



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**CAMPUS PETROLINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**JAQUELINE DE ALMEIDA SILVA**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI**  
**TOLERANTES AO CALOR: FISIOLOGIA, VIABILIDADE POLÍNICA E**  
**PRODUÇÃO**

**PETROLINA**  
**2024**

JAQUELINE DE ALMEIDA SILVA

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI  
TOLERANTES AO CALOR: FISIOLOGIA, VIABILIDADE POLÍNICA E  
PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada para aprovação na disciplina Construção Técnico-Científica em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade de Pernambuco. Área de concentração: Recursos Naturais e Sustentabilidade.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Francislene Angelotti

Coorientador(a): Dr<sup>a</sup> Juliane Rafaelle Alves Barros

PETROLINA-PE

2024

Silva, Jaqueline de Almeida.  
S586s Seleção de genótipos de feijão-caupi tolerantes ao calor :  
fisiologia, viabilidade polínica e produção / Jaqueline de Almeida  
Silva. – Petrolina: do autor, 2024.  
44 f. : PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Francislene Angelotti.  
Coorientadora: Profa. Dra. Juliane Rafaela Alves Barros.  
Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade de Pernambuco,  
*Campus Petrolina*, Petrolina-PE, 2024.

1. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. 2. Feijão-caupi. 3. Grãos. 4.  
Temperatura. 5. Produção agrícola. I. Angelotti, Francislene. II.  
Barros, Juliane Rafaela Alves. III. Universidade de Pernambuco -  
*Campus Petrolina* - PPGCTA. IV. Título.

CDD 664.7

JAQUELINE DE ALMEIDA SILVA

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI TOLERANTES AO CALOR:  
FISIOLOGIA, VIABILIDADE POLÍNICA E PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em: 28/03/24.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Dr<sup>a</sup>. Francislene Angelotti (Orientador)  
Universidade de Pernambuco Campus Petrolina (UPE)

 Documento assinado digitalmente  
**HIRAM MARINHO FALCAO**  
Data: 28/03/2024 10:18:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dr. Hiram Marinho Falcão (Membro interno)  
Universidade de Pernambuco Campus Petrolina (UPE)

 Documento assinado digitalmente  
**TIAGO LIMA DO NASCIMENTO**  
Data: 28/03/2024 10:28:02-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Tiago Lima do Nascimento (Membro externo)  
Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE)

Dedico a minha mãe Terezinha e minha vó Ivonete, que sempre me deram apoio em minha trajetória acadêmica.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus e Nossa Senhora por esta oportunidade e proteção ao longo do caminho.

À Universidade de Pernambuco- *Campus* Petrolina, pela oportunidade de realização do curso.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Francislene Angelotti e à Dr<sup>a</sup> Juliane Barros por todo o amparo e dedicação em poder dar-me o direcionamento necessário.

Aos colegas de laboratório pelo apoio e parceria durante todo este período de estudos e dedicação.

“Na vida, nada deve ser temido, apenas compreendido.”

Marie Curie

## RESUMO

O aumento da temperatura causa impactos diretos na produção de feijão-caupi, pois afeta a viabilidade polínica e pode interferir nos parâmetros fisiológicos da planta. Com isso objetivou-se selecionar genótipos de feijão-caupi tolerantes ao aumento da temperatura do ar. O experimento foi conduzido em câmaras de crescimento do tipo Fitotron, em dois regimes de temperatura: 20-26-33 °C e 24.8-30.8-37.8 °C. Foram avaliados vinte genótipos de feijão-caupi por meio da análise dos parâmetros fisiológicos, produtivos, eficiência do uso da água (EUA), viabilidade polínica e avaliação comercial dos grãos. O aumento de 4,8 °C modificou os processos fisiológicos de alguns genótipos quanto a condutância estomática, transpiração, temperatura foliar, teor de clorofila, e fotossíntese, causando interferência na produção. Entretanto, apesar das alterações fisiológicas, alguns genótipos não tiveram prejuízos quanto a sua produção. Os genótipos GN1, GN7, GN12 e GN17 não apresentaram diferenças significativas nas respostas fisiológicas analisadas frente ao aumento da temperatura do ar. Os genótipos GN1, GN4, GN6, GN7, GN12 e GN17 apresentaram tolerância ao aumento da temperatura, pois a produção não foi afetada pelo estresse térmico. Já os genótipos GN10, GN16, GN18 e GN19 apresentaram redução da eficiência hídrica em 26,85; -25,19; -40,04 e -60,37% respectivamente, quando comparados aos genótipos nas condições de temperatura entre 20-26-33 °C. Quanto a avaliação polínica, o genótipo GN18 teve maior porcentagem de viabilidade polínica em condições de maior temperatura. Já a avaliação comercial dos grãos, foi possível observar que não houve influência significativa da temperatura. Os resultados obtidos neste trabalho representam uma pré-seleção de genótipos tolerantes às altas temperaturas, sendo esta, uma medida de adaptação importante para manutenção da produção em cenários de mudanças climáticas.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp; temperatura; grãos; parâmetro fisiológico.

## ABSTRACT

The increase in temperature causes direct impacts on cowpea production, as it affects pollen viability and can interfere with the physiological parameters of the plant. The objective of this study was to select cowpea genotypes tolerant to air temperature increase. The experiment was carried out in Fitotron-type growth chambers, in two temperature regimes: 20-26-33 °C and 24.8-30.8-37.8 °C. Twenty cowpea genotypes were evaluated through the analysis of physiological and productive parameters, water use efficiency (WUE), pollen viability and commercial evaluation of the grains. The increase of 4.8 °C modified the physiological processes of some genotypes regarding stomatal conductance, transpiration, leaf temperature, chlorophyll content, and photosynthesis, causing interference in production. However, despite the physiological changes, some genotypes did not suffer any losses in terms of production. The genotypes GN1, GN7, GN12 and GN17 did not show significant differences in the physiological responses analyzed to the increase in air temperature. The genotypes GN1, GN4, GN6, GN7, GN12 and GN17 showed tolerance to temperature increase, as the production was not affected by heat stress. On the other hand, the genotypes GN10, GN16, GN18 and GN19 showed a reduction in water efficiency of 26.85; -25,19; -40.04 and -60.37% respectively, when compared to genotypes under temperature conditions between 20-26-33 °C. Regarding the pollen evaluation, the GN18 genotype had a higher percentage of pollen viability under higher temperature conditions. On the other hand, in the commercial evaluation of the grains, it was possible to observe that there was no significant influence of temperature. The results obtained in this work represent a pre-selection of genotypes tolerant to high temperatures, which is an important adaptation measure for maintaining production in climate change scenarios.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp; temperature; grains; physiological parameter.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
3.1	MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	12
3.2	O CLIMA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO .....	13
3.3	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS E NA VIABILIDADE POLÍNICA .....	14
3.4	CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI: IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA .....	16
<b>4</b>	<b>ARTIGO: SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI TOLERANTES AO ESTRESSE TÉRMICO</b> .....	17
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34
<b>5</b>	<b>IMPACTOS ESPERADOS DA PESQUISA NA SOCIEDADE</b> .....	39
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa de origem africana que apresenta grande importância socioeconômica para o Nordeste brasileiro (Silva *et al.*, 2018). É uma cultura que se destaca pelo valor nutritivo (Vale *et al.*, 2017), como importante fonte de proteína (em torno de 18% a 35%), vitaminas do complexo B e minerais (Gonçalves *et al.*, 2020).

A maior produção de feijão-caupi produzida no Brasil provem da região Nordeste, a qual em grande parte possui clima semiárido (Xavier, 2016). Assim, esta cultura é considerada adaptada às condições de clima do semiárido (Silva *et al.*, 2013), apresentando desenvolvimento ótimo sob temperatura entre 18 e 34 °C (Vale *et al.*, 2017). No Brasil, o índice de produtividade na safra 2023 foi de 954 kg ha<sup>-1</sup>, em uma área de 1.377,7 há, sendo considerado um dos maiores produtores mundiais de feijão-caupi (CONAB, 2023).

No entanto, temperaturas acima de 35 °C no estágio inicial de crescimento provoca o surgimento de plântulas anormais (Barros *et al.*, 2021). Além disso, sob altas temperaturas o feijão-caupi pode ter seu crescimento e desenvolvimento comprometido, principalmente nos estádios de floração e formação da vagem, com o aumento de flores abortadas, redução na retenção de vagens e na produção de sementes (Barros *et al.*, 2021; Vale *et al.*, 2017). Diante disso, a seleção de genótipos tolerantes às altas temperaturas poderá ser uma medida de adaptação importante para a sustentabilidade do feijão-caupi. Visto que, estudos iniciais realizados no Brasil, apontam a existência de cultivares tolerantes ao aumento da temperatura do ar (Barros *et al.*, 2021).

É fundamental que diante das condições edafoclimáticas, a seleção de linhagens que apresentem alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade, são importantes para garantir a produção garantindo maior sucesso no cultivo. Deste modo, a seleção de genótipos tolerantes ao estresse térmico é imprescindível para favorecer os índices de produtividade (Vale *et al.*, 2017).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Selecionar genótipos de feijão-caupi tolerantes ao aumento da temperatura do ar.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar a resposta fisiológica de diferentes genótipos de feijão-caupi frente ao aumento da temperatura do ar;
- b) Avaliar a eficiência do uso da água nas condições de maior temperatura;
- c) Avaliar a viabilidade polínica de genótipos de feijão-caupi frente ao aumento da temperatura do ar;
- d) Avaliar a produção do feijão-caupi frente ao aumento da temperatura do ar em condições controladas;
- e) Avaliação comercial de grãos de feijão-caupi produzidos em ambiente com aumento da temperatura do ar.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas são um conjunto de alterações do clima resultantes de ações humanas ou de origem natural (IPCC, 2021). Os eventos climáticos incluem temperaturas elevadas, precipitação alterada, aumento do nível dos oceanos, climas extremos, capazes de interferir de forma impactante em questões socioeconômicas da população (Artaxo, 2020). As alterações no clima já são consideradas uma realidade presente em todo o planeta, capaz de alterar ecossistemas, e transformar o ambiente natural e suas respectivas relações bióticas e abióticas (Sousa, 2015).

Sendo assim, o aquecimento global é considerado um dos principais problemas do século 21, tendo como a principal causa a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, causada principalmente por queimas de combustíveis fósseis, que tem sofrido aumento nos últimos 150 anos (Molion, 2008). O aquecimento global pode ter consequências alarmantes, como observado na tabela 1.

**Tabela 1.** Projeções climáticas IPCC 2021

Cenário	Curto prazo 2021-2040		Médio prazo 2041-260		Longo prazo 2081-2100	
	Melhor estimativa (°C)	Faixa muito provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Faixa muito provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Faixa muito provável (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2-1,7	1,6	1,2 a 2,0	1,4	1,0 a 1,8
SSP1- 2.6	1,5	1,2 a 1,8	1,7	1,3 a 2,2	1,8	1,3 a 2,4
SSP2- 4.5	1,5	1,2 a 1,8	2,0	1,6 a 2,5	2,7	2,1 a 3,5
SSP3- 7.0	1,5	1,2 a 1,8	2,1	1,7 a 2,6	3,6	2,8 a 4,6
SSP5- 8.5	1,6	1,3 a 1,9	2,4	1,9 a 3,0	4,4	3,3 a 5,7

Fonte: IPCC (2021).

As alterações da temperatura e dos índices de precipitação decorrentes das mudanças climáticas, são capazes de modificar o crescimento e reprodução da flora, ao mesmo tempo que altera sua distribuição e dinâmica dos ecossistemas (Muniz, 2022). A tendência de aquecimento global tem sido refletida no cenário do clima brasileiro, onde as alterações mais evidentes incluem o aumento da temperatura,

mudanças nos padrões de precipitação e variações na ocorrência de eventos climáticos extremos (Marengo e Valverde, 2007).

As projeções climáticas indicam uma intensificação das dificuldades de acesso a água, alterações na frequência e intensidade de chuvas, perda da biodiversidade do bioma Caatinga, maiores riscos de erosão e desertificação (Ferreira *et al.*, 2020). Além disso, a redução do ciclo vegetativo que interfere diretamente na cadeia produtiva agrícola, também tem como causa as alterações climáticas (Cavalcante Júnior *et al.*, 2018).

Uma maior taxa de evaporação dos reservatórios de água, assim como elevação da evapotranspiração são ligados à tendência declinante de chuvas e aumento do período da estação seca, que ocasionam perdas na produtividade dos cultivos, aumentando as dificuldades socioeconômicas, sendo isto efeito das altas temperaturas e ondas de calor decorrente das alterações do clima (Cunha, 2022).

### 3.2 O CLIMA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO

O Semiárido apresenta duas estações distintas, sendo um período longo de seca e precipitação abaixo da média das normais climáticas, com percentuais equivalentes a 50% ou 30% (Lima e Girão, 2020). A distribuição de chuvas no semiárido Nordeste, ocorre de forma irregular, onde a região norte do Semiárido, o período chuvoso ocorre entre os meses de fevereiro a maio. Já nas regiões sul e sudeste, a ocorrência de chuva acontece entre outubro e fevereiro e na faixa leste, as chuvas perduram principalmente entre abril e agosto (Marengo, 2008).

Os níveis de insolação são em média de 2.800 horas anuais, com taxas de evapotranspiração em torno de 2.000 mm anual, e umidade relativa em torno de 50% (Ramalho, 2013). As taxas de insolação elevadas e temperaturas altas no Semiárido brasileiro, são provenientes da sua posição latitudinal, estando assim submetida a uma radiação solar intensa durante todo o período anual (Zanella, 2014). Podendo esta região apresentar uma média de temperatura anual de 26 °C a 28 °C (Zanella, 2014).

Estudos mostram que o semiárido brasileiro apresenta um ecossistema sensível, com relação de equilíbrio entre o fator climático e a vegetação, onde modificações climáticas podem causar impactos sobre as espécies vegetais (Nobre, 2011). Alterações na distribuição geográfica das espécies pode ser considerado um

dos impactos previstos frente às mudanças climáticas (Nascimento, 2021). Bem como altas temperaturas, irregularidade de chuvas e baixa precipitação na região do semiárido podem causar alterações morfofisiológicas podendo interferir na eficiência do uso da água pela planta (Santos *et al.*, 2021).

Os dados do Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas apontam para um aumento de até 5,7 °C na temperatura média do ar até o final do século, este aumento não será uniforme, podendo provocar a ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas e ondas de calor (IPCC, 2021). Para o Nordeste, os cenários futuros apontam aumento na estiagem, ocasionando maior aridez no semiárido a partir do final do Século XXI (Marengo *et al.*, 2015).

As estimativas dos impactos decorrentes das altas temperaturas na região semiárida pode afetar a agricultura e a qualidade de vida da população, incluindo a segurança alimentar (Marengo *et al.*, 2017). A temperatura dessa região tem aumentado ao longo dos anos, a média de temperatura anual entre os anos de 1985 e 2015 subiu de 25,5 °C para 26,5 °C, sendo esta, uma região cada vez mais propensa às ondas de calor (Cunha e Braga, 2022).

Dentre os setores afetados pelas mudanças climáticas, a agricultura é um dos mais susceptíveis, pois as plantas possuem dependência direta das condições do clima para manter seu crescimento, desenvolvimento e produtividade (Santos *et al.*, 2022). Frente a este desafio, estudos que englobem a adoção de medidas de adaptação pelo uso de cultivares tolerantes, são necessários para garantir a segurança alimentar da população.

### 3.3 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS E NA VIABILIDADE POLÍNICA

A temperatura exerce papel significativo na atividade metabólica das plantas. Quando alta, podem causar estresse térmico, causando alterações nos parâmetros biométricos, fisiológicos e produtivos, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando em baixos rendimentos na produção agrícola (Prasad *et al.*, 2008).

O potencial rendimento de uma cultura está diretamente ligado à fisiologia das plantas, sendo influenciada pelo genótipo e pelo ambiente. As respostas fisiológicas das plantas são fortemente afetadas pela temperatura em que crescem (Hatfield e Prueger, 2015). Em condições de exposição prolongada a temperaturas superiores a

35°C, as plantas podem reduzir a fixação do CO<sub>2</sub> devido à diminuição na abertura estomática, o que reduz a transpiração e, por conseguinte, eleva a temperatura foliar (Yuan *et al.*, 2017). Esse aumento na temperatura foliar resulta no aumento excessiva de espécies reativas de oxigênio, causando danos significativos à taxa fotossintética e ao índice de clorofila (Yuan *et al.*, 2017).

O estresse térmico também afeta de forma negativa a germinação, a formação dos botões florais e o crescimento do tubo polínico, diminuindo o quantitativo de grãos de pólen para a fertilização, ocasionando abortamentos florais em maior número (Sita *et al.*, 2017). Na fase inicial, as altas temperaturas podem ocasionar a redução da germinação, diminuindo a velocidade da germinação, e aumentando o número de plântulas anormais (Custódio *et al.*, 2009).

As elevadas temperaturas podem causar inviabilidade polínica, podendo resultar em menor desempenho das sementes causando redução do rendimento final (Kanwal *et al.*, 2021) pois o estresse térmico diminui a receptividade do estigma, o que conseqüentemente torna-o impossibilitado de promover a adesão do pólen (Raja *et al.*, 2019).

Além disso, as temperaturas elevadas causam degeneração precoce das camadas da parede da antera, reduz a capacidade de germinação do pólen, seu tamanho e comprimento, resultando em uma diminuição do rendimento das sementes (Raja *et al.*, 2019). O estresse térmico paralisa o desenvolvimento e funções polínicas, afetando negativamente o saco embrionário. O pólen é extremamente sensível ao estresse causado por altas temperaturas em todas as suas fases de desenvolvimento (Raja *et al.*, 2019).

A alta temperatura talvez seja o elemento ambiental que exerça maior influência quanto ao enchimento de grãos, abortamento de flores, vingamento e retenção final de vagens no feijão-caupi sendo também responsável pela redução do número de sementes por vagem (Ellis *et al.*, 1994; Craufurd *et al.*, 1996).

Frente aos cenários de mudanças climáticas, o estudo de viabilidade polínica é essencial para avaliar a qualidade e o quantitativo de grãos produzidos na flor, sendo estes, aspectos fundamentais para o desenvolvimento de pesquisas que avaliam a adaptação dos genótipos diante de condições adversas (Santos, 2018; Zanetti, 2020). Além disso os índices de viabilidade polínica contribuem para evidenciar o potencial produtivo dos grãos, pois quanto maior for a viabilidade dos grãos de pólen maior será a capacidade produtiva.

### 3.4 CULTURA DO FEIJÃO CAUPI: IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA

O feijão-caupi é uma cultura de grande importância socioeconômica, considerada uma das principais fontes de proteínas e carboidratos, sendo um alimento presente na dieta da maioria da população (Diniz, 2022). Esta cultura é bastante cultivada pela agricultura familiar, sua importância se dá principalmente pelo teor nutricional e oportunidade de renda (Silva *et al.*, 2018).

A safra 2021/2022 teve valores de produção expressivos, o Brasil foi capaz de produzir cerca de 724,1 mil toneladas de feijão-caupi, sendo boa parte desta produção oriunda da região Norte-Nordeste, com 564,8 mil toneladas produzidas (CONAB, 2022). Contudo, sua produtividade ainda não é alta quando comparada a outras regiões do Brasil (Gonçalves e Lima, 2021). Embora a sua importância seja significativa, este nível de produtividade referente a safra 2021/2022 de mais de 700 mil toneladas, se deve ao baixo nível tecnológico utilizado na produção, sendo uma cultura cultivada principalmente pela agricultura familiar, que muitas vezes negligenciam formas corretas de manejo adequado para a cultura (Hara *et al.*, 2022).

A cultura do feijão-caupi possui uma ampla variação de cores, tamanhos e formas, tais características dos grãos demandam uma determinada exigência de mercado. A exigência de preço baseia-se no tamanho e cor do grão nos mercados nacional e internacional, o que torna importante investir em genótipos que atendam tais exigências (Vale *et al.*, 2017).

Devido a importância socioeconômica da cultura, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas frente aos cenários de mudanças climáticas, uma vez que o desenvolvimento deste cultivo poderá ser afetado nas diferentes fases fenológicas, com impactos negativos principalmente durante a floração e a formação da vagem (Barros *et al.*, 2021).

#### 4 ARTIGO: Feijão-caupi: prospecção de genótipos tolerantes ao calor

A seleção de genótipos tolerantes às temperaturas elevadas é uma medida importante para a manutenção e para a produção agrícola em cenários de mudanças climáticas. Assim, objetivou-se selecionar genótipos de feijão-caupi tolerantes ao aumento da temperatura do ar. Foram utilizados 20 genótipos de feijão-caupi, cultivados sob regimes de temperaturas de 20-26-33 °C e 24,8-30,8-37,8 °C, em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x20 (regimes de temperatura x genótipos). Os genótipos GN1, GN7, GN12 e GN17 não apresentaram diferenças significativas nas respostas fisiológicas analisadas frente ao aumento da temperatura do ar. Os genótipos GN1, GN4, GN6, GN7, GN12 e GN17 apresentaram tolerância ao aumento da temperatura, pois a produção não foi afetada pelo estresse térmico. Os genótipos GN10, GN16, GN18 e GN19 reduziram a eficiência hídrica em 26,85; -25,19; 40,04 e 60,37% respectivamente, em função do aumento da temperatura. Os resultados obtidos neste trabalho representam uma pré-seleção de genótipos tolerantes às altas temperaturas, sendo os genótipos GN1, GN7, GN12 e GN17 indicados como tolerantes ao aumento da temperatura, baseado na interação das respostas fisiológicas e produtivas. Quanto a avaliação polínica, onde 10 dos 20 genótipos foram avaliados, somente os genótipos GN3, GN4, GN5 e GN16 não apresentaram diferença em ambos os regimes de temperatura. Já o genótipo GN18, teve maior porcentagem de viabilidade polínica em condições de maior temperatura. Já a avaliação comercial dos grãos, foi possível observar que não houve influência significativa da temperatura para a maioria dos genótipos quando submetido às condições de estresse térmico, exceto os genótipos GN10 e GN2. Há uma necessidade urgente de selecionar genótipos de feijão-caupi tolerantes ao aumento da temperatura, a fim de manter a produção em cenários de mudanças climáticas para garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a segurança alimentar.

Palavras-chave: *Vigna Unguiculata* (L) Walp. estresse abiótico, mudanças climáticas, agricultura.

##### 4.1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma leguminosa importante para a segurança alimentar no Brasil e outras regiões do mundo, sendo uma fonte de proteína e gerando emprego e renda para a agricultura familiar (Omomowo *et al.*, 2021; Mesquita *et al.*, 2023). No Nordeste brasileiro, o feijão-caupi é cultivado predominantemente na região semiárida, sendo plantado praticamente durante todo o ano (Desravines *et al.*, 2022; Vale *et al.*, 2017). Entretanto, as condições de temperatura e déficit hídrico podem afetar negativamente a produtividade da cultura (Melo *et al.*, 2018). Além das condições intrínsecas da região, os cenários de mudanças climáticas apresentam-se como mais um desafio, uma vez que poderá aumentar a frequência de temperaturas extremas, com impactos diretos na produção agrícola. Isso porque, temperaturas acima de 33 °C afeta a produção de feijão-caupi, principalmente na fase de reprodutiva, reduzindo a viabilidade dos grãos de pólen, provocando abortamento floral e, conseqüentemente, menor rendimento dos grãos (Barros *et al.*, 2024).

Com o crescimento exponencial da população mundial, que pode alcançar 10 bilhões até 2050, a demanda por alimentos aumentará rapidamente (Bacci, 2017; Long *et al.*, 2015). Diante disso, a busca por genótipos tolerantes ao calor torna-se crucial para a soberania alimentar. Barros *et al.* (2024) analisaram diferentes cultivares comerciais de feijão-caupi e observaram que elas respondem de maneira distinta ao ambiente ao qual foram expostas. Um exemplo é a cultivar BRS Gurguéia, que demonstrou tolerância ao estresse térmico, mantendo a viabilidade polínica, com menor taxa de abortamento de flores e uma maior produção em um ambiente com temperatura máxima de 37,8 °C.

Contudo, embora algumas cultivares de feijão-caupi tenham sido identificadas como tolerantes ao calor, o progresso no desenvolvimento de novos genótipos tem sido limitado (Mohammed *et al.*, 2024). Isso se deve, em parte, às abordagens imprecisas de fenotipagem, que representam o principal obstáculo na descoberta da base genética de características de tolerância aos estresses, dificultando os avanços nos programas de melhoramento genético (Wahid *et al.*, 2007; Jha *et al.*, 2020). Dessa forma, buscamos atuar na fase de pré-melhoramento, por meio da prospecção de genótipos como medida estratégica para garantir a sustentabilidade do cultivo frente às mudanças climáticas. Nesta primeira fase, a seleção de genótipos tolerantes ao calor pode ser realizada em condições controladas, por meio da elucidação das respostas fisiológicas e sua interação com as respostas produtivas (Barros *et al.*, 2021; Barros *et al.*, 2023). Com isso, objetivou-se selecionar genótipos de feijão-caupi tolerantes ao aumento da temperatura do ar.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Embrapa Semiárido, em câmaras de crescimento do tipo Fitotron, com controle de temperatura, fotoperíodo, e umidade relativa (Figura 1).

**Figura 1.** Genótipos de feijão-caupi cultivados em câmaras de crescimento, do tipo fitotron



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x20 (regimes de temperatura x genótipos), com quatro repetições. Os regimes de temperatura foram 20-26-33 °C e 24,8-30,8-37,8 °C, conforme descritos na tabela 1.

**Tabela 1.** Regimes de temperatura utilizados no experimento.

Regimes de Temperatura	Horários para cada temperatura			
	20:00 às 6:00	6:00 às 10:00	10:00 às 15:00	15:00 às 20:00
T1 (20-26-33 °C)	20	26	33	26
T2 (24,8-30,8-37,8 °C)	24,8	30,8	37,8	30,8

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os regimes de temperaturas (Tabela 1) foram determinados a partir das temperaturas mínimas, média e máxima que variam de 18-22, 25-27 e 32-34 °C, respectivamente, no Submédio do Vale do São Francisco, dos últimos 30 anos. Neste trabalho foi empregado o aumento de 4,8 °C, baseado na média ao aumento da temperatura do cenário SSP5-8.5 (IPCC, 2021).

Foram utilizados 20 genótipos de feijão-caupi, provenientes do Programa de Melhoramento Genético de feijão-caupi da Embrapa Meio Norte (Tabela 2).

**Tabela 2.** Genótipos de feijão-caupi utilizados no experimento.

Genótipos	
GN1: BRS Inhumá	GN11: Pingo de ouro 17-72
GN2: Bico de ouro 17-10	GN12: BRS Guariba
GN3: E.int 2 pingo de ouro 17-18	GN13: Pingo de ouro 17-82
GN4: E.int 3 bico de ouro 17-19	GN14: E.int 32
GN5: E.int 4 bico de ouro 17-20	GN15: MNC01-631F-20-5
GN6: Bico de ouro	GN16: MNC00-595F-27
GN7: E.int 14 bico de ouro 17-45	GN17: BRS Imponente
GN8: E.int 15 bico de ouro 17-46	GN18: MNC06-895E-1
GN9: E.int16 pingo de ouro 17-47	GN19: MNC09-981B-2
GN10: E.int17 pingo de ouro 17-48	GN20: BRS Paraguaçu

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Vasos com capacidade de cinco litros foram preenchidos com argissolo vermelho-amarelo eutrófico. Foram semeadas dez sementes por vaso e após 15 dias da semeadura foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso. A adubação foi realizada três dias antes do plantio com superfosfato, conforme os resultados das análises químicas do solo e das indicações para a cultura (Cavalcanti, 2008). Quinze dias após a emergência das plantas, foi realizada uma segunda adubação, via fertirrigação, foi utilizado sulfato de amônia e cloreto de potássio. As irrigações foram realizadas a cada dois dias, conforme necessidade da cultura.

#### 4.2.1 Parâmetros fisiológicos

As avaliações fisiológicas, foram realizadas aos 30 dias após o plantio, às 09:00 da manhã. A determinação das trocas gasosas foi realizada por meio do Analisador Portátil de Gás Infravermelho (Infra-red Gas Analyzer – IRGA) modelo Li 6400 XT (LI-

COR), sob radiação fotossinteticamente ativa mantida em  $2500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . As variáveis avaliadas foram: temperatura da superfície foliar ( $T_f$ ), taxa fotossintética ( $A$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), e condutância estomática ( $g_s$ ). Na ocasião, foram selecionadas previamente folhas completamente expandidas de cada planta, considerando características uniformes quanto à cor, maturidade e tamanho, para determinação periódica das trocas gasosas e do teor de clorofila das folhas.

O índice de clorofila foi determinado pelo aparelho portátil denominado clorofilômetro, Chlorophyll Meter, modelo SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development) que realiza medida instantânea e não destrutiva da folha, dando um valor de absorvância do comprimento de onda na região do vermelho (pico em 650 nm), região de alta absorvância pelas moléculas de clorofila.

A eficiência do uso da água (EUA) foi calculada por meio da razão fotossíntese / transpiração. A eficiência dos genótipos, foram comparadas em função dos dois regimes de temperatura na forma de porcentagem.

#### 4.2.2 Parâmetros produtivos

Para a realização das avaliações dos parâmetros produtivos, foi feita a colheita das vagens, sendo avaliado o número de vagens, peso das sementes, número de sementes e peso de 100 sementes de cada genótipo. As sementes foram pesadas em uma balança de precisão. As avaliações dos parâmetros produtivos ocorreram após as vagens atingirem o ponto de maturação (Oliveira *et al.* 2018), de acordo com o ciclo fenológico de cada genótipo.

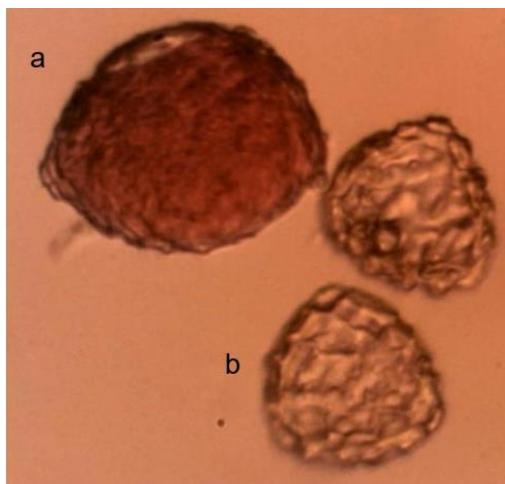
#### 4.2.3 Viabilidade Polínica

Para a avaliação da viabilidade polínica, foram selecionados 10 genótipos. A avaliação foi realizada durante o estágio fenológico R5 (Oliveira *et al.*, 2018), período de pré-floração, foi efetuada a coleta dos botões florais e em seguida armazenados em coletores de material plástico de 50ml devidamente tampados e identificados, contendo em seu interior solução de álcool etílico 70%. Os coletores foram armazenados em temperatura de  $4^\circ\text{C}$  em geladeira, até o momento das avaliações. A avaliação foi realizada utilizando o método de coloração com carmim acético a 2% (Kearns e Inouye, 1993). Para a preparação das lâminas foi realizada a remoção da corola do botão floral utilizando bisturi e agulha. Seguida da retirada das asas e da quilha, para ter acesso aos estames, retirando o filete e deixando apenas as anteras contendo os grãos de pólen (Rocha *et al.*, 2001).

Foi realizada a maceração das anteras para a liberação dos grãos de pólen com o uso de agulhas, após isto foi retirada as impurezas da lâmina com o uso de pinça, deixando apenas os grãos de pólen sobre a lâmina, aplicando sobre estes, duas gotas de corante, sendo coberto por lamínula de 22x22 e observadas no microscópio óptico com lente de aumento de 10x para a visualização e contagem dos grãos de pólen. Com o auxílio do programa Dino Capture 2.0, as lâminas contendo os grãos de pólen foram fotografadas para serem armazenadas no computador para a contabilização dos grãos de pólen viáveis e inviáveis.

Foram considerados viáveis os grãos corados e com sua exina intacta, e inviáveis os grãos que não apresentavam coloração e/ou fraca coloração no interior dos grãos e tamanho visualmente reduzido. Para os genótipos de feijão-caupi, foram utilizadas quatro lâminas, sendo contabilizados 150 grãos de pólen em cada lâmina, totalizando 600 grãos de pólen por genótipo.

**Figura 2.** Grão de pólen viável (a) e inviável (b) de feijão-caupi, corados com carmim acético a 2%.

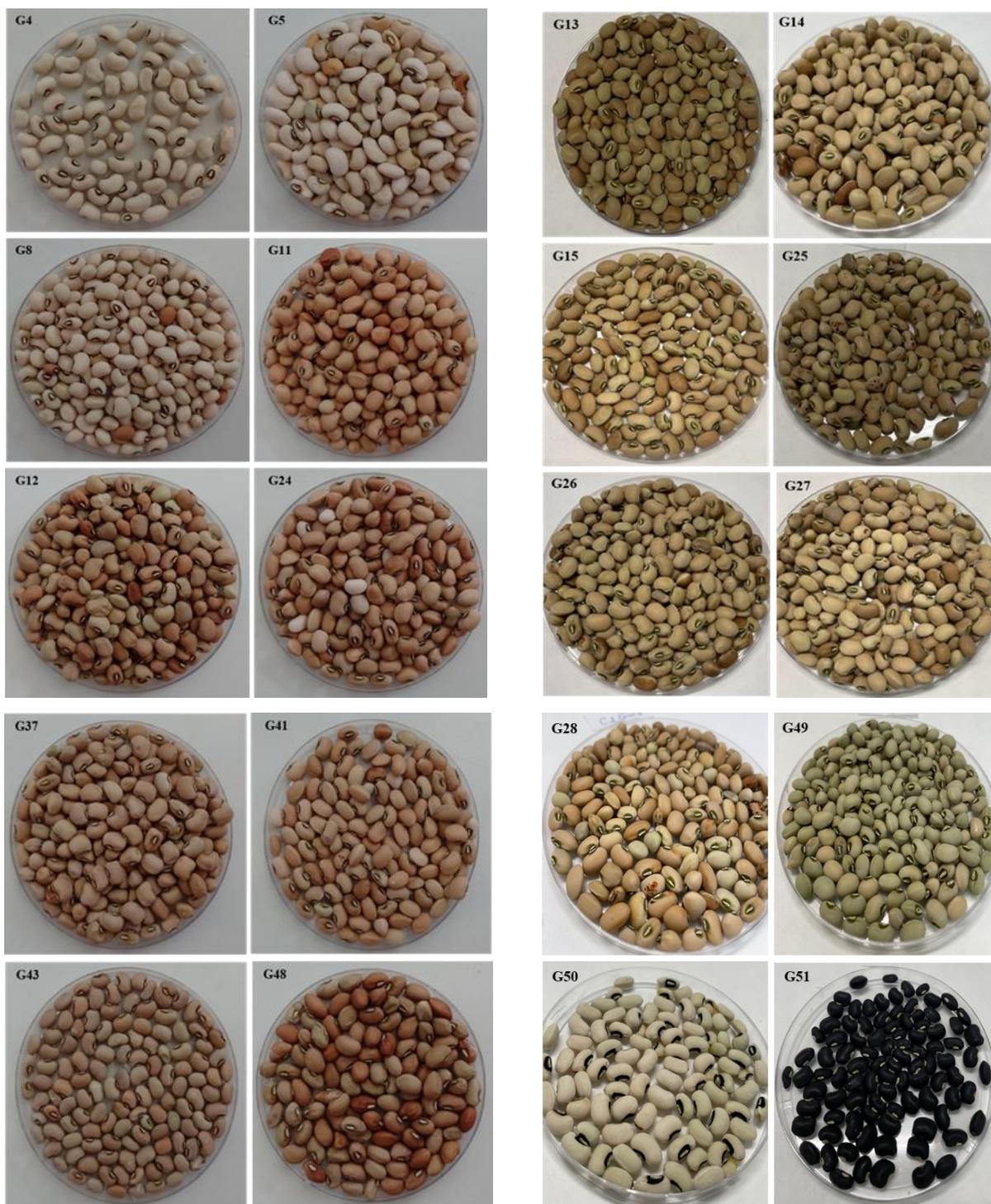


Fonte: Elaborado pela autora (2024).

#### 4.2.4 Avaliação comercial

As avaliações comerciais foram realizadas utilizando o método de classificação de grão comerciável, incluindo formato do grão, cor, tamanho do hilo, cor do anel do hilo, classe e subclasse observados visualmente, comparando suas características com as descrições comerciais (ver figura 3 a seguir).

**Figura 3:** Avaliação comercial da variabilidade genética dos grãos de feijão-caupi.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

#### 4.2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, com posterior análise de variância (ANOVA). Sendo constatado significância estatística entre as interações, aplicou-se o teste de comparação de média Scott Knott, utilizando o programa SISVAR Versão 5.6. Os dados que não apresentaram

normalidade foram transformados utilizando a equação raiz quadrada de  $Y + 1.0 - \text{SQRT}(Y + 1.0)$ .

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação regime de temperatura x genótipos foi significativa para todos os parâmetros fisiológicos analisados (Tabela 3). A atividade fisiológica das plantas pode ser afetada pelo estímulo térmico, provocando alterações no metabolismo da planta, influenciando no seu crescimento e desenvolvimento (Silva *et al.*, 2021).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância, referente aos valores de condutância estomática (*gs*), fotossíntese (*A*), transpiração foliar (*E*), temperatura foliar (*Tf*) e clorofila de diferentes genótipos de feijão-caupi, submetidos a dois regimes de temperaturas (T1: 20-26-33 °C e T2: 24,8-33,8-37,8 °C).

Fonte de variação	QM					
	GL	Gs	A	E	Tf	Clorofila
Temperatura (T)	1	0.000454**	7.9078ns	0.002990ns	73.098**	25.703ns
Genótipo (GN)	2	0.000300**	116.138**	0.394070**	4.1249**	1304.8**
TxGN	2	0.000167**	10.6561**	0.335764**	5.7927**	29.277**
Resíduo	18	0.000065	2.4200	0.054270	0.5745	13.761
CV %		13.12	9.56	10.99	2.20	8.67

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

GL= Grau de liberdade; CV= Coeficiente de variação; ns= Não significativo; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Os genótipos de feijão-caupi responderam de forma distinta ao aumento da temperatura do ar, onde o estresse térmico causou alterações fisiológicas em diferentes materiais (Tabela 4). A atividade fisiológica das plantas pode ser afetada pelo estímulo térmico, provocando alterações no metabolismo da planta, influenciando no seu crescimento e desenvolvimento (Silva *et al.*, 2021).

Em relação a abertura estomática, os genótipos GN2, GN5, GN9 e GN18 reduziram a abertura dos estômatos das plantas mantidas no regime de temperatura de 24,8-30,8-37,8°C (Tabela 4). Essa redução ocasionou uma queda na taxa fotossintética do genótipo GN18. Observa-se também que o aumento de 4,8 °C na temperatura do ar reduziu a fotossíntese dos genótipos GN3, GN8, GN 18 e GN19 (Tabela 4 a seguir).

**Tabela 4.** Parâmetros fisiológicos de diferentes genótipos de feijão-caupi, submetidos a dois regimes de temperaturas (T1: 20-26-33 °C e T2: 24,8-33,8-37,8 °C).

		<b>Genótipos</b>				
		<b>Condutância Estomática (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)</b>				
<b>Regimes de Temperatura °C</b>		GN1	GN2	GN3	GN4	GN5
	<b>20-26-33 e 24.8-30.8-37.8</b>		0.069aA	0.068aA	0.072aA	0.066aA
		0.064aB	0.056bC	0.065aB	0.054aC	0.053bC
		GN6	GN7	GN8	GN9	GN10
		0.052aB	0.054aB	0.050aB	0.066aA	0.070aA
		0.050aC	0.051aC	0.044aC	0.045bC	0.080aA
		GN11	GN12	GN13	GN14	GN15
		0.063aA	0.062aA	0.062aA	0.064aA	0.062aA
		0.066aB	0.070aB	0.058aC	0.056aC	0.061aB
		GN16	GN17	GN18	GN19	GN20
		0.063aA	0.056aB	0.082aA	0.045bB	0.065aA
	0.058aC	0.064aB	0.061bB	0.064aB	0.060aB	
		<b>Fotossíntese A (micromol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)</b>				
<b>Regimes de Temperatura °C</b>		GN1	GN2	GN3	GN4	GN5
	<b>20-26-33 e 24.8-30.8-37.8</b>		20.46aA	17.86bB	16.27aB	13.59aC
		20.60aA	20.41aA	10.78bB	11.61aB	10.44aB
		GN6	GN7	GN8	GN9	GN10
		18.32bB	11.31aD	14.74aC	11.91aD	10.24aD
		20.59aA	12.60aB	11.21bB	11.20aB	10.29aB
		GN11	GN12	GN13	GN14	GN15
		19.26aA	18.16aB	20.45aA	19.77aA	18.62aB
		19.81aA	19.67aA	19.93aA	20.15aA	20.21aA
		GN16	GN17	GN18	GN19	GN20
		12.70aD	18.41aB	15.05aC	11.88aD	20.02aA
	10.72aB	20.14aA	8.52bC	8.07bC	19.93aA	
		<b>Transpiração Foliar E (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)</b>				
<b>Regimes de Temperatura °C</b>		GN1	GN2	GN3	GN4	GN5
	<b>20-26-33 e 24.8-30.8-37.8</b>		2.33aA	2.14aA	2.57aA	2.35aA
		2.32aB	2.29aB	1.49bC	1.54bC	1.57bC
		GN6	GN7	GN8	GN9	GN10
		2.16aA	1.73aB	1.52aC	1.94aB	2.06bA
		2.34aB	1.62aC	1.51aC	1.58aC	2.83aA
		GN11	GN12	GN13	GN14	GN15
		2.18aA	2.22aA	2.21aA	2.27aA	2.24aA
		2.25aB	2.26aB	2.31aB	2.23aB	2.29aB
		GN16	GN17	GN18	GN19	GN20
		1.87aB	2.17aA	2.31aA	1.33aC	2.18aA
	2.11aB	2.29aB	2.18aB	2.28aB	2.34aB	

Temperatura Foliar					
Regimes de Temperatura °C	GN1	GN2	GN3	GN4	GN5
	33.17aB	33.04bB	34.71aA	34.17aA	33.86aB
20-26-33 e 24.8-30.8-37.8	33.96aC	37.48aA	30.71bD	33.12aC	33.63aC
	GN6	GN7	GN8	GN9	GN10
	35.18bA	33.55aB	33.20bB	33.04bB	33.14bB
	37.67aA	34.10aC	35.05aB	35.39aB	35.71aB
	GN11	GN12	GN13	GN14	GN15
	33.66bB	33.81aB	33.64bB	33.37bB	33.94bB
	35.29aB	33.62aC	35.71aB	36.44aA	35.18aB
	GN16	GN17	GN18	GN19	GN20
	33.20bB	34.91aA	33.01bB	33.32bB	33.15bB
	35.76aB	34.65aB	35.64aB	35.63aB	35.99aB
Teor de Clorofila					
Regimes de Temperatura °C	GN1	GN2	GN3	GN4	GN5
	54.70aB	53.47aB	27.23aE	24.18bE	25.11aE
20-26-33 e 24.8-30.8-37.8	58.40aA	49.32aB	28.18aD	30.98aC	27.83aD
	GN6	GN7	GN8	GN9	GN10
	46.86aC	24.85aE	25.58aE	22.38aE	26.18aE
	49.37aB	28.71aD	15.78bE	28.25aD	26.93aD
	GN11	GN12	GN13	GN14	GN15
	54.00aB	55.55aB	45.87bC	53.55aB	55.45aB
	55.42aA	53.90aB	51.49aB	53.06aB	51.95aB
	GN16	GN17	GN18	GN19	GN20
	33.45aD	61.85aA	35.30aD	28.30aE	55.12aB
	31.86aC	58.25aA	34.91aC	33.81aC	59.22aA

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

\*Letras minúscula para temperatura e maiúscula para genótipos. **GN1**: BRS Inhumá; **GN2**: Bico de ouro 17-10; **GN3**: E.INT2; **GN4**: E.INT3; **GN5**: E.INT 4; **GN6**: Bico de ouro 17-44; **GN7**: E.INT 14; **GN8**: E.INT15; **GN9**: E.INT 16; **GN10**: E.INT17; **GN11**: Pingo de ouro 17-72; **GN12**: BRS Guariba; **GN13**: Pingo de ouro 17-82; **GN14**: E.INT 32; **GN15**: MNC01; **GN16**: MNC00; **GN17**: BRS Imponente; **GN18**: MNC06; **GN19**: MNC09; **GN20**: BRS Paraguaçu.

O Aumento da temperatura também teve impacto na transpiração foliar, reduzindo a taxa de transpiração dos genótipos GN3, GN4 e GN5. Embora o aumento de 4,8 °C na temperatura do ar não tenha reduzido a transpiração da maioria dos genótipos, observou-se um aumento da temperatura foliar dos genótipos GN2, GN6, GN8, GN9, GN10, GN11, GN13, GN14, GN15, GN16, GN18, GN19 e GN20, em função do estresse térmico (Tabela 4).

Para o teor de clorofila, apenas o genótipo G8 apresentou uma redução em função do aumento da temperatura, o que contribuiu para queda da taxa fotossintética da planta (Tabela 4).

Os resultados fisiológicos indicam que os genótipos mencionados acima são sensíveis ao aumento da temperatura e que poderão ser afetados negativamente em um cenário de mudanças climáticas. Neste contexto, sua seleção não será interessante para os programas de pré-melhoramento genético, uma vez que o estresse térmico é um dos principais estresses abióticos que limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois altera as respostas fisiológicas das culturas

(Djanaguiraman *et al.*, 2018). Sob o efeito de temperaturas elevadas, as plantas têm sua taxa fotossintética afetada, devido a redução da abertura estomática e transpiração, favorecendo assim o aumento da temperatura foliar (Habermann *et al.*, 2020). Cerca de 90% da água que as plantas absorvem é utilizada para regular a temperatura através da transpiração (Taiz *et al.*, 2017). Desta forma, com a diminuição da condutância estomática, a transpiração é reduzida e, conseqüentemente, há um aumento na temperatura foliar, podendo ocasionar a queda na produtividade das plantas (Perdomo *et al.*, 2015).

O teor de clorofila também é afetado pelo aumento da temperatura, reduzindo capacidade que a planta tem de realizar a fotossíntese, influenciando no seu crescimento, desenvolvimento, produtividade e adaptação a diferentes ambientes (Serres *et al.*, 2018).

No entanto, a sensibilidade das plantas ao aumento da temperatura varia de acordo com o genótipo (Barnabás *et al.*, 2008), como foi observado nos resultados desta pesquisa (Tabela 4). Em trabalhos realizados por Barros *et al.* (2021), os autores observaram que as respostas fisiológicas do feijão-caupi diferiam em função da temperatura e da cultivar analisada, onde a atividade fotossintética das cultivares BRS Carijó, Itaim, Pujante e Tapahium não foi afetada pela alta temperatura, enquanto a cultivar Rouxinol apresentou menor atividade fotossintética em plantas mantidas sob estresse térmico. Evidenciando como o impacto da resposta fisiológica pode afetar a produtividade de diferentes cultivares, que apesar de pertencerem a mesma espécie, respondem de forma distinta ao ambiente, sendo um parâmetro importante para a seleção de genótipos tolerantes ao estresse térmico.

No geral, os genótipos GN1, GN7, GN12 e GN17 não apresentaram diferenças significativas nas respostas fisiológicas analisadas frente ao aumento da temperatura do ar (Tabela 4). De acordo com Sehgal *et al.* (2018), as plantas podem apresentar mecanismos eficazes de termotolerância por meio da adaptação das folhas às temperaturas elevadas, que permite a regulação da temperatura foliar pela transpiração durante o período com alta temperatura (Koevosts *et al.*, 2016). Além disso, o mecanismo de defesa antioxidante, alterações na composição lipídica da membrana, transporte de íons, osmoprotetores, sequestro de radicais livres e aumento de proteína estão correlacionados com a termotolerância em plantas (Wahid *et al.*, 2007), sendo mecanismos essenciais para neutralizar os efeitos do estresse térmico nas plantas (WANG *et al.* 2004). Recentemente foi identificado a indução dos genes *P5CR* e *TPs6* em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes estresses abióticos (Barros *et al.*, 2024)

Para os parâmetros produtivos, observa-se que as variáveis: número de vagens, peso da vagem, número de sementes e peso de 100 sementes apresentaram efeito significativo da interação temperatura x genótipo. O efeito isolado da temperatura e dos genótipos foi observada para o peso de sementes (Tabela 5 a seguir).

**Tabela 5.** Resumo análise de variância, pelo quadrado médio, referente aos valores de número de vagem (NV), peso da vagem (PV), número de sementes (NS), peso de sementes (PS), e peso de 100 grãos de diferentes genótipos de feijão-caupi, submetidos a dois regimes de temperaturas (T1: 20-26-33 °C e T2: 24,8-30,8-37,8 °C).

Fonte de variação	QM					
	GL	NV	PV	NS	PS	Peso de 100 sementes
Temperatura (T)	1	6.20ns	397.01**	8755.93**	216.48**	130.30*
Genótipo (GN)	2	48.75**	175.75**	2030.41**	112.23**	210.19**
TxGN	2	6.55*	39.44**	509.45**	10.37ns	76.01**
Resíduo	18	3.84	12.43	144.99	8.23	29.40
CV %		28.22	23.37	22.82	24.85	23.81

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

GL= Grau de liberdade; CV= Coeficiente de variação; ns= Não significativo; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

A resposta produtiva dos genótipos de feijão-caupi analisados também diferiram frente ao aumento da temperatura (Tabela 6). Apenas o genótipo GN8 apresentou redução de 52% no número de vagens em função do estresse térmico. Essa redução pode ser explicada em respostas à queda na taxa fotossintética, no teor de clorofila e o aumento da temperatura foliar (Tabela 4).

Para o peso das vagens, observa-se uma redução de 36, 54, 23, 22, e 34% dos genótipos GN3, GN9, GN13, GN17 e GN20, respectivamente, devido ao incremento de 4,8 °C na temperatura do ar (Tabela 6). O estresse térmico também resultou na queda de 39, 35, 53, 58, 44, 21 e 42% do número de vagens dos genótipos GN2, GN5, GN8, GN9, GN12, GN14 e GN20, respectivamente, o que contribuiu para a redução do peso das vagens desses genótipos (Tabela 6). Já o genótipo GN11 apresentou um aumento de aproximadamente 40% no número de sementes em temperaturas mais altas, contribuindo para o aumento do peso das vagens, como pode ser observado na tabela 6.

Os genótipos G11 e G15 apresentaram redução em 41 e 24% no peso de 100 sementes, respectivamente, frente ao aumento da temperatura. Já o genótipo GN1 apresentou maior peso de 100 sementes quando mantido em temperatura de 24,8-30,8-37,8 °C, com um aumento de 36% (Tabela 6). Isso pode ser explicado pelo fato de o estresse térmico não ter afetado negativamente os parâmetros fisiológicos do genótipo GN1 (Tabela 4). Para os demais genótipos não houve diferença estatística quando comparado os regimes de temperatura (Tabela 6).

**Tabela 6.** Parâmetros produtivos de diferentes genótipos de feijão-caupi, submetidos a dois regimes de temperaturas (T1: 20-26-33 °C e T2: 24,8-33,8-37,8 °C).

<b>Genótipos</b>					
<b>Número de vagem</b>					
<b>Regimes de Temperatura °C</b>	<b>GN1</b>	<b>GN2</b>	<b>GN3</b>	<b>GN4</b>	<b>GN5</b>
<b>20-26-33 e 24.8-30.8-37.8</b>	4.50aD	7.25aC	5.25aD	5.25aD	6.50aC
	4.25aC	7.25aC	6.25aC	5.75aC	5.25aC
	<b>GN6</b>	<b>GN7</b>	<b>GN8</b>	<b>GN9</b>	<b>GN10</b>
	10.50aB	7.00aC	10.50aB	7.50aC	6.00aC
	11.00aA	5.50aC	5.00bC	4.75aC	5.25aC
	<b>GN11</b>	<b>GN12</b>	<b>GN13</b>	<b>GN14</b>	<b>GN15</b>
	7.50aC	10.65aB	10.00aB	8.50aB	4.00aD
	8.50aB	9.25aB	10.25aB	6.75aC	5.75aC
	<b>GN16</b>	<b>GN17</b>	<b>GN18</b>	<b>GN19</b>	<b>GN20</b>
	3.75aD	14.33aA	3.25aD	5.00aD	7.50aC
4.00aC	12.60aA	5.50aC	3.25aC	6.50aC	
<b>Peso de Vagens</b>					
<b>Regimes de Temperatura °C</b>	<b>GN1</b>	<b>GN2</b>	<b>GN3</b>	<b>GN4</b>	<b>GN5</b>
<b>20-26-33 e 24.8-30.8-37.8</b>	15.45aC	18.40aB	19.02aB	11.97aC	14.32aC
	17.22aB	14.92aB	12.07bC	11.92aC	10.05aC
	<b>GN6</b>	<b>GN7</b>	<b>GN8</b>	<b>GN9</b>	<b>GN10</b>
	27.30aA	15.75aC	19.77aB	15.45aC	12.70aC
	22.40aA	10.77aC	19.77aD	7.12bD	11.65aC
	<b>GN11</b>	<b>GN12</b>	<b>GN13</b>	<b>GN14</b>	<b>GN15</b>
	13.52bC	19.75aB	23.77aA	23.42aA	16.45aC
	22.12aA	14.85aB	18.22bB	18.55aB	18.52aB
	<b>GN16</b>	<b>GN17</b>	<b>GN18</b>	<b>GN19</b>	<b>GN20</b>
	9.72aD	23.13aA	5.95aD	10.72aD	18.67aB
7.55aD	17.82bB	6.11aD	7.05aD	12.2bC	
<b>Número de Sementes</b>					
<b>Regimes de Temperatura °C</b>	<b>GN1</b>	<b>GN2</b>	<b>GN3</b>	<b>GN4</b>	<b>GN5</b>
<b>20-26-33 e 24.8-30.8-37.8</b>	51.75aC	83.00aB	64.75aC	43.25aD	52.50aC
	37.25aB	50.50bB	51.00aB	38.25aB	34.00bC
	<b>GN6</b>	<b>GN7</b>	<b>GN8</b>	<b>GN9</b>	<b>GN10</b>
	86.25aB	47.50aD	65.50aC	57.75aC	58.25aC
	74.00aA	40.50aB	30.50bC	24.25bC	41.75aB
	<b>GN11</b>	<b>GN12</b>	<b>GN13</b>	<b>GN14</b>	<b>GN15</b>
	47.00bD	77.50aB	77.25aB	101.25aA	44.25aD
	78.00aA	43.25bB	60.25aA	80.25bA	49.25aB
	<b>GN16</b>	<b>GN17</b>	<b>GN18</b>	<b>GN19</b>	<b>GN20</b>
	46.25aD	56.66aC	24.50aD	39.00aD	80.00aB
38.75aB	41.20aB	27.75aC	23.50aC	46.00bB	

## Peso 100 sementes

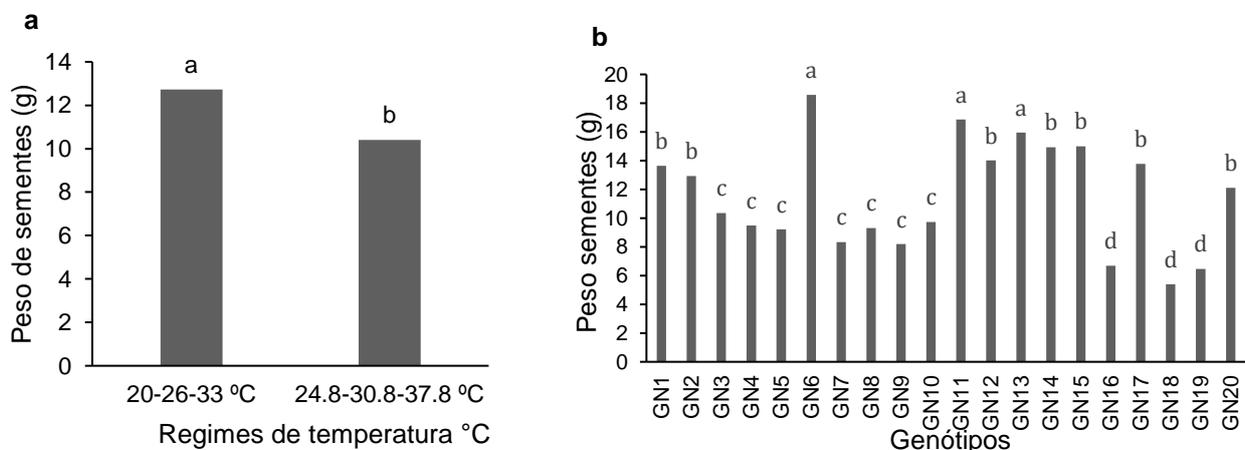
Regimes de Temperatura °C	GN1	GN2	GN3	GN4	GN5
	25.09bB	17.76aB	17.98aB	23.97aB	20.89aB
39.46aA	22.39aC	17.85aC	23.36aC	22.06aC	
	GN6	GN7	GN8	GN9	GN10
	24.34aB	17.86aB	18.66aB	19.36aB	18.51aB
	22.06aC	20.45aC	22.16aC	21.30aC	21.24aC
20-26-33 e 24.8-30.8-37.8	GN11	GN12	GN13	GN14	GN15
	37.60aA	20.61aB	23.51aB	15.97aB	37.99aA
	22.28bC	28.29aB	22.95aC	17.06aC	28.78bB
	GN16	GN17	GN18	GN19	GN20
	16.31aB	26.69aB	18.26aB	18.41aB	18.60aB
	14.95aC	33.91aA	25.64aC	24.29aC	20.19aC

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

\*Letras minúscula para temperatura e maiúscula para genótipos. **GN1**: BRS Inhumá; **GN2**: Bico de ouro 17-10; **GN3**: E.INT2; **GN4**:E.INT3; **GN5**: E.INT 4; **GN6**: Bico de ouro 17-44; **GN7**: E.INT 14; **GN8**: E.INT15; **GN9**: E.INT 16; **GN10**: E.INT17; **GN11**: Pingo de ouro 17-72; **GN12**: BRS Guariba; **GN13**: Pingo de ouro 17-82; **GN14**: E.INT 32; **GN15**: MNC01; **GN16**: MNC00; **GN17**: BRS Imponente; **GN18**: MNC06; **GN19**: MNC09; **GN20**: BRS Paraguaçu.

Quanto ao peso das sementes, observa-se que o aumento da temperatura reduziu a produção do feijão-caupi (Figura 4a). Ao comparar os genótipos, nota-se que o GN6, GN11 e GN13 apresentaram maior produção em relação aos demais (Figura 4b).

**Figura 4.** Peso de sementes (g) em função da temperatura (a) e peso de sementes (g) em função dos diferentes genótipos de feijão-caupi (b). **GN1**: BRS Inhumá; **GN2**: Bico de ouro 17-10; **GN3**: E.INT2; **GN4**:E.INT3; **GN5**: E.INT 4; **GN6**: Bico de ouro 17-44; **GN7**: E.INT 14; **GN8**: E.INT15; **GN9**: E.INT 16; **GN10**: E.INT17; **GN11**: Pingo de ouro 17-72; **GN12**: BRS Guariba; **GN13**: Pingo de ouro 17-82; **GN14**: E.INT 32; **GN15**: MNC01; **GN16**: MNC00; **GN17**: BRS Imponente; **GN18**: MNC06; **GN19**: MNC09; **GN20**: BRS Paraguaçu.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O crescimento e o desenvolvimento das plantas dependem da temperatura, sendo que cada espécie possui uma faixa específica, representada por um valor mínimo, um máximo e um ótimo (Hatfield e Prueger, 2015).

O feijão-caupi se desenvolve em uma faixa ampla de temperatura, entre 18 e 37 °C (Vale *et al.* 2017). Contudo, o ponto ótimo da temperatura varia com o estágio fenológico da planta (Bastos, *et al.* 2017). De acordo com Singh *et al.* (2010) a fase reprodutiva do feijão-caupi é mais sensível ao aumento da temperatura, resultando na perda de botões florais, vagens e produção de sementes (Singh *et al.*, 2010; Barros *et al.* 2021).

Estudos realizados mostraram que temperatura acima de 35 °C provoca o abortamento de flores, estimula a senescência das folhas, diminuindo a capacidade fotossintética, afetando assim, a produtividade das vagens e de sementes de feijão-caupi, pois esse aumento interfere em aspectos fisiológicos e bioquímicos das plantas (Zandalinas *et al.*, 2018). Isso porque o feijão-caupi, é bastante vulnerável às altas temperaturas, durante sua fase reprodutiva sendo que muitos de seus genótipos apresentam maior tolerância ao estresse térmico nas fases germinativas e vegetativas (Mohammed *et al.*, 2024).

A exposição de plantas às temperaturas elevadas durante a fase de enchimento de grãos, mesmo por um curto período, pode acelerar a senescência das folhas, reduzir o número e o peso das sementes, afetando o rendimento da colheita. Em resposta ao aumento da temperatura as plantas direcionam recursos para tolerar ao estresse, o que limita a fotossíntese, um processo essencial para o desenvolvimento reprodutivo (Hoffmann Junior *et al.*, 2007; Sita *et al.*, 2018). A queda na produção de sementes também está associada ao impacto da alta temperatura durante o período de floração. Em feijão-caupi, algumas cultivares expostas a temperaturas superior a 33 °C apresentaram baixa viabilidade dos grãos de pólen, influenciando diretamente na estrutura e retenção final da vagem, afetando também o número de sementes por vagem (BARROS *et al.*, 2024).

Assim, como as respostas fisiológicas (Tabela 4), os parâmetros produtivos também diferiram entre os genótipos analisados, em função da temperatura, esse resultado é de grande importância, pois irá contribuir na seleção de genótipos tolerantes, podendo reduzir as perdas devido às mudanças climáticas.

Com base nos parâmetros produtivos (número de vagens, número de sementes e peso de 100 sementes), os genótipos GN1, GN4, GN6, GN7, GN10, GN15, GN16, GN18 e GN19, não foram afetados negativamente pelo aumento da temperatura (Tabela 4). Porém ao relacionar o índice de produção e a eficiência do uso da água, os genótipos GN8, GN10, GN11, GN13, GN16, GN18, GN19 e GN20 nas condições de maior temperatura, apresentaram redução na eficiência do uso da água em 23,44%; 26,85%; 0,34%; 6,76%; 25,19%; 40,04%; 60,37% e 7,25%, respectivamente (Tabela 7).

**Tabela 7.** Valores em porcentagem de eficiência do uso da água (EUA) dos genótipos em função do aumento de 4,8 °C.

% EUA de genótipos de feijão-caupi em função do aumento de 4,8 °C.	
GN 1: 1,11	GN 11: -0,34
GN 2: 6,79	GN 12: 6,39
GN 3: 14,28	GN 13: -6,76
GN 4: 30,36	GN 14: 3,75
GN 5: 25,08	GN 15: 6,16
GN 6: 3,74	GN 16: -25,19
GN 7: 18,97	GN 17: 3,66
GN 8: -26,44	GN 18: -40,01

GN 9: 15,46  
GN 10: -26,85

GN 19: -60,37  
GN 20: -7,25

---

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Embora os genótipos GN10, GN16, GN18 e GN19 não terem a resposta produtiva afetada pelo aumento da temperatura do ar (Tabela 4), faz-se necessário uma disponibilidade hídrica maior para uma melhor eficiência no uso da água, o que pode comprometer a produção frente a escassez hídrica. Isso se dá, pois, o aumento da temperatura pode aumentar a demanda de água pela planta, causando maior evapotranspiração, afetando a disponibilidade hídrica (Bergamaschi e Bergonci, 2017). Assim, a eficiência do uso da água na planta é um indicador fisiológico importante para a garantia da produtividade e a sustentabilidade na produção (Moreno *et al.*, 2014).

Portanto, levando em consideração os parâmetros fisiológicos, o peso de 100 sementes e a eficiência do uso da água (Tabelas 4, 6 e 7), os genótipos GN1, GN7, GN12 e GN17, apresentaram-se como melhores genótipos quando submetidos ao estresse térmico (Tabelas 4, 6 e 7). A escolha de genótipos tolerantes pode conferir qualidade para os grãos, desempenho germinativo, vigor para as plântulas e, conseqüentemente em maior produtividade (Santos Neto *et al.*, 2009).

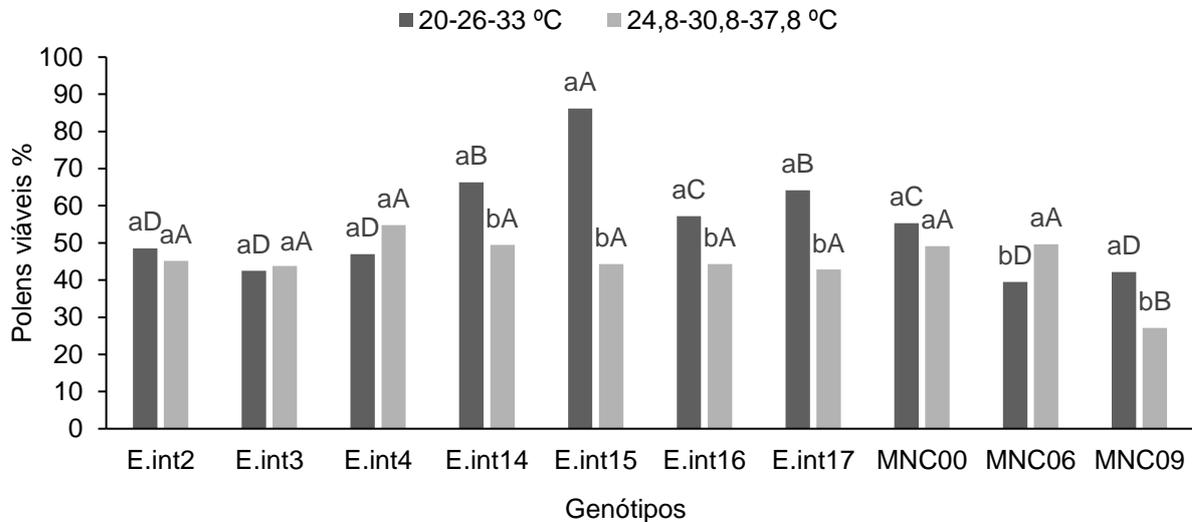
Barros *et al.* (2024) observaram que o aumento de 4,8 °C na temperatura média do ar reduziu a produção de cultivares comerciais de feijão-caupi, contudo, notou-se que cultivar BRS Gurguéia manteve maior produção, em função da sincronia das respostas fisiológicas e bioquímicas, sendo tolerante ao aumento de 4,8 °C.

Os resultados obtidos reforçam o potencial dos genótipos de feijão-caupi e trazem subsídios para o programa de melhoramento genético e trabalhos futuros na busca dos mecanismos moleculares de tolerância, contribuindo para o desenvolvimento de novas cultivares.

Além de causar impactos negativos na fisiologia, no crescimento e rendimento de grãos (Yuan *et al.*, 2017), temperaturas elevadas podem influenciar na redução da viabilidade polínica (Freire Filho *et al.*, 2005)

A porcentagem de pólenes viáveis apresentou efeito significativo da interação temperatura x genótipos (ver figura 5 a seguir).

**Figura 5.** Porcentagem de pólenes viáveis em genótipos de feijão-caupi. \*Letras minúscula para temperatura e maiúscula para genótipos. **GN3:** E.INT2; **GN4:**E.INT3; **GN5:** E.INT 4; **GN7:** E.INT 14; **GN8:** E.INT15; **GN9:** E.INT 16; **GN10:** E.INT17; **GN16:** MNC00; **GN18:** MNC06; **GN19:** MNC09.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Quanto à avaliação dos grãos de pólenes foi possível observar que o aumento de 4,8 °C na temperatura do ar reduziu a porcentagem de pólenes viáveis dos genótipos GN7, GN8, GN9, GN10 e GN19, destes, somente os genótipos GN7, GN10 e GN19 não tiveram sua produção afetada com o aumento de 4,8° C. O que caracteriza sucesso na polinização, pois a eficiência na transferência do pólen para o estigma da flor é crucial para a reprodução do vegetal (Pontes, 2017).

O genótipo GN18, teve maior porcentagem pólenes viáveis em condições de maior temperatura, o que contribuiu para que os parâmetros produtivos não apresentassem diferença significativa quando comparados aos cultivados em condições de menor temperatura (Tabela 6).

Já os genótipos GN3, GN4, GN5 e GN16 não apresentaram diferença em ambos os regimes de temperatura. Na temperatura de 20-26-33 °C, comparando os genótipos, observa-se que a maior porcentagem de pólenes viáveis foi no genótipo GN8 (Figura 5). Apesar de serem da mesma espécie, os genótipos respondem de forma distinta ao ambiente. Segundo Souza (2022), a viabilidade do pólen quando é superior a 70% é considerada alta, já entre 31 e 69% é vista como moderada e quando possui quantidade de pólenes viáveis inferior a 30% a sua viabilidade é considerada baixa.

Para a avaliação comercial dos grãos, observa-se alguns genótipos possuem características que são exigidas pelo mercado, como cor branca, tamanho do hilo pequeno e formato arredondado (Tabela 10). Vale ressaltar que as exigências comerciais dependem de cada região e da relação do mercado produtor com o mercado consumidor (Freire Filho, 2011).

**Tabela 10.** Avaliação comercial do feijão-caupi nos regimes de temperatura 20-26-33 °C e 24,8-30,8-37,8 °C.

20-26-33 °C						
Genótipo	Forma	Cor	tamanho Hilo	Cor anel Hilo	Classe	Sub Classe
GN1	arredondada	mulato	pequeno	marrom	cores	mulato liso
GN2	ovalada	mulato	pequeno	verde	cores	mulato rugoso
GN3	ovalada	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN4	elíptica	mulato	grande	verde	cores	mulato liso
GN5	elíptica	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN6	ovalada	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN7	elíptica	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN8	ovalada	mulato	pequeno	verde	cores	mulato lisa
GN9	elíptica	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN10	elíptica	mulato	pequeno	verde	cores	mulato liso
GN11	ovalada	mulato	médio	verde	cores	mulato rugoso
GN12	elíptica	Branco	grande	marrom	branco	olho-marrom
GN13	ovalada	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN14	ovalada	mulato	pequeno	verde	cores	mulato liso
GN15	elíptica	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN16	ovalada	verde	grande	marrom	cores	sempre-verde
GN17	elíptica	branco	médio	verde	branco	olho-marrom
GN18	elíptica	branca	grande	preto	branca	fradinho
GN19	ovalada	preto	médio	preto ou sem anel	preto	preto fosco
GN20	ovalada	branco	médio	marrom	branco	olho-marrom
24,8-30,8-37,8 °C						
	Forma	Cor	tamanho Hilo	Cor anel Hilo	Classe	Sub Classe
GN1	arredondada	mulato	pequeno	marrom	cores	mulato liso
GN2	elíptica	mulato	pequeno	verde	cores	mulato liso
GN3	ovalada	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN4	elíptica	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN5	elíptica	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN6	ovalada	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN7	elíptica	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN8	ovalada	mulato	pequeno	verde	cores	mulato liso
GN9	elíptica	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN10	ovalada	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN11	ovalada	mulato	médio	verde	cores	mulato rugoso
GN12	elíptica	Branco	grande	marrom	branco	olho-marrom
GN13	ovalada	mulato	médio	verde	cores	mulato liso
GN14	ovalada	mulato	pequeno	verde	cores	mulato liso
GN15	elíptica	mulato	médio	verde	cores	mulato liso

GN16	ovalada	verde	grande	marrom	cores	sempre verde
GN17	elíptica	branco	grande	verde	branco	olho-marrom
GN18	elíptica	branco	grande	preto	branco	fradinho
GN19	ovalada	preto	médio	preto ou sem anel	preto	preto fosco
GN20	ovalada	branco	médio	marrom	branco	olho-marrom

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Não houve diferença nos grãos em função da temperatura para a maioria dos genótipos avaliados, exceto para os genótipos GN10, que quando submetida ao estresse térmico, apresentou diferença em sua forma, com formato ovalado.

Já a Bico de ouro GN2, quando submetida às condições de maior temperatura, apresentou não só diferença na forma como também na subclasse do grão (Tabela 10). Todas as variações atendem ao que é exigido pelo mercado, sendo os grãos de cor branca apresentam maior destaque, devido ao seu alto valor comercial. A cultura do feijão-caupi possui uma ampla variação de cores, tamanho e formas, essa variabilidade é importante pois favorece o desenvolvimento de novas cultivares, que por meio dos programas de melhoramento, proporciona uma produção mais estável e tolerantes aos estresses, com o surgimento de características gênicas favoráveis, atendendo assim às necessidades do mercado (Onofre, 2008).

Os resultados obtidos reforçam o potencial dos genótipos de feijão-caupi e trazem subsídios a trabalhos futuros. Além disso, esses genótipos poderão ser indicados para regiões que apresentem temperaturas elevadas, como o Semiárido. Diante do desempenho apresentado em um ambiente com altas temperaturas, esses genótipos também poderão ser indicados para programas de melhoramento, no aprofundamento dos mecanismos de tolerância dessas plantas, contribuindo para o desenvolvimento de novas cultivares. Para fornecer dados ainda mais precisos e relevantes, esta pesquisa pode ter como próximo passo a sua aplicação em campo, pois estaria em condições mais próximas do ambiente natural, permitindo assim observar como o feijão-caupi responde em condições reais de cultivo.

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos revelam respostas distintas entre os genótipos de feijão-caupi frente ao aumento da temperatura do ar. Em função das respostas fisiológicas e produtivas, os genótipos GN1, GN7, GN12 e GN17 apresentaram tolerância ao aumento de 4,8 °C.

Quanto a viabilidade polínica os genótipos GN3, GN4 e GN16 apresentaram tolerância, pois quando submetido a condição de maior temperatura, sua porcentagem de grãos polínicos viáveis não apresentou diferença significativa das cultivadas em condição de menor temperatura, não ocasionando redução em sua produção. O genótipo GN18 também demonstrou ser tolerante, pois teve maior destaque pela maior viabilidade polínica nas condições de maior temperatura, e sua produção não foi afetada.

## REFERÊNCIAS

BACCI, M. L. **A Concise History of World Population**. West Sussex: John Wiley & Sons, 2017.

BARNABÁS, B; JÄGER, K; FEHÉR, A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. **Plant, Cell & Environment**, v. 31, p. 11-38, 2008.

BARROS, J. R. A., GUIMARAES, M. J. M., SILVA, R. M. E., RÊGO, M. T. C., DE MELO, N. F., DE MELO CHAVES, A. R., & ANGELOTTI, F. Selection of cowpea cultivars for high temperature tolerance: physiological, biochemical and yield aspects. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 27, p. 29-38, 2021.

BARROS, J.R.A.; SANTOS, T.C.; SILVA, E.G.F.; SILVA, W.O.; GUIMARÃES, M.J.M.; ANGELOTTI, F. Pollen Viability, and the Photosynthetic and Enzymatic Responses of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., Fabaceae) in the Face of Rising Air Temperature: A Problem for Food Safety. **Agronomy**, v. 14, p. 463-478, 2024.

BASTOS, E. A. (Ed.). **Cultivo de feijão-caupi**. 2. ed. Embrapa, 2017. Versão eletrônica.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: Princípios e aplicações**. Agrolivros, Guaíba, 2017, 352 p.

CAVALCANTI, F. J. A. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco. **IPA**, p. 212. 2008.

DESRAVINES, R. P., BEZERRA NETO, F., LIMA, J. S. S., SANTOS, E. C., GUERRA, N. M., LINO, V. A. S. Optimized production of immature cowpea under green manuring in a semi-arid environment. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 606 – 617, 2022.

DJANAGUIRAMAN, M. Quantifying pearl millet response to high temperature stress: thresholds, sensitive stages, genetic variability and relative sensitivity of pollen and pistil. **Plant, Cell & Environment**, v. 41, p. 993-1007, 2018.

DUTRA. A.T.B., SILVA.E.N., RODRIGUES. C.R.F., VIEIRA.S.A., ARAGÃO. R.M., SILVEIRA. J.A.G. Temperaturas elevadas afetam a distribuição de íons em plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15. p. 403–409, 2011.

FREIRE FILHO, F.R; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. **Embrapa Informações Tecnológicas**, p. 519, 2005.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, Q.R.; ROCHA, M.M.; SILVA, K.J.D.; NOGUEIRA, M.S.R.; RODRIGUES, E.V. Feijão-caupi no brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios. **Embrapa Meio-Norte**, v.1, p.43, 2011.

FREIRE FILHO, F.R.; XAVIER, G. R.; S, L. M. V.; RUMJANEK, N. G.; Variabilidade genética em acessos de caupi analisada por meio de marcadores RAPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p.353-359, 2005.

HABERMANN, E.; CONTIN, D.R.; VICIEDO, D.O.; BARRETO, R.F.; MORAES, M.A.; OLIVEIRA, E.A.D.; MARTINEZ, C.A. Efeito das Mudanças Climáticas em Plantas Cultivadas e Nativas: Atual Estado das Pesquisas Brasileiras. **Avanços e atualidades na botânica brasileira**. Editora Stricto se, p. 109-124, 2020.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, v. 10, p.4-10, 2015.

HOFFMANN JUNIOR, L.; RIBEIRO, N. D.; ROSA, S. S.; JOST, E.; POERSCH, N. L.; MEDEIROS, S. L. P. Resposta de cultivares de feijão à alta temperatura do ar no período reprodutivo. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1543-1548, 2007.

IPCC. Summary for Policymakers. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Masson-Delmotte, V., Ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2021; p. 42.

JHA, U.C.; NAYYAR, H.; JHA, R.; PAUL, P.J.; SIDDIQUE, K.H.M. Heat Stress and Cowpea: Genetics, Breeding and Modern Tools for Improving Genetic Gains. **Plant Physiol. Rep.** 2020, 25, 645–653.

KEARNS, C. A.; INOUE, D. W. *Techniques for pollination biologists*. University Press of Colorado, 1993.

KOEVOSTS. I.T.; VENEMA, J.H.; ELZENGA, J.T.M.; TESTERINK C. Roots withstanding their environment: Exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance. *Frontiers in Plant Science*, v. 7; p. 1-19, 2016.

LONG. S. P.; MARSHALL-COLON, A.; ZHU, X. G. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. **Cell**, v. 161, p.56-66, 2015.

MELO, A.S.; SILVA, A.R.F.; DUTRA, A.F.; DUTRA,W.F.; BRITO, M.E.B.; SILVA, F.V. Photosynthetic efficiency and production of cowpea cultivars under deficit irrigation. *Rev. Ambiente Água*, 2018, 13, 1–8.

MESQUITA, A. C., SILVA, K. E. D. S., MARTINS, L. M. V., CONCEIÇÃO, P. B., CARVALHO, R. N. Feijão caupi inoculado com bactérias associadas à adubação nitrogenada no metabolismo e crescimento da planta. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 66, p. 1-13, 2023.

MOHAMMED, S.B.; ONGOM, P.O.; TOGOLA, A.; BOUKAR, O. Enhancing Cowpea Tolerance to Elevated Temperature: Achievements, Challenges and Future Directions. **Agronomy**, v. 14, p. 513, 2024.

MORENO, R.S.; AGUILAR, A.R.; CRUZ, I.L..L. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. **Tecnología y ciencias del agua**, v. 5, n. 2, p. 177-183, 2014.

OLIVEIRA, M. G. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; WENDLAND, A.; GUIMARÃES, C. M.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. C. S.; LOBO JUNIOR M.; SILVEIRA, P. M. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, v. 2, p.59, 2018.

Omomowo, O.I., Babalola, O.O., 2021. Constraints and Prospects of Improving Cowpea Productivity to Ensure Food, Nutritional Security and Environmental Sustainability. **Frontiers in Plant Science** 12, 751731. doi: 10.3389/fpls.2021.751731"10.3389/fpls.2021.751731

ONOFRE, A. V. C.; ISEPPON, A. M. B. Diversidade genética e avaliação de genótipos de feijão-caupi contrastantes para resistência aos estresses bióticos e abióticos com marcadores SSR, DAF e ISSR. **Repositório UFPE**, p. 13, 2008.

PONTES, C. A. S. Interferência de pólen exógeno em um sistema de polinização especializado: o caso de jacaranda rugosa A. H. Gentry (Bignoniaceae). **Repositório UFPE**, p. 14, 2017.

PERDOMO, J. A.; CONESA, M. À.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBÓ, M.; GALMÉS, J. Effects of long-term individual and combined water and temperature stress on the growth of rice, wheat and maize: relationship with morphological and physiological acclimation. *Physiology Plant*, v.155, n.2, p. 149-165, 2015.

ROCHA, F. M. R. DA; MOUSINHO, S. F.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, S. M. DE S. E; BEZERRA, A. A. C. Aspectos da biologia floral do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) In: Reunião Nacional de Pesquisa de Caupi, 5., 2001, Teresina. Avanços tecnológicos no feijão caupi: anais. Embrapa Meio-Norte, v. 56, p. 27-29, 2001.

SANTOS, M. P. A., SANTOS, A.C., CHAN, G. A. H., DALCIN, M. S., ROCHAA, W.S., LEITE, O. C. Variabilidade espacial de características morfofisiológicas do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9. p. 369-376, 2021.

SANTOS NETO, A. L.; MEDEIROS FILHO S.; BLANK, A. F.; SANTOS, V. R.; ARAÚJO, E. Influência do peso da semente e promotores químicos na qualidade fisiológica de sementes de sambacaitá. **Revista Caatinga**, v. 22, p.187-192, 2009.

SEHGAL, A.; SITA, K.; SIDDIQUE, K.H.M.; KUMAR, R.; BHOGIREDDY, S.; VARSHNEY, R. K.; RAO, B. H.; NAIR, R. M.; PRASAD, P. V. V.; NAYYAR, H. Drought or/and Heat-Stress Effects on Seed Filling in Food Crops: Impacts on Functional Biochemistry, Seed Yields, and Nutritional Quality. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1705, 2018.

SERRES, J. B, PIERIK, R., RUBAN, A., WINGLER, A. The dynamic plant: capture, transformation, and management of energy. **Plant Physiology**, v. 176, p. 961-966, 2018.

SILVA, M. R., LUNA, I.R.G., CARTAXO, P. H. A., GONZAGA, K. S., ALVES, A. K. S., SANTOS, J.P.O., BULHÕES, PEREIRA, D. D., ARAÚJO, J. R. E. S. Variabilidade pluviométrica e seus efeitos na produção de feijão-caupi em um

município do semiárido paraibano. **Revista Thêma et Scientia**, v. 11, p. 256, 2021.

SINGH, S.K.; KAKANI, V.G.; SURABHI, G.K.; REDDY, K.R. Cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) genotypes response to multiple abiotic stresses. **Journal of Photochemistry and Photobiology Biology**, v. 100, p. 135-146, 2010.

SITA, K.; SEHGAL, A.; SIDDIQUE K.H.M.; KUMAR, R; BROGIREDDY, S; VAESHNEY R.K.; NAIR, R.M.; PRASAS P.V.V. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1705, 2018.

SOUZA, L. P.; SANTOS, C. E. R. S.; SIMÕES, A. N.; AVIZ, R. O.; SILVA, N. S. G.; FREITAS, A. D. S.; STAMFORD, N. P.; SILZA, V. S. G. Produtividade e indução de enzimas antioxidantes em Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) irrigado com água salina e Inoculado com Bradyrhizobium. **Research, Society and Development**, v. 11, p. 2, 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, v. 6, p. 83, 2017.

VALE, J.C.; BERTINI, C.; BORÉM, A., **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Editora UFV, p. 53-54, 2017.

WAHID, A., GELANI, S., ASHRAF, M., FOOLAD, M. R. Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, p. 199-223, 2007.

WANG, W., VINOCUR, B., SHOSEYOV, O., ALTMAN, A. Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. **Trends in plant science**, v. 9, n. 5, p. 244-252, 2004.

YUAN, L.; YUAN, Y.; LIU, S.; WANG, J.; ZHU, S.; CHEN, G.; HOU J.; WANG, C. Influence of high temperature on photosynthesis, antioxidative capacity of chloroplast, and carbon assimilation among heat-tolerant and heat-susceptible genotypes of nonheading Chinese cabbage. **HortScience**, v. 52, n. 11, p. 1464-1470, 2017.

ZANDALINAS S. I.; MITTLER R.; BALFAGÓN D.; ARBONA V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. **Physiologia Plantarum**, v. 162, p. 2-12, 2018.

## **5 IMPACTOS ESPERADOS DA PESQUISA NA SOCIEDADE**

As mudanças climáticas têm se manifestado de forma significativa nas últimas décadas, resultando em eventos extremos como ondas de calor, secas prolongadas e variações imprevisíveis nas condições meteorológicas. Estes fenômenos representam desafios consideráveis para a agricultura, ameaçando a segurança alimentar global. Neste contexto, a pesquisa sobre a seleção de genótipos de feijão-caupi adaptados às altas temperaturas, torna-se crucial para mitigar os impactos negativos sob a produção, principalmente nas regiões mais vulneráveis ao calor.

## REFERÊNCIAS

ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 34, p.56, 2020.

BARROS, J. R. A; GUIMARÃES, M. J. M; SILVA R. M; RÊGO, M. T. C; MELO, N. F; ANGELOTTI, F. Initial growth of cowpea cultivars with an increase of 4.8 °C in air temperature. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p. 20215-20225, 2021.

CAVALCANTE JUNIOR, E.G.; MEDEIROS, J.F.; FREITAS, I.A.S.; OLIVEIRA, A.K.S.; SOBRINHO, J.E.; SILVA, J.P.N.; SILVA, T.G.F. Necessidade hídrica da cultura do milho influenciada pelas mudanças climáticas no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, p. 251-262, 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, v.9, Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Nono levantamento, março 2022. safra 2021/2022. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento.

**CONAB**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.11, safra 2023/24, nº3, terceiro levantamento, 2023.

CRAUFURD, P. Q.; ELLIS, R.H.; SUMMERFIELD, R. J.; MENIN, L. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*) I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. **Experimental Agriculture**, v. 32, p. 1-12, 1996.

CUNHA, D. A; BRAGA, M. J. **Mudanças Climáticas e Convivência com o Semiárido Brasileiro**. UFV, IPPDS, 2022.

CUSTÓDIO, C.C.; VIVAN, M.R.; NUNES, R.C.A.; AGOSTINI, E.A.T. Tolerância cruzada induzida por choque térmico na germinação de semente de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p.131-143, 2009.

DINIZ, P. F. A; SILVA, G.C.; SILVA, N.A.; SOUZA, A. P. Doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares na cultura do feijão-caupi na Paraíba. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, p. 2, 2022.

ELLIS, R.H.; LAWER, R.J.; SUMMERFIELD, R.J.; ROBERTS, E.H.; CHAY, P.M.; BROUWER, J.B.; ROSE, J.L.; YEATES, S.J. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. III. Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Experimental Agriculture**, v. 30, p. 17-29, 1994.

ELWAFI, S. F. A; AMEIN, K. A. Genetic diversity and potential high temperature tolerance in barley (*Hordeum vulgare*). **World J. Agric. Res**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2016.

ENGINEER, C.; HASHIMOTO-SUGIMOTO, M.; NEGI, J.; ISRAELSSON-NORDSTROM, M.; AZOULAY-SHEMER, T.; RAPPEL, W-J.; IBA, K.; SCHROEDER, J. CO<sub>2</sub> sensing and CO<sub>2</sub> regulation of stomatal conductance: advances and open questions. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 1, p. 16-30, 2016.

FERREIRA, J.G.; PAIVA A.L.O.; MELO A.B. Representações dos retirantes das secas do semiárido nordestino. Sociedade e ambiente no Semiárido: controvérsias e abordagens. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 9-27, 2020.

FIGUEIREDO, F. R. A.; LOPES, M. F. Q.; SILVA, R. T.; NÓBREGA, J. S.; SILVA, T. I.; BRUNO, R. L. A. Respostas fisiológicas de Mulungu submetida a estresse salino e aplicação de ácido salicílico. **Irriga**, v. 24, n. 3, p. 662-675, 2019.

FIGUEIREDO, M. C. B. de; GONDIM, R. S.; ARAGÃO, F. A. S. de (Ed.). Produção de melão e mudanças climáticas: sistemas conservacionistas de cultivo para redução das pegadas de carbono e hídrica. *Mudanças climáticas e agricultura*, v. 2, p. 101-116, 2017.

GALMÉS, J.; RIBAS-CARBO, M.; MEDRANO, H.L.; FLEXAS, J. Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO<sub>2</sub> concentration under water stress. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.2, p. 653-665, 2011.

GONÇALVES, Z.S; LIMA, LKS. Desempenho agrônomo e diversidade genética de linhagens de feijão-caupi nas condições do Recôncavo da Bahia. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, p. 285-294, 2021.

GONÇALVES, F.V., Characterization of the development of cowpea cultivars and of the quantity and quality of proteins in their grains. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 5, p. 2, 2020.

HARA, F. A. DOS S.; VENDRUSCOLO, J.; INÁCIO, A. C. F.; CABRAL, R. F.; MOURA, R. P. M. Evalhration of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) cultivars in a lowland soil in the municipality of Autazes/AM. **Research, Society and Development**, v. 11, p. 2, 2022.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, v.10, p.4-10, 2015.  
IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Mudança do clima 2021: A base científica, Sumário Para Formuladores de Políticas, p 17, 2021.

KANWAL, S.; SHAHID, M.R.; NAZIR, W.; KHAN, M.U.; HUSSAIN, N.; BIBI, A.; FAROOQ, N.; TAJ MUHAMMAD, T.; RAMZAN, M.; Effect of heat stress on developmental stages, yield and fibre traits of cotton (*Gossypium hirsutum*). **Journal of Pure and Applied Agriculture**, v. 6, p. 86-93. 2021.

KATANO, K, HONDA, K, SUZUKI, N. Integration between ROS Regulatory Systems and Other Signals in the Regulation of Various Types of Heat Responses in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 11, p. 3370, 2018.

LIMA, M.G.C. GIRÃO, O. Considerações Teóricas sobre a Dinâmica Superficial em Ambientes Tropicais Áridos e Semiáridos: Aplicação ao Semiárido do Nordeste Brasileiro. **Espaço Aberto**, v. 10, p. 9-26, 2020.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change*, v. 129, p. 103- 115, 2015.

MARENGO, J.A., NOBRE, C. Mudanças Climáticas em Rede Um Olhar Interdisciplinar: Contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas, **Canal 6 Editora**, p.15-24, 2017.

MARENGO, J. A. VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de Clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 5-28, 2007.

MARENGO, J.A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil**. Parcerias estratégicas, v. 27, p.149, 2008.

MARTINEZ, C.A.; OLIVEIRA, E.A.D.; MELLO T.R.P.; MARIN, A.L.A., Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 32. 2015.

MOLION, L.C.B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 3, p. 9. 2008.

MUNIZ B.R.B.; XAVIER, J.A.; KANIESKI, M.R.; CAMPOS, C.G.C.; HENKES, J.A. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, p. 65-82, 2022.

NASCIMENTO, F. A. O. Efeito das mudanças climáticas sobre padrões de diversidade de plantas da Caatinga. 2021. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

NOBRE, P. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. **Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro**, p. 25-36, 2011.

OLIAS, C.; LAJÚS, C.R.; BELLÉ, L.A.; BUSNELLO, F.J.; SAUER, A.V.; OLIVEIRA, S.S.; LUZ, G.L.; CARLESSO, L.C. Nodulação, temperatura, índice spad e índice ndvi na soja manejada sob sistema de produção bioagrícola com e sem a utilização do pó de rochas. **Tecnologia e gestão da inovação em sistemas de produção sustentáveis**, v. 1, p. 28, 2023.

PRASAD P.V.V.; PISIPATI S.R.; MUTAVA R.N; TUINSTRA M.R.; Sensitivity of grain sorghum to high temperature stress reproductive developmen. **Crop Science**, v. 48, p. 1911-1917, 2008.

RAJA, M.M., VIJAYALAKSHMI, G., NAIK, M.L. Desenvolvimento e função do pólen sob estresse térmico: dos efeitos às respostas. **Acta Fisiol Planta**, p. 41-47, 2019.  
RAMALHO, M. F. DE J. L. A fragilidade ambiental do nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens. **Sociedade e Território**, v. 25, p. 104-115, 2013.

SANTOS, E.A.S.; ANDRADE, A.A.X.; CUNHA, D.A.; Mudanças climáticas e vulnerabilidade na agricultura familiar da região rio doce, Minas Gerais, Brasil. **Geosul**, v. 37, p. 229-251, 2022.

SANTOS, K. S. Estudo genético e aspectos reprodutivos em espécies do gênero *Physalis*. Tese (Doutorado Acadêmico em Recursos Genéticos Vegetais)- Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2018.

SANTOS, W.R.; SOUZA, L.S.B.; PACHECO, A.N.; JARDIM, A.M.R.F.; SILVA, T.G.F. Eficiência do Uso da Água para Espécies da Caatinga: uma Revisão Para o Período de 2009-2019. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, p. 2574, 2021.

SILVA A.C.; VASCONCELOS P.L.R.; MELO, L. D. F. A, SILVA, V. S. G., MELO JUNIOR, J.L.A., SANTANA M. B. Diagnóstico da produção de feijão-caupi no nordeste brasileiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, p. 2, 2018.

SILVA, M.B.O.; CARVALHO, A.J.; ROCHA, M.M.; BATISTA, P.S.C.; JÚNIOR, P.V.S.; OLIVEIRA, S.M., Desempenho agronômico de genótipos de feijão-caupi. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 1059-1066. 2018.

SILVA, W.C., Efeito da disponibilidade de água na germinação e no desenvolvimento inicial de plântulas de feijão-caupi. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 2985, 2013.

SITA, K.; SEHGAL, A.; HANUMANTHARAO, B.; NAIR, R.M.; PRASAD, P.V.V.; KUMAR, S.; NAYYAR, H. Food Legumes and Rising Temperatures: Effects, Adaptive Functional Mechanisms Specific to Reproductive Growth Stage and Strategies to Improve Heat Tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v.8, n.1, p.1-30, 2017.

SOUSA, M.I.F.; BARBOSA. J.J.; COSTA, C.T.F. Uma reflexão sobre mudanças climáticas, saúde e meio ambiente no semiárido nordestino. **Saúde Meio Ambiente**, v. 4, p. 61-77, 2015.

VALE, J.C.; BERTINI, C.; BORÉM, A., **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Editora UFV, p. 53-54, 2017.

XAVIER, D. A. Aspectos vegetativos, produtivos e fisiológicos de genótipos de feijão-caupi sob estresse salino. 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/28138>. Acesso em: 02 Mar. 2024.

Yuan, L., Yuan, Y., Liu, S., Wang, J., Zhu, S., Chen, G., Wang, C. Influence of high temperature on photosynthesis, antioxidative capacity of chloroplast, and carbon assimilation among heat-tolerant and heat-susceptible genotypes of nonheading Chinese cabbage. **HortScience**, v. 52, p. 1464-1470, 2017.

ZANELLA. M. E., Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, p.128, 2014.

ZANETTI, G. T. **Aspectos reprodutivos e diversidade genética de pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam. Urb., *Malvaceae*)** Portal unemat, 2020.

Disponível em: [http://portal.unemat.br/media/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20G%C3%A9ssica%20Tais%20Zanetti%20\(1\).pdf](http://portal.unemat.br/media/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20G%C3%A9ssica%20Tais%20Zanetti%20(1).pdf). Acesso em: 31 dez. 2023.