

## CRESCIMENTO ACELERADO E DENSIDADE DE PLANTAS COMO ESTRATÉGIA PARA CONDUZIR SEIS GERAÇÕES ANUAIS DE AVEIA BRANCA

*Speed Growth and Plant Density as a Strategy for Conducting Six Annual Generations of White Oat*

**Murilo Vieira Loro**

Universidade Federal de Santa Maria

**Giovanni Matheus Froehlich**

Universidade Federal de Santa Maria

**Mauro Maciel de Moraes**

Universidade Federal de Santa Maria

**Ivan Ricardo Carvalho**

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

**Diovana Thays Schlosser**

Universidade Federal de Santa Maria

**Miguel Freitas Flores**

Universidade Federal de Santa Maria

**João Pedro Borin Dallapossa**

Universidade Federal de Santa Maria

### RESUMO

Objetivou-se avaliar se é possível reduzir o ciclo da aveia branca sob condições de crescimento acelerado e analisar o efeito da densidade de plantas sobre o desenvolvimento dos genótipos avaliados, visando otimizar o uso do espaço e acelerar o avanço de gerações em programas de melhoramento genético. Os ensaios foram instalados em delineamento inteiramente casualizado, sendo um conduzido em sala de crescimento e em casa de vegetação. Avaliaram-se dois genótipos de aveia branca em cinco densidades de plantas. Na sala de crescimento a temperatura foi de 24°C, sob fotoperíodo contínuo de 24 horas e densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , medida a 30 cm de altura das plantas. Os genótipos de aveia branca respondem de forma similar às densidades de plantas sob condições de crescimento acelerado. O aumento da densidade de plantas reduz a altura da planta, o comprimento da panícula, o número e a massa de sementes por planta, mas todas as plantas produzem ao menos uma semente. O cultivo de aveia branca sob condições de crescimento acelerado possibilita a condução de até seis ciclos de autofecundação por ano, mesmo em densidades de até 2.600 plantas  $\text{m}^{-2}$ , reduzindo significativamente o tempo necessário para o desenvolvimento de novas linhagens e ampliando a capacidade de avaliação de plantas por geração.

**Palavras-chave:** *Avena sativa*; *Speed breeding*; Fotoperíodo.

### ABSTRACT

The objective was to evaluate whether it is possible to reduce the cycle of white oat under speed growth conditions and analyze the effect of plant density on the development of the evaluated genotypes, aiming to optimize space usage and accelerate the advancement of generations in breeding programs. The trials were set up in a completely randomized design, with one trial conducted in a growth chamber and another in a greenhouse. Two white oat

genotypes were evaluated at five plant densities. In the growth chamber, the temperature was 24°C, with a continuous 24-hour photoperiod and a photosynthetically active radiation density of 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , measured 30 cm above the plants. The white oat genotypes responded similarly to plant densities under speed growth conditions. Increased plant density reduced plant height, panicle length, number of seeds per plant, and seed mass per plant, but all plants produced at least one seed. Growing white oat under accelerated conditions allows for the conduction of up to six self-pollination cycles per year, even at densities of up to 2,600 plants  $\text{m}^{-2}$ , significantly reducing the time required for developing new lines and increasing the capacity for evaluating plants per generation.

**Keywords:** *Avena sativa*; Speed breeding; photoperiod.

## INTRODUÇÃO

A duração prolongada do processo de melhoramento de plantas constitui um dos principais desafios para o desenvolvimento de genótipos comerciais de aveia branca. Isso ocorre devido ao extenso período vegetativo de cada geração e à necessidade de obtenção de linhagens homozigotas, o que exige várias gerações de autofecundação. Em culturas autógamas, como a aveia branca, as linhagens resultantes devem passar por múltiplos ciclos de autofecundação e avaliação antes de serem registradas e comercializadas como novas cultivares. Esse processo pode prolongar o melhoramento por um período de 10 a 15 anos (Fehr, 1987; Allard, 1999).

Diante da crescente demanda por genótipos mais produtivos e tolerantes a estresses bióticos e abióticos, estratégias foram desenvolvidas para reduzir o tempo necessário à obtenção de linhagens homozigotas. O cultivo em casas de vegetação e a condução de gerações fora de estação foram utilizados para antecipar os ciclos de cultivo (Magruder, 1937; Sandukhadze et al., 2016). Posteriormente, métodos como a descendência de semente única (*SSD: Single Seed Descent*) e a produção de duplo-haplóides consolidaram-se como ferramentas eficazes para acelerar a fixação genética (Germanà, 2011; Watts et al., 2018). Apesar desses avanços, tais técnicas ainda requerem infraestrutura especializada e apresentam limitações quanto à aplicabilidade entre diferentes espécies (Hooghvorst et al., 2020; Žur et al., 2021).

Nas últimas décadas, uma nova abordagem denominada melhoramento acelerado, ou em inglês, *speed breeding* modificou significativamente a condução de programas de melhoramento genético (Blinkov et al., 2025). Essa técnica, inspirada em experimentos da NASA com fotoperíodos prolongados para cultivo de plantas em ambiente espacial (Ghosh et al., 2018; Watson et al., 2018), baseia-se na manipulação controlada de fatores ambientais, como radiação, temperatura e umidade para acelerar o ciclo das plantas. Em condições de crescimento com fotoperíodos estendidos (20 a 22 horas), foi possível reduzir o ciclo de genótipos de trigo (Batista et al., 2024), grão-de-bico (Mitache et al., 2024a), cevada (Gopinathan et al., 2025), lentilha (Mitache et al., 2024a; Mitache et al., 2024b), feijão-guandu (Saxena et al., 2019), triticale (Liu et al., 2016) e aveia branca (Kigoni et al., 2023; González-Barrios et al., 2020; Heuschele et al., 2019).

A combinação entre melhoramento acelerado e o método de *single seed descent* tem se mostrado eficiente para o avanço rápido de populações segregantes, permitindo a obtenção de sementes em menor intervalo de tempo e proporcionando maior ganho genético por unidade de tempo (Batista et al.,

2024; Mitache et al., 2024a). Para que o melhoramento acelerado seja viável e economicamente eficiente, é essencial definir as condições ótimas de cultivo, considerando fatores como fotoperíodo, intensidade luminosa, nutrição, manejo hídrico e densidades de plantas. O aumento da densidade permite conduzir um número maior de plantas por unidade de área, otimizar o uso do espaço experimental e acelerar o avanço simultâneo de múltiplos genótipos (Kigoni et al., 2023). No entanto, densidades excessivamente elevadas podem intensificar a competição intraespecífica por luz, água e nutrientes e, assim, reduzir a produção de sementes por planta (Kigoni et al., 2023).

A otimização de protocolos aplicados à aveia branca representa uma oportunidade promissora para acelerar o desenvolvimento de novas linhagens, com impacto direto na produtividade e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Neste sentido, objetivou-se avaliar se é possível reduzir o ciclo da aveia branca sob condições de crescimento acelerado (*speed breeding*) e analisar o efeito da densidade de plantas sobre o desenvolvimento dos genótipos avaliados, visando otimizar o uso do espaço e acelerar o avanço de gerações em programas de melhoramento genético.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos no ano de 2025, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul. Os ensaios foram instalados em delineamento inteiramente casualizado, sendo um conduzido em sala de crescimento acelerado (*speed breeding*) e outro em casa de vegetação. Avaliaram-se dois genótipos de aveia branca (URS Brava e URS Olada), com ciclos contrastantes, em cinco densidades de plantas (520, 1040, 1560, 2080 e 2600 plantas  $m^{-2}$ ), com três repetições, totalizando 30 unidades experimentais por ambiente. Cada unidade experimental foi constituída por recipientes plásticos com área de 38,46  $cm^2$ , preenchidos com substrato comercial Mecplant.

No ambiente de crescimento acelerado, as plantas foram conduzidas em estantes dotadas de iluminação artificial composta por espectros azul e vermelho, sob fotoperíodo contínuo de 24 horas e densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) de 500  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ , medida a 30 cm de altura das plantas. A temperatura do ar foi mantida constante em 24°C. A irrigação foi realizada conforme a necessidade hídrica das plantas em cada estágio fenológico, e a fertilização foi efetuada semanalmente, aplicando-se 3 mL da solução nutritiva no substrato, composta por 67,5 mL de água, 15 mL de Plenar Fert TM1 e 7,5 mL de Plenar Fert TM2 (Tabela 01).

**Tabela 01** - Valores dos macros e micronutrientes dos produtos utilizados para formação da solução nutritiva aplicada no substrato.

Produto	Nutriente	Concentração
Plenan Ferti TM1	N	24,60 g/L
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	95,70 g/L
	K <sub>2</sub> O	91,55 g/L
	Mg	18,00 g/L
	S	23,60 g/L
Plenan Ferti TM2	N	67,57 g/L

K <sub>2</sub> O	62,93 g/L
Ca	38,77 g/L
S	0,03 g/L
B	0,27 g/L
Cu	0,18 g/L
Fe	1,08 g/L
Mn	0,28 g/L
Mo	0,04 g/L
Ni	0,05 g/L
Zn	0,11 g/L

Fonte: Autores (2026).

Na casa de vegetação, as condições ambientais acompanharam as variações naturais do ambiente (meses de junho a setembro de 2025), sem controle de radiação ou temperatura do ar. A irrigação e a fertilização seguiram os mesmos critérios adotados no ambiente de crescimento acelerado. Durante a condução dos experimentos, registraram-se o número de dias da sementeira à emergência, da emergência ao florescimento (DEF, dias) e da emergência à colheita das sementes. Em plena maturidade fisiológica, nas plantas cultivadas sob crescimento acelerado, mensuraram-se a altura da planta (AP, cm), comprimento da panícula (CP, cm), número de sementes por planta (NS, unidades) e massa de sementes por planta (MS, g).

A partir dos dados, verificou-se os pressupostos de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias residuais. Realizou-se a análise de variância a 5% de significância pelo teste F considerando o delineamento inteiramente casualizado organizado em esquema bifatorial (genótipos × densidades de plantas). Utilizou-se o teste de comparação múltipla de médias de Tukey para comparar as médias dos genótipos e modelos de regressões polinomiais para modelar a resposta das plantas de acordo com a densidades de plantas. Todas as análises foram realizadas por meio do software R (R CORE TEAM, 2025).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram observadas interações significativas entre genótipos × densidades de plantas para os caracteres avaliados (Tabela 02). Isso indica que os genótipos responderam de forma similar às variações da densidade de plantas sob condições de crescimento acelerado. Os genótipos apresentaram efeitos significativos sobre dias da emergência ao florescimento (DEF), altura da planta (AP) e número de sementes por planta (NS), demonstrando que diferenças genéticas influenciaram o crescimento e o desenvolvimento das plantas. A densidade de plantas exerceu efeito significativo sobre todos os caracteres avaliados, evidenciando que o adensamento das plantas influenciou o desenvolvimento vegetativo e o desempenho reprodutivo. O coeficiente de variação (CV) variou de 2,94 % (DEF) a 28,91 % (MS). Esses resultados demonstraram que o crescimento acelerado constitui uma estratégia eficiente para reduzir o ciclo da aveia branca, permitindo conduzir múltiplas gerações anuais (Stetter et al., 2016; Batista et al., 2024) e maximizar o número de plantas avaliadas por unidade de área, sem comprometer o desenvolvimento fenológico das cultivares.

**Tabela 02** - Valores do quadrado médio da análise de variância dos caracteres dias da emergência ao florescimento (DEF, dias), altura da planta (AP, cm), comprimento da panícula (CP, cm), número de sementes por planta (NS, unidades) e massa de sementes por planta (MS, g) em genótipos de aveia branca URS Brava e URS Olada avaliados nas densidades de 520, 1040, 1560, 2080 e 2600 plantas m<sup>-2</sup> cultivados em sala de crescimento acelerado.

FV	GL	DEF	AP	CP	NS	MS
Genótipo (G)	1	9,8230*	40,4500*	7,4460	9,8140*	0,0003
Densidade (D)	4	6,7000*	63,6150*	52,9850*	11,4690*	0,0025*
G x D	4	2,2120	0,9750	0,4370	0,4268	0,0003
Erro	20	1,4361	3,7805	3,0118	0,7875	0,0005
Total	29	2,5584	12,9110	9,7024	2,5223	0,0007
CV (%)		2,94	6,72	13,45	22,76	28,91

\* Significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Autores (2026).

O número de dias para florescimento foi, em média, um dia superior no genótipo URS Brava (41,40 dias) em relação ao genótipo URS Olada (40,38 dias) (Tabela 03). O genótipo URS Brava apresentou maior AP (30,07 cm) e maior NS (4,47) em comparação ao genótipo URS Olada, que apresentou 27,75 cm e 3,33 sementes, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas entre os genótipos para CP e MS (Tabela 03, Figuras 01, 02 e 03). Em aveia branca, sob temperatura do ar de 23 °C durante o dia e 21 °C à noite, com intensidade luminosa de 900  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , observou-se tempo até a floração de 32 dias em fotoperíodo de 22 h e de 44 dias em fotoperíodo de 16 h (Kigoni et al., 2023). González-Barríos et al. (2020) verificaram floração da aveia branca aos 51 dias em fotoperíodo de 22 h, sob temperatura ambiente de 20 °C durante o dia e 16 °C à noite, e aos 62 dias em fotoperíodo de 16 h, sob temperatura de 21 °C durante o dia e 12 °C à noite, mantendo-se a intensidade luminosa entre 450 e 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . O ambiente de crescimento acelerado (florescimento em 30 dias, 22 h de luz / 2 h de escuro, 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e temperatura do ar de 27 °C) reduziu em aproximadamente 15 dias o tempo até a antese em relação à casa de vegetação (florescimento em 55 dias, 16 h de luz / 8 h de escuro, 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e temperatura do ar entre 18 °C e 30 °C) em aveia branca, embora tenha ocorrido redução de 67 % no número de sementes por inflorescência.

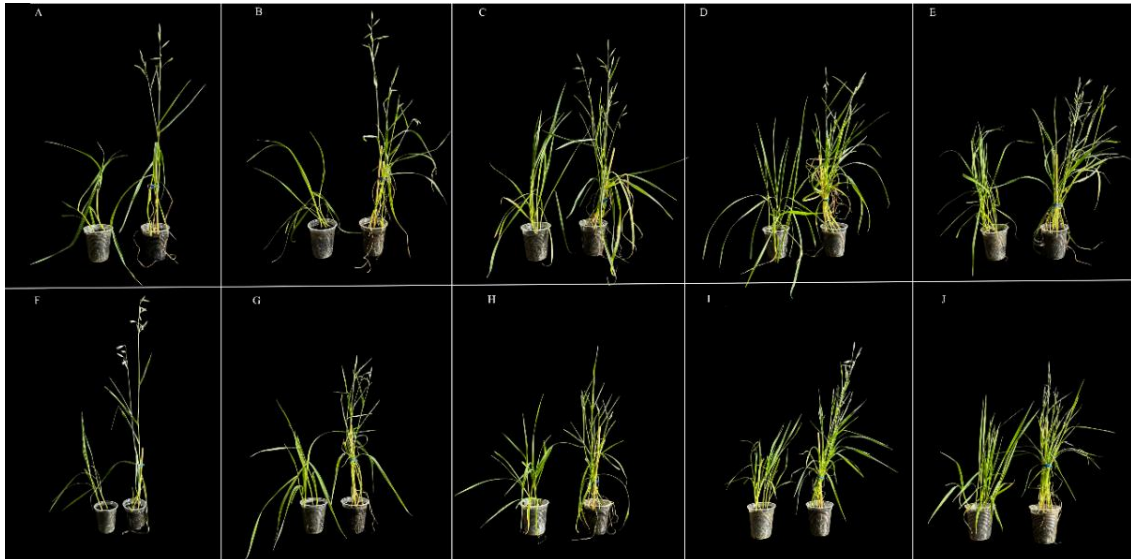
**Tabela 03** - Teste de comparação múltipla de médias para os caracteres dias da emergência ao florescimento (DEF, dias), altura da planta (AP, cm), comprimento da panícula (CP, cm), número de sementes por planta (NS, unidades) e massa de sementes por planta (MS, g) em genótipos de aveia branca URS Brava e URS Olada cultivados em sala de crescimento acelerado.

Genótipos	DEF	AP	CP	NS	MS
URS Brava	41,40 a	30,07 a	13,40 a	4,47 a	0,0736 a
URS Olada	40,38 b	27,75 b	12,41 a	3,33 b	0,0804 a

\* médias seguidas das mesmas letras minúsculas não se diferenciam a 5% de significância pelo teste Tukey.

Fonte: Autores (2026).

**Figura 01** - Desenvolvimento de plantas de aveia branca dos genótipos URS Brava e URS Olada aos 40 dias após a emergência cultivadas em casa de vegetação e sala de crescimento acelerado sob cinco densidades de plantas: 520, 1040, 1560, 2080 e 2600 plantas  $m^{-2}$ . As imagens de A a E correspondem ao genótipo URS Brava, nas densidades crescentes mencionadas, com a casa de vegetação à esquerda e o ambiente de *speed breeding* à direita. As imagens de F a J correspondem ao genótipo URS Olada, nas mesmas densidades e disposição de ambientes.



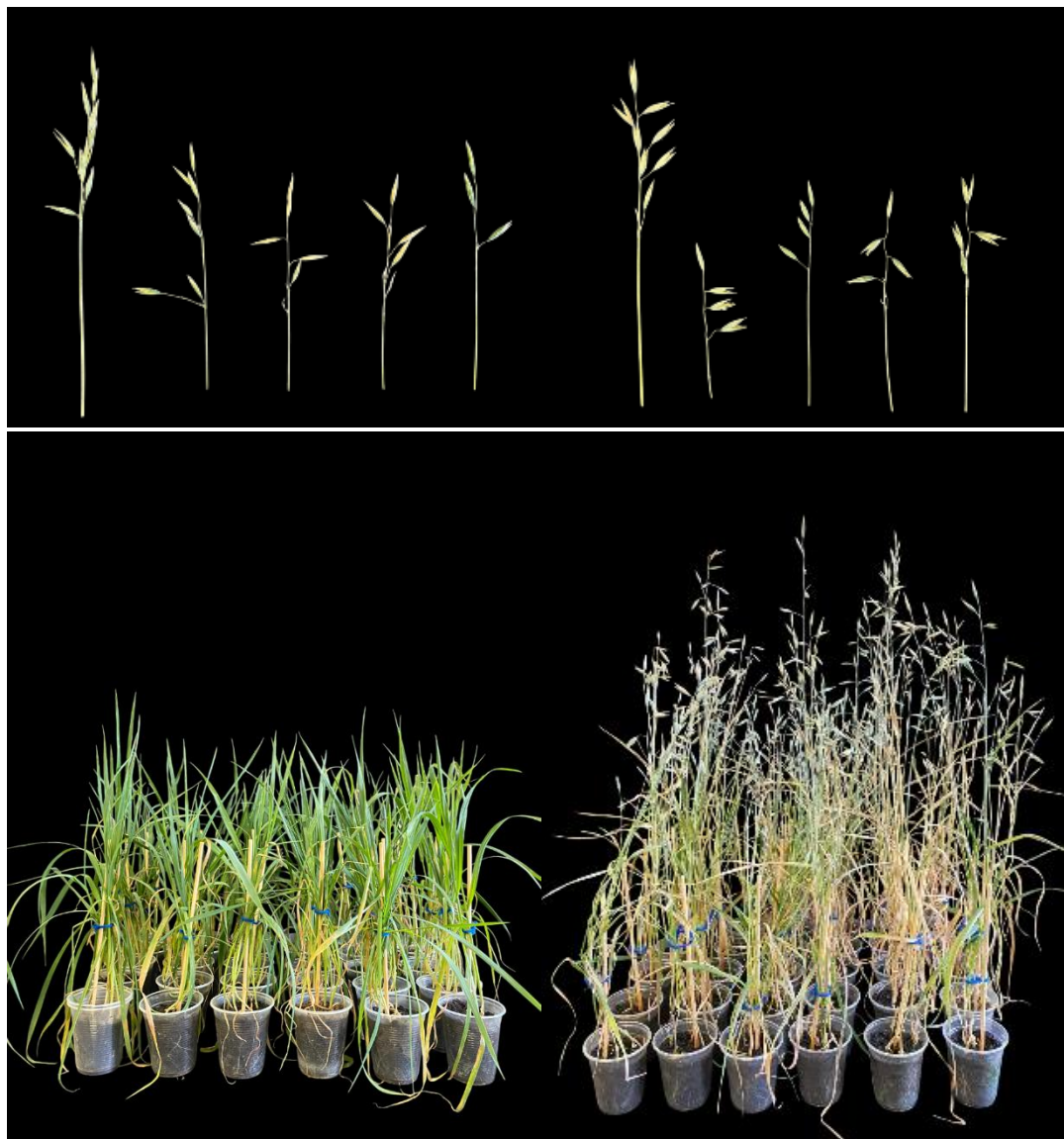
Fonte: Autores (2026).

**Figura 02** - Desenvolvimento de plantas de aveia branca dos genótipos URS Brava e URS Olada aos 60 dias após a emergência cultivadas em casa de vegetação e sala de crescimento acelerado sob cinco densidades de plantas: 520, 1040, 1560, 2080 e 2600 plantas  $m^{-2}$ . As imagens de A a E correspondem ao genótipo URS Brava, nas densidades crescentes mencionadas, com a casa de vegetação à esquerda e o ambiente de *speed breeding* à direita. As imagens de F a J correspondem ao genótipo URS Olada, nas mesmas densidades e disposição de ambientes.



Fonte: Autores (2026).

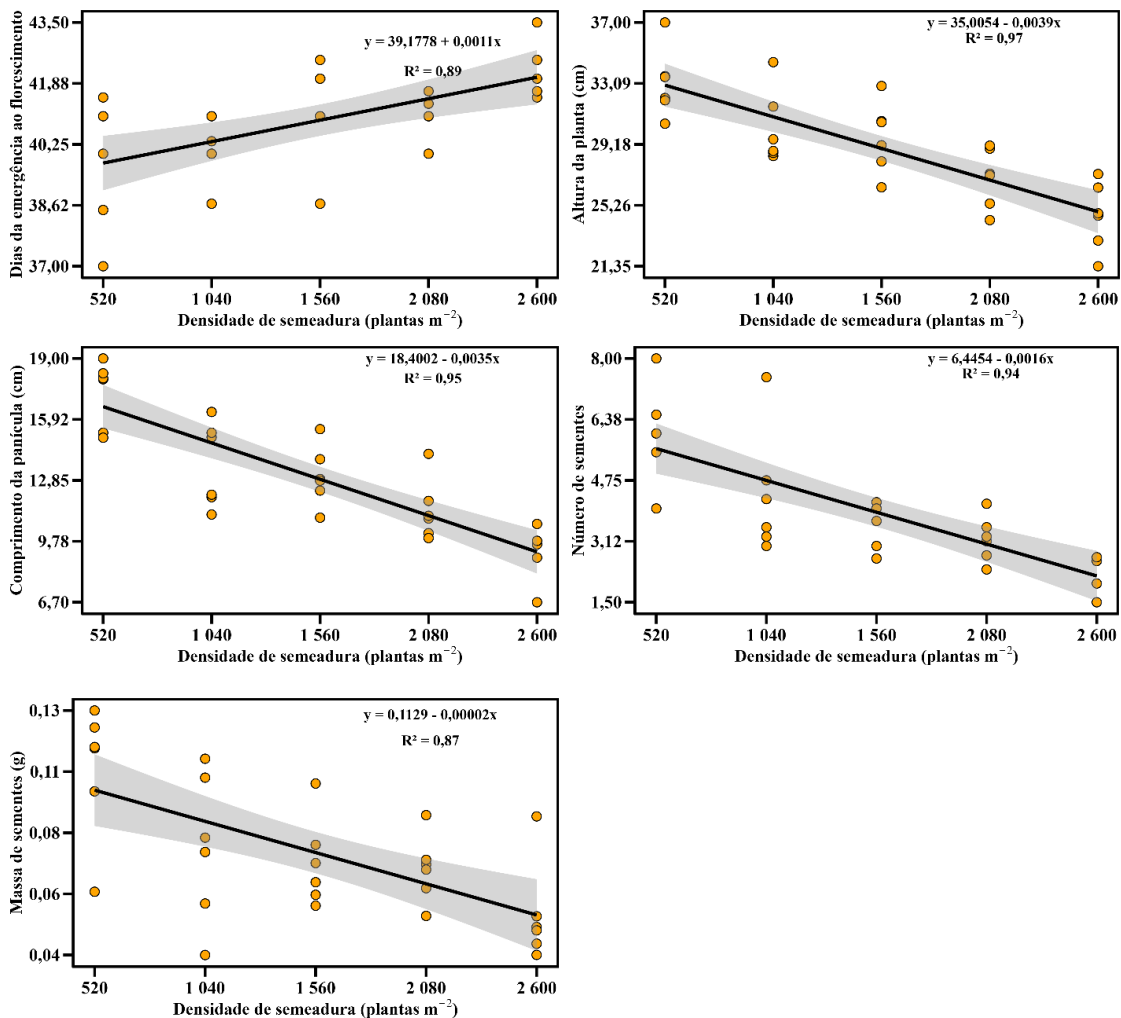
**Figura 03** - Panículas de plantas de aveia branca dos genótipos URS Brava (A) e URS Olada (B) aos 60 dias após a emergência cultivadas em sala de crescimento acelerado sob cinco densidades de plantas: 520, 1040, 1560, 2080 e 2600 plantas m<sup>-2</sup> e desenvolvimento de plantas de aveia branca dos genótipos URS Brava e URS Olada aos 60 dias após a emergência cultivadas em casa de vegetação (C) e sala de crescimento acelerado (D).



Fonte: Autores (2026).

O aumento da densidade de plantas promoveu incremento no DEF das plantas de aveia branca cultivadas em sala de crescimento acelerado (Figura 04). Cada acréscimo de 100 plantas m<sup>-2</sup> resultou em aumento médio de 0,11 dia no tempo até o florescimento. O modelo apresentou coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,89, indicando que 89 % da variação observada no DEF foi explicada pela densidade de plantas. Esse resultado demonstra que o adensamento prolongou levemente o ciclo fenológico, devido à maior competição por luz e nutrientes em ambientes com alta densidade.

**Figura 04** - Análise de regressão polinomial para os caracteres dias da emergência ao florescimento (DEF, dias), altura da planta (AP, cm), comprimento da panícula (CP, cm), número de sementes por planta (NS, unidades) e massa de sementes por planta (MS, g) em genótipo de aveia branca avaliados nas densidades de 520, 1040, 1560, 2080 e 2600 plantas  $m^{-2}$  em sala de crescimento acelerado.



Fonte: Autores (2026).

O aumento discreto do DEF indicou que o cultivo em sala de crescimento acelerado foi eficiente em acelerar o ciclo de desenvolvimento, mesmo sob densidades elevadas. Essa estabilidade é relevante para o melhoramento genético, pois permite adotar maiores densidades de plantas sem comprometer o ciclo reprodutivo. O uso de densidades elevadas otimiza o aproveitamento do espaço nas salas de crescimento, viabilizando a condução de um número maior de plantas por geração e o avanço rápido de populações segregantes. Em estudo conduzido por Kigoni et al. (2023), o aumento da densidade de 5 para 150 plantas por vaso (15 cm de diâmetro) reduziu o tempo até o florescimento para 35 dias, evidenciando resposta oposta à observada neste trabalho. No entanto, os autores descrevem que sob essas condições extremas de competição, cerca de 16 % das plantas não produziram sementes, demonstrando que a aceleração do ciclo ocorreu à custa de menor eficiência reprodutiva. Assim, o presente estudo confirma a robustez do cultivo em



sala de crescimento acelerado em manter o ciclo estável sob densidades moderadas, enquanto o trabalho de Kigoni et al. (2023) evidencia que densidades excessivas podem comprometer a produção de sementes.

O aumento da densidade reduziu linearmente a AP, o CP, o NS e a MS. A AP apresentou redução média de 0,39 cm a cada acréscimo de 100 plantas  $m^{-2}$ , com coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,97$ ). Essa tendência reflete o aumento da competição intraespecífica por luz e nutrientes, limitando o crescimento vegetativo. A redução da AP das plantas em condições de adensamento é uma resposta morfofisiológica comum em cereais, também relatada em aveia branca e trigo em condições de crescimento acelerado (Kigoni et al., 2023; Batista et al., 2024). O CP apresentou decréscimo médio de 0,35 cm ( $R^2 = 0,95$ ), enquanto o NS e a MS diminuíram 0,16 unidade e 0,002 g, respectivamente, a cada incremento de 100 plantas  $m^{-2}$  ( $R^2 = 0,94$  e  $R^2 = 0,87$ ). Esses resultados demonstram que o adensamento reduziu a produção individual, mas manteve o desenvolvimento reprodutivo sob regime de crescimento acelerado.

Todas as plantas produziram no mínimo uma semente, mesmo nas maiores densidades avaliadas (Tabela 04). Essa característica é essencial para o avanço de gerações pelo método *Single Seed Descent* (SSD), que requer ao menos uma semente por planta. Densidades de até 2.080 plantas  $m^{-2}$  garantiram, em média, duas sementes por planta, assegurando a continuidade das linhagens e a eficiência no avanço de populações segregantes. Estudos prévios com alta densidade e nutrição limitada também relataram elevada proporção de plantas com produção unitária de sementes, favorecendo o avanço pelo método *Single Seed Descent* (Kigoni et al., 2023).

**Tabela 04** - Valores mínimos, médios, máximos, variância, desvio padrão e coeficiente de variação (CV, %) para os caracteres dias da emergência ao florescimento (DEF, dias), altura da planta (AP, cm), comprimento da panícula (CP, cm), número de sementes por planta (NS, unidade) e massa de sementes por planta (MS, g) em genótipos de aveia branca avaliados nas densidades de 520, 1040, 1560, 2080 e 2600 plantas  $m^{-2}$  em sala de crescimento acelerado.

Densidade	n	Mínimo	Média	Máximo	Variância	Desvio padrão	CV (%)
DEF (dias)							
520	12,00	37,00	39,83	41,50	3,07	1,75	4,40
1040	24,00	38,67	40,17	41,00	0,74	0,86	2,15
1560	36,00	38,67	41,19	42,50	1,89	1,38	3,34
2080	48,00	40,00	41,00	41,67	0,31	0,56	1,36
2600	60,00	41,50	42,28	43,50	0,53	0,73	1,72
AP (cm)							
520	12,00	29,50	33,12	37,50	6,76	2,60	7,85
1040	24,00	25,70	30,23	36,50	9,58	3,09	10,24
1560	36,00	23,00	29,63	36,00	12,42	3,52	11,89
2080	48,00	21,00	27,03	36,50	10,43	3,23	11,95
2600	60,00	18,40	24,56	34,80	13,89	3,73	15,17
CP (cm)							
520	12,00	14,00	17,24	19,50	3,07	1,75	10,16
1040	24,00	8,50	13,64	18,10	10,89	3,30	24,19

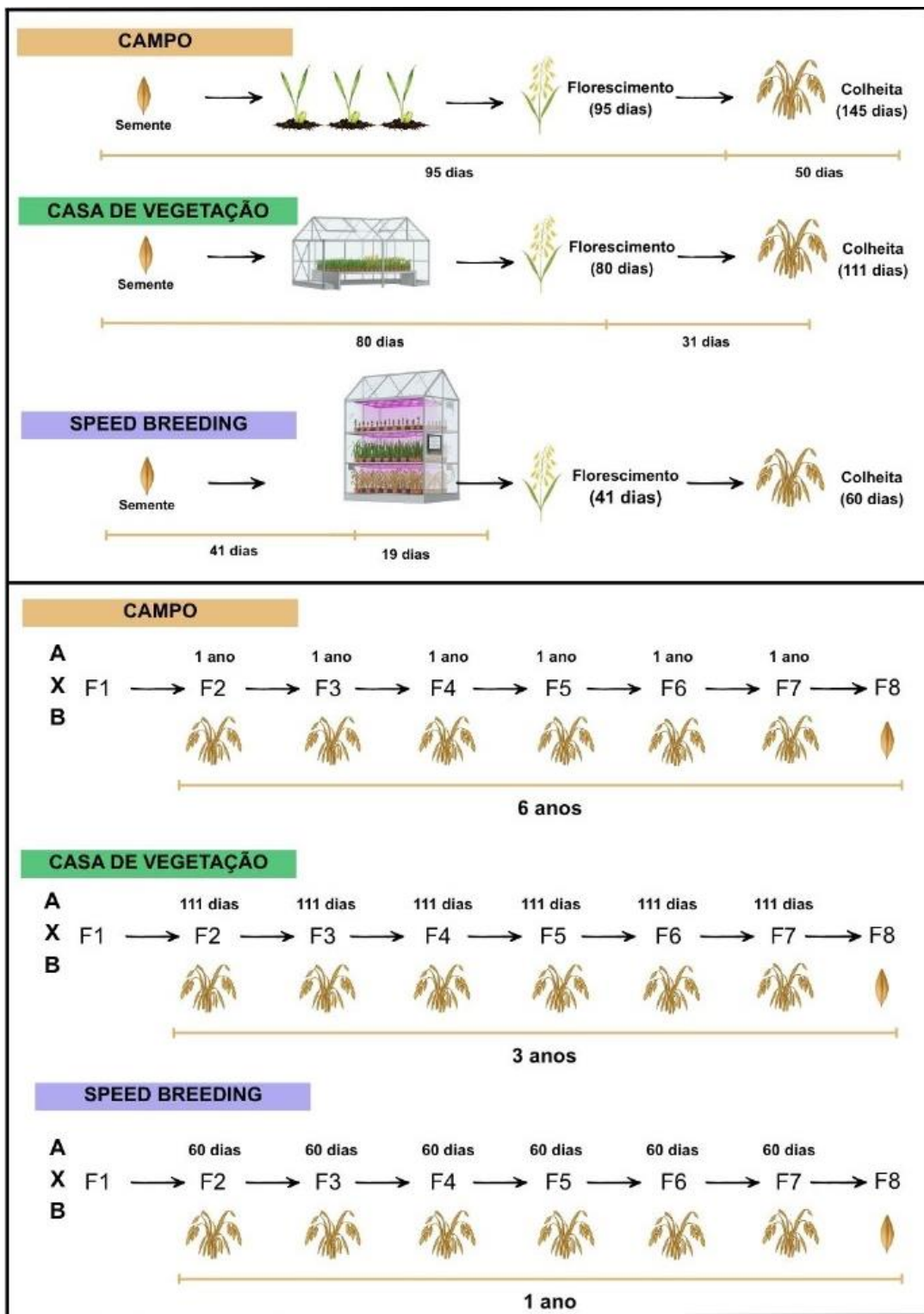
1560	36,00	8,50	13,07	17,40	3,73	1,93	14,78
2080	48,00	7,20	11,35	17,00	4,45	2,11	18,58
2600	60,00	3,00	9,23	14,80	8,20	2,86	31,04
NS (unidade)							
520	12,00	4,00	6,00	8,00	2,18	1,48	24,62
1040	24,00	2,00	4,38	8,00	3,81	1,95	44,61
1560	36,00	2,00	3,58	6,00	1,22	1,11	30,84
2080	48,00	2,00	3,19	6,00	1,13	1,07	33,41
2600	60,00	1,00	2,35	5,00	1,18	1,09	46,23
MS (g)							
520	12,00	0,05	0,11	0,14	0,0009	0,03	27,66
1040	24,00	0,02	0,08	0,13	0,0014	0,04	47,53
1560	36,00	0,02	0,07	0,12	0,0008	0,03	38,75
2080	48,00	0,02	0,07	0,13	0,0006	0,02	35,07
2600	60,00	0,01	0,05	0,13	0,0012	0,03	65,79

Fonte: Autores (2026).

Assim, compreender a viabilidade produtiva em condições de crescimento acelerado e de alta densidade torna-se fundamental para contextualizar o cronograma tradicional de hibridação e avanço de gerações em aveia branca. O processo de hibridação de aveia branca geralmente é conduzido em casa de vegetação durante o período recomendado para o cultivo da cultura, assim como o cultivo da geração  $F_1$ , com o objetivo de maximizar a taxa de fertilização e a produção de sementes (Figura 05). Esse procedimento requer um ano para o cultivo dos genitores e a realização das hibridações, e mais um ano para o cultivo da geração  $F_1$  e obtenção das sementes  $F_2$ . Por exemplo, a partir da geração  $F_2$ , o avanço das gerações em campo exige aproximadamente seis anos para se obter as sementes da geração  $F_8$  ( $F_2 \rightarrow F_3 \rightarrow F_4 \rightarrow F_5 \rightarrow F_6 \rightarrow F_7 \rightarrow F_8$ ). Em casa de vegetação, sem controle ambiental, é possível conduzir duas gerações por ano, geralmente entre março e outubro, quando as temperaturas são mais amenas. Nessas condições, o avanço da  $F_2$  até a  $F_8$  demanda cerca de três anos.

Sob condições de crescimento acelerado verificou ser possível conduzir até seis gerações em um único ano. Assim, por exemplo, a partir da geração  $F_2$  é possível obter sementes da geração  $F_8$  em apenas doze meses. Estudos em diferentes culturas confirmam a eficiência dessa abordagem na redução do tempo de ciclo, incluindo trigo (Batista et al., 2024), grão-de-bico (Mitache et al., 2024a), cevada (Gopinathan et al., 2025), lentilha (Mitache et al., 2024a; Mitache et al., 2024b), feijão-guandu (Saxena et al., 2019), triticale (Liu et al., 2016) e aveia branca (Kigoni et al., 2023; González-Barrios et al., 2020; Heuschele et al., 2019). Essa estratégia representa um avanço significativo no cronograma tradicional de melhoramento genético da aveia branca. Sob condições em sala de crescimento acelerado, o intervalo de  $F_2$  até semente  $F_8$  é reduzido para apenas um ano, o que representa uma redução de 83,3 % em relação ao campo e de 66,7 % em relação à casa de vegetação.

**Figura 05** - Esquema comparativo da duração do período de desenvolvimento e avanço de gerações de aveia branca sob condições de cultivo à campo, casa de vegetação e sala de crescimento acelerado.



Fonte: Autores (2026).

Os resultados obtidos demonstram que o cultivo em sala de crescimento acelerado aliado a densidades elevadas de plantas (até 2.600 plantas m<sup>-2</sup>) constitui uma estratégia eficiente para acelerar o avanço de populações de

aveia branca sem comprometer o desenvolvimento fenológico ou a produção mínima exigida para o *Single Seed Descent*. A ausência de interação significativa entre genótipos e densidades indica que genótipos de aveia branca podem ser conduzidos sob condições padronizadas, otimizando o uso do espaço e dos recursos disponíveis. Na prática, essa abordagem permite conduzir até seis ciclos de geração por ano, possibilitando a avaliação simultânea de milhares de plantas em ambientes controlados e reduzindo substancialmente o tempo necessário para o desenvolvimento de novas linhagens. Assim, o cultivo de aveia branca em condições de crescimento acelerado representa uma ferramenta estratégica para maximizar a eficiência dos programas de melhoramento genético e acelerar o processo de obtenção de cultivares superiores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de aveia branca sob condições de crescimento acelerado possibilita a condução de até seis ciclos por ano em densidades de até 2.600 plantas m<sup>-2</sup>, reduzindo o tempo necessário para o desenvolvimento de novas linhagens e ampliando a capacidade de avaliação de plantas por geração.

Os genótipos de aveia branca respondem de forma similar ao adensamento de plantas sob condições de crescimento acelerado.

O aumento da densidade de plantas de aveia branca de 520 para 2600 plantas m<sup>-2</sup> reduz a altura da planta, o comprimento da panícula e o número e a massa de sementes por planta, mas todas as plantas produzem ao menos uma semente.

## REFERÊNCIAS

- Allard, R. W. **Principles of plant breeding**. John Wiley & Sons, 1999.
- Batista, L. A.; Bandillo, N.; Friskop, A.; Green, A. Accelerating genetic gain through strategic speed breeding in spring wheat. **Crop Science**, v. 64, n. 6, p. 3311-3322, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/csc2.21380>.
- Blinkov, A.; Kroupin, P.; Dmitrieva, A.; Kocheshkova, A. A.; Karlov, G.; Divashuk, M. Speed breeding: protocols, application and achievements. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1680955, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1680955>.
- Fehr, W. R. Principles of cultivar development. Volume 1. **Theory and technique**. 536 p., 1987.
- Germanà, M. A. Gametic embryogenesis and haploid technology as valuable support to plant breeding. **Plant Cell. Rep.** 30, 839-857, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-011-1061-7>
- Ghosh, S.; Watson, A.; Gonzalez-Navarro, O. E.; Ramirez-Gonzalez, R. H.; Yanes, L.; Mendoza-Suárez, M.; Hafeez, A. Speed breeding in growth chambers and glasshouses for crop breeding and model plant research. **Nature Protocols**, v. 13, n. 12, p. 2944-2963, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0072-z>.

Gopinathan, G.; Meints, B.; Sandro, P.; Gutiérrez, L. Speed Breeding with Early Harvest Shortens the Growth Cycle of Barley. **Agronomy**, v. 15, n. 10, p. 2275, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15102275>.

González-Barríos, P.; Bhatta, M.; Halley, M.; Sandro, P.; Gutiérrez, L. Speed breeding and early panicle harvest accelerates oat (*Avena sativa* L.) breeding cycles. **Crop Science**, v. 61, n. 1, p. 320-330, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.20269>

Heuschele, D. J.; Case, A.; Smith, K. P. Evaluation of fast generation cycling in oat (*Avena sativa*). **Cereal Research Communications**, v. 47, n. 4, p. 626-635, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1556/0806.47.2019.40>

Hooghvorst, I.; Ribas, P.; Nogués, S. Chromosome doubling of androgenic haploid plantlets of rice (*Oryza sativa*) using antimetabolic compounds. **Plant Breeding**, v. 139, p. 754-761, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12824>.

Kigoni, M.; Choi, M.; Arbelaez, J. D. 'Single-Seed-SpeedBulks:' a protocol that combines 'speed breeding' with a cost-efficient modified single-seed descent method for rapid-generation-advancement in oat (*Avena sativa* L.). **Plant Methods**, v. 19, n. 1, p. 92, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13007-023-01067-1>.

Liu, H.; Zwer, P.; Wang, H.; Liu, C.; Lu, Z.; Wang, Y.; Yan, G. A fast generation cycling system for oat and triticale breeding. **Plant Breeding**, v. 135, n. 5, p. 574-579, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12408>.

Magruder, R. **Improvement in the leafy cruciferous vegetables**. Yearbook Agric., p. 283-299, 1937.

Mitache, M.; Baidani, A.; Bencharki, B.; Idrissi, O. Exploring the impact of light intensity under speed breeding conditions on the development and growth of lentil and chickpea. **Plant Methods**, v. 20, n. 1, p. 30, 2024a. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01156-9>

Mitache, M.; Baidani, A.; Zeroual, A.; Bencharki, B.; Idrissi, O. Rapid generation advancement through speed breeding in lentil (*Lens culinaris* Medik.). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 24, e48632435, 2024b. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332024v24n3a30>.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2025.

Sandukhadze, B. I.; Rybakova, M. I.; Kochetygov, G. V.; Bugrova, V. V.; Morozov, A. A.; Sandukhadze, E. K. Accelerating of breeding process of winter wheat while using the regulated conditions. **Grain Economy Russia**, v. 48, p. 39-42, 2016.

Saxena, K. B.; Saxena, R. K.; Hickey, L. T.; Varshney, R. K. Can a speed breeding approach accelerate genetic gain in pigeonpea? **Euphytica**, v. 215, n. 12, p. 202, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2520-4>.

Stetter, M. G.; Zeitler, L.; Steinhaus, A.; Kroener, K.; Biljecki, M.; Schmid, K. J. Crossing methods and cultivation conditions for rapid production of

segregating populations in three grain amaranth species. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 816, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.00816>.

Watson, A.; Ghosh, S.; Williams, M. J.; Cuddy, W. S.; Simmonds, J.; Rey, M. D.; ... Adamski, N. M. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. **Nature Plants**, v. 4, n. 1, p. 23–29, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41477-017-0083-8>.

Watts, A.; Kumar, V.; Raipuria, R. K.; Bhattacharya, R. C. In: vivo haploid production in crop plants: methods and challenges. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 36, p. 685–694, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11105-018-1132-9>.

Żur, I.; Gajecka, M.; Dubas, E.; Krzewska, M.; Szarejko, I. “Albino plant formation in androgenic cultures: An old problem and new facts”. In: **Doubled Haploid Technology: Volume 2: Hot Topics, Apiaceae, Brassicaceae, Solanaceae**, Humana New York, NY 3–23, 2021.

**Contato dos autores/as:**

**autor:** Murilo Vieira Loro  
**e-mail:** [muriloloro@gmail.com](mailto:muriloloro@gmail.com)

**autora:** Giovanni Matheus Froehlich  
**e-mail:** [giovannifroehlich635@gmail.com](mailto:giovannifroehlich635@gmail.com)

**autor:** Mauro Maciel de Moraes  
**e-mail:** [mauro.moraes3m@hotmail.com](mailto:mauro.moraes3m@hotmail.com)

**autor:** Ivan Ricardo Carvalho  
**e-mail:** [carvalho.irc@gmail.com](mailto:carvalho.irc@gmail.com)

**autora:** Diovana Thays Schlosser  
**e-mail:** [diovana.schlosser@acad.ufsm.br](mailto:diovana.schlosser@acad.ufsm.br)

**autor:** Miguel Freitas Flores  
**e-mail:** [miguelflores298@hotmail.com](mailto:miguelflores298@hotmail.com)

**autor:** João Pedro Borin Dallapossa  
**e-mail:** [borinjp02@gmail.com](mailto:borinjp02@gmail.com)

Manuscrito aprovado para publicação em: 20/02/2026.