.

A: Heatmap para 48 tratamentos em função das quatro variáveis de classificação de plântulas; B: Coluna empilhada com a porcentagem de plântulas normais, anormais, dormentes e mortas em função das médias entre os grupos; C: Figura das plântulas ilustrando os grupos formados. Nor: plântulas normais, Anor: plântulas anormais, Dor: sementes dormentes, Mort: sementes mortas. Barra = 1 cm; G1: grupo 1; G2: grupo 2; G3: grupo 3; G4: grupo 4; P1: 67 à 72 DAS, P2: 77 à 82 DAS; C1: primeira colheita; C2: segunda colheita; PS: parte superior; PI: parte inferior; GLI: glifosato; GRA: diuron + paraquat ; CON: aplicação convencional JD: jato dirigido; TEST: testemunha.

### 5.3.2 Segundo ano

No segundo ano, o teor de água das sementes de colheita antecipada oriundas da parte inferior e superior registrou 6 e 7%, respectivamente (Figura 6). Na segunda colheita, o teor de água das sementes de colhidas na parte inferior das plantas variou de 6 a 7%, já as sementes da parte superior da planta registraram mínimo de 6% e máxima de 9% (Figura 6B).

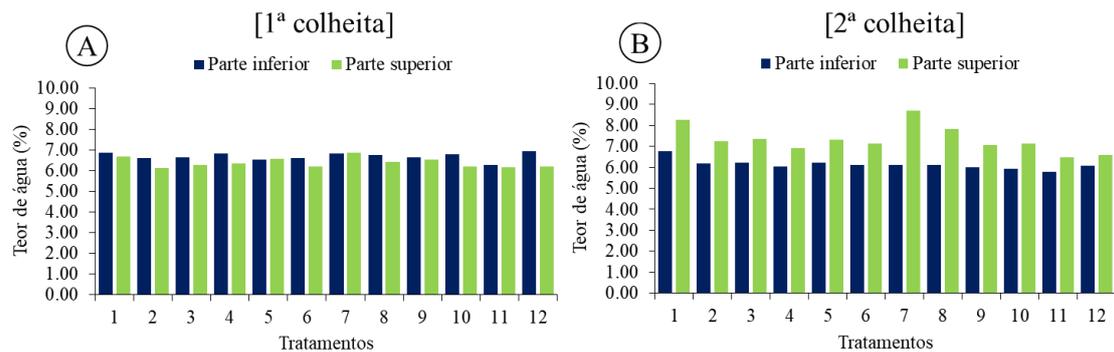


Figura 6 - Teor de água (%) no segundo ano das sementes de gergelim em função da aplicação de dessecantes, período de aplicação, colheita e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior).

Tratamentos 1: glifosato, pulverização convencional, período R5; 2: glifosato, pulverização convencional, período R7; 3: glifosato, jato dirigido, período R5; 4: glifosato, jato dirigido, período R7; 5: testemunha, período R5; 6: testemunha, período R7; 7: diuron + paraquat, pulverização convencional, período R5; 8: diuron + paraquat, pulverização convencional, período R7; 9: diuron + paraquat, jato dirigido, período R5; 10: diuron + paraquat, jato dirigido, período R7; 11: testemunha, período R5; 12: testemunha, período R7.

Com relação ao glifosato, quando aplicado de maneira convencional, independentemente do período em que foi feita a aplicação e época de colheita em todas as partes da planta, ocorreu para a maioria dos caracteres valores negativos e tons de azul e lilás, o que indica sementes de qualidade inferior em relação as sementes oriundas dos demais tratamentos, formando o G5 (Figura 7). Esse comportamento é mais evidente quando utilizados os valores médios por grupo, com destaque para os tratamentos do G1 e G3 que exibiram valores positivos e tons de verde e amarelo para a maioria dos caracteres (Figura 6).

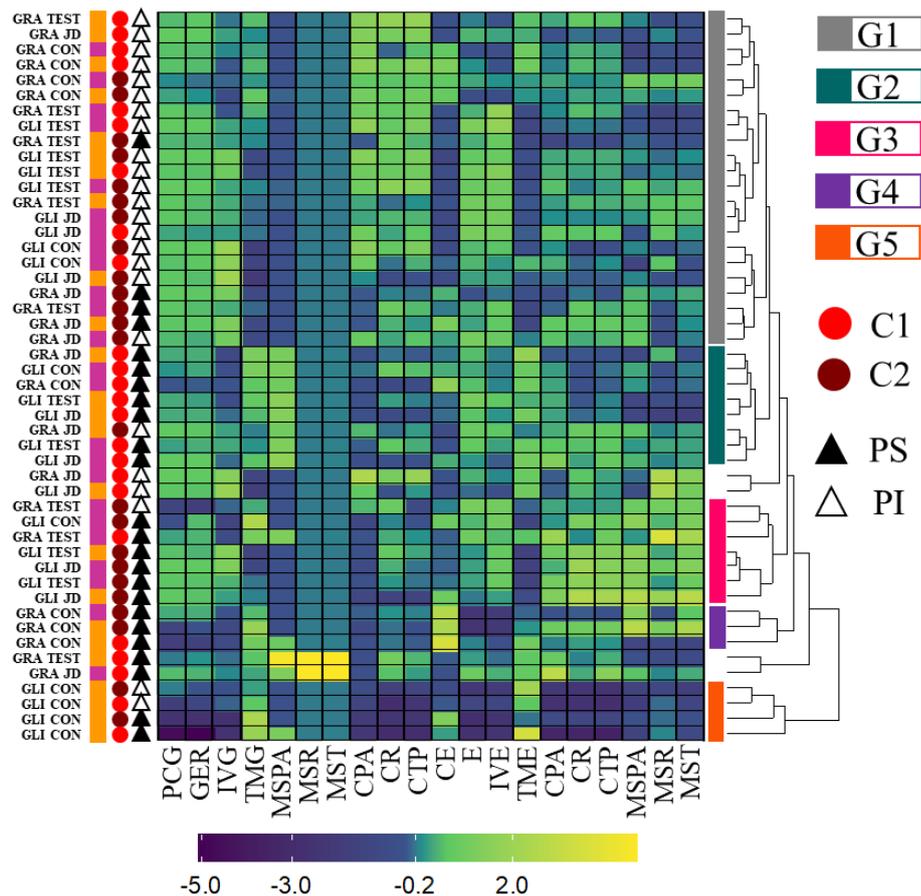


Figura 7 - Qualidade fisiológica de sementes de gergelim colhidas no segundo ano do experimento.

A: Heatmap para os 48 tratamentos em função das 20 variáveis de qualidade fisiológica de sementes. Cada retângulo representa a contribuição de cada característica para a qualidade fisiológica das sementes de gergelim em função dos 40 tratamentos. A escala varia do lilás ao amarelo, correspondendo de baixa a alta contribuição, respectivamente.

G1: grupo 1; G2: grupo 2; G3: grupo 3; G4: grupo 4; G5: grupo 5; P1: 67 à 72 DAS; P2: 77 à 82 DAS; C1: primeira colheita; C2: segunda colheita; PS: parte superior; PI: parte inferior; GLI: glifosato; GRA: diuron + paraquat; CON: aplicação convencional JD: jato dirigido; TEST: testemunha; PCG: primeira contagem de germinação; GER: germinação; IVG: índice de velocidade de germinação; TMG: tempo médio de germinação; MSPA: massa seca de parte aérea; MSR: massa seca de raiz; MST: massa seca total; CPA: comprimento de parte aérea; CR: comprimento de raiz; CTP: comprimento total da planta; CE: condutividade elétrica; E: Emergência; IVE: índice de velocidade de emergência; TME: tempo médio de emergência; CPA: comprimento de parte aérea; CR: comprimento de raiz; CTP: comprimento total de plântulas; MSPA: massa seca de parte aérea; MSR: massa seca de raiz; MST: massa seca total.

As sementes produzidas a partir dos tratamentos provenientes dos grupos G1 e G3 exibiram boas respostas para as variáveis germinação e índice de velocidade de germinação e

menor tempo médio de germinação em relação aos demais grupos; o G2 exibiu resultados intermediários, quando analisados os resultados de emergência, índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência; e o G1 juntamente com o G3 mostraram resultados mais promissores (Figura 8A-F).

O heatmap elaborado, utilizando os valores médios por grupo, apontou a superioridade dos grupos G1 e G3 de forma mais evidente, comprovando os valores positivos e tons de verde e amarelo para a maioria dos caracteres estudados (Figura 8G).

Seguindo a mesma tendência registrada no primeiro ano, na análise de correlação entre todos os tratamentos, ocorreu correlação e alta magnitude entre primeira contagem de germinação e porcentagem de germinação ( $r= 0,97$ ), entre emergência e índice de velocidade de emergência ( $r= 0,91$ ), no entanto verificou-se correlação média entre variáveis da germinação e emergência com  $r = 0,61$ (Figura 8 H). Analisando-se a correlação para a média entre os cinco grupos houve resultados semelhantes com forte correlação entre primeira contagem de germinação (PCG) e porcentagem de germinação (GER), entre emergência (E) e índice de velocidade de emergência (IVE) (Figura 8I).

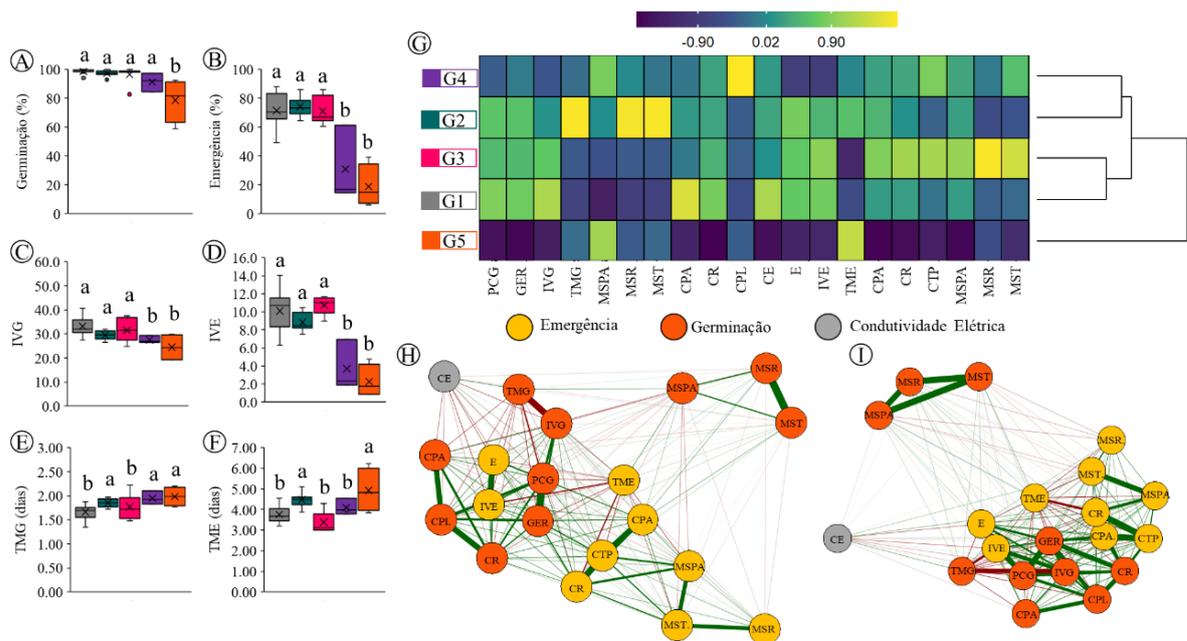


Figura 8 - Qualidade fisiológica das sementes de gergelim, colhidas no segundo ano em função dos grupos formados na análise de agrupamento.

A-F: Comparação de médias entre os grupos. G: Heatmap para a média de cada grupo destaque para os grupos 1 e 3 que foram os melhores H: correlação entre todos os tratamentos e I correlação para a média entre os cinco grupos.

G1: grupo 1; G2: grupo 2; G3: grupo 3; G4: grupo 4; G5: grupo 5; PCG: primeira contagem de germinação; GER: germinação; IVG: índice de velocidade de germinação; TMG: tempo médio de germinação; MSPA: massa seca de parte aérea; MSR: massa seca de raiz; MST: massa seca total; CPA: comprimento de parte aérea; CR: comprimento de raiz; CTP: comprimento total de plântulas; CE: condutividade elétrica; E: Emergência; IVE: índice de velocidade de emergência; TME: tempo médio de emergência; CPA: comprimento de parte aérea; CR: comprimento de raiz; CTP: comprimento total de plântulas; MSPA: massa seca de parte aérea; MSR: massa seca de raiz; MST: massa seca total.

Plântulas provenientes de tratamentos em que foi utilizado o glifosato aplicado de forma convencional, de maneira antecipada, independe da parte da planta em que as sementes foram originadas, mostraram menor percentual de plântulas normais (43%), sementes dormentes (11%) e sementes mortas (7%), formando o G4. O G2 que teve em comum a segunda colheita também apresenta resultados desfavoráveis, com baixa porcentagem de plântulas normais (56%), e alto valor no percentual de plântulas anormais (40%), registrando-se também, sementes dormentes (0,27%) e sementes mortas (4%) (Figura 9 A, B).

Por outro lado, é possível perceber plântulas que foram submetidas em sua maioria ao glifosato e diuron + paraquat aplicado de forma dirigida de maneira tardia (R7) e colheita antecipada provenientes principalmente da parte inferior da planta, apresentaram melhores resultados compondo o G3, no qual, valores de porcentagem de plântulas normais (74%) foram superiores. Índices inferiores foram registrados para a porcentagem de plântulas anormais (24%), sementes dormentes (0,12%) e mortas (2%) (Figura 9 A, B). No gráfico de coluna empilhada observa-se outro grupo que assume posição intermediária na distinção entre os grupos formados, como o caso do G1 com 66% de plântulas normais, 26% anormais e por fim 0,28 e 8% de sementes dormentes e mortas, respectivamente (Figura 9B).

Na figura 9 C, observa-se as características estruturais das plântulas que representam cada grupo, sendo possível ver plântulas com aspectos distintos que configuram a representatividade dos grupos, além de expor a imagem da testemunha que serve de objeto comparativo.

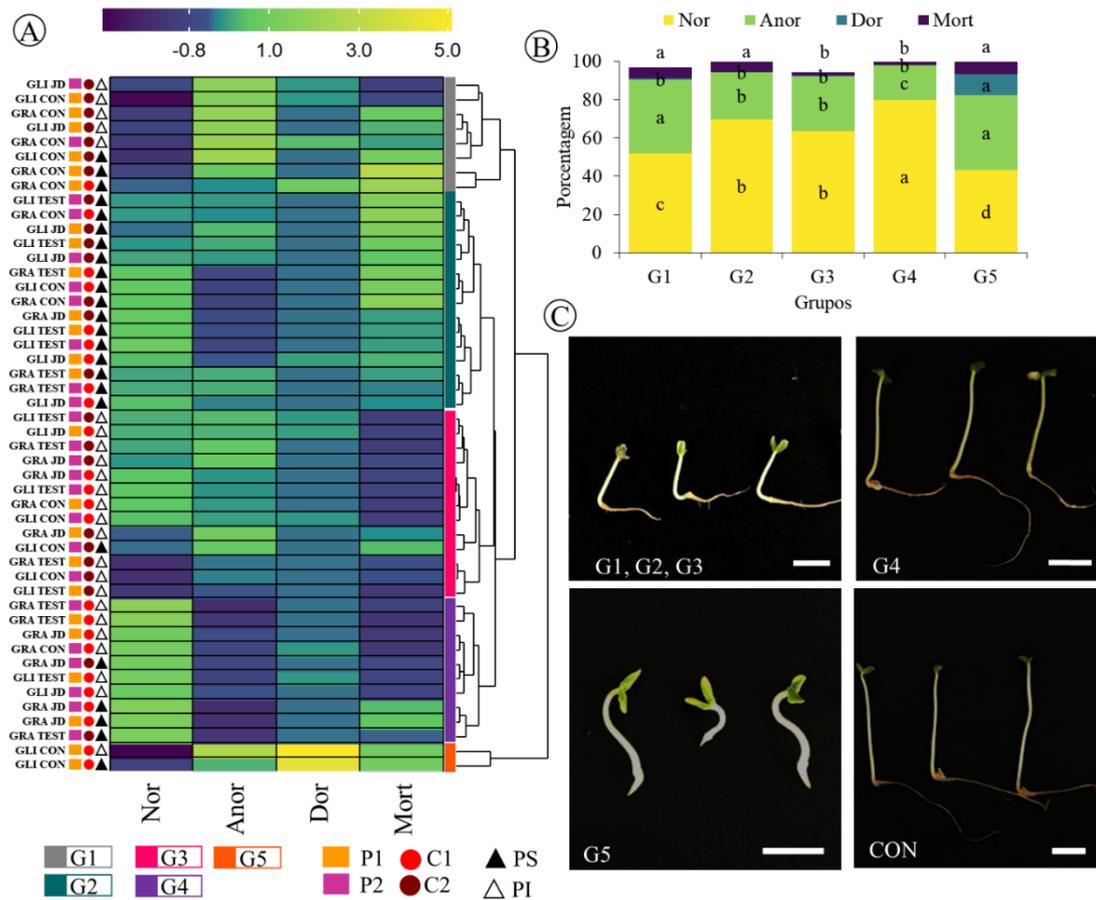


Figura 9 - Teste de envelhecimento acelerado conduzido em sementes de gergelim provenientes do segundo ano de colheita.

A: Heatmap para 48 tratamentos em função das quatro variáveis de classificação de plântulas; B: Coluna empilhada com a porcentagem de plântulas normais, anormais, dormentes e mortas em função das médias entre os grupos; C: Imagens das plântulas ilustrando os grupos formados. Nor: plântulas normais, Anor: plântulas anormais, Dor: sementes dormentes, Mort: sementes mortas. Barra = 1 cm; G1: grupo 1; G2: grupo 2; G3: grupo 3; G4: grupo 4; G5: grupo 5; P1: 67 à 72 DAS, P2: 77 à 82 DAS; C1: primeira colheita; C2: segunda colheita; PS: parte superior; PI: parte inferior; GLI: glifosato; GRA: diuron + paraquat; CON: aplicação convencional JD: jato dirigido; TEST: testemunha.

## 5.4 DISCUSSÃO

A colheita é uma das etapas mais importantes na produção do gergelim, em decorrência da maturação ocorrer de forma desigual na planta, as variações surgem em função da posição do fruto na planta e a determinação do período ideal é preponderante para garantia da qualidade das sementes (NOGUEIRA FILHO et al. 2017).

O uso de dessecantes no gergelim poderá uniformizar a maturação das plantas e interferir no rendimento da produção e na qualidade das sementes. Garantir a qualidade

fisiológica das sementes assegura que, posteriormente, as plantas expressem máximo potencial genético (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

O teor de água adequado é um fator preponderante para garantir a qualidade fisiológica e evitar o processo de deterioração, assim, o equilíbrio higroscópico ocorre quando a umidade das sementes fica em equilíbrio com a umidade relativa do ar em mesma temperatura, esse equilíbrio é específico de acordo com a composição química da semente. Dos compostos orgânicos presentes na semente, os lipídeos são essencialmente hidrofóbicos, com isso, o teor de água presente em sementes oleaginosas é menor, sendo necessário nível mínimo de água para o embrião manter suas funções vitais (GOLDFARB; QUEIROGA, 2013; MARCOS FILHO, 2015; QUEIROZ, 2019).

Em ambos os anos (Figuras 2 e 6), foram registrados maiores índices no teor de água em sementes oriundas da parte superior da planta, nas quais, foram registrados valores máximos de 10,62 e 8,70% em primeiro e segundo ano, respectivamente. Em contrapartida, os resultados máximos registrados para sementes de parte inferior não ultrapassaram 8,49 e 6,96%, pois, a medida que vão finalizando sua maturação fisiológica por consequência vão perdendo mais umidade. Com essa diferença no teor de água, infere-se que sementes provenientes do terço inferior tem maior probabilidade de estabelecimento, vigor e conservação, tendo em vista que para o armazenamento das sementes de gergelim é recomendado o teor de água em torno de 6% (QUEIROGA; SILVA, 2008).

Nos anos de estudos, os tratamentos que representam o G1 e obtiveram os melhores resultados possuíam em comum a aplicação em fase R7 (77 a 82 DAS), a colheita tardia e sementes provenientes da parte inferior da planta. A fenofase denominada R7 configura-se pela abertura dos primeiros frutos na parte inferior do caule principal e alterações na coloração da planta e dos frutos em, aproximadamente, 75% da planta (RINCÓN, SALAZAR, 1997). Essas características apontam que as plantas estavam próximas de atingir o ponto de maturidade fisiológica, definida como estágio de desenvolvimento em que as sementes apresentam máximo acúmulo de matéria seca, germinação e vigor (CARVALHO, NAKAGAWA, 2012).

A segunda colheita, garantiu melhor desenvolvimento das sementes, período em que o embrião estava totalmente formado e as sementes tinham reserva suficiente para garantir o estabelecimento das plântulas.

Sementes provenientes da parte inferior da planta mostraram melhor desempenho em virtude da completa maturação fisiológica. A maturação inicia-se a partir do terço inferior da planta, sendo os frutos localizados próximos a base do caule os primeiros a iniciar a abertura natural das cápsulas (QUEIROGA et al. 2012).

A germinação mínima exigida para lotes de sementes de gergelim no Brasil é de 60% para sementes básicas e 70% para as demais categorias (C1, C2, S1 e S2), de acordo com as normas de comercialização estabelecida pela instrução normativa Nº 45 (BRASIL, 2013). Dessa forma, os tratamentos que compõem o G1 em primeiro e segundo ano estariam aptos para serem comercializados, com valores de germinação de 92 e 98%, respectivamente.

Por outro lado, os resultados mostram que o G5 e G6 no primeiro ano, juntamente com o G5 do segundo ano apresentaram médias inferiores com germinação de 50, 69 e 79%, respectivamente. Esses grupos têm em comum a aplicação de dessecantes na forma convencional. No entanto, fatores como o ciclo da cultivar, condições de clima, temperatura e umidade determinam o ponto de colheita, e uma possível variação entre resultados dos anos pode estar associada as condições ambientais de cada ano, retardando ou aumentando o tempo do plantio até a maturidade fisiológica.

Em relação ao uso dos dessecantes, a aplicação do diuron + paraquat e do glifosato de maneira convencional, realizada no período R5 e colheita antecipada, com sementes provenientes da parte superior da planta contribuíram para o decréscimo na porcentagem de germinação. O Gramocil<sup>®</sup> é composto por paraquat + diuron, os quais reúnem modos de ação com inibidores da fotossíntese nos fotossistemas I e II. O diuron que é herbicida inibidor do FSII bloqueia em parte o fluxo de elétrons antes do ponto de ação do paraquat, que é no FSI. Dessa forma, os inibidores do FSII retardam a ação do paraquat, proporcionando maior absorção/translocação, caracterizando efeito sinérgico, que resulta em maior eficiência do produto (ROMAN et al. 2005), nesse sentido, é provável que a rápida ação deste produto tenha impedido a completa maturação das sementes quando aplicado na fase R5 e colhido de maneira antecipada.

O glifosato, por sua vez, possui mecanismo de ação bastante singular porque ele é o único herbicida capaz de inibir especificamente a enzima 5 - enolpiruvil - chiquímico - 3 - fosfato - síntese (EPSPs), que catalisa a condensação do ácido chiquímico e do fosfato piruvato, impedindo a síntese de três aminoácidos essenciais – triptofano, fenilalanina e tirosina (ZABLOTOWICZ; REDDY, 2004). Esses aminoácidos têm importantes funções na planta, o triptofano é um dos precursores dos fito-hormônios auxina e etileno, indispensáveis ao desenvolvimento, sem ele a planta não completa seu desenvolvimento, bem como a fenilalanina e a tirosina que são aminoácidos aromáticos precursores na produção de metabólitos secundários como as antocianinas responsáveis por proteger a planta contra o dano oxidativo (TAIZ et al., 2017). Dessa forma, quando o glifosato foi aplicado sob toda a planta, foi absorvido de forma mais rápida por toda região clorofilada das plantas gerando acúmulo nos

tecidos e conseqüentemente maiores cargas de fitotoxicidade, com isso, plântulas menos vigorosas estão atreladas a herbicidas dessecantes aplicados de maneira convencional.

Quanto ao período no qual foi realizada a aplicação dos dessecantes também houve influência negativa no vigor das sementes, pois coincidiu com o desenvolvimento incompleto das sementes, visto que, no período R5 as mesmas estão apenas no início da maturação, período em que apenas os frutos atingiram o seu comprimento máximo. As sementes colhidas da parte superior da planta apresentaram maiores teores de água (Figura 2 e 6), ficando mais vulneráveis a danos no processo de colheita e a deterioração.

Nas imagens que representam cada grupo formado no teste de envelhecimento acelerado (Figura 5C), em sementes de primeiro ano, percebe-se que o G1, formado por sementes oriundas de plantas que receberam o diuron + paraquat e predominantemente o glifosato de maneira convencional, abordando a planta por um todo no momento da aplicação, onde se observou anormalidade no sistema radicular das plântulas, definida pelo encurtamento da raiz principal e comprometimento de raízes secundárias, com comprimento limitado; a fitotoxicidade em sementes manifesta-se de forma usual no comprimento das raízes (FRANÇA NETO et al., 2016; CARVALHO et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021). Para herbicidas de contato, utilizados como dessecantes químicos em pré-colheita como o paraquate + diuron, existe perigo em relação ao período de carência e com a contaminação direta dos grãos, tornando-se imprescindível estudos para definir os modos de aplicação (MARTINS 2013).

Mesmo comportamento foi observado também no segundo ano da cultura (Figura 9C) representando o G5, constituído por plântulas raquíticas com raízes prejudicadas e folhas cotiledonares amareladas e retorcidas, resultado também da aplicação do glifosato de forma convencional, na fenofase R5, colhido de maneira antecipada independente da parte da planta em que as sementes foram colhidas. O glifosato move-se com os açúcares nas plantas em crescimento, e quando aplicado para dessecar culturas, este pode se mover para as sementes em formação se os teores de umidade forem elevados, como consequência, pode diminuir o vigor de sementes, por isso, o glifosato não é recomendado em lavouras destinadas à produção de sementes (ROMAN et al., 2005). No entanto, estudos conduzidos utilizando o glifosato como herbicida dessecante na cultura do trigo mostram que o produto não prejudicou a qualidade fisiológica das sementes, mesmo utilizando o dobro da dose recomendada (TARUMOTO et al. 2015). Dessa forma, a resposta do produto é variável, conforme a espécie utilizada.

No primeiro e segundo ano de cultivo, formando o G3 e G4, foram observadas plântulas normais, raízes bem desenvolvidas e comprimento satisfatório (Figuras 5 e 9C). Em ambos os anos, esses grupos foram compostos por dessecantes aplicados em jato dirigido e pela

testemunha que não recebeu nenhuma aplicação, conjuntamente com sementes oriundas da parte inferior de primeira colheita.

A forma com que os produtos foram aplicados é de grande importância, onde se constata que nos dois anos o jato dirigido mostrou resultados mais favoráveis em relação a aplicação convencional, o que pode estar atrelado ao fato das plantas estarem menos expostas ao produto, recebendo de forma mais pontual a aplicação, diminuindo resíduos externos diretamente nos frutos, bem como, é possível evitar a deriva do produto para outras culturas próximas, redução de custos ao produtor já que a aplicação incide em um alvo restrito e garantia de maior segurança para o aplicador, pois os herbicidas dessecantes utilizados glifosato e diuron + paraquat têm classificação III e I, medianamente tóxico e extremamente tóxico, respectivamente, além disso, é preciso avaliar o impacto na produção, já que as plantas são sujeitas a perda das sementes em campo.

Nesse sentido, com o uso do dessecante de forma dirigida na base da planta é possível garantir aumento da produção, por evitar a abertura das capsulas e liberação das sementes, e principalmente facilitar a colheita mecanizada da cultura. Assim constatou-se que a utilização de pulverização com jato dirigido, com aplicação e colheita de forma tardia, nas sementes oriundas da parte inferior da planta resultou em bom potencial fisiológico. Por outro lado, ficou claro nas condições deste estudo que a pulverização convencional, independente do produto aplicado originou maior número de plântulas anormais, com redução na velocidade de germinação e emergência e esse efeito prejudicial é potencializado quando combinado com a colheita precoce em sementes colhidas na parte superior da planta, contudo, é necessário avaliar esses tratamentos, em diferentes polos de produção do gergelim e o efeito nocivo desses tratamentos no processo de conservação das sementes. Nessa perspectiva, o estudo apresenta recomendações de manejo e produção de sementes da cultura do gergelim em condições edafoclimáticas da mesorregião do Agreste Paraibano.

## **5.5 CONCLUSÕES**

Nas condições edafoclimáticas da mesorregião do Agreste paraibano, para produção de sementes de gergelim, a colheita da cultivar BRS Anahí deve ser realizada entre 90 a 105 DAS (estádio R7);

O jato direcional não prejudicou a qualidade fisiológica das sementes; A aplicação convencional, independente do produto utilizado, prejudica a qualidade fisiológica das sementes, sendo o glifosato responsável por promover maior fitotoxicidade ao sistema radicular de plântulas de gergelim;

O estágio de aplicação R7 apresenta sementes de melhor qualidade fisiológica e as sementes provenientes da parte inferior da planta de gergelim detêm maior qualidade fisiológica.

## REFERÊNCIAS

- ARRIEL, N.H.C.; BELTRAO, N.E.M.; FIRMINO, P.T. Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 209p.
- BARROS A. F.; PIMENTEL, L. D.; FREITAS, F. C. L.; CECON, P. R.; TOMAZ, A. C.; SOUSA, E. A. M.; LADEIRA L. M.; BIESDORF E. M. 2019. Dessecação pré-colheita em sorgo granífero: qualidade fisiológica das sementes e efeito sobre a rebrota. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n.2, p.1-8, 2019.
- BHALODIYA, D.; DHADUK, H. K. L.; KUMAR, S.; GEDIYA, L. N.; PATEL, H. P. Line x tester analysis for seed yield, protein and oil content and SSR based diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.). **Ecological Genetics Genomics** v.13, n.1, p.1-8, 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes, Brasília: MAPA / ACS, 2009. 395 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Instrução Normativa n. 45, de 17 de setembro de 2013. Padrões de identidade e qualidade para produção e comercialização de sementes.
- CARVALHO, E. R.; ROCHA, D. K.; ANDRADE, D. B.; PIRES, R. M. O.; PENIDO A. C.; REIS L.V. Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. **Journal of Seed Science**, v.42, n.1, p.1-12, 2020.
- CARVALHO N.M & NAKAGAWA J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.
- COMIN R. C, MENEGHELLO G. E, FRANCO J. J, LEVIEN A. M, KEHL K.; COMIN, G.C. Qualidade fisiológica de sementes de soja submetidas à dessecação em pré-colheita. **Colloquium Agrariae** v.14, n.4, p.112-120, 2018.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA –EMBRAPA. Gergelim, BRS Anahí.1 ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2 p, 2015.
- FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING A. A.; PÁDUA G. P.; LORINI I.; HENNING F. A. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Documentos, n. 380, Londrina: Embrapa Soja, 2016, 82 p.
- GOLDFARB, M.; QUEIROGA V. P. Considerações sobre o armazenamento de sementes. **Ciência Tecnologia Agropecuária**, v.7, n.1, p.71-74, 2013.
- GUIMARÃES, V. F.; HOLLMANN, M. J.; FIOREZE, S. L.; ECHER, M. M.; RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; ANDREOTTI M. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de estádios de dessecação e herbicidas. **Planta Daninha**, v.30, n.3, p.567-573, 2012.
- HSU TA. Pretreatment of biomass. In: HANDBOOK ON BIOETHANOL, Routledge, 2018, p. 179- 212.
- KÖEPPEN W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura. Económica México, 1948.
- KRENCHINSKI, F.H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PEREIRA, V. G. C.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT L. P. Yield and physiological quality of wheat seeds after desiccation with different herbicides. **Journal of Seed Science** v.39, n.3, p.254-261, 2017.

- LABOURIAU LG. A germinação das sementes. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983, 174p.
- LIMA, H. M.; SCHUCH, L. O. B.; MENEGHELLO G. E.; AUMONDE T. Z.; PEDO T. Qualidade fisiológica de sementes de feijão em função da dessecação química das plantas. **Revista Ciencia Rural**, v.20, n.2, p.180-187, 2018.
- MAGUIRE, J. B. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177, 1962.
- MARCOS-FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015, 660p.
- MARTINS, D. C.; VILELA, F. K. J.; GUIMARÃES, R. M.; GOMES L. A. A.; SILVA, P. A. Physiological maturity of eggplant seeds, **Journal of Seed Science** v.34, n.4, p.534-540, 2012.
- MIRANDA, J. E.; RODRIGUES, S. M. M. O bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* BOH., 1843) nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle. Cuiabá: Instituto Mato-grossense do Algodão.2015, 254p.
- MOREANO, T. B.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; MARQUES, O. J. Physical and physiological qualities of soybean seed as affected by processing and handling. **Journal of Seed Science** v.35: n.4, p.466-477, 2013.
- NERY, M. C.; ROCHA, A. S.; PINHO, É. V. R. V.; SANTOS, H. O.; FIALHO, C. M. T.; NERY, F. C. Accelerated ageing test and behaviour investigation of isoenzymes in sesame seeds. **Acta Scientiarum Agronomy** v.40, n.1, p.39-49, 2018.
- NOGUEIRA FILHO, F. P.; OLIVEIRA, A. B.; PEREIRA, M. S.; LOPES, M. F. Q.; SILVA, R.T. Efetividade do teste de raios-X para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sésamo, devido à posição dos frutos na planta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.12, n.4, p.435-440, 2017.
- OLIVEIRA, G. R. F.; MOURE S, GOMES-JUNIOR, C. F. G, BATISTA, T. B, KRZYZANOWSKI F.C.; FRANÇA-NETO, J. B. Computerized analysis of seedling performance in evaluating the phytotoxicity of chemical treatment of soybean seeds. **Journal of Seed Science** v.43, n.1, p.1-10, 2021.
- OYINLOYE, B. E.; AJIBOYE, B. O.; OJO, O. A.; NWOZO, S. O.; KAPPO, A. P. Cardioprotective and Antioxidant Influence of Aqueous Extracts from Sesamum indicum Seeds on Oxidative Stress Induced by Cadmium in Wistar Rats. **Pharmacognosy Magazine**, v.12, n. 2, p.170-174, 2016.
- PAUL, S.; DUTTA, A. Challenges and opportunities of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. **Resources Conservation Recycling**, v.130, n.1, p.164-174, 2018.
- PHUMICHAI, C.; MATTHAYATTHAWORN, W.; CHUENPOM N. Identification of a scar marker linked to a shattering resistance trait in sesame. **Turkish Journal of Field Crops** v.22, n.2, p.258-265, 2017.
- QUEIROGA, V. P.; FREIRE, R. M. M.; FIRMINO, P.T.; MARINHO D. R. F.; SILVA, A. S; BARBOSA, W. T.; QUEIROGA, D. A. N. Qualidade de sementes de gergelim de diferentes

posições na planta em comparação a colheita convencional. **Tecnologia & Ciência Agropecuária** v.6, n.2, p.41-47, 2012.

QUEIROGA, V. P.; SILVA, O. R. R. F. Tecnologias Utilizadas no Cultivo do Gergelim Mecanizado. Documentos 203. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008, 140p.

QUEIROZ, F. A. Impactos da sojicultura de exportação sobre a biodiversidade do cerrado. **Sociedade & Natureza**. v. 21, n.2, p.193-209, 2019.

R CORE TEAM 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RINCÓN, C.A.; SALAZAR N. Descripción de las etapas de desarrollo del ajonjolí. **Agropecuária Tropical**, v.47, n.1, p.475-487, 1997.

ROMAN, E.S.; VARGAS, L. Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005, 152p.

ROSA, W. B.; DUARTE JÚNIOR, J. B.; PEREGO I.; ALMEIDA, B. H.; COSTA, A. C. T.; TOMM, G. O. Agronomic performance of canola submitted to desiccation with herbicides at different maturation stages. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.23, n. 6, p. 419-424, 2019.

ROSADO, C. B.; PEREIRA, G. A. M.; CAPOBIANGO, N. P.; MOREIRA, R. P. L.; FREITAS, F.C.L.; TEIXEIRA, M. F. F.; SILVA, A. A. Physiological quality of bean seeds after application of desiccant herbicides. **Ciência Rural** v.49, n.9, p.1-7, 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO M. R.; ALMEIDA J.A, ARAUJO FILHO J.C, OLIVEIRA J.B & CUNHA T.J.F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018, 356p.

SEIDLER E. P.; VELHO J. P.; CHRISTOFARI, L. F.; ALMEIDA, P. S. G.; ANDREATTA, T. Dessecação em pré-colheita do trigo: nova preocupação para a qualidade do cereal no consumo humano. **Scientia Agrária Paranaensis** v.18, n.3, p.200-208, 2019.

SILVA, I. F.; FENILLI JUNIOR, A.; LORENZETTI, E. E. 2016. Efeito de dessecantes na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista cultivando o saber** v.9, n.3, p.224-242, 2016.

TARUMOTO, M. B.; CARVALHO, F. T.; ARF, O.; SILVA, P. H. F.; PEREIRA, J. C.; BORTOLHEIRO, F. P. A. P. 2015. Dessecação em pré-colheita no potencial fisiológico de sementes e desenvolvimento inicial de trigo. **Revista Cultura Agrônômica**, v.24, n.4, p.369-380, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ed., Artmed Editora, 2017, 888p.

THAISMARIA, M. Herbicida Paraquat: conceitos, modo de ação e doenças relacionadas. **Semina Ciências Agrárias**, v.34, n.2, p.175-186, 2013.

TOLEDO, M. Z.; CAVARIANI C.; FRANÇA NETO, J. B. Qualidade fisiológica de sementes de soja colhidas em dias épocas após dessecação das plantas com glyphosate. **Journal of Seed Science**, v.34, n.1, p.135-144, 2012.

TORRES, S. B.; MEDEIROS, M. A.; TOSTA, M. S.; COSTA G. M. M. Teste de condutividade elétrica em Sementes de gergelim. **Journal of Seed Science**, v.31, n3, p.70-77, 2009.

ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Impact of glyphosate on the Bradyrhizobium japonicum symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. **Journal of Environmental Quality**, v.33, n.3, p.825-831, 2004.

ZUFFO, L. M.; SANTOS, M. A, OLIVEIRA, I. C.; ALVES, C.Z, AGUILERA, J. G.; TEODORO, P. E. Does Chemical Desiccation And Harvest Time Affect The Physiological And Sanitary Quality of Soybean Seeds? **Revista Caatinga**, v.32, n.4, p.934-942, 2019.

## 6 CAPÍTULO IV - COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DA SEMENTE DE GERGELIM OBTIDA DE PLANTAS DESSECADAS EM DUAS FASES DE MATURAÇÃO

### RESUMO

As sementes do gergelim (*Sesamum indicum* L.) são de elevada qualidade nutricional, no entanto, no campo a planta possui maturação desuniforme o que pode levar a perdas substanciais da produção; nesse sentido, a dessecação química é considerada uma estratégia, porém alterações ou perdas de qualidade nutricional, necessitam ser avaliadas. Assim, objetivou-se avaliar a composição centesimal e mineral em sementes de gergelim com aplicação de dessecantes em diferentes fases reprodutivas da planta. Para isso, a cultivar BRS Anahí, foi produzida em sequeiro, aplicando-se em pré-colheita glifosato e diuron + paraquat em duas fenofases (R5 e R7) utilizando-se duas formas de aplicação (pulverização convencional, jato dirigido) e testemunha. Para tanto, foram determinados a composição centesimal (umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos, calorias) e minerais (N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Zn, Mn). Os dados foram submetidos a análise multivariada. Houve a formação de quatro e três grupos, para a composição centesimal e minerais, respectivamente, com destaque para os grupos 3 e 2, com acréscimos nos teores de lipídeos (46 e 49%), proteínas (5,9 e 6%), e a maioria dos minerais, em relação à média dos demais grupos. Com isso, independente da forma de aplicação a composição centesimal e mineral das sementes não é alterada pelo glifosato. A forma de aplicação convencional utilizando diuron + paraquat afeta negativamente o conteúdo de minerais nas sementes de gergelim. O período de aplicação na fase R7 proporciona melhor composição centesimal nas sementes, entretanto, não há distinção entre as fases para o conteúdo de minerais. A colheita tardia proporciona aumento na composição centesimal e não difere da colheita antecipada para o conteúdo de minerais. Sementes oriundas da parte inferior da planta possuem maior composição centesimal, enquanto às da parte superior, maior conteúdo de minerais.

**Palavras-chave:** composição centesimal; minerais; *Sesamum indicum* L.

## NUTRITIONAL QUALITY OF SESAME SEEDS OBTAINED FROM DRIED PLANTS IN TWO MATURATION PHASES

### ABSTRACT

Sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) have high nutritional quality, however, in the field the plant presents uneven maturation which can lead to substantial production losses, in this sense, chemical desiccation is considered a strategy, but changes or losses nutritional quality, need to be evaluated. Thus, the objective was to evaluate the proximate and mineral composition in sesame seeds with application of desiccants in different reproductive stages of the plant. For this, the cultivar BRS Anahí, was produced in rainfed conditions, applying glyphosate and diuron + paraquat in pre-harvest in two reproductive periods (R5 and R7) using different forms of application (conventional spraying, directed jet) and control. The proximate composition (moisture, ash, lipids, proteins, carbohydrates, calories) and minerals (N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Zn, Mn) were determined. Data were subjected to multivariate analysis. The formation of four and three groups was observed, for the proximate composition and minerals, respectively, with emphasis on groups 3 and 2, with increases in lipids (46 and 49%), proteins (5.9 and 6%), and most of the minerals, in relation to the average of the other groups. Thus, regardless of the form of application, the proximate and mineral composition of the seeds is not altered by glyphosate. The conventional form of application using diuron + paraquat negatively affects the mineral content of sesame seeds. The period of application in the reproductive phase R7 provides better centesimal composition in the seeds, however, there is no distinction between the phases for the mineral content. Late harvesting provides an increase in centesimal composition and does not differ from early harvest in mineral content. Seeds from the lower part of the plant had a higher centesimal composition, while the upper part had a higher mineral content.

**Keywords:** centesimal composition; minerals; *Sesamum indicum* L.

## 6.1 INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta da família Pedaliaceae, acredita-se que a espécie surgiu no continente africano, onde são encontradas a maioria das espécies silvestres do gênero *Sesamum* (ZHANG et al., 2013; LIMA et al., 2013).

Numa crescente demanda por alimentos mais saudáveis, a cultura tem despertado interesse de pessoas que buscam uma fonte de alimentação com elevada qualidade nutricional. Devido ao elevado valor proteico da semente, é altamente comercializada no mundo, fazendo parte da indústria alimentícia, usada em produtos de panificação, doces e utilizada na culinária regional, além de ser recomendada para uso tanto como ingredientes alimentares funcionais quanto como suplementos nutricionais (QUEIROGA et al., 2010; ACHOURI et al., 2012).

As sementes possuem flavonoides que atuam como antioxidantes, e efeito antibacteriano, antifúngico, antiviral, anti-inflamatório e anticancerígeno (ANILAKUMAR et al., 2010; ZHOU et al., 2016; SIRIWARIN e WEERAPREEYAKUL, 2016), além de tradicionalmente ser estudada para obtenção de biodiesel em virtude de seu óleo vegetal possuir excelente qualidade (ROSTAMI et al., 2014). A composição do óleo de gergelim é constituída de ácido linoleico, oleico, palmítico e ácido esteárico, que correspondem a aproximadamente 98% do óleo vegetal bruto (ARRUDA et al., 2016). É rico em vitamina E e apresenta valor medicinal pois é utilizado na fabricação de muitos produtos para a saúde (DOSSA et al., 2017).

Em virtude da maturação fisiológica ocorrer em função da posição do fruto na planta (NOGUEIRA FILHO et al., 2017); antes da abertura dos frutos para evitar perda das sementes e para garantir uma colheita uniforme é necessário utilizar produtos químicos para a dessecação da cultura. Assim, torna-se necessário realizar a operação com máxima eficácia, evitando que imprecisões na aplicação prejudiquem a qualidade final do produto a ser adquirido pelo consumidor.

Este estudo parte da hipótese de que a composição das sementes de gergelim oriundas do processo de dessecação no campo para eficiência da colheita geram alterações ou perdas de qualidade nutricional. Em virtude disso, o estudo teve como objetivo avaliar a composição centesimal e mineral de sementes de gergelim produzidas em campo utilizando diferentes métodos de aplicação de dessecantes em duas fases reprodutivas da planta, colheita de forma antecipada e tardia e analisadas em diferentes partes da planta.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.2.1 Local do estudo e condições experimentais

Os experimentos foram conduzidos nos anos 2019 e 2020 em campo, na mesorregião do Agreste Paraibano, na unidade experimental da Embrapa Algodão de Alagoinha-Paraíba, Brasil localizada latitudes 6° 54' 16" S e longitude 32° 27' 57" W e 33° 36' 00" com altitude de 140 m.

As condições climáticas, instalação e condução do experimento em campo, cultivar utilizada e manejo fitotécnico foram idênticas as descritas na sessão material e métodos do Capítulo 1 (página 38).

#### 6.2.2 Delineamento experimental em campo

O experimento em campo foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial (2 x 3 x 2 x 2 x 2) incluindo dois dessecantes por meio dos produtos comerciais Shadow® e Gramocil® (glifosato e diuron + paraquat), três formas de aplicação (convencional, jato dirigido) e testemunha, dois períodos de aplicação (67 à 72 e 77 à 82 dias) referente às fenofases R5 e R7, duas colheitas (antecipada e tardia) e duas partes da planta (parte superior e parte inferior), totalizando 48 tratamentos.

#### 6.2.3 Colheita e beneficiamento das sementes

Aos 88 e 105 dias após a semeadura (DAS) 10 plantas foram colhidas, ao acaso realizando-se o corte na altura de inserção dos primeiros frutos (35 cm de altura em relação à superfície do solo) e procedeu-se o corte da planta separando-a ao meio em duas partes (superior e inferior). Em seguida foram levadas à ambiente protegido e distribuídas horizontalmente em bancadas, para secagem natural. Posteriormente, após dez dias efetuou-se o beneficiamento (recolhimento e limpeza das sementes), em seguida as sementes foram acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificadas para a realização das análises.

#### 6.2.4 Instalação e condução em laboratório

As análises de composição centesimal foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos, e as análises de minerais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, ambos pertencentes a Embrapa Agroindústria Tropical, localizados no município de Fortaleza, CE (0° 45' 47" S e 38° 31' 23" W).

### 2.5 Variáveis avaliadas

I) Grau de umidade: O grau de umidade foi determinado segundo método 925.10 da AOAC (2016), onde cerca de 2 g de amostra foi pesada em bags de filtro, sendo posteriormente levadas a estufa com circulação forçada de ar à temperatura de  $105 \pm 5$  °C por 24 h.

II) Cinzas: O teor de cinzas foi quantificado segundo método 923.03 da AOAC, 2016. Para tanto, cerca de 1,5 g da amostra foi pesada em cadinho de porcelana tarados previamente e submetidas à incineração em forno mufla à 550 °C por 6 horas.

III) Proteínas: O teor de proteína determinada pelo método Dumas em equipamento automático analisador de nitrogênio/proteína NDA 701 Dumas da VELP Scientifica (VELP, 2019), utilizando-se EDTA como padrão, utilizando-se 50mg de amostra, baseando-se no método 992.23 da AOAC (2016), que consiste na determinação do nitrogênio (N) e proteína por meio da combustão.

IV) Lipídios: O conteúdo lipídico foi determinado de acordo com método Am 5-04 (AOCS, 2005; ANKOM, 2009) utilizando-se um sistema de extração sob alta temperatura e pressão em equipamento analisador automático de gordura ANKOM, modelo XT15.

V) Carboidratos: O teor de carboidratos foi determinado conforme BRASIL (2016); a partir da diferença entre o total da amostra, que representa os 100% e os valores obtidos a partir das análises de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos.

$$\text{Carboidratos\%} = 100 - (\text{Proteínas\%} + \text{Cinzas\%} + \text{Umidade\%} + \text{Lipídios\%})$$

VI) Valor calórico: O valor calórico foi determinado a partir do cálculo das médias aritméticas dos teores de carboidratos, proteínas e lipídios e multiplicando-se por 4 kcal.g<sup>-1</sup>, 4 kcal.g<sup>-1</sup> e 9 kcal.g<sup>-1</sup>, respectivamente, de acordo os valores de conversão de Atwater (DESSIMONI-PINTO et al., 2011).

$$(\text{Kcal}) = (\text{proteína} \times 4,0) + (\text{carboidrato} \times 4,0) + (\text{lipídio} \times 9,0)$$

VII) Determinação de minerais: As amostras foram moídas em moinho tipo Willey e posteriormente submetidas à digestão nítrico-perclórica para a determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), sódio (Na), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), conforme procedimentos descritos em Miyazawa et al. (2009). Exceto o nitrogênio que foi obtido em base úmida e transformado pelo fator de correção (5,7).

## 2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de agrupamento por meio da medida de dissimilaridade utilizando a distância Euclidiana como método de agrupamento *Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average* (UPGMA), juntamente com a análise de agrupamento foram gerados heatmaps para os 48 tratamentos e seis variáveis de composição centesimal e onze variáveis de minerais. A partir dos grupos formados foram gerados box-plot para as variáveis umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, carboidratos, calorias e para todos os

minerais, os dados dos grupos foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Uma segunda análise de agrupamento com heatmap considerando os fatores isolados (produtos, formas e períodos de aplicação) foi realizada. Esses dados também foram submetidos à análise de componentes principais (PC), e os tratamentos foram plotados em relação aos dois primeiros componentes (PC1 e PC2). O número de grupo foi definido com base na análise de Cluster e dispersão nos dois primeiros componentes (PC1 e PC2). Todas as análises foram realizadas no software R v4.0.0 (R Development Core Team, 2020).

### 6.3 RESULTADOS

O *heatmap* elaborado com todos os caracteres de composição centesimal evidenciou ampla diversidade nas variáveis estudadas, o que pode ser visualizado através da escala de cor (Figura 1A). É possível observar a formação de quatro grupos a partir das 48 combinações de tratamentos, com nítida separação na composição centesimal das sementes da parte superior (PS) e inferior (PI) e entre as duas colheitas (C1 e C2). O produto, a forma e o período de aplicação não foram determinantes para formação de grupos e interferência dos resultados (Figura 1A).

Na comparação entre os grupos formados no *heatmap* na característica umidade, foram observados valores superiores no grupo 1 que é composto predominantemente por sementes provenientes da parte superior, colhidas de forma antecipada, cujo grupo obteve acréscimo de 24% em relação ao grupo 4 que registrou menor grau de umidade (Figura 1B). A composição centesimal, foi melhor para os tratamentos que formaram os grupos 3 e 4 por obterem incremento, respectivamente, de 41 e 43% de lipídeos, juntamente com 15 e 17% de kcal, em relação ao grupo com menores valores (grupo 2) (Figura 1D, G). Por outro lado, maiores acréscimos (31 e 41%) no teor de cinzas foram observados nos grupos 1 e 2 em relação ao grupo 4 que obteve menor registro (Figura 1C). Nos tratamentos que formaram o G3, houve incremento de 4% no teor de proteínas em relação aos demais grupos, tendo em comum, para a maioria dos tratamentos do grupo que se destacou, sementes obtidas da parte inferior da planta (Figura 1E).

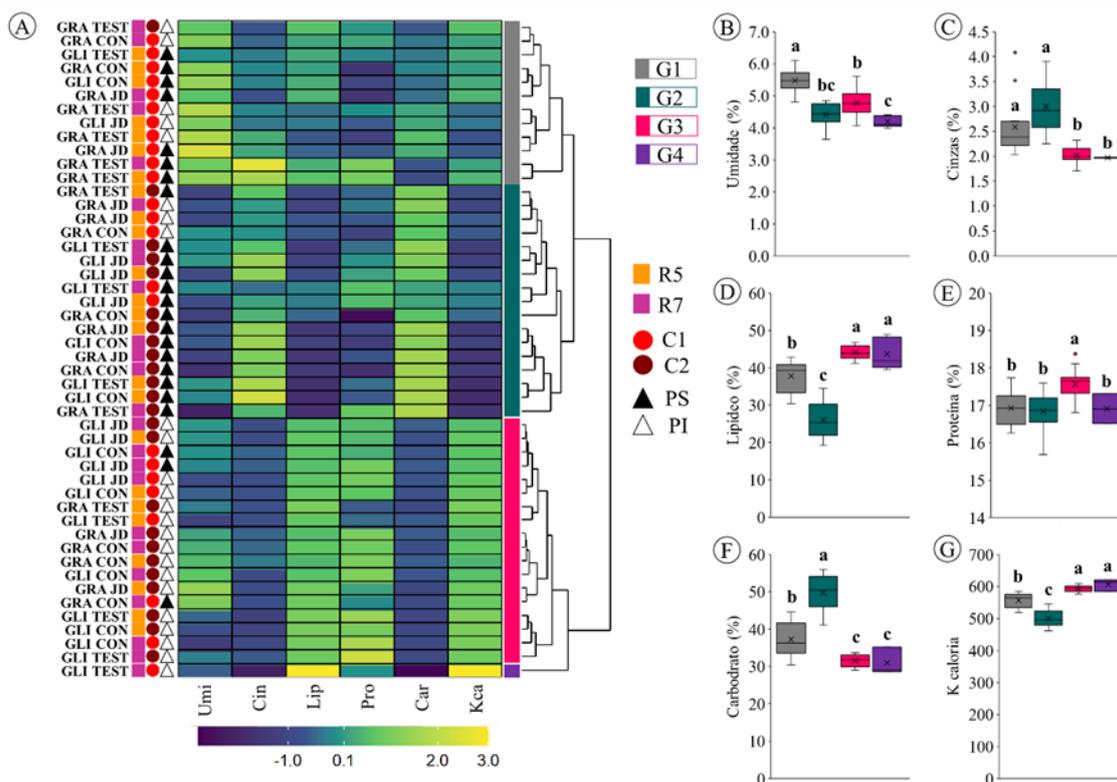


Figura 1 - Composição centesimal de sementes de gergelim em função do dessecante, período de aplicação e colheita (antecipada e tardia) e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior).

A: Heatmap para os 48 tratamentos em função das quatro variáveis de composição centesimal de sementes; B-E: Comparação de médias entre os grupos formados na análise de agrupamento. Cada retângulo representa a contribuição de cada característica para a composição centesimal das sementes de gergelim em função dos 48 tratamentos. A escala varia do lilás ao amarelo, correspondendo de baixa a alta contribuição, respectivamente.

R5: 67 à 72 DAS, R7: 77 à 82 DAS; C1: primeira colheita; C2: segunda colheita; PS: parte superior; PI: parte inferior; GLI: glifosato; GRA: diuron + paraquat; CON: aplicação convencional JD: jato dirigido; TEST: testemunha; UMI: umidade; CIN: cinzas; LIP: lipídios; PRO: proteínas, CAR: carboidrato; KCA: valor calórico.

Na análise de componentes principais, considerando os fatores isolados, os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) contribuíram com 94.2% na explicação da variação dos tratamentos, com formação de dois grupos. A mesma tendência foi observada na análise de *heatmap* com formação de dois grupos (Figura 2 A).

Houve maior contribuição do diuron + paraquat e do período R5 para teores de umidade, cinzas e carboidratos (grupo 2). Também se observou uma maior contribuição do grupo 1 formado pelos tratamentos com glifosato, aplicação convencional, período R7, e testemunha para os teores de lipídeos, proteínas e calorias (Figura 2A-B).

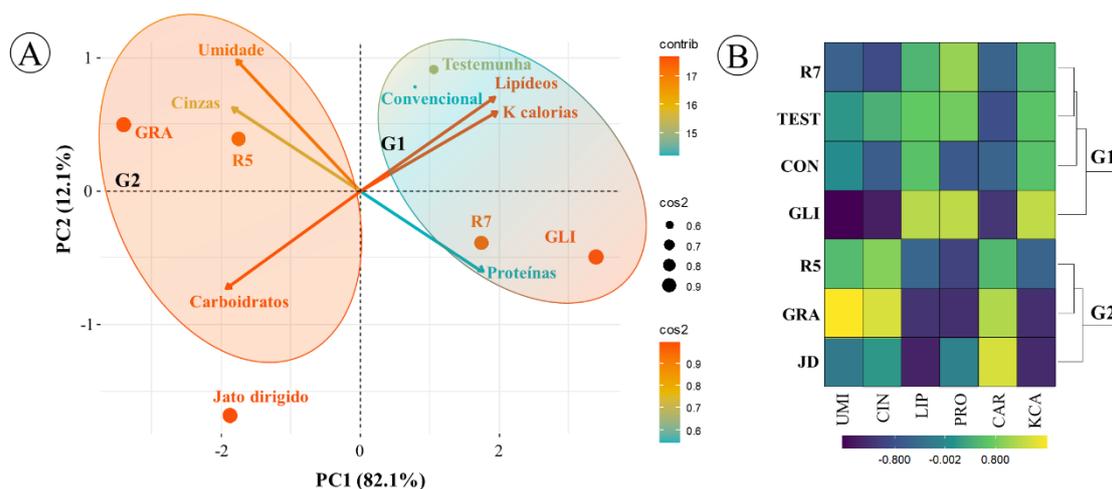


Figura 2 - Composição centesimal de sementes de gergelim em função do dessecante, período de aplicação e colheita (antecipada e tardia) e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior).

A: Distribuição dos tratamentos e contribuição das variáveis em função dos dois primeiros componentes PC1 e PC2. Setas representam a direção da característica e o gradiente de cores representam a contribuição de cada característica para os dois primeiros componentes. Gradiente de cores variando de azul ao vermelho indica a contribuição dos dois primeiros componentes para explicar a variação dos tratamentos, sendo classificadas como baixas (cor azul) e altas (cor vermelha) que também é representado pelo tamanho dos círculos; B: Heatmap para os fatores isolados em função das quatro variáveis de composição centesimal.

GRA: diuron + paraquat; GLI: glifosato; CON: aplicação convencional; JD: aplicação em jato dirigido; TEST: testemunha; R5: fase reprodutiva (67 a 72 DAS); R7: fase reprodutiva (77 a 82 DAS).

O *heatmap* elaborado com todos os minerais evidenciou ampla variação destes, visualizada através da escala de cor (Figura 3). Através do mapa de calor é possível perceber que as sementes procedentes de plantas de colheita tardia oriundas da porção superior, tem maior teor de minerais, formando o grupo 2. Resultados intermediários foram observados no grupo 1, com sementes originadas da parte inferior, quando realizada à aplicação com jato dirigido, independente do produto utilizado, período e colheita. Por outro lado, sementes provenientes de plantas submetidas ao tratamento com diuron + paraquat aplicados de maneira convencional, no período R7, independente da colheita, obtiveram menores teores de minerais, formando o grupo 3 (Figura 3).

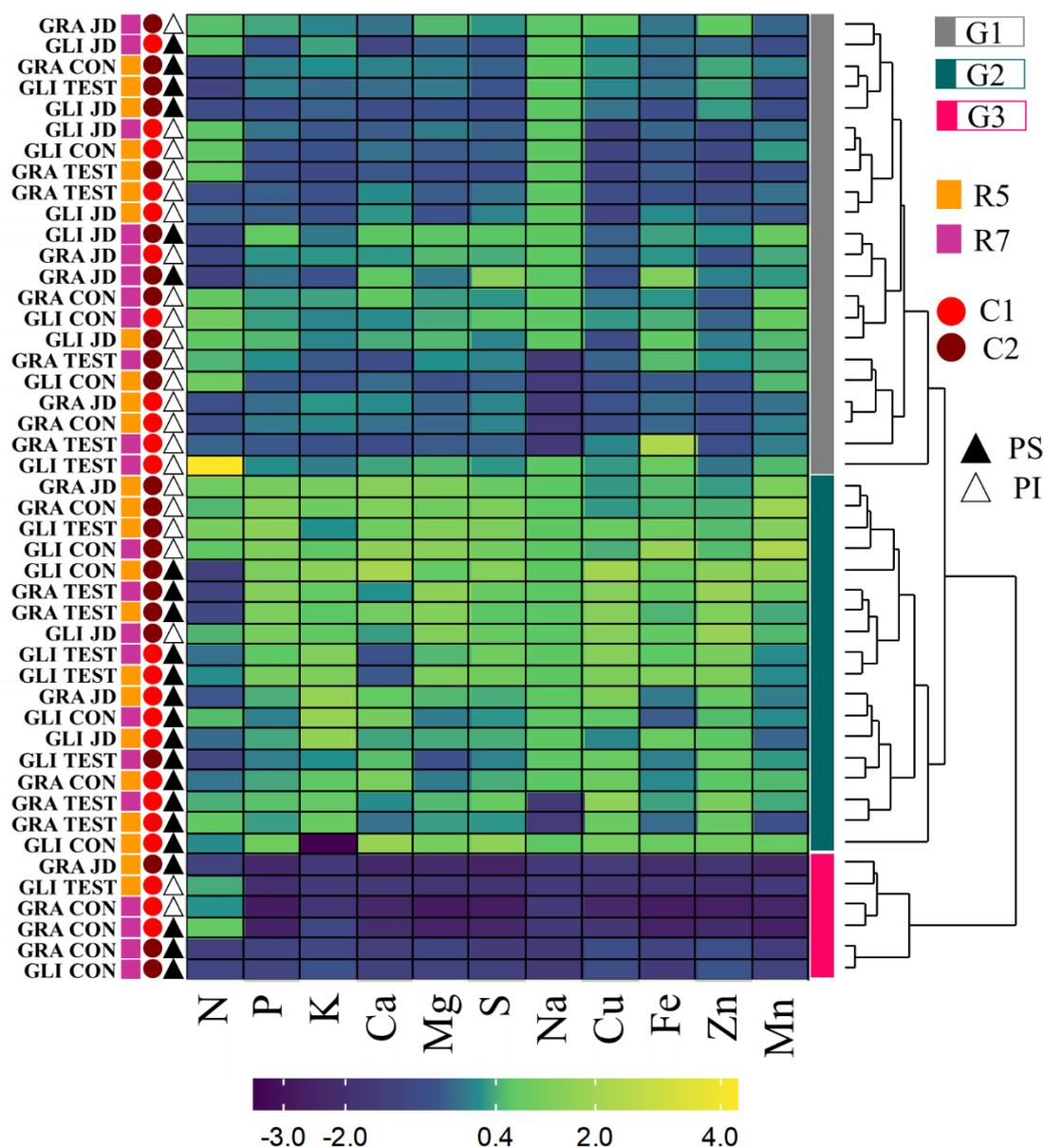


Figura 3 - Minerais em sementes de gergelim em função do dessecante, período de aplicação e colheita (antecipada e tardia) e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior). Heatmap para os 48 tratamentos em função das 11 variáveis de minerais das sementes. Cada retângulo representa a contribuição de cada característica para minerais das sementes de gergelim em função dos 48 tratamentos. A escala varia do lilás ao amarelo, correspondendo de baixa a alta contribuição, respectivamente.

G1: grupo 1; G2: grupo 2; G3: grupo 3; R5: 67 à 72 DAS, R7: 77 à 82 DAS; C1: primeira colheita; C2: segunda colheita; PS: parte superior; PI: parte inferior; GLI: glifosato; GRA: diuron + paraquat; CON: aplicação convencional JD: jato dirigido; TEST: testemunha; N: nitrogênio; P: fosforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Na: sódio; Cu: cobre; Fe: ferro; Zn: zinco; Mn: manganês.

Ao avaliar o teor de minerais no boxplot, verifica-se variação entre grupos (Figura 4). Os grupos 1 e 2 foram responsáveis por maiores incrementos de Fe (48; 32%) e Mg (53; 41%), respectivamente, sendo o grupo 2, sozinho, responsável por maiores teores de P, K, Ca, Mn, S, Cu, Zn, e Mg com acréscimos de 41; 40; 45; 41; 44; 43; 45; e 42% respectivamente, em relação

aos tratamentos que formaram o grupo 3, que exibiu os menores teores de minerais (Figura 4A-K). Os valores de nitrogênio não diferiram entre os grupos (Figura 4A).

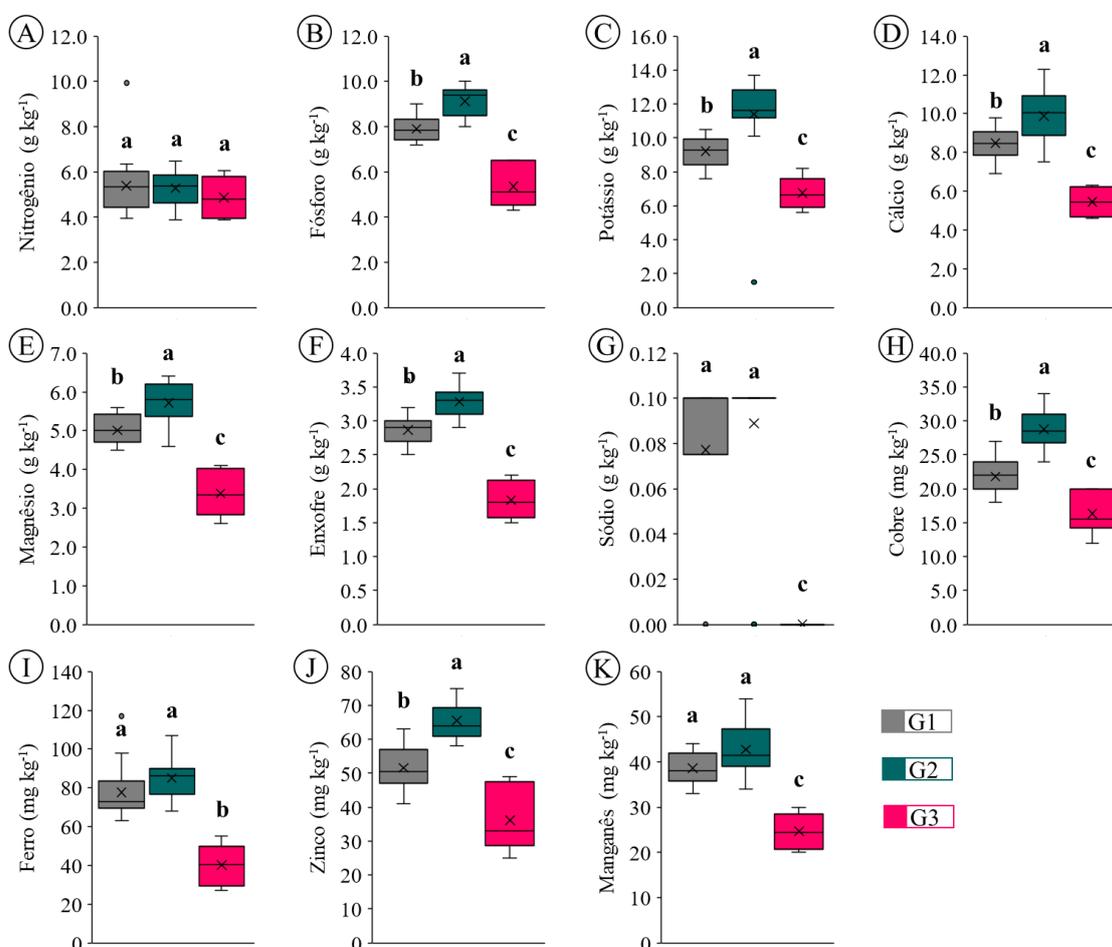


Figura 4 - Box plot gerados a partir dos grupos formados na análise de Cluster para os minerais extraídos em sementes de gergelim oriundas de plantas submetidas a diferentes desseccantes, métodos, períodos de aplicação, colheita e parte da planta. Letras minúsculas comparam as médias entre os grupos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2), considerando os fatores isolados, contribuíram com 80% na explicação da variação dos tratamentos (Figura 5A). Por meio da análise do heatmap observou-se a formação de três grupos (Figura 5B).

É notória a contribuição do período R5 para o teor de cálcio e fósforo e no R7 para nitrogênio, denota-se ainda a forte contribuição do glifosato e da testemunha quanto aos teores de minerais em geral (grupo 3), entretanto o diuron + paraquat não contribuíram para os teores de minerais (grupo 1), semelhante ao observado na aplicação convencional (grupo 2), enquanto a utilização do jato dirigido contribuiu apenas para teores de potássio e fósforo (Figura 5).

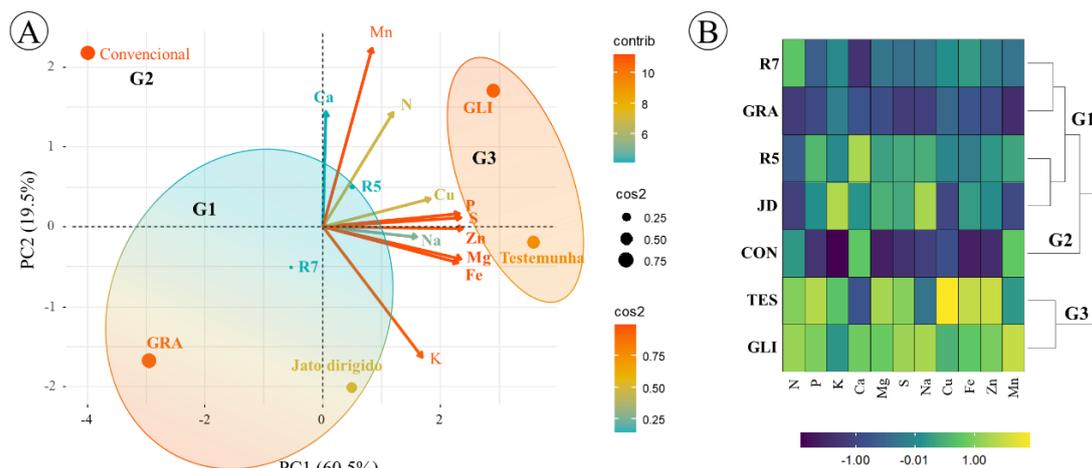


Figura 5 - Minerais de sementes de gergelim em função do dessecante, período de aplicação e colheita (antecipada e tardia) e porção da planta avaliada (parte superior e parte inferior).

A: Distribuição dos tratamentos e contribuição das variáveis em função dos dois primeiros componentes PC1 e PC2. Setas representam a direção da característica e o gradiente de cores representam a contribuição de cada característica para os dois primeiros componentes. Gradiente de cores variando de azul ao vermelho indica a contribuição dos dois primeiros componentes para explicar a variação dos tratamentos, sendo classificadas como baixas (cor azul) e altas (cor vermelha) que também é representado pelo tamanho dos círculos; B: Heatmap para os fatores isolados em função das quatro variáveis de composição centesimal.

GRA: diuron + paraquat; GLI: glifosato; CON: aplicação convencional; JD: aplicação em jato dirigido; TES: testemunha; R5: fase reprodutiva (67 a 72 DAS); R7: fase reprodutiva (77 a 82 DAS); N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Na: sódio; Cu: cobre; Fe: ferro; Zn: zinco; Mn: manganês.

## 6.4 DISCUSSÃO

O glifosato é considerado um quelante fraco, não sendo, portanto, responsável por reduzir a absorção de cátions de micronutrientes pela planta; também não afeta a composição de minerais da semente, no seu processo de translocação na planta (DUKE et al., 2012). O diuron + paraquat influencia indiretamente a composição de minerais por meio de sua alta fitotoxicidade, já que afeta rapidamente todos os processos fisiológicos e dessa forma, age também em efeitos secundários, incluindo absorção e translocação de minerais na planta; dessa forma, logo que é feita a aplicação por ter ação de contato paralisa a absorção de nutrientes pela planta e conseqüentemente pela semente que deixa de receber esses minerais (ROMAN e VARGAS, 2005).

As formas de aplicação não foram determinantes na composição centesimal das sementes, porém houve pior desempenho com o emprego da aplicação convencional nos minerais, possivelmente em função de ocorrer maior quantidade de produto sob as plantas e frutos que deram origem as sementes, aumentando possíveis efeitos tóxicos e a paralisação do metabolismo da planta ocorrer de forma mais acelerada (Figuras 1 e 3).

A fenofase R7 contribuiu para uma melhor composição centesimal (lipídeos, proteínas), por outro lado, o R5 foi melhor para os minerais (potássio e cálcio) (Figuras 2 e 5). No momento da dessecação em R5, considerando que a semente ainda não atingiu a maturidade fisiológica, a mesma encontra-se na fase de acúmulo de matéria seca. A dessecação prematura da planta resulta na interrupção do acúmulo de fotoassimilados nas sementes (FINOTO et al., 2017), comprometendo principalmente os teores de lipídeos e proteínas e não afetando os minerais.

A colheita tardia favoreceu a composição centesimal com teores de lipídeos e proteínas em torno de 46% e 18% (Figura 1). O conteúdo de lipídeos neste estudo se encontra dentro do que é relatado na literatura (44-53%). Em geral, acessos de gergelim variam amplamente em teor de óleo e composição de ácidos graxos insaturados como o ácido oleico e o ácido linoleico que é considerado um ácido graxo essencial para os seres humanos, porque não pode ser sintetizado no corpo, e deve ser obtido de fontes alimentares (KURT, 2018). Quanto ao teor de proteínas, também houve conformidade com a literatura mantendo-se dentro do intervalo (18-22%) observado em diferentes variedades (ASGHAR e MAJEED, 2013) como encontrado no grupo 3 (Figura 1). Dentre as frações proteicas da semente de gergelim, a globulina é a fração mais abundante, composta por 91% de proteína, seguida por glutelina, albumina e prolamina (IDOWU et al., 2021). Para os teores de minerais a colheita não foi determinante (Figura 3).

As partes da planta na qual se originaram as sementes variaram no armazenamento de compostos e minerais. Sementes da parte inferior foram responsáveis por maiores índices de composição centesimal como lipídeos e proteínas (Figura 1), enquanto a parte superior da planta obteve sementes com maior conteúdo de minerais (Figura 3). Essas diferenças por posição na planta também são registradas para outras espécies e influenciam no conteúdo de reservas. Em cultivares de soja, a percentagem de óleo e proteína são influenciadas também pela posição das vagens na planta, os grãos localizados no terço superior da haste da planta continham maior teor de proteína, enquanto os grãos localizados nos terços médio e inferior, maior teor de óleo (SALES, 2016).

No gergelim, as sementes da porção inferior, por apresentarem maior massa, tem maior conteúdo de reservas, ou seja, maior concentração de óleo no endosperma, justificando maior conteúdo de lipídeos. Existe nesse caso, relação de proporcionalidade entre teor de lipídeo e massa de mil sementes (BELTRÃO e VIEIRA, 2001). Na parte superior, as sementes possuem menor massa, por isso foi encontrado maior conteúdo de minerais, isso pode ser justificado pois o conteúdo de elementos nas sementes de gergelim é um caráter específico do tegumento (PANDEY et al., 2017). Os minerais atuam em processos metabólicos corporais e possuem funções fisiológicas exclusivas na regulação e catalisação de mecanismos celulares e

moleculares importantes para saúde humana, onde os minerais devem ser fornecidos constantemente por uma alimentação equilibrada de forma adequada a cada idade (BAILEY et al., 2015).

A alimentação saudável, envolve aspectos importantes como diversidade de macronutrientes (proteínas, açúcares e gorduras), e micronutrientes (vitaminas e minerais), (PEREIRA et al., 2020). Nesse sentido, os resultados alcançados no presente estudo abrem a perspectiva para utilização do glifosato, como dessecante para cultura do gergelim sobretudo na fase R7, pois não foram observadas expressivas alterações na composição centesimal e mineral em relação ao controle promovendo melhorias na uniformidade de dessecação da planta, que pode otimizar a colheita mecanizada e trazer melhorias para a cadeia produtiva do gergelim.

## **6.5 CONCLUSÕES**

A utilização do glifosato nas plantas de gergelim não altera a composição centesimal e mineral de sementes e a utilização do diuron + paraquat influencia negativamente a composição centesimal e mineral das sementes, especialmente se utilizar o modo convencional;

O período de aplicação do herbicida na fase reprodutiva R7 (77 a 82 dias) e a colheita tardia (90-105 dias) proporciona maiores valores médios na composição centesimal e o conteúdo de minerais não difere entre as fenofases e não é determinante na colheita, enquanto sementes oriundas da parte inferior da planta possuem maior composição centesimal enquanto às da parte superior, maior conteúdo de minerais.

## REFERÊNCIAS

- ACHOURI, A.; NAIL, V.; BOYE, J. I. Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties. **Food Research International**, v. 46, n. 1, p. 360-369, 2012.
- ANILAKUMAR, K. R.; PAL, A.; KHANUM, F.; BAWA, A. S. Nutritional, Medicinal and Industrial Uses of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seeds - An Overview. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v.75, n. 4, p. 159-168, 2010.
- ANKOM. Technology method 2: rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. Macedon, 2009. p. 2.
- AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). Official methods of analysis. off AOAC International. 20 ed. Editor: Dr. George W. Latimer, Jr. Rockville, MD, USA, 2016.
- AOCS. American Oil Chemists' Society. Official Method Am 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. Urbana: Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 2005.
- ARRUDA, T. B. M. G.; RODRIGUES, F. E. A.; ARRUDA, D. T. D.; RICARDO, N. M. P. S.; DANTAS, M. B.; ARAÚJO, K. C. Chromatography, spectroscopy and thermal analysis of oil and biodiesel of sesame (*Sesamum indicum*) – An alternative for the Brazilian Northeast. **Industrial Crops and Products**, v. 91, n. 1, p. 264 - 271, 2016.
- ASGHAR, A.; MAJEED, M. N. Chemical characterization and fatty acid profile of different sesame varieties in Pakistan, American Journal of Scientific and Industrial Research, v. 4, n. 6, p. 540-545, 2013.
- BAILEY, R. L.; WEST JUNIOR, K. P.; BLACK, R. E. The epidemiology of global micronutrient deficiencies. **Annals of Nutrition & Metabolism**, v. 66, n. 1, p. 22-33, 2015.
- BELTRÃO, N. E. de M. e VIEIRA, D. J. (2001). **O agronegócio do gergelim no Brasil**. (1ª ed.). Campina Grande, Embrapa Algodão.
- DUKE, S. O.; KRISHNA N. REDDY; KAIXUAN BU; AND JAMES V. CIZDZIEL. Effects of Glyphosate on the Mineral Content of Glyphosate- Resistant Soybeans (*Glycine max*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 1, p. 6764-6771, 2012.
- DOSSA, K.; KONTEYE, M.; NIANG, N.; DOUMBIA, Y.; CISSÉ, N. Enhancing sesame production in West Africa's Sahel : a comprehensive insight into the cultivation of this untapped crop in Senegal and Mali. **Agriculture & Food Security**, v. 68, n. 1, p.1-15, 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA –EMBRAPA. 2015. Gergelim, BRS Anahí. 1 ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2 p.
- EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of the 3rd, and 4th meetings of EWRC. Committee of methods in Weed Research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964.
- FINOTO, E. L.; SEDIYAMA, T.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SOARES, M. B. B.; GALLI, J. A.; CORDEIRO JUNIOR, P. S.; MENEZES, P. H. S. Antecipação e retardamento de colheita nos teores de óleo e proteína das sementes de soja, cultivar Valiosa RR. **Scientia Agropecuaria**, v. 8, n. 2, p. 99-107, 2017.

FREITAS, M. N.; BARROS, M. E. S; FIRMINO, P. T.; ARRIEL N. H. C. Composição química de três variedades de gergelim– Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria. Tropical, ISSN 1679-6543; 160.

IDOWU, A. O.; ALASHI, A.M.; NWACHUKWU, I. D.; FAGBEMI, T.N.; ALUKO, R. E. Functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L) seed protein fractions. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 3, n. 4, p. 1-16, 2021.

KURT, C. Variation in oil content and fatty acid composition of sesame accessions from different origins. **GRASAS Y ACEITES**, v. 69, n. 1, p. 1-9, 2018.

KÖEPPEN W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura. Econômica México

LIMA, F. A.; SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; PINHEIRO NETO, L. G.; AZEVEDO, B. M.; CARVALHO, C. M. DE. Irrigação da cultura do gergelim em solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 1, p. 102-111, 2013.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S. do; MELO, W. J. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª Ed. Brasília, 2009. p. 191-234.

NAVARRA, T.; SHANKIN-COHEN, W. **The encyclopedia of vitamins, minerals and supplements**. New York: Facts On File, 2004.

NOGUEIRA FILHO, F. P.; OLIVEIRA, A. B.; PEREIRA, M. S.; LOPES, M. F. Q.; SILVA, R. T. Efetividade do teste de raios-X para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sésamo, devido à posição dos frutos na planta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 435-440, 2017.

PANDEY, S. K.; MAJUMDER, E.; DASGUPTA, T. Genotypic Variation of Microelements Concentration in Sesame (*Sesamum indicum* L.) Mini Core. **Agricultural Research**, v. 6, n. 2, p. 114–121, 2017.

PEREIRA, N.; FRANCESCHINI, S.; PRIOREB, S. Qualidade dos alimentos segundo o sistema de produção e sua relação com a segurança alimentar e nutricional: revisão sistemática. **Saúde e Sociedade**, v. 29, n. 4, p. 1-15, 2020.

QUEIROGA, V. P.; BORBA, F. G.; ALMEIDA, K. V.; SOUSA, W. J. B.; JERÔNIMO, J. F.; QUEIROGA, D. A. N. Qualidade fisiológica e composição química das sementes de gergelim com distintas cores. **Revista Agro@mbiente**, v. 4, n. 1, p. 27-33, 2010.

ROSTAMI, M.; FARZANEH, V.; BOUJMEHRANI, A.; MOHAMMADI, M.; BAKHSHABADI, H. Optimizing the extraction process of sesame seed' soil using responsesurface method on the industrial scale. **Industrial Crops and Products**, v. 58, n. 1, p. 160-165, 2014.

RINCÓN C. A.; SALAZAR N. Descripción de las etapas de desarrollo del ajonjolí. **Agronomía Tropical**, v. 47, n. 1, p. 475-487, 1997.

ROMAN ES & VARGAS L. 2005. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 152p.

SALES, V.H.G.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRRI, F. S., OLIVEIRA JUNIOR, W.P.; SALES, P. V. G. Teor de óleo e proteína em grãos de soja em diferentes posições da planta. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 1, p. 22 - 29, 2016.

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A. DE, ARAUJO FILHO, J. C., OLIVEIRA, J. B. DE, CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SENGA, K. P.; OPOTA O. D.; TAMBA V. A.; TONA L. G.; KAMBU K. O.; COVACI, A.; APERS, S.; PIETERS, C. K. L.; CIMANGA, K. R. Chemical composition and nutritive value study of the seed oil of *Adenantha pavonina* L. (Fabaceae) growing in Democratic Republic of Congo. **International Journal of PharmTech Research**, v. 5, n. 1, p. 205-216, 2013.

SIRIWARIN, B.; WEERAPREEYAKUL, N. Sesamol induced apoptotic effect in lung adenocarcinoma cells through both intrinsic and extrinsic pathways. **Chemico-Biological Interactions**, v. 254, n. 1, p.109-116, 2016.

VELP SCIENTIFICA. **Operating Manual NDA Series Dumas Nitrogen Analyzer**. Italy, 2019, 145 p.

YOL, E.; TOKER, C.; UZUN, B. Inheritance of long and dense capsule characteristics in sesame. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 22, n. 1, p. 8-13. 2017.

ZHANG, H., MIAO, H., WANG, L., QU, L., LIU, H., WANG, Q., YUE, M. Sequenciamento de genoma da importante cultura oleaginosa *Sesamum indicum* L. **Genome Biology**, v. 14, n. 1, p. 401, 2013.

ZHOU, Y., XING, X., LANG, J., CHEN, D., CHENG, S., LIN, W., LIU, C. A comprehensive biomass burning emission inventory with high spatial and temporal resolution in China. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 17, n. 4, p. 2839–2864 2017.