

**LEONARDO GODOY ANDROCIOLI**

**EFEITO ISOLADO DA ALTA TEMPERATURA NA REVERSÃO SEXUAL DE  
MAMONA (*Ricinus communis*. L)**

**Botucatu**

**2019**



**LEONARDO GODOY ANDROCIOLI**

**EFEITO ISOLADO DA ALTA TEMPERATURA NA REVERSÃO SEXUAL DE  
MAMONA (*Ricinus communis*. L)**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto

**Botucatu**

**2019**

A574e

Androcioli, Leonardo

Efeito isolado da alta temperatura na reversão sexual de mamona (*Ricinus communis*. L) / Leonardo Androcioli.

-- Botucatu, 2019

58 p. : tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu  
Orientador: Maurício Zanotto

1. Expressão sexual. 2. Reversão sexual. 3. Estresse por calor. 4. Câmara de crescimento. 5. Mamona. I.  
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


Título: "EFEITO ISOLADO DA ALTA TEMPERATURA NA REVERSÃO SEXUAL DE MAMONA (*Ricinus communis* L.)"

AUTOR: LEONARDO GODOY ANDROCIOLI  
ORIENTADOR: MAURÍCIO DUTRA ZANOTTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. MAURÍCIO DUTRA ZANOTTO  
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

  
Prof. Dr. SÉRGIO GONÇALVES DUTRA  
/ Instituto Mato-Grossense do Algodão

  
Prof. Dr. TIAGO ZOIZ  
/ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

  
Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA  
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

  
Pesquisador Dr. JOÃO PAULO TEIXEIRA WHITAKER  
Sementes, Mudas e Matrizes / CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral

Botucatu, 25 de março de 2019.



*À mulher da minha vida, Vickeline, pelo  
apoio incondicional em todos os momentos,  
compreensão e total confiança!*

*Sem você nenhuma conquista valeria a pena!*

*Dedico!*





## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Armando Androcioli Filho e Maria Elena Godoy Androcioli, meus irmãos Humberto Godoy Androcioli e Alexandre Godoy Androcioli, pelo apoio incondicional.

A minha querida esposa Vickeline Namba Androcioli, por toda motivação e ajuda durante todos os momentos.

Aos meus sogros Cláudio Massakatsu Namba e Maria Tiyoko Yamamoto Namba, Pela preocupação e apoio.

A Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP Botucatu, em especial ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal.

Ao Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto, pela total confiança nas minhas invenções, pela vontade de me ensinar o novo, sinceridade, companheirismo e acima de tudo amizade.

Aos funcionários do Departamento, com destaque para os colegas Eliane, Valéria e à equipe de melhoramento da mamona, Milton e Luiz.

Aos colegas da pós-graduação, que contribuíram com a elaboração e execução do trabalho.

Aos membros da banca, Dr. Sérgio G. Dutra, Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, Dr. Tiago Zoz e Dr. João Paulo T. Whitaker, pela aceitação do convite.

Ao Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), pela disponibilização das sementes.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

A todos que não citei, mas contribuíram direta ou indiretamente em minha formação.

**MUITO OBRIGADO**



“Nós não paramos de brincar porque envelhecemos,  
mas envelhecemos porque paramos de brincar”

Oliver Wendell Holmes



## RESUMO

O óleo da mamona (*Ricinus communis*) possui inúmeras aplicações na área industrial e na produção de biodiesel, demonstrando assim sua importância econômica. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de óleo de mamona com grande potencial para ser protagonista na produção de mamona, sendo a utilização de híbridos uma alternativa para tal fim, contudo existe dificuldade da obtenção devido às variações climáticas. Assim, o presente trabalho teve por objetivo a construção de uma câmara de crescimento, para simular diversas condições climáticas para auxiliar na seleção de plantas, além de utilizar essa câmara de crescimento para avaliar o efeito isolado da alta temperatura na reversão sexual da mamona. Para criação da câmara de crescimento foram utilizadas lâmpadas, ar condicionado, aquecedores e sensores; além de um Arduino Mega 2560 R3, que controla todo o sistema. Durante esse experimento, foram feitas avaliações quanto à intensidade luminosa requerida para o total desenvolvimento das plantas de mamona. Nessa mesma câmara de crescimento, foi realizado o experimento do efeito isolado da alta temperatura com relação à taxa de flores masculinas e femininas no híbrido FCA 2007-1 e na reversão sexual sobre as fêmeas MRZ 14. O delineamento experimental utilizado para avaliar a taxa de flores entre masculina e feminina do híbrido FCA 2007-1 foi de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas foram constituídas pelo número de dias após a emergência em que foi iniciado o estresse de alta temperatura (14, 21, 28 e 35 dias), e as subparcelas, pelo primeiro e segundo cacho. Já o delineamento experimental utilizado para avaliar o número flores masculinas nas plantas estritamente femininas MRZ 14, também foi blocos ao acaso, em parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas foram constituídas pelos dias após a emergência, que foi iniciado o estresse de alta temperatura (14, 21, 28 e 35 dias), e as subparcelas, pelos cachos até completar os 6 meses de estresse. Com os resultados obtidos pode-se assegurar que a intensidade luminosa de 35.000 lux ou  $493,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  é suficiente para o desenvolvimento completo das plantas iguais ao encontrado no campo. Isso demonstra que é possível a utilização da câmara de crescimento construída para simulação de ambientes controlados. Já quanto aos resultados da taxa de florescimento no híbrido FCA 2007-1, fica evidente que a taxa de flores masculinas e femininas não é modificada pelo estresse isolado por altas

temperaturas. O mesmo ocorre nas fêmeas MRZ 14, não causando reversão sexual independente do período avaliado. Esse resultado pode estar relacionado ao aumento na quantidade dos hormônios relacionados à indução de flores femininas, mantendo a feminilidade nas fêmeas MRZ 14 e nos híbridos FCA 2007-1, uma vez que há o aumento na quantidade dos hormônios como auxina, citocinina, giberelinas e etileno quando plantas são submetidas ao estresse por altas temperaturas.

**Palavras-chave:** Câmara de crescimento. Reversão sexual. Estresse por calor. Expressão sexual. Sistema reprodutivo.

## ABSTRACT

Castor oil (*Ricinus communis*) is present in many industrial applications and in the production of biodiesel, demonstrating its economic importance. Brazil is the fourth largest castor oil producer in the world with great potential to be a protagonist of castor bean, and the use of hybrids is an alternative for this purpose, however there is difficulty in obtaining it due to climatic variations. So, the aim of the present work was the construction of a growth chamber, in which it simulates various climatic conditions to aid in the selection of plants, besides using this growth chamber to evaluate the isolated effect of high temperature on the castor's sexual reversion. To create the growth chamber were used lamps, air conditioning, heaters and sensors; plus, an Arduino Mega 2560 R3, which controls the entire system. During this experiment, evaluations were made to know how much light intensity is required for the full development of castor bean plants. In this same growth chamber, the isolated high temperature effect experiment was performed in relation to male and female flowers rate in the FCA 2007-1 hybrid and in the sexual reversion on MRZ females 14. The experimental design used to evaluate the flower rate between male and female in the FCA 2007-1 hybrid was a randomized block design with split-plots with three replicates. The plots consisted of the days after the emergence of the plants, when the high temperature stress (14, 21, 28 and 35 days) was started, and the sub-plots, by the first and second bunch. The experimental design used to evaluate the number of male flowers in the strictly feminine plants MRZ 14 was also randomized blocks, in split-plots with three replicates. The plots were constituted by the days after the emergency, which was initiated the high temperature stress (14, 21, 28 and 35 days), and the sub-plots by the bunches until the 6 months of stress. With the results obtained we can assure that the luminous intensity of 35,000 lux or  $493,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  is sufficient for the complete development of the plants equal to the one found in the field. This demonstrates that it is possible to use the growth chamber built for simulation of controlled environments. Regarding the results of the flowering rate in the hybrid FCA 2007-1, it is evident that the rate of male and female flowers is not modified only by high temperatures stress. The same occurs in females MRZ 14, not causing sexual reversion independent of the period evaluated. This result may be possibly due to the increase in the amount of hormones related to the induction of female flowers, maintaining femininity in females MRZ 14 and in hybrids FCA 2007-1,

since there is an increase in the amount of hormones such as auxin, cytokinin, gibberellins and ethylene when plants are subjected to high temperature stress.

**Keywords:** Growth chamber. Sexual reversion. Heat stress. Sexual expression. Reproductive system.



## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....  | 17 |
| <b>CAPÍTULO 1 - CONSTRUÇÃO DE UMA CÂMARA DE CRESCIMENTO PARA SIMULAÇÃO DE AMBIENTES CONTROLADOS</b> .....              | 23 |
| 1.1 INTRODUÇÃO .....   | 27 |
| 1.2 MATERIAL E MÉTODOS .....   | 29 |
| 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 31 |
| 1.4 CONCLUSÃO.....   | 32 |
| REFERÊNCIAS.....   | 33 |
| <b>CAPÍTULO 2 - EFEITO ISOLADO DA ALTA TEMPERATURA NA REVERSÃO SEXUAL DE MAMONA (<i>Ricinus communis</i>. L)</b> ..... | 36 |
| 2.1 INTRODUÇÃO .....   | 40 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....   | 44 |
| 3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 47 |
| 2.4 CONCLUSÕES .....   | 50 |
| REFERÊNCIAS.....   | 51 |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....  | 55 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | 56 |



## INTRODUÇÃO GERAL

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma planta oleaginosa arbustiva e, no Brasil, também é denominada de carrapateira, palma-de-Cristo ou rícino. A cultura é originária do Nordeste da África, mais precisamente da Etiópia (HEMERLY, 1981; VEIGA; SAVY FILHO; BANZATTO, 1989; LORENZI, 2000; BELTRÃO et al., 2001; OLSNES, 2004; ALLAN et al., 2008).

Existem relatos do seu cultivo há mais de 4.000 anos para fins medicinais e também para a iluminação, com o óleo extraído das sementes de mamona (OPLINGER et al., 1997; OLSNES, 2004; ALLAN et al., 2008). A mamona foi trazida para o Brasil pelos portugueses, com a finalidade de utilizar seu óleo para a iluminação e a lubrificação de eixos de carroças (AZEVEDO e BELTRÃO, 2007). A adaptação da mamona em territórios brasileiros é plena, sendo encontrada em praticamente em todo o território nacional. Está oleaginosa apresenta grande variabilidade genética, a qual é expressa em suas características, como: cor das folhas, cor do caule, cor e teor de óleo das sementes, ciclo, presença de espinhos no fruto e deiscência de sementes (BORÉM, 2005).

A mamona cultivada corresponde a um arbusto, ou com menor frequência a uma árvore, podendo chegar a 10 metros. Seu caule é cilíndrico, espesso, podendo alcançar até 30 centímetros de diâmetro na base (RODRIGUES, 2002). As folhas são simples e alternas. Possui sistema radicular vigoroso, do tipo pivotante e profundo, o que possibilita explorar um maior volume de solo em busca de água e nutrientes, além de possibilitar o desenvolvimento das plantas em condições de deficiência hídrica (BORÉM, 2005; SAVY FILHO et al., 2007).

A mamona é uma espécie monóica, o que estruturalmente proporciona ao hábito reprodutivo misto, se propagando assim tanto por autofecundação como também por fecundação cruzada. Na inflorescência as flores femininas situam-se na parte superior e as masculinas na parte inferior da ráquis, sendo a proporção de flores femininas e masculinas, em condições normais, de 1/3 a 1/2 a depender da variedade, no entanto essa proporção é alterada por fatores ambientais, onde a deficiência hídrica e altas temperaturas induzem a maior formação de flores masculinas (BORÉM, 2005; BELTRÃO et al., 2007; SILVA et al., 2010).

A mamona necessita fotoperíodo de pelo menos 12 horas de luz para produzir satisfatoriamente, sendo considerada uma espécie heliófila, apesar de se adaptar a

diferentes “comprimentos de dia”, mas com reflexos negativos no crescimento e produtividade (WEISS, 1983; BELTRÃO et al., 2003).

O clima propício para a mamona é o quente, com estações bem definidas, chuvosa na fase inicial de crescimento e seca na época da maturação e colheita, sendo então classificada como cultura de clima tropical. Necessita de temperatura média do ar em torno de 25°C, variando entre 20°C e 30°C. É considerada tolerante à seca e não à salinidade (BELTRÃO e CARDOSO, 2006). Temperaturas superiores a 40°C provocam abortamento de flores, reversão sexual de flores femininas e masculinas e redução substancial do teor de óleo nas sementes (BELTRÃO et al., 2009).

A faixa ideal de precipitação para a mamona situa-se entre 750 mm e 1.500 mm, com um mínimo de 600 mm a 750 mm durante o ciclo cultural; de preferência, a época de plantio deve ser ajustada para que a planta receba de 400 mm a 500 mm até o início da floração (TÁVORA, 1982). A falta de água no solo, mesmo que na fase de maturação dos frutos, implica em sementes com baixo peso e teor de óleo (HEMERLY, 1981).

Em relação aos aspectos econômicos da mamona, nos últimos anos a produção foi de cerca de 1.9 milhões de toneladas e está concentrada em quatro países: Índia, Moçambique, China e Brasil, que respondem por cerca de 93% da produção mundial (FAO, 2016). O principal produto negociado no mercado internacional é o óleo de rícino, sendo o maior produtor é Índia com uma produção de 1,55 milhões de toneladas e produtividade de 1,79 Mg ha<sup>-1</sup>, em segundo lugar, Moçambique com uma produção de 77,4 mil toneladas e produtividade de 0,38 Mg ha<sup>-1</sup>, em terceiro lugar a China com produção de 40,0 mil toneladas e produtividade de 1,74 Mg ha<sup>-1</sup>. O Brasil é o quarto maior produtor mundial, com produção de 24,6 mil toneladas e produtividade de 0,55 Mg ha<sup>-1</sup>. O estado da Bahia é o maior produtor do país com produção de 17,5 mil toneladas e produtividade de 631 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, porém o estado com a maior produtividade é o Mato Grosso com 900 kg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2016; CONAB, 2018).

O principal produto desta oleaginosa é o óleo presente em seus grãos, cujo teor pode atingir até a 60%, constituído de 80 a 90% de ácido ricinoléico. É importante salientar que o ácido ricinoléico composto de um grupo hidroxila, lhe proporciona a característica de ser solúvel em álcool (SCHOLZ & SILVA, 2008; VOLLMANN & RAJCAN, 2009; VENTURA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2011).

Em razão das características acima descrito, o seu óleo é de grande relevância, por não existir substitutos em muitas aplicações industriais (CHIERICE & CLARO NETO, 2007; VIEIRA & LIMA, 2008), sendo matéria-prima com inúmeras aplicações industriais, como por exemplo produção de plásticos, fibras sintéticas, tintas, esmaltes, coberturas protetoras, resinas e lubrificantes (VIEIRA & LIMA, 2008; MOSHKIN, 1986; WEIS, 1983).

O ácido ricinoléico (C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>3</sub>) é o componente mais relevante, em termos de proporção no óleo de mamona, esse ácido apresenta moléculas com propriedades e estrutura diferente entre os ácidos graxos existentes nos óleos vegetais (MOSHKIN, 1986). Estas propriedades e estrutura diferenciadas conferem características peculiares ao óleo de mamona, permitindo com isso a utilização em mais de 400 processos industriais, a exemplos da produção de anticongelantes de combustível de aeronaves, revestimento de poltronas e paredes de aeronaves, componentes de automóveis, lubrificantes, resinas, tintas, cosméticos e medicamentos (VIEIRA & LIMA, 2008).

O plantio no período de safrinha é uma opção de utilização da cultura da mamona, pois a cultura subsequente poderá dispor de restos culturais, os quais são um excelente adubo orgânico e vários autores relatam até efeitos nematicidas (KAYANI et al., 2001; MCSORLEY & DICKSON, 1995). A mamona ainda se apresenta como ornamental, porém não muito difundida havendo relatos dessa prática em alguns países da Europa.

Em São Paulo, iniciou-se o primeiro programa de melhoramento da mamona no Brasil em 1936, pelo Instituto Agrônomo de Campinas, e já desenvolveu e disponibilizou seis variedades comerciais, além de manter mais de 500 acessos em seu banco de germoplasma entre progênies, linhagens e introduções. Atualmente o programa vem desenvolvendo variedades visando precocidade, porte baixo, qualidade de óleo, teor de ricino e tolerância à seca. (SAVY FILHO et al., 2007; BORÉM, 2005; PUTTINI, 2014).

Apesar de todas as aplicações descritas acima, ainda há poucos programas de pesquisas e desenvolvimento da cultura da mamona. Além dos situados nos Estados de São Paulo, temos na Paraíba, Bahia e Mato Grosso (BORÉM, 2009; MAPA, 2016).

Na Paraíba, a EMBRAPA, através do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (CNPQ), vem desenvolvendo cultivares e manejos mais adequados para a cultura da mamona para a região semiárida do Nordeste.

Na Bahia, a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S/A (EBDA), percebeu a importância da cultura para a região e a partir daí criou-se o programa de melhoramento da mamona, com variedades voltadas para as condições do estado (BORÉM, 2005; MAPA, 2016).

No Mato Grosso, o Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAMT), visualizou a demanda por variedades ou culturas adaptadas para o cultivo mecanizado para o período de safrinha, além da benéfica rotação com a soja, a qual os restos culturais da mamona proporcionam efeito nematicida, está buscando desenvolver híbridos que satisfaçam essa exigência, otimizando assim a utilização de máquinas agrícolas (SOUZA-SCHLICK, 2011; MAPA, 2016).

Um outro programa, que tem muita importância, é o Programa de Melhoramento Genético da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu – UNESP, que estuda a cultura da mamona, com o principal objetivo de obter genótipos produtivos, com porte adequado à colheita mecanizada e adaptados às principais regiões produtoras de mamona. Uma das linhas de pesquisa do programa da FCA-UNESP é o estudo da herança da expressão sexual em mamona, com enfoque na obtenção de linhas femininas para a produção de híbridos e também cultivares com maiores porcentagens de flores femininas nos racemos, sendo estas mais produtivas. Neste programa, já foram publicadas várias teses e dissertações (MYCZKOWSKI, 2006; BERTOZZO, 2009; LARA, 2010) com o tema da expressão sexual em mamona.

A expressão sexual da mamona, segundo Beltrão et al. (2001), é muito complexa, apresentando diversas expressões de sexualidade, com as flores masculinas e femininas localizadas em uma mesma inflorescência, mas em posições diferentes.

As plantas de mamona são definidas como de desenvolvimento normal ou com reversão sexual. As de desenvolvimento normal podem ser aquelas com flores femininas e masculinas ou apenas flores femininas, também chamadas de pistiladas e as que possuem reversão sexual são aquelas que apresentam inflorescências que nascem femininas, mas acabam tornando-se masculinas ao longo de sua ontogenia (SHIFRISS, 1960).

Popova e Moshkin (1986) comprovaram a existência de seis principais tipos de expressão sexual em mamona: as fêmeas estáveis (que produzem apenas flores femininas); as fêmeas instáveis (onde o cacho principal tem apenas flores femininas, mas os demais cachos podem ter flores masculinas); as inclinadas para fêmeas (poucas flores masculinas na base do cacho); mista (pequeno número de flores masculinas entremeadas nas flores femininas); monóicas comuns e macho.

Outro fator que aumenta a complexidade da expressão sexual é o envolvimento de muitos hormônios, entre eles as giberelinas e citocininas, que são os principais atuantes no metabolismo fisiológico da planta. As citocininas agem favorecendo a ocorrência de flores femininas, enquanto que as giberelinas aumentam a porcentagem de flores masculinas.

Khryanin (2002) relata uma série de plantas em que esse comportamento foi observado: *Begonia hybridis*, *Cucumis sativus*, *Mercurialis annua*, *Zea mays* e *Buchloe dactyloides*. Porém, há relatos opostos em que se afirma que as giberelinas favorecem flores femininas em mamona (POPOVA e MOSHKIN, 1986). O etileno também apresenta grande influência sobre a feminilização de plantas e este efeito pode ser devido a sua estreita influência sobre as auxinas e citocininas. Quanto ao ácido abscísico, há evidências de que ele promove a feminilização, mas os relatos são ainda muito contraditórios. Sua ação parece se dar através da inibição da atividade das giberelinas (KHRYANIN, 2002).

Como relatado, a expressão do sexo em mamona é influenciada por fatores de natureza fisiológica e fatores de ordem ambiental. Estudos comprovam que plantas submetidas a estresse hídrico aumentam sua porcentagem de flores masculinas, assim como altas temperaturas provocam o mesmo efeito. Em contrapartida, solos férteis ou bem balanceados favorecem o aumento da porcentagem de flores femininas (GURGEL, 1945).

Beltrão et al. (2001), confirma que os fatores que afetam a expressão do sexo são: idade da planta e dos racemos, pois os primeiros apresentam maior quantidade de flores femininas, poda, comprimento do dia, no qual dias curtos aumentam a expressão de flores femininas. Já temperaturas elevadas e déficit hídrico favorecem a ocorrência de maior número de flores masculinas.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi a construção de uma câmara de crescimento, para simulação de ambientes (Capítulo 1), e avaliar o efeito

isolado da alta temperatura na reversão sexual da mamona (*ricinus communis*. L)  
(Capitulo 2).



## **CAPÍTULO 1**

### **PROTÓTIPO DE CÂMARA DE CRESCIMENTO PARA SIMULAÇÃO DE AMBIENTES CONTROLADOS**

#### **RESUMO**

O cultivo de plantas sob condições controladas é fundamental para experimentos agrônômicos bem-sucedidos e reproduzíveis. A câmara de crescimento é uma boa opção, pois fornece controle total das condições ambientais, porém seu custo acaba sendo muito alto e, às vezes, fora do orçamento de muitas instituições e pesquisadores. Uma alternativa é a sua construção, onde temperatura, umidade, iluminação e irrigação são controladas conforme condições experimentais. Para fazer esse controle, é necessário que tenha um “cérebro” que controla a funcionalidade dessa câmara. Assim, o objetivo do presente trabalho foi o desenvolvimento de uma câmara de crescimento que fornece controle de múltiplos fatores ambientais, no qual permite variar as condições de estresse abióticos auxiliando o melhoramento genético. Para a criação da câmara de crescimento, foi utilizado uma câmara fria desativada no laboratório de melhoramento vegetal, no Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP), campus de Botucatu/SP. Para a simulação do ambiente controlado, foram utilizados lâmpadas, ar condicionado, aquecedores e sensores, além de um Arduino Mega 2560 R3 que controla todo esse sistema. Foram semeadas sementes do Híbrido FCA 2007-1 de mamona em 24 vasos de 12 litros, a emergência das plantas ocorreu uma semana após a semeadura. O fotoperíodo estabelecido foi o mesmo observado na cidade de Rondonópolis com 12 horas de luz no mês de março. A temperatura máxima estipulada dentro da câmara foi de 30°C e a média de 25°C, sendo mantida a umidade do ar em 50%. Todos os vasos foram irrigados com 0,5 litros por dia dividido em dois períodos; às 10 e 16 horas. A altura estipulada entre o vaso e a lâmpada foram duas; 1,80m e 1,00m. Os resultados obtidos da intensidade luminosa quando as lâmpadas estavam a 1,80m foi de 4.000 lux ou  $56,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Essa quantidade de luz está próxima ao ponto de compensação luminosa da mamona. Por esse motivo todas as plantas estiolaram e não se desenvolveram com 40 dias após a emergência. O que demonstra que o ponto de compensação pode ser maior do que descrito na literatura. Já os resultados da intensidade luminosa quando as lâmpadas estavam a 1,00m em

relação ao vaso foi de 35.000 lux ou  $493,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Essa quantidade de luz está acima do ponto de saturação luminosa que é entre 336 e  $420 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Essa incidência luminosa foi suficiente para que as plantas se desenvolvessem adequadamente. Com esses resultados obtidos, fica evidente a possível utilização dessa câmara de crescimento para simulação de ambientes controlados, podendo simular diversas condições climáticas, auxiliando o melhorista na avaliação de plantas.

**Palavras-chave:** Simulação de ambientes. Arduino. Saturação luminosa. Ponto de compensação.

## CHAPTER 1

### GROWTH CHAMBER PROTOTYPE FOR SIMULATION OF CONTROLLED ENVIRONMENTS

#### ABSTRACT

Growing plants under controlled conditions is fundamental to successful and reproducible agronomic experiments. The growth chamber is a good option because it provides full control of environmental conditions, but its cost ends up being very high and sometimes out of the budget of many institutions and researchers. An alternative is its construction, where temperature, humidity, lighting and irrigation are controlled according to experimental conditions. To make this control, you must have a "brain" that controls the functionality of that chamber. Thus, the goal of the present work was the development of a growth chamber that provides control of multiple environmental factors, in which it allows to vary the abiotic stress conditions helping the genetic improvement. For the creation of the growth chamber, a cold chamber was used in the Plant Breeding Laboratory within the Production and Plant Breeding Department belonging to the Faculty of Agronomic Sciences (UNESP), Botucatu/SP. For the controlled environment simulation, were used lamps, air conditioning, heaters and sensors, in addition to an Arduino Mega 2560 R3 that controls this whole system. Seeds of the castor bean hybrids FCA 2007-1 in 24 pots with 12 liter were seeded, plant emergence occurred one week after sowing. The established photoperiod was the same observed in the Rondonópolis city with 12 hours of light like in the month of March. The maximum temperature stipulated within the chamber was 30°C and the mean temperature was 25°C, and the air humidity was maintained at 50%. All pots were irrigated with 0.5 liters per day divided into two periods; at 10 and 16 hours. The height stipulated between the pots and the lamp were two; 1,80m and 1,00m. The results of the light intensity when the lamps were 1.80m was 4,000 lux or 56.4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . This light amount is close to the light compensation point of the castor. For this reason, all plants etiolated and did not develop even 40 days after emergence. This shows that the compensation point may be higher than described in the literature. already the results of light intensity when the lamps were one meter in relation to the pots was 35,000 lux or 493,5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . This amount of light is above the point of light saturation that is between 336 and 420  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . This light incidence was sufficient for the plants to develop normally with stem size, leaf and

flower equal to that found in the field. With these results obtained, it is evident the possible use of this growth chamber for simulation of controlled environments, being able to vary the climatic conditions helping the improvement of the plants evaluation.

**Keywords:** Simulation of environments. Arduino. Light saturation. Compensation point.

## 1.1 INTRODUÇÃO

A utilização de condições controladas é fundamental para experimentos agrônômicos bem-sucedidos e reproduzíveis. Embora um ambiente controlado possa ser fornecido usando uma estufa, o isolamento de fatores abióticos na estufa é limitado. Além disso, a despesa para construir e manter uma estufa pode ser inviável. Outra opção é usar uma câmara de crescimento. Uma câmara de crescimento fornece controle total das condições ambientais, mas tem alto custo, o que está além do orçamento de muitas instituições e pesquisadores.

A câmara de crescimento é um local onde a temperatura, umidade, iluminação e irrigação são controladas conforme condições experimentais. Para fazer esse controle, é necessário que tenha um “cérebro” que controla a funcionalidade dessa câmara.

Para isso pode ser utilizado um microcontrolador. Para elucidar melhor pode ser feita uma analogia ao computador de mesa, no qual o dispositivo de entrada é o teclado e, o de saída, o monitor. No caso do microcontrolador, um dispositivo de entrada pode ser um sensor, e o de saída um atuador qualquer.

Microcontroladores são produzidos na forma de “chips”, eles possuem pinos dedicados à alimentação, à gravação de programas em sua memória e pinos reservados aos periféricos de entrada e saída (E/S).

Para facilitar a manipulação desses chips, surgiram plataformas que criam a interface entre ele e o computador através de uma porta USB. A plataforma que o ATmega 2560 utiliza chama-se “Arduino”.

O Arduino é uma plataforma de prototipação eletrônica *open-source* flexível, que pode receber sinais elétricos de vários sensores e lidar com esses dados para controlar motores, luzes, relés, válvulas e quaisquer outros atuadores.

O software que controla os pinos e ações do Arduino pode ser desenvolvido no programa “Arduino IDE”, que conta com uma interface gráfica simples e aceita códigos em C/C++ (KRISHNAMURTHI, 2015). Para controle ambiental são utilizados sensores, que são dispositivos eletrônicos que captam informações do ambiente e as transformam em sinais elétricos que podem ser interpretados pelo Arduino.

O sensor de temperatura e umidade do ar DHT12 faz leituras de temperatura entre -40 a +80°C, resolução de 0,1 e precisão +/- 0.5. Já a faixa de leitura da umidade é de 0 a 100% umidade relativa com resolução de 0,1 e precisão de 2% (SARMAD e FORAT, 2017). Para monitorar a intensidade luminosa no ambiente um

dos sensores mais utilizados é o BH1750FVI, os dados deste módulo são de intensidade de luz em lux com uma resolução de 1 lux e um intervalo de 1 a 65.535 lux (CHENG-LING et al., 2017). Com as leituras dos sensores e interpretação do Arduino, é possível controlar os atuadores, que são dispositivos eletrônicos que recebem sinais elétricos e realizam alguma ação no sistema.

A maioria dos atuadores funcionam em tensões diferente de 5 volts, e necessitam corrente maiores do que a máxima oferecida pelo Arduino, por isso devemos utilizar relés para aciona-los. Os relés de estado sólido são interruptores que não possuem partes mecânicas, eliminando a necessidade de contatos metálicos no interior do relé o que aumenta exponencialmente sua vida útil e a segurança da operação, além de eliminar o barulho e requer cargas menores para a alimentação. Para manter a temperatura em uma câmara de crescimento são utilizados aquecedores e ar condicionado.

Para mimetizar a iluminação proveniente do sol em câmaras de crescimentos, são utilizadas lâmpadas. Existem muitas opções para o sistema de iluminação. Lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID) e LEDs são três opções comumente usadas para o crescimento das plantas. Cada um tem suas próprias vantagens e desvantagens.

Entre todos os modelos, as mais baratas e utilizadas para cultivo indoor são as lâmpadas HID como a de vapor metálico também chamada de HQI (halógena de quartzo e iodo) e Hps (vapor de sódio), elas surgiram a cerca de 40 anos, essas lâmpadas oferecem uma gama de reprodução de cores com uma ótima eficiência (MARTÍNEZ-LÜSCHER et al., 2015; NICHELMANN e BILGER, 2017; ASPLUND, SIEGENTHALER e GAUSLAA, 2017).

As lâmpadas HID fornecem alta saída de luz, por exemplo uma lâmpada HQI ou HPS emitem 60-100 lumens / watt (SCHRATZ et al., 2016). No entanto, essas lâmpadas produzem muito calor e, portanto, exigem um sistema de resfriamento eficaz. Os LEDs são a iluminação mais eficiente em termos de energia, e um moderno sistema de LED emite até 160 lúmens / watt (SCHRATZ et al., 2016). No entanto, o preço dos LEDs é mais alto em comparação com as outras opções.

Dessa forma, é possível construir, configurar e usar uma câmara de crescimento barata, porém extremamente eficaz, sendo adequada para cultivar diferentes espécies de plantas, desde sementes, incluindo plantas menores como arábido (*Arabidopsis thaliana*) e tabaco (*Nicotiana benthamiana*), bem como

plantas maiores, como milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) e mamona (*Ricinus communis* L). Portanto, ela pode manter uma variedade de plantas para diversos experimentos.

Um dos usos mais importantes das câmaras de crescimento é determinar os efeitos de fatores bióticos ou abióticos específicos nas plantas. Nestes estudos, as plantas são cultivadas em ambientes onde os fatores relevantes (por exemplo, níveis de luz, temperatura, umidade, patógenos) podem ser controlados, e os efeitos da variação de um ou mais desses parâmetros podem ser testados (BRAUN, et al., 2006; HUANG et al., 2009; NGUYEN et al., 2013; SHARP et al, 2000; WILKE et al, 2007).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi projetar e desenvolver um protótipo de câmara de crescimento para fornecer controle de múltiplos fatores ambientais, permitindo simular diferentes condições de estresse abiótico com o intuito de auxiliar o melhoramento genético de mamona quanto a reversão sexual.

## **1.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **1.2.1 Infraestrutura da câmara de crescimento**

Para a construção da câmara de crescimento, foi utilizado uma câmara fria desativada no laboratório de melhoramento vegetal dentro do departamento de produção e melhoramento vegetal pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP), campus de Botucatu/SP. Para propiciar as condições requeridas, foi necessário alterar a infraestrutura: foram feitos cinco furos na parede, no qual dois são para entrada de ar, dois para saída e um para o ar condicionado. Além disso, foram instaladas barras de alumínio para fixação das lâmpadas.

### **1.2.2 Equipamentos**

Para a criação do ambiente controlado foram utilizadas quatro lâmpadas de vapor metálico (Hqi 400W 6500k 35.000 lux), três de Vapor de sódio de alta pressão (Hps 400W 2000k 56.000 lux) intercaladas, um ar condicionado portátil de 12.000 BTU, dois aquecedores de 1500W, quatro ventoinhas de computador, uma válvula solenoide, canos para irrigação, cinco relés de estado sólido, um sensor de temperatura e umidade do ar, um sensor de intensidade luminosa, um emissor de

infravermelho, um Arduino Mega 2560 R3, um teclado matricial 4x4, um display de cristal líquido (LCD) 16x2 e uma caixa para controle.

### **1.2.3 Configuração da estufa**

Ao iniciar o experimento, configurou-se o funcionamento da câmara de crescimento por meio do equipamento onde se encontra o Arduino, que contém um teclado numérico e um LCD onde aparece as informações. Nele deve ser determinado se o dia vai ser igual ao externo, ou seja, se entre as seis horas e 19 horas vão ser dia ou noite. Após isso, é estabelecido o horário que liga e desliga as lâmpadas, ou seja, determina o fotoperíodo. A próxima etapa é determinar a temperatura que a estufa deve ser mantida conforme o horário do dia. Em seguida, estabelece o horário de duas irrigações e a quantidade em mililitros que deve ser irrigado. Com isso, pode ser estabelecido qualquer clima de diferentes regiões, por exemplo, o clima da cidade de Rondonópolis no estado do Mato Grosso.

### **1.2.4 Funcionamento da Estufa**

Após efetuar a configuração e todos os equipamentos instalados e ligados a energia, o Arduino começa executar o seu código conforme for o horário e as leituras dos sensores. Ele começa a executar as ações necessárias, ou seja, ligando as lâmpadas, mantendo a temperatura da câmara de crescimento conforme configurada. Se a temperatura estiver baixa ele aciona os aquecedores ou se for preciso resfriar desliga os aquecedores e liga o ar condicionado.

### **1.2.5 Primeiro teste da intensidade luminosa**

Sementes do Híbrido FCA 2007-1 de mamona foram semeados em 24 vasos de 12 litros em 20 de outubro de 2016, a emergência das plantas ocorreu uma semana após a semeadura. O fotoperíodo estabelecido foi o mesmo observado na cidade de Rondonópolis com 12 horas de luz no mês de março. A temperatura máxima de 30°C e a média da estufa foi de 25°C, sendo mantida a umidade do ar em 50%. Todos os vasos foram irrigados com 0,5 litros por dia dividido em dois



períodos; às 10 e 16 horas. A altura estipulada entre o vaso e a lâmpada foi de 1,80 metros.

### **1.2.6 Segundo teste da intensidade luminosa**

Foi realizado outro teste mantendo todos os parâmetros exceto a distância, que agora passou de 1,80 para 1,00m. Foi realizado uma nova semeadura nos mesmos 24 vasos no dia 10 de janeiro de 2017, com emergência das plantas ocorrendo uma semana após a semeadura.

### **1.2.7 Teste de florescimento**

Após o segundo teste da intensidade luminosa foram removidas as plantas e realizado uma nova semeadura nos mesmos 24 vasos no dia 15 de agosto de 2017. A emergência ocorreu uma semana após a semeadura. Foram mantidas as mesmas condições climáticas e altura das lâmpadas do segundo teste de intensidade luminosa. Porém foi adicionado três lâmpadas HPS que tem a coloração alaranjada indo para o vermelho. Essas lâmpadas foram intercaladas com as quatro HQI.

## **1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No primeiro teste de intensidade luminosa, foi observado que a quantidade de luz que incidiam nas plantas quando as lâmpadas Hqi estavam a 1,80 metros era de 4.000 lux ou  $56,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Já que o fator de conversão dessa lâmpada Hqi é de 0,0141.

Essa quantidade de luz está próxima ao ponto de compensação luminosa da mamona que é de  $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (BOHNING e BURNSIDE, 1956). Por esse motivo todas as plantas estiolaram e não se desenvolveram mesmo com 40 dias após a emergência. O que demonstra que o ponto de compensação pode ser maior do que estipulado pelos mesmos autores.

Após não obter o desenvolvimento da planta no primeiro teste de intensidade luminosa, foi realizado então o segundo teste, no qual, reduziu a altura das lâmpadas em relação ao vaso de 1,80m para 1,00m. Com essa nova distancia a intensidade luminosa foi de 35.000 lux ou  $493,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Essa quantidade de luz está acima do ponto de saturação luminosa descrito por Bohning e Burnside (1956), que é entre  $336$  e  $420 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Essa incidência

luminosa foi suficiente para as plantas se desenvolverem normalmente com tamanho de caule e folha iguais ao encontrado no campo. Porém não ocorreu o florescimento de nenhuma planta mesmo após cinco meses após a emergência. Isso se deve ao fato de que as lâmpadas Hqi utilizadas apresentam alta incidência do espectro de luz azul, e baixo espectro vermelho. Corroborando com Fukuda et al. (2002) que demonstra a necessidade do espectro vermelho para a ocorrência do florescimento. Com isso podemos compreender que Hqi sozinha não tem todo o espectro necessário para a indução floral.

No último teste foi acrescentado três lâmpadas Hps, no qual, foram intercaladas com as outras quatro Hqi e mantida a distância de um metro em relação ao vaso.

A quantidade de luz que incide nas plantas permaneceu o mesmo 35.000 lux ou  $493,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , o que mudou foi na quantidade do espectro vermelho. Com a adição das lâmpadas Hps as plantas cresceram normalmente e em apenas 40 dias após a emergência todas as plantas floresceram. O que demonstra a necessidade do espectro vermelho para o florescimento da mamona, assim como acontece em outras plantas que foram testadas por Fukuda et al. (2002).

A quantidade de 0,800 litros de água adicionada nas plantas de mamona por dia durante o experimento foi o suficiente para que as plantas não apresentassem qualquer tipo de déficit hídrico, já que a faixa ideal de precipitação para a mamona produzir satisfatoriamente situa-se entre 750 mm e 1.500 mm, com um mínimo de 600 mm a 750 mm durante o ciclo cultural; de preferência, a época de plantio deve ser ajustada para que a planta receba de 400 mm a 500 mm até o início da floração (TÁVORA, 1982). Ou seja, em um vaso de 0,25 metros de altura, 0,15 metros de raio da parte superior e 0,10 metros de raio na parte inferior, tem uma área de  $0,0497 \text{ m}^2$ . Dessa forma, temos um total de 644mm até o florescimento.

#### **1.4 CONCLUSÃO**

A câmara de crescimento demonstrou eficiência quanto a mimetização do clima para o cultivo da mamona, sendo possível completar o ciclo da cultura de forma semelhante ao realizado no campo e em estufas.

## REFERÊNCIAS

- ASPLUND, J.; SIEGENTHALER, A.; GAUSLAA, Y. Simulated global warming increases usnic acid but reduces perlatolic acid in the mat-forming terricolous lichen *Cladonia stellaris*. **The Lichenologist.**; v49. p.269-274. 2017.
- BOHNING, R. H.; BURNSIDE, C. A. The effect of light intensity on apparent photosynthesis in leaves of sun and shade plants. **Am. J. Bot.** v43. p.557-561. 1956.
- BRAUN, D. M. et al. tie-dyed1 regulates carbohydrate accumulation in maize leaves. **Plant Physiology**, 142, 1511–1522. 1956.
- CHENG-LING. et al. "The comparative study of four-phase switched reluctance motor turn-on angle based on Simulink", **Technology Networking Electronic and Automation Control Conference (ITNEC) 2017 IEEE 2nd Information**, pp. 1636-1639, 2017.
- FUKUDA, N. et al. Effect of light quality, intensity and duration from different artificial light sources on the growth of petunia (*Petunia x hybrida* Vilm.). **J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.** v.71. p.509–516. 2002.
- HUANG, M. et al. Camouflage patterning in maize leaves results from a defect in porphobilinogen deaminase. **Molecular Plant**, v2, p.773–789. 2009.
- KRISHNAMURTHI, K. et al. "Arduino Based Weather Monitoring System". **International Journal of Engineering Research and General Science.** v.3, Issue 2, 2015.
- MARTÍNEZ-LÜSCHERA, F.M.J. et al. Climate change conditions (elevated CO<sub>2</sub> and temperature) and UV-B radiation affect grapevine (*Vitis vinifera* cv. Tempranillo) leaf carbon assimilation, altering fruit ripening rates. **Plant Sci.** v.236. p.168–176. 2015.
- NICHELMANN, L.; BILGER, W. Quantification of light screening by anthocyanins in leaves of *Berberis thunbergii*. **Planta.** v.246. p.1069–1082. 2017.
- NGUYEN, C. T. et al. Genetic variability in high temperature effects on seed-set in sorghum. **Functional Plant Biology**, v.40. p.439–448. 2013.
- SARMAD, N. M.; FORAT, F. H. Design of Weather Monitoring System Using Arduino Based Database Implementation. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST).** v.4 Issue 4. p.7109-7117. 2017.
- SCHRATZ, M. et al. A new way to see the light: Improving light quality with cost-effective LED technology. **IEEE Industry Applications Magazine.** v.22. p.55–62. 2016.
- SHARP, R. E. et al. Endogenous ABA maintains shoot growth in tomato independently of effects on plant water balance: Evidence for an interaction with ethylene. **Journal of Experimental Botany.** v.51. p.1575–1584. 2000.

TÁVORA, F. J. A. **A cultura da mamona.** Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.

WILKE, A. et al. Seed transmission of *Fusarium verticillioides* in maize plants grown under three different temperature regimes. **Plant Disease.** v.91. p.1109–1115. 2007.

## CAPÍTULO 2

### EFEITO ISOLADO DA ALTA TEMPERATURA NA REVERSÃO SEXUAL DE MAMONA (*Ricinus communis*. L)

#### RESUMO

A mamona (*Ricinus communis*), matéria-prima para produção de plásticos, fibras sintéticas, tintas, esmaltes, coberturas protetoras, resinas e lubrificantes, tem grande importância no mundo por não existir substitutos em muitas dessas aplicações industriais. Nos últimos anos a produção mundial foi de cerca de 1.9 milhões de toneladas, sendo o Brasil o quarto maior produtor mundial de óleo, com produção de 24,6 mil toneladas e produtividade de 0,55 Mg ha<sup>-1</sup>. Nosso país está muito aquém do seu real potencial, devido à falta de genótipos adaptados a cada região produtora. Os híbridos são a melhor alternativa para melhora desse quadro, porém existe uma dificuldade na sua obtenção: Estresses ambientais ocasionam reversão sexual nas plantas femininas. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito isolado da alta temperatura na reversão sexual da mamona. O experimento foi conduzido durante dezembro de 2017 e agosto de 2018, em condições controladas, em câmara de crescimento desenvolvida durante o doutorado. O delineamento experimental utilizado para avaliar a taxa de flores entre masculina e feminina no híbrido FCA 2007-1 foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas foram constituídas pelos dias após a emergência que foi iniciado o estresse de alta temperatura (14, 21, 28 e 35 dias), as subparcelas pelo primeiro e segundo cacho. Já o delineamento experimental utilizado para avaliar o número flores masculinas nas plantas estritamente femininas MRZ 14, também foi blocos ao acaso, com parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas foram constituídas pelos dias após a emergência que foi iniciado o estresse de alta temperatura (14, 21, 28 e 35 dias), as subparcelas pelos cachos até completar os 6 meses de estresse. Com os resultados obtidos durante o experimento para a variável taxa de flores masculinas e femininas, pode-se inferir que o estresse isolado por altas temperaturas não modifica a taxa de flores. Já em relação ao número de flores masculinas nas plantas estritamente femininas (MRZ 14) os resultados obtidos demonstram que a temperatura isolada não acarreta reversão sexual da mamona, visto que não houve reversão sexual, independente do período avaliado. A

explicação para o ocorrido é o possível aumento na quantidade dos hormônios, no qual estão relacionados à indução de flores femininas. Isso pode ter resultado na manutenção da feminilidade nas fêmeas MRZ 14, uma vez que há inúmeros relatos evidenciando o aumento na quantidade dos hormônios como auxina, citocinina, giberelinas e etileno quando plantas são submetidas ao estresse por altas temperaturas.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis*. expressão sexual. sistema reprodutivo. estresse por calor. reversão sexual.

**CHAPTER 2**  
**EFFECT ISOLATED FROM HIGH TEMPERATURE IN THE SEXUAL REVERSION**  
**OF CASTOR BEAN (*Ricinus communis* L.)**

**ABSTRACT**

Castor oil (*Ricinus communis*), a raw material for the production of plastics, synthetic fibers, paints, enamels, protective coatings, resins and lubricants, is of great importance in the world because there are no substitutes in many of these industrial applications. In recent years world production was around 1.9 million tons, Brazil being the fourth largest producer of oil in the world, with production of 24.6 thousand tons and productivity of 0.55 Mg ha<sup>-1</sup>. Our country is far below from its real potential due to the lack of genotypes adapted to each producing region. Hybrids are the best alternative to improve this picture, but there is a difficulty in obtaining them: environmental stresses cause sexual reversion in female plants. Thus, the present study aimed to evaluate the isolated effect of high temperature on castor bean sex reversal. The experiment was conducted during the period between December 2017 and August 2018, under controlled conditions of a growth chamber developed during the doctorate. The experimental design was a randomized complete block design, with subdivided plots with three replicates. The plots consisted of the FCA Hybrid 2007-1 and the female MRZ 14, the subplots for the days after the emergency that started the high temperature stress (14, 21, 28 and 35 days). The results show that the isolated temperature does not lead to sexual reversion of castor bean, since there was no sexual reversion, independent of the period evaluated. The explanation for the occurrence is the possible increase in the amount of hormones, in which they are related to the induction of female flowers. This may have resulted in the maintenance of femininity in females MRZ 14, since there are numerous reports evidencing the increase of the hormones amount such as auxin, cytokinin, gibberellins and ethylene when plants are subjected to high temperature stress.

**Keywords:** *Ricinus communis*. Sexual expression. Reproductive system. Heat stress. sexual reversion.





## 2.1 INTRODUÇÃO

A mamona pertence à família *Euphorbiaceae*, gênero *Ricinis* e espécie *Ricinus communis* L. Dentre os seus constituintes, o ácido ricinoléico se destaca em termos de proporção e apresenta moléculas com propriedades e estruturas diferentes entre os demais ácidos graxos existentes nos óleos vegetais (MOSHKIN, 1986). Estas propriedades e estrutura diferenciada conferem características peculiares ao óleo de mamona, permitindo com isso a utilização em mais de 400 processos na área industrial e farmacêutica (CHIERICE e CLARO NETO, 2007; VIEIRA e LIMA, 1999).

O Brasil é o quarto maior produtor mundial, com produção de 24,6 mil toneladas e produtividade de 0,55 Mg ha<sup>-1</sup>. O Estado da Bahia é o maior produtor do país com uma produção de 17,5 mil toneladas e uma produtividade de 631 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, porém o Estado com a maior produtividade é o Mato Grosso com 900 kg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2016; CONAB, 2018).

A fim de aumentar a produtividade do óleo de mamona, a obtenção de genótipos produtivos e adaptados às condições edafoclimáticas de cada região produtora seria uma estratégia. O híbrido é uma delas já que proporcionam plantas mais uniformes e produtivas, devido ao fato de explorarem a heterose entre linhagens puras (LOPES et al, 2008).

Os cruzamentos em plantas de mamona expressam a heterose ou vigor do híbrido, com isso a obtenção de linhagens femininas é um dos objetivos do melhoramento da mamona, pois viabiliza a produção de sementes híbridas. Entretanto, a complexidade, a forte influência do ambiente e os restritos estudos genéticos de expressão sexual desta espécie tornam oneroso trabalhar com tal característica em termos de melhoramento.

Beltrão et al. (2001) afirma que os fatores que afetam a expressão do sexo, aumentando a incidência de flores femininas são: poda, dias curtos, plantas jovens e racemos primários, que têm maior quantidade de flores femininas. Aplicação de GA<sub>3</sub> na mamona foi relatada por Shifriss (1961) para aumentar a relação de flores femininas para masculinas nos racemos, e o tratamento repetido fez com que alguns racemos produzissem apenas flores femininas. As citocininas agem favorecendo a ocorrência de flores femininas mamona (KHRYANIN, 2002). Também há relatos de aumento do número de flores femininas nas plantas de *Jatropha curcas*, *Plukenetia volubilis* e *Luffa cylindrica* quando houve a aplicação de citocinina exógena (PAN e XU, 2011; FU et al., 2014; TAKAHASHI e SUGE, 1980). Em contrapartida,

deficiência hídrica e temperaturas elevadas favorecem a ocorrência de maior número de flores masculinas (BELTRÃO et al., 2001).

A maior parte das plantas superiores são incapaz de sobreviver a uma prolongada exposição a temperaturas acima de 45°C. Como o estresse térmico está relacionado a parte aérea da maioria das plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, com acesso ao abundante suprimento hídrico, as partes aéreas são mantidos abaixo de 45 graus por resfriamento evaporativo. Caso a água torne-se limitante, o resfriamento evaporativo decresce e as temperaturas dos tecidos aumentam, podendo acarretar na morte das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013).

O estresse térmico altera a homeostase hormonal, a estabilidade, o conteúdo, a biossíntese e a compartimentalização nas plantas (MAESTRI et al., 2002). Com o avanço das tecnologias moleculares, vários hormônios que anteriormente eram conhecidos apenas por seus papéis no crescimento e desenvolvimento das plantas também foram implicados na resposta das plantas ao estresse térmico (Dobra et al. 2015). Além disso, a participação de vários hormônios que ajustam a resposta da planta ao estresse térmico tornou a interação hormonal muito mais complexa. Até o momento, todos os principais hormônios, como ácido abscísico (ABA), auxina, giberelinas (GAs), citocininas e etileno foram relatados para desempenhar papéis críticos na resposta das plantas ao estresse térmico (MITTLER et al. 2012; PELEG e BLUMWALD 2011; XIA et al. 2015; ZHOU et al. 2014). Além disso, a exigência de certos hormônios e/ou sua sinalização associada varia dependendo dos tipos de termotolerância.

Além do papel bem estabelecido da auxina na divisão celular e no alongamento, o seu papel como um regulador chave de resposta de crescimento adaptável para alta temperatura surgiu durante a década de 90. Como uma resposta adaptativa à alta temperatura, as plântulas podem elevar os tecidos fotossintéticos e meristemáticos para longe do solo adsorvente pelo calor, alongando os hipocótilos e, assim, proporcionando melhor vantagem do efeito de resfriamento do ar em movimento (GRAY et al. 1998). De acordo com este princípio, a plântula de *Arabidopsis* alonga seu hipocótilo sob estresse térmico moderado; no entanto, a inibição da biossíntese e da mutação da auxina em relação à resposta ou transporte da auxina comprometem o alongamento do hipocótilo induzido por alta temperatura. Por outro lado, a aplicação exógena de auxina aumenta o alongamento do hipocótilo induzido pela temperatura (GRAY et al. 1998). Sugere-se que a síntese induzida

pela temperatura da auxina livre regula o crescimento do hipocótilo sob alta temperatura (MAHARJAN e CHOE, 2011).

A acumulação de auxinas associada à indução de genes de YUCCA (mono oxigenase contendo flavina) é rapidamente aumentada com a exposição a temperaturas elevadas. Embora todas as partes da *Arabidopsis* sejam capazes de sintetizar a auxina, sua ação regulatória também depende do transporte da auxina polar. Por exemplo, após estresse térmico moderado, os transcritos dos genes de auxina YUCCA8 e YUCCA9 são induzidos mais significativamente nos cotilédones em comparação com os hipocótilos, indicando que os cotilédones servem como principal fonte de auxina sob estresse de alta temperatura, que é então transportado para hipocótilos. Quando o transporte de auxina é bloqueado usando o inibidor do transporte de auxina polar, o ácido 1-naftilftalâmico, a resposta de alongamento de hipocótilo induzida por alta temperatura é abolida, sugerindo que o transporte de auxina é essencial para a resposta ao aumento da temperatura (WIT et al. 2014; STAVANG et al., 2009). Além disso, os pecíolos da *Arabidopsis* tornam-se alongados após a exposição à alta temperatura, até mesmo as plantas adultas mostram folhas hiponásticas com pecíolo longo e pequena lâmina. As plântulas de *Arabidopsis* cultivadas a 28 °C possuem menor número de estômatos, mas possuem melhor capacidade de resfriamento, possivelmente devido à arquitetura menos compacta da parte aérea e ao hiponastismo foliar que facilitam a transpiração. No entanto, a exposição a longo prazo das plantas ao aumento da temperatura induz a floração precoce como uma estratégia de fuga em *Arabidopsis* (WIT et al. 2014).

Já as citocininas são um dos principais hormônios vegetais que regulam numerosos aspectos do crescimento e desenvolvimento. Embora o papel da citocinina em vários processos de desenvolvimento tenha sido bem caracterizado, nosso conhecimento sobre seu efeito na tolerância ao estresse das plantas ainda é fragmentário. Isso se deve, possivelmente, à complexa interação entre a citocinina e a sinalização de estresse, especialmente a resposta relacionada à tolerância ao estresse abiótico (ZWACK e RASHOTTE 2015).

A superexpressão do gene biossintético da citocinina isopenteniltransferase (IPT) aumenta os níveis de citocinina endógena que, eventualmente, aumentam a tolerância ao estresse térmico na grama (XING et al. 2009). Além da regulação positiva do nível de citocinina endógeno pela superexpressão do IPT, a aplicação

exógena de citocinina também pode melhorar a tolerância ao estresse térmico na grama (XU e HUANG 2009).

O efeito mais devastador do estresse térmico é observado quando o estresse ocorre durante o estágio reprodutivo, particularmente durante o período de antese. O estresse na antese causa aborto floral, resultando em severa perda de rendimento. Por exemplo, a exposição de primórdios de flores de maracujá (*Passiflora edulis*) a temperaturas ambientes quentes causa aborto floral total (SOBOL et al. 2014). A aplicação de citocininas melhora a tolerância ao calor, minimizando substancialmente o aborto floral.

Além disso, a aplicação de citocininas exógenas em plantas de *Arabidopsis* do tipo selvagem também demonstra um papel protetor das citocininas contra a temperatura do ar quente durante o estágio de desenvolvimento da flor. As citocininas podem reduzir os níveis endógenos de AGs para melhorar a tolerância ao calor, ou podem simplesmente afetar os ramos a jusante da via de sinalização GA sem alterar os níveis de AG ativos (FLEISHON et al. 2011; SOBOL et al. 2014). No entanto, esse efeito protetor da citocinina é bastante contraditório em comparação com seu papel em outros estresses, como o déficit hídrico. *Arabidopsis* mutante com baixo nível de citocininas mostrou maior tolerância ao déficit hídrico, no qual baixos níveis de citocininas talvez aumentem a sensibilidade ao ABA que eventualmente promove a tolerância à seca nas plantas (NISHIYAMA et al. 2011).

O estresse térmico imposto a uma parte das plantas estimula rapidamente a expressão dos componentes das vias de sinalização da citocinina mesmo nos tecidos não expostos, sugerindo uma comunicação rápida mediada por hormônios sob estresse térmico. Até que o estresse se torne grave, as respostas da planta ao estresse térmico também incluem um aumento transitório nos níveis de citocinina ativa e a regulação positiva dos genes envolvidos na fotossíntese e no metabolismo de carboidratos (DOBRA et al. 2015).

Além da auxina, a modulação rápida da via GA é essencial para o alongamento do hipocótilo induzido por alta temperatura. Além disso, a via GA também promove atividade do fator interativo de fitocromo 4 (PIF4) nos níveis pós-traducionais sob alta temperatura (STAVANG et al. 2009).

O tempo de floração não é importante apenas para moldar os ciclos de vida das plantas, mas também o das espécies de polinizadores. Nas plantas superiores, temperaturas mais altas aceleram a transição floral, enquanto essa aceleração da

floração é dependente do *florigen* (Flowering LOCUS T, FT). Sob alta temperatura, o FT é ativado pelo PIF4 que medeia a transição floral. Os fitormônios de GAs estimulam a degradação da proteína DELLA que influencia a atividade do PIF4, enquanto o PIF4 pode ativar diretamente o FT, sugerindo um possível mecanismo pelo qual os níveis de GA influenciam o florescimento (KUMAR et al. 2012).

Em pimenta (*Capsicum annuum*), CaWRKY6 (gene da família WRKY do subgrupo IIb) desempenha um papel crítico na resposta a altas temperaturas (CAI et al., 2015). A expressão de CaWRKY6 pode ser induzida pela aplicação exógena de ABA e etileno. A supressão do CaWRKY6 pelo silenciamento gênico induzido por vírus (VIGS) aumenta a suscetibilidade ao estresse térmico, que está associado com a regulação negativa da expressão do gene marcador induzido por etileno e ABA. No entanto, a superexpressão do CaWRKY6 melhora a tolerância ao estresse térmico, sugerindo que o CaWRKY6 é um regulador positivo da tolerância ao estresse térmico e pode mediar a tolerância ao estresse induzida pelo fito-hormônio (CAI et al., 2015).

O elemento chave da via de sinalização e resposta ao etileno são os fatores de resposta ao etileno (ERFs), que estão sob os fatores de transcrição da superfamília APETALA2 (AP2) / ERF. A expressão de ERF é aumentada após a exposição das plantas ao estresse térmico. Os ERFs podem se ligar a elementos responsivos à desidratação (DREs) para ativar a transcrição de genes responsivos ao estresse que aumentam a tolerância ao calor nas plantas. Além disso, os ERFs atuam como um nó chave que integra outras vias de sinalização hormonal sob estresse abiótico (MULLER e MUNNE-BOSCH 2015).

Com base no exposto acima, o objetivo do presente trabalho foi verificar se o estresse isolado por altas temperaturas causa a reversão sexual na mamona.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.2.1 Material utilizado e condução do experimento**

Dois materiais de mamona (*ricinus communis*. L), cedidos pelo IMAmt em conjunto com a UNESP FCA, foram utilizados neste trabalho. O Híbrido FCA 2007-1 foi utilizado como padrão, demonstrando que há ocorrência de flores masculinas nas condições experimentais. Já a fêmea MRZ 14 que dá origem a esse híbrido, foi

utilizada por ter sofrido reversão sexual durante a produção de sementes nas cidades de Rondonópolis e Rondonópolis sob temperatura máxima de 40°C.

O experimento foi conduzido entre dezembro de 2017 e agosto de 2018, em condições controladas em câmara de crescimento no laboratório de melhoramento vegetal, dentro do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP), campus de Botucatu/SP. O delineamento experimental utilizado para avaliar a taxa de flores entre masculina e feminina no híbrido FCA 2007-1 foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas foram constituídas pelos dias após a emergência que foi iniciado o estresse de alta temperatura (14, 21, 28 e 35 dias), as subparcelas pelo primeiro e segundo cacho.

O delineamento experimental para avaliar o número flores masculinas nas plantas estritamente femininas MRZ 14, foram os mesmos utilizados como descrito acima tendo uma diferença em relação as subparcelas que é pelos cachos até completar os 6 meses de estresse.

A cada sete dias, seis vasos com volume de 12 litros foram semeados com cinco sementes por vaso, totalizando quatro semanas. Uma semana após cada semeadura ocorreu a emergência das plantas. Quando as mesmas apresentaram as primeiras folhas totalmente expandida, o desbaste foi efetuado, deixando-se uma planta por vaso.

### **2.2.2 Indução e monitoramento de estresse por alta temperatura**

O fotoperíodo estabelecido durante o experimento foi o mesmo observado na cidade de Rondonópolis com 12 horas de luz no mês de março. Durante os 34 dias após a emergência da primeira planta (Tabela 1) a temperatura foi mantida com a máxima de 30°C e a média da estufa foi de 25°C, com a umidade do ar em 60%. Após esses 34 dias a temperatura foi alterada durante conforme a tabela 2 por 183 dias (até 1 de agosto de 2018).

Tabela 1 – Datas da semeadura, emergência, florescimento e dias sob estresse por altas temperaturas.

| Subparcela          | 1          | 2          | 3          | 4          |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| Semeadura           | 19/12/2017 | 26/12/2017 | 02/01/2018 | 09/01/2018 |
| emergência          | 26/12/2017 | 02/01/2018 | 09/01/2018 | 16/01/2018 |
| Florescimento       | 29/01/2018 | 03/02/2018 | 08/02/2018 | 13/02/2018 |
| Dias para florescer | 34         | 32         | 30         | 28         |
| DAE do IE           | 35         | 28         | 21         | 14         |
| DEAF                | 0          | 4          | 9          | 14         |

Total de dias sob estresse 183

DAE do IE = Dias após a emergência do início do estresse; DEAF = Dias de estresse antes do florescimento do primeiro cacho.

Tabela 2 – Temperaturas diárias estabelecidas durante todo o tratamento.

| Hora           | 1h  | 2h  | 3h  | 4h  | 5h  | 6h  | 7h  | 8h  | 9h  | 10h | 11h | 12h |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temperatura °C | 21  | 21  | 22  | 22  | 22  | 26  | 28  | 29  | 30  | 33  | 36  | 39  |
| Hora           | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h | 18h | 19h | 20h | 21h | 22h | 23h | 24h |
| Temperatura °C | 41  | 42  | 45  | 42  | 40  | 35  | 30  | 28  | 25  | 24  | 23  | 22  |

Para mimetizar a intensidade luminosa do sol, foram utilizadas quatro lâmpadas HQI e três HPS intercaladas. A altura estipulada entre o vaso e a lâmpada foi sempre mantida a um metro. Com essa distância, a intensidade luminosa foi de 35.000 lux ou 493,5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Todos os vasos após a emergência foram irrigados com 0,8 litros por dia, dividido em dois períodos; às 10 e 16 horas. Essa quantidade de água estabelecida é o suficiente para manter todas as plantas em capacidade de vaso, dentro dessas condições climáticas estabelecidas. O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, por meio de gotejadores autocompensantes com vazão de 2L h<sup>-1</sup> acoplados à linha de irrigação, dos quais derivações foram direcionadas para os vasos por microtubos.

### 2.2.3 Avaliação da reversão sexual

Após o florescimento de cada planta, foi avaliado na fêmea MRZ 14 a quantidade de flores masculinas que apareceram durante o experimento, assim como a relação entre flores femininas e masculinas nos Híbrido FCA 2007-1.

## 2.2.4 Análise Estatística

Para cada variável foi realizada a análise de variância (ANOVA), para detecção de diferenças entre tratamentos pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Para a realização das análises utilizou-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

## 3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância para a variável taxa de flores masculinas e femininas é apresentada na tabela 3. Na referida tabela, observa-se que o teste F não foi significativo ( $p < 0,05$ ). Demonstrando que o estresse isolado por altas temperaturas não modifica a taxa de flores.

**Tabela 3.** Análise de variância para a variável taxa de flores masculinas e femininas.

| FV                      | GL     | SQ         | QM        | Fc    | Pr>Fc  |
|-------------------------|--------|------------|-----------|-------|--------|
| Bloco                   | 2      | 4.000000   | 2.000000  | 0.056 | 0.9460 |
| Tempo de estresse       | 3      | 1.791667   | 0.597222  | 0.017 | 0.9968 |
| Erro 1                  | 6      | 214.333333 | 35.722222 |       |        |
| Cacho                   | 1      | 0.041667   | 0.041667  | 0.003 | 0.9545 |
| Tempo de estresse*Cacho | 3      | 20.125000  | 6.708333  | 0.557 | 0.6579 |
| Erro 2                  | 8      | 96.333333  | 12.041667 |       |        |
| Total Corrigido         | 23     | 336.62500  |           |       |        |
| CV 1 (%)                | 9.51   |            |           |       |        |
| CV 2 (%)                | 5.52   |            |           |       |        |
| Média Geral             | 62.875 |            |           |       |        |

Em relação ao número de flores masculinas nas plantas estritamente femininas (MRZ 14), não foi possível fazer o teste F. Isso ocorreu devido ao fato de que, em nenhuma planta houve reversão sexual mesmo após 183 de estresse por alta temperatura. Os resultados obtidos demonstram que a temperatura isolada não acarreta na reversão sexual da mamona.

O aumento na quantidade dos hormônios que estão relacionados a indução de flores femininas, pode ser um dos motivos que façam com que ocorra a manutenção da feminilidade nas fêmeas MRZ 14 sob altas temperaturas, visto que há inúmeros relatos evidenciando a reversão sexual ou mudança na taxa de flores masculinas e femininas devido a alterações na quantidade dos hormônios. Esses hormônios como



auxina, citocinina, giberelinas e etileno, quando aplicados artificialmente promovem o aumento do número de flores femininas.

Wit et al., (2014) relata que em plantas expostas a temperaturas elevadas moderadas (28–29°C) ocorre um acúmulo de auxinas nas folhas maior que nos hipocótilos, indicando que os cotilédones servem como principal fonte de auxina sob estresse de alta temperatura. Sugerindo que o transporte de auxina é essencial para a resposta ao aumento da temperatura.

Dobra et al., (2015) observou que após a exposição da parte aérea ou das plantas inteiras ao estresse térmico, o conteúdo de ABA é reduzido temporariamente, mas os níveis de citocinina ativos estão maiores nas folhas. Xing et al., (2009) relata que quando houve o aumento da expressão da citocinina, houve um aumento na tolerância ao estresse térmico na grama. Essas mudanças estão associadas à estimulação da transpiração que pode ajudar as plantas a resfriar a temperatura das folhas. Nesta resposta, as citocininas desempenham um papel crítico, estimulando a abertura estomática que facilita a transpiração.

Estudos realizados por Stavang et al., (2009) mostraram que a via da GA promove atividade do PIF4. Também relata a ligação molecular direta entre auxina, GA, PIF4 e resposta de alongamento de crescimento sob alta temperatura, estabelecendo PIF4 como um nó chave que integra vários sinais ambientais e vias de sinalização hormonal.

Clarke et al., (2009) observou que a produção de etileno aumenta sob estresse térmico em *Arabidopsis*. Muller e Munne-Bosch (2015) descreve que enquanto o ABA regula negativamente a expressão de ERF1 sob estresse abiótico, esse fenômeno não bloqueia a sinalização de etileno durante o estresse térmico e, portanto, o ERF1 pode regular positivamente a expressão de genes para promover tolerância ao calor.

Como observado anteriormente, não há redução dos hormônios durante o estresse por altas temperaturas e sim um aumento. Isso corrobora com o fato de não ter sido observado nesse trabalho a reversão sexual. O que demonstra que o estresse térmico por altas temperaturas isolado não acarreta na reversão sexual, já que esse tipo de estresse faz com que tenha um aumento de auxina, citocinina, giberelina e etileno na parte aérea.

O aumento na quantidade de GA, é um dos fatores que acarreta na antecipação da floração por altas temperaturas, corroborando com o que foi

observado neste trabalho, no qual o tempo de florescimento foi menor nas plantas em que o estresse térmico iniciou nos períodos mais próximos da emergência (tabela 1).

Um dos motivos dos trabalhos demonstrarem que a reversão sexual é causada pelo estresse térmico, pode ser porque o estresse térmico é um dos precursores da deficiência hídrica, visto que ele acarreta uma maior transpiração. Quando as plantas estão no campo, fica difícil o controle sob os estresses já que não há a ocorrência isolada de um evento estressante para a planta, e sim vários simultâneos. Por esse motivo evidenciavam o estresse térmico também como um dos possíveis causadores da reversão sexual.

É sabido que o déficit hídrico promove o aumento de flores masculinas, isso pode ser devido ao fato de que há uma inibição desses hormônios. Freeman et al., (1980) demonstram que a redução desses hormônios acarreta no surgimento de flores masculinas em plantas pistiladas ou aumento na quantidade de flores masculinas em monoicas.

Aharoni et al., (1977) relata que plantas sob déficit hídrico tem uma redução no acúmulo de giberelina em alface, assim como em plantas de arroz descrito por Yang et al., (2001). Larcher (2000) relata que mesmo que ocorra um estresse hídrico moderado já é suficiente para desencadear a síntese de ácido abscísico. De acordo com Macêdo et al., (2006), essa maior produção de ácido abscísico atua na inibição da ação da giberelina.

A diminuição dos hormônios pela falta de água também é evidenciada na síntese de citocinina nas raízes e a entrega às folhas geralmente diminui. Em consequência do déficit hídrico, é observado um decréscimo do conteúdo de citocinina nas folhas. Goicoechea et al., (1997) relata que teores baixos de citocininas sob seca foi encontrado em alfafa. Assim como em videira por Stoll et al., (2000). Já Spollen et al., (2000) evidencia que o ABA também inibe a produção do etileno.

Dessa forma, fica claro que o estresse térmico isolado não acarreta reversão sexual. Porém, como ele é considerado um dos responsáveis pelo déficit hídrico, ele pode estar associado à reversão sexual quando houver o déficit hídrico.

## **2.4 CONCLUSÕES**

O estresse isolado por alta temperatura não causa reversão sexual na fêmea MRZ 14, assim como não muda a taxa de flores masculinas e femininas no híbrido FCA 2007-1.

Altas temperaturas reduzem o tempo para o florescimento nas plantas de mamona.

## REFERÊNCIAS

- AHARONI, N.; BLUMENFELD, A.; RICHMOND, A. E. Hormonal activity in detached lettuce leaves as affected by leaf water content. **Plant Physiol.** v59: n.1. p.169-173, 1977.
- BELTRÃO, N. E. M. et al. Fitologia. In: **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. p. 37-61. 2001.
- CAI, H. et al. CaWRKY6 transcriptionally activates *CaWRKY40*, regulates *Ralstonia solanacearum* resistance, and confers high-temperature and high-humidity tolerance in pepper. **Journal of Experimental Botany**. Oxford. v. 66. p. 3163–74. 2015.
- CHIERICE, G. O; CLARO NETO, S. Aplicação Industrial do óleo. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (Eds.). **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa. p. 417-447. 2007.
- CLARKE, S.M. et al. Jasmonates act with salicylic acid to confer basal thermotolerance in *Arabidopsis thaliana*. **New Phytologist**. v182. p.175–87. 2009.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras: série histórica das safras**. 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/seriehistorica-das-safras?start=10>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- COWAN, A. K; CAIRNS A. L. P.; BARTELSRAHM, B. Regulation of abscisic acid metabolism: towards a metabolic basis for abscisic acid-cytokinin antagonism. **Journal of Experimental Botany**. Oxford. v. 50. p. 595–603. 1999.
- COWAN, A. K; RAILTON, I. D. Cytokinins and ancymidol inhibit abscisic acid biosynthesis in *Persea gratissima*. **J Plant Physiol**. v. 130. p. 273–7. 1987.
- DOBRA, J. et al. The impact of heat stress targeting on the hormonal and transcriptomic response in *Arabidopsis*. **Plant Sci Int J Exp Plant Biol**. v. 231. p. 52–61. 2015.
- FAO. Food and Agricultura Organization of the United States Nations. **Faostat**. 2016. Disponível em: <[http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)>. Acesso em: 15 out. 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computerstatisticalanalysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042. 2011.
- FREEMAN, D. C.; HARPER, K. T.; CHARNOV, E. L. Sex change in plants: old and new observations and new hypotheses. **Oecologia**, Berlin, v. 47. p. 222–232. 1980.
- FLEISHON, S. et al. Negative reciprocal interactions between gibberellin and cytokinin in tomato. **New Phytol**. v. 190. p. 609–17. 2011.
- FU, Q. T. et al. Benzyladenine treatment promotes floral feminization and fruiting in a promising oilseed crop *Plukenetia volubilis*. **Ind Crop Prod**. v. 59. p. 295–8. 2014.

FREEMAN, D. C., Harper, K. T. & Charnov, E. L. Sex change in plants: old and new observations and new hypotheses. **Oecologia**. v. 47. p. 222–232. 1980.

GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2008.

GURGEL, J. T. A. **Estudos sobre a mamoneira (*Ricinus communis* L.)**. Piracicaba, 1945. 70p. Tese para concurso para Docente Livre da Cadeira de Citologia e Genética Geral – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP.  
GRAY, W. M. et al. High temperature promotes auxin-mediated hypocotyl elongation in *Arabidopsis*. **Proc Natl Acad Sci U S A**. v. 95. p. 7197–202. 1998.

GOICOECHEA, N.; ANTOLIN, M.C.; SÁNCHEZ-DIAZ, M. Gas exchange is related to the hormonal balance in mycorrhizal or nitrogen-fixing alfalfa subjected to drought. - **Physiol. Plant**. v. 100. p. 989-997. 1997.

JUN, NI. et al. Comparative transcriptome analysis reveals the regulatory networks of cytokinin in promoting the floral feminization in the oil plant *Sapium sebiferum*. **BMC Plant Biology**. v. 18. p. 1- 96. 2018.

KUMAR, S. V. et al. Transcription factor PIF4 controls the thermosensory activation of flowering. **Nature**. v. 484. p. 242–5. 2012.

KUMAR, S. V.; WIGGE, P. A. H2A.Z-containing nucleosomes mediate the thermosensory response in *Arabidopsis*. **Cell**. v. 140. p. 136–47. 2010.

KHRYANIN, V. N. Role of phytohormones in sex differentiation in plants. **Russian Journal of Plant Physiology**. v. 49, n. 4. p. 545–551. 2002.

LOPES, F. F. M. et al. Crescimento inicial de genótipos de mamoneira com sementes submetidas ao envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 12, n. 2, p. 69-79, 2008.

LARA-FIOREZE, A. C. C. et al. Nitrato de prata como indutor de flores masculinas em linhagem pistilada de mamona. **Global Science and Technology**, v. 08, p. 61-69, 2015.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 531p. 2000.  
MOSHKIN, V. A. Economic importance and regions of cultivation of castor. In: \_\_\_\_\_. **Castor**. New Delhi: Oxonian Press, p. 1-3. 1986.

MITTLER, R.; FINKA, A.; GOLOUBINOFF, P. How do plants feel the heat? **Trends Biochem Sci**. v. 37, n.3, p.118–25. 2012.

MAESTRI, E. et al. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. **Plant Mol Biol**. v. 48, p.667–81. 2002.

MAHARJAN, P. M.; CHOE, S. High temperature stimulates *DWARF4* (*DWF4*) expression to increase hypocotyl elongation in *Arabidopsis*. **J Plant Biol.** v. 54. p. 425–9. 2011.

MULLER, M. MUNNE-BOSCH, S. Ethylene response factors: a Key regulatory hub in hormone and stress signaling. **Plant Physiol.** v. 169. p.32–41. 2015.

MOHAN RAM, H.Y.; SETT, R. Induction de male flowers in a pistillate line of *Ricinus communis* L. by silver and cobalt ions. **Planta.** v. 149. p.413-415, 1980.

MACÊDO. et al. Controle de superbrotamento e produtividade de alho vernalizado sob estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.629-635. 2006.

NISHIYAMA R. et al. Analysis of cytokinin mutants and regulation of cytokinin metabolic genes reveals important regulatory roles of cytokinins in drought, salt and abscisic acid responses, and abscisic acid biosynthesis. **Plant Cell.** v. 23. p.2169–83. 2011.

NAMBARA, E.; MARION-POLL, A. Abscisic acid biosynthesis and catabolism. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 56, n. 1, p. 165-185, 2005.

PELEG, Z.; BLUMWALD, E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in **crop plants**. **Curr Opin Plant Biol.** v. 14. p.290–5. 2011.

PAN, B. Z.; XU, Z. F. Benzyladenine treatment significantly increases the seed yield of the biofuel plant *Jatropha curcas*. **J Plant Growth Regul.** v. 30. p.166–74. 2011.  
POSPÍŠILOVÁ, J; SYNKOVA, H.; RULCOVA, J. Cytokinins and water stress. **Biol Plant.** v. 43. p.321–328. 2000.

QU, A. L. et al. Molecular mechanisms of the plant heatstress response. **Biochem Biophys Res Commun.** v.432. p.203–7. 2013.

ROOD, S. B. et al. Influence of water table decline on growth allocation and endogenous gibberellins in black cottonwood. - **Tree Physiol.** v.20. p.831-836, 2000.

SHIFRISS, O. Sex instability in *Ricinus*. **The Weizmann Institute of Science**, Rehovot, Israel, v. 28, p. 265-280, sept. 1956.

SHIFRISS, O. Conventional and unconventional systems controlling sex varioyions in *ricinus*. **The Weizmann Institute of Science**, p.361-388, 1960.

STAVANG, J. A. et al. Hormonal regulation of temperature-induced growth in *Arabidopsis*. **Plant J.** v.60. p.589–601. 2009.

SOBOL, S. et al. Genetic variation in yield under hot ambient temperatures spotlights a role for cytokinin in protection of developing floral primordia. **Plant Cell Environ.** v.37. p.643–57. 2014.

STOLL, M.; LOVEYS, B.; DRY, P. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. - **J. exp. Bot.** v.51. p.1627-1634, 2000.

SPOLEN, W. G. et al. Abscisic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylene production. **Plant Physiol.** v.122. p.967–976. 2000.

SHIFRISS, O. Sex control in cucumbers, **Journal of Heredity.** v.52.p. 5-12. 1961.

TAN, M. et al. Transcriptomic Analysis for Different Sex Types of *Ricinus communis* L. during Development from Apical Buds to Inflorescences by Digital Gene Expression Profiling. **Front. Plant Sci.** 2015.

TAKAHASHI, H.; SUGE, H.; SAITO, T. Sex expression as affected by N 6-benzylaminopurine in staminate inflorescence of *Luffa cylindrica*. **Plant Cell Physiol.** v.21. p.525–36. 1980.

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

TOPPA, E. V. B. et al. Comparison of castor beans hybrids produced by the conventional method and by the cryptic hybrid method. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 2, n. 2, p. 1-12, 2018.

XIA, X. J. et al. Interplay between reactive oxygen species and hormones in the control of plant development and stress tolerance. **J Exp Bot.** v.66, n.10, p.2839–56. 2015.

XING, J. et al. Suppression of shade-or heat-induced leaf senescence in creeping bentgrass through transformation with the *ipt* gene for cytokinin synthesis. **J Am Soc Hortic Sci.** v.134, n.6, p.602–9. 2009.

XU, Y.; HUANG, B. Effects of foliar-applied ethylene inhibitor and synthetic cytokinin on creeping bentgrass to enhance heat tolerance. **Crop Sci.** v.49, n.5, p.1876–84. 2009.

XIONG, L.; ZHU, J. K. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. **Plant, Cell and Environment**, Nottingham, v. 25, n. 2, p. 131-139, 2002.

WIT, M.; LORRAIN, S.; FANKHAUSER, C. Auxin-mediated plant architectural changes in response to shade and high temperature. **Physiol Plant.** v.151, n.1, p.13–24. 2014.

YANG, J. C. et al. Hormonal changes in the grains of rice subjected to water stress during grain filling. - **Plant Physiol.** v.127, p.315-323. 2001.

ZHOU, J. et al. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mediates the crosstalk of brassinosteroid and abscisic acid in tomato responses to heat and oxidative stresses. **J Exp Bot.** v.65, n.15, p.4371–83. 2014.

ZWACK, P. J.; RASHOTTE, A. M. Interactions between cytokinin signalling and abiotic stress responses. **J Exp Bot.** v.66, n.16, p.4863–71. 2015.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Foi observado relevante potencial para o uso da câmara de crescimento desenvolvida, facilitando a seleção de plantas já que pode simular ambientes de qualquer lugar do país.

Futuros estudos com o déficit hídrico isolado e junto com altas temperaturas podem elucidar o momento que ocorre a reversão sexual nas plantas de mamona.



## REFERÊNCIAS

- ALLAN, G. et al. Worldwide genotyping of castor bean germplasm (*Ricinus communis* L.) using AFLPs and SSRs. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 55, n. 3, p. 365-378, 2008.
- AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (Ed.). **O Agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. rev. amp. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 506 p.
- BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D. **Informações sobre o sistema de produção utilizados na ricinocultura na região Nordeste, em especial o semiárido e outros aspectos ligados a sua cadeia**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006, 6 p. (Comunicado Técnico, 213).
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (Eds.). **O Agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2007. 116-137 p.
- BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D. **Informações sobre o sistema de produção utilizados na ricinocultura na região Nordeste, em especial o semiárido e outros aspectos ligados a sua cadeia**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006, 6 p. (Comunicado Técnico, 213).
- BELTRÃO, N. E. M. et al. Fisiologia da mamoneira, cultivar BRS 149 Nordestina na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas**, Campina Grande: Embrapa Algodão, v. 7, n. 1, p. 659-664. jan-abr., 2003.
- BELTRÃO, N. E. M. et al. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2001. cap. 2, p. 37-62.
- BERTOZZO, F. **Avaliação da seleção para aumento da porcentagem de flores pistiladas em mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2009. 36 f. Dissertação (mestrado em Agronomia – Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- BORÉM, A. **Hibridação artificial de plantas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625 p.
- BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. 969 p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras: série histórica das safras**. 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/seriehistorica-das-safras?start=10>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- CHIERICE, G. O; CLARO NETO, S. Aplicação Industrial do óleo. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (Eds.). **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2007. 417-447 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United States Nations. **Faostat**. 2016. Disponível em: <[http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)>. Acesso em: 15 ago. 2018.

GURGEL, J. T. A. **Estudos sobre a mamoneira (*Ricinus communis* L.)**. Piracicaba, 1945. 70p. Tese para concurso para Docente Livre da Cadeira de Citologia e Genética Geral – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP.

HEMERLY, F. X. **Mamona: Comportamento e tendências no Brasil**. Brasília: Embrapa - Departamento de Informação e Documentação. 1981. 63p.

KAYANI, M. Z.; SARWAR, G.; MUHAMMAD, S. Control of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) on tomato plants by using root extracts of plants. **Journal of Agriculture in the Tropics and Subtropics**, v. 102, n. 2, p. 143-146, 2001.

KHRYANIN, V. N. Role of phytohormones in sex differentiation in plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 49, n. 4, 2002, p. 545–551.

LARA, A. C. C. **Expressão sexual em linhagens de mamona (*Ricinus communis* L.)**. 62f. Dissertação (mestrado em Agronomia – Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Botucatu-SP, 2010.

LORENZI, H. (Ed.). **Plantas daninhas do Brasil: aquáticas, terrestres e tóxicas**. 3. ed. Nova Odessa-SP: Plantarum, 2000. 608p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cultivarweb**. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)>. 2016. Acesso em: 15 ago. 2018.

MCSORLEY, R.; DICKSON, D. W. Effect of tropical rotation crops on *Meloidogyne incognita* and other plant-parasitic nematodes. **Journal of Nematology**, v. 27, n. 45, p. 533-544, 1995.

MOSHKIN, V. A. Economic importance and regions of cultivation of castor. In: \_\_\_\_\_. **Castor**. New Delhi: Oxonian Press, 1986. 1-3 p

MYCZKOWSKI, M. L. **Seleção para aumento da porcentagem de flores femininas na população FCA-UNESP-PB de mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2006. 33 f. Tese (doutorado em Agronomia – Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

NASCIMENTO, A. L. et al. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 145-151, 2011.

OLSNES, S. The history of ricin, abrin and related toxins. **Toxicon**, v. 44, p. 361-370, 2004.

- NGER, E. S. et al. *Ricinus communis* L. **Field crops manual**, Purdue, 1997. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/castor.html>>. Acesso em: 16 de ago. 2018.
- POPOVA, G. M.; MOSHKIN, V. A. Botanical classification. In: MOSHKIN, V. A. (Eds) **Castor**. New Delhi: Amerinda. 1986. p. 11-27.
- PUTTINI, F. A. **Caracterização química e agro-morfológica de genótipos de mamona (*Ricinus communis* L.)**. 92f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas-SP, 2014.
- RODRIGUES, R. F. O.; OLIVEIRA, F.; FONSECA, A. M. As folhas de Palma Christi – *Ricinus communis* L. *Euphorbiaceae Jussieu*. Revisão de conhecimentos, **Revista Lecta**, Bragança Paulista, v. 20, n. 2, p. 183-194, jul./dez. 2002.
- SAVY FILHO, A. et al. IAC-2028: nova cultivar de mamona. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 449-452, 2007.
- SCHOLZ, V.; SILVA, J. N. Prospects and risks of the rise of castor oil as a fuel. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 2, p. 95-100, 2008.
- SILVA, A. G. et al. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura e cultivo da mamona em sucessão no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 40, n. 10, p. 2092-2098, 2010.
- SHIFRISS, O. Conventional and unconventional systems controlling sex variations in *ricinus*. **The Weizmann Institute of Science**, p.361-388, 1960.
- SOUZA-SCHLICK, G. D. et al. Desempenho da mamoneira IAC 2028 em função do espaçamento entre fileiras e população de plantas na safrinha. *Bragantia*, Campinas v. 70, n. 3, p. 519-528, 2011.
- TÁVORA, F. J. A. **A cultura da mamona**. Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.
- VEIGA, R. F. A.; SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V. **Descritores mínimos para caracterização e avaliação de mamoneira (*Ricinus communis* L.) aplicados no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, IAC, 1989, 16p. (Boletim técnico, 125).
- VENTURA D. A. M. F.; ALVES K. B.; SANTOS M. K. V. A. Análise comparativa entre o biodiesel de girassol e o biodiesel de mamona. In: IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. **Anais**. João Pessoa e Campina grande: Embrapa, 2010. 7-12 p.
- VIEIRA, R. M.; LIMA, E. F. Importância sócio-econômica e melhoramento genético da mamoneira no Brasil. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Eds.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro**. Petrolina: Embrapa, 1999. 913-920 p.
- VOLLMANN, J.; RAJCANI, J. **Oil crops**. New York: Springer, 2009. 548 p.

WEISS, E. A. **Oilseed crops**. London: Longman, 1983. 659 p.