

Biotecnologia vegetal 4.0: uma abordagem sobre “Speed Breeding”

Plant biotechnology 4.0: an approach to “Speed Breeding”

Plant biotechnology 4.0: un enfoque para “Speed Breeding”

Recebido: 01/09/2021 | Revisado: 09/09/2021 | Aceito: 13/09/2021 | Publicado: 14/09/2021

Amanda Aparecida João

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1407-7215>

Faculdades Integradas de Bauru, Brasil

E-mail: amanda.bariri.joas2@gmail.com

Lucas Fantin Machado Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9609-7374>

Faculdades Integradas de Bauru, Brasil

E-mail: luquinhafmf87@gmail.com

Pedro Henrique Florêncio Corrêa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5464-087X>

Faculdades Integradas de Bauru, Brasil

E-mail: pedroh.florencioc@gmail.com

Rita de Cássia Portes Luiz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1834-3015>

Faculdades Integradas de Bauru, Brasil

E-mail: ritaportes808@gmail.com

Sebastião Soares de Oliveira Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6372-4052>

Faculdades Integradas de Bauru, Brasil

E-mail: neto.soliver@gmail.com

Resumo

O aumento da população humana relacionado à demanda alimentar e o atual cenário de mudanças climáticas têm desafiado pesquisadores no mundo todo, tornando indispensável otimizar a obtenção de cultivares com alta produtividade, aliada a maior qualidade nutricional e maior resistência às condições abióticas e bióticas, priorizando a sustentabilidade e a preservação dos recursos naturais. Neste contexto, o melhoramento de plantas associado às técnicas de biotecnologia possibilita modificar geneticamente as plantas para o benefício humano, a fim de solucionar problemas e criar produtos que atendam as características agrônomicas desejáveis, no entanto, o desenvolvimento de novas cultivares demanda um longo período para selecionar linhagens superiores com elevado desempenho agrônomico. Para reduzir o ciclo em programas de melhoramento clássico, algumas técnicas estão sendo usadas e apresentam resultados promissores, uma delas é o Speed Breeding, que reduz o tempo de melhoramento e acelera a pesquisa, por meio da obtenção de novas gerações de forma rápida, através do uso de condições de luz e temperatura controladas para aumentar o crescimento das plantas, acelerando a busca por cultivares que atendam às necessidades dos produtores e consumidores. Esse trabalho tem como objetivo apresentar, através de uma abordagem crítica, a metodologia Speed Breeding como ferramenta para acelerar os programas de melhoramento vegetal.

Palavras-chave: Melhoramento de plantas; Biotecnologia vegetal; Tecnologia.

Abstract

The increase in human population related to food demand and the current climate change scenario have challenged researchers around the world, making it essential to optimize the obtainment of cultivars with high productivity, combined with higher nutritional quality and greater resistance to abiotic and biotic conditions, prioritizing the sustainability and the preservation of natural resources. In this context, plant breeding associated with biotechnology techniques makes it possible to genetically modify plants for human benefit, in order to solve problems and create products that meet the desirable agronomic traits, however, the development of new cultivars requires a long period to select superior strains with high agronomic performance. To reduce the cycle in classic breeding programs, some techniques are being used and show promising results, one of them is Speed Breeding, which reduces the breeding time and speeds up research by obtaining new generations quickly, through the use of controlled light and temperature conditions to increase plant growth, accelerating the search for cultivars that meet the needs of producers and consumers. This work aims to present, through a critical approach, the Speed Breeding methodology as a tool to accelerate plant breeding programs.

Keywords: Plant breeding; Plant biotechnology; Technology.

Resumen

El aumento de la población humana relacionado con la demanda de alimentos y el escenario actual de cambio climático han desafiado a los investigadores de todo el mundo, por lo que es fundamental optimizar la obtención de cultivares con alta productividad, combinado con una mayor calidad nutricional y una mayor resistencia a las condiciones abióticas y bióticas, priorizando la sostenibilidad y la preservación de los recursos naturales. En este contexto, el fitomejoramiento asociado a técnicas de biotecnología permite modificar genéticamente las plantas para beneficio humano, con el fin de resolver problemas y crear productos que cumplan con las características agronómicas deseables, sin embargo, el desarrollo de nuevos cultivares requiere de un largo período para seleccionar variedades superiores. cepas de alto rendimiento agronómico. Para reducir el ciclo en los programas de cría clásicos, se están utilizando algunas técnicas y muestran resultados prometedores, una de ellas es Speed Breeding, que reduce el tiempo de cría y agiliza la investigación al obtener nuevas generaciones rápidamente, mediante el uso de luz controlada y condiciones de temperatura para incrementar el crecimiento de las plantas, acelerando la búsqueda de cultivares que satisfagan las necesidades de productores y consumidores. Este trabajo tiene como objetivo presentar, a través de un enfoque crítico, la metodología Speed Breeding como una herramienta para acelerar los programas de fitomejoramiento.

Palabras clave: Mejoramiento de plantas; Biotecnología vegetal; Tecnología.

1. Introdução

A Agricultura 4.0 é a integração de recursos tecnológicos que engloba diversas áreas das ciências agrárias, tais como, melhoramento genético, bioinformática, biotecnologia, agricultura de precisão, logística, entre outros recursos (Inoue, 2019). A biotecnologia utiliza-se de conhecimentos sobre os processos biológicos e sobre as propriedades dos seres vivos para resolver problemas inerentes à agricultura (Faleiro et al., 2011) e se destaca, sendo o recurso tecnológico mais utilizado na agricultura. Está presente na lavoura desde o desenvolvimento de novas cultivares, auxiliando o melhoramento genético de plantas, no tratamento de sementes, no manejo biológico de plantas daninhas, pragas e doenças, na melhoria da qualidade nutricional de diversos alimentos e atualmente também na bioenergia (Carrer et al., 2010).

Embora se pense em biotecnologia como uma ciência recente, sua origem pode ter ocorrido há mais de seis mil anos, a partir dos relatos de que os microrganismos eram usados nos processos fermentativos para produção da cerveja e do pão (Barnett, 2003), no mesmo período, o melhoramento genético já se fazia presente na seleção e na domesticação das melhores plantas para o cultivo.

Num primeiro momento, a biotecnologia esteve centrada na questão da saúde humana e animal, em que se utilizou microrganismos para a fabricação de antibióticos, dando origem à Biotecnologia 1.0, que simbolizou um grande passo para a medicina, permitindo que várias doenças pudessem ser tratadas com relativa facilidade. Em 1953, houve a descoberta do DNA, por Watson e Crick, que abriu uma nova era para a ciência e, desde então, vem causando uma verdadeira transformação na investigação científica ligada às ciências da vida (Carrer et al., 2010). Em 1969, a descoberta das endonucleases de restrição, enzimas capazes de reconhecer uma pequena sequência de pares de bases no DNA e então clivar neste sítio de reconhecimento, tornou possível a manipulação do material genético (House of Parliament, 2017). Mas foi na década de 1970 que ocorreu o início das metodologias de uso do DNA recombinante e do sequenciamento do DNA que proporcionaram grandes avanços na ciência de plantas, iniciando a Biotecnologia 2.0 (Carrer et al., 2010).

Na mesma década, ocorreu o surgimento da Engenharia Genética, que trouxe a possibilidade de inserir o DNA de um indivíduo em outro (Carrer et al., 2010). Em 1983, um gene resistente aos antibióticos foi inserido no tabaco, levando à primeira planta geneticamente modificada (House of Parliament, 2017). Diante desses acontecimentos, a Biotecnologia 3.0 trouxe uma infinidade de possibilidades para a agricultura, fazendo com que a biologia molecular e as técnicas relacionadas sejam vistas como os eventos mais importantes da história da biotecnologia (Carrer et al., 2010).

De um modo geral, as técnicas relacionadas à biotecnologia como a cultura de tecidos, marcadores moleculares, análises de DNA e engenharia genética, além de aumentarem a disponibilidade de genes desejáveis, têm auxiliado o

melhoramento genético de plantas, tornando o processo mais rápido, preciso e eficiente (Faleiro et al., 2011).

A biotecnologia é capaz de contribuir para a redução do impacto protagonizado pela crescente necessidade de oferta de alimentos, visto que, há uma expectativa quanto ao crescimento populacional mundial nos próximos anos, somada às questões de sustentabilidade e das mudanças climáticas geradas pelo aquecimento global (Chiurugwi et al., 2019).

Atualmente tem surgido métodos que aceleram os processos do melhoramento genético, iniciando, então, a Biotecnologia 4.0. O termo “4.0” se refere à solução para a necessidade de informação em tempo real, o que garante rapidez e eficiência nas tomadas de decisões. Para a biotecnologia essa velocidade de informação é dada pelo Speed Breeding, uma metodologia que acelera os programas de melhoramento de plantas e reduz o tempo e investimento necessário para a obtenção de uma nova cultivar (Laborgene, 2019). Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo apresentar, através de uma abordagem crítica, a metodologia Speed Breeding e suas associações à outras metodologias como ferramenta para acelerar o programa de melhoramento de plantas e assim, corresponder a urgência por cultivares com alta produtividade, resistentes a fatores bióticos e abióticos, para combater as mudanças ambientais e a necessidade crescente por alimentos, diminuindo os custos e o tempo empreendidos em todo o processo de melhoramento genético.

2. Metodologia

Para que este trabalho fosse realizado, a metodologia aplicada foi a documental exploratória que é definida por Oliveira (2011) como uma pesquisa embasada apenas na exploração dos documentos oficiais e originais, ou seja, sem intermédio das interpretações de outros autores científicos. E também foi utilizada outra metodologia conhecida como descritiva, explicada por Oliveira (2011), como um método que possui riqueza de material descritivo sobre acontecimentos, situações e documentos originais.

De início foi realizada uma pesquisa bibliográfica em base de dados científicos que possam auxiliar na interpretação dos documentos explorados e analisados. Para isso se utilizou das bases Google Acadêmico, Scielo, Portal Periódicos Capes, dentre outros meios, com as palavras chaves "speed breeding", "biotecnologia vegetal", "melhoramento vegetal 4.0", entre outras que forem surgindo e tornando-se necessárias à pesquisa. E então as publicações encontradas foram filtradas sob a característica temporal de estarem entre os anos de 2010 a 2021. Critérios de elegibilidade e inclusão foram definidos para avaliar a qualidade dos artigos de pesquisa. Estudos primários conduzidos recentemente, publicados em inglês, em periódicos revisados por pares.

A coleta, análise e interpretação dos dados da pesquisa para a preparação da revisão seguiram as seguintes etapas: busca sistemática em bases de dados eletrônicas; identificação e triagem de estudos potenciais; seleção de estudos após aplicação dos critérios iniciais de inclusão e exclusão; exportação de características descritivas e codificação de possíveis variáveis; extração de dados; análise.

3. Resultados e Discussão

3.1 Biotecnologia vegetal e produção de alimentos

O estabelecimento de uma agricultura sustentável, que preserve o meio ambiente e proporcione segurança alimentar é um fator primordial para garantir o desenvolvimento das gerações futuras diante das mudanças climáticas e o depauperamento das reservas energéticas não renováveis. Em 2050, o mundo provavelmente estará vivendo sob a influência de três grandes crises anunciadas: a diminuição das reservas de petróleo, a escassez de água potável e a falta de alimentos para grande parte da população. Nesse cenário, a biotecnologia ocupa papel central na busca de soluções para atenuar os problemas da humanidade, causados pelo estilo de vida adotado pelo homem (Carrer et al., 2010).

Nesse contexto, por obter os conhecimentos das funções dos genes e dos mecanismos que envolvem a tolerância aos mais diversos estresses, a biotecnologia se insere como propulsora para o aumento da produtividade, da qualidade nutricional em alimentos, da capacidade de suportar fatores bióticos e abióticos adversos para o desenvolvimento de plantas adaptadas, desenvolvimento de resistência às principais doenças, e a aplicação de herbicidas para facilitar o manejo, visando à inserção de características agrônômicas desejáveis (Hickey et al., 2019).

A agricultura é responsável por cerca de 70% do consumo de água do planeta (Ray et al., 2012), e o uso inadequado de defensivos por parte de alguns produtores, contribui para a contaminação dos lençóis freáticos e diminui a oferta de água potável. Visando melhorar a eficiência do uso de água, a biotecnologia se faz presente no desenvolvimento de espécies tolerantes à seca, diminuindo a necessidade de irrigação intensiva, e no melhoramento genético de cultivares para resistência à pragas e doenças, reduzindo a necessidade da utilização dos defensivos.

3.2 Ferramentas biotecnológicas

Um dos pilares da biotecnologia, é o processo de manipulação direta do DNA para alterar características de interesse de um organismo. Com essa tecnologia é possível trocar os pares de bases de um genoma, deletar toda uma região do DNA, introduzir uma cópia adicional de um gene de interesse ou até mesmo extrair o DNA de um organismo e combiná-lo ao genoma de outro (Nogueira, 2019).

Com a iminência por cultivares melhoradas geneticamente, conferindo qualidades agrônômicas desejáveis, há um presente desafio de acelerar esses programas, aderindo a técnicas que encurtem o tempo demandado por eles, como a PCR (Polymerase Chain Reaction - Reação em Cadeia da Polimerase) em tempo real.

A técnica de PCR, criada em 1993 por Kary Mullis, consiste em uma amplificação “in vitro” de uma região específica do DNA visando aumentar o número de cópias destes seguimentos. A técnica objetiva produzir material suficiente para as diversas análises, onde o processo ocorre em três etapas: desnaturação, hibridização e extensão (Silva et al., 2018).

A PCR em tempo real (Real Time Quantitative PCR - qPCR), é uma variação dessa técnica, que pode ser realizado com DNA ou RNA inicial, e além de amplificar uma região específica, permite a quantificação do gene ou transcrito específico, gerado em tempo real de forma bastante sensível e precisa, porque utiliza um corante que intercala nas cadeias dos fragmentos gerados no PCR e que pode ser detectado por sensores do equipamento utilizado no PCR, permitindo a quantificação do aumento da concentração do fragmento gerado em tempo real (Faleiro et al., 2011).

3.3 Speed breeding: conceitos e aplicações

A metodologia Speed Breeding ou Melhoramento Rápido, tem como objetivo fazer uma redução no ciclo de melhoramento, permitindo uma diminuição no tempo de pesquisa em diversas culturas agrícolas, pelo avanço de geração de forma rápida, conduzido pelo uso de condições artificiais por controle de luz e temperatura que aumentam o crescimento das plantas e, assim, acelera os ciclos, reduzindo os intervalos entre as gerações, adiantando a seleção de progênies (Li et al., 2018, Watson et al., 2018).

A principal vantagem do método é que ele garante seis gerações ao ano, enquanto que no campo é realizada apenas uma única geração por ano e em casa de vegetação, duas gerações no ano (Hickey, 2017). A técnica consiste em oferecer luz praticamente de forma constante, aumentando o fotoperíodo para 22 horas, e manter uma temperatura em torno dos 22°C, o que efetivamente acelera o desenvolvimento da planta. A metodologia vem sendo testada e sua eficácia comprovada (Ghosh et al., 2018, Jähne et al., 2020).

Em 2006, foi desenvolvida uma nova metodologia para uma rápida introgressão de caracteres em trigo, na Universidade de Queensland (Austrália), que combina o uso da ‘reprodução rápida’ e alto rendimento fenotípico para múltiplas

características, inicialmente testada para resistência ao bronzeado (*Pyrenophora tritici-repentis*) em trigo (Hickey et al., 2017). Para este estudo foi adotada uma abordagem semelhante para validar a metodologia em uma espécie de segunda safra de cevada, usando a cultivar europeia Scarlett, que é amplamente cultivada na Argentina para abastecer as indústrias de malte e cerveja, mas carece de resistência adequada a uma série de doenças foliares.

A primeira cultivar obtida através da utilização da técnica do Speed Breeding foi uma variedade de trigo elevada em proteína e com tolerância à germinação pré-colheita, chegando ao mercado em 2018, com o nome de DS Faraday (Laborgene, 2019).

Quanto à técnica, não existe um padrão de utilização a ser seguido por todas as culturas, pois existe exigências diferentes quanto ao fotoperíodo. No entanto, sua utilização estende-se a uma grande variedade de culturas agrícolas, como grão de bico, canola, cevada, trigo, ervilha, soja, sorgo e amendoim.

A produção de plantas sob o Speed Breeding, não altera a qualidade fisiológica de sementes, que permanecem viáveis quanto à germinação e vigor, sendo utilizadas na geração seguinte (Ghosh et al., 2018, Laborgene, 2019).

O Programa de Melhoramento Genético do Amendoim da Austrália (APGIP) reduziu significativamente os tempos de desenvolvimento da variedade, predominantemente por meio do uso de um viveiro de inverno que permitiu o cultivo de duas gerações de amendoim em um período de 12 meses. Este estudo combinou a nova técnica de reprodução em velocidade, que combina condições ambientais controladas, luz contínua em conjunto com temperatura ideal e uma estratégia de reprodução de descendência única em um ambiente de estufa. O Speed Breeding foi bem-sucedido na redução do tempo de geração de cultivares com maturidade na estação completa de 145 para 89 dias, obtendo novas gerações em menos de 12 meses, e potencialmente acelerou o desenvolvimento do primeiro cruzamento para o lançamento comercial em cerca de seis a sete anos. Assim, foi demonstrado que as tecnologias de melhoramento rápido previamente desenvolvidas para trigo e cevada podem ser transferidas com sucesso para o amendoim cultivado e oferece aos melhoristas de amendoim uma nova ferramenta para desenvolver cultivares melhorados mais rapidamente (O'Connor et al., 2013).

Embora o Speed Breeding seja uma ferramenta revolucionária (Ghosh et al., 2018, Jähne et al., 2020), que pode ser combinada com outras ferramentas, como a seleção genômica, o controle das condições de cultivo, temperatura e umidade, além do manejo especial e mão de obra especializada são um grande desafio.

Um grande empecilho pode ser também o custo empregado por essa tecnologia, com luzes, eletricidade e infraestrutura adequada, todavia, é possível recuperar qualquer investimento na metodologia, pois ela permite a obtenção de novas linhagens promissoras e cultivares em um período de tempo bem menor, quando comparado com o sistema tradicional (Ghosh et al., 2018, Laborgene, 2019).

3.4 Speed breeding e associações com outras tecnologias

A combinação do Speed Breeding com outras técnicas modernas permite uma maior eficiência no melhoramento de plantas, e adiantam resultados que contribuem para a diluição do custo. Podem ser utilizados de forma conjunta a seleção genômica, a tecnologia CRISPR, o uso de marcadores moleculares, a fenotipagem e a genotipagem (Ghosh, et al., 2018).

Trabalhos atuais vêm testando a metodologia e sua eficiência em combinação com outras técnicas. Speed Breeding unida à seleção genômica, pode reduzir drasticamente o ciclo e tempo de reprodução, produzindo rapidamente linhagens puras recombinantes, permitindo a seleção indireta de fenótipos para melhorar diversas características antes dos testes de campo (Watson et al., 2018).

Quando usado em conjunto com a seleção genômica, a técnica reduz o ciclo de reprodução, produzindo rapidamente linhagens puras recombinantes e permite a seleção indireta de fenótipos para melhorar as características principais, além disso, as características avaliadas e correlacionadas com a produção baseada no campo podem melhorar a previsão da produção em

Seleção Genômica multivariada (Riaz et al., 2016). A diminuição do tempo de obtenção de novas gerações proporciona aos pesquisadores investir mais na obtenção de variabilidade genética, garantindo maior agilidade na seleção de genótipos superiores (Laborgene, 2019).

A seleção genômica é particularmente útil para características geneticamente complexas, como o rendimento de grãos em trigo (*Triticum aestivum* L.), que é difícil de selecionar para o uso de seleção assistida por marcador e geralmente só é medido depois que linhas geneticamente fixas são desenvolvidas e sementes suficientes são produzidas (Watson et al., 2018).

O processo de seleção genômica começa com a fenotipagem e a genotipagem de uma população, que permite que sejam identificados os nucleotídeos de características quantitativas, que são polimorfismos funcionais, causadores diretos da variação quantitativa observada. A seleção genômica atua em todo o genoma, capturando todos os genes que afetam uma característica quantitativa (Bassi et al., 2016). Conforme relatado por Resende et al. (2008), a seleção genômica pode ser definida como a seleção simultânea de centenas ou milhares de marcadores, os quais cobrem o genoma de uma maneira densa, de forma que todos os genes de um caráter quantitativo estejam em desequilíbrio de ligação com pelo menos uma parte dos marcadores.

Esses marcadores em desequilíbrio de ligação com os locos de características quantitativas, tanto de grandes quanto de pequenos efeitos, explicarão quase a totalidade da variação genética de um caráter quantitativo. Não há necessidade prévia de identificar os marcadores com efeitos significativos e de mapear os locos de características quantitativas. Os marcadores moleculares terão seus efeitos genéticos estimados a partir de uma amostra de pelo menos 1.000 indivíduos genotipados e fenotipados. Por esse motivo, a seleção genômica fundamenta-se nos marcadores genéticos moleculares do tipo polimorfismo de um único nucleotídeo, pois são a forma mais abundante de variação do DNA em genomas e apresentam baixa taxa de mutação e facilidade de genotipagem (Faleiro et al., 2011).

Uma equação de predição para a característica de interesse é derivada usando a informação fenotípica e genotípica da população de treinamento, e é aplicada à população do candidato à seleção, também genotipada, para calcular os valores genômicos estimados de cruzamento nos quais a seleção é então baseada (Bassi et al., 2016).

4. Considerações Finais

Tendo como pilar todos os quesitos apresentados neste trabalho, é notável que a Biotecnologia vegetal moderna e suas técnicas revolucionárias, como o Speed Breeding, associado à outras metodologias de melhoramento genético se apresenta como excelente ferramenta para auxiliar no aumento da produção de alimentos, diminuindo o impacto sobre o meio ambiente, caminhando para uma agricultura sustentável, sem a necessidade do aumento da área cultivada, diminuindo o uso desenfreado de agroquímicos e auxiliando na preservação dos recursos naturais.

A biotecnologia vegetal apresenta-se como um excelente instrumento de apoio ao melhoramento genético e conforme o desenvolvimento de novas tecnologias, outras ferramentas podem entrar em uso para a obtenção de novas cultivares de plantas comerciais. O avanço da tecnologia permitiu a obtenção de diversos protocolos e metodologias revolucionárias, que por ora estão em uso, mas que em breve dias podem se tornar obsoletos, dando lugar para outros mais atualizados, tais como, edição gênica, escolha de características desejadas, dentre outros.

Referências

- Barnett, J. A. (2003). Beginnings of microbiology and biochemistry: the contribution of yeast research. *Microbiology*, 149(3), 557– 567.
- Bassi, F. M., Bentley, A. R., Charmet, G., Ortiz, R. & Crossa, J. (2016). Breeding schemes for the implementation of genomic selection in wheat (*Triticum* spp.). *Plant Science*, 242, 23–36.
- Carrer, H., Barbosa, A. L. & Ramiro, D. A. (2010). Biotecnologia na agricultura. *Estudos avançados*, 24(70), 149-164.

- Chiurugwi, T., Kemp, S., Powell, W. & Hickey, L. T. (2019). Speed breeding orphan crops. *Theoretical and Applied Genetics*, 132, 607-616.
- Estrela, C. (2018). *Metodologia Científica: Ciência, Ensino, Pesquisa*. Editora Artes Médicas.
- Faleiro, F. G., Andrade, S. R. M. & Junior, F. B. R. (2011). *Biotechnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária*. Embrapa Cerrados.
- Ghosh, S., Watson, A., Gonzalez-Navarro, O. E. et al. (2018). Speed breeding in growth chambers and glasshouses for crop breeding and model plant research. *Nature Protocols*, 13, 2944–2963.
- Hickey, L. T., Germán, S. E., Pereyra, S. A. et al. (2017). Speed breeding for multiple disease resistance in barley. *Euphytica*, 213, 64.
- Hickey, L. T., Hafeez, A., Robinson, H. et al. (2019). Breeding crops to feed 10 billion. *Nature Biotechnology*, 37, 744–754.
- House of Parliament (2017). *New Breeding Techniques*. *Postnote*. 548.
- Inoue, L. (2019). Agricultura 4.0: tecnologia aliada à sua lavoura. <https://blog.agromove.com.br/agricultura-4-0-tecnologia-aliada-a-sua-lavoura/>
- Jähne, F., Hahn, V., Würschum, T. & Leiser, W. L. (2020). Speed breeding short-day crops by LED-controlled light schemes. *Theoretical and Applied Genetics*, 133, 2335–2342
- Laborgene (2019). Speed breeding: conheça tudo sobre essa metodologia de aceleração no melhoramento de plantas. <https://www.laborgene.com.br/speed-breeding-conheca-tudo-sobre-essa-metodologia-de-aceleracao-no-melhoramento-de-plantas/>
- Li, H., Rasheed, A., Hickey, L. T. & He, Z. (2018). Fast-forwarding genetic gain. *Trends in Plant Science*, 23(3), 184-186.
- Nogueira, S. (2019). Entenda de uma vez: Engenharia Genética. *Super Interessante*. <https://super.abril.com.br/ciencia/entenda-de-uma-vez-engenharia-genetica/>
- O'Connor, D. L., Wright, G. C., Dieters, M. J., George, D. L., Hunter, M. N., Tatnell, J. R. & Fleischfresser, D. B. (2013). Development and Application of Speed Breeding Technologies in a Commercial Peanut Breeding Program. *Peanut Science*, 40(2), 107–114.
- Oliveira, M. F. (2011). *Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração*. Universidade Federal de Goiás.
- Ray D. K. et al. (2012). Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications*, 3, 1293.
- Resende, R. R., Soccol, C. R. & França, L. R. (2016). *Biotechnologia aplicada à Agro&Indústria, fundamentos e aplicações*. Editora Edgard Blücher Ltda.
- Riaz, A., Periyannan, S., Aitken, E., & Hickey, L. (2016). A rapid phenotyping method for adult plant resistance to leaf rust in wheat. *Plant Methods* 12, 17.
- Silva, Y. Y., Silva, R. T. P., & Leandro, D. C. (2018). Biotechnologia e vírus: avanços e aplicações na saúde humana. *Lumen*, 27(2), 119-126.
- Watson, A., Ghosh, S., Williams, M. J., et al. (2018). Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature Plants* 4, 23–29.