

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO – UNISAGRADO

ARTHUR DE CARVALHO RUEDAS

IMPACTO DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO NA EXPRESSÃO EPIGENÉTICA DE
PLANTAS

BAURU
2024

ARTHUR DE CARVALHO RUEDAS

IMPACTO DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO NA EXPRESSÃO EPIGENÉTICA DE
PLANTAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos
para obtenção do título de bacharel em
Ciências Biológicas- Centro Universitário
Sagrado Coração.

Orientadora: Prof.^a Dra. Renata Teixeira de
Almeida Minhoni

BAURU
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com
ISBD

R918i	<p>Ruedas, Arthur de Carvalho</p> <p>Impacto das condições de cultivo na expressão epigenética de plantas / Arthur de Carvalho Ruedas. -- 2024. 39f.</p> <p>Orientadora: Prof.^a Dra. Renata Teixeira de Almeida Minhoni</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Agricultura. 2. Expressão gênica. 3. Hereditariedade. 4. Condições de cultivo. 5. Adaptabilidade. I. Minhoni, Renata Teixeira de Almeida. II. Título.</p>
-------	--

ARTHUR DE CARVALHO RUEDAS

IMPACTO DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO NA EXPRESSÃO EPIGENÉTICA DE
PLANTAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos
para obtenção do título de bacharel em
Ciências Biológicas - Centro Universitário
Sagrado Coração – UNISAGRADO.

Aprovado em: ___/___/___

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Renata Teixeira de Almeida Minhoni(Orientadora)
Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO

Prof.^a Dra. Angélica Lino Rodrigues
Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus, que me permitiu viver e estar saudável durante esses anos de faculdade, e à Virgem Maria, que sempre me protegeu e cuidou de mim.

Agradeço ao meu pai, que me forjou como homem, sempre me cobrando e buscando extrair meu máximo potencial. Sua exigência me ensinou a buscar constantemente a melhoria. À minha mãe, sou eternamente grato por sempre estar de braços abertos para me acolher e aconselhar com serenidade e calma. Agradeço também a toda a minha família, que sempre me apoiou e incentivou em cada passo da minha jornada.

Aos meus amigos de infância, quero expressar minha profunda gratidão. Em especial, agradeço ao Marcelinho, um exemplo de humildade e sempre será guardado no meu coração como um grande irmão mais velho. A Bia, pelo apoio inestimável em momentos desafiadores, e o Miguel, que sempre esteve ao meu lado, são amigos dos quais sou profundamente grato pela presença e amizade sincera.

Entre os muitos amigos que se tornaram parte essencial da minha vida, destaco três que são como irmãos para mim: Pedro Ivo, que sempre esteve presente, fazendo o dobro do que podia para me ajudar e responder minhas perguntas. João Antônio, um exemplo de dedicação e sabedoria intelectual e espiritual, que sempre me guiou em direção ao que é certo, mesmo quando isso não correspondia às minhas vontades. Diego, que me ensinou sobre resiliência e dedicação, foi um exemplo de superação, incentivando-me a valorizar o trabalho e os estudos e me acompanhando durante os treinos.

Aos amigos da faculdade, a Lívia, que foi imprescindível na escrita do meu TCC, sempre disposta a me ouvir, ler e auxiliar tanto na elaboração do texto quanto nos desafios do dia a dia. Agradeço também ao Yujii, sempre disposto a colaborar nas atividades, tanto dentro quanto fora da instituição, e que sempre apoia minhas ideias com entusiasmo. Ao João Cincotto, com quem pude rir sempre que estava ao seu lado, muitas vezes sem precisar dizer uma palavra (menção honrosa ao Hugo). À Sônia, uma amiga muito especial que sempre me inspirou com seu jeito e sabedoria, sempre disposta a me ajudar e incentivar. E à Gabriela, que me mostrou uma visão diferente da vida e da academia, provando que é possível conciliar diversas atividades com excelência.

Gostaria de expressar minha gratidão aos meus professores, especialmente à Dra. Renata Teixeira de Almeida Minhoni, minha orientadora, que sempre esteve disposta a me auxiliar e orientar durante este período. Ela é um exemplo de professora, mantendo a calma e explicando conteúdos difíceis de maneira acessível e compreensível. Ao Dr. Caio Marinho Mello, que, embora tenha estado conosco por um período curto, mudou completamente minha visão sobre a vida acadêmica e sobre o papel dos professores. Ele é um verdadeiro profissional, que exerce sua função com maestria, sempre ouvindo minhas ideias e pensamentos de forma aberta e sem julgamentos, buscando entender e esclarecer, aprendendo e ensinando. Caio, você não é apenas um professor, é um mentor e um pai. Obrigado, meu prefeito!

Agradeço também aos outros professores que, de maneira não menos importante, me auxiliaram e inspiraram a chegar até aqui: Edvaldo José Scoton, Rita Luiza Peruquetti, Vinicius Augusto Daré de Almeida, Thainá Valente Bertozzo e Érica Boarato David, por todos os conselhos, ajuda e pela paciência com que guiaram meu aprendizado.

Por fim, agradeço a todos que participaram, direta ou indiretamente, enriquecendo meu processo de aprendizado. Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram um impacto significativo na minha formação acadêmica.

RESUMO

Epigenética são mudanças na expressão genica que não envolvem alterações na sequência de DNA. Na agricultura é utilizada principalmente para o melhoramento genético desenvolvendo indivíduos mais resistentes a estresses, permitindo cultivá-los em condições menos favoráveis. O estudo da epigenética permite entender qual é o impacto das diferentes condições de cultivo e como as plantas respondem e se adaptam a diferentes estresses ambientais como: Seca, salinidade, temperaturas extremas, luminosidade e fatores bióticos. Com o crescente interesse na epigenética vegetal, esse trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica que irá compilar informações essenciais para compreender essa área de epigenética vegetal e suas implicações. A compreensão dos mecanismos epigenéticos pode melhorar técnicas agrícolas, tornando as plantas mais resistentes a mudanças climáticas e reduzindo a dependência de insumos agrícolas. Embora os estudos recentes apontem direções significativas, ainda são necessários mais estudos para comprovar esses achados e fornecer uma base sólida para a aplicação segura e eficaz das modificações epigenéticas. Isso inclui investigações que identifiquem genes específicos relacionados ao estresse em diversas espécies vegetais, bem como a ampliação dos contextos das plantas e a análise de uma maior variedade de espécies sob as mesmas condições ambientais.

Palavras-chave: agricultura; expressão gênica; Hereditariedade; condições de cultivo; adaptabilidade.

ABSTRACT

Epigenetics refers to changes in gene expression that do not involve alterations in the DNA sequence. In agriculture, it is primarily utilized for genetic improvement, developing individuals that are more resistant to stresses, thereby allowing their cultivation under less favorable conditions. The study of epigenetics facilitates an understanding of the impact of different cultivation conditions and how plants respond and adapt to various environmental stresses, such as drought, salinity, extreme temperatures, light availability, and biotic factors. With the growing interest in plant epigenetics, this work aims to conduct a literature review that compiles essential information to comprehend this field and its implications. Understanding epigenetic mechanisms can enhance agricultural techniques, making plants more resilient to climate change and reducing dependence on agricultural inputs. Although recent studies indicate significant directions, further research is necessary to validate these findings and provide a solid foundation for the safe and effective application of epigenetic modifications. This includes investigations to identify specific genes related to stress in various plant species, as well as expanding the contexts of plants and analyzing a broader variety of species under the same environmental conditions.

Keywords: agriculture; gene expression; heredity; cultivation conditions; adaptability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	DESENVOLVIMENTO	11
2.1	OBJETIVOS	11
2.1.1	Objetivo geral	11
2.1.2	Objetivos específicos	11
3	METODOLOGIA	12
4	REVISÃO DE LITERATURA	13
4.1	COMPREENSÃO DA EPIGENÉTICA	13
4.2	MECANISMOS DE MODIFICAÇÃO EPIGENÉTICA	14
4.2.1	Metilação	14
4.2.2	Modificação de histonas	15
4.2.3	MicroRNA	16
4.3	CONDIÇÕES DE CULTIVO E SEU IMPACTO NA EPIGENÉTICA	17
4.3.1	Salinidade.....	18
4.3.2	Temperatura	21
4.3.3	Luminosidade	22
4.3.4	Fatores bióticos e estresse oxidativo	24
4.4	SEMENTES: ARMAZENAMENTO E QUEBRA DE DORMÊNCIA	24
4.5	GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO	26
4.6	HEREDITARIEDADE E DESCOBERTAS.....	27
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

As plantas, ao contrário dos animais, são organismos sésseis e não podem se mover para escapar de condições adversas (Silva, 2023). Elas dependem de mecanismos internos para se adaptarem a estresses abióticos e bióticos: como variações de temperatura, disponibilidade de água, níveis de salinidade e ataques de patógenos (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021). Esses mecanismos são facilitados pela epigenética, que consiste em um conjunto de modificações que inclui a metilação do DNA e as modificações de histonas, as quais influenciam a expressão gênica sem alterar a sequência do DNA sendo essas modificações reversíveis e flexíveis, permitindo que as células se adaptem a condições ambientais e de desenvolvimento (Rosnay, 2019; Paro et al., 2021).

Este campo emergente explica a alta diversidade das plantas e sua capacidade de adaptar-se a essas mudanças sem afetar diretamente a informação genética, como destacado por Martínez Reséndiz (2020). Além disso, Parejo-Farnés et al. (2019), ressaltam que a epigenética é fundamental para a plasticidade do genoma das plantas, permitindo a formação de diferentes fenótipos em resposta ao ambiente. Como exemplo, Fernandes (2019) aponta a importância de estudar como as condições de estresse salino e hídrico podem influenciar a produção de metabólitos pelas plantas e sua atividade biológica, evidenciando o impacto direto das condições ambientais na expressão epigenética.

Compreender os mecanismos epigenéticos e suas implicações na adaptação das plantas, bem como aplicar esse conhecimento na produção alimentar por meio de métodos convencionais, é de extrema importância para a agricultura moderna. Isso pode melhorar a resiliência das plantas às mudanças climáticas e reduzir a dependência de insumos agrícolas, como fertilizantes e defensivos, sendo esses objetivos fundamentais para a sustentabilidade agrícola (Rimieri, 2017). Nesse contexto, o autor cita o IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) como um exemplo de instituição que exerce um papel crucial ao promover inovações tecnológicas e apoiar a formulação de políticas públicas. Essas ações são essenciais para garantir que a agricultura brasileira, que desempenha um papel vital na economia

do país, possa se adaptar e prosperar diante dos desafios ambientais atuais. (Viera Filho, 2022).

Por fim, as experiências ambientais de uma geração podem impactar a capacidade de resposta das gerações futuras. Este fenômeno de herança epigenética transgeracional é de grande interesse, pois sugere que a memória transgeracional das plantas facilita sua adaptação a condições de estresse recorrentes, favorecendo a rápida adaptação das culturas a ambientes em constante mudança (Abdulraheem et al., 2024).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é compilar os estudos existentes sobre epigenética vegetal, visando reunir o conhecimento atual e identificar as lacunas no entendimento dos mecanismos epigenéticos em plantas. Ao fazê-lo, busca-se traçar um caminho para futuras pesquisas que possam aprofundar a compreensão sobre como esses mecanismos podem ser aplicados para melhorar a adaptação das plantas a condições ambientais adversas. Além disso, o trabalho visa refletir sobre os desafios e oportunidades na aplicação dos conhecimentos epigenéticos na agricultura, a fim de promover práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral compilar os conhecimentos sobre a área de epigenética vegetal considerando as mudanças na expressão genética e sua influência na resposta das plantas a diferentes condições ambientais.

2.1.2 Objetivos específicos

Realizar uma revisão de literatura sobre os princípios básicos da epigenética em plantas, incluindo os mecanismos de modificação epigenética e sua herança transgeracional. Bem como a resposta das plantas a fatores ambientais específicos, como temperatura, umidade, salinidade, luminosidade e estresse biótico.

3 METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica, com base no método apresentado por Gil (2021). Foram selecionadas fontes teóricas relevantes, tais como relatórios de pesquisa, livros, artigos científicos, monografias, dissertações e teses. Tais fontes foram buscadas através das bases de dados PubMed, Google Scholar e Scielo, utilizando as seguintes palavras-chave: expressão gênica, condições de cultivo, adaptabilidade, epigenética em plantas, Resposta a estresses ambientais. Optou-se por artigos publicados nos últimos 4 anos e foram considerados textos em português, inglês e espanhol.

Buscou-se identificar o estado atual do conhecimento sobre o tema na literatura pertinente, analisando o que já havia sido estudado e discutido. Realizou-se uma análise crítica das fontes teóricas levantadas, sintetizando as informações relevantes para a pesquisa. Por fim, a revisão bibliográfica foi estruturada de forma clara e coesa, seguindo uma organização lógica e sequencial.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 COMPREENSÃO DA EPIGENÉTICA

A epigenética é um campo emergente que consiste em modificações hereditárias na expressão gênica não envolvendo alterações na sequência de DNA (Kakoulidou et al., 2021). A pesquisa de Andrade (2022) sugere que as plantas, ao enfrentarem estresses como a deficiência hídrica, podem ativar mecanismos de defesa que incluem a regulação da expressão gênica, possivelmente relacionados a modificações epigenéticas.

A epigenética gira em torno de três principais componentes: modificações químicas no DNA e nas histonas, metabolitos que atuam como cofatores e RNA regulatório, que juntos influenciam a expressão gênica e a identidade celular (Paro et al., 2021). É importante ressaltar que as modificações epigenéticas são caracterizadas por sua reversibilidade, podendo ser influenciadas por fatores ambientais e mantidas ao longo do ciclo celular (Blomen e Boonstra, 2011).

Nanney (1958) destacou que, com base nas evidências disponíveis, células com o mesmo genótipo podem apresentar diferentes fenótipos, indicando que a epigenética desempenha um papel importante na regulação da expressão das potencialidades geneticamente determinadas. Essa plasticidade fenotípica é essencial para a adaptação das plantas em ambientes em constante mudança, conforme afirmam Lima et al. (2017).

Segundo Newman e Müller (2000), características semelhantes podem surgir em diferentes linhagens de organismos por causa das pressões ambientais semelhantes ou a propriedades materiais genéricas, sem que haja um ancestral comum, caracterizando a homoplasia. Em contraste, a homologia refere-se a características que se originam de um ancestral comum, sugerindo que inovações morfológicas, inicialmente resultantes de processos epigenéticos, podem se tornar herdáveis ao longo do tempo. Essa compreensão é fundamental para elucidar como a epigenética contribui para a variação fenotípica observada em diversas populações. A expressão ou não expressão de características genéticas em uma célula raramente ocorre de maneira independente, pois a

ativação de um gene pode influenciar a expressão de outros, e vice-versa, podendo até mesmo impedir a expressão de outras características, um fenômeno conhecido como exclusão mútua (Nanney, 1958).

Essa interconexão entre genes e suas expressões é um aspecto central da regulação epigenética, onde modificações em um gene podem ter efeitos em cascata em redes de regulação gênica. Estudos indicam que a metilação do DNA pode regular a expressão de microRNAs, resultando em alterações que afetam não apenas um único gene, mas também uma rede complexa de interações gênicas (Ramzan; Vickers; Mithen, 2021).

Segundo Jablonka e Lamb (2002), o ambiente pode induzir e selecionar variações significativas em plantas, especialmente em contextos em que a linha germinativa não é segregada. Permitindo que características adquiridas sejam transmitidas à próxima geração (Nascimento, 2023). Essa transmissão de características adquiridas é um aspecto fascinante da epigenética, pois desafia a visão tradicional da hereditariedade que se baseia apenas na sequência de DNA, que dominou o pensamento evolutivo nos últimos 60 anos (Jablonka, 2012). Além disso, o desenvolvimento não canalizado implica que o processo de desenvolvimento é flexível e influenciado por fatores ambientais, resultando em diferentes fenótipos (Silva; Santos, 2015). Nesse cenário, o custo da seleção é reduzido, pois os loci variáveis, que são os locais no genoma onde ocorrem variações, são relativamente poucos e relevantes para as condições ambientais (Berridge; Waterhouse, 2003)

4.2 MECANISMOS DE MODIFICAÇÃO EPIGENÉTICA

A epigenética é fundamental na regulação da expressão gênica, atuando na ativação e silenciamento de genes por meio de mecanismos como a metilação e a acetilação do DNA e das histonas (Costa; Pacheco, 2013).

4.2.1 Metilação

A metilação do DNA é um mecanismo epigenético que envolve a adição de grupos metil à citosina (Moore; Le; Fan, 2013). Dependendo da posição do grupo metil ligado à citosina, a metilação do DNA pode atuar como uma marca repressora ou ativadora em um locus específico. Além disso, essa modificação interage com modificações nas histonas, influenciando a ligação da maquinaria de transcrição e moldando a paisagem da expressão gênica (Dhar et al., 2021).

Para entender melhor os mecanismos que regulam a expressão gênica em plantas, técnicas de modulação epigenética, como inibidores de desacetilase, têm sido exploradas. A utilização de inibidores de desacetilase pode levar a um estado de cromatina mais aberto, facilitando a expressão de genes que podem estar silenciados em condições normais (Kakoulidou et al., 2021). De acordo com Lucibelli, Valoroso e Aceto (2022), a metilação do DNA desempenha um papel crucial na regulação da expressão gênica e na adaptação das plantas a estresses ambientais. A desmetilação do DNA em plantas é um processo crucial que permite a reativação da expressão gênica. Esse processo é mediado por enzimas como ROS1 (Repressor de Silenciamento 1), DME (Demeter), DML2 (Demeter Semelhante 2) e DML3 (Demeter Semelhante 3), que removem grupos metila, permitindo a reativação de genes. Fatores ambientais influenciam esses padrões de desmetilação, possibilitando que as plantas se adaptem a novas condições e transmitam essas alterações para as gerações subsequentes (Lucibelli; Valoroso; Aceto, 2022).

Além disso, Pereira (2021) destacou que, embora haja um padrão de metilação comum entre as amostras analisadas, foram identificadas metilações exclusivas para cada clone em diferentes ambientes, sugerindo que essas variações epigenéticas resultam em adaptações específicas a cada condição ambiental.

4.2.2 Modificação nas histonas

Modificações nas histonas podem variar a cromatina entre um estado mais compacto ou mais aberto, seja por meio de padrões pós-traducionais ou pela ação de proteínas que se ligam às caudas das histonas. Além disso, alguns desses mecanismos podem ser propagados através da replicação do DNA e da

mitose, garantindo a herança dos estados da cromatina (Peterson; Laniel, 2004; Banister; Kouzarides, 2011). Como destacado por Ramazi, Allahverdi e Zahiri (2020) “As modificações que ocorrem nas histonas têm grande importância na regulação de processos celulares, como a replicação e reparação do DNA, além da transcrição gênica”.

De acordo com Koulidou et al. (2021), os autores investigaram o potencial de técnicas de modulação epigenética, incluindo o uso de inibidores de desacetilase de histonas, para promover características desejáveis nas plantas. Além disso, essas modificações não apenas regulam a estrutura da cromatina, mas também recrutam enzimas de remodelação que utilizam a energia da hidrólise de ATP para reposicionar os nucleossomos, afetando assim diversos processos do DNA, como reparo, replicação e recombinação (Banister; Kouzarides, 2011). As técnicas de modulação epigenética, como inibidores de desacetilase de histonas e inibidores de metilação do DNA, têm se mostrado promissoras na biotecnologia agrícola, permitindo a reativação de genes benéficos e o controle preciso da expressão gênica, o que pode resultar em plantas mais resistentes a estresses ambientais e com características agrônômicas melhoradas (Koulidou et al., 2021).

4.2.3 MicroRNA

“MicroRNAs (miRNAs) são RNAs regulatórios curtos que atuam como repressoras pós-transcricionais da expressão gênica em diversos contextos biológicos” (Dexheimer; Cochella, 2020, p. 1, tradução nossa).

Em várias condições de estresse a rede regulatória de RNA celular reage reduzindo a taxa de tradução geral e armazenando mRNAs selecionados para utilização posterior, após a cessação do fator estressante. Esse mecanismo de interrupção é considerado antigo e permite a seleção de recursos com o objetivo de garantir a sobrevivência em situações adversas (Mäkinen; Lõhmus; Pollari, 2017).

Os reguladores de RNA não codificantes (ncRNAs) são fundamentais em momentos específicos do desenvolvimento e em situações de estresse,

conforme apontam Altuvia, Storz e Wassarman (2005). Esses ncRNAs oferecem vantagens em contextos em que os recursos são escassos, uma vez que demandam menos energia e requerem um tempo menor para serem sintetizados em comparação com proteínas. Além disso, muitos desses reguladores atuam em níveis pós-transcricionais, o que possibilita uma resposta ágil a estímulos relacionados ao desenvolvimento ou ao ambiente.

Os microRNAs (miRNAs) são essenciais para o desenvolvimento adequado das funções em diversos tipos celulares; no entanto, ainda não se compreende completamente a funcionalidade entre os miRNAs e seus alvos, nem as consequências nas redes regulatórias gênicas (Dexheimer; Cochella, 2020).

Em síntese, os microRNAs são cruciais na regulação das respostas das plantas a estresses abióticos, permitindo adaptações essenciais para a sobrevivência em ambientes adversos. Um exemplo disso é o estudo de Li et al. (2022), que cita que "miR398 é um regulador central que responde a estresses abióticos, como estresse térmico e deficiência de nutrientes, e sua expressão é modulada por essas condições, impactando a adaptação e o desenvolvimento das plantas" (tradução nossa). Essa citação destaca a importância dos microRNAs na resiliência das plantas frente a desafios ambientais.

4.3 CONDIÇÕES DE CULTIVO E SEU IMPACTO NA EPIGENÉTICA

O estresse ambiental em plantas é um conceito importante que pode ser definido como "qualquer mudança nas condições de crescimento, dentro do habitat natural da planta, que altera ou interrompe sua homeostase metabólica. Tal mudança nas condições de crescimento requer um ajuste das vias metabólicas, visando alcançar um novo estado de homeostase, em um processo que geralmente é referido como aclimatação" (Mittler, 2006; Suzuki; Mittler, 2006, apud Shulaeva et al., 2020, tradução nossa).

Segundo Lichtenthaler (1996), as plantas têm uma resposta a condições ambientais adversas que prejudicam seu crescimento e desenvolvimento, podendo ser causadas por fatores como a disponibilidade de água, a irradiância

excessiva, temperaturas extremas e a presença de pragas e doenças, que podem comprometer o crescimento e a saúde das plantas. Além disso, a atividade humana, por meio do uso de pesticidas e da emissão de poluentes, agrava esses estresses, impactando negativamente a vegetação terrestre.

De acordo com Agrawal e Mukherjee (2018), a interferência humana, incluindo poluição do ar e propriedades do solo, têm um impacto significativo na vegetação de cobertura, influenciando suas características funcionais e respostas ao estresse, essas variáveis podem determinar a estrutura e a dominância das comunidades vegetais em ambientes urbanos. De acordo com Perez (2022), as plantas que entraram em contato direto com poluentes atmosféricos apresentaram impactos negativos na taxa de fotossíntese quando comparadas às plantas localizadas em áreas mais distantes da poluição.

Para entender melhor como esses fatores afetam as plantas, a ambientômica se torna uma ferramenta essencial. Esse campo estuda as interações entre organismos e seu ambiente, inclui a ambientipagem, uma abordagem essencial para identificar os fatores ambientais mais relevantes que influenciam o desenvolvimento das plantas. Essa compreensão é vital para o sucesso do melhoramento genético, pois permite uma análise mais profunda das interações entre genótipos e ambientes (Resende; Brondani, 2023).

Além disso, a adaptação das plantas a esses estresses é mediada por mecanismos bioquímicos. Segundo Araújo (2020), "tiorredoxinas são enzimas óxido-redutases presentes em todos os organismos e responsáveis pela manutenção da homeostase da célula vegetal e estabilização do seu estado redox"(p. 18). Essa função é crucial para a adaptação das plantas a diferentes estresses ambientais, conforme discutido por Martí, Jiménez e Sevilla (2020), que ressaltam a importância do sistema de tiorredoxinas na regulação do metabolismo mitocondrial e na resposta das plantas a condições adversas.

4.3.1 Salinidade

Estudos indicam que o estresse salino é um fator crítico que afeta a capacidade das plantas de absorver água, devido à redução do potencial

osmótico no solo. Essa condição prejudica o crescimento de diversas espécies vegetais, incluindo o milho, resultando em uma diminuição significativa da biomassa (Lara; Freitas; Teixeira, 2022).

No estudo realizado por Ferreira da Silva (2016), observou-se que o estresse salino teve um impacto significativo na taxa de assimilação de CO_2 resultando em uma redução de 9,41% e a condutância estomática uma redução de 7,02% em clones de cajueiro anão sob estresse salino, resultando em uma redução acentuada nas taxas fotossintéticas. Os resultados indicaram que, à medida que as concentrações de NaCl aumentavam, a condutância estomática diminuía, o que limitava a entrada de CO_2 no mesófilo foliar e, conseqüentemente, afetava negativamente a fotossíntese.

As mudas de cajueiro anão demonstram uma série de mecanismos de adaptação, incluindo a produção de antioxidantes não enzimáticos, como ascorbato e glutatona, que desempenham um papel crucial na mitigação dos danos oxidativos causados pela salinidade (Ferreira da Silva, 2016). Os antioxidantes desempenham um papel crucial na proteção contra o estresse oxidativo, atuando na neutralização de espécies reativas e na manutenção do equilíbrio redox celular (Pisoschi; Pop, 2015). A discussão sobre os antioxidantes será aprofundada em um tópico posterior, onde serão explorados seus mecanismos de ação e a regulação epigenética relacionada.

No estudo de Santos et al. (2022), foram analisadas quatro cultivares de arroz submetidas a estresse salino. Durante a análise, observou-se que a expressão de genes relacionados à metilação e desmetilação do DNA variou significativamente entre as cultivares, onde uma cultivar sensível apresentou uma diminuição na expressão da maioria desses genes, indicando uma forte repressão em resposta ao estresse salino e em contraste. A variedade modelo e as outras mostraram respostas diferentes, com um aumento na desmetilação, além disso. A cultivar que se destacou por sua alta produtividade apresentou níveis globais de metilação do DNA que diferiram das demais, indicando uma adaptação potencial ao estresse salino.

De acordo com Elnaggar (2023), um estudo que analisou a planta *Salsola drummondii* observou adaptações que permitem sua sobrevivência em ambientes salinos, destacando a capacidade dessa espécie de acumular NaCl

sem comprometer seu crescimento. Essas adaptações são complexas e envolvem mecanismos fisiológicos bem estabelecidos, incluindo a redução da condutância estomática para minimizar a perda de água, a manutenção de altos níveis de pigmentos clorofílicos e a atividade de enzimas antioxidantes que ajudam a mitigar os efeitos do estresse salino. Além disso, o autor sugere que a epigenética pode desempenhar um papel importante na tolerância à salinidade, influenciando a latência das sementes e as respostas de germinação em diferentes condições de salinidade.

Em ambientes salinos, foi observado em alguns estudos que a expressão de genes que desempenham um papel fundamental na autofagia, conhecidos como genes ATG, está relacionada à resistência à salinidade, incluindo arroz, trigo, pimenta, tabaco, entre outras (Luo et al., 2017; Passos et al., 2022).

A salinidade é um estressor significativo que afeta o crescimento e a produtividade das plantas. Alguns genes ATG têm sido relacionados ao estresse salino em diversas espécies, como demonstrado por Luo et al. (2017) e Passos et al. (2022). Compreender os mecanismos de ativação desses genes pode proporcionar um maior controle na gestão do estresse salino, permitindo a aplicação de estratégias em outras espécies. No entanto, é necessário analisar mais espécies para verificar se os mesmos genes mantêm essa relação.

A planta *S. drummondii* não apresentou diferenças significativas em biomassa entre plântulas controladas e aquelas tratadas com NaCl até 500 mM, demonstrando sua capacidade de crescimento em condições de salinidade elevada. Isso a torna um modelo promissor para entender a tolerância à salinidade em halófitos e para a restauração de ambientes degradados (Elnaggar, 2023). Nesse contexto, é possível que outras espécies resistentes a diferentes fatores estressantes, como seca ou temperaturas extremas, também apresentem mecanismos de resistência e adaptação. A investigação dos mecanismos epigenéticos e fisiológicos que essas espécies utilizam para lidar com estresses pode abrir novas possibilidades para aplicar essas estratégias em outras culturas, potencializando a resiliência e a produtividade em ambientes adversos, assim como observado em *S. drummondii*.

Estudos como o de Santos et al. (2022), ajudam a identificar mudanças nas respostas epigenéticas das plantas ao estresse salino, revelando que a

resposta das plantas de arroz é complexa e varia entre cultivares. A diminuição na expressão de genes relacionados à metilação do DNA em cultivares sensíveis sugere dificuldades na regulação das respostas ao estresse, resultando em menor adaptação e produtividade, em contrapartida, o aumento na expressão de genes de desmetilação pode indicar uma tentativa de reverter modificações epigenéticas. Assim, a metilação do DNA é crucial na adaptação das plantas de arroz ao estresse salino, e entender essas diferenças genotípicas é vital para desenvolver cultivares mais tolerantes, com implicações significativas para a agricultura em áreas salinas.

4.3.2 Temperatura

Altas temperaturas podem causar danos diretos ao desenvolvimento das plantas, dificultando seu crescimento e afetando negativamente a produtividade, como a redução da fotossíntese e a abscisão de flores e frutos (Silva et al., 2021). As plantas demonstram vulnerabilidade a temperaturas elevadas, pois o estresse térmico pode comprometer processos metabólicos essenciais, resultando em prejuízos significativos na saúde e produtividade vegetal. (Downs; Heckathorn, 1998).

Trento et al. (2021) afirmam que médias acima de 27,5°C, podem reduzir a frutificação do tomate em até 40%. As temperaturas ideais para a floração variam entre 18°C e 24°C, enquanto para o pegamento de frutos, o intervalo ideal é de 14°C a 24°C. Temperaturas superiores a 24°C durante a maturação podem resultar em abortamento de flores e frutos, além de causar coloração irregular nos frutos.

Moura (2023) constatou em um estudo sobre a germinação de sementes de bucha vegetal (*Luffa aegyptiaca*) que a temperatura teve um impacto significativo no índice de velocidade de germinação e no comprimento das plântulas. A germinação ocorreu de forma mais eficiente em temperaturas elevadas, enquanto nas temperaturas de 8°C e 16°C não houve germinação. Esses resultados evidenciam a temperatura como um fator crucial na germinação

das sementes de bucha, destacando sua importância nas condições experimentais analisadas.

As baixas temperaturas afetam negativamente as plantas, especialmente em culturas como o arroz, onde podem induzir a esterilidade e reduzir a produtividade, sendo esse impacto mais crítico durante a fase reprodutiva (Marschalek et al., 2022).

Como forma de amenizar o estresse térmico, estudos que utilizaram bioestimulantes, como o *Speed Advantage*®, demonstraram grande potencial. Esse bioestimulante, que possui altas concentrações de aminoácidos, carbono orgânico e nitrogênio, mostrou-se eficaz em aumentar a tolerância das plantas a temperaturas extremas (Pimenta, 2024).

De acordo com Perrella et al. (2022), a regulação epigenética desempenha um papel fundamental na resposta das plantas ao estresse térmico, envolvendo modificações como a metilação de DNA e alterações nas histonas, que ajudam a regular a expressão gênica em condições de temperatura elevada. Além disso, esses processos epigenéticos são essenciais para a memória de estresse, permitindo que as plantas se adaptem a eventos de estresse térmico recorrentes, tanto na mesma geração quanto em gerações futuras.

4.3.3 Luminosidade

A exposição à luz solar influencia significativamente a eficiência fotossintética do cacaueteiro, com as folhas adaptando-se para maximizar a captura de luz e minimizar os danos causados pelo excesso de energia. Essa capacidade de aclimação a diferentes intensidades de luz é crucial para a sobrevivência e produtividade dos genótipos de *Theobroma cacao*, que demonstram variações na plasticidade fisiológica e fenotípica em resposta ao estresse gerado pela luz solar (Pinto et al., 2022).

O estresse luminoso provoca respostas antioxidantes em folhas de espécies arbóreas, indicando que essas plantas possuem diversos mecanismos de aclimação (Lopes Oliveira, 2019). Embora o óxido nítrico (NO) geralmente

atue como um sinalizador que ativa defesas contra o estresse, Lopes Oliveira (2019) sugere que, em algumas espécies, a resposta ao excesso de luz não depende do NO, o que aponta para diferentes estratégias de adaptação ao estresse luminoso.

Na pesquisa de Thiel (2023), os resultados indicam que as plantas de *Arabidopsis*, quando submetidas a diferentes intensidades luminosas, apresentaram um comportamento fotossintético semelhante. Entre os três genótipos avaliados, embora com um leve favorecimento para as plantas do genótipo *lut2* (um mutante deficiente na formação de luteína, uma xantofila importante para a fotoproteção). As plantas mutantes *npq1* (um mutante deficiente na formação de zeaxantina, uma xantofila crucial para a fotoproteção) e *lut2* apresentaram falhas nos mecanismos de fotoproteção sob altas intensidades luminosas, sem comprometer o metabolismo enzimático antioxidante, evidenciando a importância das xantofilas na dissipação do excesso luminoso e na proteção da maquinaria fotossintética. Complementarmente, as respostas observadas nas mudas de *Hedyosmum popayanensis* e *Calycophyllum estrellensis* ao sol pleno podem estar associadas a mecanismos epigenéticos que regulam a expressão gênica em resposta a condições ambientais adversas, o que pode favorecer uma adaptação mais eficiente das plantas pioneiras a ambientes de alta luminosidade em comparação com as não pioneiras (Lopes Oliveira, 2019).

Por fim, de acordo com Soares et al. (2009), as plantas cultivadas em sistemas silvipastoris, que incluem diversas espécies forrageiras perenes de verão, experimentam menor radiação solar, o que resulta em um acúmulo reduzido de graus-dias, afetando negativamente a fenologia e a morfogênese das espécies forrageiras. Essa diminuição na luminosidade pode ser considerada uma forma de estresse, uma vez que a fotossíntese e o crescimento das plantas dependem diretamente da intensidade luminosa disponível. Lemos-Filho (2000) observa que a foto-inibição nas plantas do cerrado aumentou de 60% na estação chuvosa para 80% na estação seca.

Além disso, a eficiência fotossintética das plantas caiu durante a seca, em comparação com a estação chuvosa, indicando que a combinação de déficit hídrico e altos níveis de irradiância aumenta a foto-inibição, refletindo um impacto

negativo na produtividade das espécies analisadas. Além das respostas fisiológicas e antioxidantes observadas em plantas sob estresse luminoso, mudanças nos marcadores epigenéticos em resposta ao estresse UV podem estar ligadas à memória epigenética, embora a relação exata entre a ativação de vias de sinalização e as modificações cromatínicas persistentes ainda não esteja clara" (Müller-Xing, Xing e Goodrich, 2014).

4.3.4 Fatores bióticos

Soares e Machado (2007) afirmam que os organismos vegetais conseguem alterar seu plano de desenvolvimento para contornar situações desfavoráveis, como ataques de pestes ou patógenos. Além disso, os autores discutem que a rota octadecanóide é uma via de sinalização que desencadeia a formação do ácido jasmônico, um hormônio vegetal que ativa as defesas das plantas (Jordán ; Casaretto, 2006). Eles também ressaltam que o peróxido de hidrogênio, anteriormente considerado uma molécula danosa, está relacionado à defesa vegetal.

4.3.5 Estresse oxidativo

Segundo Nascimento e Barrigossi (2014), a exposição das plantas a estresses bióticos, como insetos herbívoros e fungos fitopatogênicos, aumenta a produção de espécies reativas de oxigênio. Isso leva as células vegetais a utilizarem um sistema de defesa antioxidante. As enzimas antioxidantes desempenham um papel crucial na eliminação de espécies reativas de oxigênio formadas durante esses ataques (Ribeiro et al., 2005).

4.4 SEMENTES: ARMAZENAMENTO E QUEBRA DE DORMÊNCIA

Pirredda et al. (2020) investigaram os efeitos de diferentes condições de armazenamento sobre a estabilidade genética e epigenética de sementes de centeio (*Secale cereale*). Foi observado que, embora a estabilidade genética das sementes armazenadas fosse alta, as plantas obtidas a partir dessas sementes

mostraram diferenças em relação às plantas de sementes não armazenadas. Isso sugere que condições de armazenamento podem influenciar não apenas a viabilidade das sementes, mas também as características fenotípicas das plantas resultantes, possivelmente devido a alterações epigenéticas que ocorrem durante o armazenamento.

De acordo com Martins e Lago (2008), a conservação das sementes é fundamental para garantir sua qualidade, sendo que fatores como o teor de umidade e a temperatura de armazenamento desempenham papéis essenciais na manutenção da viabilidade e no comportamento fisiológico das sementes. No estudo de Silva (2023), o desponte e a escarificação com lixa nº 80 mostraram-se os métodos mais eficazes na velocidade de emergência, pontuando que a quebra da dormência influencia significativamente a eficiência da germinação. A retirada parcial do tegumento favorece a absorção de água, contribuindo para esse aumento da eficiência.

De acordo com da Silva et al. (2022), o método de armazenamento das sementes de *Myracrodruon urundeuva* em sacos de papel refrigerados demonstrou ser mais eficaz para manter a viabilidade por até 360 dias, pois reduz a variação de umidade e minimiza a deterioração, em comparação a recipientes plásticos e de vidro. Isso demonstra que um acondicionamento adequado pode garantir melhores condições para a germinação.

No estudo de Silva Neto et al., (2022), observou-se que o armazenamento das sementes após a extração é crucial para a redução do teor de água, o que, por sua vez, diminui a ocorrência de fungos e outros microrganismos. O tempo de armazenamento pode variar entre as cultivares; por exemplo, as sementes da cultivar 'Mayapan' necessitam de um período maior de armazenamento para aumentar a chance de germinação devido ao processo de dormência. Já as sementes da cultivar 'Calakmul' tendem a perder a capacidade germinativa com o aumento do tempo de armazenamento pós-extração, indicando que não devem passar pelo processo de quebra de dormência dentro dos frutos após a colheita. A quebra de dormência pode ser induzida por diversos fatores e é essencial para otimizar a produção e aumentar a eficiência dos plantios. Ao avaliar métodos para superar a dormência tegumentar das sementes de *Mimosa caesalpinifolia*, tratamentos como escarificação mecânica e imersão em água quente mostraram

maior eficácia na quebra da dormência (Vasconcelos et al., 2022). A relação entre epigenética e a dormência de sementes é evidenciada no estudo de Sato et al. (2021) pelas modificações nas marcas epigenéticas, como H3K27me3 e H3K9me2, que são modificações na histona H3 e influenciam a repressão de genes específicos, afetando a capacidade de germinação das sementes em diferentes condições ambientais.

4.5 GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

As modificações epigenéticas, como a metilação do DNA e modificações nas histonas, são fundamentais para a transição entre os estados de dormência e germinação. Isso permite que as sementes respondam a sinais ambientais, como umidade e temperatura, ajustando sua atividade gênica para promover a germinação no momento adequado. Assim, a regulação epigenética assegura a viabilidade e a adaptabilidade das sementes em um ambiente em constante mudança (Luján-Soto; Dinkova, 2021).

Além disso, os resultados da pesquisa de Vasconcelos et al. (2022) evidenciaram que a taxa de emergência das sementes de *Mimosa caesalpiniiifolia* foi superior a 90% em todos os tratamentos testados. No entanto, o índice de velocidade de emergência variou entre os métodos com os tratamentos que incluíram imersão em água e ácido sulfúrico apresentando melhor desempenho. Isso indica que esses métodos são mais eficazes para aumentar o vigor das sementes, refletindo a importância das condições de cultivo na capacidade de germinação.

A importância das condições de cultivo e das modificações epigenéticas também se reflete em outras espécies. De acordo com López-Castañeda et al. (1996), diversos fatores contribuem para o maior vigor inicial da cevada em comparação com outros cereais de clima temperado. Entre esses fatores, destacam-se a temperatura base mais baixa para o crescimento, a maior eficiência na utilização das reservas de sementes e o desenvolvimento de células epidérmicas foliares maiores, que resultam em uma área foliar superior. Esses

aspectos são fundamentais para o crescimento inicial e a competitividade da cevada em ambientes de cultivo.

Por fim, a análise de Pereira (2021), revelou uma correlação significativa entre os perfis de metilação do DNA e características fenotípicas relacionadas ao crescimento das plantas, como altura, volume e diâmetro à altura do peito. Isso indica que as variações nos padrões de metilação podem afetar diretamente o desenvolvimento dessas características, sugerindo que modificações epigenéticas desempenham um papel crucial na expressão de atributos fenotípicos desejáveis. Evidenciando a importância da epigenética na adaptação e no melhoramento das plantas, conectando as práticas de cultivo e armazenamento com os resultados fenotípicos.

4.6 HEREDITARIEDADE E DESCOBERTAS

De acordo com Abdulraheem et al. (2024), descobertas recentes mostram que as plantas utilizam diversos mecanismos epigenéticos, como a metilação do DNA e modificações nas histonas, para se adaptar a estresses ambientais, incluindo a escassez de água e altas temperaturas. Esses mecanismos são fundamentais para a regulação da expressão gênica, permitindo que as plantas ajustem suas respostas a condições adversas. Além disso, a manipulação dessas modificações epigenéticas pode ser uma estratégia promissora para desenvolver culturas mais resistentes, especialmente diante das mudanças climáticas, que exigem adaptações rápidas para garantir a sustentabilidade agrícola.

A reavaliação das práticas de melhoramento de plantas é essencial devido às rápidas mudanças no contexto global e às crescentes demandas dos consumidores por sustentabilidade, conforme destacado por Lopes (2023). Ele enfatiza a importância de alinhar essas práticas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a colaboração entre diferentes partes interessadas. Nohama, Soares da Silva e Simão-Silva (2021) afirmam que esse cenário caracterizado pela vasta biodiversidade do Brasil e pelo uso crescente

de biotecnologias é propício para a aplicação de tecnologias de edição genética na área ambiental e agropecuária.

Lara , Freitas e Teixeira (2022) investigaram o impacto do estresse salino em plantas de milho, observando alterações significativas no padrão de metilação apenas no grupo exposto a maior salinidade, o que indica a necessidade de mais pesquisas para compreender as respostas epigenéticas ao estresse salino. Costa Neto et al. (2020) complementam essa visão ao afirmar que o uso de informações ambientais é uma estratégia econômica valiosa para modelar e interpretar a interação entre genótipos e ambientes.

A pesquisa em epigenética também indica a existência de dois tipos principais de herança que influenciam a capacidade das plantas de lidar com estresses ambientais. A herança epigenética hereditária permite que modificações epigenéticas sejam transmitidas para as gerações seguintes, aumentando a resiliência das populações, enquanto a herança não hereditária refere-se a alterações temporárias que podem ser revertidas quando o estresse é removido (Abdulraheem et al., 2024).

Anastasiadi et al. (2021) afirmam que organismos que se reproduzem vegetativamente, um tipo de reprodução assexuada onde novos indivíduos se formam a partir de partes do organismo parental, têm maior potencial para herança epigenética, pois não possuem uma linha germinativa distinta.

Lucibelli, Valoroso e Aceto (2022) discutem a genômica impronta em plantas, que regula a expressão gênica com base na origem parental, influenciando características como o tamanho da semente e a alocação de recursos. Sato et al. (2021) sugerem que futuras pesquisas devem focar na manipulação das marcas epigenéticas para melhorar a germinação das sementes, ressaltando a importância de investigar como essas modificações podem ser manipuladas. Shin et al. (2022) mencionam que as pesquisas sobre edição do epigenoma em plantas incluem a manipulação de modificações epigenéticas, embora ainda sejam necessárias investigações adicionais para garantir a precisão na manipulação dessas marcas e entender a herança transgeracional.

As variações na metilação do DNA estão intimamente ligadas ao genótipo, sugerindo que o contexto genético dos clones afeta a maneira como eles reagem

a mudanças nas condições ambientais (Pereira, 2021). Essa relação é crucial para entender como as plantas podem se adaptar a diferentes ambientes e estresses.

A correlação significativa entre padrões de metilação e características fenotípicas, como altura e diâmetro, destaca a importância da epigenética na seleção de características desejáveis em programas de melhoramento. Essas associações podem ser exploradas para prever o desempenho das plantas em diferentes ambientes (Pereira, 2021).

No estudo de Reis et al. (2020), foi analisada a expressão de alguns genes relacionados ao estresse, que aumentaram com a exposição ao NaCl, sugerindo sua importância na adaptação de *Rosa rugosa* a condições de salinidade. A identificação desses genes não apenas destaca os mecanismos de resistência dessa espécie, mas também pode servir como um ponto de partida para investigações em outras espécies. Ao compreender quais genes são ativados em resposta à salinidade, podemos expandir nosso conhecimento sobre a adaptação de diferentes plantas a ambientes estressantes. Essa abordagem pode facilitar a seleção de culturas mais resilientes e a aplicação de técnicas de melhoramento genético, contribuindo para a sustentabilidade agrícola em face das mudanças climáticas e da degradação ambiental.

Estudos de Pereira (2021) identificaram que, mesmo em clones, há mudanças exclusivas de metilação que podem indicar um possível fator ambiental influenciando a expressão gênica. Essa variabilidade sugere que, apesar da similaridade genética entre os indivíduos, as condições externas podem provocar alterações epigenéticas significativas e exclusivas. Essa observação levanta questões sobre como as plantas podem estar respondendo a estresses ambientais e quais mecanismos podem estar em jogo para ajustar seus perfis de metilação. A discussão sobre essas mudanças epigenéticas exclusivas pode abrir novas perspectivas para entender a adaptação das plantas a diferentes contextos ambientais e suas implicações para o melhoramento genético.

Além disso, a endogamia, que é o cruzamento entre indivíduos geneticamente relacionados, está associada a diversas mudanças genéticas e epigenéticas. Os autores Achrem, Stępień e Kalinka (2023) destacam que a

variação epigenética pode aumentar a produtividade e a estabilidade das populações de plantas, além de potencializar sua capacidade evolutiva. Essa compreensão é fundamental para o melhoramento genético e a conservação da diversidade genética nas culturas agrícolas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação de genes específicos relacionados ao estresse em diferentes espécies de vegetais sugere que pode haver mecanismos de adaptação semelhantes diante de condições adversas. Essa similaridade pode indicar que, apesar da diversidade entre as espécies, algumas respostas epigenéticas podem ser compartilhadas, refletindo uma estratégia comum de sobrevivência. No entanto, é fundamental expandir as investigações para incluir uma maior variedade de espécies e contextos ambientais, a fim de compreender plenamente a complexidade das respostas adaptativas e validar essas observações em um espectro mais amplo de plantas. Essa abordagem permitirá um entendimento mais robusto dos mecanismos de resiliência e contribuirá para o desenvolvimento de estratégias de melhoramento genético mais eficazes.

Plantas pioneiras que são expostas a estresses desde o início do seu desenvolvimento demonstram uma maior capacidade de adaptação. Portanto, é fundamental investigar os mecanismos pelos quais essas adaptações são transmitidas entre gerações. Além disso, fatores bióticos, como insetos e fitopatógenos, têm um impacto significativo na saúde das plantas, levando-as a produzir compostos antioxidantes como resposta ao estresse. Nesse contexto, a utilização de fauna edáfica ou micorrizas para ajudar a mitigar esses estresses representa um campo promissor que ainda necessita de mais pesquisa.

Plantas que já demonstram resistência e tolerância a determinados estresses podem servir como modelos valiosos para futuros estudos sobre os mecanismos de adaptação. A análise dessas espécies pode oferecer *insights* importantes que podem ser aplicados a outras plantas similares, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de manejo e melhoramento genético que visem aumentar a resiliência das culturas diante de condições adversas.

As adaptações das plantas a estresses ambientais podem ter implicações na qualidade e segurança alimentar, além de levantar questões éticas relacionadas à modificação genética e seus efeitos nos ecossistemas. Investigações futuras podem se concentrar nas possíveis implicações dessas adaptações.

REFERÊNCIAS

ABDULRAHEEM, Mukhtar Iderawumi; XIONG, Yani; MOSHOOD, Abiodun Yusuff; CADENAS-PLIEGO, Gregorio; ZHANG, Hao; HU, Jiandong. Mechanisms of plant epigenetic regulation in response to plant stress: recent discoveries and implications. *Plants*, v. 13, p. 163, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13020163>. Acesso em: 16 ago. 2024.

ACHREM, Magdalena; STĘPIEŃ, Edyta; KALINKA, Anna. Epigenetic changes occurring in plant inbreeding. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 6, p. 5407, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms24065407>. Acesso em: 16 ago. 2024.

AGRAWAL, Madhoolika; MUKHERJEE, Arideep. The influence of urban stress factors on responses of ground cover vegetation. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 36, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3437-5>. Acesso em: 17 ago. 2024.

ALTUVIA, Shoshy; STORZ, Gisela; WASSARMAN, Karen M. An abundance of RNA regulators. *Annual Review of Biochemistry*, v. 74, p. 199–217, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.74.082803.133136>. Acesso em: 17 ago. 2024.

ANASTASIADI, Dafni; VENNEY, Clare J.; BERNATCHEZ, Louis; WELLENREUTHER, Maren. Epigenetic inheritance and reproductive mode in plants and animals. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 36, n. 12, p. 1124-1140, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.08.006>. Acesso em: 17 ago. 2024.

ANDRADE, Fernanda Alves de. Análise da expressão gênica de *Stylosanthes scabra* Vogel sob condição de déficit hídrico. 2022. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/47132>. Acesso em: 17 ago. 2024.

ARAÚJO, Fabiana Silva de. Expressão gênica de tiorredoxinas h em eucalipto em resposta ao estresse salino. 2020. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, RN, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/29260>. Acesso em: 17 ago. 2024.

BANISTER, Andrew J.; KOUZARIDES, Tony. Regulação da cromatina por modificações nas histonas. *Cell Research*, v. 21, n. 3, p. 381–395, mar. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/cr.2011.22>. Acesso em: 16 out. 2024.

BERRIDGE, Craig W.; WATERHOUSE, Barry D. The locus coeruleus-noradrenergic system: modulation of behavioral state and state-dependent cognitive processes. *Trends in Neurosciences*, v. 26, n. 11, p. 582-590, 2003. DOI: 10.1016/s0165-0173(03)00143-7. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(03\)00143-7](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(03)00143-7). Acesso em: 10 nov. 2024.

BLOMEN, Johannes; BOONSTRA, Vincent. Stable transmission of reversible modifications: maintenance of epigenetic information through the cell cycle. *Cellular and Molecular Life Sciences*, v. 68, n. 1, p. 27-44, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00018-010-0505-5>. Acesso em: 08 ago. 2024.

BORÉM, Aluizio; MIRANDA, Glauco Vieira; FRITSCHÉ-NETO, Roberto. Melhoramento de plantas. 8. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. ISBN 9786586235357. Data da publicação: 07 jan. 2022.

COSTA NETO, Germano Martins Ferreira; DUARTE, João Batista; CASTRO, Adriano Pereira de; HEINEMANN, Alexandre Bryan. Uso de informações ambientais na modelagem e interpretação da interação genótipo x ambiente: revisão bibliográfica. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n. 56. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2020. 46 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124389>. Acesso em: 08 nov. 2024.

COSTA, Everton de Brito Oliveira; PACHECO, Cristiane. Epigenética: regulação da expressão gênica em nível transcricional e suas implicações. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 125–136, 2013. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/seminario/article/view/5142>. Acesso em: 25 out. 2024.

DEXHEIMER, Philipp J.; COCHELLA, Luisa. MicroRNAs: from mechanism to organism. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, v. 8, p. 409, 2020. DOI: 10.3389/fcell.2020.00409. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00409>. Acesso em: 5 out. 2024.

DHAR, Gaurab Aditya; SAHA, Shagnik; MITRA, Parama; NAG CHAUDHURI, Ronita. DNA methylation and regulation of gene expression: guardian of our health. *The Nucleus*, v. 64, n. 3, p. 259-270, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13237-021-00367-y>. Acesso em: 13 out. 2024.

DOWNS, Craig A.; HECKATHORN, Scott A. The mitochondrial small heat-shock protein protects NADH:ubiquinone oxidoreductase of the electron transport chain during heat stress in plants. *FEBS Letters*, 1998, v. 430, n. 3, p. 246-250. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0014-5793\(98\)00669-3](https://doi.org/10.1016/s0014-5793(98)00669-3). Acesso em: 06 out. 2024.

ELNAGGAR, Attiat Attia Mohi. Regulación de la tolerancia a la sequía y a la salinidad en especies de *Salsola L.* en los desiertos áridos de los Emiratos Árabes Unidos. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade de Málaga. Diretores: Prof. Dr. Teresa Navarro Del Águila, Prof. Dr. Ali El-Keblawy, Dr. Kareem A. Mosa. Disponível em: [oai:riuma.uma.es:10630/19744](https://oai.riuma.uma.es:10630/19744). Acesso em: 06 out. 2024.

FERNANDES, Julia Morais. *Bryophyllum pinnatum* e *Kalanchoe laciniata*: estudo fitoquímico, metabolômico e avaliação da inibição da atividade fosfolipásica da peçonha de *Bothrops erythromelas* de extratos obtidos sob diferentes condições

de cultivo. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Orientadora: Silvana Maria Zucolotto Langassner. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/28365>. Acesso em: 06 out. 2024.

JABLONKA, Eva. Epigenetic variations in heredity and evolution. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, v. 92, n. 6, p. 683-688, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/clpt.2012.158>. Acesso em: 04 out. 2024.

JABLONKA, Eva; LAMB, Marion. Epigenetic inheritance in evolution. *Journal of Evolutionary Biology*, v. 15, n. 6, p. 180-200, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1998.11020159.x>. Acesso em: 04 out. 2024.

JORDÁN, Miguel; CASARETTO, José. Hormonas y reguladores del crecimiento: etileno, ácido abscísico, brasinosteroides, poliaminas, ácido salicílico y ácido jasmónico. In: SQUEO, F.A.; CARDEMIL, L. (Eds.). *Fisiologia Vegetal*. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena, 2006. Capítulo XVI. Disponível em: <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Etileno,aba,jasmonico,brasino.pdf>. Acesso em: 22 set. 2024.

KAKOULIDOU, Ioanna; AVRAMIDOU, Evangelia V.; BARÁNEK, Miroslav; BRUNEL-MUGUET, Sophie; FARRONA, Sara; JOHANNES, Frank; KAISERLI, Eirini; LIEBERMAN-LAZAROVICH, Michal; MARTINELLI, Federico; MLADENOV, Velimir; TESTILLANO, Pilar S.; VASSILEVA, Valya; MAURY, Stéphane. Epigenetics for crop improvement in times of global change. *Biology*, v. 10, n. 766, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biology10080766>. Acesso em: 16 ago. 2024.

LARA, Camila Clozato; FREITAS, Ludmilla Silva; TEIXEIRA, Aline Finger. Estresse salino no cultivo do milho: alterações no desenvolvimento e possíveis desdobramentos em padrões epigenéticos. *Revista de Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 7, n. 1, p. 1-34, 2022. Publicado em: 29 dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21575/25254790rmmmaa2022vol7n11434>. Acesso em: 17 set. 2024.

LEMONS-FILHO, José Pires de. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 45-50, mar. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S010084042000000100005>. Acesso em: 15 set. 2024.

LI, Jing; SONG, Qiaoqiao; ZUO, Zhi-Fang; LIU, Lin. MicroRNA398: A Master Regulator of Plant Development and Stress Responses. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 23, n. 10803, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms231810803>. Acesso em: 08 nov. 2022.

LICHTENTHALER, Hartmut. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *Journal of Plant Physiology*, v. 148, n. 4, p. 1-14, dez. 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80287-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80287-2). Acesso em: 18 set. 2024.

LIMA, Neuza Rejane Wille; SODRÉ, Gabriel Araujo; LIMA, Helena Roland Rodrigues; PAIVA, Selma Ribeiro de; COUTINHO, Ana Joffily. Plasticidade fenotípica. *Revista Ciência Elementar*, v. 5, n. 2, p. 017, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.24927/rce2017.017>. Acesso em: 12 set. 2024.

LOPES, Mauricio Antonio. Rethinking plant breeding and seed systems in the era of exponential changes. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 47, e0001R23, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542023470001R23>. Acesso em: 12 set. 2024.

LOPES-OLIVEIRA, Patrícia Juliana. Respostas ecofisiológicas de mudas de espécies arbóreas neotropicais ao estresse luminoso: efeito do doador de óxido nítrico livre e nanoencapsulado. 2024. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024. Acesso aberto. Disponível em: <https://repositorio.uel.br/handle/123456789/9954>. Acesso em: 13 set. 2024

LÓPEZ-CASTAÑEDA, Cándido; RICHARDS, Richard A.; FARQUHAR, Graham D.; WILLIAMSON, Ralph E. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science*, v. 36, n. 5, p. 1257-1266, set. 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600050031x>. Acesso em: 23 set. 2024

LUCIBELLI, Francesca; VALOROSO, Maria Carmen; ACETO, Serena. Plant DNA Methylation: An Epigenetic Mark in Development, Environmental Interactions, and Evolution. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 23, n. 15, p. 8299, 27 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms23158299>. Acesso em: 13 set. 2024.

LUJÁN-SOTO, Eduardo; DINKOVA, Tzvetanka D. Time to wake up: epigenetic and small-RNA-mediated regulation during seed germination. *Plants*, v. 10, n. 2, p. 236, 26 jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants10020236>. Acesso em: 16 ago. 2024.

LUO, Liming; ZHANG, Pingping; ZHU, Ruihai; FU, Jing; SU, Jing; ZHENG, Jing; WANG, Ziyue; WANG, Dan; GONG, Qingqiu. Autophagy is rapidly induced by salt stress and is required for salt tolerance in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, art. 1459, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01459>. Acesso em: 24 out. 2024.

MÄKINEN, Kristiina; LÖHMUS, Andres; POLLARI, Maija. Plant RNA regulatory network and RNA granules in virus infection. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, art. 2093, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02093>. Acesso em: 15 out. 2024.

MARSCHALEK, Rubens; EICHSTADT, Edemar; VERDI, Ricieri; TERRES, Laerte R.; FACCHINELLO, Paulo H. Karling; MASSIGNAM, Angelo Mendes; RODRIGUES, Maria Laura Guimaraes; VIEIRA, Hamilton Justino; SANGOI, Luis.

Comportamento de linhagem de arroz irrigado tolerante a frio (SC 806) sob ocorrência de baixas temperaturas em campo, na fase reprodutiva, na safra 2020/2021. In: XII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2022, Santa Maria, RS. Resumo expandido. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811712212023103>. Acesso em: 15 out. 2024.

MARTÍ, María Carmen; JIMÉNEZ, Ana; SEVILLA, Francisca. Thioredoxin Network in Plant Mitochondria: Cysteine S-Posttranslational Modifications and Stress Conditions. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 571288, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.571288>. Acesso em: 11 out 2024.

MARTINS, Leila; LAGO, Antonio Augusto do. Conservação de semente de *Cedrela fissilis*: teor de água da semente e temperatura do ambiente. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 30, n. 1, p. 161-167, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222008000100020>. Acesso em: 10 out 2024.

MOORE, Lisa D.; LE, Thuc; FAN, Guoping. DNA methylation and its basic function. *Neuropsychopharmacology*, v. 38, n. 1, p. 23-38, 2013. doi: 10.1038/npp.2012.112. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/npp.2012.112>. Acesso em: 16 out. 2024.

MOURA, Jéssica Roza. Germinação de Camomila e Bucha Vegetal em Diferentes Condições de Temperatura e Luminosidade. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2023. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/7716>. Acesso em: 08 out 2024.

MÜLLER-XING, Ralf; XING, Qian; GOODRICH, Justin. Memory of UV and light stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, v. 5, p. 474, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00474>. Acesso em: 16 nov. 2024.

NANNEY, David L. Epigenetic control systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 44, p. 712-716, 1958. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.44.7.712>. Acesso em: 26 out. 2024.

NASCIMENTO, Jacqueline Barbosa; BARRIGOSI, José Alexandre Freitas. O papel das enzimas antioxidantes na defesa das plantas contra insetos herbívoros e fitopatógenos. *Agrarian Academy*, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 234-250, 2014. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/14453>. Acesso em: 20 out. 2024.

NASCIMENTO, Nivaldo Ferreira do. Desempenho zootécnico e caracterização da linhagem germinativa de peixes diploides e triploides de lambari (*Astyanax altiparanae*). Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura (CAUNESP), 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/134050>. Acesso em: 19 out. 2024.

NEWMAN, Stuart A.; MÜLLER, Gerd B. Epigenetic mechanisms of character origination. *Journal of Experimental Zoology*, v. 288, n. 4, p. 304-317, 2000.

Disponível em: [https://doi.org/10.1002/1097-010X\(20001215\)288:4<304::AIDJEZ3>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1097-010X(20001215)288:4<304::AIDJEZ3>3.0.CO;2-G). Acesso em: 16 out. 2024.

NOHAMA, Norton; SILVA, Jefferson Soares da; SIMÃO-SILVA, Daiane Priscila. O impacto ambiental da edição genética no Brasil: uma abordagem a partir da bioética global. *Temáticas*, Campinas, SP, v. 29, n. 58, p. 13–48, 2021. DOI: 10.20396/tematicas.v29i58.15161. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/tematicas/article/view/15161>. Acesso em: 01 nov. 2024.

PAREJO-FARNÉS, Clara; APARICIO, Abelardo; ALBALADEJO, Rafael G. An approach to the ecological epigenetics in plants. *Ecosistemas*, v. 28, n. 1, p. 6974, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1605>. Acesso em: 01 nov. 2024.

PARO, Renato; GROSSNIKLAUS, Ueli; SANTORO, Raffaella; WUTZ, Anton. *Introduction to Epigenetics*. Cham: Springer Nature, 2021. ISBN 978-3-03068670-3. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK585706/>. Acesso em: 02 nov. 2024.

PASSOS, Sabrina Spiering; MALTZAHN, Latóia Eduarda; SOLARI, Flávia Lopes; BOMBO, Leticia Tonelli; PEGORARO, Camila; MAIA, Luciano Carlos da. "Perfil de expressão do gene OsATG3a em arroz submetido à salinidade." 2022. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/9645>. Acesso em: 24 out. 2024.

PEREIRA, Wendell Jacinto. Padrões diferenciais de metilação do DNA em escala genômica de clones de *Eucalyptus* em ambientes variáveis. 2021. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/39882>. Acesso em: 24 out. 2024.

PEREZ, Diego Rafael. Avaliações fisiológicas em uma reserva às margens da rodovia BR 060: o impacto da poluição atmosférica na vegetação do Cerrado. TCC. Instituto Federal Goiano, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2673>. Acesso em: 21 out. 2024.

PERRELLA, Giorgio; BÄURLE, Isabel; ZANTEN, Martijn van. Epigenetic regulation of thermomorphogenesis and heat stress tolerance. *New Phytologist*, v. 234, p. 1144-1160, 2022.. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.17970>. Acesso em: 14 nov. 2024.

PETERSON, Craig L.; LANIEL, Marc-André. Histones and histone modifications. *Current Biology*, v. 14, n. 14, p. R546-R551, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.07.007>. Acesso em: 20 out. 2024.

PIMENTA, Amábelle Victoria Rodrigues. BIOESTIMULANTES NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO NA GERMINABILIDADE DE SEMENTES DE MILHO. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Iporá,

Iporá, GO, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/4634>. Acesso em: 16 ago. 2024.

PINTO, Jailson Mauricio; LIMA, Isamara Oliveira; CAO, J.; FAVERO, R. G.; SILVA, M. B. Cacaucultura no Brasil: análise bibliográfica de como a luz altera a eficiência fotossintética em genótipos do cacau. *Agriculturae*, v. 4, n. 1, p. 24-30, jan.-dez. 2022. Licença: CC BY-NC-ND 4.0. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-645X.2022.001.0003>. Acesso em: 17 ago. 2024..

PIRREDDA, Michela; GONZÁLEZ-BENITO, M. Elena; MARTÍN, Carmen; MIRA, Sara. Genetic and epigenetic stability in rye seeds under different storage conditions: ageing and oxygen effect. *Plants*, v. 9, n. 393, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9030393>. Acesso em: 16 ago. 2024.

PISOSCHI, Aurelia Magdalena; POP, Aneta. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, v. 97, p. 55-74, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>. Acesso em: 16 ago. 2024.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. *Metodologia do Trabalho Científico*. Universidade Feevale. Novo Hamburgo: Resvale, 2021. 277 p.

RAMAZI, Shahin; ALLAHVERDI, Abdollah; ZAHIRI, Javad. Avaliação das modificações pós-traducionais nas proteínas histonas: uma revisão sobre os defeitos de modificação das histonas em distúrbios do desenvolvimento e neurológicos. *Journal of Biosciences*, v. 45, n. 1, p. 135, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33184251/>. Acesso em: 16 ago. 2024.

RAMZAN, Farha; VICKERS, Mark H.; MITHEN, Richard F. Epigenetics, microRNA and Metabolic Syndrome: A Comprehensive Review. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 5047, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms22095047>. Acesso em: 18 out. 2024.

REIS, Michele Valquíria dos; ROUHANA, Laura Vaughn; PAIVA, Patrícia Duarte de Oliveira; SILVA, Diogo Pedrosa Correia da; PAIVA, Renato; KORBAN, Schuyler. Respostas transcricionais de *Rosa rugosa* ao estresse e choque salino. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 44, 2020. e008220. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044008220>. Acesso em: 18 out. 2024.

RESENDE, Rafael Tassinari; BRONDANI, Claudio. *Melhoramento de precisão: aplicações e perspectivas na genética de plantas*. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 326 p. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1155985>. Acesso em: 19 out. 2024.

RESÉNDIZ, Mariela Martínez. Epigenética y metilación: mediadores de adaptación en plantas. *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, v. 3, n. 5, p.

100–107, 30 jun. 2020. Disponível em: <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/224>. Acesso em: 12 out. 2024.

RIBEIRO, Sonia Machado Rocha; QUEIROZ, José Humberto de; PELUZIO, Maria do Carmo Gouveia; COSTA, Neuza Maria Brunoro; MATTA, Sergio Luiz Pinto da; QUEIROZ, Maria Eliana Lopes Ribeiro. A formação e os efeitos das espécies reativas de oxigênio no meio biológico. *Bioscience Journal*, v. 21, n. 3, 2005. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6617>. Acesso em: 08 nov. 2024.

RIMIERY, Pedro. La diversidad genética y la variabilidad genética: dos conceptos diferentes asociados al germoplasma e ao melhoramento genético vegetal. *BAG. Journal of Basic and Applied Genetics*, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, v. 28, n. 2, p. 7-13, dic. 2017. Disponível em: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-62332017000300001&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 11 out. 2024.

ROSNAY, Joël de; PAREDES, Jorge (Trad.). *Epigenética: la ciencia que cambiará tu vida*. Barcelona: Ariel, 2019. 191 p. ISBN: 9788434430679; ISBN: 8434430673. Título original: *La symphonie du vivant*.

SANTOS, Jaqueline da Silva dos; AMARAL, Marcelo Nogueira do; RITTER, Chrislaine Yonara Schoenhals; VARNES, Liliâne Silveira; BRAGA, Eugenia Jacira Bolacel. Alterações epigenéticas em raízes de genótipos de arroz submetidos à salinidade. 2022. In: CIC - CIÊNCIAS AGRÁRIAS: Trabalhos em eventos. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/9419>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SATO, Hikaru; SANTOS-GONZÁLEZ, Juan; KÖHLER, Claudia. Combinations of maternal-specific repressive epigenetic marks in the endosperm control seed dormancy. *eLife*, v. 10, e64593, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.7554/eLife.64593>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SHIN, Hosub; CHOI, Woo Lee; LIM, Joo Young; HUH, Jin Hoe. Epigenome editing: targeted manipulation of epigenetic modifications in plants. *Genes & Genomics*, v. 44, n. 3, p. 307-315, mar. 2022. Epub 2022 jan. 9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13258-021-01199-5>. Acesso em: 22 ago. 2024.

SHULAEVA, Vladimir; CORTES, Diego; MILLER, Gad; MITTLER, Ron. Metabolomics for plant stress response. *Physiologia Plantarum*, v. 132, p. 199–208, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01025.x>. Acesso em: 10 jul. 2024.

SILVA, Viviane Bezerra da; ALMEIDA-BEZERRA, José Weverton; ALCÂNTARA, Bruno Melo de; SILVA, Maria Arlene Pessoa da. Avaliação da germinação de diásporos de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) submetidos a diferentes métodos de armazenamento. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.

10, n. 1, p. 85-96, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6791596>. Acesso em: 8 out. 2024.

SILVA NETO, Zeferino Gomes; FILHO, Sebastião Martins; ZAVALA LEÓN, Manuel Jesús; DOS SANTOS, Vinicius Silva; SOUZA CARNEIRO, Antônio Policarpo. Germinação de sementes de *Capsicum chinense* Jacquin em função da cultivar, armazenamento dos frutos, método de extração e armazenamento das sementes. *Revista Científica de Agricultura*, v. 2022, p. 44-50, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca.26883>. Acesso em: 19 set. 2024.

SILVA, Anselmo Ferreira da. Eficiência fotossintética e proteção oxidativa em mudas de cajueiro anão submetidas ao estresse salino. 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, Campina Grande, 2016. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/2301>. Acesso em: 10 jul. 2024.

SILVA, Lucas Giroto Lagreca da. Competição química entre plantas. In: SILVEIRA, Elielson Rodrigo; CACERES, Ivan Hurtado; BRITO, Jhullyrson Osman F. de; SILVA, Lucas Giroto L. (oerg). *XII Botânica no Inverno – 2023*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, 2023. p. 111. ISBN: 978-65-88234-15-0. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/372743612_Apostila_XII_Botanica_no_Inverno_2023. Acesso em: 10 jul. 2024.

SILVA, Mariane Tavares; SANTOS, Charles Morphy D. Uma análise histórica sobre a seleção natural: de Darwin-Wallace à Síntese Estendida da Evolução. Amazônia: *Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, v. 11, n. 22, p. 46-61, ago. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18542/amazrecm.v11i22.2122>. Acesso em: 10 jul. 2024. Licença: CC BY 4.0.

SILVA, Thaís Rayane Gomes da; COSTA, Marília Layse Alves da; FARIAS, Laryssa Roberta Alves; SANTOS, Maria Aparecida dos; ROCHA, Janyne Joyce de Lima; SILVA, José Vieira. Fatores abióticos no crescimento e florescimento das plantas. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, e19710413817, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13817>. Acesso em: 16 set. 2024. Licença: CC BY 4.0.

SILVA, Viviane Alexandre da. Superação de dormência em sementes de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. Ex Benth. durante o armazenamento. 2023. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia, Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba – Brasil, 2023. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/29052>. Acesso em: 07 jul. 2024.

SOARES, Alexandra Martins dos Santos; MACHADO, Olga Lima Tavares. Defesa de plantas: sinalização química e espécies reativas de oxigênio. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 1, n. 1, p. 13-18, 2007. Disponível em: <http://surl.li/txhdyh> Acesso em: 09 jul. 2024.

SOARES, André Brugnara; SARTOR, Laércio Ricardo; ADAMI, Paulo Fernando; VARELLA, Alexandre Costa; FONSECA, Lidiane; MEZZALIRA, Jean Carlos. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 3, p. 445-451, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000300007>. Acesso em: 09 jul. 2024.

THIEL, Caroline Hernke. Características fotossintéticas e modulação do sistema antioxidante de defesa celular em resposta ao estresse de curta duração por alta luminosidade em plantas de três genótipos de Arabidopsis. 2023. 123 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/xmlui/handle/prefix/10208>. Acesso em: 15 jul. 2024.

TRENTO, Daiane Andréia; ANTUNES, Darley Tiago; FERNANDES JÚNIOR, Flávio; ZANUZO, Márcio Roggia; DALLACORT, Rivanildo; SEABRA JÚNIOR, Santino. Desempenho de cultivares de tomate italiano de crescimento determinado em cultivo protegido sob altas temperaturas. *Nativa, Sinop*, v. 9, n. 4, p. 359-366, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i4.10945>. Acesso em: set. 2024.

VASCONCELOS, Alexandro Dias Martins; SANTOS, Mario Lima dos; ROSA, Rossana Cortelini da; ARAÚJO, Elizane Alves Arraes; MARTINS, Walmer Bruno Rocha; RADDATZ, Dione Dambrós; OLIVEIRA, Robson José. Quebra de dormência, emergência e vigor em sementes de Mimosa caesalpinifolia Benth (Fabaceae). *Engenharia Florestal: Contribuições, Análises e Práticas em Pesquisa*, v. 1, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/220308392>. Acesso em: set. 2024.

VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. O desenvolvimento da agricultura do Brasil e o papel da Embrapa. Texto para Discussão, n. 2748. Brasília: *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)*, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.38116/td2748>. Acesso em: 27 set. 2024.