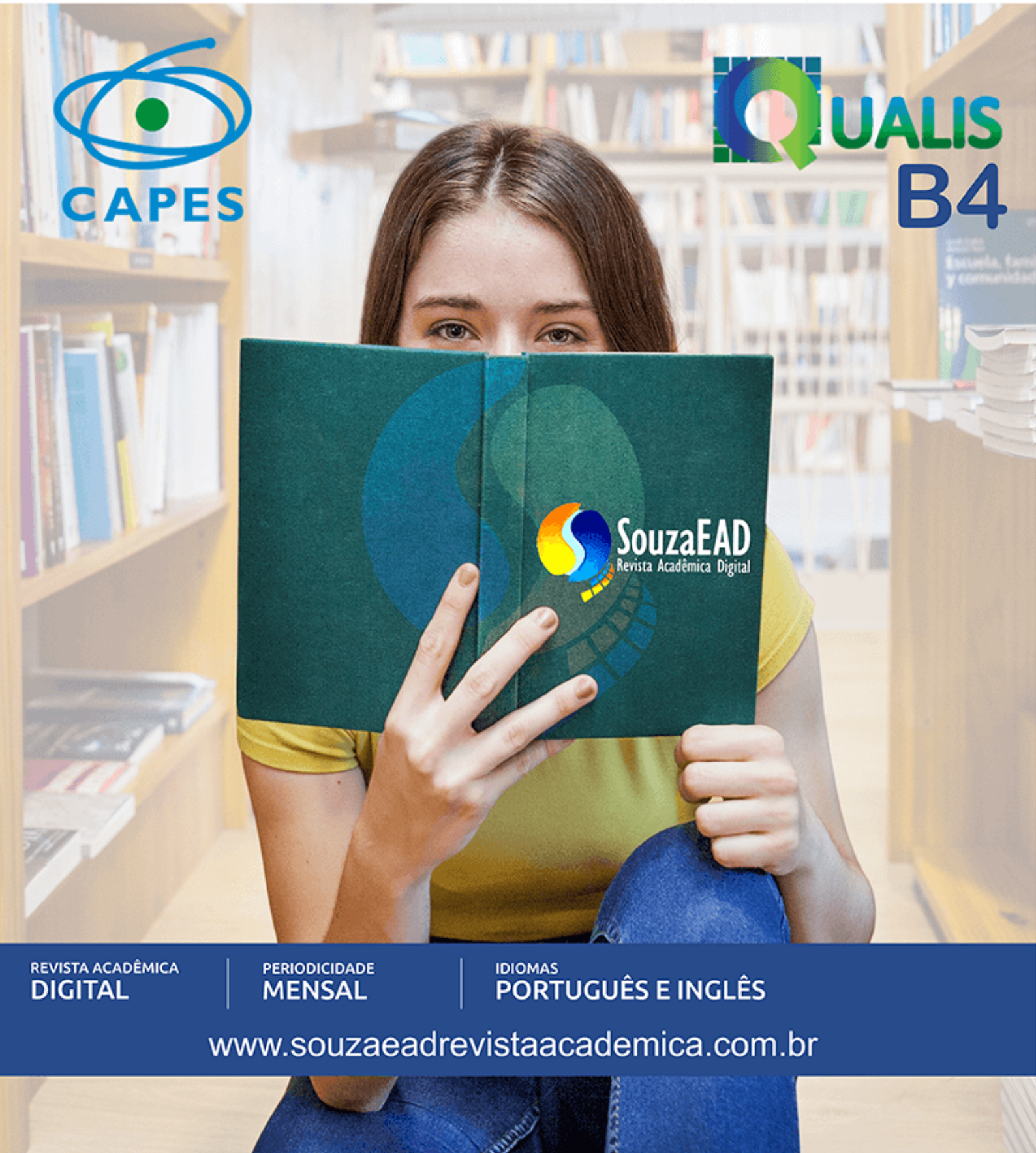
SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital

ISSN 2595-5934

REVISTA ACADÊMICA
DIGITAL

AGO 2025 EDIÇÃO Nº 88



REVISTA ACADÊMICA
DIGITAL

PERIODICIDADE
MENSAL

IDIOMAS
PORTUGUÊS E INGLÊS

www.souzaeadrevistaacademica.com.br

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital

ISSN 2595-5934

REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

BIOLOGIA MOLECULAR E AS ÔMICAS: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A INOVAÇÃO NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

MOLECULAR BIOLOGY AND OMICS: A CONTRIBUTION TO INNOVATION IN BRAZILIAN AGRICULTURE

COSTA, José Victor Torres Alves[1]

RESUMO

O presente artigo visa apresentar uma análise atualizada das aplicações da biologia molecular na agropecuária brasileira, com foco em sua contribuição para a inovação tecnológica, a sustentabilidade e a eficiência dos sistemas produtivos. A pesquisa possui caráter qualitativo, de natureza exploratória e descritiva, fundamentada em revisão bibliográfica técnica e científica. Diferenciou-se a biotecnologia da biologia molecular, destacando-se o enfoque específico da biologia molecular na estrutura e função das moléculas biológicas e suas aplicações práticas no contexto agropecuário. São abordadas as principais técnicas moleculares agrupadas nas chamadas ciências ômicas, como exemplo a genômica, transcriptômica, proteômica e metabolômica, com ênfase na sua aplicação no melhoramento genético de plantas e animais, no manejo de plantas daninhas, na sanidade vegetal e animal, na rastreabilidade e na produção de alimentos e bioenergia. Destaca-se o uso de ferramentas como o sequenciamento genético, a reação em cadeia da polimerase (PCR), a edição gênica por CRISPR-Cas9 e o RNA de interferência (RNAi), que têm ampliado significativamente a capacidade de resposta do agronegócio brasileiro aos desafios climáticos, sanitários e produtivos. A análise revela que, embora amplamente difundidas em ambientes laboratoriais e acadêmicos, tais tecnologias ainda carecem de maior integração aos sistemas produtivos em grande escala. Conclui-se que a biologia molecular representa uma das bases da transformação da agricultura nacional, em evolução constante, devendo ser essencial ampliar o investimento em pesquisa, formação de profissionais e políticas públicas que viabilizem sua adoção plena e segura.

Palavras-chaves: Biotecnologia. Genética aplicada. Ciências ômicas. Inovação agropecuária. CRISPR.

ABSTRACT

This article aims to present an updated analysis of the applications of molecular biology in Brazilian agriculture, focusing on its contribution to technological innovation, sustainability, and the efficiency of production systems. The research is qualitative, exploratory, and descriptive in nature, based on a technical and scientific literature review. Biotechnology was distinguished from molecular biology, highlighting molecular biology's specific focus on the structure and function of biological molecules and their practical applications in the agricultural context. The main molecular techniques

[1] Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e Bacharel em Direito pela Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: victorjoseac@gmail.com.

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

grouped into the so-called omics sciences, such as genomics, transcriptomics, proteomics, and metabolomics, are discussed, with an emphasis on their application in plant and animal genetic improvement, weed management, plant and animal health, traceability, and food and bioenergy production. The use of tools such as genetic sequencing, polymerase chain reaction (PCR), gene editing using CRISPR-Cas9, and RNA interference (RNAi) stands out, as they have significantly expanded Brazilian agribusiness's ability to respond to climate, health, and production challenges. The analysis reveals that, although widely used in laboratory and academic settings, these technologies still lack greater integration into large-scale production systems. The conclusion is that molecular biology represents one of the foundations for the transformation of Brazil's constantly evolving agriculture, and it is essential to increase investment in research, professional training, and public policies that enable its full and safe adoption.
Keywords: Biotechnology. Applied genetics. Omics sciences. Agricultural innovation. CRISPR.

1.INTRODUÇÃO

Diante de crescente demanda por alimentos e insumos de origem agropecuária no cenário internacional e da sua relevância econômica é essencial incorporar inovações tecnológicas que ampliem a eficiência, sustentabilidade e competitividade do setor.

O avanço da biotecnologia aplicada ao setor agropecuário tem redefinido os limites da produção de alimentos, fibras e energia. Em um cenário de crescente pressão por produtividade, sustentabilidade e rastreabilidade, torna-se imprescindível compreender e incorporar ferramentas capazes de promover soluções eficazes e inovadoras. Neste contexto, a biologia molecular e as ômicas são um campo de atuação decisivo para o fomento de novas tecnologias.

Apesar disso, muitas das aplicações práticas dessas tecnologias no campo ainda são pouco conhecidas fora dos meios acadêmicos ou restritas a ambientes laboratoriais.

Desta forma, o presente artigo tem por objetivo principal apresentar uma síntese estruturada e atualizada das aplicações da biologia molecular no agronegócio, destacando seu papel como instrumento de inovação tecnológica e vetor de transformação das práticas produtivas no Brasil. Como desdobramento, busca-se identificar elucidar alguns conceitos e detalhar alguns conceitos como a diferenciação entre a biotecnologia e a biologia molecular detalhar as principais técnica de biologia molecular por cada segmento.

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

A delimitação do tema está centrada especialmente na biologia molecular, sem análise de campo, mas com base em documentação técnica e científica. A abordagem escolhida é qualitativa, com caráter exploratório e descritivo, fundamentando-se em revisão de literatura científica, envolvendo estudos já publicados.

O problema que orienta esta pesquisa pode ser definido da seguinte forma: quais são a evolução, as principais ferramentas de biologia molecular e quais os impactos possíveis de serem identificados.

Justifica-se a realização deste estudo, visto que ferramentas moleculares ainda são utilizadas áreas pontuais como melhoramento genético de plantas e diagnóstico fitossanitário. O que ainda não estava suficientemente claro era a extensão e o impacto real dessas aplicações sobre os principais elos da cadeia produtiva agropecuária, da genética ao produto acabado, passando por saúde animal, bioenergia, sanidade vegetal, certificação de origem e outros. Essa lacuna motivou a presente investigação, orientada pela necessidade de mapear, descrever e analisar criticamente os principais campos de aplicação da biologia molecular no contexto do agronegócio brasileiro contemporâneo.

2.DIFERENÇAS ENTRE BIOTECNOLOGIA E BIOLOGIA MOLECULAR

A biotecnologia é marcada pela conjugação de um chamado bloco de conhecimentos que combina métodos de pesquisa já existentes com novos procedimentos científicos derivados de diferentes disciplinas, tais como bioquímica, biologia molecular e celular (KREUZER, MASSEY, 2002; VALLE, SANTOS, 2010). Segundo Costa (2006) a biotecnologia agrega, ainda, a engenharia química, a ciência da computação, as ciências materiais, a genética, a imunologia, a fisiologia, a microbiologia e a engenharia bioquímica.

Desta forma, a definição de biotecnologia evolui na medida em que seus protocolos, temas e áreas de pesquisa vão se refinando e se sucedendo ao longo do tempo (VALLE, SANTOS, 2010). Neste contexto, Valle (2005) destaca que temas como a fermentação despertavam grande interesse científico, há alguns anos, e atualmente são gradativamente preteridos por novos temas e preocupações, como a genômica e a proteômica. Além disso, ressalta-se que a biotecnologia engloba um

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

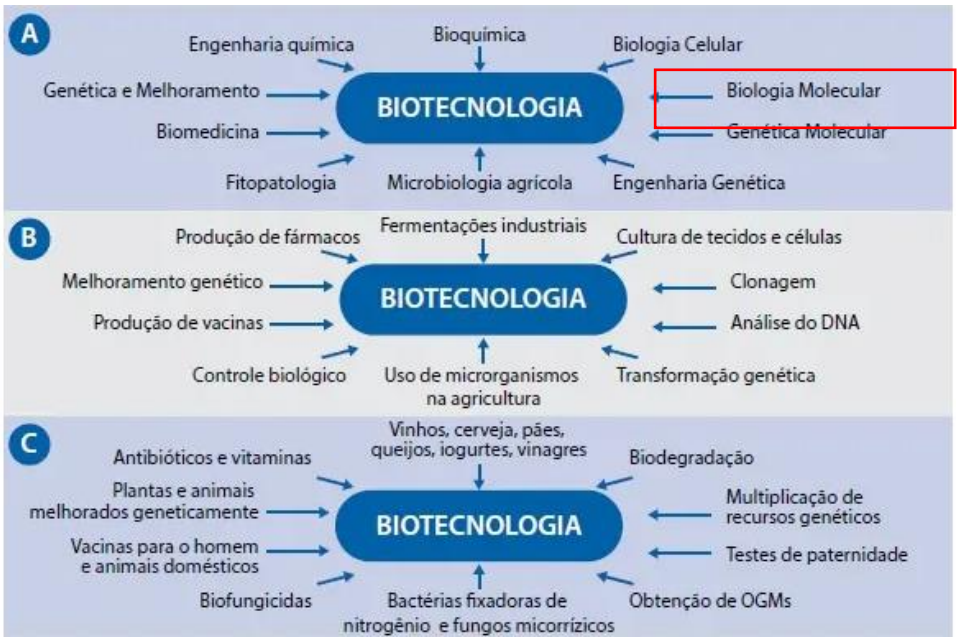
conjunto de competências tecnológicas geradas pelo saber técnico e científico acumulado nas várias disciplinas mencionadas (KREUZER, MASSEY, 2002).

Em contrapartida, a biologia molecular é um campo da Biologia focado na estrutura molecular das reações biológicas e químicas intracelulares. Conforme Astbury e Florence (1938), não se trata apenas de aprimorar a morfologia, mas sim de um estudo detalhado focado nas formas das moléculas biológicas, sua concepção e função.

O nascimento da biologia molecular deve-se à descoberta de estruturas e métodos, como a estrutura do DNA, as técnicas com ácido ribonucléico (RNA), além de novos aparelhos que automatizaram o processo de sequenciamento do genoma de seres vivos (OSADA, COSTA, 2006; PINTO, MORAES FILHO, 2022). As técnicas moleculares têm sido empregadas em diversos setores, tais como a indústria alimentícia, o aprimoramento genético de plantas e a biotecnologia, que utiliza microrganismos para a produção segura de alimentos, entre outros (SOARES, 2017; VARGAS et al., 2018; PINTO, MORAES FILHO, 2022).

Na Figura 1-A, é possível observar onde está inserida a disciplina da biologia molecular no contexto da biotecnologia.

Figura 1 – Biotecnologia e as disciplinas, os processos e produtos associados.



Fonte: SNA (2020)

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

3.EVOLUÇÃO DA BIOLOGIA MOLECULAR E AS ÔMICAS E SUA UTILIZAÇÃO NA AGROPECUÁRIA

O estudo molecular está fortemente ligado à função dos genes, para explicar o complexo funcionamento dos organismos, tornando a abordagem da biologia molecular expansiva, além de colocar em foco o estudo de diversos genes e produtos gênicos em conjunto. Este estudo propicia entendimento acerca da produção de polipeptídios oriunda da tradução de um RNA, circunstância que viabiliza a constituição da ligação entre o produto gênico e o gene correspondente (STRACHAN, READ, 2016; PINTO, MORAES FILHO, 2022).

As ciências ômicas buscam identificar, quantificar e descrever os processos celulares com o intuito de compreender as vias intracelulares. Se operam por meio de métodos que adotam uma perspectiva ampla da biologia molecular, com o objetivo de identificar através da genômica, transcrição, proteínas e metabolômica (VIEIRA, MENDES, 2021).

Essas distintas abordagens que se desenvolveram ao longo dos anos possibilitaram que um maior volume de conhecimento acerca dessa maquinaria biológica fosse progressivamente elucidado, tornando viável a compreensão desse sistema complexo. As tecnologias ômicas podem ser aplicadas na busca por respostas dos diversos processos.

Vamos agora detalhar algumas das tecnologias ligadas à biologia molecular e as ômicas.

3.1 GENÔMICA

De acordo com Horgan e Kenny (2011) os genes sempre foram analisados individualmente e o advento das técnicas envolvendo micro arranjos permitiu viabilizar o avanço da biologia molecular, pela ômica, possibilitando medir tanto as diferenças na sequência de DNA entre os indivíduos quanto a expressão de milhares de genes simultaneamente. Assim, surge a genômica, que envolve a análise da sequência de DNA (VIEIRA, MENDES, 2021).

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

Na Agropecuária, a genômica mudou muito a produção de animais. Ela auxilia na seleção e na criação de animais que apresentam maior saúde, que geram maiores quantidades de produtos e que são mais benéficos para o meio ambiente. Essa abordagem ômica foca na análise do genoma de organismos, oferecendo dados valiosos acerca dos genes e suas interações. Um dos seus usos mais destacados no aprimoramento genético animal é a seleção genômica. Essa técnica tem possibilitado a previsão mais acurada dos valores genômicos dos animais, facilitando a escolha mais acurada dos animais com elevado valor genético, especialmente quando utilizada em animais jovens e até embrionários (OTTO et al., 2023).

Segundo Otto et al. (2023), esta metodologia não só aprimora a precisão da seleção, como também impulsiona o avanço genético, trazendo benefícios maiores para a produção animal e a sustentabilidade do setor agropecuário. Uma parcela desses progressos deve-se a estimativas mais precisas do grau de parentesco e à verificação de informações de pedigree, ultrapassando as restrições da genealogia tradicional, que poderia levar a uma avaliação incorreta do valor genético dos animais devido a falhas no pedigree.

Ademais, a genômica tem exercido uma função crucial na preservação de variedades e na diversidade genética. Com a crescente acessibilidade das técnicas de sequenciamento de DNA, torna-se viável identificar e conservar variações genéticas significativas em populações animais, diminuindo, dessa forma, o risco de extinção e a homogeneização genética (OTTO et al., 2023).

Ressalta-se que, pesquisas de mapeamento do genoma são fundamentais na busca e identificação de genes potenciais associados a características de valor econômico na pecuária. Assim, a genômica na produção de animais é um instrumento potente que promove aprimoramentos genéticos, melhora a eficiência e a qualidade dos produtos, além de promover a sustentabilidade (OTTO et al., 2023).

Com o progresso das tecnologias genômicas, a análise molecular pode ser integrada à dinâmica populacional de ervas daninhas e à criação de estratégias de manejo mais sustentáveis. Neste cenário, a biologia molecular vai além da identificação e categorização de espécies, contribuindo de forma significativa para a redução da resistência a herbicidas e para a criação de sistemas de produção mais

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

eficazes e resistentes (RIBEIRO-JUNIOR, DOMINGUES NETO, NASCIMENTO, 2024).

3.2 TRANSCRIPTÔMICA

Segundo Bedia (2018), o propósito da transcriptômica é identificar e quantificar os diversos transcritos de genes, constituindo uma camada extremamente dinâmica devido aos processos de transcrição específicos, constantes e reflexos da atividade celular e suas reações a estímulos externos. Sendo um elemento essencial para estudar mecanismos funcionais do genoma e que desencadeiam as doenças (VIEIRA, MENDES, 2021).

O sequenciamento de RNA (RNA-seq), tido como padrão de excelência nas plataformas de sequenciamento de próxima geração (NGS), permitiu a análise de milhões de transcritos de amostras biológicas. Podem ser usados em várias pesquisas de transcriptômica em várias áreas, incluindo em animais de produção (MACHADO et al., 2018; VIEIRA, MENDES, 2021). Vale destacar que é imprescindível o aprofundamento em estudos de softwares e bioinformática para entender melhor essas conexões presentes, em razão da abundância de transcritos produzidos, assim como na genômica. Por meio da análise da expressão dos RNAs transcritos, torna-se viável adquirir um conhecimento mais aprofundado sobre a biologia dos sistemas, bem como compreender de que forma o ambiente pode interagir com o interior celular por meio da alteração da expressão gênica (ESPINDOLA et al., 2010; VIEIRA, MENDES, 2021).

A transcriptômica tem sido crucial para entender as reações moleculares das plantas perante microrganismos benéficos. Em interações patógeno-planta, como *Trichoderma* - *Arabidopsis* - *Pseudomonas syringae* e *Piriformospora indica* - cevada - pó, constatou-se que fungos benéficos não causam mudanças significativas nas plantas hospedeiras na falta de patógenos, mas ativam mecanismos de defesa quando há um ataque. Essas informações sugerem que esses microrganismos exercem a função de indutores de resistência, preparando a planta para reagir de maneira mais eficaz a estresses bióticos. Pesquisas com *Pseudomonas*, uma bactéria não patogênica, mostraram que estas podem desencadear respostas de defesa

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

sistêmica em *Arabidopsis*, ativando genes associados à imunidade vegetal (RAMLAL et al., 2023).

No contexto de doenças, a análise do RNA tem ajudado a descobrir caminhos que são ativados por substâncias como flagelina e lipopolissacarídeos. Essas substâncias são vistas como sinais de aviso de microrganismos que causam doenças. Estes compostos ativam mecanismos hormonais de defesa, como os mediados pelo ácido jasmônico e pelo ácido salicílico, fundamentais para a resposta imunológica da planta. Em infecções provocadas por agentes patogênicos como o *Verticillium dahliae*, que afeta as raízes, foi notada a ativação de genes específicos ligados à resistência.

Além disso, em casos de planta passando por ataques, como quando pulgões e lagartas se alimentam, foram notados três tipos diferentes de genes sendo ativados ou desativados. Isso mostra como as plantas reagem de formas complexas a diferentes tipos de problemas causados por outros seres vivos (RAMLAL et al., 2023).

A transcriptômica também tem desempenhado um papel crucial na compreensão das vias genéticas associadas a simbioses, como a que ocorre entre leguminosas e rizóbios, e sua potencial aplicação em culturas não leguminosas.

Estudos identificaram genes ortólogos da via simbiótica comum (CSP) no arroz, sugerindo a existência de mecanismos parecidos em outras interações entre a planta e o microrganismo. Ademais, estudos transcriptômicos realizados em culturas como arroz, trigo, cana-de-açúcar e tabaco mostraram que genes ligados à proteção, regulação hormonal e transporte de nutrientes são expressos de forma diferenciada em interações com bactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPB). Estes resultados oferecem importantes subsídios para a criação de estratégias sustentáveis de controle de doenças e estímulo ao crescimento das plantas (RAMLAL et al., 2023).

3.3 PROTEÔMICA

A proteômica é o campo da biologia molecular voltado para a análise aprofundada das proteínas expressas por um organismo ou célula específica em condições particulares (WILKINS et al., 1997; PINTO, MORAES FILHO, 2022). Tal técnica se destaca como um recurso imprescindível para a interpretação das informações codificadas nos genomas, sendo empregada para esclarecer as diversas

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

categorias de proteínas presentes em células ou tecidos, além de ser utilizada na investigação das modificações proteicas entre os estados de saúde e doença (ARIAS; FREIRE, 2008).

Esta ômica pode evidenciar que a expressão proteica pode mudar sua estrutura e necessidade consoante o estímulo que recebe, mesmo em tecidos diferentes em um mesmo organismo (PORTIS, 2019; PINTO, MORAES FILHO, 2022). Ademais, destina-se a monitorar e identificar proteínas expressas por células e tecidos em um ambiente manipulado ideal ou em sua expressão natural (WESTERMEIER; NAVEN, 2002; PORTIS, 2019; PINTO, MORAES FILHO, 2022).

A motivação para a pesquisa proteômica surge da necessidade de compreender como, onde, quando e por que centenas de proteínas são produzidas, bem como os mecanismos que participam desses processos. Portanto, a proteômica é vista como uma abordagem que se fundamenta em uma análise integrada e multidisciplinar, desde os genes até o fenótipo manifestado nas proteínas. Essas avaliações podem envolver a aplicação de tecnologias "ômicas" e pesquisas fundamentadas em bases de dados (ESPINDOLA et al., 2010). Um único gene pode gerar diversos tipos de proteínas devido às alterações pós-transcricionais e até mesmo pós-traducionais, capazes de alterar, ativar ou desativar proteínas. As mudanças que as proteínas traduzidas podem passar, de acordo com Frigolet e Gutiérrez-Aguilar (2017), incluem cortes, fosforilação, glicosilação e uma modificação chamada sumoilação. Essas mudanças alteram a forma das proteínas, criando grupos de proteínas que trabalham unidas. Ainda, controlam se as proteínas estão ligadas ou não.

A abordagem principal para a análise da proteômica envolve: a separação de proteínas por meio de técnicas cromatográficas (líquidas, gasosas etc.) ou eletroforéticas (2D-PAGE); a digestão proteica, a detecção de fragmentos peptídicos através da espectrometria de massa e a identificação de proteínas. As duas metodologias envolvem posteriormente a realização de leitura mediante um software (BARBOSA et al., 2012; VIEIRA, MENDES, 2021).

Atualmente, a aplicação de géis bidimensionais (2D- PAGE) é uma prática habitual na proteômica vegetal, possibilitando a análise simultânea da expressão de centenas de proteínas. Esta metodologia tem permitido a criação de mapas proteicos

que espelham variados genótipos, fases de desenvolvimento e situações de estresse. Um exemplo importante é a pesquisa com raízes de *Lupinus albus*. Nesse estudo, foram encontradas proteínas que ajudam as plantas a se adaptarem a solos com pouca quantidade de fósforo. Também foi descoberta a habilidade dessas plantas de limpar o solo ao acumular metais pesados (TIAN et al., 2009). Em estudos com *Triticum*, *Secale* e *Hordeum*, os spots proteicos obtidos em géis 2D têm sido empregados como indicadores genéticos e fisiológicos, auxiliando na avaliação da variabilidade genética e na definição de relações filogenéticas entre espécies (ZIVY et al., 1995; THIELLEMENT et al., 2002).

Esta ômica também tem sido empregada na análise de perfis proteicos entre pessoas com características distintas em tecidos específicos, tais como embriões, endospermas, raízes, folhas e culturas de células. Essas pesquisas têm propiciado progressos na compreensão funcional das proteínas envolvidas em processos como a germinação, o enchimento e a maturação dos grãos, assim como no desenvolvimento, seja ele precoce ou tardio (KOMATSU et al., 1993; FUKUDA et al., 2003; SHEN et al., 2002; HAJDUCH et al., 2005; DAI et al., 2007; SALVATO; CARVALHO, 2010). A identificação de proteínas que mudam de quantidade quando há estresses que não são causados por organismos, como falta de água, sal e calor, ou por organismos, como doenças e insetos, ajudou a encontrar novos marcadores moleculares. Esses marcadores têm potencial para serem incorporados em programas de aprimoramento genético assistido ou empregados em táticas de modificação genética (TOUZET et al., 1995; SALEKDEH; KOMATSU, 2007; SALVATO; CARVALHO, 2010).

Outro campo promissor da proteômica vegetal é a avaliação de efeitos não intencionais oriundos da transgenia ou de mutações. Pesquisas envolvendo plantas modificadas geneticamente, como batata e tomate, têm usado perfis proteicos para analisar mudanças metabólicas e bioquímicas, auxiliando na avaliação da equivalência significativa entre organismos transgênicos e seus correspondentes não modificados (LEHESRANTA et al., 2005; CORPILLO et al., 2004). Essa estratégia é vista como um instrumento completo para assegurar a segurança alimentar e ambiental dos organismos geneticamente modificados. A união da proteômica com métodos tradicionais de melhoramento de plantas aumenta muito as chances de criar

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

variedades que sejam mais produtivas e que aguentem melhor problemas como mudanças no clima e ataques de pragas (SALVATO; CARVALHO, 2010).

3.4 METABOLÔMICA

A expressão metabolômica foi desenvolvida e tem sido empregada para englobar a investigação do metabolismo diante de alterações ambientais e genéticas. Logo, pode ser definida como o estudo da influência da expressão gênica nos metabólitos das células, tecido ou órgãos atuando em várias funções celulares. Podendo passar por transformações químicas e enzimáticas, formando macromoléculas ou até mesmo acumulando reservas de energia (ARIAS; FREIRE, 2008). E devido a isto a identificação, quantificação e reações dos metabólitos são importantes no contexto da biologia de sistemas (CANUTO et al., 2017).

A metabolômica é a ômica que mais requer análises computacionais por causa da variabilidade dos resultados, de difícil compreensão. Normalmente, esses dados têm muitas informações. É preciso usar ferramentas de estatística e bioinformática para analisar e organizar essas informações. Assim, é possível mapear características bioquímicas e relações entre células em programas de computador. Esses programas contribuem para uma compreensão mais apurada dos dados (ESPINDOLA et al., 2010). As metodologias para a extração dos metabólitos empregam técnicas de separação cromatográfica clássica, que podem incluir Espectroscopia Infravermelha por Transformada de Fourier (FTIR), Espectrometria de Massa por Eletrospray (ESI-MS) e Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear (NMR) (FRIGOLET; GUTIÉRREZ-AGUILAR, 2017).

Em razão da simplicidade na preparação da amostra e da habilidade de quantificar diferentes concentrações de metabolitos gerados nas células e encontrados no organismo, a Ressonância Magnética Nuclear (RMN) se configura como um método apropriado para investigações clínicas metabólicas que demandam períodos prolongados ou uma abrangência extensa (EMWAS et al., 2019).

A complexidade química das plantas, estimada em mais de 200.000 metabólitos, torna a análise metabolômica uma estratégia bastante atraente. Além de ajudar a compreender o metabolismo desses organismos, também pode resultar em

melhorias no rendimento dos cultivos. Essa ômica pode ser aplicada na área vegetal sobre investigações de modificações ambientais e genéticas, reações ao estresse, sanidade e tratamento de pragas, ecologia e evolução, agricultura aplicada, além de estudos específicos por meio da utilização de compostos isotópicos, os quais contribuem para a elucidação de vias biológicas e aprimoram a identificação e quantificação de metabólitos (CANUTO et al., 2018).

4.BIOLOGIA MOLECULAR NO SETOR AGROPECUÁRIO

O agronegócio pode ser considerado um dos pilares da economia brasileira, representando cerca de 22% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2024 e quase metade das exportações totais do Brasil (PAINA, 2025). Assim, considerando sua importância, ferramentas de inovação são essenciais para a manutenção da sua importância, dentre elas, citamos a biologia molecular.

A biologia molecular tem muitas utilidades na agricultura e na criação de animais. Ela auxilia a encontrar soluções boas para aumentar a produção, melhorar a saúde das plantas e dos animais, garantir a segurança dos alimentos e promover a sustentabilidade. Esta ferramenta se destaca por sua ampla aplicabilidade, precisão metodológica e potencial transformador. Técnicas como a PCR, a eletroforese, o sequenciamento de DNA e a edição gênica por CRISPR-Cas9 têm sido aprimoradas e incorporadas a processos agroindustriais com crescente frequência (ARCHANJO et al., 2021; PAINA, 2025).

Os progressos em metodologias como a PCR quantitativa, o sequenciamento genômico e a edição gênica têm possibilitado a escolha de organismos com elevado desempenho agronômico e zootécnico, com uma precisão anteriormente inatingível por meio de abordagens tradicionais (DOS SANTOS; BORÇOI, 2021; PAINA, 2025).

4.1 BIOLOGIA MOLECULAR NA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS

Para Ribeiro-Junior; Domingues Neto; Nascimento (2024), as técnicas de biologia molecular têm desempenhado um papel crescente na compreensão e no manejo de plantas daninhas, especialmente diante da rápida evolução de resistência a herbicidas observada nas últimas décadas. A diversidade genética inerente a essas

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

espécies tem permitido sua adaptação a diversas práticas de agricultura, o que coloca obstáculos ao controle químico tradicional. Neste cenário, técnicas como a análise genômica, a aplicação de marcadores moleculares (RFLP, SSR) e a sequenciação de genes ligados à resistência têm sido empregadas para detectar biótipos resistentes e compreender os processos genéticos que os controlam.

O silenciamento gênico pós-transcricional por RNA de interferência (RNAi) é uma das estratégias emergentes que permite a inativação específica de genes sem a exigência de modificação do genoma. Esta tecnologia apresenta grande potencial ao possibilitar a inversão da resistência em ervas daninhas através da utilização de moléculas de RNA de fita dupla, já testadas com êxito em culturas como o tabaco. Apesar de ainda exigir progressos para a implementação prática em ampla escala, a estratégia representa um novo paradigma no manejo biológico e químico de espécies invasoras (RIBEIRO-JUNIOR; DOMINGUES NETO; NASCIMENTO, 2024).

4.2 BIOLOGIA MOLECULAR E O MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS

No melhoramento genético de plantas, o uso de marcadores moleculares ajuda a encontrar rapidamente plantas que conseguem lidar melhor com problemas como falta de água ou que são mais fortes contra insetos. Ferramentas como a CRISPR-Cas9 têm sido utilizadas para a edição de genes específicos em culturas como a soja, o milho e o arroz, dispensando a necessidade de inserção de DNA exógeno, o que acelera a criação de novas variedades (DOS SANTOS; BORÇOI, 2021). Além disso, a alteração genética feita com a ajuda do *Agrobacterium tumefaciens* tem sido usada para trazer características agrícolas que são mais estáveis nos genes.

Na atividade pecuária, as metodologias de biologia molecular têm promovido a escolha de reprodutores por meio da genômica preditiva, viabilizando a melhoria de atributos como aumento de peso, eficiência alimentar e qualidade da carne. Além disso, a fabricação de vacinas com DNA recombinante constitui um progresso significativo na prevenção de enfermidades infecciosas, proporcionando maior segurança e eficácia imunogênica (PAINA, 2025; NICIURA, 2007).

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

4.3 A BIOLOGIA MOLECULAR NA BOVINOCULTURA DE CORTE

A bovinocultura de corte tem sido diretamente beneficiada pelas inovações em biologia molecular. Segundo Coutinho (2007), o sequenciamento do genoma bovino permitiu avanços na identificação de genes ligados a características como maciez da carne, marmoreio e desenvolvimento muscular. O uso de marcadores moleculares possibilita a seleção de animais superiores com base em seu potencial genético, otimizando o desempenho zootécnico e a qualidade do produto acabado.

A análise de DNA é empregada em diversas frentes da pecuária de corte, incluindo testes de paternidade, identificação de raças e rastreabilidade de produtos de origem animal. No Brasil, destaca-se a necessidade de validação dos marcadores desenvolvidos para raças europeias no contexto das raças zebuínas, como o Nelore, predominante no país. Isso evidencia a importância do desenvolvimento de tecnologias adaptadas à realidade nacional, evitando a dependência de soluções importadas.

Além disso, há perspectivas de ampliação da disponibilidade de marcadores para características de interesse econômico, a partir da conclusão do sequenciamento do genoma bovino. Entretanto, transformar conhecimento em tecnologia aplicável ainda é um desafio, demandando investimentos do setor privado em pesquisa tecnológica e inovação (COUTINHO, 2007).

5.BIOLOGIA MOLECULAR E TRANSFORMAÇÃO DO CAMPO AGRÍCOLA BRASILEIRO

A biologia molecular tem sido muito importante para a modernização da agricultura no Brasil. Ela ajuda a aumentar a produção de alimentos, a cuidar melhor do meio ambiente e a lidar com problemas do clima. De acordo com o Blog do Agro (AGRO BAYER, 2024), desde a chegada da soja transgênica ao Brasil na década de 1990, as tecnologias baseadas em engenharia genética começaram a influenciar o perfil de produção do país.

Instrumentos como a genômica, a transgenia e os marcadores moleculares são frequentemente empregados na criação de cultivares resistentes a pragas, resistentes

SOUZAEAD®
Revista Acadêmica Digital
ISSN 2595-5934
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL
AGO 2025 EDIÇÃO Nº88

à seca e de alto valor comercial. A plataforma INTACTA2 XTEND®, o milho VT PRO4® e o algodão Bollgard® exemplificam soluções tecnológicas que combinam diversos mecanismos de defesa e tolerância, aprimorando a gestão da agricultura.

Além dos ganhos produtivos, a biotecnologia tem proporcionado importantes benefícios ambientais e econômicos. Entre 1998 e 2023, foi registrada uma redução de até 34,4% na utilização de pesticidas na cultura da soja, resultando em uma economia de bilhões de litros de água e combustível, bem como em uma diminuição significativa das emissões de dióxido de carbono. Essa progressão possibilitou um aumento de até 300% na produção de grãos, com uma expansão da área cultivada proporcionalmente inferior, evidenciando a sustentabilidade do modelo agrícola brasileiro (BLOG DO AGRO, 2024).

Segundo Paina (2025), o uso de ferramentas de biologia molecular no agronegócio do Brasil é muito comum. Isso inclui melhorar as características de plantas e animais, controlar doenças, produzir biocombustíveis, acompanhar a origem dos produtos do campo e criar vacinas para os animais.

As técnicas de modificação genética, tais como o CRISPR-Cas9, possibilitam mudanças exatas no DNA de plantas e animais, tornando possíveis cultivares mais produtivas, tolerantes a estresses abióticos e resistentes a pragas, sem a exigência de incorporação de genes externos (PAINA, 2025).

6.CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como se pode observar as aplicações da biologia molecular no agronegócio constituem um marco na evolução da agricultura e da pecuária moderna. Suas técnicas permitem maior precisão, rapidez e eficiência em processos antes conduzidos por métodos empíricos, oferecendo bases científicas robustas para decisões que incrementem a produtividade.

A integração entre genômica, diagnóstico molecular, engenharia gênica e rastreabilidade tem fortalecido a capacidade do agronegócio brasileiro de responder às exigências globais de produtividade e sustentabilidade.

Ao consolidar o conhecimento acumulado sobre essas ferramentas e evidenciar seu potencial prático, este estudo contribui para ampliar a compreensão de suas aplicações e incentivar sua adoção em larga escala. Com investimentos

continuados em pesquisa, capacitação e regulação adequada, o Brasil pode liderar uma nova era biotecnológica voltada à segurança alimentar, à eficiência produtiva e à sustentabilidade agrícola.

REFERÊNCIAS

AGRO BAYER. Biotecnologia na agricultura: inovações que estão transformando o campo. Blog do Agro, 2024. Disponível em: https://www.cotrijal.com.br/blog/biotecnologia-na-agricultura-inovacoes. Acesso em: 26 jun. 2025.

ARCHANJO, Anderson Barros et al. Avanços metodológicos em biologia molecular e biotecnologia: 1. Ed. Ponta Grossa - PR: Atena Editora, 2021. Disponível em: https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/avancos-metodologicos-em-biologia-molecular-e-biotecnologia. Acesso em: 7 jul. 2025.

ARIAS, Ana Rosa Linde; FREIRE, Marina Moreira. Contribuição das ômicas na saúde humana: Avanços e Desafios. Cadernos Saúde Coletiva, v. 16, n. 4, p. 717–732, 2008. Disponível em: https://busqueda.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-621228. Acesso em: 7 jul. 2025.

ASTBURY, William T.; BELL, Florence O. X-ray study of thymonucleic acid. Nature, v. 141, n. 3573, p. 747-748, 1938. DOI: https://doi.org/10.1038/141747b0.

BARBOSA, Eduardo Buzolin et al. Proteômica: metodologias e aplicações no estudo de doenças humanas. Revista da Associação Médica Brasileira, v. 58, n. 3, p. 366–375, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-42302012000300019.

BEDIA, Carmen. Experimental Approaches in Omic Sciences. In: Comprehensive Analytical Chemistry. 1. ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, v. 82, p. 13–36, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/bs.coac.2018.07.002.

CANUTO, Gisele A. B. et al. Metabolômica: definições, estado-da-arte e aplicações representativas. Química Nova, v. 41, n. 1, p. 75–91, 2017. DOI: https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170134.

CANUTO, Gisele André Baptista, et al. Metabolômica: definições, estado-da-arte e aplicações representativas. Química Nova, v. 41, n. 1, p. 75–91, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/hCJGvVZhZ9Zf4RyskbhgwJf/?lang=pt. Acesso em: 2 jul. 2025. DOI: https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170134.

CORPILLO, Davide et al. Proteomics as a tool to improve investigation of substantial equivalence in genetically modified organisms: the case of a virus-resistant tomato. Proteomics, v. 4, p. 193-200, 2004. Disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14730681. Acesso em: 2 jul. 2025. DOI: 10.1002/pmic.200300540.

COSTA, E. T. Cooperação internacional em biotecnologia. 2006. 78 p. Monografia (Graduação em Relações Internacionais) - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2006.

COUTINHO, Luiz Lehmann. A biologia molecular na bovinocultura de corte. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2007. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va03-genetica03.pdf. Acesso em: 26 jun. 2025.

DAI, Shaojun et al. Proteomic identification of differentially expressed proteins associated with pollen germination and tube growth reveals characteristics of germinated Oryza sativa pollen. Molecullar Cell Proteomics, v. 6, p. 207-230, 2007. Disponível em: http://www.mcponline.org/cgi/content/ abstract/6/2/207. Acesso em: 2 jul. 2025. DOI: 10.1074/ mcp.M600146-MCP200.

DOS SANTOS, Joaquim Gasparini; BORÇOI, Aline Ribeiro. Ferramentas de edição gênica. In: Anderson Barros Archanjo; Aline Ribeiro Borçoi; Suzanny Oliveira Mendes; Adriana Madeira Álvares da Silva. (Org.). Avanços metodológicos em biologia molecular e biotecnologia. Ponta Grossa - PR: Atena Editora, 2021. v. 1, p. 58-68. DOI: 10.22533/at.ed.7532104066.

EMWAS, Abdhul-Hamid et al. NMR Spectroscopy for Metabolomics Research. Metabolites, v. 9, n. 7, p. 123, 2019. DOI: 10.3390/metabo9070123

ESPINDOLA, Foued et al. Recursos de bioinformática aplicados às ciências ômicas como genômica, transcriptômica, proteômica, interatômica e metabolômica. Bioscience Journal, v. 26, p. 463–477, 2010. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7146. Acesso em 7 jul. 2025.

FRIGOLET, Maria E.; GUTIÉRREZ-AGUILAR, R. Ciências “ómicas”, ¿como ayudan a las ciencias de la salud? Revista Digital Universitaria, v. 18, n. 7, p. 1–15, 2017. Disponível em: https://www.revista.unam.mx/vol.18/num7/art54/index.html. Acesso em 7 jul. 2025.

FUKUDA, Masafumi et al. Assessing matrix assisted laser desorption/ ionization-time of flight-mass spectrometry as a means of rapid embryo protein identification in rice. Electrophoresis, v. 24, p. 1319-1329, 2003. Disponível em: http:// www3.interscience.wiley.com/journal/104525696/abstract. Acesso em: 2 jul. 2025. DOI: 10.1002/elps.200390168.

HAJDUCH, Martin et al. A systematic proteomic study of seedfilling in soybean: establishment of high-resolution twodimensional reference maps, expression profiles, and an interactive proteome database. Plant physiology, v. 137, p. 1397-1419, 2005. Disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1088330/. Acesso em: 3 jul. 2025. DOI: 10.1104/pp.104.056614.

HORGAN, Richard P.; KENNY, Louise C. 'Omic' technologies: genomics, transcriptomics, proteomics and metabolomics. The Obstetrician & Gynaecologist, v. 13, n. 3, p. 189–195, 2011. DOI: https://doi.org/10.1576/toag.13.3.189.27672.

KOMATSU, Setsuko et al. A rice protein library: a data-file of rice proteins separated by two-dimensional electrophoresis. Theoretical and applied genetics, v. 86, p. 935, 1993. Disponível em: http://www.springerlink.com/content/t48r664484082518/. Acesso em: 3 jul. 2025. DOI: 10.1007/ BF00211044.

KREUZER, Hellen; MASSEY, Adrianne, Engenharia genética e biotecnologia. Porto Alegre - RS: Artmed, 2002. 434 p.

LEHESRANTA, Satu J. et al. Comparison of tuber proteomes of potato varieties, Landraces, and genetically modified lines. Plant Physiology, v.138, p. 1690-1699, 2005. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15951487/. Acesso em: 2 jul. 2025. DOI: 10.1104/ pp.105.060152.

MACHADO, André. et al. "Out of the Can": A Draft Genome Assembly, Liver Transcriptome, and Nutrigenomics of the European Sardine, Sardina pilchardus. Genes, v. 9, n. 10, p. 485, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/genes9100485.

NICIURA, Simone Cristina Méo. Aplicação de ferramentas de biologia molecular em produção animal. In: Anais do Congresso Nacional de Pesquisa em Ciências, 2007. São Carlos - SP: Embrapa Pecuária Sudeste. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/479429/aplicacao-de-ferramentas-de-biologia-molecular-em-producao-animal. Acesso em: 26 jun. 2025.

OSADA, Neide Mayumi; COSTA, Maria Conceição. A construção social de gênero na Biologia: preconceitos e obstáculos na biologia molecular. Cadernos Pagu, São Paulo, v. 27, p. 279-299, 2006. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-83332006000200011.

OTTO, Pamela Itajara et al. Aplicações da genômica na produção animal. 2023. In: Simpósio De Investigação Em Produção Animal, 1., 2023, Santa Maria, RS. (Trabalhos apresentados). Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. p. 95-112. DOI: https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-19-0.c6.

PAINA, Karime. Aplicações da Biologia Molecular no Agronegócio. Êxodo Científica, 2025. Disponível em: https://exodocientifica.com.br/aplicacoes-da-biologia-molecular-no-agronegocio/. Acesso em: 26 jun. 2025.

PINTO, Murillo de Sousa; MORAES FILHO, Aroldo Vieira de. Biologia molecular – algumas técnicas e aplicações: uma revisão bibliográfica. UNIFAN, 2022. Disponível em: https://www.unifan.edu.br/unifan/aparecida/wp-content/uploads/sites/2/2022/09/BIOLOGIA-MOLECULAR-ALGUMAS-TECNICAS-E-APLICACOES-uma-revisao-bibliografica.pdf. Acesso em: 26 jun. 2025.

PORTIS, Igor Godinho. Análise proteômica comparativa entre *Paracoccidioides brasiliensis* e *Paracoccidioides americana*. 2019. 160 f. Tese (Doutorado em Genética

e Biologia Molecular) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019. Disponível em: https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/7c50da7a-60eb-4f26-a3a5-006071eabb6a. Acesso em: 7 jul. 2025.

RAMLAL, Ayyagar et al. Importance of omics approaches in plant-microbe interaction for plant disease control. Physiological and Molecular Plant Pathology, v. 128, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102153. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0885576523002084. Acesso em: Acesso em: 27 jun. 2025.

RIBEIRO-JUNIOR, Marcos Roberto; DOMINGUES NETO, Francisco José; NASCIMENTO, Daniele Maria. Aplicações da biologia molecular na ciência das plantas daninhas. In: Leonardo França da Silva; Fernanda Lamede Ferreira de Jesus; Jéssica Mansur Siqueira Furtado Crusoé. (Org.). Agricultural sciences unveiled: Exploring the dynamics of farming and sustainability. Ponta Grossa - PR: Atena Editora, 2024. v. 2, cap. 7, p. 86–91, 2024. DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.4482408077.

SALEKDEH, Ghasem Hosseini; KOMATSU, Setsuko. Crop proteomics: aim at sustainable agriculture of tomorrow. Proteomics, v.7, n.16, p. 29762996, 2007. Disponível em: http://www3.interscience.wiley.com/journal/114294121/abstract. Acesso em: 3 jul. 2025. DOI: 10.1002/pmic.200700181.

SALVATO, Fernanda; CARVALHO, Mayra Costa Da Cruz. Métodos e estratégias em proteômica e suas aplicações na área vegetal. Ciência Rural, v. 40, n. 3, p. 727–734, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/a/cgzqSbYMms7ygWCLRjHJ4Jn/abstract/?lang=pt. Acesso: 3 jul. 2025. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000018.

SHEN, Shihua et al. A proteomic analysis of leaf sheaths from rice. Journal of biochemistry, v.132, p. 613-620, 2002. Disponível em: http://jb.oxfordjournals.org/cgi/reprint/132/4/613. Acesso em: 2 jul. 2025. DOI: 10.1093/oxfordjournals.jbchem.a003264.

SNA – Sociedade Nacional de Agricultura. A hora e a vez da biotecnologia no agro. Revista A Lavoura, n. 725, 26 fev. 2020. Disponível em: https://www.alavoura.com.br/pesquisa-inovacao/biotecnologia/a-hora-e-a-vez-da-biotecnologia-no-agro/. Acesso em: 26 jun. 2025.

SOARES, Bianca da Silva. Aplicação de técnicas moleculares para o monitoramento da diversidade genética de *Staphylococcus aureus* em ambientes de produção leiteira. 2017. 53 f. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) - Instituto de Veterinária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2017. Disponível em: https://rima.ufrrj.br/jspui/handle/20.500.14407/9640. Acesso em 7 jul. 2025.

STRACHAN, Tom; READ, Andrew. Genética molecular humana. Porto Alegre – RS. Artmed Editora, 2016.

THIELLEMENT, Hervé et al. Combining proteomic and genetic studies in plants. Chromatography B Analytical Technologies in Biomedical Life Sciences, v.782, n.1-2, p.137-149, 2002. Disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12458003. Acesso em: 27 jun. 2025. DOI:10.1016/S1570-0232(02)00553-6.

TIAN, L. et al. Transcript and proteomic analysis of developing white lupin (Lupinus albus L.) roots. BMC Plant Biology, v.9, n.1, p.1-14, 2009. Disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2630931/pdf/1471-2229-9-1.pdf. Acesso em: 27 jun. 2025. DOI:10.1186/1471-2229-9-1.

TOUZET, Pascal et al. Characterizing allelic proteins for genome mapping in maize. Electrophoresis, v.16, p. 1289-1294, 1995. Disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7498178. Acesso: 3 jul. 2025. DOI: 10.1002/elps.11501601211.

VALLE, Marcelo Gonçalves do. O sistema nacional de inovação em biotecnologia no Brasil: possíveis cenários. 2005. 249 f. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnologia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: https://hdl.handle.net/20.500.12733/1601651. Acesso em: 7 jul. 2025.

VALLE, Marcelo Gonçalves do; SANTOS, Mariana dos Santos. A biotecnologia como instrumento de desenvolvimento econômico e social. Revista Processus de Estudos de Gestão, Jurídicos e Financeiros, Brasília, ano I, v. 1, n. 1, p. 15-27, 2010. Disponível em: https://periodicos.processus.com.br/index.php/egjf/article/view/12/4. Acesso em: 26 jun. 2025.

VARGAS, Bruna Damaceno et al. Biotecnologia e alimentos geneticamente modificados: uma revisão. Revista Contexto & Saúde, v. 18, n. 35, p. 19-26, 2018. DOI: https://doi.org/10.21527/2176-7114.2018.35.19-26.

VIEIRA, Tamires dos Santos; MENDES, Suzanny Oliveira. A evolução da biologia molecular e as ômicas. In: Anderson Barros Archanjo; Aline Ribeiro Borçoi; Suzanny Oliveira Mendes; Adriana Madeira Álvares da Silva. (Org.). Avanços metodológicos em biologia molecular e biotecnologia. 1ed. Ponta Grossa - PR: Atena Editora, 2021, v. 1, p. 3-13. DOI: 10.22533/at.ed.7532104061.

WESTERMEIER, Reiner; NAVEN, Tom. Proteomics in Practice: A Laboratory Manual of Proteome Analysis. Wiley-VCH Verlag-GmbH, Weinheim, 2002. 342 p. DOI: 10.1002/3527600175.ch2.

WILKINS, Marc R. et al. Detailed peptide characterization using PEPTIDEMASS--a World-Wide-Web-accessible tool. Electrophoresis v. 18, n. 3-4, p. 403-408, 1997. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9150918/. Acesso em: 7 jul. 2025. DOI: 10.1002/elps.1150180314.

ZIVY, Michel et al. Distance indices in a comparison between the A, D, I and R genomes of the Triticeae tribe. Electrophoresis, v.16, p.1295-1300, 1995. Disponível

em: https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/elps.11501601212. Acesso em: 27 jun. 2025. DOI: 10.1002/elps.11501601212.