



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS

CRISPR-CAS9 NO SETOR FLORESTAL: UMA ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA

Luísa Silva Braz

Recife

2021

LUÍSA SILVA BRAZ

CRISPR-CAS9 NO SETOR FLORESTAL: UMA ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Gallo

RECIFE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B827c Braz, Luísa Silva
CRISPR-Cas9 no setor florestal: uma abordagem cienciométrica / Luísa Silva Braz. - 2021.
41 f. : il.
- Orientador: Ricardo Gallo.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2021.
1. CRISPR-Cas9. 2. Bibliometria. 3. Cienciométrica. 4. Espécies florestais. I. Gallo, Ricardo, orient. II.
Título

CDD 634.9

LUÍSA SILVA BRAZ

CRISPR-CAS9 NO SETOR FLORESTAL: UMA ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA

Aprovada em 09 de dezembro de 2021

BANCA EXAMINADORA

MSc. Lidiana Nayara Ralph
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Examinadora

Prof. Dr. Marcone Moreira Santos
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Examinador

Prof. Dr. Ricardo Gallo
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Orientador

RECIFE

2021

AGRADECIMENTOS

Ao orientador mais paciente que o Universo (leia-se Tao, Javé, Alá, Olorum, Deus) podia ter me mandado: Ricardo Gallo. Que sabia exatamente quando dizer as palavras de encorajamento que eu precisava ouvir.

À amiga sem a qual esse trabalho não teria sido feito, Leticia Siqueira Walter. Amiga, consultora, futura doutora, que me resgatou da paralisação toda vez que me deparava com um problema “irresolúvel”. Era quem me mostrava a saída do labirinto no qual minha mente se enfiava para tentar resolver os mais ínfimos contratempos. Era quem me puxava pela mão e dizia: “Vai dar certo; eu te ajudo”, que é só o que o ser humano quer ouvir.

Roque Braz Filho, pai, amigo, ouvido pros devaneios, enxugador de lágrimas. Outro sem o qual esse trabalho não estaria pronto. Quando as frases não faziam mais sentido pra mim, ele disse “Vamos ler juntos”, e isto fez toda a diferença.

À Vânia. Ela que me levou (à) e buscou (na) Rural altas horas da noite, e que constantemente me perguntou: o que é que falta? e me ofereceu ajuda para concluir. Que sempre me disse que eu podia ser o que quisesse, bastava querer. Que me ensinou que podemos ficar um tempo no chão, ao cair, mas que, sempre, temos de nos reerguer.

Por fim, aos familiares e amigos que me acompanharam por esta jornada de crescimento: Artur Braz, Alexandre Tejo, Gabriel Barreto, Gisele Una, Laura Oliveira, Lucas Silva, Mariana Sobral, Olímpia Lino e tantos outros seres maravilhosos que, se fosse citar aqui, isto ficaria muito grande.

E: à mais nova e mais maravilhosa membra da família, Aurora Una Braz.

RESUMO

O CRISPR-Cas9 é uma técnica de edição genética que funciona como uma tesoura, adicionando novas informações ao DNA após “cortá-lo” em uma pequena parte previamente programada. Essa inovação tecnológica traz grande potencial para o melhoramento genético de plantas, pois apresenta baixo custo e é simples de executar, quando comparada com outras técnicas biotecnológicas. Diante disso, este trabalho teve como objetivo realizar um levantamento bibliométrico de pesquisas sobre CRISPR-Cas9 aplicadas no setor florestal. Utilizando o método bibliométrico, foi pesquisado nas bases de dados Web of Science e Scopus, o termo “CRISPR-Cas9” combinado com as seguintes palavras: “plant breeding”, “tree”, “forestry”, “tree breeding” e “forest”. Os artigos obtidos foram analisados no *bibliometrix*, gerando dados para análise bibliométrica. Foi constatado um enorme crescimento no número de publicações sobre o tema, a partir de 2014. Também se observou que 10 revistas formam o núcleo de publicações sobre o tema, de acordo com a Lei de Bradford; e que os principais meios de publicação são: *International Journal of Molecular Science*, *Frontiers in Plant Science* e *Plant Biotechnology Journal*. Já as revistas de maior impacto foram: *Plant Biotechnology Journal* e *Nature Communications*. Os autores de maior destaque foram: Zhang Y, com 24 artigos publicados, Li Y, com 19, Wang Y, com 17, Wang X, com 15 e Liu Y, com 11. Na análise da Lei de Lotka, pudemos perceber que 79,3 % dos autores escreveram apenas 1 artigo cada sobre esse tema, enquanto poucos autores apresentaram alto número de publicações. A pesquisa também forneceu as afiliações dos pesquisadores. A *University of California*, *South China Agricultural University*, e *University of Chinese Academy of Sciences*, se encontram em destaque com alto número de publicações. O tema está sendo pesquisado principalmente nas instituições dos Estados Unidos e da Ásia, havendo pesquisas realizadas no Brasil. As palavras (Keywords Plus): “gene editing”, “genetics”, “plant breeding”, “article” e “nonhuman” foram as mais citadas nos artigos. Já para as palavras chaves dos autores dos artigos: tomate, batata, arroz, *Populus* e *Bombyx mori* L., apresentaram alta frequência. As pesquisas que envolvem CRISPR-Cas9 na produção florestal ainda estão no início, observando que espécies do gênero *Populus* se destacaram em diversos estudos, entretanto é possível observar um avanço considerável para culturas agrícolas, como é o caso do arroz, tomate e batata.

As espécies florestais ainda estão em estágios iniciais na utilização dessa técnica, mas apresentam grande potencial com melhoramento em clones e híbridos de espécies de interesse comercial.

Palavras-chave: CRISPR-Cas9, bibliometria, cienciometria, espécies florestais.

ABSTRACT

CRISPR-Cas9 is a genetic editing technique that works like a pair of scissors, adding new information to the DNA after “cutting” it into a small, previously programmed part. This technological innovation brings great potential for the genetic improvement of plants, as it has a low cost and is simple to implement, when compared to other biotechnological techniques. Therefore, this work aimed to carry out a scientometric survey of research on CRISPR-Cas9 applied in the forest sector. Using the bibliometric method, the term “CRISPR-Cas9” combined with the following words was searched in the Web of Science and Scopus databases: "plant breeding", "tree", "forestry", "tree breeding"; “forest”. The articles obtained were analyzed on bibliometrix, generating data for scientometric analysis. A huge growth in the number of publications on the topic was observed, as of 2014. It was also found that 10 journals form the core of publications on the topic, according to Bradford's Law; and that the main publishers are: International Journal of Molecular Science, Frontiers in Plant Science and Plant Biotechnology Journal. The magazines with the greatest impact were: Plant Biotechnology Journal and Nature Communications. The most prominent authors were: Zhang Y, with 24 articles published, Li Y, with 19, Wang Y, with 17, Wang X, with 15 and Liu Y, with 11. In the analysis of Lotka's Law, we could see that 79.3% of authors wrote only 1 article each on this topic, while few authors had a high number of publications. The survey also provided the researchers' affiliations. The *University of California*, *South China Agricultural University*, and *University of Chinese Academy of Sciences* are standing out with a high number of publications. The theme is being researched mainly in institutions in the United States and Asia, with research being carried out in Brazil. The words (Keywords Plus): "gene editing", "genetics", "plant breeding", "article" and "nonhuman" were the most cited in the articles, as for the keywords of the authors of the articles: tomato, potato, rice, *Populus* and *Bombyx mori* L., presented high frequency. Research involving CRISPR-Cas9 in forestry production is still in its beginning, noting that species of the genus *Populus* stood out in several studies, however it is possible to observe a considerable advance for agricultural crops, such as rice, tomatoes and potatoes. Forest species are still in the initial stages of using this technique, but they have great potential for improvement in clones and hybrids of species of commercial interest.

Key-words: CRISPR-Cas9, bibliometrics, scientometrics, forest species.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Print exemplificando a pesquisa na Web of Science (A) e Scopus (B)...	17
Figura 2 - Fluxograma de atividades	19
Figura 3 - Produção anual de artigos com todas as combinações de palavras chaves pesquisadas.....	21
Figura 4 - Concentração dos artigos das combinações de palavras-chave nas 10 principais revistas de acordo com a Lei de Bradford.	22
Figura 5 - Principais revistas de acordo com seu impacto para as combinações de palavras-chaves.....	22
Figura 6 - Número de produções dos autores mais relevantes para as combinações de palavras.....	23
Figura 7 - Frequência de distribuição da produção científica pela Lotka's Law.....	24
Figura 8 - Afiliações mais relevantes para as combinações de palavras.....	25
Figura 9 - Artigos mais citados para as combinações de palavras.	26
Figura 10 - Nuvem de palavras com as Keywords plus.....	27
Figura 11 - Nuvem de palavras com as palavras-chaves dos autores.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de artigos por combinação de palavras-chaves pesquisadas nas bases de dados Web of Science (WOS) e Scopus	18
Tabela 2 - Parâmetros cientométricos medidos.....	19
Tabela 3 - Resumo das espécies, aplicações e respectiva referência do uso da CRISPR-Cas9 em espécies florestais.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CRISPR-Cas9	11
1.2	BIBLIOMETRIA	14
1.3	CIENCIOMETRIA	15
1.4	OBJETIVOS	16
1.4.1	Objetivo geral.....	16
1.4.2	Objetivos específicos	16
2	MATERIAL E MÉTODOS	17
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4	CONCLUSÃO	32
	<u>REFERÊNCIAS</u>	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 CRISPR-Cas9

Este trabalho é um estudo cientométrico acerca do CRISPR-Cas9, que é uma técnica de melhoramento genético, e suas aplicações em espécies vegetais e no setor florestal. A primeira aparição do termo CRISPR na literatura tem registro no ano 1987, com a publicação de Ishino et al. (1987). No ano de 2012, Fineran; Charpentier discutiram sobre uma adaptação do sistema imune das bactérias e arqueas. Nelas, existe o Conjunto de Repetições Palindrômicas Curtas Regularmente Interespaçadas (CRISPR), que é capaz de guardar informação genética de um invasor. O CRISPR associado (Cas) é uma ferramenta de adaptação de defesa contra fagos.

Para os autores, “uma característica fundamental na fase de adaptação do CRISPR-Cas é a memória, em que uma infecção repetida pelo mesmo fago é interrompida imediatamente pela resposta específica” (FINERAN; CHARPENTIER, 2012). Esse processo de adaptação do CRISPR funciona como uma espécie de “vacinação”, pois estimula a bactéria a se defender de repetidas invasões de um mesmo fago.

Em 2014, Emmanuelle Charpentier e Jennifer Doudna lançaram um artigo que seria vencedor do Nobel de Química em 2020. Esse trabalho fala sobre uma inovação no campo da genética em suas diversas áreas de aplicação, uma nova técnica de melhoramento genético, simples e acessível, que receberam pouco tempo grande número de adeptos, cientistas e “leigos”; os últimos autodenominados biohackers.

Em seu artigo, as autoras comentam como a humanidade já havia decodificado o DNA humano, mas que ainda era algo impreciso acrescentar-lhe nova informação. Seu trabalho trouxe uma inovação tecnológica, utilizando um RNA programável, o CRISPR-Cas9. A proteína Cas9 é uma endonuclease (enzima de clivagem) que identifica e realiza a quebra na sequência alvo de fitas duplas do DNA, introduzindo novos pares de bases (DOUDNA; CHARPENTIER, 2012).

Após a publicação desse trabalho, diversos experimentos foram feitos com base na técnica CRISPR-Cas9, tanto em laboratórios e faculdades de prestígio como

em garagens e cozinhas transformadas em laboratórios (DELFANTI, 2012). Iniciou-se a partir daí uma revolução na área da genética.

Alguns cientistas buscavam na técnica CRISPR-Cas9, soluções para os mais variados problemas: fosse a invasão devastadora de ratos em uma ilha (ESVELT; GEMMELL, 2017) ou a cura para as mais diferentes doenças humanas. Ao mesmo tempo, as pessoas que não tiveram acesso à educação de nível superior puderam, talvez pela primeira vez, fazer experimentos diversos fora do circuito acadêmico e com baixos recursos (MEYER; VERGNAUD, 2020).

O movimento “do-it-yourself biology” teve seu início em 2008 e com o advento do CRISPR(biohacking) como também é conhecido, passou a se popularizar. Por não seguir protocolos convencionais nem legislações vigentes, os biohackers levantaram muitos questionamentos éticos, inclusive na comunidade acadêmica: “A quem caberia o poder de alterar o DNA de organismos?”, “Quem pode ter acesso a essa tecnologia?”, “Quem pode decidir quando se deve aplicar um tratamento experimental em um ser humano?”. A decodificação do DNA já havia despertado questionamentos éticos, como a criação de super-humanos ou de o ser humano “brincar de Deus”.

A técnica tem potencial para curar doenças que a medicina ainda não conseguiu resolver, mas realizar experimentos em humanos ainda é algo mal visto pela sociedade. Nesse entremeio, Rodríguez-Rodríguez et al. (2019) afirmam que “é aplicável em experimentos de terapia celular e merece ser vigorosamente desenvolvido como uma ferramenta de pesquisa em uma variedade inusual de sistemas biológicos”.

Nesse contexto, alguns organismos têm sido utilizados em pesquisas para se tentar entender como tratar (curar) o corpo humano em suas multiplicidades. O peixe-zebra é um deles, pois tem sido objeto de pesquisas com o intuito de resolver doenças cardiovasculares nos humanos (TESSADORI, 2018); entender a relação entre sabor e hábitos alimentares (CAI et al., 2021) e malformações que podem ocorrer em humanos (HONG, 2020).

Outra questão ética levantada, desta vez no setor ambiental, foi a modificação genética de animais e plantas cujo resultado pode ser algo completamente inusitado; além da ideia de se perder o DNA original presente no meio ambiente, existe também a possibilidade de ocorrer um desequilíbrio ambiental.

Gene Drive, pensado pelo cientista Kevin Esvelt, tem o potencial de fazer um indivíduo geneticamente modificado (protótipo), cruzar com um que não tenha sofrido modificação genética, gerando uma prole já geneticamente modificada. E seus descendentes, por conseguinte, também gerarão filhotes geneticamente modificados, alterando toda a população de um habitat, até, possivelmente, atingir todo o planeta (ESVELT; GEMMELL, 2017).

Na agricultura o CRISPR-Cas9 está “sendo usado para acelerar programas de melhoramento de plantações e rebanhos, criar novos antimicrobianos e controlar patógenos” (TYAGI et al., 2020). Espécies muito utilizadas em pesquisas são: o arroz (HONG et al., 2020; TANG et al., 2018; WU et al., 2021); o trigo (THAKUR et al., 2021; LI et al., 2021; DU et al., 2021) e tomate (ALONGE et al., 2020; WELEGAMA et al., 2021; BEN SHLUSH et al., 2021).

Há grande potencial nas pesquisas com plantas medicinais, como é mostrado por LIU et al. (2013), que fala sobre o uso da técnica para “aumentar os constituintes efetivos ou reduzir a toxicidade, [...] selecionar características excelentes e aumentar a produtividade”. A aplicação do CRISPR-Cas9 em plantas está atrasada em relação a outros campos. Ele tem sido aplicado em numerosas herbáceas, como o *Arabidopsis thaliana*, a soja e o arroz (citado anteriormente), mas em espécies florestais ainda há poucas pesquisas.

Nas espécies florestais as modificações genéticas têm ocorrido para melhorar características como “arquitetura da árvore, conteúdo de lignina e resposta ao estresse biótico e abiótico” (MARTI; DODD, 2018). Esse atraso se deve, segundo Marti e Dodd (2018) ao tempo de transformação em tecidos lenhosos — processo mais demorado do que outros organismos — ao estabelecimento de protocolos para a regeneração de plantas inteiras, altos custos dos investimentos em pesquisas, adequação à legislação de cada país e não aceitação da sociedade aos organismos geneticamente modificados, o que afasta pesquisadores desse campo.

Mesmo assim é possível ver autores que se dedicaram a espécies florestais, como é o caso de Park et al. (2021), que empregou o CRISPR-Cas9 num híbrido (*Populus alba* × *Populus glandulosa*) diretamente no protoplasto, editando o genoma (livre de transgenia). Estudos também foram feitos em espécies do gênero *populus*: *Populus tomentosa*, *Populus trichocarpa*, *Populus tremula* × *P. tremuloide*. Outras espécies florestais também estão sendo trabalhadas, como é o caso do Cedro

Japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don) NANASATO et al., 2021), o híbrido *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* (WANG; LI; OUYANG, 2021) e a *Hevea brasiliensis* (DAI et al., 2021).

1.2 BIBLIOMETRIA

A bibliometria é “uma técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico” (ARAÚJO, 2006). O estudo bibliométrico pode ser útil, por exemplo, na caracterização de uma área do conhecimento ou para investigação do fluxo de informação sob perspectivas diversas. A partir da produção científica, que é um produto do conhecimento formado, torna-se possível avaliar tanto quantitativa quanto qualitativamente, pesquisas realizadas sob múltiplos indicadores (por períodos, áreas de conhecimento, países, etc.).

Do ponto de vista quantitativo a avaliação dos dados e a produção de mapas conceituais e intelectuais, objetiva medir documentos, fontes, autores e outros (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Assim, um estudo bibliométrico pode ter por escopo obter informações acerca de todos os autores que pesquisaram um ou outro tema, os autores de maior destaque sobre o tema, os periódicos que publicaram, período em que publicaram e além disto, fazer um cruzamento dessas informações (SANTOS; KOBASHI, 2009).

A bibliometria, que tem por base a contagem de artigos científicos, autores e citações, é um método que permite situar o conteúdo em relação ao continente: um cientista em relação à própria comunidade científica, uma instituição em relação a um país, um país em relação ao mundo, etc (SOARES et al., 2016).

Segundo a lei de Lotka, um tema científico abriga a incidência de um número pequeno de pesquisadores (extremamente produtivos) e um volumoso número de autores (menos produtivos). Por seu turno, a Lei de Bradford, faz referência à oscilação entre os autores nas diferentes publicações periódicas, de modo a reconhecer a parte essencial dos periódicos na sua forma de se concentrar em determinado tema. Por fim, a lei de Zipf analisa com que frequência, em um texto longo, ocorrem certas palavras. A constatação é de que os grandes textos abrigam o uso mais frequente de palavras que demandam esforço mínimo na sua utilização (VANTI, 2002; SANTOS; KOBASHI, 2009;).

A bibliometria surgiu como “bibliografia estatística”. O que distingue principalmente os termos bibliografia e bibliometria, é que a bibliometria busca avaliar objetivamente a produção científica empregando mais métodos quantitativos do que discursivos. O crescimento da bibliometria ensejou o surgimento de várias subdisciplinas, tais como cientometria, webometria e informetria, todas empregando métodos quantitativos, mas com diferentes objetos de estudo (MACIAS-CHAPULA, 1998).

1.3 CIENCIOMETRIA

Os artigos científicos são reputados como “objetos empíricos privilegiados”, no que diz respeito aos estudos bibliométricos e cientométricos. A cientimetria que é também denominada cientometria, objetiva a interpretação dos dados quantitativos, disponibilizando os elementos necessários para planejamento e avaliação das políticas científicas (SANTOS; KOBASHI, 2009).

Oriundos das ciências naturais e sociais, os métodos da cientimetria possuem um caráter multidisciplinar (VANTI, 2002; SPINAK, 1998). Segundo este, a bibliometria se ocupa em fazer medições no campo da literatura, dos documentos e outros meios de comunicação, ao passo que a cientimetria está voltada para produtividade e utilidade científica, em busca da identificação das “características da investigação científica”, ficando a seu cargo analisar, por meio de indicativo numérico de publicações a produção científica (MUGNAINI; JANNUZI; QUONIAM, 2004).

De acordo com Spinak (1998) a cientimetria ao estudar e analisar o desenvolvimento, políticas sociais e aspectos econômicos dos países, vai além da mera aplicação de técnicas bibliométricas à ciência. E, como enfatizam Vogel; Moraes; Campos (2016), “Cientimetria é a avaliação da ciência pela própria ciência”.

O presente trabalho tem por objetivo fazer um estudo cientométrico das publicações sobre a técnica CRISPR-Cas9 com plantas para se entender como este método tem sido aplicado no setor agrônomo florestal, no Brasil e no mundo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Realizar um levantamento cienciométrico de pesquisas sobre CRISPR-Cas9 aplicadas no setor florestal.

1.4.2 Objetivos específicos

- Verificar a produção anual de publicações com CRISPR-Cas9 em espécies vegetais;
- Levantar o número de publicações com CRISPR-Cas9 em espécies vegetais desde a criação da técnica;
- Identificar os periódicos científicos que mais publicam sobre o assunto atualmente;
- Apresentar os autores, bem como instituições de pesquisa mais relevantes da área;
- Verificar os artigos científicos mais relevantes sobre CRISPR-Cas9 em espécies vegetais;
- Indicar termos e palavras-chave sobre o tema que são mais relevantes;
- Levantar as espécies florestais mais utilizadas para pesquisas com CRISPR-Cas9;
- Verificar as principais aplicações da CRISPR-Cas9 para o setor florestal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados para a realização do trabalho foi obtida por meio do Portal Periódicos da CAPES, por meio do acesso pela Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). No Portal foram feitas pesquisas na Web of Science (WOS) e Scopus (Figura 1 A e B). O termo “CRISPR-Cas9” foi combinado individualmente com as diferentes palavras-chave, sendo elas: “plant”, “plant breeding”, “tree”, “forestry”, “tree breeding”; “forest”, “forest breeding”. A pesquisa foi realizada no mês de outubro de 2021, com os caracteres: tipo de documento (artigos científicos) e sem restrição de data.

Figura 1 - Print exemplificando a pesquisa na Web of Science (A) e Scopus (B).

A

Search > Results

14 results from Web of Science Core Collection for:

"CRISPR-Cas9" (Topic) and "forest" (Topic) and Article (Document Type)

Analyze Results Citation Report Create Alert

Copy query link | Timespan: 2017-01-01 to 2021-12-31 (Publication Date)

Publications You may also like...

Refine results

Search within results for...

Quick Filters

Open Access 11

Publication Years

2021 5

2020 2

2019 4

2018 2

2017 1

Export Records to BibTeX File

Record Options

You have selected 14 results for export

All records on page

Records from: 1 to 1000

No more than 500 records at a time

Record Content:

Author, Title, Source

Author, Title, Source, Abstract

Full Record

Full Record and Cited References

Lin, J and Wong, KC
17th European Conference on Computational Biology (ECCB)
Sep 1 2018 | *BIOINFORMATICS* 34 (17), pp.656-663

Motivation: The prediction of off-target mutations in CRISPR-Cas9 is a hot topic due to its relevance to gene

Relevance < 1 of 1 >

on, via CRISPR/Cas9 in the 10 Citations

Genetic manipulation of this s. Recently, CRISPR/Cas9 73 References

genome. ... Show more Related records

using deep learning 39 Citations

25 ?

47 References

B

Scopus

Search Sources Lists SciVal

25 document results

TITLE-ABS-KEY ("CRISPR-Cas9") AND TITLE-ABS-KEY ("forest") AND DOCTYPE (ar)

Edit Save Set alert

Search tips

Show results for: TITLE-ABS-KEY ("crisper-cas9") AND TITLE-ABS-KEY ("forest") AND DOCTYPE (ar)

Search within results...

Refine results

Limit to Exclude

Open Access

All Open Access (20)

Gold (15)

Documents Secondary documents Patents

Analyze search results

Show all abstracts Sort on: Date (newest)

All BibTeX export Download View citation overview View cited by Save to list

Document title	Authors	Year	Source	Cited by
1 Genome editing with CRISPR/Cas9 in <i>Pinus radiata</i> (D. Don) Open Access	Poovaiah, C., Phillips, L., Geddes, B., (...), Sorieul, M., Thorlby, G.	2021	BMC Plant Biology 21(1),363	0

Fonte: A autora (2021)

Foram exportados registros completos e referências citadas no formato BibTex, constituindo os dados brutos. Os resultados obtidos das exportações estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de artigos por combinação de palavras-chave pesquisadas nas bases de dados Web of Science (WOS) e Scopus

Palavras-chave	WOS	SCOPUS
"CRISPR-Cas9" + "plant"	949	1703
"CRISPR-Cas9" + "plant breeding"	60	128
"CRISPR-Cas9" + "tree"	42	114
"CRISPR-Cas9" + "forest"	15	25
"CRISPR-Cas9" + "forestry"	4	16
"CRISPR-Cas9" + "tree breeding"	0	1
"CRISPR-Cas9" + "forest breeding"	0	0

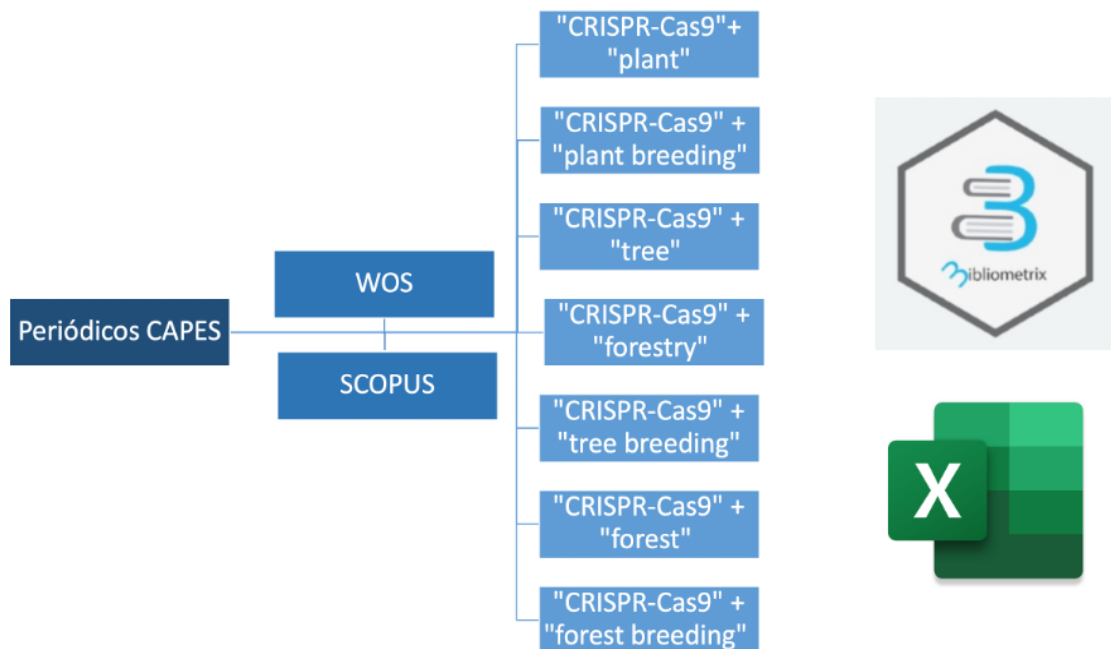
A combinação "CRISPR-Cas9" e "plant" foi considerada apenas para pesquisa, e não para a análise. Por não ter apresentado resultado, a combinação "CRISPR-Cas9" e "forest breeding" foi desconsiderada para análise, assim como a combinação "CRISPR-Cas9" e "tree breeding" da base de dados WOS.

Os dados foram agrupados e os arquivos duplicados foram excluídos para a realização da análise e obtenção dos dados tratados (Figura 2). As análises foram processadas no software R (R Core Team 2021), utilizando o pacote *bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017), resultando em tabela .xlsx, importada para o *biblioshiny* para a obtenção dos parâmetros bibliométricos e cientométricos (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros cientométricos medidos

Nível de Análise	Métricas
Dataset	Produção Científica Anual
Fontes	Lei de Bradford
	Source Impact - H index
Autores	Autores Mais Relevantes
	Lei de Lotka
	Afiliação Mais Relevante
Documentos	Documentos mais citados
	Nuvem de Palavras

Figura 2 - Fluxograma de atividades

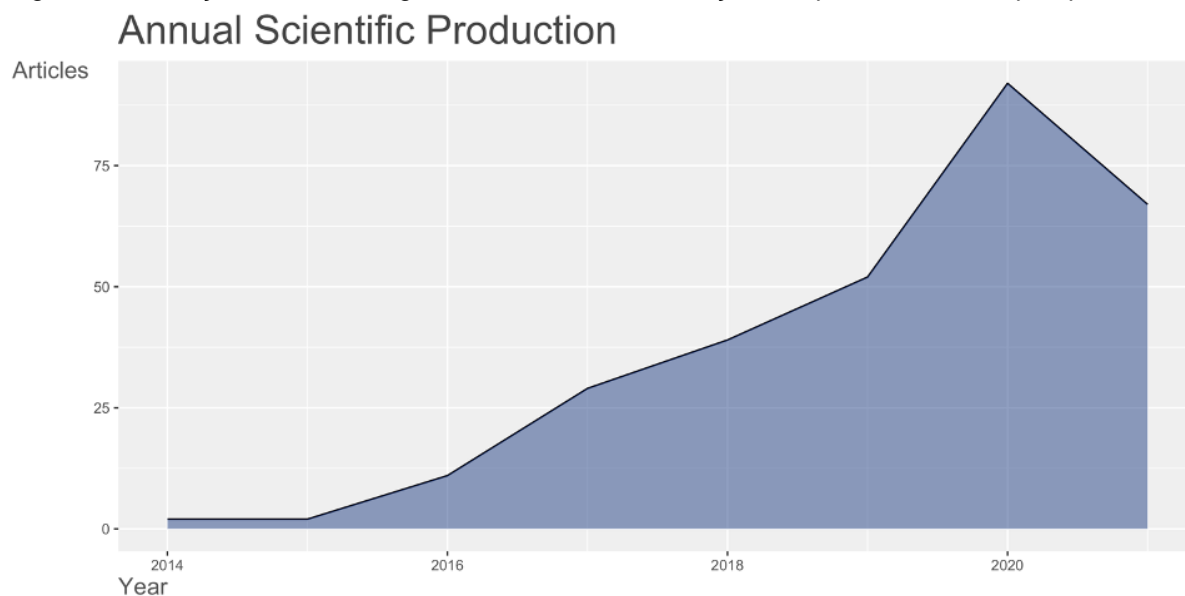


Fonte: A autora (2021).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os artigos sobre CRISPR-Cas9 começaram a ser produzidos no ano 2014 (Figura 3). Nos anos seguintes houve aumento expressivo do número de publicações sobre o assunto, com aumento na produção de 2 artigos em 2014, para 92 em 2020, o que representa um crescimento de 4600% em apenas 6 anos. Padilha (et al., 2021) cita em sua pesquisa com plantas comestíveis não convencionais (PANCs), que em sua área de atuação houve um aumento de 1 artigo em 1963, para 187 em 2019. Farias (2019), também achou resultado crescente de publicações de artigos sobre seu assunto de pesquisa: Omnichannel no varejo, com uma taxa anual de crescimento percentual 78,18 % de 2015 a 2019. Resultado semelhante também foi encontrado por Santos et al. (2020), em sua pesquisa sobre agroecologia, com crescimento de 2 trabalhos para 82, em 27 anos. Essa crescente em produções científicas no século 20, foi intensificada devido à maior difusão de pesquisas com o advento da internet, onde assuntos diversos puderam ser de conhecimento comum.

Figura 3 - Produção anual de artigos com todas as combinações de palavras chaves pesquisadas.



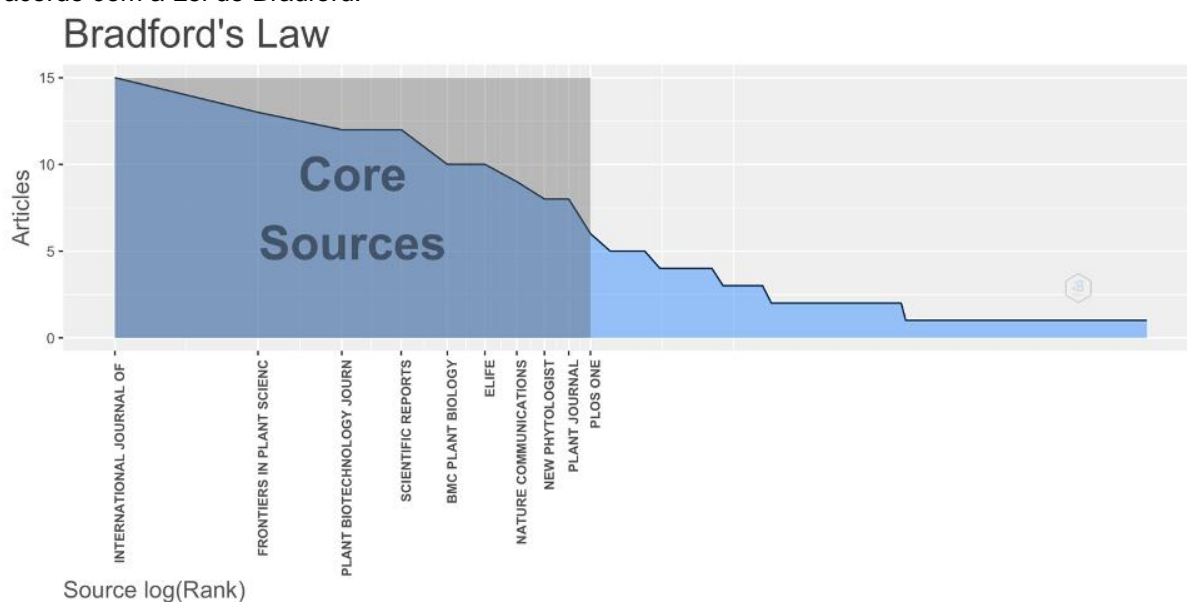
Fonte: A autora (2021)

Em relação ao uso da CRISPR-Cas9, no ano de 2020 as autoras que descobriram a técnica, Doudna e Charpentier, ganharam o Prêmio Nobel em Química (Nobel, 2020). Isto pode explicar o crescente aumento em publicações sobre o assunto durante o ano citado. A queda nos números de publicações no ano seguinte

pode ser explicada devido à pandemia de COVID-19, que impediu muitos pesquisadores de darem continuidade às suas pesquisas. No presente trabalho foram encontrados artigos publicados sobre o tema entre os anos 2014 e 2021, totalizando 300 produções.

Para realização da pesquisa foram utilizados os 300 artigos encontrados nas bases de dados. Na Figura 4 estão destacados os 10 principais jornais em que foram publicados artigos sobre CRISPR-Cas9, de acordo com a Lei de Bradford. A Lei estipula que há um núcleo de publicações “devotado” ao assunto, chamado zona 1. As demais zonas (2 e 3) publicam sobre o assunto, mas a ele não estão diretamente ligadas. A zona 1 do presente trabalho soma 103 artigos, a zona 2, 98 artigos e a zona 3, 99.

Figura 4 - Concentração dos artigos das combinações de palavras-chave nas 10 principais revistas de acordo com a Lei de Bradford.

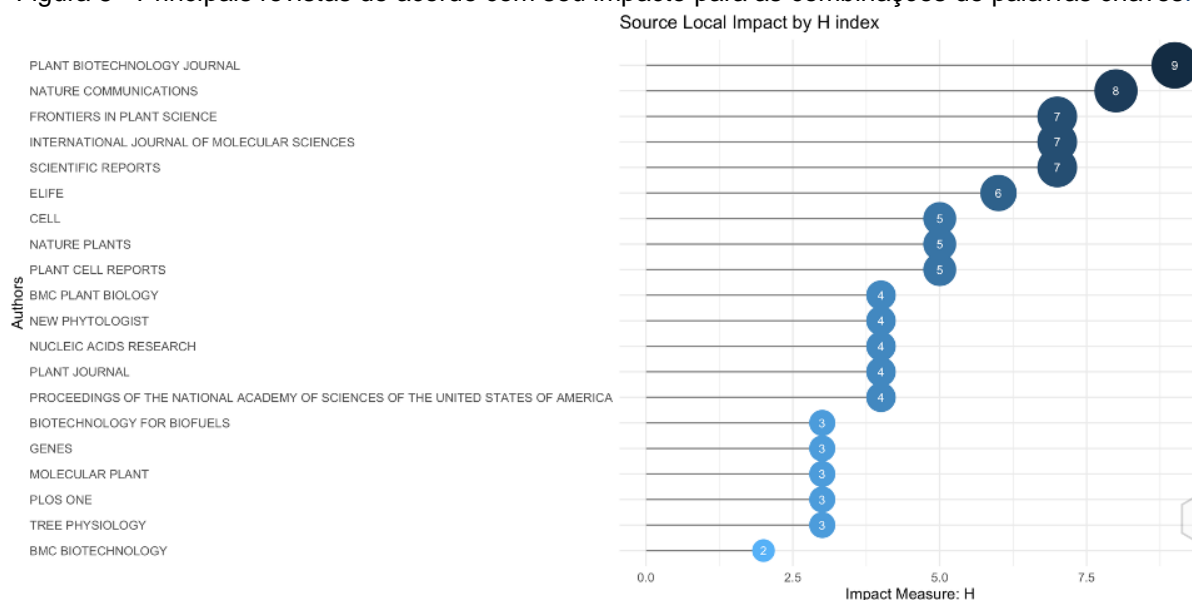


Fonte: A autora (2021)

Dentre as 4 revistas mais relevantes, a *International Journal of Molecular Sciences* conta com 15 artigos publicados, todos com espécies agrícolas. A *Frontiers In Plant Science* teve 13 publicações com espécies agrícolas e florestais, sendo uma publicação com cacau (*Theobroma cacao*), uma com *Populus* e uma com castanheira portuguesa (*Castanea sativa*); a *Plant Biotechnology Journal*, com 12 artigos, teve 10 publicações de espécies agrícolas e uma de florestal: o Eucalipto. Dos 12 artigos da *Scientific Reports*, 8 trataram de espécies agrícolas e 1 de espécie florestal: o cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don).

O impacto causado pelos artigos é calculado pelo Índice de Hirsch (ou H-Index), o qual de acordo com o *bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017) é “o número de publicações de um autor ou revista que foi citado em outro documento pelo menos h vezes”. Quanto maior o número de citações, maior o impacto da revista, como está evidenciado na Figura 5.

Figura 5 - Principais revistas de acordo com seu impacto para as combinações de palavras chaves.

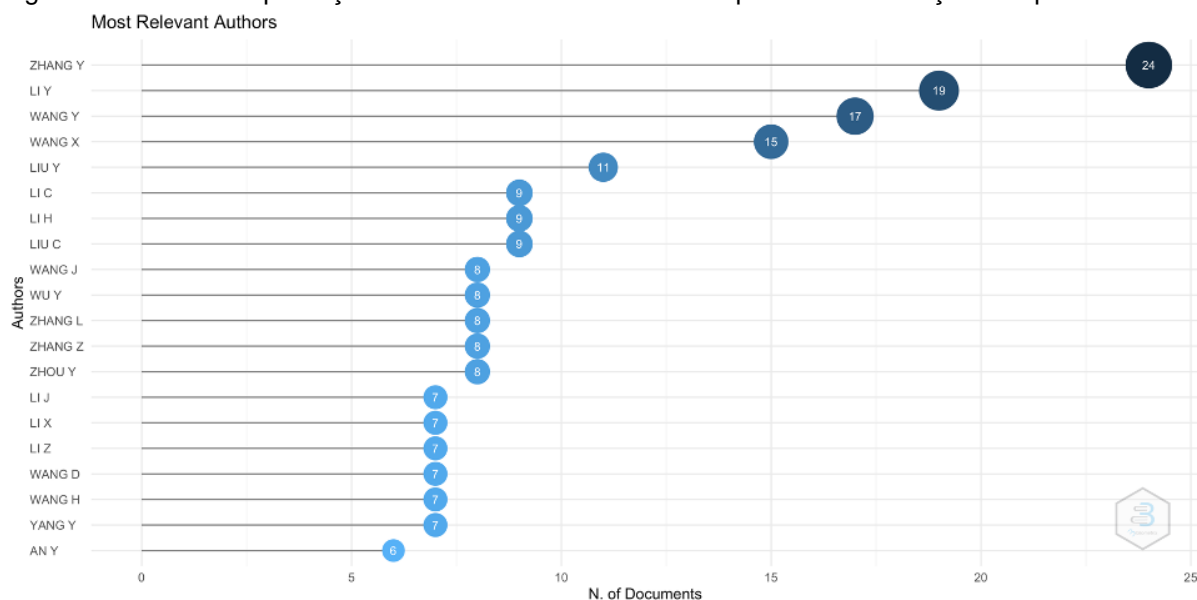


Fonte: A autora (2021)

A revista *Plant Biotechnology Journal* teve maior impacto, com 9 artigos citados em outros trabalhos; seguida pela *Nature Communications*, com 8. As revistas *Frontiers In Plant Science*, *International Journal of Molecular Sciences* e a *Scientific Reports* também causaram impacto com 7 artigos citados cada.

A Figura 6 apresenta os vinte autores mais relevantes quanto à produtividade, levando em consideração o número de documentos publicados por cada autor. Zhang Y se destacou com 24 artigos; Li Y, Wang Y, Wang X e Liu Y também se destacaram, respectivamente, com 19, 17, 15 e 11 publicações.

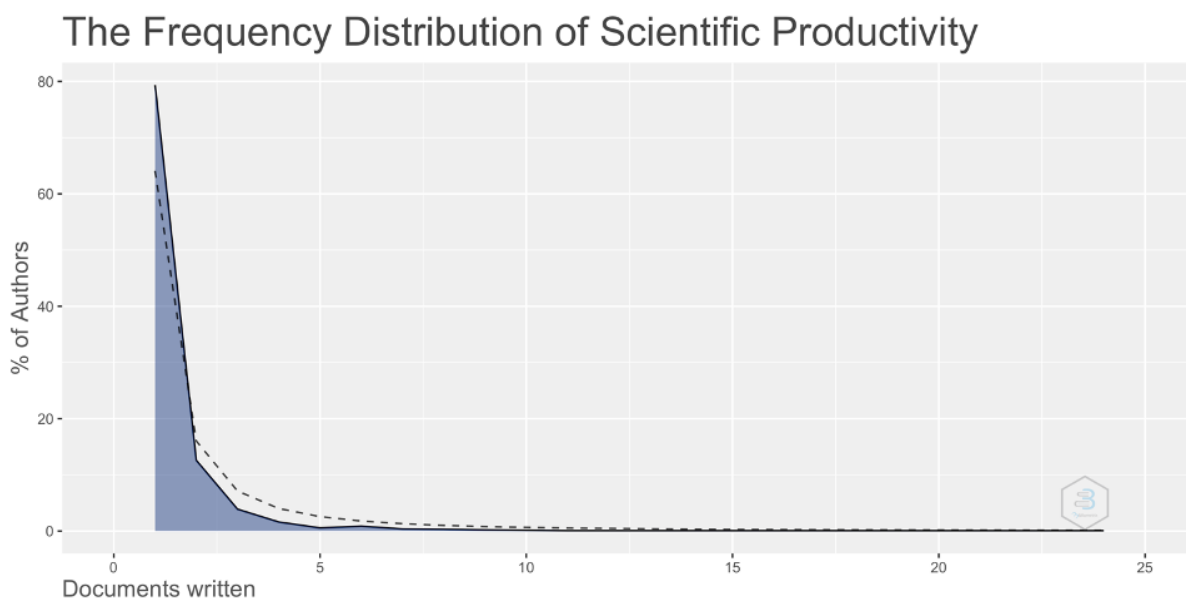
Figura 6 - Número de produções dos autores mais relevantes para as combinações de palavras.



Fonte: A autora (2021)

A Lei de Lotka demonstra que há autores ocasionais e autores que trabalham diretamente com um determinado assunto. De acordo com ela, quando um tema se populariza, a quantidade de autores escrevendo a seu respeito fica menos frequente. 1286 autores (79,3 %) escreveram pelo menos 1 artigo; 204 autores (12,6 %) escreveram 2 (Figura 7). Como foi visto na figura 6, os autores Zhang Y, Li Y, Wang Y, Wang X e Liu Y se destacam por terem escrito sozinhos alto número de artigos. Resultado similar foi encontrado por Farias (2019) em seu trabalho sobre Omnichannel no varejo, no qual 86 % dos autores escreveram pelo menos um artigo e 2 % escreveram 4.

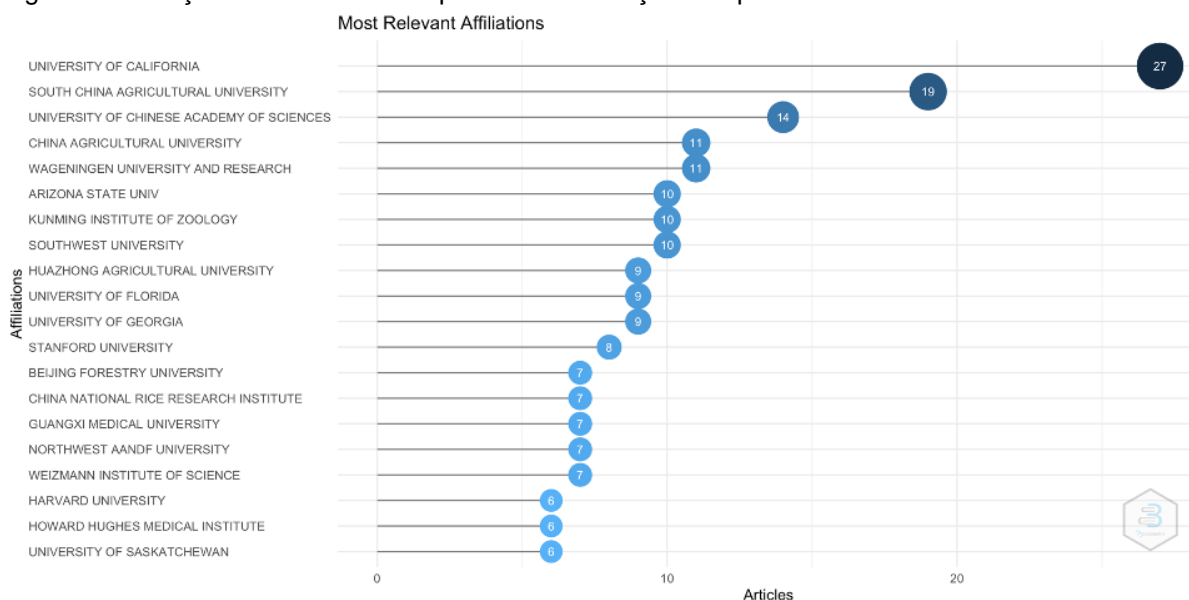
Figura 7 - Frequência de distribuição da produção científica pela Lotka's Law.



Fonte: A autora (2021)

Na figura 8, estão apresentadas as vinte afiliações mais relevantes com base no número de documentos publicados. Em primeiro lugar está a *University of California*, que se destaca com 27 artigos publicados, seguida pela *South China Agricultural University*, com 19 artigos, e a *University of Chinese Academy of Sciences*, com 14 artigos. As demais universidades tiveram número de artigos abaixo de 12 publicações. É possível ver, na figura abaixo, que as Universidades com o menor número de publicações sobre o tema são *Harvard University*, *Howard Hughes Medical Institute*, *University of Saskatchewan*, com 6 artigos cada.

Figura 8 - Afiliações mais relevantes para as combinações de palavras.

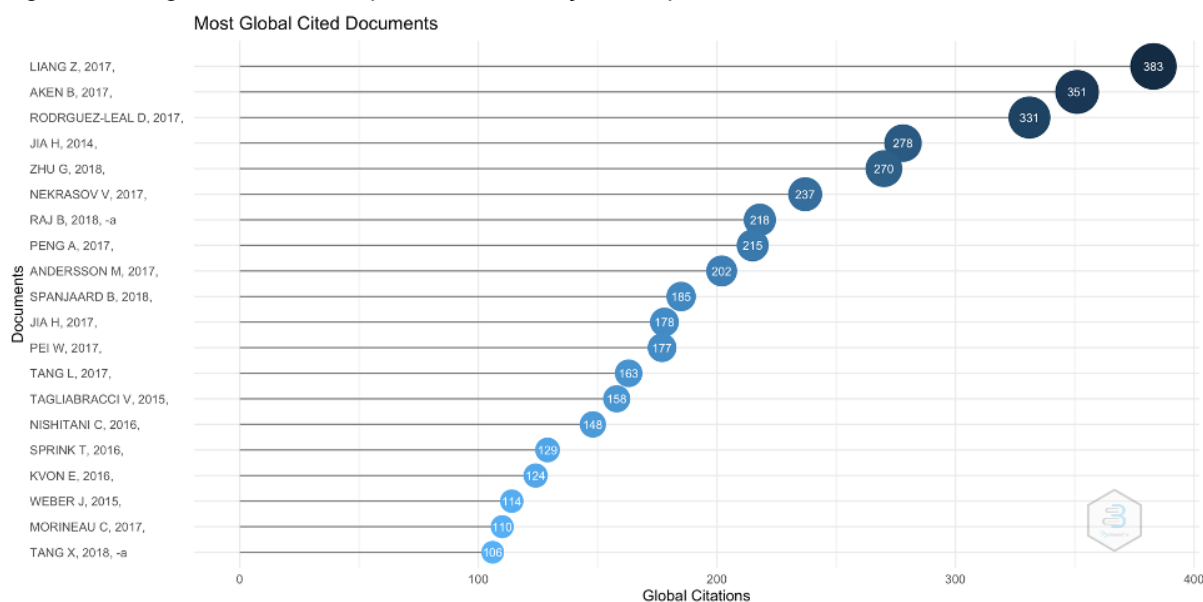


Fonte: A autora (2021)

Algumas instituições brasileiras têm publicações sobre o tema pesquisado. Sendo elas: *Instituto Carlos Chagas, Instituto Federal de Brasília, Instituto Federal Goiano, Universidade de São Paulo, Universidade Federal de Pelotas, Universidade Federal de São Paulo, Universidade Federal do Rio de Janeiro e a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio).*

Os 20 artigos com maior número de citações estão ilustrados na Figura 9. Liang et al. (2017), o autor mais citado, traz uma inovação em seu trabalho com embriões de trigo, usando ribonucleoproteínas (RNP). Os autores descobriram que a chance de mutação fora da sequência alvo é muito menor do que no DNA. Essa técnica não altera o DNA e por isso não apresenta transgenia.

Figura 9 - Artigos mais citados para as combinações de palavras.



Fonte: A autora (2021)

Aken et al. (2017) autores do segundo artigo mais citado da pesquisa, desenvolveram um banco de dados com informações sobre os genomas de vertebrados. Os pesquisadores incluem “gene baseado em evidências e anotação de região regulatória, variação do genoma e árvores gênicas”. O banco de dados está disponível para o público.

Segundo a Web of Science (2020), “*KeyWords Plus*® são termos de índice gerados automaticamente a partir dos títulos de artigos citados. Utiliza palavras-chaves ou palavras do título, aumentando o número de resultados tradicionais. Para as 50 palavras de maior frequência do Keywords Plus, as de maior destaque foram “gene editing”, “genetics”, “plant breeding”, “article” e “nonhuman”. Todas relacionadas ao tema pesquisado (Figura 10).

Figura 11 - Nuvem de palavras com as palavras-chave dos autores.



Fonte: A autora (2021)

A pesquisa identificou 31 trabalhos com a técnica CRISPR-Cas9 sendo aplicada a espécies florestais, e 151 trabalhos na área de agronomia. Algumas espécies com fins comerciais, como *Eucalyptus* (ELORRIAGA et al., 2021; WANG; LI; OUYANG 2021) e *Pinus* (POOVAIAH et al., 2021) foram utilizadas por terem maior investimento da iniciativa privada, devido ao interesse em aumentar a produção dessas culturas. Outras espécies cultivadas no Brasil, como cacau (*Theobroma cacao*) (FISTER et al., 2018) e seringueira (*Hevea brasiliensis*) (DAI et al., 2021), foram estudadas por autores estrangeiros, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo das espécies, aplicações e respectiva referência dos usos da CRISPR-Cas9 em espécies florestais.

Espécie	Aplicação	Referência
<i>Pinus radiata</i> (D. Don)	Aplicabilidade da técnica em <i>Pinus</i>	Poovaiah et al (2021)
<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don	Aplicabilidade da técnica em Cedro Japonês	Nanasato et al (2021)

Espécie	Aplicação	Referência
<i>Eucalyptus</i>	Interrupção da função ELFY no florescimento de <i>Eucalyptus</i>	Elorriaga et al (2021)
<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Uso de fluorescência através do CRISPR para seleção de progênies	Wang; Li; Ouyang (2021)
	Aplicabilidade de edição de vários genes simultaneamente	An et al. (2021)
Híbrido <i>Populus alba</i> x <i>P. glandulosa</i> (Poplar 84K)	Aumento de biomassa e tolerância a estresses	Bae et al (2021)
	Aplicabilidade em plantas sem transgenia e com gene editado	Park et al. (2021)
	Crescimento secundário do caule	Shen et al (2021)
<i>Paraspania andersonii</i>	Transformação e edição de genoma para <i>P. andersonii</i> com associação simbiótica	Wardhani et al (2019)
<i>Populus</i> clone 717	Tolerância ao estresse hídrico reduzindo a abertura estomática	Shen et al (2021)
<i>Hevea brasiliensis</i>	Estabelecimento da edição do genoma	Dai et al (2021)
	Biotecnologia frente às mudanças climáticas	Ahuja (2021)
Espécies Florestais	Revisão do CRISPR como ferramenta de edição de genes em árvores	Marti & Dodd (2018)
	Redução de mutantes, através de segunda rodada de regeneração	Ding et al (2020)
Híbrido “Shanxin” (<i>Populus davidiana</i> x <i>P. bolleana</i>)	Edição simultânea de genes para acelerar processo de reprodução	Wang et al (2020)
Populus Híbrido “Nevea” Híbrido “I-214”	Crescimento do caule	Han et al (2020)
<i>Populus</i> clone NE-19 (<i>P. nigra</i> x (<i>P. deltoides</i> x <i>P. nigra</i>))	Crescimento radicular e resistência a seca	Zhou et al (2020)
<i>Populus</i> Clone INRA 717-1B4	Controle de crescimento de brotos	Muhr et al (2018)
<i>Populus</i> clone INRA 717-1B4 <i>Populus</i> clone INRA 353-38	Edição para desenvolvimento de indivíduos com alteração nos órgãos reprodutivos inférteis	Elorriaga et al (2018)
<i>Populus</i>	Indução de hipo lignificação de fibras e sacarificação	Meester et al (2021)
<i>Ficus carica</i> L.	Aplicação para retardar a maturação dos frutos, relacionando com a ação do ABA	Flaishman et al (2020)

Espécie	Aplicação	Referência
<i>Populus trichocarpa</i>	Alteração fotossintética e crescimento de <i>Populus</i>	An et al (2020)
<i>Populus trichocarpa</i> <i>Populus tomentosa</i> Clone 741	Modulação da biossíntese de antocianina	Fan et al. (2018)
<i>Populus tomentosa</i>	Crescimento e aumento da produção de biomassa.	Shen et al (2018)
	Quantidade e qualidade de lignocelulose para aumento na produção de bioetanol	Fan et al (2020)
	Biossíntese de proantocianidina e aumento da resistência fúngica	Wang et al. (2017)
<i>Populus tremula</i> x <i>P. tremuloide</i>	Formação de parede celular secundária nas fibras de madeira, floema e parênquima	Takata et al (2019)
<i>Juglans regia</i>	Rápida edição de genomas de genótipos comerciais de nozes	Walawage et al (2019)
<i>Theobroma cacao</i>	Defesa contra doenças	Fister et al (2018)
<i>Castanea sativa</i>	Aplicabilidade da técnica em castanha europeia	Pavesse et al. (2021)
<i>Hyphantria cunea</i>	Esterilidade sexual específica	Li et al (2020)

O *Populus* é um gênero altamente estudado no meio florestal internacional e foi constatado um grande número de trabalhos nesta pesquisa: 17 dos 31 listados na Tabela 3. O Cedro Japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), uma das coníferas mais importantes no Japão, foi estudado por Nanasato et al (2021).

Grande parte dos experimentos foram realizados em clones e híbridos de espécies florestais. Os trabalhos com espécies de interesse comercial tiveram diversas finalidades de estudos, dentre elas podemos citar a produção de indivíduos com crescimento em diâmetro e biomassa, produção de indivíduos inférteis, a fim de evitar a propagação de espécies em áreas onde não são nativas, tolerância a estresses abióticos ou maturação dos frutos.

Em relação às produções brasileiras quanto ao uso da técnica CRISPR-Cas9, o presente trabalho não encontrou registros de publicações com espécies arbóreas ou de interesse florestal. Os trabalhos publicados por instituições brasileiras estudam o arroz: (*Oryza sativa*), *Trypanosoma cruzi*, *Aedes aegypti*, *Trichoderma harzianum*.

Há barreiras para a pesquisa com espécies florestais no melhoramento genético no Brasil. Tempo de resposta dos experimentos, preconceito da sociedade, falta de investimento em pesquisa, e necessidade de se adequar a protocolos e seguir leis são alguns deles. Por isso não temos tantos avanços tecnológicos na área.

Entretanto a tecnologia CRISPR-Cas9, como declarado anteriormente, é mais acessível e simples de executar, então ela apresenta grande potencial para pesquisas.

4 CONCLUSÃO

O uso do estudo bibliométrico nos mostrou as diversas aplicações da técnica CRISPR-Cas9. Verificamos a explosão de publicações sobre o tema com o passar dos anos e vimos que os artigos mais citados, assim como os principais autores do tema, publicam predominantemente na Ásia e Estados Unidos, apesar de o tema já estar difundido por todo o mundo.

As pesquisas que envolvem CRISPR-Cas9 na produção florestal ainda estão no início, sendo que espécies do gênero *Populus* se destacaram em diversos estudos; mas é possível ver um avanço considerável para culturas agrícolas, como é o caso do arroz, tomate e da batata. As espécies florestais ainda estão em estágios iniciais na utilização desta técnica, mas apresentam grande potencial com melhoramento em clones e híbridos de espécies de interesse comercial.

REFERÊNCIAS

ALONGE, M.; WANG, X.; BENOIT, M.; SOYK, S.; PEREIRA, L.; ZHANG, L. et al. Major impacts of widespread structural variation on gene expression and crop improvement in tomato. **Cell**, v. 182, n. 1, p. 145-161, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.cell.2020.05.021>

AHUJA, M.R. Fate of forest tree biotechnology facing climate change. **Silvae Genetica**, v. 70, p. 117-136, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/sg-2021-0010>

AKEN, B. L., ACHUTHAN, P., AKANNI, W., AMODE, M. R., BERNSDORFF, F., BHAI, J., ... & FLICEK, P. (2017). Ensembl 2017. *Nucleic acids research*, 45(D1), D635-D642.

AN, Y.; GENG, Y.; YAO, J.; WANG, C.; DU, J. An Improved CRISPR/Cas9 System for Genome Editing in Populus by Using Mannopine Synthase (MAS) Promoter. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, article 703546, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.703546>

AN, Y.; ZHOU Y.; HAN, X.; SHEN, C.; WANG, S.; LIU, C.; YIN, W.; XIA, X. The GATA transcription factor GNC plays an important role in photosynthesis and growth in poplar. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 6, P. 1969–1984, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erz564>

ARAÚJO, C.A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em questão**, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/EmQuestao/article/view/16/5>.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

BAE E.K.; CHOI H.; CHOI J.W.; LEE H.; KIM S.G.; KO J.H.; CHOI Y.I. Efficient knockout of the phytoene desaturase gene in a hybrid poplar (*Populus alba* × *Populus glandulosa*) using the CRISPR/Cas9 system with a single gRNA. **Transgenic Res**, v.

30, n. 6, p. 837-849, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.1007/s11248-021-00272-9>

BEN SHLUSH, I.; SAMACH, A.; MELAMED-BESSUDO, C.; BEN-TOV, D.; DAHAN-MEIR, T.; FILLER-HAYUT, S.; LEVY, A.A. CRISPR/Cas9 induced somatic recombination at the CRTISO locus in tomato. **Genes**, v. 12, n. 1, p. 59, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/genes12010059>

CAI, W.J.; JIAO Li, Ling Li, Xu Chen, Jun-Ran Wei, Zhan Yin, Shan He, and Xu-Fang Liang. "Knockout of T1r1 Gene in Zebrafish (*Danio Rerio*) by CRISPR/Cas9 Reveals Its Roles in Regulating Feeding Behavior." **Aquaculture** 545 (2021): 737189.

DAI, X.; YANG, X.; WANG, C.; FAN, Y.; XIN, S.; HUA, Y.; WANG, K.; HUANG, H. CRISPR/Cas9-mediated genome editing in *Hevea brasiliensis*. **Industrial Crops and Products**, v. 164, p. 113418, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113418>

DE FÁTIMA PADILHA, M. D. R., SHINOHARA, N. K. S., SHINOHARA, G. M., CABRAL, J. V. B., & DE OLIVEIRA, F. H. P. C. (2016). Plantas alimentícias não convencionais (PANC): Uma alternativa para a gastronomia pernambucana. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, 13, 266-278.

DE FÁTIMA PADILHA, M. D. R., SHINOHARA, N. K. S., SHINOHARA, G. M., CABRAL, J. V. B., & DE OLIVEIRA, F. H. P. C. (2016). Plantas alimentícias não convencionais (PANC): Uma alternativa para a gastronomia pernambucana. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, 13, 266-278.

DELFANTI, A. (2012). *Tweaking genes in your garage: Biohacking between activism and entrepreneurship* (pp. 163-177). Innsbruck University Press.

DING, P.; CHEN, Y.; MA, Y.; WANG, H.; WEI, J. Effective reduction in chimeric mutants of poplar trees produced by CRISPR/Cas9 through a second round of shoot regeneration. **Plant Biotechnology Reports**, v. 14, n. 5, p. 549-558, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11816-020-00629-2>

DOUDNA, J. A., & CHARPENTIER, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. **Science**, v. 346, n. 6213, p. 1077–1077, 2014. <http://www.jstor.org/stable/24745404>

DU, D., ZHANG, D., YUAN, J., FENG, M., LI, Z., WANG, Z., ... & NI, Z. (2021). FRIZZY PANICLE defines a regulatory hub for simultaneously controlling spikelet formation and awn elongation in bread wheat. **New Phytologist**.

ELORRIAGA, E.; KLOCKO A.L.; MA, C.; STRAUSS, S. H. Variation in Mutation Spectra Among CRISPR/Cas9 Mutagenized Poplars. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00594>

ELORRIAGA, E.; KLOCKO, A.L.; MA, C.; PLESSIS, M.; AN, X.; MYBURG, A.A.; STRAUSS, S.H. Genetic containment in vegetatively propagated forest trees: CRISPR disruption of LEAFY function in *Eucalyptus* gives sterile indeterminate inflorescences and normal juvenile development. **Plant Biotechnology Journal**, v. 19, p. 1743-1755, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.1111/pbi.13588>

ESVELT. K,M; GEMMELL. N,J. Conservation demands safe gene drive. **PLoS Biol**, v. 15, n. 11, e2003850, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2003850>

FAN, C., YU, H., QIN, S. LI, Y.; ALAM, A.; XU, C.; FAN, D.; ZHANG, Q.; WANG, Y.; ZHU, W.; PENG, L.; LUO, K.. Brassinosteroid overproduction improves lignocellulose quantity and quality to maximize bioethanol yield under green-like biomass process in transgenic poplar. **Biotechnol Biofuels**, v. 13, n. 9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13068-020-1652-z>

FAN, D.; WANG, X.; TANG, X.; YE, X.; REN, S.; WANG, D.; LOU, K. Histone H3K9 demethylase JMJ25 epigenetically modulates anthocyanin biosynthesis in poplar. **The Plant Journal**, v. 96, p. 1121-1136, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.1111/tpj.14092>

FAN, Y.; XIN, S.; DAI, X.; YANG, X.; HUANG, H.; HUA, Y. Efficient genome editing of rubber tree (*Hevea brasiliensis*) protoplasts using CRISPR/Cas9 ribonucleoproteins. **Industrial Crops and Products**, v. 146, p. 112146, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112146>

FARIAS, M.L.M.S. **Omnichannel no Varejo: análises bibliométrica e cientométrica e mapeamento sistemático da literatura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) - Departamento de Ciências Administrativas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 79f, 2019.

FINERAN, Peter C.; CHARPENTIER, Emmanuelle. Memory of viral infections by CRISPR-Cas adaptive immune systems: acquisition of new information. **Virology**, v. 434, n. 2, p. 202-209, 2012.

FISTER, A.S.; LANDHERR, L.; MAXIMOVA, S.N.; GUILTINAN M.J. Transient Expression of CRISPR/Cas9 Machinery Targeting TcNPR3 Enhances Defense Response in *Theobroma cacao*. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, article 268, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00268>

FLAISHMAN, M.A.; PEER, R.; RAZ, A.; COHEN, O.; IZHAKI, K.; BOCOBZA, S.; LAMA, K.; PLINER, M.; LEVY, A. Advanced molecular tools for breeding in Mediterranean fruit trees: genome editing approach of *Ficus carica* L. **Acta Horticulturae**, v. 1280, p. 1,10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1280.1>

HAN, X.; NA, Y.; ZHOU, Y.; LIU, C.; YIN, W.; XIA, X. Comparative transcriptome analyses define genes and gene modules differing between two *Populus* genotypes with contrasting stem growth rates. **Biotechnology for Biofuels**, v. 13, n. 139, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01758-0>

HONG, S.; PING H.; JAE H. J.; CARRINGTON, B.; SOOD, R.; BERGER, S.I.; ROESSLER, E.; MUENKE, M. Functional Analysis of Sonic Hedgehog Variants Associated with Holoprosencephaly in Humans Using a CRISPR/Cas9 Zebrafish Model. **Human Mutation**, v. 41, n. 12, p. 2155-166, 2020.

HONG, W.J.; KIM, Y.J.; KIM, E.J.; KUMAR NALINI CHANDRAN, A.; MOON, S.; GHO, Y. S. et al. CAFRI-Rice: CRISPR applicable functional redundancy inspector to accelerate functional genomics in rice. **The Plant Journal**, v. 104, n. 2, p. 532-545, 2020.

ISHINO, Y.H.; SHINAGAWA, K.; MAKINO, M.; AMEMURA, A. NAKATA. Nucleotide Sequence of the *lap* Gene, Responsible for Alkaline Phosphatase Isozyme Conversion in *Escherichia Coli*, and Identification of the Gene Product. **Journal of Bacteriology**, v.169, n. 12, p. 5429-5433, 1987.

LI, J.; JIAO, G.; SUN, Y.; CHEN, J.; ZHONG, Y.; YAN, L. . Modification of starch composition, structure and properties through editing of TaSBEIIa in both winter and spring wheat varieties by CRISPR/Cas9. **Plant Biotechnology Journal**, v. 19, n. 5, p. 937-951, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pbi.13519>

LI, X.; LIU, Q.; LIU, H.; BI, H.; WANG, Y.; CHEN, X.; WU, N.; XU, J.; ZHANG, Z.; HUANG, Y.; CHEN, H. Mutation of doublesex in *Hyphantria cunea* results in sex-specific sterility. **Pest Management Science**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.5687>

LIANG, Z., CHEN, K., LI, T., ZHANG, Y., WANG, Y., ZHAO, Q., ... & GAO, C. (2017). Efficient DNA-free genome editing of bread wheat using CRISPR/Cas9 ribonucleoprotein complexes. *Nature communications*, 8(1), 1-5.

LIU, D.L.; YANG, P.L.; WEI, et al. Efficient genome editing in plants using a CRISPR/Cas system. **Cell Res**, v. 23, 2013.

MARCIAS-CHAPULA, C.A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciência da Informação**, v. 27, n. 2, p. 134-140, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-19651998000200005>

MARTI, A.F.; DODD, R.S. Using CRISPR as a Gene Editing Tool for Validating Adaptive Gene Function in Tree Landscape Genomics. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 6, article 76, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2018.00076/full>

MEESTER, B.; VANHOLME, R.; VRIES, L.; WOUTERS, M.; van DOORSSELAESE, J.; BOERJAN, W. Vessel- and ray-specific monolignol biosynthesis as an approach to engineer fiber-hypolignification and enhanced saccharification in poplar. **The Plant Journal**, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.1111/tpj.15468>

MEYER, M.; VERGNAUD, F. The rise of biohacking: Tracing the emergence and evolution of DIY biology through online discussions. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 160, article120206, 2020.

MUGNAINI, R.; JANNUZZI, P.D.M.; QUONIAM, L. Indicadores bibliométricos da produção científica brasileira: uma análise a partir da base Pascal. **Ciência da informação**, v. 33, p. 123-131, 2004.

MUHR, M.; PAULAT, M.; AWWANAH, M.; BRINKKÖTTER, M.; TEICHMANN, T. CRISPR/Cas9-mediated knockout of *Populus* BRANCHED1 and BRANCHED2 orthologs reveals a major function in bud outgrowth control. **Tree Physiology**, v. 38, n. 10, p. 1588-1597, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy088>

NOBEL 2020 <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/press-release/>>

PARK, S.J.; CHOI, Y.; JANG, H.A.; KIM, S.; CHOI, H.; KANG, B.; LEE, H.; BAE, E. Genome editing of hybrid poplar (*Populus alba* × *P. glandulosa*) protoplasts using Cas9/gRNA ribonucleoprotein. **Journal Plant Biotechnology**, v. 48, p. 34-43, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5010/JPB.2021.48.1.034>

PAVESE, V.; MOGLIA, A.; CORREDOIRA, E.; MARTÍNEZ, M.T.; MARINONI, D.T.; BOTTA, R. First Report of CRISPR/Cas9 Gene Editing in *Castanea sativa* Mill. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 728515, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.728516>

POOVAIAH, C.; PHILIPS, L.; GEDDES, B.; REEVES, C.; SORIEUL, M.; THORLBY, G. Genome editing with CRISPR/Cas9 in *Pinus radiata* (D. Don). **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 363, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03143-x>

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. , 2020. Viena: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>.

RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, D.R.; RAMÍREZ-SOLÍS, R.; GARZA-ELIZONDO, M.A.; GARZA-RODRÍGUEZ, M.D.; BARRERA-SALDAÑA, H.A. Genome editing: A perspective on the application of CRISPR/Cas9 to study human diseases (Review). **International Journal of Molecular Medicine**, v. 43, p. 1559-1574, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3892/ijmm.2019.4112>

SANTOS, L. AGROECOLOGIA E CONHECIMENTO TRADICIONAL: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA. **Técnica**, v.5, n. 1, 2020. Disponível em: <http://revistas.ifg.edu.br/tecnia/article/view/788>

SHEN, C.; ZHANG, Y.; LI, Q.; LIU, S.; HE, F.; AN, Y.; ZHOU, Y.; LIU, C.; YIN, E.; XIA, X. *PdGNC* confers drought tolerance by mediating stomatal closure resulting from NO and H₂O₂ production via the direct regulation of *PdHXX1* expression in *Populus*. **New Phytologist**, v.230, n. 5, p. 1868-1882, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.17301>

SHEN, D.; HOLMER, R.; KULIKOVA, O.; MANNAPPERUMA, C.; STREET, N. R.; YAN, Z.; MANDEN, T.V.D.; BU, F.; ZHANG, Y.; GEURTS, Y.; MAGNE, K. The BOP-type co-transcriptional regulator NODULE ROOT1 promotes stem secondary growth of the tropical Cannabaceae tree *Parasponia andersonii*. **The Plant Journal**, n. 106, p. 1366-1386, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.1111/tpj.15242>

SHEN, Y.; LI, Y.; XU, D.; YANG, C.; LI, C.; LOU, K. Molecular cloning and characterization of a brassinosteroid biosynthesis-related gene *PtoDWF4* from *Populus tomentosa*. **Tree Physiology**, v. 38, n. 9, p. 1424-1436, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy027>

SOARES, P.B.; CARNEIRO, T.C.J.; CALMON, J.L.; CASTRO, L.O.C.O. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1,p. 175-185, 2016

SPINAK, E. Indicadores cienciométricos. **Ciência da informação**, 27, 1998.

TAKATA, N.; AWANO, T.; NAKATA, M.T.; SANO, Y.; SAKAMOTO, MITSUDA, N.; TANIGUCHI, T. Populus NST/SND orthologs are key regulators of secondary cell wall formation in wood fibers, phloem fibers and xylem ray parenchyma cells. **Tree Physiology**, v. 39, n. 4, p. 514-525, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpz004>

TANG, X.; GONG, R.; SUN, W.; ZHANG, C.; YU, S. Genetic dissection and validation of candidate genes for flag leaf size in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and applied genetics**, v. 131, v.4, p. 801-815, 2018.

THAKUR, N.; KHAN, S.; PANDEY, A.K.; TIWARI, S. Carotenoid cleavage dioxygenases (HD-CCD1A and B) contribute as strong negative regulators of β -carotene in Indian bread wheat (cv. HD2967), 2021.

TYAGI, S.; KUMAR, R.; DAS, A.; WON, S.Y.; SHUKLA, P. (2020). CRISPR-Cas9 system: A genome-editing tool with endless possibilities. **Journal of Biotechnology**, v. 319, p. 36-53, 2020.

VANTI, N.A.P. (2002). Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da informação**, v. 31, p. 369-379, 2002.

WALAWAGE, S.L.; ZAINI, P.A.; MUBARIK, M.S.; MARTINELLI, F.; BALAN, B.; CARUSO, T.; LESLIE, C.S.; DANDEKAR, A.M. Deploying Genome Editing Tools for Dissecting the Biology of Nut Trees. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 3, article100, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00100>

WANG, D.; SUN, W.; YUAN, Z.; SUN, Q.; FAN, K.; ZHANG, C.; YU, S. Identification of a novel QTL and candidate gene associated with grain size using chromosome segment substitution lines in rice. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2021.

WANG, J.; WU, H.; CHEN, Y.; YIN, T. Efficient CRISPR/Cas9-Mediated Gene Editing in an Interspecific Hybrid Poplar With a Highly Heterozygous Genome. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, article1996, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00996>

WANG, Z.; LI, L.; OUYANG, L. Efficient genetic transformation method for Eucalyptus genome editing. **Plos One**, v. 16, n. 5, e0252011, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252011>

WARDHANI, T.A.K.; ROSWANJAYA, Y.P.; DUPIN, S.; LI, H.; LINDERS, S.; HARTOG, M.; GEURTS, R.; ZEIJL, A. Transforming, Genome Editing and Phenotyping the Nitrogen-fixing Tropical Cannabaceae Tree *Parasponia andersonii*. **Journal of Visualized Experiments**, v. 150, e59971, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.3791/59971>

WEB OF SCIENCE. **PRINCIPAL COLEÇÃO DO WEB OF SCIENCE AJUDA**. 2020. Disponível em: https://images.webofknowledge.com/WOKRS410B4/help/pt_BR/WOS/hp_full_record.html

WELEGAMA, T.; RAFII, M.Y.; AHMAD, K.; RAMLEE, S.I.; OLADOSU, Y.. Development of high yield and tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) resistance using conventional and molecular approaches: A review. **Biocell**, v. 45, n. 4, p. 1069, 2021.

WU, T.; ALI, A.; WANG, J.; SONG, J.; FANG, Y.; ZHOU, T.; et al. A homologous gene of OsREL2/ASP1, ASP-LSL regulates pleiotropic phenotype including long sterile lemma in rice. **BMC Plant Biology**, v.21, n. 1, p. 1-15, 2021.

ZHOU, Y.; ZHANG, Y.; WANG, X.; HAN, X.; AN, Y.; LIN, S.; SHEN, C.; WEN, J.; LIU, C.; YIN, W.; XIA, X. Root-specific NF-Y family transcription factor, *PdNF-YB21*, positively regulates root growth and drought resistance by abscisic acid-mediated indoylactic acid transport in *Populus*. **New Phytologist**, v. 227, p. 407-426, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.16524>