

ODILA FRISS EBERTZ

**ANÁLISE DE CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE HÍBRIDOS DE MAMONA
DE BAIXO PORTE EM FUNÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE FILEIRAS**

**Botucatu
2021**

ODILA FRISS EBERTZ

**ANÁLISE DE CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE HÍBRIDOS DE MAMONA
DE BAIXO PORTE EM FUNÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE FILEIRAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para
obtenção do título de Mestre em Agronomia-
Agricultura.

Orientador: Maurício Dutra Zanotto

Coorientador: Rogério Peres Soratto

Botucatu

2021

E16a

Ebertz, Odila Friss

Análise de crescimento e produtividade de híbridos de mamona de baixo porte em função do espaçamento entre fileiras / Odila Friss

Ebertz. -- Botucatu, 2021

82 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu

Orientador: Maurício Dutra Zanotto

Coorientador: Rogério Peres Soratto

1. Ricinus communis. 2. Crescimento vegetal. 3. Densidade populacional. 4. Mecanização do cultivo. 5. Produtividade. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

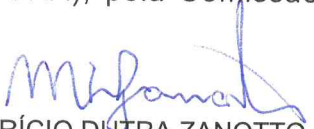
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DE CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE HÍBRIDOS DE MAMONA DE BAIXO PORTE EM FUNÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE FILEIRAS

AUTORA: ODILA FRISS EBERTZ

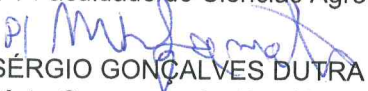
ORIENTADOR: MAURÍCIO DUTRA ZANOTTO

COORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

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



Prof. Dr. MAURÍCIO DUTRA ZANOTTO (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Pesquisador Dr. SÉRGIO GONÇALVES DUTRA (Participação Virtual)
IMAmt / Instituto Mato-Grossense do Algodão



Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 26 de janeiro de 2021

Àos meus amados pais,

Osmar e Olinda,

dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu Senhor Deus, pelo dom da vida, por manter minha saúde e cuidar de cada detalhe para que essa conquista se tornasse possível.

Aos meus pais, Osmar Friss e Olinda Ebertz Friss, que batalharam dia por dia para dar o melhor à mim e às minhas irmãs. Minha gratidão eterna ainda será muito pouco!

Às minhas irmãs Odete, Olga, Olivia e Odemia, por todo apoio, carinho e motivação.

Ao meu amor, Rogério Oliveira dos Santos, por todo incentivo, afeto e companheirismo expresso, mesmo que a mais de 3000 km de distância.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto, pela oportunidade em realizar este projeto, pelo apoio, paciência, confiança, e conhecimentos compartilhados, bem como por toda sua contribuição em minha formação.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, pelo auxílio na elaboração e condução deste projeto, assim como pela prestatividade e pelos ensinamentos repassados.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva e Dr. Sérgio Gonçalves Dutra pela disponibilidade, dedicação e conselhos.

À Prof. Dr. Maria Márcia Pereira Sartori, pela disponibilidade e suporte estatístico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante o mestrado.

Ao Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMA-MT) pelo fornecimento de sementes de mamona.

À Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, por disponibilizar suas instalações e laboratórios para realização dos experimentos, e a todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Produção Vegetal (DPV) pelos ensinamentos.

Aos colaboradores de campo pelo apoio constante na execução de atividades inerentes à pesquisa, em especial Ciro Oliveira, Casimiro Alves e Milton Vieira.

Aos colegas de pós-graduação pelos momentos de descontração, de trabalho e de amizade, em especial à Sebastião Oliveira Neto, Leonardo Androcioni,

Keyse Mendes, Michelane Lima, Otávio Siqueira, Amanda Gilabel, Gabriela Piedade e Ivanayra Mendes.

Aos estagiários do Laboratório de Melhoramento Vegetal, Louise Shinjo, Beatriz Sávio, Guilherme Gonçalves, Giovanni Stocco e Tiago Galvão.

Às amigas da república estudantil Xêro no Cangote, em especial à Ana Laura, Thaís e Estéfany, pela boa convivência, pelos momentos de confraternização e por tornar os dias em Botucatu menos solitários.

Aos amigos da graduação (UFOPA) que me incentivaram e me deram todo apoio nesse desafio, bem como estiveram prontos a me receber com todo carinho em Santarém a cada retorno.

À todos aqueles que contribuíram para a minha formação pessoal e acadêmica, e que de alguma forma fizeram parte desse trabalho e dessa conquista.

“Me recordo de cada flor que veio à tona só porque tive coragem de cuidar da semente. Só porque não me acovardei mesmo que tantas vezes com todo medo do mundo.”

Ana Jácomo

RESUMO

Os programas de melhoramento genético da mamona têm apostado no desenvolvimento de cultivares e híbridos de baixo porte para alavancar a produtividade dessa cultura, por meio do cultivo mecanizado. A definição do espaçamento entre fileiras e da população de plantas adequada é uma tecnologia simples de ser empregada para maximização da produção. Este estudo teve como objetivo analisar a resposta em crescimento e produtividade de três híbridos de mamona, de baixo porte, quando cultivados em espaçamento convencional e reduzido entre fileiras. O experimento foi conduzido na segunda safra (outono-inverno) do ano de 2019, em Botucatu-SP, utilizando delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 2 com 4 repetições. O crescimento das plantas foi analisado através da avaliação da altura de plantas, diâmetro do caule, área foliar e partição de massa de matéria seca, a cada 14 dias durante todo o ciclo, bem como por meio de índices fisiológicos. Por ocasião da colheita, foram avaliadas características agrônômicas pertinentes ao porte de plantas e produtividade de grãos e óleo. Houve, ao menos em um momento durante o ciclo, interação significativa entre os híbridos e espaçamentos para altura de plantas, diâmetro do caule, índice de área foliar, massa seca do caule e massa seca de estruturas reprodutivas. Plantas cultivadas sob espaçamento convencional apresentam maior velocidade no incremento de biomassa inicial. A taxa de crescimento relativo decresceu linearmente, durante todo o ciclo, para todos os tratamentos de forma semelhante. A taxa assimilatória líquida permaneceu estável para todos os tratamentos até os 84 DAE, com posterior decréscimo até o final do ciclo. A maior competição entre plantas e o autossombreamento conferiram às plantas cultivadas em espaçamento reduzido maiores razão de área foliar e área foliar específica. Plantas cultivadas sob espaçamento convencional apresentaram maior acúmulo de biomassa acima do solo, assim como maior número de racemos por planta, no entanto, em virtude do aumento da densidade de plantas, tratamentos submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido, apresentam maior produtividade de biomassa ao longo do ciclo, e tiveram sua produtividade de grãos equiparada àqueles cultivados em espaçamento convencional. Diferenças entre o acúmulo e partição de biomassa dos híbridos são observados somente ao início do ciclo, não havendo evidências de que a vantagem inicial exerça influência sobre o acúmulo de biomassa final, assim como sobre a

produtividade de grãos. Os resultados sugerem que a recomendação do híbrido, assim como do espaçamento entre fileiras a ser utilizado, deve ser realizada com base nos custos de produção.

Palavras-chave: *Ricinus communis*. Crescimento vegetal. Densidade populacional. Mecanização do cultivo. Produtividade.

ABSTRACT

The castor breeding programs have focused on the development of short height cultivars and hybrids to leverage the yield of this crop, through mechanized cultivation. Defining the row spacing and the appropriate plant population is a simple technology to be used to maximize production. This study aimed to analyze the growth and yield response of three short height castor hybrids, when grown in conventional and reduced row spacing. The experiment was carried out in the second harvest (autumn-winter) of the year 2019, in Botucatu-SP, using a randomized block design, in a 3 x 2 factorial scheme with 4 replications. Plant growth was analyzed by evaluating plant height, stem diameter, leaf area and dry matter partition, every 14 days throughout the cycle, as well as through physiological indexes. At harvest time, agronomic characteristics relevant to plant size and seed and oil yield were evaluated. There was, at least at one point during the cycle, a significant interaction between hybrids and row spacing for plant height, stem diameter, leaf area index, dry mass of stem and dry mass of reproductive structures. Plants grown under conventional spacing present a higher speed in the increment of initial biomass. The relative growth rate decreased linearly, throughout the cycle, for all treatments in a similar way. The net assimilation rate remained stable for all treatments until 84 DAE, with a subsequent decrease until the end of the cycle. The greater competition between plants and self-shading gave plants grown in reduced row spacing greater ratio of leaf area and specific leaf area. Plants grown under conventional row spacing showed a greater accumulation of biomass above the ground, as well as a greater number of racemes per plant, however, due to the increase in plant density, treatments submitted to cultivation in reduced row spacing, present higher biomass productivity along of the cycle, and had their seed yield matched to those grown in conventional spacing. Differences between the accumulation and partition of biomass of the hybrids are observed only at the beginning of the cycle, with no evidence that the initial advantage has an influence on the accumulation of final biomass, as well as on seed yield. The results suggest that the recommendation of the hybrid, as well as the row spacing to be used, should be carried out based on production costs.

Keywords: *Ricinus communis*. Plant growth. Population density. Mechanization of cultivation. Seed yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação pluvial (■), temperatura máxima (—) e temperatura mínima (—) diárias registradas na área experimental entre 22 de fevereiro de 2019 (semeadura) e 27 de agosto de 2019 (colheita), bem como data de emergência de plântulas (E) e de florescimento do primeiro racemo (F).....	32
Figura 2 - Altura de plantas (cm) de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	42
Figura 3 - Diâmetro do caule (mm) de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	45
Figura 4 - Área foliar (cm ²) de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	48
Figura 5 - Índice de Área foliar de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	51
Figura 6 - Massa da matéria seca do caule de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	54
Figura 7 - Massa seca foliar de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	56
Figura 8 - Massa da matéria seca de estruturas reprodutivas de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	59
Figura 9 - Massa da matéria seca total por planta de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	61
Figura 10 - Massa da matéria seca total por hectare de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	62
Figura 11 - Taxa de Crescimento Absoluto de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	65
Figura 12 - Taxa de Crescimento Relativo de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	66

Figura 13 - Taxa Assimilatória Líquida de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	67
Figura 14 - Razão de Área Foliar de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	68
Figura 15 - Área Foliar Específica de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	70

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 0,20 m, antes da instalação dos experimentos.....33
- Tabela 2** - Altura (cm) de híbridos de mamona aos 28, 98 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....39
- Tabela 3** - Altura (cm) de híbridos de mamona aos 14, 42, 56, 70, 84, 112, 126 e 140 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....41
- Tabela 4** - Diâmetro de caule (mm) de híbridos de mamona aos 28 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....43
- Tabela 5** - Diâmetro de caule (mm) de híbridos de mamona aos 14, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....44
- Tabela 6** - Área foliar (cm²) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....46
- Tabela 7** – Índice de área foliar de híbridos de mamona aos 56 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....48
- Tabela 8** - Índice de área foliar de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 70, 84, 98, 112, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....50
- Tabela 9** - Massa seca de caule (g) de híbridos de mamona aos 112 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....51
- Tabela 10** - Massa seca de caule (g) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....53
- Tabela 11** - Massa seca foliar (g) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....55

Tabela 12 - Massa seca de estruturas reprodutivas (g) de híbridos de mamona aos 70 e 84 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	57
Tabela 13 - Massa seca de estruturas reprodutivas (g) de híbridos de mamona aos 28, 42, 56, 98, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	58
Tabela 14 - Massa seca total por planta (g) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	60
Tabela 15 - Massa seca total por hectare (kg ha ⁻¹) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	63
Tabela 16 - Sobrevivência de plantas, altura da inserção do racemo principal, número de nós até a inserção do racemo principal, comprimento médio dos racemos, número de racemos por planta e número de frutos por racemo de híbridos de mamona submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	71
Tabela 17 - Grãos por fruto, massa de cem grãos, índice de colheita, produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo de híbridos de mamona submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.....	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1	Localização e caracterização da área experimental.....	32
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	33
3.3	Condução	33
3.4	Amostragem de plantas em campo e variáveis avaliadas	34
3.4.1	Análise de crescimento	34
3.4.2	Características agronômicas	37
3.5	Análise estatística.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma planta oleaginosa, que se destaca pelo alto valor comercial e versatilidade do óleo presente em suas sementes. Este óleo apresenta peculiaridades como a solubilidade em álcool e o excelente desempenho em condições extremas de temperatura e pressão, podendo ser explorado pelas indústrias de lubrificantes, tintas, isolantes, anilinas, desinfetantes, germicidas, colas, aderentes, tintas de impressão, vernizes, matéria plástica, fungicidas, inseticidas, cosméticos e produtos farmacêuticos (SCHMIDT et al., 2008). O elevado consumo de óleo de rícino, combinado à estagnação das tecnologias de produção de mamona, desencadeiam um cenário cuja produção mundial é insuficiente para atender a demanda global (SEVERINO et al., 2012; ANJANI, 2012; LU et al., 2019).

A maior parte da produção mundial de mamona ainda é colhida manualmente, elevando os custos de produção pela necessidade de contratação de mão de obra abundante (OSWALT et al., 2014). Isto deve-se, principalmente, ao uso de variedades de porte médio ou alto, com hábito de crescimento indeterminado e ciclo perene, que apresentam alta desuniformidade na maturação dos frutos, entre e dentro dos racemos, havendo necessidade de escalonamento da colheita.

Uma alternativa viável para elevação da produtividade e redução nos custos de produção, por meio da mecanização da colheita, está no desenvolvimento e introdução de cultivares híbridas nos campos de cultivo de mamona. As principais vantagens do cultivo de híbridos são a exploração da heterose para elevação da produtividade, além da maior uniformidade das plantas em campo. Neste sentido, programas de melhoramento genético da cultura tem conduzido pesquisas buscando desenvolver híbridos que expressem alta capacidade produtiva, adaptação às condições locais de cultivo, resistência ou tolerância a estresses bióticos e abióticos, e com fenótipo que permita a mecanização do cultivo.

Sabe-se que o crescimento e a produtividade vegetal resultam da interação entre o genótipo, ambiente e o manejo cultural empregados. Portanto, além do desenvolvimento de cultivares de mamona produtivas e aptas à mecanização, é essencial atentar-se ao efeito das condições ambientais nos processos de crescimento, desenvolvimento e produtividade de cada genótipo, assim como ao uso de tecnologias para o manejo da cultura (AIRES et al., 2011). Neste sentido, a análise

de crescimento vegetal, baseada na produção biológica de plantas e comunidades vegetais, vem sendo largamente utilizada para melhor compreensão dos efeitos genéticos e ambientais sobre o crescimento e a produtividade de culturas agrícolas.

Entre as tecnologias disponíveis para maximizar a produtividade em campo, a adequação do espaçamento entre fileiras, juntamente com a definição de população de plantas ideal, se destaca como uma das tecnologias mais simples de serem empregadas, porém capaz de exercer grande impacto sobre a produtividade de grãos e também sobre os tratos culturais empregados na condução da lavoura (SEVERINO et al., 2012). Para cultivares e híbridos de mamona de baixo porte, a população de plantas é considerada o principal componente produtivo, tornando essencial o conhecimento dos efeitos de diferentes espaçamentos no crescimento e produtividade de cada novo genótipo, para a correta recomendação do espaçamento a ser utilizado na implantação de lavouras.

Assim, nesta pesquisa, o objetivo foi acessar informações mais detalhadas sobre a assimilação, acúmulo e partição de fotoassimilados ao longo do ciclo da cultura da mamona, fazendo uso da análise de crescimento e avaliação da produtividade de três híbridos de mamona de baixo porte, submetidos a espaçamentos reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras, nas condições edafoclimáticas do município de Botucatu, SP, em cultivo de segunda safra, fornecendo base mais ampla para o entendimento da regulação biológica que dita a produção final de grãos e de óleo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A mamona (*Ricinus communis* L.), única espécie descrita para gênero *Ricinus*, é uma cultura oleaginosa da família das Euphorbiaceae (ANJANI, 2012). O maior número de evidências sugere que seu centro de origem seja a Etiópia, no continente africano (SCHMIDT et al., 2008). No Brasil, a espécie foi introduzida pelos colonizadores portugueses com o objetivo de a tornar fonte de combustível para lampiões utilizados na iluminação das cidades, além de óleo lubrificante para uso em eixos de carroças (SANTOS et al., 2007; SCHMIDT et al., 2008). Sua adaptação imediata ao clima tropical brasileiro favoreceu sua dispersão em todo o território nacional, sendo encontrada atualmente tanto em sua forma espontânea como em cultivos comerciais (SAVY FILHO, 2005; SANTOS, et al., 2007).

A mamoneira é uma planta com metabolismo fotossintético C3, exigente quanto ao calor e luminosidade, desenvolvendo-se bem com temperaturas entre 20°C e 30°C, tendo como ótimo 23°C, momento em que a planta atinge o equilíbrio do ponto de compensação térmico (BELTRÃO et al., 2007). Se desenvolve em condições de baixa disponibilidade hídrica, necessitando de aproximadamente 700 mm de precipitação pluvial, ao longo do ciclo, para atingir boa produtividade (SAVY FILHO, 2005). Segundo Beltrão et al. (2007) a mamona deve ser cultivada em altitudes superiores a 300 metros, e evitando solos com problemas de drenagem. Porém, estudo realizado por Lopes et al. (2014) conclui que produtividades superiores a média nacional brasileira, podem ser alcançadas em áreas de baixa altitude.

O óleo da mamona, também conhecido no Brasil como óleo de rícino, é o principal produto obtido do processamento das sementes, e possui alta aplicabilidade na indústria de cosméticos, lubrificantes, polímeros, farmacêuticos, na substituição do petróleo na indústria e também como combustível (CHIERICE; NETO, 2007). Isto se deve a predominância do ácido graxo ricinoléico (90%) em sua composição, que confere estabilidade e alta viscosidade ao óleo, dentro de uma ampla faixa de variação de temperatura (SAVY FILHO, 2005; ANJANI, 2012).

A torta de mamona é um subproduto da sua industrialização, que apesar de possuir alto teor de proteínas, geralmente não é empregada na alimentação animal por conter componentes tóxicos e de difícil e onerosa inativação, e portanto tem sido empregada majoritariamente como fertilizante na restauração de terras esgotadas (SANTOS et al., 2007).

O Brasil, que entre 1978 e 1982 foi o maior produtor e exportador de óleo de mamona do mundo, atualmente ocupa o lugar de quarto maior produtor de mamona, perdendo para a Índia, Moçambique e China (FAO, 2017). O baixo custo de mão de obra nos principais países concorrentes e a ausência de políticas públicas federais de incentivo ao avanço e à inovação tecnológica da cultura, foram os principais fatores responsáveis pela perda de posições do Brasil no ranking mundial (SÁ et al., 2015).

Deve-se considerar também, a perda de competitividade da mamona em relação as demais culturas oleaginosas e alimentícias já produzidas de forma mecanizada no Brasil. A alta demanda por mão de obra para colheita da mamona e o custo elevado da força de trabalho no país, limitaram seu cultivo a propriedades de área reduzida, praticantes da agricultura familiar (SANTOS et al., 2007).

Na safra 2019/2020 o Brasil produziu cerca de 951 kg ha⁻¹ de mamona em uma área de 45,5 mil ha, sendo esta a maior produtividade alcançada desde a safra 2004/2005 (CONAB, 2020). Entre os estados produtores, a Bahia merece destaque por concentrar cerca de 95% de toda a produção nacional, além de expressar maior produtividade (960 kg ha⁻¹).

Porém, em safras anteriores (2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019), devido ao baixo nível tecnológico empregado no cultivo tradicional de mamona, em que incluem-se o uso de variedades de porte médio e alto, o cultivo consorciado e a colheita estritamente manual, a Bahia apresentava produtividades inferiores às obtidas no estado de Mato Grosso, onde a mamona foi inserida na entressafra, através de esforços do melhoramento genético da cultura para a mecanização do cultivo, atingindo produtividades superiores a 900 kg ha⁻¹.

No Cerrado brasileiro, o uso de cultivares de baixo porte e ciclo anual, aliado ao uso de insumos modernos e a possibilidade de cultivo mecanizado da semeadura à colheita, tornaram a mamona mais competitiva frente as culturas tradicionais, e, consequentemente, mais atraente para médios e grandes produtores, que visam usufruir dos benefícios proporcionados pelo cultivo de mamona na entressafra.

A baixa precipitação pluvial durante a entressafra do Cerrado brasileiro limita o desenvolvimento de algumas espécies, fazendo com que poucas culturas sejam opções viáveis nesse período. Por esse motivo, grande parte das áreas agrícolas permanecem em pousio ou ocupadas com plantas de cobertura como o milheto e a

crotalária, que não oferecem retorno econômico direto ao produtor (SÁ et al., 2015). A mamoneira por sua vez, possui sistema radicular pivotante, profundo, vigoroso e com formação de numerosas radículas ao longo das raízes, conferindo maior área de absorção de água e nutrientes do solo, sendo capaz de desenvolver-se e atingir boa produtividade em condições de baixa disponibilidade hídrica (BELTRÃO; AZEVEDO, 2007).

Além de garantir rentabilidade ao produtor pelo alto valor agregado de suas sementes, o cultivo de mamona proporciona inúmeros benefícios ao solo, como a maior aeração, exploração de camadas mais profundas, maior capacidade de retenção e distribuição de água no solo (KOTZ, 2012), aumento no teor de N total, C orgânico e biomassa microbiana no solo (ALGUACIL et al., 2012). Outro atrativo do cultivo de mamona na entressafra é decorrente da resistência desta espécie em relação a fitonematóides, podendo ser utilizada como forma de manejo para redução da população de nematoides de galha (*Meloidogyne* spp.) e de nematoides de cisto (*Heterodera glycines*) (SÁ et al., 2015).

A inserção do cultivo mecanizado de mamona na entressafra brasileira, demandou materiais genéticos com características morfofisiológicas que se distinguem das variedades utilizadas no cultivo tradicional. O tipo de planta considerado ideal para mecanização, precisa estar adaptada as condições específicas de cultivo, possibilitando os tratos culturais e a colheita mecânica, com plantas cuja altura não ultrapasse 1,5 m, ciclo máximo de 140 dias, produção de 1 a 2 racemos por planta, diâmetro de caule fino, indeiscência parcial das capsulas e alto potencial produtivo (PIVETTA et al., 2015).

Características como teor e qualidade de óleo, incremento no número de flores femininas e resistência ou tolerância a estresses bióticos ou abióticos também são considerados no melhoramento da mamona para esse sistema de cultivo, por estarem estreitamente relacionados com a capacidade de rendimento da cultura (PIVETTA et al., 2015; SAVY FILHO, 2005; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ; VELASCO, 2012).

A exigência por plantas de porte baixo está relacionada à altura de corte das colhedoras mecânicas. A altura de plantas de mamona é determinada pelo número de nós e o comprimento dos internódios, estas características exercem influência na

altura de inserção do primeiro racemo e consequentemente, na duração do ciclo vegetativo da planta (SAVY FILHO, 2005).

Neste sentido, a descoberta do gene mutante recessivo *dwarf-internode* é considerada um dos maiores avanços no melhoramento genético da mamona por conferir porte anão às plantas por meio do encurtamento dos internódios, não afetando o número de nós, a deiscência das cápsulas e as características que definem a monoícia ou a presença de racemos pistilados na planta, o que permite a seleção da altura de forma independente (AULD et al. 2009). Outra forma de se reduzir a altura de plantas é por meio da seleção para número reduzido de nós e comprimento de internódio reduzido (OLIVEIRA; ZANOTTO, 2008).

Como ainda não se tem dados concretos sobre o uso de plataformas específicas para a colheita de mamona, a exigência quanto ao diâmetro do caule também se deve a adequação à capacidade de corte das colhedoras mecânicas. Até o momento, cultivares desenvolvidas para esse sistema de produção devem apresentar diâmetro do caule inferior a 3 cm para facilitar o corte pelas colhedoras (OLIVEIRA NETO et al., 2019). Com a redução do diâmetro do caule, as cultivares também devem ser observadas em relação a possibilidade de acamamento das plantas.

O hábito de crescimento e o número de ramificações desenvolvidas pela mamoneira são fatores de interesse econômico que devem ser manejados para o cultivo mecanizado. A espécie é caracterizada pela formação de um racemo em cada ramo, e pelo desenvolvimento sucessivo de ramos laterais logo abaixo de cada inflorescência (SAVY FILHO, 2005; BELTRÃO et al., 2011).

Esta particularidade, além de conferir uma maturação desuniforme entre e dentro dos racemos (BELTRÃO et al., 2011), faz com que as plantas continuem vegetando em condições ambientais favoráveis, dificultando a definição do ciclo da cultura e a realização da colheita mecanizada (FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ; VELASCO, 2012), sendo mais satisfatório o uso de híbridos ou cultivares com um ou dois racemos por planta e com hábito de crescimento determinado, encerrando o ciclo precocemente (SAVY FILHO, 2005).

O número de racemos por planta é um dos principais componentes de produção da mamoneira, juntamente com a população de plantas, o número de frutos por racemo e o peso dos grãos. A redução no número de racemos por planta, para

adequar as cultivares ao cultivo mecanizado, faz com que a população de plantas se torne o componente de maior destaque na equação de produtividade da mamona para esse sistema de produção (BELTRÃO et al., 2007). A redução na produção de grãos por planta, provocada pelo número reduzido de racemos, é compensada, nesse caso, pelo uso de maior população de plantas.

Além do uso de maior densidade de plantas por área, possível através do uso de cultivares de porte baixo, o incremento na porcentagem de flores femininas também atua na compensação da produtividade da mamona, afetada negativamente pela redução do número de racemos por planta.

A inflorescência da mamoneira geralmente é um racemo monóico com flores monoclinas, constituído por flores femininas (70 a 50%) no ápice, e masculinas (30 a 50%) na base, havendo exceções em que as flores masculinas encontram-se esparsas entre as femininas e raramente flores hermafroditas. Entretanto a seleção é capaz de gerar linhagens com racemos exclusivamente pistilados (NÓBREGA et al., 2007; ANJANI, 2012). Esse incremento na taxa de flores pistiladas resulta em maior número de frutos por racemo, porém características como o comprimento de racemos, densidade de frutos e peso de sementes também deve ser observados.

A mamona, assim como outras culturas, pode apresentar deiscência dos frutos, com liberação de sementes, quando os mesmos atingem a maturação fisiológica. No sistema de cultivo tradicional, possíveis prejuízos causados por esse processo são minimizados com a realização da colheita de forma gradual, de acordo com a maturação dos racemos. Porém, a colheita de frutos imaturos reduz o teor e a qualidade do óleo extraído (LAVANYA et al., 2018).

No sistema de cultivo mecanizado, onde a colheita é realizada em um único momento, há a preocupação de que as cultivares se comportem como indeiscentes para minimizar as perdas de sementes antes e durante o processo de colheita de mamona (SAVY FILHO, 2005). No entanto, os esforços do melhoramento genético produziram cultivares cujos frutos se tornaram extremamente resistentes a quebra, evidenciando a necessidade de cultivares com indeiscência parcial, onde a debulha é facilitada e admite-se que as membranas que cobrem as sementes permaneçam intactas mesmo após a quebra dos frutos (LAVANYA et al., 2018).

Para atingir o ideótipo de planta visado na mecanização da ricinocultura, o melhoramento genético utiliza métodos desenvolvidos para autógamias em conjunto com métodos utilizados em alógamas. Isso é possível devido ao sistema reprodutivo misto da mamoneira, que se caracteriza pela ocorrência simultânea de autofecundações e cruzamentos naturais (FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ; VELASCO, 2012). A hibridação merece destaque por ser utilizada como fator de geração de variabilidade em uma população, propiciando o início da seleção por outros métodos, e também na exploração da heterose, promovida pelo cruzamento entre dois germoplasmas com boas características (SAVY FILHO, 2005; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ; VELASCO, 2012).

A heterose ocorre quando o híbrido heterozigoto apresenta desempenho superior quando comparado aos pais homozigotos (GUPTA et al., 2012). Assim, a exploração da heterose, geralmente aplicado a culturas alógamas, também pode se aplicar para o desenvolvimento de cultivares híbridas de mamona, representando um meio eficaz para aumentar o rendimento.

Na cultura da mamona a heterose pode ser expressa em diferentes características, como a produtividade de sementes, florescimento precoce, número de racemos por planta, peso de sementes, teor de óleo e velocidade de emergência (AULD et al. 2009). A vantagem principal do rendimento de híbridos simples tem sido associada com a sua forte tendência a feminilidade, o que aumenta o número de cápsulas por inflorescência. A heterose máxima para a produção de grãos foi relacionada a ocorrência de cruzamentos envolvendo uma matriz com um número alto de racemos e outra com um número alto de cápsulas por racemo (FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ; VELASCO, 2012).

A obtenção de híbridos simples envolve o cruzamento entre duas linhagens endogâmicas. Na cultura do milho, a formação dessas linhagens promove um alto grau de depressão, levando ao descarte de muitas plantas doentes e debilitadas em meio ao processo, além da baixa produção de sementes pela linhagem feminina. Para minimizar os custos de produção e tornar mais viável o uso comercial, outros tipos de híbridos são produzidos.

Híbridos duplos resultam do cruzamento de dois híbridos simples, e dessa forma se obtém um número maior de sementes da fêmea que já apresenta o vigor do híbrido simples. Híbridos triplos resultam do cruzamento entre um híbrido simples como

receptor e uma linhagem endogâmica como doadora de pólen (MIRANDA FILHO; NASS, 2001).

Na cultura da mamona, a depressão endogâmica não é expressiva durante as autofecundações, e a ocorrência de linhagens pistiladas reduz os custos com a emasculação nos campos de cruzamento, tornando-os mais simples de serem realizados, e a exploração de heterose um meio tangível para elevação da produtividade (FREIRE et al., 2007). No entanto, o desenvolvimento de híbridos simples, quando comparado ao desenvolvimento de híbridos triplos, continua sendo mais demorado e requerendo maiores investimentos dos produtores de sementes genéticas.

Tendo o melhoramento genético avançado no desenvolvimento de híbridos produtivos e com porte que permita o cultivo mecanizado da mamona, deve-se ainda, procurar conhecer o desempenho desses materiais em campo, buscando definir as práticas culturais mais adequadas. Como descrito anteriormente, a população de plantas torna-se o componente de produção mais importante quando cultivares híbridas de baixo porte são conduzidas em campo (BELTRÃO et al., 2007).

A população de plantas, ou densidade populacional, é definida como sendo o resultado quantitativo do arranjo de plantas, formado pelo espaçamento entre fileiras e a distância entre as plantas dentro da fileira (AZEVEDO et al., 2007). A correta escolha da população de plantas é considerada uma prática cultural extremamente simples, mas que exerce grande impacto sobre a produtividade e sobre diversos aspectos da condução da lavoura, como controle de plantas daninhas, colheita e uso de implementos agrícolas (SEVERINO et al., 2006; SEVERINO et al., 2017).

Severino et al. (2017) relataram que a influência da população de plantas em uma lavoura de mamona é dependente das condições ambientais, da intensidade da competição entre as plantas próximas e a competição por fotoassimilados entre o crescimento vegetativo e a produção de sementes. Considerando a influência desse componente produtivo, e o fato das condições ambientais serem variáveis no tempo e no espaço, não há uma definição de população de plantas ideal que pode ser amplamente recomendada para o cultivo de mamona, sendo necessário que se determine uma gama de populações de plantas, visando diferentes situações, levando em consideração características do clima e solo da região de cultivo e as

características da cultivar a ser semeada (SEVERINO et al., 2006; SEVERINO et al., 2012).

A redução do porte de cultivares e híbridos de mamona tornou viável o seu cultivo em espaçamentos menores e conseqüentemente em populações de plantas maiores, permitindo maior capacidade de interceptação da radiação solar. Na definição da população de plantas a ser empregada na propriedade onde a mamona é produzida em condições de segunda safra, o agricultor deve levar em consideração a recomendação para o genótipo, assim como a disponibilidade de equipamentos de semeadura e de colheita, sendo vantajosa a adequação do espaçamento aos equipamentos, reduzindo o uso de mão de obra na regulação entre a cultura principal e a mamona ou mesmo aquisição de novos equipamentos (KOTZ, 2012).

Quando se aumenta a densidade de plantas, seja por meio da redução do espaçamento entre fileiras ou pelo aumento no número de plantas na fileira, ocorre um aumento na competição por água e nutrientes entre as plantas, porém também é favorecida a maior interceptação de luz, o sombreamento de plantas invasoras e a manutenção da umidade do solo.

Essas alterações podem não interferir significativamente na produtividade de mamona (BIZINOTO et al., 2010), aumentar (SEVERINO et al., 2006) ou diminuir a mesma (DINIZ et al., 2009) dependendo do ambiente e da cultivar empregada. Em cultivos com baixa densidade de plantas a produção individual por planta é máxima. De outro lado, quando se aumenta gradualmente a densidade de plantas, essa produção individual tende a decrescer, mas a produtividade é compensada pelo número de indivíduos por área até que se atinja a produtividade máxima, onde consideramos que a população de plantas é a ideal (SILVA et al., 2000).

Mesmo podendo haver vantagens no adensamento do plantio, deve-se atentar que, para híbridos e cultivares de porte baixo, o arranjo populacional se torna mais complexo, podendo em altas densidades ocorrer crescimento excessivo e acamamento das plantas, e em baixas densidades, a infestação de plantas invasoras, prolongamento do ciclo da cultura e alongamento dos ramos laterais (AZEVEDO et al., 2005). Sendo assim, há a necessidade de se testar cada genótipo quanto ao seu arranjo ideal de plantas em diferentes ambientes para proceder a recomendação de densidade populacional aos agricultores.

Um método que pode ser utilizado para avaliar testes de densidade populacional é a análise de crescimento. Esta técnica faz uso de índices fisiológicos baseados no acúmulo de massa seca e incremento de área foliar ao longo do tempo, para a avaliação da capacidade produtiva de cultivares, permitindo o estudo da adaptação ecológica a diferentes condições ambientais, suas respostas em relação ao manejo e tratamentos culturais adotados, além de evidenciar o diferencial produtivo de ordem genética (ALVAREZ et al., 2005). Entre esses índices fisiológicos podemos destacar a taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), taxa assimilatória líquida (TAL) e índice de área foliar (IAF) (BENINCASA, 2003).

O crescimento vegetal é definido como o processo em que ocorre um aumento irreversível de tamanho ou volume, por meio de divisão e alongamento celular, ocorrendo somente quando a taxa fotossintética supera a perda de energia por meio da respiração, resultando geralmente em acúmulo de biomassa (FLOSS, 2011).

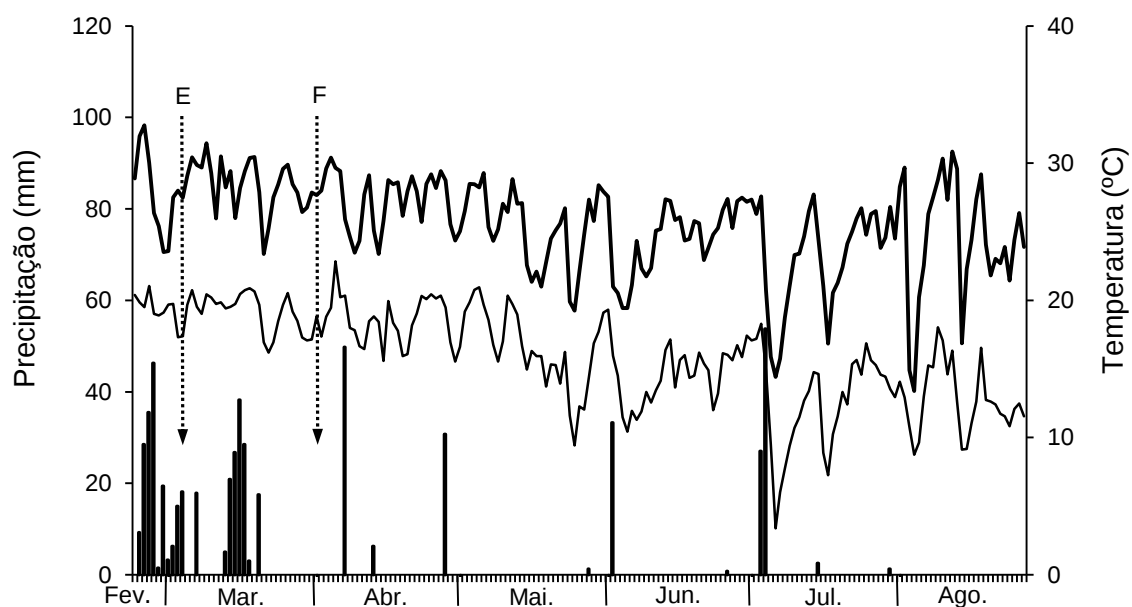
A adoção da análise de crescimento vegetal como fonte de informações acerca das diferenças estruturais e funcionais entre cultivares, tem se baseado no fato de que aproximadamente 90% da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo de seu ciclo, é resultado do processo de assimilação fotossintética, e cerca de 10% somente é advinda da nutrição mineral (BENINCASA, 2003). Como genótipos respondem distintamente às variações na população de plantas, o uso da análise de crescimento proporciona ao pesquisador uma avaliação mais minuciosa das diferenças na eficiência fotossintética entre os genótipos, e da adaptação do genótipo em diferentes populações de plantas, auxiliando no processo de seleção e de recomendação de manejo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de semeadura convencional na segunda safra (fevereiro de 2019 a agosto de 2019) na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), situada no Município de Botucatu, Estado de São Paulo, ($22^{\circ}49'21''$ S e $48^{\circ}25'43''$ W, e 770 m de altitude). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso. Dados da precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas registrados na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental Lageado, pertencente ao Departamento de Recursos Naturais – Setor de Climatologia, durante o período de condução do experimento, estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Precipitação pluvial (■), temperatura máxima (—) e temperatura mínima (—) diárias registradas na área experimental entre 22 de fevereiro de 2019 (semeadura) e 27 de agosto de 2019 (colheita), bem como data de emergência de plântulas (E) e de florescimento do primeiro racemo (F).



Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 0,20 m de profundidade para realização da análise química. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 0,20 m, antes da instalação dos experimentos.

pH(CaCl ₂)	M.O.	P(resina)	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V
	(g.dm ⁻³)	(mg.dm ⁻³)	(mmolc. dm ⁻³)					(%)
4,4	29,57	12,85	55,81	2,00	15,05	9,27	82,15	32,06

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido sob delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 (híbridos) x 2 (espaçamentos) e quatro repetições, totalizando 24 parcelas. Os híbridos testados se tratam, de um híbrido simples comercial (AG IMA 110204) desenvolvido pelo Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), e dois híbridos triplos (FCA T1 e FCA T2) desenvolvidos pelo programa de melhoramento de mamona do Departamento de Produção Vegetal, da Faculdade de Ciências Agrônomicas FCA/UNESP, Botucatu – SP. Os mesmos foram avaliados em relação ao crescimento e produtividade quando submetidos a espaçamento reduzido (0,45 m) e espaçamento convencional (0,90 m) entre fileiras.

Para garantir estande de plantas suficiente para realização da análise de crescimento, as parcelas foram compostas de sete e oito linhas de 15 m, respectivamente para espaçamento de 0,45 m e 0,90 m entre fileiras. O número de plantas por metro linear foi fixado em três plantas para ambos os tratamentos, de forma que tratamentos em espaçamento reduzido totalizaram população de plantas de aproximadamente 66,7 mil plantas por hectare, e em espaçamento convencional aproximadamente 33,3 mil plantas por hectare.

3.3 Condução

A semeadura foi realizada em 22/02/2019, utilizando semeadora-adubadora tratorizada, marca Semeato, contendo sete linhas distribuidoras de sementes espaçadas a 0,45 m. Para os tratamentos que consistiam em espaçamento reduzido entre fileiras, todas as linhas distribuidoras de sementes foram abastecidas. Para os tratamentos utilizando espaçamento convencional, três linhas intercaladas foram anuladas, restando quatro linhas distribuidoras de sementes, que se distanciavam 0,90 m uma da outra. Para haver a compensação do número de fileiras em espaçamento convencional, suas parcelas foram representadas por duas faixas de semeadura totalizando oito linhas por parcela.

A semeadora-adubadora foi regulada para distribuir quantidade de sementes necessárias para a obtenção do dobro de plantas desejadas. As sementes foram

previamente tratadas o fungicida carbendazim (50 g do i.a por 100 kg de sementes) e inseticida tiametoxam (38 g do i.a por 100 kg de sementes). Em relação a adubação de semeadura, seguindo os resultados da análise de solo e a recomendação de Sá et al. (2015), a regulagem do equipamento visou a distribuição de cerca de 280 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16 (N-P-K) nos dois espaçamentos. Para realizar a distribuição do fertilizante de forma localizada na linha de semeadura, em espaçamento convencional três linhas adubadoras foram anuladas e as demais distribuíam o dobro da quantidade determinada para espaçamento reduzido.

A emergência plena de plântulas ocorreu em 04/03/2019. Aos 10 dias após a emergência (DAE) foi realizado o ajuste de população nas parcelas, mantendo-se cerca três plantas por metro linear na linha de semeadura.

Foi realizada aplicação em cobertura de 50 kg.ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio aos 30 DAE.

Duas capinas manuais foram realizadas para o controle de plantas invasoras, a primeira aos 27 DAE e a segunda aos 90 DAE.

O início da formação de estruturas reprodutivas (floração) foi constatado aos 28 DAE.

A colheita foi realizada aos 176 DAE.

3.4 Amostragens de plantas em campo e variáveis avaliadas

3.4.1 Análise de crescimento

As amostragens/avaliações referentes a análise de crescimento foram realizadas a cada 14 dias, na parte da manhã, iniciando-se aos 14 DAE. Assim, foram realizadas 11 amostragens respectivamente aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 e 154 DAE. As amostragens seguiram alguns critérios, como: a) seleção de plantas que tinham de todos os lados plantas competitivas e b) seleção de plantas com bom aspecto visual, ou seja, aparentemente bem nutridas e com ausência de sintomas de doenças, até quando possível. Foram tomados dados referentes à:

- a) Altura de plantas (cm): Medida desde a superfície do solo até o ápice do racemo mais alto em quatro plantas da área útil de cada parcela;
- b) Diâmetro do caule (mm): Medido em quatro plantas, na base do caule, a 3 cm acima do solo, com o uso de paquímetro digital;

c) Acúmulo e distribuição da massa da matéria seca (g planta^{-1}): avaliado em cada órgão da planta (folhas (limbo + pecíolo), caule e estruturas reprodutivas (quando presentes)) e parte aérea (total) em quatro plantas. O material coletado e devidamente separado, foi acondicionado em sacos de papel e submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 96 horas. Após secagem foi determinada a massa da matéria seca das amostras em balança analítica.

d) Área foliar (cm^2): Após a separação em partes (caule, limbo, pecíolo e estruturas reprodutivas (quando presentes)), a área dos limbos foliares foi medida para a determinação da área foliar, com auxílio do equipamento AREA METER, modelo LI-3100.

A partir dos dados coletados periodicamente para análise de crescimento, foi possível obter dados referentes a índices fisiológicos como:

a) Índice de Área foliar (IAF): Calculado mediante a relação entre a área foliar média de uma planta e a superfície correspondente de terreno ocupada por aquela planta.

$$\text{IAF: } AF / A$$

Em que:

IAF: índice de área foliar

AF: área foliar (cm^2)

A: área ocupada pela planta no terreno (cm^2)

b) Taxa de Crescimento Absoluto (TCA): Mede quanto a planta está crescendo, num determinado intervalo de tempo, não levando em consideração a massa vegetal preexistente. Determinada seguindo o método de Portes e Castro Júnior (1991):

$$\text{TCA} = ae^{(bt+ct^2)} \cdot (b+2ct)$$

Em que:

TCA: taxa de crescimento absoluto ($\text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$)

a , b , c = coeficientes ajustados por regressão;

e = exponencial;

t = instante de tempo;

c) Taxa de Crescimento Relativo (TCR): Mede o aumento da massa seca por unidade de massa original num certo intervalo de tempo. Determinada seguindo o método de Portes e Castro Júnior (1991):

$$TCR = b + 2ct$$

Em que:

TCR: taxa de crescimento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$)

b, c = coeficientes ajustados por regressão;

t = instante de tempo;

d) Taxa Assimilatória Líquida (TAL): Mede o incremento em matéria seca por cada unidade de superfície de área foliar, durante certo intervalo de tempo. Obtido seguindo o método de Portes e Castro Júnior (1991) pela seguinte equação:

$$TAL = (b + 2ct) \cdot a e^{(bt + ct^2)} / a 1 e^{(bt + ct^2)}$$

Em que:

TAL: taxa assimilatória líquida ($\text{g cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$)

a, b, c = coeficientes ajustados por regressão;

e = exponencial;

t = instante de tempo;

e) Razão de Área Foliar (RAF): Determinada pela relação entre a área foliar média de uma planta e a massa de matéria seca da parte aérea da planta, mediante a seguinte equação:

$$RAF = AF / MSt$$

Em que:

RAF = razão de área foliar ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$);

AF = área foliar (cm^2);

MSt = matéria seca da parte aérea da planta (g).

f) Área foliar específica (AFE): Determinada pela relação entre a área foliar média de uma planta e a massa de matéria seca de limbo foliar da planta. Obtida pela seguinte equação:

$$AFE = AF / MSIf$$

Em que:

AFE = área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$);

AF = área foliar (cm^2);

MSIf = massa de matéria seca do limbo foliar (g).

3.4.2 Características agronômicas

Ao final do ciclo, os híbridos foram caracterizados quanto à:

- a) Sobrevivência de plantas (%): Determinada mediante a relação entre a população inicialmente estabelecida e a população final de plantas, avaliada em três linhas de 3 m da área útil da parcela, sendo os resultados convertidos em plantas.ha⁻¹.
- b) Altura da inserção do primeiro racemo (cm): Medida em cinco plantas da área útil de cada parcela, a partir do solo até a inserção do racemo primário;
- c) Número de nós até a inserção do primeiro racemo: Contado em cinco plantas da área útil de cada parcela, do solo até a inserção do racemo primário;
- d) Comprimento médio dos racemos (cm): Medido em cinco plantas da área útil de cada parcela, do início da frutificação até o ápice do racemo;
- e) Número de racemos por planta: Média do número de racemos por planta contabilizado em cinco plantas da área útil de cada parcela;
- f) Número de frutos por racemo: Média do número de frutos por racemo contabilizados em cinco plantas da área útil de cada parcela;
- g) Número de grãos por fruto: Média do número de grãos por fruto determinado em duas amostras de 100 frutos de cada unidade experimental;
- h) Massa de 100 grãos (g): Determinada por pesagem de quatro amostras de 100 grãos de cada unidade experimental, com dados corrigidos para 13% de umidade;
- i) Produtividade de grãos (kg ha^{-1}): Determinada após colheita manual e trilha, de todos os racemos contidos em três linhas de 3 m de plantas da área útil de cada parcela, com separação e pesagem de grãos após correção para 13% de umidade;
- k) Teor de óleo nos grãos (%): Obtido após secagem dos grãos em estufa com circulação forçada de ar a 70°C por 24h, pesagem e determinação do teor de óleo

(base seca) por ressonância magnética nuclear, utilizando espectrofotômetro modelo SLK-SG-200, Spinlock Magnetic Resonance Solutions®.

j) Produtividade de óleo (kg ha^{-1}): Calculada pela multiplicação da produtividade de grãos pelo teor de óleo obtido após secagem dos grãos em estufa com circulação forçada de ar a 70°C por 24h, pesagem e determinação do teor de óleo (base seca) por ressonância magnética nuclear.

l) Índice de colheita (IC): Determinado por ocasião da colheita, pela relação entre a MS da parte aérea (incluindo os grãos) e a matéria seca dos grãos, em cinco plantas da área útil de cada unidade experimental. Calculado pela equação:

$$\text{IC} = (\text{MSg}) / (\text{MSt})$$

Em que:

IC: índice de colheita;

MSg: massa seca de grãos;

MSt: massa seca total.

3.5 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Características de crescimento avaliadas ao longo do ciclo foram analisadas por meio de regressões, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos ($P \leq 0,05$) pelo teste F. As médias das variáveis de crescimento (área foliar, massa seca total e massa seca de folhas) foram ajustadas em relação ao tempo, pelo programa computacional ANACRES, fazendo uso da equação exponencial quadrática, de acordo com a recomendação de Portes e Castro Júnior (1991). Os índices fisiológicos, por serem dados calculados, não obedecem as pressuposições básicas para a análise de variância, e portanto são apresentados na forma de gráficos avaliando-se o comportamento das curvas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variável altura de plantas, constatou-se efeito significativo da interação híbridos x espaçamentos somente nas coletas realizadas aos 28, 98 e 154 DAE (Tabela 2), havendo, nestes momentos, diferença estatística entre os híbridos em espaçamento reduzido, e entre os espaçamentos para o híbrido 1 aos 28 DAE e para o híbrido 3 aos 28, 98 e 154 DAE.

Tabela 2 - Altura (cm) de híbridos de mamona aos 28, 98 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	ALTURA (cm)					
	28 DAE		98 DAE		154 DAE	
	Reduzido	Convencional	Reduzido	Convencional	Reduzido	Convencional
H ₁	37,55 Aa	33,80 Ab	81,88 ABa	93,25 Aa	87,88 ABa	89,50 Aa
H ₂	34,30 Aa	33,50 Aa	96,31 Aa	88,06 Aa	100,19 Aa	92,63 Aa
H ₃	27,65 Bb	32,25 Aa	76,69 Bb	91,38 Aa	74,63 Bb	98,38 Aa
p (Híbrido)	0,0549		0,1666		0,1463	
p (Espaçamento)	0,9907		0,0939		0,1642	
p (Interação)	0,0184		0,0268		0,0188	
CV (%)	10,38		9,25		10,98	

Médias seguidas pela mesma letra na maiúscula coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Na Tabela 2 podemos observar que, ao longo do ciclo, não houve diferença significativa entre a altura média dos híbridos quando cultivados em espaçamento convencional, chegando à média final de aproximadamente 93,50 cm. Em espaçamento reduzido, o híbrido 2 apresentava maior altura de plantas que o híbrido 3, e altura semelhante ao híbrido 1 aos 28, 98 e 154 DAE, chegando a altura média final superior a 100 cm.

Mantenedores do híbrido simples AG IMA 110204 (híbrido 1), o classificam como de porte baixo, com altura média de cerca de 170 cm e recomendam seu cultivo em espaçamento entre fileiras de 0,90 cm (SÁ et al., 2015). Resultados obtidos neste estudo revelaram altura média inferior a 100 cm para este híbrido ao final do ciclo, independentemente do espaçamento entre fileiras utilizado.

Analizando a diferença entre a altura média de plantas proporcionada pelos espaçamentos entre fileiras, o híbrido 2 comportou-se de forma semelhante independentemente do espaçamento entre fileiras adotado. Por sua vez, o híbrido 1 apresentou, aos 28 DAE, maior altura de plantas quando cultivado em espaçamento reduzido, e o híbrido 3, plantas mais altas dentro do espaçamento convencional aos 28, 98 e 154 DAE. Esses resultados apontam para uma maior sensibilidade do híbrido 3, em relação a competição por água, luz e nutrientes gerada pela redução do espaçamento entre fileiras.

Estudando o efeito isolado dos fatores de variação (Tabela 3), observamos que o espaçamento convencional conferiu às plantas maiores médias quando comparado ao espaçamento reduzido, com diferença significativa aos 14, 56, 84, 112, 126 e 140 DAE. Já as diferenças entre os híbridos podem ser notadas somente ao início do ciclo, nas coletas realizadas aos 14, 42, 56 e 70 DAE, com o híbrido 2 apresentando plantas mais altas que o híbrido 3, e o híbrido 1 assumindo posição intermediária entre os dois híbridos triplos.

Oliveira et al. (2019), avaliando o híbrido AG IMA 110204 em espaçamentos e populações de plantas semelhantes aos testados neste trabalho (67,34 plantas ha e 33,670 plantas ha), obtiveram resultados que indicam maior altura de plantas em espaçamento convencional, corroborando com os resultados encontrados neste estudo, embora os valores de altura apresentados pelos autores estejam aquém dos observados neste estudo. Souza - Schlick et al. (2012) concluíram que, independente da população de plantas utilizada, espaçamentos mais largos entre fileiras proporcionam maior altura de plantas na cultivar IAC 2028.

Estes resultados podem ser explicados pela maior competição intraespecífica por água, luz e nutrientes em espaçamentos menores. Recursos esses que, quando disponíveis de forma limitada, levam a um menor crescimento vegetal (SEVERINO et al., 2017).

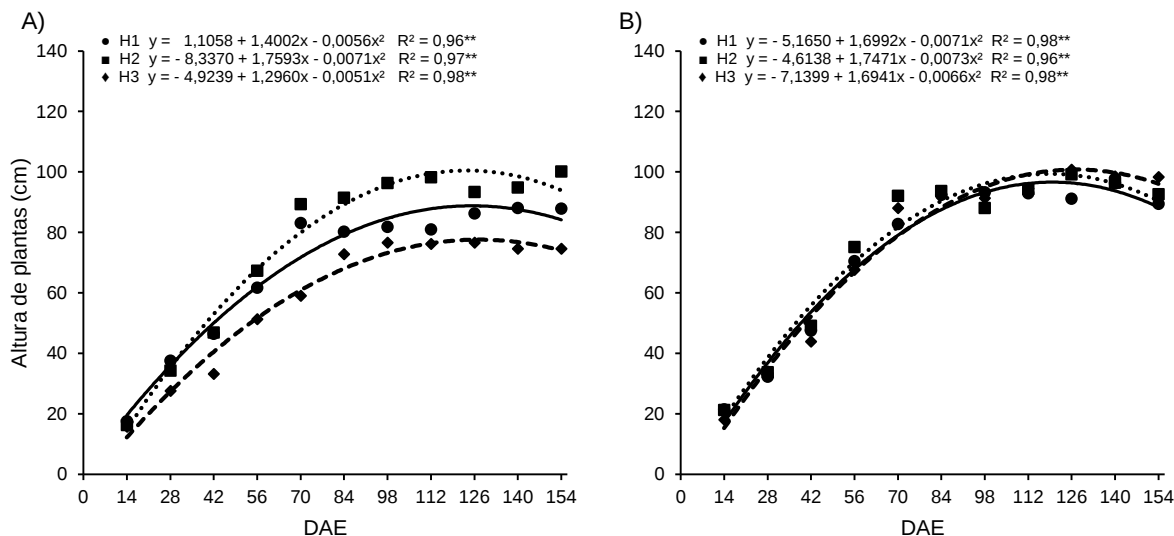
Em geral, a curva de altura de plantas em função do tempo melhor se ajustou à forma quadrática, onde observa-se crescimento inicial lento, seguido de crescimento acentuado entre os 14 e 70 DAE, estabilizando-se até o final do ciclo (Figura 2).

Tabela 3 - Altura (cm) de híbridos de mamona aos 14, 42, 56, 70, 84, 112, 126 e 140 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	ALTURA (cm)							
	14 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE
H ₁	19,53 a	47,00 ab	66,10 ab	82,94 ab	86,31 a	86,96 a	88,69 a	92,16 a
H ₂	18,80 ab	48,03 a	71,25 a	90,69 a	92,56 a	96,31 a	96,28 a	95,63 a
H ₃	16,98 b	38,59 b	59,53 b	78,56 b	82,66 a	85,41 a	88,75 a	86,59 a
ρ (Híbrido)	0,0085	0,0449	0,0058	0,0397	0,1300	0,0899	0,1813	0,3683
ESPAÇAMENTO	14 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE
Reduzido	16,58 b	42,21 a	60,13 b	80,48 a	81,50 b	85,17 b	85,44 b	85,83 b
Convencional	20,28 a	46,88 a	71,13 a	87,65 a	92,85 a	93,96 a	97,04 a	97,08 a
ρ (Espaçamento)	< 0,0001	0,1467	0,0005	0,0605	0,0089	0,0460	0,0061	0,0430
INTERAÇÃO	14 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE
ρ (Interação)	0,2380	0,3963	0,3445	0,0881	0,2015	0,1023	0,0824	0,2175
CV (%)	7,82	16,77	9,31	10,29	10,61	11,05	9,77	13,63

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Figura 2 – Altura de plantas (cm) de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



Severino et al. (2017) afirmam que, durante a fase vegetativa, os fotoassimilados são exclusivamente direcionados para o acúmulo de biomassa, incluindo crescimento em altura. Porém, após o início da fase reprodutiva, o incremento em altura é reduzido gradativamente, uma vez que as reservas acumuladas passam a ser lentamente translocadas para o enchimento de grãos, ocasionando redução da taxa fotossintética, devido a senescência e abscisão foliar. Desta forma, a estabilização da altura de plantas logo após os 70 DAE (Figura 2), pode estar relacionada com o surgimento precoce de estruturas reprodutivas nos híbridos avaliados neste estudo (28 DAE).

Kotz (2012), estudando a cultivar IAC 2028 em diferentes populações de plantas, observou incremento constante em altura para todos os tratamentos até o final do ciclo. Essa diferença no padrão de crescimento em altura pode estar relacionada ao início tardio do florescimento na cultivar IAC 2028 (84 DAE).

Quanto ao diâmetro de caule, para a interação entre híbridos e espaçamentos houve efeito significativo somente aos 28 DAE (Tabela 4). Em espaçamento reduzido, o híbrido 1 apresentou maior diâmetro de caule que o híbrido 3, e o híbrido 2 assumiu posição intermediária. Quando cultivados em espaçamento convencional, o híbrido 2 apresentou maior espessura de caule, diferenciando somente do híbrido 3. Os híbridos triplos (H₂ e H₃) apresentaram maior espessura de caule quando cultivados em espaçamento convencional, enquanto o híbrido simples (H₁) não apresentou diferença entre os espaçamentos testados (Tabela 4).

Tabela 4 - Diâmetro de caule (mm) de híbridos de mamona aos 28 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	DIÂMETRO DE CAULE (mm)	
	28 DAE	
	Reduzido	Convencional
H ₁	10,28 Aa	9,84 ABa
H ₂	9,54 ABb	11,03 Aa
H ₃	8,29 Bb	9,46 Ba
p (Híbrido)	0,0043	
p (Espaçamento)	0,0300	
p (Interação)	0,0485	
CV (%)	7,77	

Médias seguidas pela mesma letra na maiúscula coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Quando analisado o efeito isolado dos fatores de variação, o diâmetro do caule das plantas apresentou-se diferente estatisticamente, durante todo o ciclo, para o fator espaçamentos, e aos 14, 28, 42, 56, 84, 98 e 112 DAE para o fator híbridos (Tabela 5).

Percebe-se que até os 112 DAE, com exceção da coleta realizada aos 70 DAE, o híbrido 2 apresentou maiores médias de diâmetro do caule, diferindo significativamente somente do híbrido 3, enquanto o híbrido 1 apresentou resultados que se assemelham aos demais híbridos testados. Ao final do ciclo, não houve diferença significativa entre os híbridos para a variável diâmetro do caule, atingindo média final de 15,98 mm (Tabela 5).

O espaçamento convencional conferiu maiores médias de diâmetro de caule aos híbridos avaliados durante todo o ciclo (Tabela 5). Oliveira et al. (2019), em experimento testando os mesmos espaçamentos entre fileiras, apresentam resultado semelhante para o híbrido AG IMA 110204.

Tabela 5 - Diâmetro de caule (mm) de híbridos de mamona aos 14, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

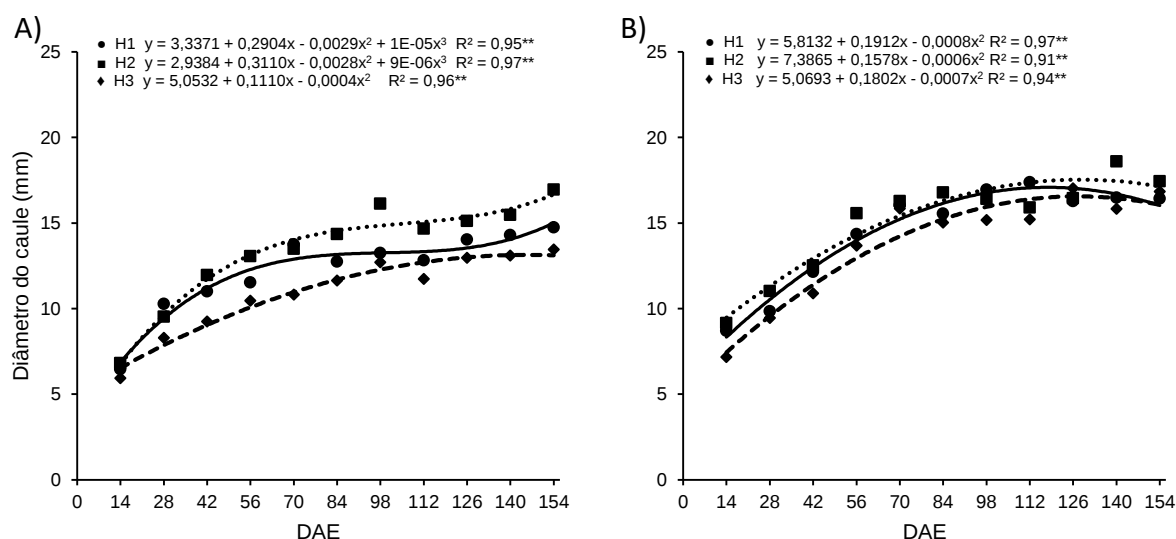
HÍBRIDO	DIÂMETRO DE CAULE (mm)									
	14 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
H ₁	7,58 ab	11,58 ab	12,94 ab	14,91 a	14,15 ab	15,11 ab	15,11 ab	15,16 a	15,40 a	15,59 a
H ₂	7,99 a	12,24 a	14,32 a	14,89 a	15,58 a	16,28 a	15,30 a	15,79 a	17,04 a	17,20 a
H ₃	6,56 b	10,07 b	12,07 b	13,33 a	13,34 b	13,95 b	13,47 b	15,00 a	14,47 a	15,15 a
<i>P</i> (Híbrido)	0,0176	0,0120	0,0115	0,0635	0,0417	0,0195	0,0445	0,6288	0,0643	0,1068
ESPAÇAMENTO	14 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
Reduzido	6,41 b	10,74 b	11,69 b	12,69 b	12,92 b	14,04 b	13,08 b	14,05 b	14,29 b	15,05 b
Convencional	8,35 a	11,86 a	14,54 a	16,06 a	15,80 a	16,19 a	16,17 a	16,58 a	16,98 a	16,91 a
<i>P</i> (Espaçamento)	<0,0001	0,0495	<0,0001	<0,0001	0,0005	0,0024	<0,0001	0,0024	0,0054	0,0295
INTERAÇÃO	14 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
<i>P</i> (Interação)	0,4070	0,7003	0,8659	0,1476	0,8329	0,0906	0,0955	0,2899	0,8957	0,3306
CV (%)	12,24	11,33	9,90	9,74	11,21	9,59	9,88	11,09	12,94	11,79

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Souza - Schlick et al. (2012) e Soratto et al. (2011), estudando as cultivares IAC 2028 e FCA-PB respectivamente, não observaram efeito isolado do espaçamento entre fileiras no diâmetro de caule, porém observaram que o aumento da população de plantas reduz o diâmetro do caule e atribuem esse resultado à maior competição por luz entre as plantas. Alves et al. (2015) também observaram que o diâmetro de caule da cultivar BRS Energia é reduzido linearmente com o aumento da população de plantas.

Em espaçamento convencional, o diâmetro de caule dos híbridos melhor se ajustou ao modelo quadrático, enquanto em espaçamento reduzido os híbridos 1 e 2 melhor se ajustaram ao modelo cúbico (Figura 3).

Figura 3 – Diâmetro do caule (mm) de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



Não houve efeito significativo da interação entre os fatores híbridos x espaçamentos para a variável área foliar. Na tabela 6 podemos observar que, a diferença entre a área foliar média dos híbridos foi significativa somente aos 14 e 54 DAE, com o híbrido 2 apresentando maior área foliar que o híbrido 3 aos 14 DAE, e maior área foliar que os híbridos 1 e 3 aos 54 DAE.

Tabela 6 - Área foliar (cm²) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	ÁREA FOLIAR (cm ²)										
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
H ₁	377,21 ab	1257,53 a	2334,83 a	3468,73 b	4374,79 a	4136,83 a	2659,91 a	1498,04 a	653,20 a	590,30 a	312,77 a
H ₂	434,66 a	1274,33 a	2437,74 a	4373,13 a	4646,91 a	5746,88 a	4412,45 a	2167,88 a	1408,25 a	806,14 a	750,84 a
H ₃	293,84 b	987,45 a	1758,57 a	3222,00 b	3908,97 a	4229,29 a	3074,91 a	2130,01 a	1160,64 a	569,78 a	458,66 a
<i>P</i> (Híbrido)	0,0214	0,0796	0,0733	0,0045	0,3279	0,1288	0,1114	0,3742	0,0653	0,6742	0,0578
ESPAÇAMENTO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
Reduzido	265,35 b	1092,41 a	1927,21 a	2615,69 b	3369,17 b	3423,78 b	3002,05 a	1376,54 b	831,83 a	635,84 a	508,56 a
Convencional	471,79 a	1253,79 a	2426,89 a	4760,22 a	5251,27 a	5984,89 a	3762,80 a	2487,41 a	1316,23 a	674,97 a	506,28 a
<i>P</i> (Espaçamento)	< 0,0001	0,1528	0,0540	< 0,0001	0,0003	0,0019	0,2687	0,0193	0,0667	0,8714	0,9871
INTERAÇÃO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
<i>P</i> (Interação)	0,5947	0,1491	0,3725	0,2393	0,0540	0,9261	0,3545	0,3755	0,5694	0,9148	0,3466
CV (%)	24,25	22,38	26,90	16,53	22,46	35,40	47,96	53,76	55,88	88,81	66,76

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

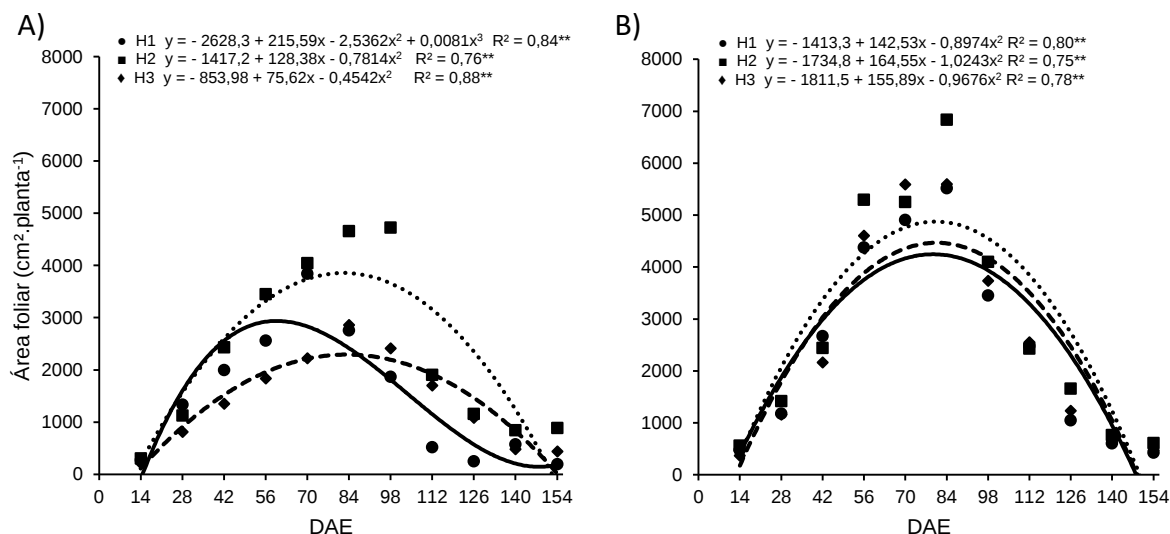
O espaçamento convencional conferiu maiores médias às plantas, com diferença significativa aos 14, 56, 70, 84 e 112 DAE (Tabela 6). Alves et al. (2015), corroborando com os resultados obtidos neste estudo, observaram que, assim como o diâmetro, a área foliar também é negativamente afetada pelo aumento na população de plantas.

A abscisão foliar em massa, que teve início em alguns tratamentos após os 70 DAE, provocada pelo início da translocação de reservas acumuladas durante a fase vegetativa para o enchimento de grãos (SEVERINO et al., 2017), e pela redução na precipitação pluvial na área experimental (Figura 1), provocou alterações bruscas na área foliar de algumas plantas, ocorrendo desfolhação total em alguns casos, sendo este o principal motivo de haverem Coeficientes de Variação (CV) considerados muito altos deste momento até o final do ciclo para área foliar. Além disso, o CV acima de 30% reflete alta instabilidade da variável.

Em geral, os tratamentos apresentaram valores de área foliar ao longo do tempo que se ajustaram ao modelo quadrático, assim como o ocorrido para altura de plantas, com exceção do híbrido 1 que quando cultivado em espaçamento reduzido, apresentou área foliar que melhor se ajustou ao modelo cúbico (Figura 4). Este tratamento expressou crescimento inicial lento, seguido de aumento expressivo da área foliar até os 70 DAE, onde atingiu valor máximo (3841,57 cm²), declinando de forma acentuada em seguida, atingindo valores próximos a zero aos 126 DAE e posterior estabilização. O ajuste ao modelo quadrático indica crescimento inicial lento, seguido de rápida expansão até atingir o valor máximo de área foliar dos tratamentos, momento em que se inicia a redução da área foliar provocada pela senescência.

Na figura 4 podemos observar ainda que, em espaçamento convencional, os híbridos apresentaram acúmulo máximo de área foliar aos 84 DAE. Já em espaçamento reduzido, os híbridos atingiram valor máximo de área foliar em momentos distintos, com o híbrido 1 aos 70 DAE, híbrido 2 aos 98 DAE, e híbrido 3 aos 84 DAE. O momento máximo da área foliar marca a transição da fase de crescimento vegetativo acelerado para a fase de translocação de reservas para os órgãos reprodutivos. A duração e a intensidade do crescimento em área foliar na fase que antecede essa transição, são particularmente importantes por estarem diretamente relacionadas à capacidade da planta de interceptar a luz, realizar fotossíntese e acumular reservas (SEVERINO; AULD, 2013).

Figura 4 – Área foliar (cm²) de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



O efeito da interação híbridos x espaçamentos sobre o índice de área foliar (IAF) foi significativo somente aos 56 DAE (Tabela 7). Neste momento, houve contraste entre os híbridos cultivados em espaçamento reduzido, com superioridade do híbrido 2. Verificou-se ainda que, somente o híbrido 2 apresentou valores de IAF diferentes estatisticamente para os espaçamentos testados, com IAF maior em espaçamento reduzido entre fileiras.

Tabela 7 - Índice de área foliar de híbridos de mamona aos 56 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	Índice de área foliar	
	56 DAE	
	Reduzido	Convencional
H ₁	1,72 Ba	1,47 Aa
H ₂	2,32 Aa	1,78 Ab
H ₃	1,24 Ba	1,55 Aa
ρ (Híbrido)	0,0010	
ρ (Espaçamento)	0,1900	
ρ (Interação)	0,0260	
CV (%)	16,84	

Médias seguidas pela mesma letra na maiúscula coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Analisando os efeitos principais, somente houve diferença entre o IAF para os híbridos aos 14, 42, 56, 98 e 154 DAE, e para os espaçamentos aos 28, 42, 98 e 154 DAE (Tabela 8).

Independente do espaçamento adotado, o híbrido 2 apresentou maiores valores de IAF, não diferindo do híbrido 1, aos 14 e 42 DAE. O híbrido 3 apresentou resultados semelhantes ao híbrido 1 durante todo o ciclo, mas diferiu do híbrido 2 aos 14, 42, 56, 98 e 154 DAE.

Observa-se que, a redução do espaçamento entre fileiras e o consequente aumento da população de plantas, proporcionou maiores valores de IAF aos híbridos, corroborando com os resultados observados na cultivar BRS Energia por Alves et al. (2015), e na cultivar IAC 2028 por Kotz (2012).

Houve ainda, diferença entre o momento do máximo IAF entre os híbridos quando cultivados em espaçamento reduzido, e entre os espaçamentos para os híbridos 1 e 2 (Figura 5). O IAF máximo do híbrido 1 foi atingido aos 70 DAE em espaçamento reduzido, e aos 84 DAE em espaçamento convencional. O híbrido 2 apresentou valores máximos aos 84 e 98 DAE respectivamente para os espaçamentos convencional e reduzido, e o híbrido 3 apresentou valores máximos aos 84 DAE, independente do espaçamento adotado.

Como descrito anteriormente, o florescimento dos híbridos testados ocorreu aos 28 DAE, e portanto, o momento de máximo IAF corresponde a fase de translocação de fotoassimilados e enchimento de grãos. Kotz (2012) discute a importância do momento de máximo IAF da cultivar IAC 2028 coincidir com a fase de enchimento de grãos, para elevação da produtividade e acúmulo crescente de biomassa, uma vez que, nessa fase, a demanda por fotoassimilados, assim como por água e nutrientes é intensificada.

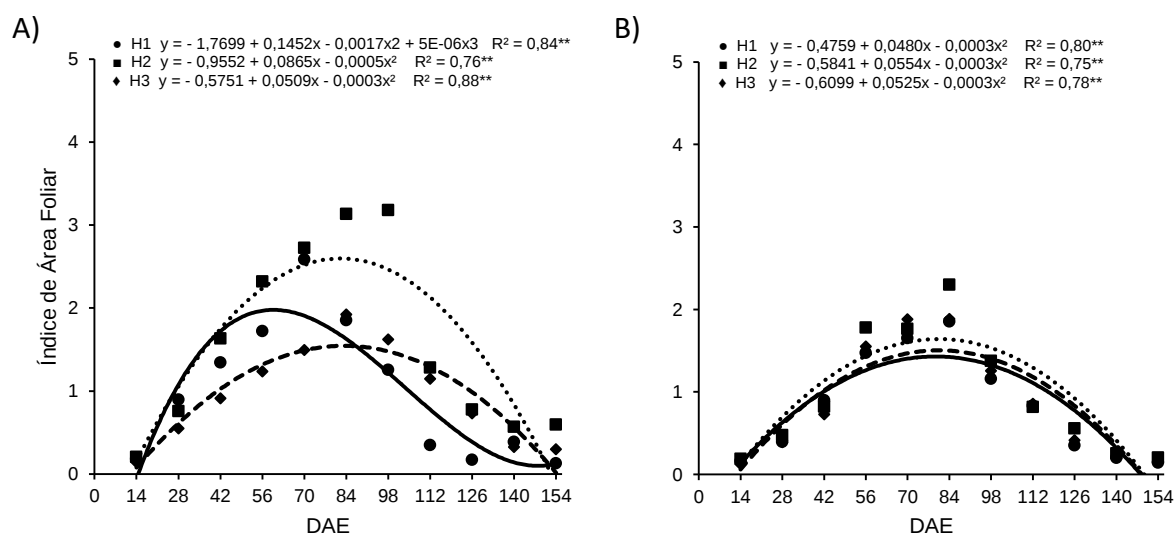
As curvas do IAF se comportam de forma semelhante as de área foliar (Figura 5), o que pode ser explicado pela dependência direta desse índice com a área foliar. Segundo Benincasa (2003) o IAF cresce à medida que a área foliar cresce, até o momento em que o autossombreamento se torna expressivo de tal forma que há prejuízos no processo fotossintético.

Tabela 8 - Índice de área foliar de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 70, 84, 98, 112, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR									
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
H ₁	0,17 ab	0,65 a	1,12 ab	2,12 a	1,86 a	1,21 b	0,59 a	0,26 a	0,30 a	0,14 b
H ₂	0,20 a	0,62 a	1,23 a	2,25 a	2,72 a	2,28 a	1,05 a	0,67 a	0,41 a	0,40 a
H ₃	0,13 b	0,47 a	0,82 b	1,69 a	1,91 a	1,44 ab	1,00 a	0,57 a	0,27 a	0,23 ab
<i>P</i> (Híbrido)	0,0135	0,0756	0,0453	0,2012	0,1432	0,0453	0,1236	0,0746	0,5991	0,0391
ESPAÇAMENTO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
Reduzido	0,18 a	0,74 a	1,30 a	2,27 a	2,31 a	2,02 a	0,93 a	0,56 a	0,43 a	0,34 a
Convencional	0,16 a	0,42 b	0,82 b	1,77 a	2,02 a	1,27 b	0,84 a	0,44 a	0,23 a	0,17 b
<i>P</i> (Espaçamento)	0,2137	0,0002	0,0016	0,0647	0,4510	0,0385	0,6408	0,4143	0,1130	0,0409
INTERAÇÃO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
<i>P</i> (Interação)	0,9890	0,1132	0,1572	0,0744	0,6038	0,1123	0,1240	0,3277	0,7844	0,1299
CV (%)	22,17	26,63	29,09	30,60	42,55	49,55	55,16	68,02	89,21	73,45

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Figura 5 – Índice de Área foliar de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



Estudando a variável massa seca de caule (MSC), nota-se efeito significativo da interação somente aos 112 DAE, momento em que os híbridos 1 e 3 apresentaram maiores médias quando cultivados em espaçamento convencional, e a MSC do híbrido 2 não foi influenciada pelo espaçamento entre fileiras (Tabela 9). Percebe-se ainda que não houve diferença significativa entre os híbridos cultivados em espaçamento reduzido, bem como para aqueles cultivados em espaçamento convencional (Tabela 9)

Tabela 9 - Massa seca de caule (g) de híbridos de mamona aos 112 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	MASSA SECA DE CAULE (g)	
	112 DAE	
	Reduzido	Convencional
H ₁	12,02 Ab	35,85 Aa
H ₂	23,01 Aa	26,38 Aa
H ₃	12,02 Ab	30,75 Aa
p (Híbrido)	0,8335	
p (Espaçamento)	0,0002	
p (Interação)	0,0428	
CV (%)	31,24	

Médias seguidas pela mesma letra na maiúscula coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Em relação aos efeitos principais, houve diferença significativa entre a MSC dos híbridos somente aos 14 DAE, momento em que o híbrido 1 apresentava maior MSC que o híbrido 3 (Tabela 10).

A MSC foi maior, durante todo o ciclo, para plantas que se desenvolveram dentro do espaçamento convencional, com diferença significativa aos 14, 70, 98, 112 e 126 DAE, confirmando os resultados obtidos para a variável diâmetro do caule (Tabela 10).

Pivetta et al. (2017), assim como neste estudo, verificaram que tanto cultivares quanto híbridos apresentaram menor acúmulo de MSC em maiores densidades populacionais, porém, discutem a maior tolerância de híbridos ao aumento na densidade de plantas, quando comparados ao comportamento de cultivares, uma vez que a diferença entre as densidades foi muito menor para esses genótipos.

Kotz (2012), estudando a cultivar IAC 2028 em diferentes populações de plantas, verificou ao final do ciclo que, plantas cultivadas em espaçamento 0,90 m entre fileiras e população de plantas igual a 25 mil plantas ha^{-1} , apresentavam maior acúmulo de MSC.

As curvas de MSC foram semelhantes para todos os híbridos dentro do espaçamento convencional, apresentando melhor ajuste ao modelo quadrático, caracterizando-se pelo incremento inicial lento do momento da emergência plena até aproximadamente os 28 DAE, seguido de incremento acelerado até os 70 DAE, e posterior estabilização (Figura 6B). Quando cultivados em espaçamento reduzido, somente o híbrido 2 apresentou curva com valores que melhor se ajustam ao modelo quadrático, os demais apresentaram incremento linear de MSC até o final do ciclo (Figura 6A).

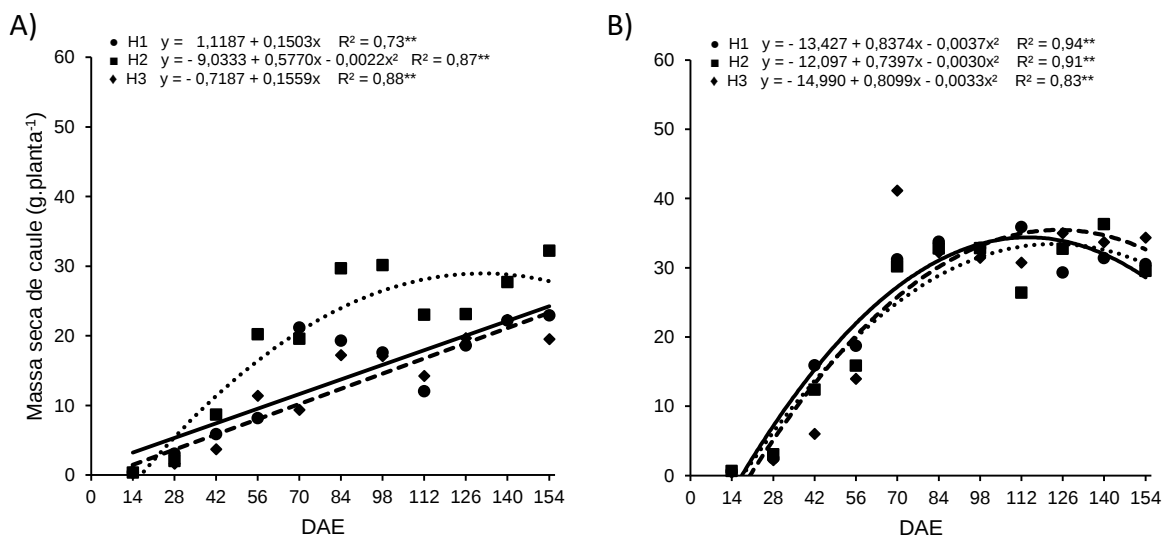
O comportamento quadrático das curvas, com redução na MSC ao final do ciclo, revela que, parte da biomassa acumulada no caule durante a fase vegetativa, pode ser remobilizada e alocada para o enchimento de grãos, passando a ser fonte, e contribuindo para uma maior produtividade (TAIZ; ZAIGER, 2004). Esse comportamento não é evidente para os híbridos 1 e 3 sob espaçamento reduzido.

Tabela 10 - Massa seca de caule (g) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	MASSA SECA DE CAULE (g)									
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
H ₁	0,51 a	2,77 a	10,88 a	13,43 a	26,16 a	26,50 a	25,22 a	23,95 a	26,78 a	26,69 a
H ₂	0,48 ab	2,50 a	10,53 a	18,01 a	24,86 a	31,22 a	31,45 a	27,90 a	31,98 a	30,85 a
H ₃	0,37 b	1,91 a	4,83 a	12,65 a	25,23 a	24,70 a	24,25 a	27,30 a	27,98 a	26,92 a
<i>P</i> (Híbrido)	0,0212	0,0546	0,1481	0,2328	0,9686	0,5848	0,2112	0,5708	0,6930	0,6166
ESPAÇAMENTO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
Reduzido	0,34 b	2,21 a	6,07 a	13,22 a	16,67 b	22,04 a	21,59 b	20,45 b	24,04 a	24,86 a
Convencional	0,57 a	2,57 a	11,42 a	16,17 a	34,16 a	32,90 a	32,36 a	32,32 a	33,78 a	31,45 a
<i>P</i> (Espaçamento)	< 0,0001	0,2034	0,0622	0,2798	0,0010	0,0547	0,0068	0,0022	0,0768	0,1047
INTERAÇÃO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
<i>P</i> (Interação)	0,3684	0,0791	0,4715	0,1013	0,0965	0,5851	0,2807	0,7508	0,9715	0,2034
CV (%)	21,23	27,73	74,40	43,87	41,61	46,48	31,19	29,98	43,42	33,21

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Figura 6 – Massa da matéria seca do caule de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



A massa da matéria seca foliar (MSF) teve comportamento semelhante à área foliar para todos os tratamentos. A análise de variância revela que não houve efeito significativo da interação híbridos x espaçamentos em nenhum momento durante o ciclo para essa variável (Tabela 11).

Analizando o efeito principal dos fatores sobre esta variável, nota-se que ocorreu diferença significativa entre os híbridos aos 14, 28 e 56 DAE, e entre os espaçamentos aos 14, 28, 42, 56, 70, 84 e 112 DAE (Tabela 11). O híbrido 2, apesar de não diferir do híbrido 1 nas duas primeiras coletas, apresentou maiores valores de MSF que os demais até os 56 DAE. A MSF foi superior para o espaçamento convencional durante praticamente todo o ciclo, assim como os resultados obtidos por Kotz (2012) estudando a cultivar IAC 2028.

Também houve diferença entre o momento de máximo acúmulo de MSF entre os híbridos, tanto em espaçamento reduzido (Figura 7A) como em espaçamento convencional (Figura 7B), e entre os espaçamentos para os híbridos 2 e 3.

Tabela 11 - Massa seca foliar (g) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

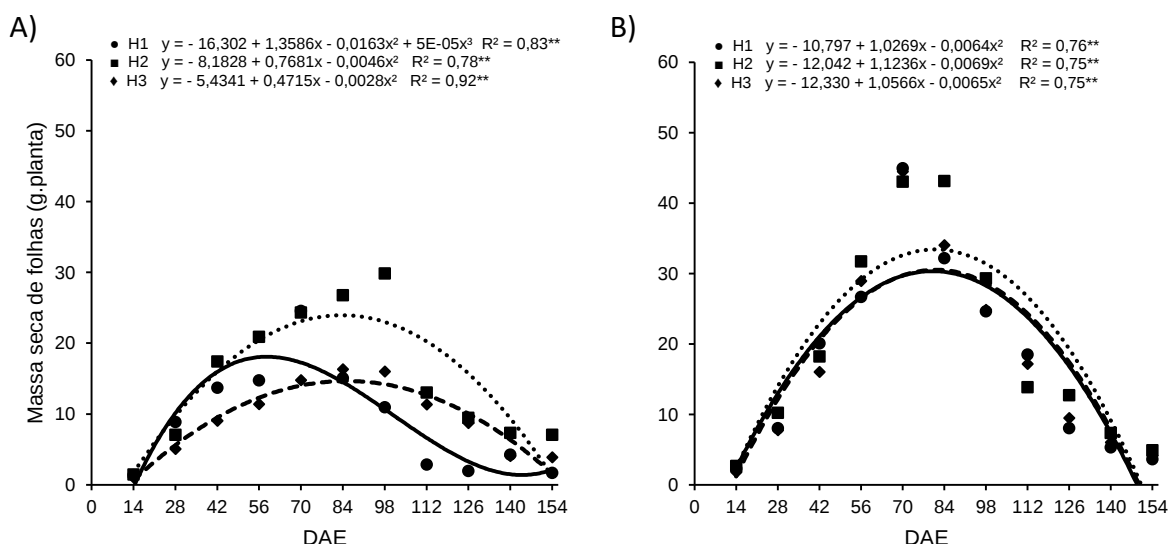
HÍBRIDO	MASSA SECA FOLIAR (g)										
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
H ₁	1,83 ab	8,44 ab	16,90 a	20,71 b	34,73 a	23,60 a	17,76 a	10,67 a	5,00 a	4,78 a	2,63 a
H ₂	2,06 a	8,61 a	17,80 a	26,28 a	33,67 a	34,95 a	29,56 a	13,44 a	11,09 a	7,33 a	5,96 a
H ₃	1,42 b	6,41 b	12,52 a	20,17 b	29,61 a	25,16 a	20,43 a	14,24 a	9,10 a	5,04 a	3,98 a
<i>P</i> (Híbrido)	0,0286	0,0490	0,0736	0,0217	0,3455	0,1084	0,0952	0,5793	0,0610	0,6103	0,1485
ESPAÇAMENTO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
Reduzido	1,28 b	6,97 b	13,36 b	15,66 b	21,20 b	19,36 b	18,91 a	9,07 b	6,70 a	5,20 a	4,19 a
Convencional	2,26 a	8,66 a	18,11 a	29,11 a	44,14 a	36,44 a	26,25 a	16,50 a	10,09 a	6,22 a	4,19 a
<i>P</i> (Espaçamento)	< 0,0001	0,0361	0,0214	< 0,0001	< 0,0001	0,0015	0,1081	0,0208	0,1016	0,6591	0,9959
INTERAÇÃO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
<i>P</i> (Interação)	0,5076	0,0858	0,3512	0,2712	0,2842	0,9916	0,4099	0,1360	0,5509	0,9433	0,4529
CV (%)	24,33	23,01	28,74	19,14	21,89	38,77	46,60	55,12	56,83	97,16	76,67

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Na figura 7 podemos observar que, o acúmulo máximo de MSF do híbrido 1 ocorreu aos 70 DAE independente do espaçamento adotado entre fileiras, com valores de 24,53 g.planta⁻¹ em espaçamento reduzido e 44,94 g.planta⁻¹ em espaçamento convencional. Para o híbrido 2 houve incremento até os 98 DAE em espaçamento reduzidos, e até os 84 DAE em espaçamento convencional, atingindo médias de 29,83 g.planta⁻¹ e 43,12 g.planta⁻¹, respectivamente. O híbrido 3 apresentou acúmulo máximo de 16,29 g.planta⁻¹ aos 84 DAE dentro do espaçamento reduzido, e 44,47 g.planta⁻¹ aos 70 DAE quando cultivado em espaçamento convencional.

As curvas de MSF indicam que, na fase inicial houve incremento devido a produção de folhas novas e expansão da área foliar, e que após atingir o valor máximo de MSF, todos os tratamentos sofreram redução em função da senescência e abscisão foliar. Com exceção do híbrido 1 dentro do espaçamento reduzido, que apresentou valores de MSF que melhor se ajustam ao modelo cúbico pela tendência de estabilização da MSF a partir do 112 DAE, todos os tratamentos podem ter a MSF representada pelo modelo quadrático (Figura 7).

Figura 7 – Massa seca foliar de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



As primeiras estruturas reprodutivas foram observadas logo aos 28 DAE, indicando precocidade dos híbridos testados quando comparados a cultivar IAC 2028 avaliada por Kotz (2012) que apresentou suas primeiras estruturas reprodutivas somente aos 84 DAE. A percepção da primeira inflorescência é o começo claro da fase reprodutiva, uma vez que, respondendo a sinais ambientais ou fisiológicos, os meristemas apicais

do caule que antes davam origem a folhas, passam a se diferenciar em estruturas reprodutivas (SEVERINO; AULD, 2013).

O efeito da interação híbridos x espaçamentos sobre a massa seca de estruturas reprodutivas (MSER) foi significativo somente aos 70 e 84 DAE, de forma que, aos 70 DAE, dentro do espaçamento reduzido, houve contraste entre os híbridos, com maior acúmulo de massa seca para o híbrido 1 (Tabela 12). Neste mesmo momento, nota-se que os híbridos 2 e 3 apresentaram maior acúmulo de MSER quando cultivados em espaçamento convencional, e que não houve contraste entre a MSER de plantas do híbrido 1 em relação aos espaçamentos testados. Aos 84 DAE, houve contraste entre os híbridos 1 e 2 cultivados em espaçamento convencional, com maior MSER para o híbrido 2, e assim como aos 70 DAE, os híbridos 2 e 3 apresentaram maior acúmulo de MSER quando cultivados em espaçamento convencional (Tabela 12).

Tabela 12 - Massa seca de estruturas reprodutivas (g) de híbridos de mamona aos 70 e 84 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	MASSA SECA DE ESTRUTURAS REPRODUTIVAS (g)			
	70 DAE		84 DAE	
	Reduzido	Convencional	Reduzido	Convencional
H ₁	26,92 Aa	33,90 Aa	32,11 Aa	39,27 Ba
H ₂	10,27 Bb	41,20 Aa	23,71 Ab	65,96 Aa
H ₃	10,81 Bb	34,45 Aa	23,03 Ab	50,57 ABa
p (Híbrido)	0,1200		0,2541	
p (Espaçamento)	< 0,0001		< 0,0001	
p (Interação)	0,0121		0,0263	
CV (%)	26,95		29,45	

Médias seguidas pela mesma letra na maiúscula coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

O efeito principal do fator híbridos, sobre a MSER acumulada, foi significativo somente no início do ciclo, aos 42 e 56 DAE (Tabela 13). Já para o fator espaçamentos, houve maior acúmulo de MSER em espaçamento convencional desde os 42 DAE até o final do ciclo.

Tabela 13 - Massa seca de estruturas reprodutivas (g) de híbridos de mamona aos 28, 42, 56, 98, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

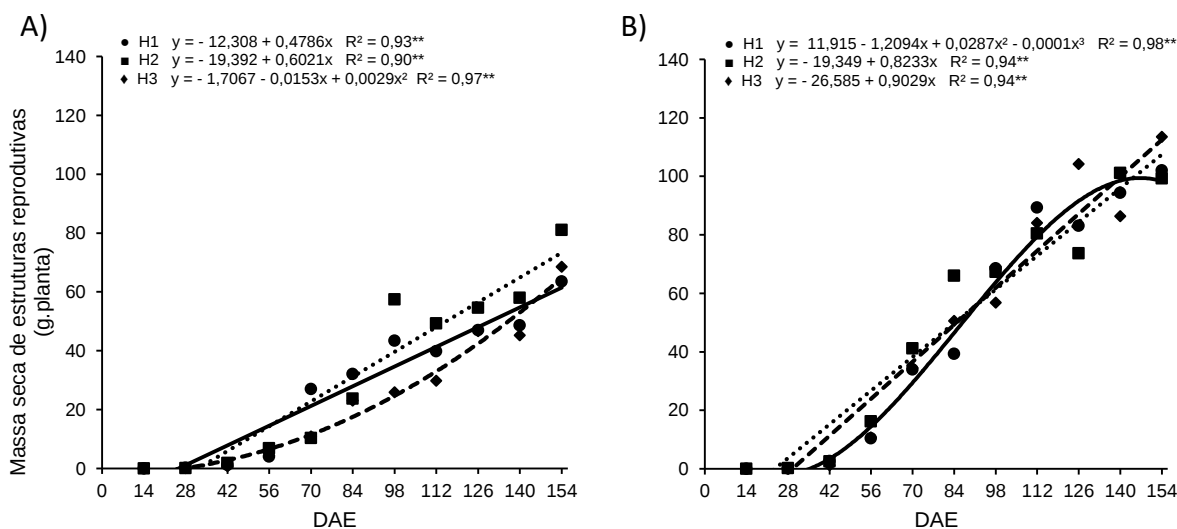
HÍBRIDO	MASSA SECA DE ESTRUTURAS REPRODUTIVAS (g)							
	28 DAE	42 DAE	56 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
H ₁	0,16 a	1,93 ab	7,21 b	56,00 a	64,58 a	65,02 a	71,50 a	82,76 a
H ₂	0,12 a	2,19 a	11,54 a	62,36 a	64,85 a	64,11 a	79,57 a	90,16 a
H ₃	0,06 a	0,95b	7,50 b	41,32 a	56,89 a	75,42 a	65,84 a	90,98 a
<i>P</i> (Híbrido)	0,2495	0,0235	0,0195	0,0550	0,7212	0,5665	0,6876	0,7975
ESPAÇAMENTO	28 DAE	42 DAE	56 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
Reduzido	0,10 a	1,26 b	5,03 b	42,21 b	39,63 b	49,42 b	50,63 b	71,04 b
Convencional	0,13 a	2,13 a	12,48 a	64,24 a	84,59 a	86,95 a	93,97 a	104,90 a
<i>P</i> (Espaçamento)	0,5830	0,0231	< 0,0001	0,0046	0,0002	0,0012	0,0042	0,0072
INTERAÇÃO	28 DAE	42 DAE	56 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
<i>P</i> (Interação)	0,1344	0,4317	0,5471	0,4294	0,5549	0,2803	0,9895	0,5892
CV (%)	98,01	49,31	34,37	30,47	35,63	33,93	43,54	30,37

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

A média atingida ao final do ciclo pelos híbridos em espaçamento reduzido é aproximadamente 32% menor que a média dos mesmos em espaçamento convencional (Tabela 13). Resultados semelhantes foram encontrados por Kotz (2012) estudando a cultivar IAC 2028, e por Pivetta et al. (2017) em seus estudos com cultivares híbridas e IAC 2028.

As linhas de tendência que representam o acúmulo de MSER dos híbridos 1 e 2 em espaçamento reduzido (Figura 8A), e híbridos 2 e 3 em espaçamento convencional (Figura 8B), indicam incremento linear de massa seca até o final do ciclo. O híbrido 3, quando cultivado em espaçamento reduzido, apresentou valores de MSER que melhor se ajustam ao modelo quadrático, e o híbrido 1, em espaçamento convencional, apresentou MSER que melhor se ajusta ao modelo de regressão cúbica.

Figura 8 – Massa da matéria seca de estruturas reprodutivas de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



Na tabela 14 podemos observar que não houve efeito significativo da interação entre híbridos e espaçamentos em nenhum momento durante o ciclo para a variável massa seca total por planta (MSTP). Contrastes entre os híbridos podem ser notados nas coletas realizadas aos 14, 28, 56, e 98 DAE, e entre os espaçamentos por praticamente todo o ciclo, com exceção da coleta realizada aos 28 DAE. Aos 14, 56 e 98 DAE houve contraste entre a MSTP acumulada dos híbridos 2 e 3, com maiores valores para o híbrido 2. Já aos 28 DAE, o híbrido 1 apresentou maior MSTP que os demais, com diferença significativa apenas do híbrido 3 (Tabela 14).

Tabela 14 - Massa seca total por planta (g) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	MASSA SECA TOTAL POR PLANTA (g)										
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
H ₁	2,33 ab	11,36 a	29,71 a	41,35 ab	91,30 a	85,79 a	98,98 ab	99,19 a	93,96 a	103,05 a	112,09 a
H ₂	2,54 a	11,23 ab	30,52 a	55,83 a	84,27 a	111,00 a	123,37 a	102,99 a	103,10 a	118,87 a	126,97 a
H ₃	1,78 b	8,37 b	18,30 a	40,33 b	77,47 a	86,66 a	85,99 b	93,61 a	111,82 a	98,86 a	121,89 a
<i>P</i> (Híbrido)	0,0277	0,0485	0,0724	0,0309	0,4341	0,1911	0,0380	0,8406	0,5645	0,6743	0,7289
ESPAÇAMENTO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
Reduzido	1,62 b	9,28 a	20,69 b	33,91 b	53,88 b	67,69 b	82,71 b	65,11 b	76,56 b	79,88 b	100,08 b
Convencional	2,82 a	11,36 a	31,66 a	57,76 a	114,82 a	121,28 a	122,85 a	132,08 a	129,37 a	133,98 a	140,54 a
<i>P</i> (Espaçamento)	< 0,0001	0,0579	0,0263	0,0002	< 0,0001	0,0005	0,0021	0,0001	0,0013	0,0128	0,0188
INTERAÇÃO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
<i>P</i> (Interação)	0,4702	0,0739	0,5156	0,5052	0,1051	0,6952	0,2205	0,2421	0,4647	0,9960	0,4545
CV (%)	23,27	23,98	41,63	25,45	24,69	31,49	25,79	32,28	31,83	43,88	31,28

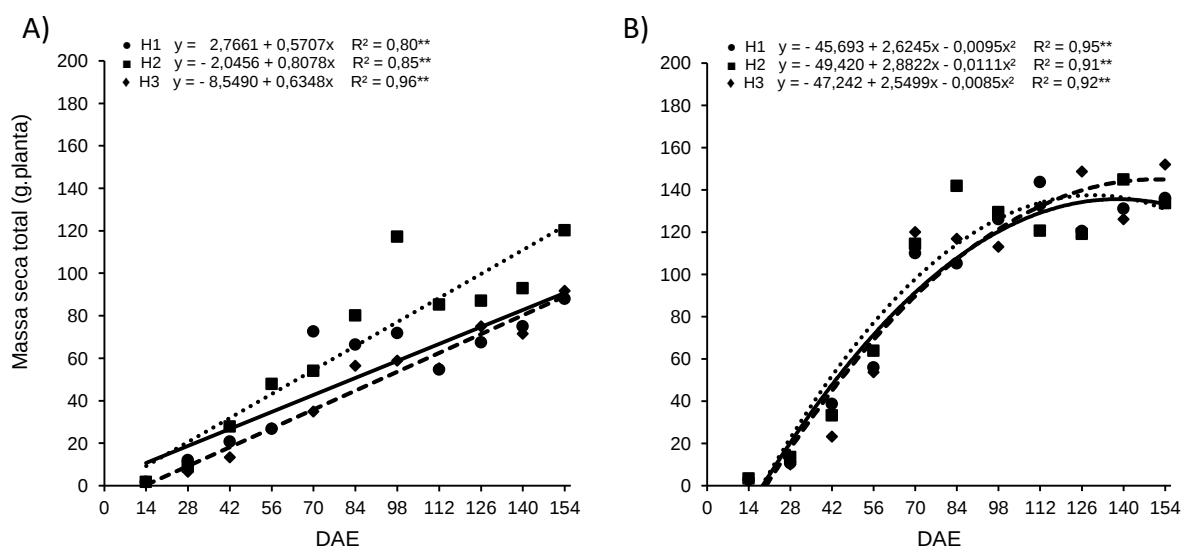
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

Assim como para a MSER, maiores médias de acúmulo de MSTP são atribuídas aos tratamentos cultivados em espaçamento convencional. Kotz (2012) e Souza - Schlick et al. (2012), obtiveram resultados que indicam que o aumento da população de plantas reduz a produção de matéria seca da parte aérea da cultivar IAC 2028, corroborando com os resultados observados neste estudo.

A massa da matéria seca total por planta (MSTP) é dependente das variáveis MSC, MSF e MSER, e é resultado da energia advinda da atividade fotossintética, juntamente com a energia absorvida de nutrientes minerais (BENINCASA, 2003). Neste sentido, o acúmulo de MSTP ao longo do ciclo é uma estimativa amplamente utilizada para inferências sobre a fotossíntese líquida de diferentes genótipos e a influência de tratos culturais empregados.

As linhas de tendência indicam diferença entre o padrão de incremento de MSTP entre os espaçamentos adotados (Figura 9). Houve incremento linear de MSTP em espaçamento reduzido ao longo do ciclo de cultivo. Em espaçamento convencional, os valores de MSTP melhor se ajustaram ao modelo quadrático que se caracteriza pelo crescimento inicial lento até os 14 DAE, seguido de acelerado incremento até aproximadamente os 70 DAE e posterior estabilização da MSTP acumulada.

Figura 9 – Massa da matéria seca total por planta de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



Não houve efeito significativo da interação híbridos x espaçamentos para a massa de matéria seca total por hectare (MSTH) (Tabela 15). O efeito do fator híbridos sobre

essa variável pode ser observada aos 14, 42, 56 e 98 DAE, onde o híbrido 2 apresentou maior acúmulo de MSTH que o híbrido 3, e maior MSTH que o híbrido 1 aos 56 DAE. Quanto ao fator espaçamentos, a redução do espaçamento entre fileiras, seguido pelo aumento no número de plantas por hectare, favoreceu o maior acúmulo de MSTH por praticamente todo o ciclo, com diferença significativa aos 28, 98 e 154 DAE, expressando efeito contrário ao observado na variável MSTP.

Kotz (2012) também observou a inversão do efeito da população de plantas, sobre esta variável quando comparada a MSTP. Essa inversão pode ser atribuída a compensação gerada pelo uso de maior número de plantas por hectare obtido nos tratamentos com espaçamento reduzido.

As linhas de tendência indicam diferença no padrão de incremento de MSTH entre os espaçamentos adotados (Figura 10). Em espaçamento reduzido, o incremento seguiu o modelo linear, que se caracteriza por apresentar menor valor ao início do ciclo, com incremento constante até o final do ciclo. Já em espaçamento convencional, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático, com crescimento inicial lento até os 14 DAE, seguido de acelerado incremento até aproximadamente os 70 DAE e posterior estabilização da MSTH acumulada até o final do ciclo.

Figura 10 – Massa da matéria seca total por hectare de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

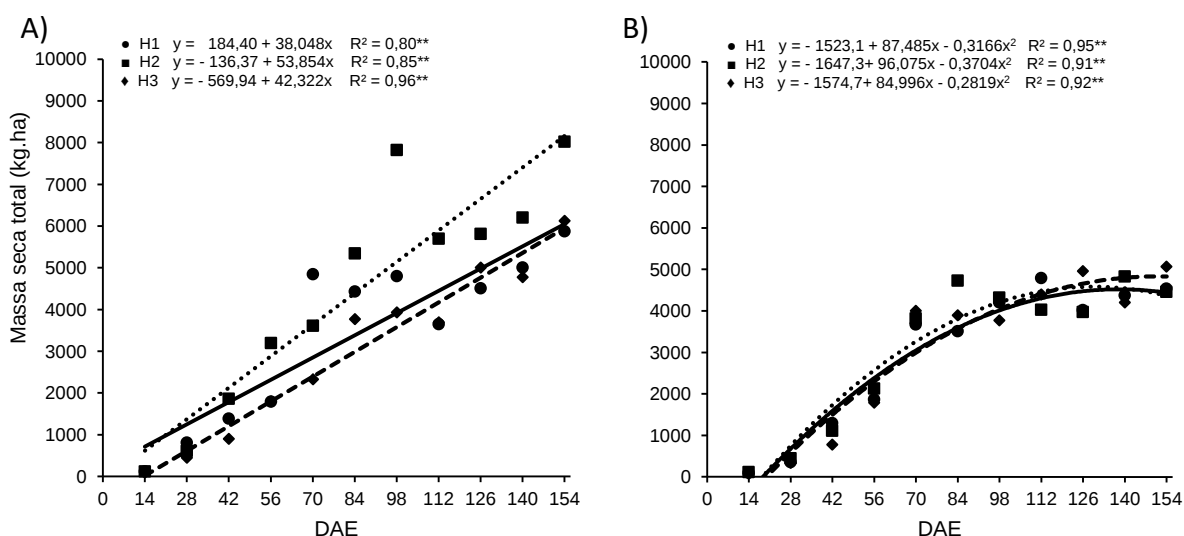


Tabela 15 - Massa seca total por hectare (kg ha⁻¹) de híbridos de mamona aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 126, 140 e 154 dias após a emergência (DAE) submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

HÍBRIDO	MASSA SECA TOTAL POR HECTARE (g)										
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
H ₁	107,00 ab	580,13 a	1336,15 ab	1826,00b	4253,42 a	3966,28 a	4498,27 ab	4217,90 a	4257,62 a	4686,19 a	5204,32 a
H ₂	114,08 a	525,47 a	1482,19 a	2659,08 a	3711,25 a	5036,12 a	6067,48 a	4855,34 a	4888,66 a	5511,47 a	6237,29 a
H ₃	81,58 b	390,79 a	833,85 b	1793,94 b	3164,14 a	3830,52 a	3847,87 b	4042,19 a	4977,84 a	4488,91 a	5593,76 a
<i>P</i> (Híbrido)	0,0183	0,0566	0,0277	0,0205	0,2166	0,2919	0,0198	0,5911	0,6426	0,5587	0,6651
ESPAÇAMENTO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
Reduzido	107,78 a	618,94 a	1379,58 a	2260,67 a	3591,86 a	4512,51 a	5514,03 a	4340,99 a	5103,79 a	5325,04 a	6672,14 a
Convencional	94,00 a	378,66 b	1055,21 a	1925,35 a	3827,34 a	4042,77 a	4095,06 b	4402,63 a	4312,29 a	4466,00 a	4684,78 b
<i>P</i> (Espaçamento)	0,1293	0,0012	0,0968	0,2013	0,6328	0,4870	0,0273	0,9278	0,2570	0,3029	0,0496
INTERAÇÃO	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	84 DAE	98 DAE	112 DAE	126 DAE	140 DAE	154 DAE
<i>P</i> (Interação)	0,8315	0,0738	0,2810	0,1536	0,0862	0,8033	0,0658	0,2152	0,5395	0,9041	0,4995
CV (%)	20,84	29,54	36,85	29,36	31,88	37,75	29,59	37,51	34,94	40,28	40,14

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$; CV = Coeficiente de variação.

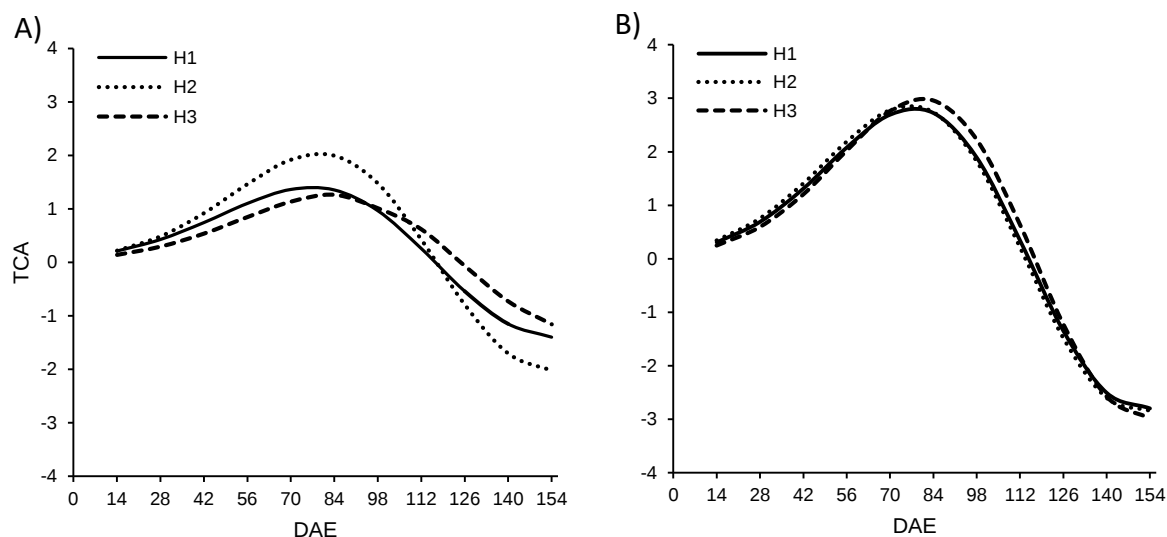
A Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) reflete a velocidade média de incremento de matéria seca pelas plantas (BENINCASA, 2003). O comportamento das curvas da TCA em função do tempo, indica que plantas cultivadas sob espaçamento convencional apresentam maiores TCA até os 112 DAE, revelando maior velocidade no incremento de biomassa inicial em espaçamento mais largo (Figura 11). Kotz (2012) observou que, plantas cultivadas sob espaçamento convencional, e em baixa densidade de plantas, apresentaram maior TCA que aquelas cultivadas sob espaçamento reduzido entre os 42 DAE e os 112 DAE quando cultivadas sob disponibilidade hídrica satisfatória.

Apesar da MSTP ter sido superior para plantas cultivadas sob espaçamento convencional, a TCA desses tratamentos sofreu redução após os 84 DAE, sendo superada pela TCA de plantas cultivadas sob espaçamento reduzido aos 126 DAE, momento em que a TCA torna-se negativa.

Considerando que a TCA representa o incremento de matéria seca em gramas por dia, valores negativos indicam perda de matéria seca. Essa perda pode estar relacionada com a paralização do crescimento e ocorrência simultânea de abscisão foliar. Como visto anteriormente, plantas conduzidas sob espaçamento convencional, acumularam maior MSF até os 112 DAE. A partir desse momento, a MSF foi semelhante entre os espaçamentos, indicando abscisão foliar mais intensa em plantas cultivadas em espaçamento convencional. Dessa forma, ao final do ciclo, valores mais negativos de TCA são observados em plantas cultivadas sob espaçamento convencional por haver maior perda de massa seca foliar nesses tratamentos.

Diferenças entre a TCA dos híbridos são mais perceptíveis dentro do espaçamento reduzido, com o híbrido 2 apresentando maior velocidade de crescimento que os demais até os 98 DAE, e o híbrido 3, menor velocidade até os 84 DAE. O híbrido simples comercial AG IMA 110204 (híbrido 1), assume posição intermediária entre os híbridos triplos, no que tange a velocidade de incremento de matéria seca, por praticamente todo o ciclo, se encontrando com TCA inferior aos demais somente no intervalo entre os 98 e 112 DAE. Assim como na comparação entre os espaçamentos utilizados, também ocorre redução mais drástica da TCA ao final do ciclo para o híbrido que expressava maior velocidade de incremento inicial.

Figura 11 – Taxa de Crescimento Absoluto de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



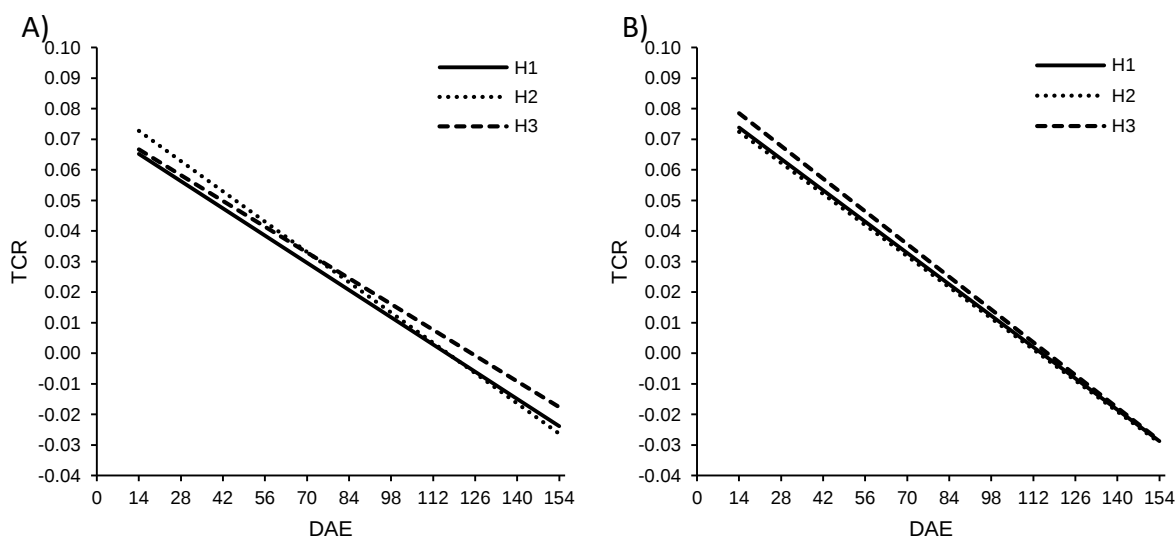
Diferente da TCA, a Taxa de Crescimento Relativo (TCR) leva em consideração a matéria seca vegetal preexistente no cálculo da velocidade de crescimento. Sendo assim, a partir desse índice fisiológico verificamos o incremento de matéria seca por unidade de massa original num certo intervalo de tempo (BENINCASA, 2003).

Neste estudo, para todos os tratamentos, as maiores TCR foram observados aos 14 DAE, com posterior decréscimo linear até o final do ciclo, com TCR passando a ser negativa após os 126 DAE (Figura 12). Kotz (2012), estudando o efeito da população de plantas na cultivar IAC 2028, também verificou decréscimo linear da TCR ao longo do ciclo de forma semelhante para todos os tratamentos. Urchei, Rodrigues e Stones (2000), também verificaram esse comportamento na cultura do feijão, e explica que esse padrão de TCR é resultado da elevação da atividade respiratória e do aumento do sombreamento à medida que a planta se desenvolve, e que a TCR negativa ao final do ciclo é atribuída principalmente à abscisão foliar e morte das gemas.

Benincasa (2003) afirma que é comum o decréscimo da TCR ao longo do ciclo, uma vez que, à medida que a planta cresce, a quantidade de fotoassimilados direcionada ao crescimento diminui, pois passa a competir com a crescente demanda de fotoassimilados para a manutenção de estruturas já formadas.

Quando comparado aos resultados obtidos em espaçamento convencional, o híbrido 2 apresentou, durante todo o ciclo, maiores TCR sob espaçamento reduzido. Os híbrdos 1 e 3, por sua vez, expressaram maiores TCR em espaçamento convencional até os 98 e 84 DAE, respectivamente. Observa-se também, com maior destaque para os tratamentos sob espaçamento reduzido (Figura 12A), comportamento semelhante ao descrito por Aires et al. (2011), onde tratamentos com taxas de crescimento inicialmente mais altas reduzem com maior velocidade do que tratamentos com taxas inicialmente mais baixas.

Figura 12 – Taxa de Crescimento Relativo de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



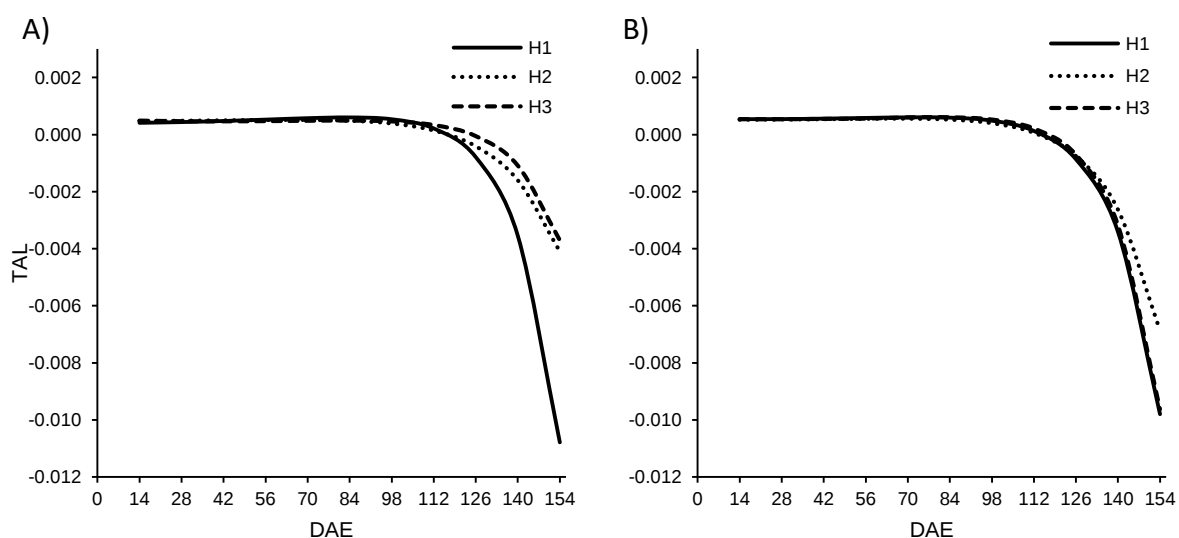
A Taxa Assimilatória Líquida (TAL) representa o incremento de material vegetal por unidade de área foliar em função do tempo (BENINCASA, 2003). É uma medida importante pois reflete a dimensão do sistema assimilador que está envolvido na produção de matéria seca, fornecendo uma estimativa da fotossíntese líquida (URCHEI; RODRIGUES; STONES, 2000).

As curvas da TAL em função do tempo evidenciaram comportamento inicial semelhante entre os tratamentos, com estabilidade da TAL entre os 14 DAE e 84 DAE, e intenso decréscimo ao final do ciclo para todos os tratamentos (Figura 13). Durante essa estabilidade, em espaçamento convencional, as plantas apresentaram TAL ligeiramente maior que aquelas cultivadas em espaçamento reduzido.

Entre os híbridos cultivados sob espaçamento reduzido, a redução da TAL ao final do ciclo foi mais expressiva para o híbrido 1, que apresentou TAL inferior a $-0,01 \text{ g.cm}^2.\text{dia}^{-1}$ aos 154 DAE. A diferença entre o comportamento dos híbridos não foi tão evidente quando cultivados sob espaçamento de convencional. Os híbridos 1 e 3 apresentaram valores mínimos próximos a $-0,01 \text{ g.cm}^2.\text{dia}^{-1}$, e o híbrido 2, com redução menos expressiva, atingiu valor mínimo superior a $-0,007 \text{ g.cm}^2.\text{dia}^{-1}$.

Kotz (2012) também verificou decréscimo intenso da TAL ao final do ciclo para a cultivar IAC 2018, e atribui essa queda à redução da eficiência fotossintética provocada pelo envelhecimento dos tecidos, aumento do autossombreamento e da respiração.

Figura 13 – Taxa Assimilatória Líquida de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



As curvas da razão de área foliar (RAF) em função do tempo evidenciaram que maiores valores ocorreram aos 14 DAE com decréscimo contínuo até o final do ciclo (Figura 14). Comportamento semelhante é relatado por Kotz (2012) em seu estudo com a cultivar IAC 2028, por Santos et al. (2015) em feijoeiro comum, e também por Barreiro et al. (2006) em manjerição.

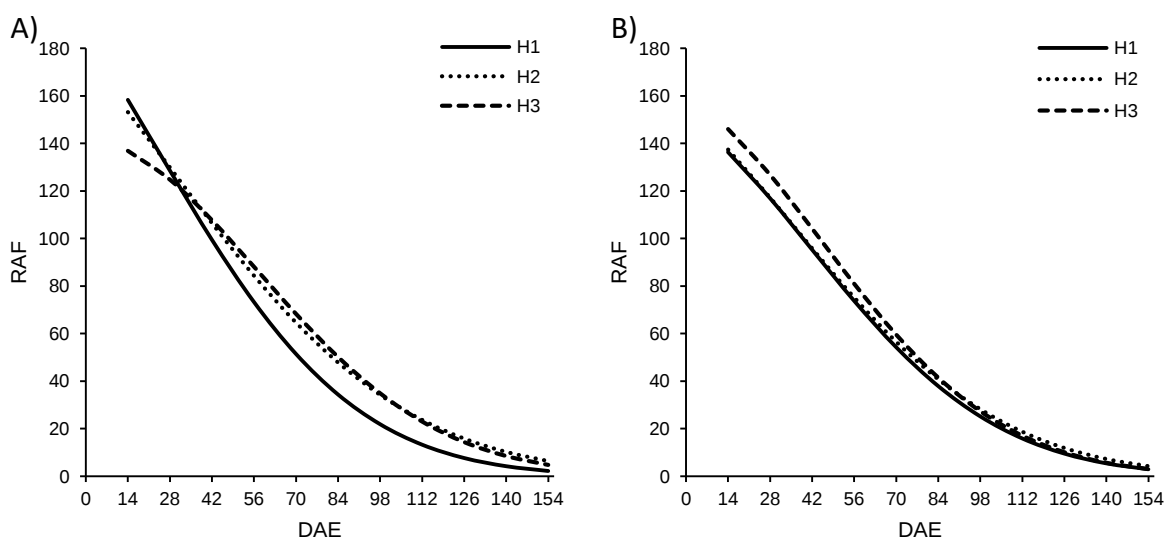
Segundo Benincasa (2003) o declínio da RAF à medida que a planta cresce, é atribuído ao aumento do autossombreamento, que diminui a área útil para a fotossíntese. Santos et al. (2015) também atribuem o declínio da RAF ao

autossombreamento, mas incluem nesse processo a ocorrência simultânea de abscisão foliar e o desenvolvimento de tecidos e estruturas não assimilatórias.

Plantas cultivadas em espaçamento reduzido, onde o autossombreamento é mais expressivo pelo uso de maior densidade de plantas, apresentaram maior RAF quando comparadas aquelas cultivadas em espaçamento convencional, indicando menor eficiência fotossintética, uma vez que necessitam maior área foliar para cada 1 g de matéria seca acumulada.

Quanto ao comportamento dos híbridos, dentro de espaçamento reduzido, o híbrido 1 apresentou maior RAF inicialmente, porém após os 42 DAE passou a apresentar valores de RAF menores que os demais híbridos. Já sob espaçamento convencional, o híbrido 3 apresentou entre os 14 e 98 DAE maiores valores de RAF que os demais, e as curvas de RAF dos híbridos 1 e 2 apresentaram comportamento semelhante durante todo o ciclo, porém o híbrido 1, desde o início, apresentou menores valores de RAF que os demais híbridos testados, indicando maior eficiência fotossintética pela maior produção de assimilados por unidade de superfície foliar.

Figura 14 – Razão de Área Foliar de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



A área foliar específica (AFE) relaciona a superfície foliar com a massa seca da própria folha. A partir deste índice fisiológico pode-se avaliar a eficiência fotossintética

das folhas, inferindo sobre sua contribuição para o crescimento da planta, pois fornece informações a respeito do desenvolvimento foliar e direcionamento de fotoassimilados (KOTZ, 2012).

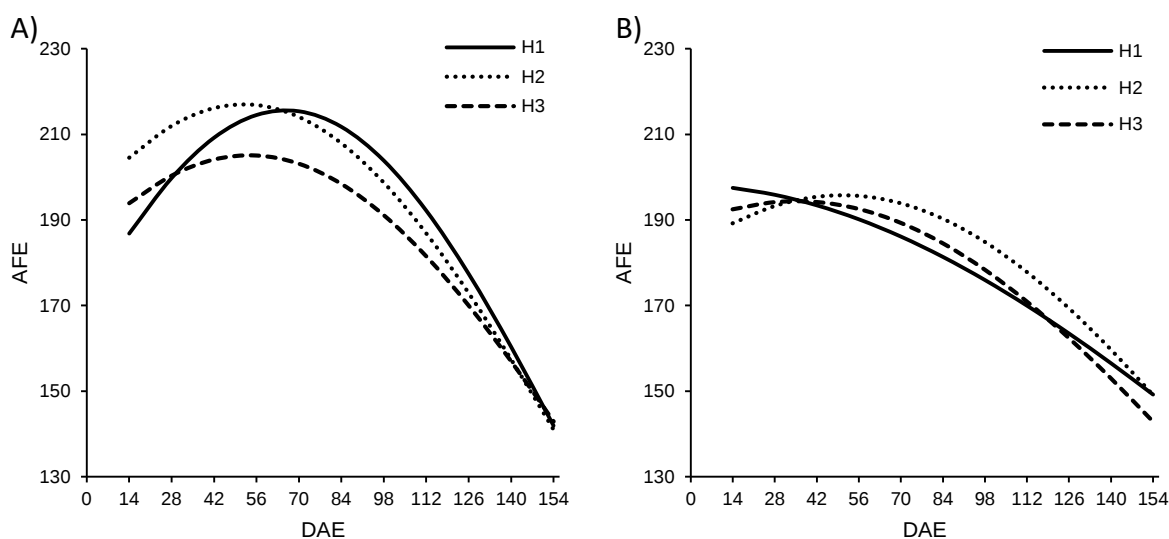
Plantas cultivadas sob espaçamento reduzido apresentaram, durante praticamente todo o ciclo, maior AFE que aquelas cultivadas sob espaçamento convencional (Figura 13). Esse resultado pode ser explicado pela maior competição entre plantas em espaçamento reduzido, que estimula as folhas a se expandirem, reduzindo sua espessura, gerando menor massa foliar por unidade de área foliar.

As curvas de AFE evidenciam que os tratamentos atingiram máxima AFE em diferentes momentos durante o ciclo (Figura 15). Quando cultivados sob espaçamento convencional, o híbrido 1 apresentou máxima AFE logo aos 14 DAE, enquanto híbridos 2 e 3 apresentaram máxima AFE aos 56 e 42 DAE respectivamente. Em espaçamento reduzido os híbridos 2 e 3 expressaram AFE crescente até os 56 DAE, enquanto o híbrido 1 atingiu o máximo somente aos 70 DAE. Após atingir a AFE máxima, todos os tratamentos apresentaram decréscimo até o final do ciclo.

Barreiro et al. (2006) observaram que plantas de manjerição também apresentaram diminuição nos valores de AFE ao longo do ciclo, e salienta que existe a possibilidade desse comportamento ser resultado de uma estratégia adaptativa da espécie, que inicialmente acumula reservas em suas folhas para posteriormente translocar para outros órgãos.

O aumento da AFE na fase inicial de crescimento, seguido de redução até o final do ciclo, pode ser explicado com base no desenvolvimento fisiológico das folhas. Quando jovens, as folhas da mamoneira apresentam tecidos tenros e com alta umidade, e mesmo que totalmente expandidas, a massa seca foliar não será tão expressiva, levando a uma AFE mais elevada. À medida que se desenvolvem, seus tecidos amadurecem e tornam-se mais enrijecidos e conseqüentemente com maior massa seca. Como nesse processo aumenta-se a MSF, e por vezes a AF é mantida, temos uma redução da AFE (BENINCASA, 2003).

Figura 15 – Área Foliar Específica de três híbridos de mamona (H1, H2 e H3) em função do espaçamento reduzido (A) e convencional (B) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.



Para as variáveis sobrevivência de plantas, altura da inserção do primeiro racemo, número de nós até a inserção do primeiro racemo, comprimento médio dos racemos, número de racemos por planta e número de frutos por racemo, avaliadas ao final do ciclo, não houve efeito significativo da interação híbridos x espaçamentos (Tabela 16).

No entanto, houve pelo menos um contraste entre os híbridos para as variáveis: altura da inserção do primeiro racemo, número de nós até a inserção do primeiro racemo, comprimento médio do racemo, número de frutos por racemo e índice de colheita. Entre os espaçamentos testados, somente houve diferença significativa para a variável número de racemos por planta.

Para a altura da inserção do primeiro racemo, o híbrido 1 apresentou média superior ao híbrido 3, mas não diferiu do híbrido 2. Apesar do contraste entre os híbridos, todos apresentam médias inferiores a 60 cm que os classificam como aptos para a colheita mecanizada, com altura da primeira inserção classificada como muito baixa (KILL, 2006). Essa variável não foi influenciada pelo espaçamento entre fileiras e com a consequente alteração na população de plantas, assim como resultados obtidos por Oliveira et al. (2019) e Souza - Schlick et al. (2012).

Tabela 16 - Sobrevivência de plantas, altura da inserção do racemo principal, número de nós até a inserção do racemo principal, comprimento médio dos racemos, número de racemos por planta e número de frutos por racemo de híbridos de mamona submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

FATORES DE VARIAÇÃO	Sobrevivência de plantas (%)	Altura da inserção do racemo principal (cm)	Número de nós até a inserção do racemo principal (un.)	Comprimento médio dos racemos (cm)	Número de racemos por planta (un.)	Número de frutos por racemo (un.)
HÍBRIDO						
H ₁	86,46 a	28,58 a	8,63 b	27,47 a	2,15 a	20,68 ab
H ₂	73,61 a	28,20 ab	9,87 a	28,43 a	2,50 a	21,94 a
H ₃	85,76 a	23,68 b	9,15 ab	21,24 b	2,34 a	16,97 b
<i>P</i> (Híbrido)	0,0665	0,0326	0,0023	0,0108	0,2383	0,0183
ESPAÇAMENTO						
Reduzido	83,33 a	26,75 a	9,27 a	24,40 a	1,83 b	18,57 a
Convencional	80,56 a	26,88 a	9,16 a	27,02 a	2,83 a	21,15 a
<i>P</i> (Espaçamento)	0,5564	0,9309	0,6788	0,1668	< 0,0001	0,0654
INTERAÇÃO						
<i>P</i> (Interação)	0,1529	0,0849	0,7579	0,1178	0,8007	0,8548
CV (%)	13,80	13,81	6,29	17,23	16,66	16,01

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Lopes et al. (2013) estudando a cultivar BRS Nordestina, observaram que quando inserida em cultivo de verão, a mamoneira apresenta decréscimo linear em altura da inserção do primeiro racemo com o aumento do espaçamento entre fileiras. O mesmo autor observa que não há influência do espaçamento entre fileiras quando a mamoneira é inserida em cultivo de inverno. Isto deve-se a maior disponibilidade de água maior no verão que favorece a competição para plantas em espaçamento reduzido.

Apesar de o híbrido 1 apresentar maior média para altura da inserção do primeiro racemo, o mesmo apresentou menor número de nós até a inserção, o que indica internódio mais comprido que os demais híbridos. O híbrido 2 apresentou maior número de nós até a primeira inserção, não diferindo do híbrido 3. O espaçamento entre fileiras não influenciou esta variável. Kotz (2012) observou não haver influência de espaçamentos entre fileiras e de populações de plantas sobre o número de nós até a primeira inserção.

Os híbridos 1 e 2 desenvolveram racemos com maior comprimento que o híbrido 3. Esta característica não foi influenciada pelo espaçamento entre fileiras e consequentemente pela alteração na população de plantas. Kotz (2012) e Lopes et al. (2013) também obtiveram resultados que indicam que a alteração na população de plantas, ou mesmo no espaçamento entre fileiras, não provoca diferenças no comprimento médio dos racemos.

Todos os híbridos apresentaram média superior a dois racemos por plantas e não apresentaram diferenças significativas para esta variável. Em espaçamento reduzido, as plantas produziram cerca de 1 racemo a menos por planta do que aquelas cultivadas em espaçamento convencional. A regulação do número de racemos por planta é considerada o mecanismo mais usual da mamoneira para ajustar-se as condições ambientais (SEVERINO; AULD, 2013).

Estudando o híbrido AG IMA 110204 nas mesmas densidades de plantas, Oliveira et al. (2019) obtiveram redução de aproximadamente 0,5 racemos por planta em espaçamento reduzido. Resultados obtidos por Kotz (2012) indicam que com o aumento da população de plantas há redução no número de racemos por planta na cultivar IAC 2028. Lopes et al. (2013) observaram incremento linear no número de

racemos por planta com o aumento do espaçamento entre fileiras para a cultivar BRS Nordestina.

A mamoneira também é capaz de ajustar o número de frutos nos racemos. Isto porque o número de frutos resulta da diferença entre o número de flores iniciadas por cada racemo e o número de flores femininas perdidas por abscisão. A abscisão precoce de flores ou de frutos, juntamente com o potencial de iniciação de um grande número de flores no racemo, é considerado um mecanismo evolutivo que aumenta a aptidão de plantas em caso de condições ambientais imprevisíveis, com baixo custo energético para a planta, e vantagens como a maior capacidade de recuperação em caso de danos à primeira florada e seleção de flores e frutos mais competitivos dentro do racemo (SEVERINO; AULD, 2013).

Neste estudo, observou-se diferenças de ordem genética entre os híbridos para a variável número de frutos por racemo. O híbrido simples AG IMA 110204 (1) desenvolveu cerca de 21 frutos por racemo, e não se diferenciou dos demais híbridos triplos. O híbrido 2, por sua vez, desenvolveu cerca de 22 frutos por racemo e diferiu estatisticamente do híbrido 3, que produziu somente cerca de 17 frutos por racemo. O uso de diferentes espaçamentos entre fileiras não conferiu diferença entre o número de frutos por racemo, assim como o observado por Soratto et al. (2011) na safra 2008/2009 para a cultivar de mamona FCA-PB.

Também não houve efeito significativo da interação híbridos x espaçamentos para número de grãos por fruto, massa de 100 grãos, índice de colheita, produtividade de grãos, teor de óleo nos grãos e produtividade de óleo (Tabela 17). Somente a variável índice de colheita expressou diferença entre os híbridos testados. O espaçamento entre fileiras exerceu influência somente sobre o índice de colheita.

Tipicamente, a mamona produz cerca de três grãos por frutos, porém há possibilidade de um fruto conter de um a quatro grãos, com definição do número de grãos ocorrendo durante o processo de desenvolvimento do racemo (SEVERINO; AULD, 2013). O número de grãos por fruto, assim como o número de frutos por racemo e número de racemos por planta, é uma característica que reflete desempenho produtivo.

Tabela 17 - Grãos por fruto, massa de cem grãos, índice de colheita, produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo de híbridos de mamona submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido (0,45 m) e convencional (0,90 m) entre fileiras. Botucatu-SP, 2019.

FATORES DE VARIAÇÃO	Grãos por fruto (un.)	Massa de 100 grãos (g)	Índice de colheita	Produtividade de grãos (Kg ha⁻¹)	Teor de óleo (%)	Produtividade de óleo (Kg ha⁻¹)
HÍBRIDO						
H ₁	2,90 a	26,09 a	0,45 ab	1877,04 a	37,65 a	710,11 a
H ₂	2,91 a	27,59 a	0,40 b	2019,43 a	37,62 a	758,52 a
H ₃	2,88 a	27,35 a	0,46 a	1547,83 a	37,03 a	574,56 a
<i>P</i> (Híbrido)	0,3183	0,4125	0,0392	0,1441	0,6898	0,1368
ESPAÇAMENTO						
Reduzido	2,89 a	26,18 a	0,41 b	1893,51 a	37,72 a	707,37 a
Convencional	2,90 a	27,84 a	0,45 a	1736,02 a	37,15 a	654,75 a
<i>P</i> (Espaçamento)	0,4298	0,1055	0,0434	0,4151	0,3918	0,4818
INTERAÇÃO						
<i>P</i> (Interação)	0,6960	0,4060	0,1094	0,1941	0,9054	0,2157
CV (%)	1,48	8,72	10,38	25,36	4,28	26,24

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Neste estudo, o número de grãos por fruto não foi influenciado pelos fatores e sua interação, sendo que o número médio de grãos por fruto obtido é de 2,9. Soratto et al. (2012), também observaram que o número médio de grãos por fruto não é influenciado por diferentes populações de plantas e épocas de semeadura. Esses resultados devem-se ao fato de esta característica apresentar alta herdabilidade genética e portanto, ser pouco responsiva ao ambiente e fatores exógenos (FREIRE et al., 2007).

A inexistência de contraste entre os híbridos para a variável massa de cem grãos, revela que existe similaridade entre eles para o tamanho e o peso médio dos grãos. Oliveira et al. (2019) verificaram que plantas cultivadas em espaçamento convencional apresentaram maior massa que aquelas cultivadas em espaçamento reduzido. Porém, os resultados obtidos no presente estudo indicam que, apesar da média obtida para o espaçamento convencional ser ligeiramente maior, não há diferença significativa entre a massa de cem grãos dos espaçamentos testados.

Neste estudo, o híbrido 1 apresentou IC de 45%, assumindo posição intermediária entre o híbrido 3 e o híbrido 2, que foram diferentes estatisticamente a 5% de probabilidade. Cruz (2019), estudando o híbrido AG IMA 110204 em adubação mineral e orgânica, obteve IC igual a 37% e 41% respectivamente para os seus tratamentos.

Na tabela 17 podemos observar que, em espaçamento convencional, o índice de colheita foi significativamente maior ao das plantas cultivadas sob espaçamento reduzido. O índice de colheita é a razão entre o peso do produto comercializado, e a biomassa total acima do solo no momento da colheita (SEVERINO; AULD, 2013). Dessa forma, podemos inferir que, plantas cultivadas em espaçamento reduzido, alocaram maior porção de seus fotoassimilados para o crescimento vegetativo, ou não foram tão eficientes no processo de translocação. Kotz (2012) observou que, independente da população de plantas, o IC de plantas da cultivar IAC 2028, cultivadas em espaçamento reduzido, se assemelhou ao daquelas cultivadas em espaçamento mais largo.

A produtividade média de grãos obtida neste experimento é de 1814,77 kg ha⁻¹, não havendo diferença significativa entre os híbridos e os espaçamentos testados. Segundo mantenedores do híbrido AG IMA 110204 (híbrido 1), sua produtividade média é superior a 1500 kg.ha⁻¹, podendo chegar até 3000 kg.ha⁻¹ em condições ambientais favoráveis (SÁ et al., 2015). Embora tenham se desenvolvido em

condições de baixa precipitação pluviométrica (cerca de 550 mm acumulados ao longo do ciclo), o híbrido simples comercial (AG IMA 110204) e os híbridos triplos (FCA T1 e FCA T2) alcançaram produtividade satisfatória.

Com base na produtividade de grãos, os híbridos triplos testados encontram-se pareados com o híbrido simples comercial, demonstrando viabilidade no desenvolvimento de híbridos triplos na cultura da mamona, visando redução dos custos na obtenção de semente genética.

Quanto aos espaçamentos testados, a mamoneira é caracterizada como uma planta capaz de ajustar componentes produtivos quando alterações na densidade de plantas são realizadas na lavoura (SEVERINO et al., 2017), neste estudo, o número de racemos por planta, que foi maior em plantas cultivadas em espaçamento convencional, é o componente produtivo responsável por igualar a produtividade entre os dois espaçamentos adotados. Em estudo realizado por Oliveira et al. (2019), o híbrido AG IMA 110204 apresentou maior produtividade quando cultivado em espaçamento convencional, porém os valores de produtividade média apresentados pelo autor, para as diferentes densidades populacionais, correspondem a aproximadamente um terço da produtividade observada neste estudo.

O teor de óleo dos grãos foi semelhante para todos os híbridos testados, e não foi influenciado pelo espaçamento adotado entre fileiras. Oliveira et al. (2019) também não observaram variação no teor de óleo dos grãos do híbrido AG IMA 110204 exposto a espaçamento convencional e reduzido. Outros autores (SOUZA - SCHLICK et al., 2012; SOUZA - SCHLICK et al., 2014) também relataram não haver influência do espaçamento entre fileiras, ou mesmo da população de plantas sobre esta variável. Como não houve diferença estatística para as variáveis produtividade de grãos e teor de óleo dos grãos, consequentemente a produtividade de óleo não foi influenciada pelos fatores estudados.

4 CONCLUSÕES

Plantas cultivadas sob espaçamento convencional são mais eficientes fotossinteticamente, exibindo maior velocidade no incremento inicial de biomassa, maior acúmulo de biomassa individual acima do solo, assim como maior número de racemos por planta.

Tratamentos submetidos ao cultivo em espaçamento reduzido, produziram maior quantidade de biomassa por área ao longo do ciclo, e tiveram sua produtividade de grãos equiparada àqueles cultivados em espaçamento convencional.

Diferenças entre os híbridos, quanto ao acúmulo e partição de biomassa, são observados somente ao início do ciclo, não havendo evidências de que a vantagem inicial exerça influência sobre o acúmulo de biomassa final, bem como sobre a produtividade de grãos.

Tendo em vista que a produtividade de grãos e de óleo foram semelhantes entre os híbridos e entre os espaçamentos testados, a recomendação deve ser realizada com base nos custos de produção.

Diferença entre o custo de sementes de híbridos simples e triplos deve ser considerada para tomada de decisão, atentando-se para a maior uniformidade de plantas em campo, proporcionada pelo híbrido simples.

Quanto ao espaçamento entre fileiras, deve-se levar em consideração o maior investimento em sementes para implantação em espaçamento reduzido, porém, devido a maior cobertura do solo proporcionada por esse tratamento, há possibilidade de redução nos custos com manejo de plantas invasoras.

REFERÊNCIAS

- AIRES, R. F.; SILVA, S. D. A.; EICHOLZ, E. D. Análise de crescimento de mamona semeada em diferentes épocas. **Ciência Rural**, v. 41, n. 8, p. 1347-1353, 2011.
- ALGUACIL, M. M.; TORRECILLAS, E.; HERNANDEZ, G.; TORRES, P.; ROLDAN, A. *Jatropha curcas* and *Ricinus communis* differentially affect arbuscular mycorrhizal fungi diversity in soil when cultivated for biofuel production in a Guantanamo (Cuba) tropical system. **EGUGA**, v. 14, p. 2703, 2012.
- ALVAREZ, R. C. F.; RODRIGUES, J. D.; MARUBAYASHI, O. M.; ALVAREZ, A. C. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Análise de crescimento de duas cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 611-616, 2005.
- ALVES, G. S.; TARTAGLIA, F. D. L.; FERREIRA, M. M.; BEUTLER, A. N.; DOS SANTOS, E. C. Análise de crescimento da mamoneira BRS Energia em função da densidade populacional. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 167-175, 2015.
- ANJANI, K. Castor genetic resources: a primary gene pool for exploitation. **Industrial crops and products**, v. 35, n. 1, p. 1-14, 2012.
- AULD, D. L.; ZANOTTO, M. D.; MCKEON, T.; MORRIS, J. B. Rícino. In: **Oil Crops**. Springer, New York, NY, p. 317-332, cap. 10, 2009.
- AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, p. 223-253, cap. 10, 2007.
- BARREIRO, A. P.; ZUCARELI, V.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Análise de crescimento de plantas de manjeriço tratadas com reguladores vegetais. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 563-567, 2006.
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. de. Fisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, p. 139-150, cap. 6, 2007.
- BELTRÃO, N. D. M.; AZEVEDO, D. D.; LIMA, R. D. L. D.; QUEIROZ, W. D.; QUEIROZ, W. D. Ecofisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, p. 45-72, cap. 2, 2007.
- BELTRÃO, N. E. M.; LUCENA, A. M. A.; BRITO, G. G.; OLIVEIRA, M. I. P.; ALBUQUERQUE, F. A. Ecofisiologia da mamoneira (*Ricinus communis* L.). In: BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. 2. ed. Brasília DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, p. 195-256, 2011.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BIZINOTO, T. K. M. C.; OLIVEIRA, E. G. D.; MARTINS, S. B.; SOUZA, S. Â. D.; GOTARDO, M. Cultivo da mamoneira influenciada por diferentes populações de plantas. **Bragantia**, v. 69, n. 2, 2010.

CHIERICE, G. O.; CLARO NETO, S. Aplicação industrial do óleo. *In*: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2007. p. 417-448.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Mamona Brasil**: série histórica de produtividade. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safras/safra-serie-historica>>. Acesso em: 15 de dez. 2020.

CRUZ, L. R. **Viabilidade agrônômica das culturas do milho e mamona em diferentes sistemas de produção na Amazônia Ocidental**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

DINIZ, B. L. M. T.; TÁVORA, F. J. A. F.; NETO, M. A. D.; BEZERRA, F. M. L. Desbaste seletivo e população de plantas na cultura da mamoneira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 247-255, 2009.

FAO – STATISTICS. **Production and trade - Castor beans, 2017**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 10 set. 2019.

FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, J. M.; VELASCO, L. Castor. *In*: GUPTA, S. K. **Technological Innovations in Major World Oil Crops, Volume 1**. New York: Springer, 2012. p. 237-265.

FLOSS, E. L. Aspectos gerais da fisiologia vegetal. *In*: FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. UPF, p. 15-38, 2004.

FREIRE, E. C.; LIMA, E. F.; ANDRADE, F. P.; MILANI, M.; NÓBREGA, M. B. M. Melhoramento genético. *In*: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, p.169-194, cap. 8, 2007.

GUPTA, S. K.; PRATAP, A.; GUPTA, D. S.; RAJAN, N.; GANESHAN, V. D. Hybrid Technology. *In*: GUPTA, S. K. **Technological Innovations in Major World Oil Crops**, New York, NY: Springer, v. 2, p. 1-21, 2012.

KIIHL, T. A. M. **Obtenção e avaliação preliminar de novos híbridos de mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

KOTZ, T. E. **Crescimento e produtividade da mamoneira IAC 2028 na safrinha em função da população de plantas em espaçamento reduzido**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

LAVANYA, C.; REDDY, A. V.; DUTTA, B.; BANDOPADHYAY, R. Classical genetics, cytogenetics, and traditional breeding in castor bean. *In*: **The Castor Bean Genome**. Springer, Cham, p. 33-65, 2018.

LOPES, G. E. M.; VIEIRA, H. D.; PARTELLI, F. L. Response of castor bean plants to different row spacings and planting seasons. **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, n. 12A, p. 10-15, 2013.

LU, J.; SHI, Y.; YIN, X.; LIU, S.; LIU, C.; WEN, D.; LI, W.; HE, X.; YANG, T. The genetic mechanism of sex type, a complex quantitative trait, in *Ricinus communis* L. **Industrial Crops and Products**, v. 128, p. 590-598, 2019.

MIRANDA FILHO, J. B.; NASS, L. L. Hibridação no melhoramento. *In*: NASS, L.L. **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, p. 603-627, 2001.

NÓBREGA, M. D. M., ANDRADE, F. D., SANTOS, J. D.; MILANI, M.; LEITE, E. J. Germoplasma. *In*: AZEVEDO, D. M P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, p.196-222, 2007.

OLIVEIRA, F. D. S.; BASSEGIO, D.; RAMOS, A. R.; DA SILVA, G. H.; DA SILVA, J.; ZANOTTO, M. D.; FERNANDES, D. M. Phosphate Fertilization of Low Size Castor Bean in Conventional and Narrow Cultivation in Second Cropping Season. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-11, 2019.

OLIVEIRA NETO, S. S. D.; MANJAVACHI, M. K. D. P.; ZEFFA, D. M.; SARTORI, M. M. P.; ZANOTTO, M. D. Morphological characterization and selection of castor bean accessions for mechanized production. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, 2019.

OLIVEIRA, I. J.; ZANOTTO, M. D. Eficiência da seleção recorrente para redução da estatura de plantas em mamoneira (*Ricinus communis* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1107-1112, 2008.

OSWALT, J. S.; RIEFF, J. M.; SEVERINO, L. S.; AULD, D. L.; BEDNARZ, C. W.; RITCHIE, G. L. Plant height and seed yield of castor (*Ricinus communis* L.) sprayed with growth retardants and harvest aid chemicals. **Industrial Crops and Products**, v. 61, p. 272-277, 2014.

PIVETTA, L. G.; ZANOTTO, M. D.; DE AQUINO TOMAZ, C.; PIVETTA, L. A.; FIOREZE, A. C. D. C. L.; ZOZ, T. Avaliação de genótipos de mamona em diferentes níveis de adubação. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 2, p. 9-18, 2015.

PIVETTA, L. G.; TOMAZ, C. D. A.; FIOREZE, S. L.; FIOREZE, A. C. D. C. L.; PIVETTA, L. A.; ZANOTTO, M. D. Growth performance of castor bean hybrids under different plant densities. **Revista Ceres**, v. 64, n. 4, p. 399-412, 2017.

PORTES, T. A.; CASTRO JR, L. G. de. ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTAS: UM PROGRAMA COMPUTACIONAL AUXILIAR1. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 53-56, 1991.

DE SÁ, R. O.; GALBIERI, R.; BÉLOT, J. L.; ZANOTTO, M. D.; DUTRA, S. G.; SEVERINO, L. S.; DA SILVA, C. J. Mamona: opção para rotação de cultura visando a redução de nematoides de galha no cultivo do algodoeiro. **Embrapa Algodão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2015.

SANTOS, R. D.; KOURI, J.; BARROS, M. A. L.; MARQUES, F. M.; FIRMINO, P. D. T.; REQUIÃO, L. E. G. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. *In*: AZEVEDO, D. M P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, p. 21-42, cap. 1, 2007.

SANTOS, L. A. D.; SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; GONSALES, J. R. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 107-116, 2015

SAVY FILHO, A. Melhoramento da mamona. *In*: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, cap.11, p. 429-452, 2005.

SCHMIDT, D.A.M.; MAIA, L.C.; SILVA, J.A.G. Mamona. *In*: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008.

SEVERINO, L. S.; AULD, D. L. A framework for the study of the growth and development of castor plant. **Industrial Crops and Products**, v. 46, p. 25-38, 2013.

SEVERINO, L. S.; COELHO, D. K.; MORAES, C. R. D. A.; GONDIM, T. M. D. S.; DO VALE, L. S. Otimização do espaçamento de plantio para a mamoneira cultivar BRS Nordestina. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n. 1-2, 2006.

SEVERINO, L. S.; AULD, D. L.; BALDANZI, M.; CÂNDIDO, M. J. D.; CHEN, G.; CROSBY, W. et al. A review on the challenges for increased production of castor. **Agronomy journal**, v. 104, n. 4, p. 853-880, 2012.

SEVERINO, L. S.; AULD, D. L.; VALE, L. S.; MARQUES, L. F. Plant density does not influence every castor plant equally. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 588-594, 2017.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. M.; AMORIM NETO, M. S. **Análise de crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2000. 47 p. (Circular técnica, 34).

SORATTO, R. P.; SOUZA-SCHLICK, G. D. D.; GIACOMO, B. M. S.; ZANOTTO, M. D.; FERNANDES, A. M. Espaçamento e população de plantas de mamoneira de porte baixo para colheita mecanizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 3, p. 245-253, 2011.

SORATTO, R. P.; SOUZA-SCHLICK, G. D.; FERNANDES, A. M.; ZANOTTO, M. D.; CRUSCIOL, C. A. Narrow row spacing and high plant population to short height castor genotypes in two cropping seasons. **Industrial Crops and Products**, v. 35, n. 1, p. 244-249, 2012.

SOUZA-SCHLICK, G. D.; SORATTO, R. P.; BOTTINO, D.; FERNANDES, A. M. Crescimento e produtividade da mamona de porte baixo em diferentes espaçamentos e populações de plantas. **Interciencia**, p. 49-54, 2012.

SOUZA-SCHLICK, G. D.; SORATTO, R. P.; ZANOTTO, M. D. Optimizing row spacing and plant population arrangement for a new short-height castor genotype in fall-winter. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36, n. 4, p. 475-481, 2014.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre, Artmed. 719p., 2004.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000.