

ANÁLISE ANATÔMICA E HISTOQUÍMICA DE PLÂNTULAS DE *Anacardium occidentale* L. ORIUNDAS DE FRAGMENTO DE VEGETAÇÃO NATIVA E DE ÁREA DE MONOCULTURA

ANATOMICAL AND HISTOCHEMICAL ANALYSIS OF ANACARDIUM OCCIDENTALE L. SEEDLINGS FROM FRAGMENTS OF NATIVE VEGETATION AND MONOCULTURE AREAS.

ANÁLISIS ANATÓMICO E HISTOQUÍMICO DE PLÂNTULAS DE ANACARDIUM OCCIDENTALE L. PROCEDENTES DE FRAGMENTOS DE VEGETACIÓN AUTÓCTONA Y ZONAS DE MONOCULTIVO.

Fernanda Carolina Ferreira Mota

E-mail: fernanda.carolina@mail.uft.edu.br

Kellen Lagares Ferreira Silva

E-mail: lagares@mail.uft.edu.br

ABSTRACT:

Native plants near monoculture crops can suffer metabolic alterations due to pesticides, which often reach native plants through drift after being applied to target species. Therefore, this study aimed to investigate possible anatomical and histochemical symptoms in *Anacardium occidentale* L. seedlings whose seeds originated from a Cerrado fragment area in Palmas, Tocantins, Brazil (A1) and a border region between the Akwê-Xerente Indigenous Land and monocultures in Pedro Afonso, Tocantins, Brazil (A2). Samples of leaf edges and veins were collected from germinated seedlings. For anatomical analyses, histological slides were prepared using a paraffin embedding protocol, and for histochemistry, a fresh section protocol was followed, allowing the necessary time for each reagent. Anatomical and histochemical analyses showed alterations in seedlings originating from A2, such as changes in cell formation patterns; parenchyma intercellular spaces; changes in cell wall formation and phenolic compound composition; plasma membrane retraction; and changes in lignin production. These alterations were not observed in individuals originating from A1; on the contrary, they presented species-specific patterns in cell formation, phenolic compound and lignin production, cell wall formation and thickness, and parenchyma cell juxtaposition. These results show that seedlings whose seeds originated from individuals exposed to agrochemicals, even without receiving pesticides, exhibit stress symptoms characteristic of herbicide exposure, indicating possible seed contamination and altered histological development patterns after germination.

KEYWORDS: Cerrado; Native Plants; Pesticides.

RESUMO:

Plantas nativas próximas às lavouras de monocultura podem sofrer alterações metabólicas por causa dos agrotóxicos, que muitas vezes, após serem aplicados em espécies alvo, chegam às plantas nativas por deriva. Assim, objetivou-se investigar possíveis sintomas anatômicos e histoquímicos em plântulas *Anacardium occidentale* L., cujas sementes foram oriundas de área de fragmento de Cerrado em Palmas, Tocantins, Brasil (A1) e região de fronteira entre a Terra Indígena Akwê-Xerente e monoculturas, em Pedro Afonso, Tocantins, Brasil (A2). Foram coletadas amostras de bordas e nervuras foliares das plântulas germinadas. Para as análises anatômicas, a confecção das lâminas histológicas seguiu protocolo de inclusão em parafina e, para histoquímica, seguiu o protocolo por cortes frescos com o tempo necessário para cada reagente. As análises anatômicas e histoquímicas apresentaram alterações nas plântulas oriundas da A2 como, alteração no padrão de formação das células; espaços intercelulares parenquimáticos; alteração na formação da parede celular e na composição dos compostos fenólicos; retração da membrana plasmática e alteração na produção de lignina. Essas alterações não foram observadas nos indivíduos oriundos da A1, ao contrário, eles apresentaram padrões característicos à espécie na formação de suas células, produção de compostos fenólicos e lignina, formação e espessura da parede celular e justaposição das células parenquimáticas. Esses resultados mostram que as plântulas, cujas sementes foram oriundas de indivíduos expostos a agroquímicos, mesmo sem receberem agrotóxicos, apresentam sintomas de estresses característicos de exposição aos herbicidas indicando uma possível contaminação de suas sementes e alteração no padrão de desenvolvimento histológico, após a germinação das mesmas.

PALAVRAS-CHAVE: Agrotóxicos; Cerrado; Plantas Nativas.

RESUMEN:

Las plantas nativas cercanas a cultivos de monocultivo pueden sufrir alteraciones metabólicas debido a los plaguicidas, que a menudo llegan a las plantas nativas por deriva después de ser aplicados a las especies objetivo. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo investigar posibles síntomas anatómicos e histoquímicos en plántulas de *Anacardium occidentale* L. cuyas semillas se originaron en un área de fragmento de Cerrado en Palmas, Tocantins, Brasil (A1) y una región fronteriza entre la Tierra Indígena Akwê-Xerente y monocultivos en Pedro Afonso, Tocantins, Brasil (A2). Se recolectaron muestras de bordes de hojas y nervaduras de plántulas germinadas. Para los análisis anatómicos, se prepararon láminas histológicas utilizando un protocolo de inclusión en parafina, y para la histoquímica, se siguió un protocolo de sección fresca, permitiendo el tiempo necesario para cada reactivo. Los análisis anatómicos e histoquímicos mostraron alteraciones en las plántulas originadas en A2, tales como cambios en los patrones de formación celular; espacios intercelulares del parénquima; cambios en la formación de la pared celular y composición de compuestos fenólicos; retracción de la membrana plasmática; y cambios en la producción de lignina. Estas alteraciones no se observaron en los individuos procedentes de A1; por el contrario, presentaron patrones específicos de la especie en la formación celular, la producción de compuestos fenólicos y lignina, la formación y el grosor de la pared celular y la yuxtaposición de las células parenquimáticas. Estos resultados demuestran que las plántulas cuyas semillas proceden de individuos expuestos a agroquímicos, incluso sin haber recibido pesticidas, presentan síntomas de estrés característicos de la exposición a herbicidas, lo que indica una posible contaminación de las semillas y alteraciones en los patrones de desarrollo histológico tras la germinación.

PALABRAS CLAVE: Cerrado; Plantas Nativas; Pesticidas

INTRODUÇÃO

O Cerrado é um dos maiores domínios fitogeográficos do Brasil, que ocupa cerca de 23% do território do país (IBGE, 2023) e apresenta uma grande diversidade vegetal. As espécies de flora do Cerrado apresentam diversos caracteres morfológicos, anatômicos, fisiológicos e bioquímicos de resistência a estresses hídricos, queimadas e solos mais ácidos (SANO, 2008). Diversas plantas desse domínio produzem e armazenam compostos fenólicos em algumas estruturas como forma de defesa aos estresses que sofrem, como o *Anacardium occidentale* L., que produz esses compostos e os armazena nas células dos parênquimas, células que ficam em torno do canal secretor e no córtex (REIS et al., 2014). O Cerrado tem sofrido várias alterações por causa da expansão agrícola e a vegetação é vítima de desmatamentos, queimadas e exposição a agrotóxicos.

No Tocantins o domínio fitogeográfico predominante é o Cerrado, e esse é um dos estados com maior expansão na agricultura moderna. Atualmente, a área total de lavouras no estado é cerca de 13.852.070 hectares, correspondendo aproximadamente 50% do território tocantinense (FRAGOSO e CARDOSO, 2022), tendo como principal atividade agrícola a

produção de grãos como: soja, milho, cana-de-açúcar e sorgo, sendo soja e milho em maior potencial (PEREIRA, 2018). Nas monoculturas são necessários o uso de agrotóxicos, para melhores resultados na produção agrícola, uma vez que ficam suscetíveis a pragas e plantas daninhas que competem com a espécie de interesse por nutrientes e luminosidade. As partículas desses agroquímicos podem se deslocar com o vento no momento da pulverização, volatilizar ou serem transportadas por meios hídricos, chegando assim às plantas não alvo (deriva) (BRAIN, 2017; CEDERLUND, 2017), como *Anacardium occidentale* L que estão ao redor da lavoura, podendo prejudicar o metabolismo, emergência, viabilidade de suas sementes e crescimento da planta a longo prazo (BORGES et al., 2021).

Anacardium occidentale L. é uma espécie nativa do Cerrado pertencente à família Anacardiaceae, sendo conhecida popularmente como cajuzinho-do-cerrado, cajuí ou caju-de-árvore-do-cerrado (BARROSO, 1999). Essa espécie possui valor socioeconômico, especialmente na alimentação e uso medicinal, por causa de suas castanhas, que são comestíveis e utilizadas para produção de óleos com fins medicinais (BAMISAYE, 2022). Essa espécie possui características anatômicas e fisiológicas marcantes, com suas folhas que apresentam epiderme unisseriada, cutícula bem espessa, produção e armazenamento de compostos fenólicos, principalmente em células parenquimáticas (REIS et al., 2014). Esses compostos possuem efeitos antioxidantes, propriedades cardioprotetoras, substâncias que reduzem o colesterol e diminuem as inflamações. As castanhas, as folhas, flores, caule e seu pseudofruto possuem carotenóides, vitamina C e polifenóis, que contribuem para a saúde humana através da alimentação, chás e sucos (FUSCO et al, 2020). Essa espécie tem ampla distribuição sendo predominante no Cerrado brasileiro, encontrada em grande quantidade neste domínio e inclusive nos arredores das monoculturas presentes no estado do Tocantins (AMARANTE et al., 2002).

Com o uso dos agrotóxicos, plantas de *A. occidentale* L. podem ser contaminadas através de deriva e absorver, através de suas folhas, os herbicidas. As partículas dos agrotóxicos podem ser transportadas por toda planta, chegando a sistemas enzimáticos interferindo em seu metabolismo (AMARANTE et al., 2002) e até mesmo nas estruturas morfoanatômicas (AZEVEDO et al., 2021). Por isso, avaliar as respostas das plantas que estão próximas às plantações é importante, já que o contato com substâncias agrícolas pode causar mudanças fisiológicas, anatômicas, morfológicas e bioquímicas. Algumas ferramentas são úteis no diagnóstico de qualidade das plantas, dentre elas estão as análises morfoanatômicas (MORAES, 2020) e histoquímica das folhas destas plantas. Assim, torna-se relevante o estudo dos efeitos da presença destes produtos no desenvolvimento inicial de plantas nativas do cerrado expostas a herbicidas.

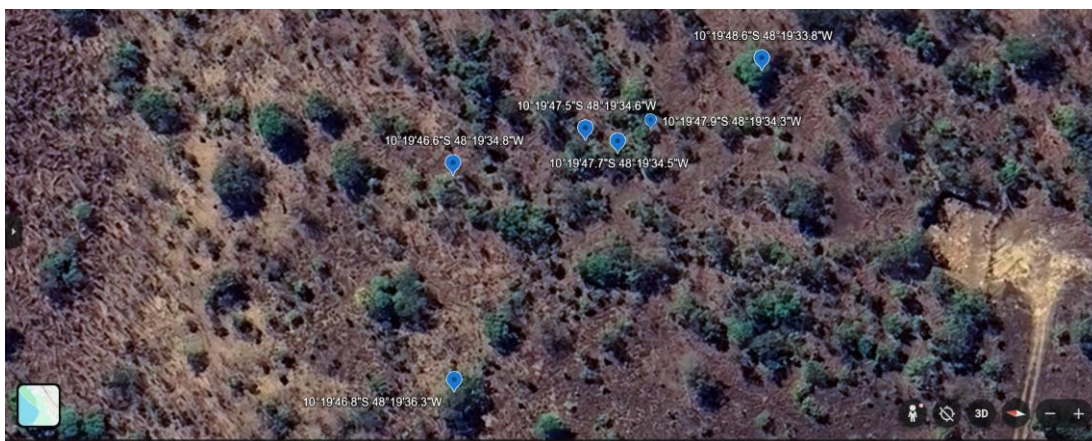
METODOLOGIA

LOCAIS DE COLETAS DAS SEMENTES DE *Anacardium occidentale*

Foram realizadas duas coletas de sementes de *Anacardium occidentale* L. A coleta das sementes na Área 1 foi feita no dia 28 de outubro de 2024. Foram coletadas 260 sementes de 6 (seis) matrizes diferentes, em um fragmento de cerrado com baixa ação antrópica e sem risco de contaminação por agrotóxicos no território urbano do jardim aeroporto do município de Palmas, Tocantins, Brasil (Área 1). A coleta da Área 2 foi realizada no dia 24 de setembro de 2024. Foram coletadas 262 sementes de 7 (sete) matrizes de *Anacardium occidentale* L. nos arredores da monocultura em um trecho da fronteira entre a Terra Indígena Akwê-Xerente e o município de Pedro Afonso, Tocantins, Brasil (Área 2).

Caracterização da Área 1: Área de fragmento de Cerrado do bairro Jardim Aeroporto que está localizada em uma área urbana no município de Palmas, Tocantins, Brasil, em uma região com uma quantidade reduzida de moradores. A área da coleta apresentava uma vegetação com uma formação florestal savânica (MAPBIOMAS, 2024), sem ações antrópicas e riscos de contaminação por agroquímicos. Foram coletadas sementes de *A. occidentale* em 6 matrizes diferente nas seguintes coordenadas: 10°19'46.6"S 48°19'34.8"W; 10°19'46.8"S 48°19'36.3"W; 10°19'47.7"S 48°19'34.5"W; 10°19'47.5"S 48°19'34.6"W; 10°19'47.9"S 48°19'34.3"W; 10°19'48.6"S 48°19'33.8"W (Figura 1).

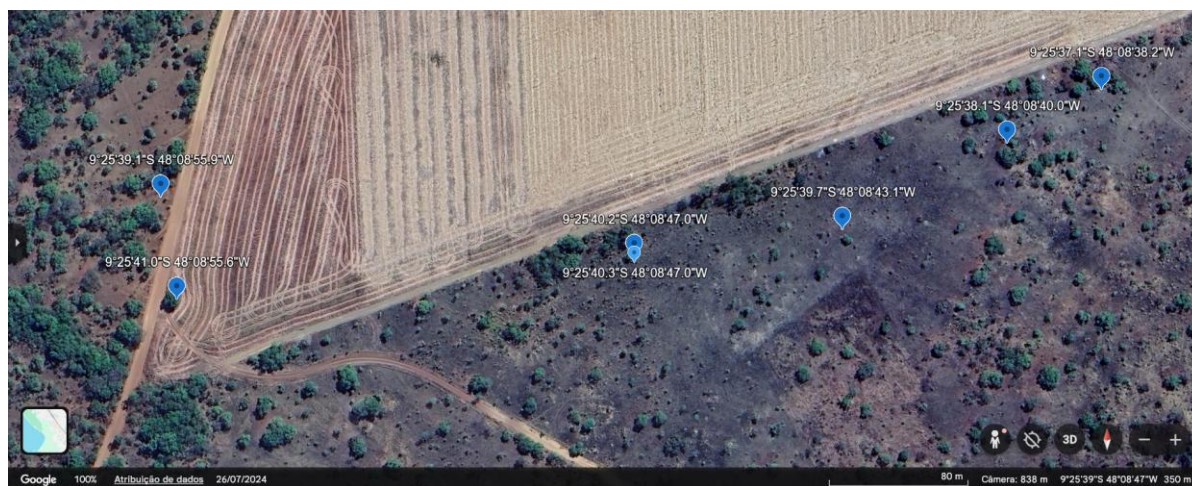
Figura 1- Localização da área de fragmento de Cerrado (Área 1) Região do Jardim Aeroporto, Palmas, Tocantins, Brasil. Coordenadas das matrizes da área de fragmento de cerrado, sem riscos de contaminação por agrotóxicos, onde foram coletadas sementes de *Anacardium occidentale* para o experimento.



Fonte: Google Earth, 2024 (Editada pelo autor).

Caracterização da Área 2: Área limítrofe entre monocultura e Terra Indígena Akwê-Xerente, que está localizada a leste do Rio Tocantins, e é subdividida em duas Terras Indígenas, a Terra indígena Xerente denominada “Área Grande e, a Terra Funil, à margem direita do rio Tocantins (LIMA, 2017). O Território indígena dos Akwê-Xerente faz divisa com as cidades de Pedro Afonso, Rio Sono, Tocantínia e Aparecida do Rio Negro. A área de coleta foi no limite entre a terra indígena Xerente e Pedro Afonso, que está localizado na Zona Norte do Estado, na confluência dos rios Tocantins e Rio Sono (IBGE, 2024). A vegetação do local apresentava características de cerrado denso com formação florestal savânica (MAPBIOMAS, 2024) e estava aos arredores de lavouras de soja que já haviam passado pela fase de colheita. Foram coletadas sementes de *A. occidentale* em 7 matrizes diferentes nas seguintes coordenadas: 9°25'37.1"S 48°08'38.2"W; 9°25'38.1"S 48°08'40.0"W; 9°25'39.7"S 48°08'43.1"W; 9°25'40.2"S 48°08'47.0"W; 9°25'40.3"S 48°08'47.0"W; 9°25'41.0"S 48°08'55.6"W; 9°25'39.1"S 48°08'55.9"W (Figura 2).

Figura 2 - Localização da terra indígena Xerente e Pedro Afonso, Tocantins, Brasil. Coordenadas das matrizes presentes na área limítrofe entre monocultura e território indígena e com risco de contaminação por agrotóxicos (Área 2), onde foram coletadas sementes de *Anacardium occidentale* para o experimento



Fonte: Google earth, 2024 (editada pelo autor)

As sementes coletadas foram armazenadas em sacos plásticos, sendo uma mistura entre as matrizes de cada área, e enviadas ao laboratório de Anatomia Vegetal (LabAV) da Universidade Federal do Tocantins (UFT), no campus de Palmas. Todas foram submetidas à assepsia em solução de hipoclorito de sódio 1% durante 5 minutos, decorrido o tempo, foram lavadas 3x em água destilada (MUNIZ, 2007). Em seguida a assepsia, as sementes livres de

umidade foram armazenadas em béqueres devidamente cobertos com papel toalha e mantidas em temperatura ambiente até a condução do experimento.

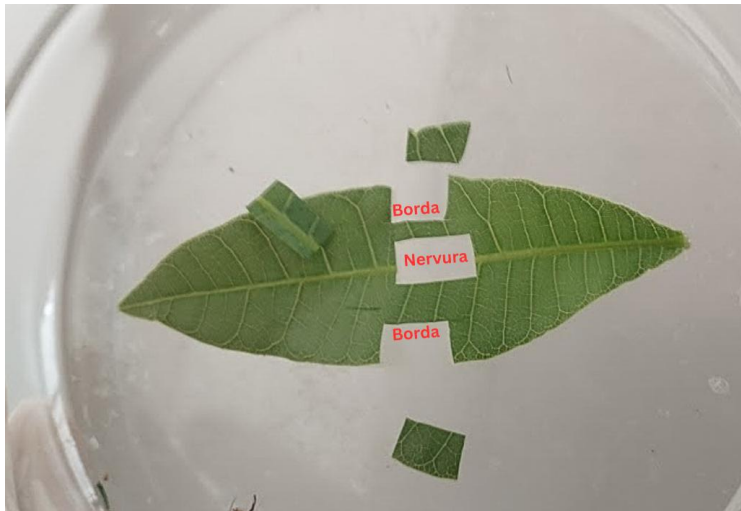
No dia 24 de julho de 2025, foram selecionadas de forma aleatória 60 sementes da Área 2 e 60 sementes da Área 1. Elas foram semeadas a 3 cm de profundidade em vasos de 1 litro contendo solo do cerrado, que foi coletado e peneirado no território do campus da UFT de Porto Nacional, próximo ao NEAMB II. Os potes com as sementes foram colocados no viveiro da UFT, no campus de Porto Nacional, com sombrite 50%, seguindo o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 6 repetições e 10 replicações para cada área, de acordo com a ordem gerada pelo programa JAMOVI, com o código 2324. Os tratamentos (Área 1 e Área 2) receberam irrigação automática de 10 minutos três vezes ao dia, às 6 horas, 12 horas e 30 minutos e às 18 horas. Após 11 dias da semeadura foi necessário realizar irrigação manual com regador, nas repetições 2, 3, 7, 11 (Área 1) e 12 (Área 2), pois um dos aspersores falhou e não lançou água para os potes das repetições citadas. As plantas da Área 1 começaram a germinar 12 dias após a semeadura e da Área 2 iniciaram 16 dias após a semeadura.

ANATOMIA FOLIAR DE PLÂNTULAS DE *Anacardium occidentale*

Trinta (30) dias após a semeadura foram coletados fragmentos de nervura e borda da região mediana (Figura 3) de todas as folhas de cada planta germinada (Figura 4). As amostras foram fixadas no momento da coleta, em solução formaldeído, ácido acético, etanol 50%, 1:1:18 (v/v) - FAA 50% (JOHANSEN, 1940, p. 41) durante 24 horas sob vácuo. Foi realizada a desidratação em série etílica crescente até o álcool 70%, no qual o material foi armazenado e conservado (amostras estoque). Na sequência foram desidratadas em um intervalo de tempo de 1 hora para cada troca, em série etílica e butílica (80, 90 e 100%, etílico butílico (3:1), etílico butílico (1:1), etílico butílico (1:3) e butílico puro) permanecendo em “*over night*” em álcool butílico + parafina (1:1) por 12 horas, e posteriormente submetidas a duas trocas de parafina por 1 hora cada, em estufa. Após infiltração, as amostras foram emblocadas (parafina + cera de abelha 8%), seguindo orientação do plano de corte (transversal). Após o resfriamento, os blocos foram para a microtomia. Nesta etapa, os cortes transversais foram feitos em micrótomo rotativo semi-motorizado (RM2245-Leica), a 6µm de espessura e aderidos à lâmina com adesivo de Haupt (HAUPT, 1930). Foram confeccionadas 6 lâminas, com 5 cortes para cada bloco. Posteriormente, os cortes foram desparafinizados em série xilólica, hidratados em série etílica e corados com safranina 1%, por 30 minutos, e azul de astra, por 45 minutos (GERLACH, 1984). Em seguida, as lâminas foram lavadas em água destilada e desidratadas em série etílica (30%,40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100%), posteriormente foram submetidas a série xilólica e montadas com

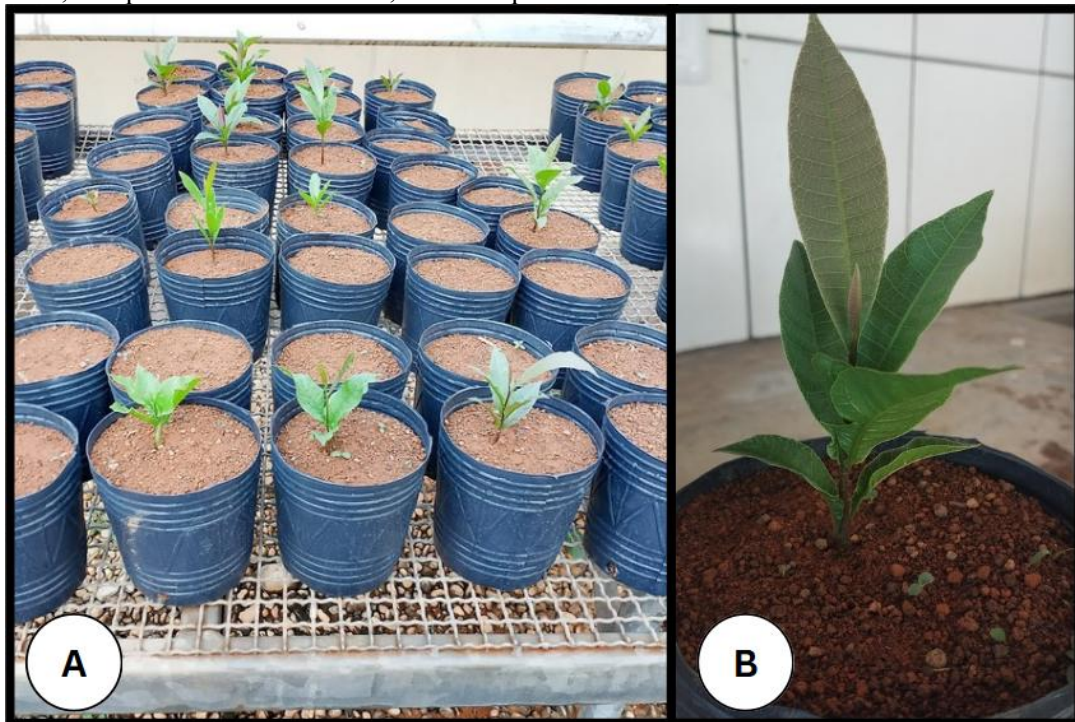
bálsamo do Canadá, entre lâmina e lamínula. As imagens foram capturadas pelo microscópio óptico Leica DM 500, com câmara Leica ICC50 HD acoplada.

Figura 3 - Fragmentos de nervura e borda foliar de *Anacardium occidentale* separadas para análise anatômica



Fonte: Mota (2025)

Figura 4- Plântulas de *Anacardium occidentale* L. após germinação. **A:** Plântulas no viveiro da UFT, campus de Porto Nacional, 30 dias após a semeadura. **B:** Plântula no momento da coleta.



A: Plântulas no viveiro da UFT, campus de Porto Nacional, 30 dias após a semeadura. **B:** Plântula no momento da coleta.

Fonte: Mota (2025)

HISTOQUÍMICA FOLIAR DE PLÂNTULAS DE *Anacardium occidentale*

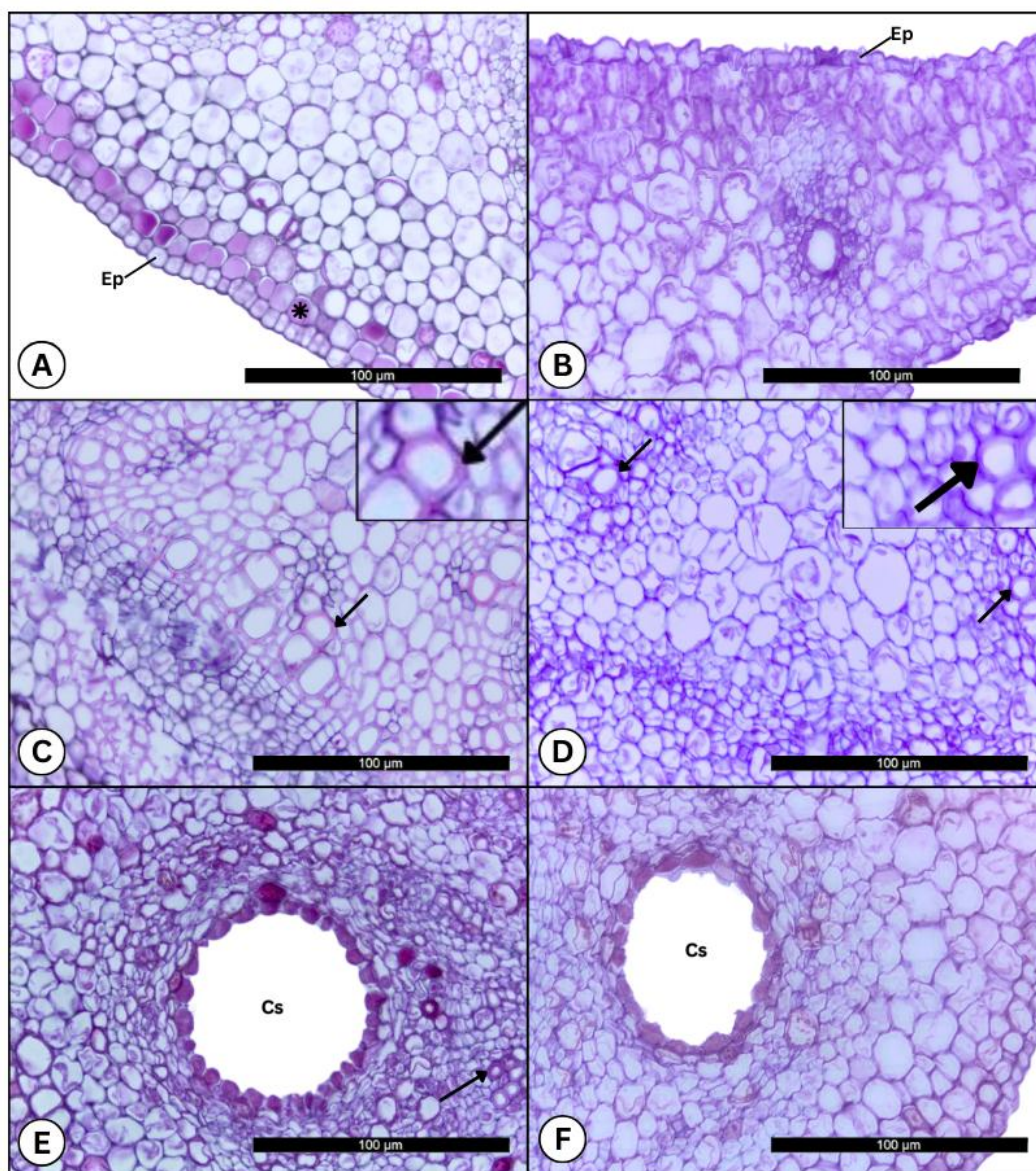
Para a caracterização histoquímica de *Anacardium occidentale* L., foram utilizadas amostras de nervura das folhas que foram coletadas e fixadas, sendo elas seccionadas transversalmente em micrótomo de mesa (modelo LPC, Rolemberg e Hering LTDA.). Os testes histoquímicos na folha foram feitos com: Sudan III (JOHANSEN, 1940), para lipídios totais, permanecendo 30 minutos no reagente; vanilina clorídrica (MACE; HOWELL, 1974), para taninos, permanecendo 2 minutos no reagente; floroglucinol (JOHANSEN, 1940), para lignina, permanecendo 2 minutos no reagente; lugol (JENSEN, 1962), para amido, permanecendo 2 minutos no reagente; e cloreto férrico, para fenóis. permanecendo 2 minutos no reagente. As secções-controle foram realizadas simultaneamente, de acordo com as recomendações dos respectivos autores. As observações e a documentação fotográfica foram realizadas em microscópio de luz equipado com câmera (modelo KXD400G1, Diagtech LTDA.). As escalas referentes às ilustrações foram obtidas utilizando-se lâminas com escala micrométrica nas mesmas condições ópticas utilizadas em cada caso. À medida em que realizava a coloração dos cortes, fez - se a observação e fotografia das estruturas.

As imagens anatômicas e histoquímicas com melhor visualização das estruturas foliares de cada área foram selecionadas e montadas em prancha para comparação e descrição das observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados anatômicos descritos a seguir referem-se aos tecidos presentes nos fragmentos analisados da região da nervura (Figura 1), e da borda (Figura 2), das folhas dos indivíduos de *Anacardium occidentale* L. As plântulas cujas sementes foram oriundas da área de fragmento de Cerrado (Área 1) apresentaram a organização anatômica característica da espécie. Entretanto, nas plântulas, cujas sementes foram coletadas em trecho da fronteira entre a Terra Indígena Akwê-Xerente e uma área de monocultura (Área 2) no município de Pedro Afonso, Tocantins, foi possível visualizar danos na estrutura das células da epiderme, do mesofilo, parênquima e alterações nos compostos de natureza fenólica (Figura 5).

Figura 5 - Anatomia dos tecidos presentes na região de nervura da folha, das plântulas cujas sementes de *Anacardium occidentale* L. foram oriundas de área de fragmento de Cerrado (Área 1) e área limítrofe à monocultura (Área 2).



Fonte: Elaborado por Fernanda Carolina (2025).

Legenda: Cortes transversais de nervuras foliares de indivíduos de *Anacardium occidentale*. Área de fragmento de Cerrado-Área 1 (A; C e E), Área de monocultura-Área 2 (B; D e F). Ep (epiderme), Cs (Canal secretor), seta (Parede celular), *(Composto de natureza fenólica).

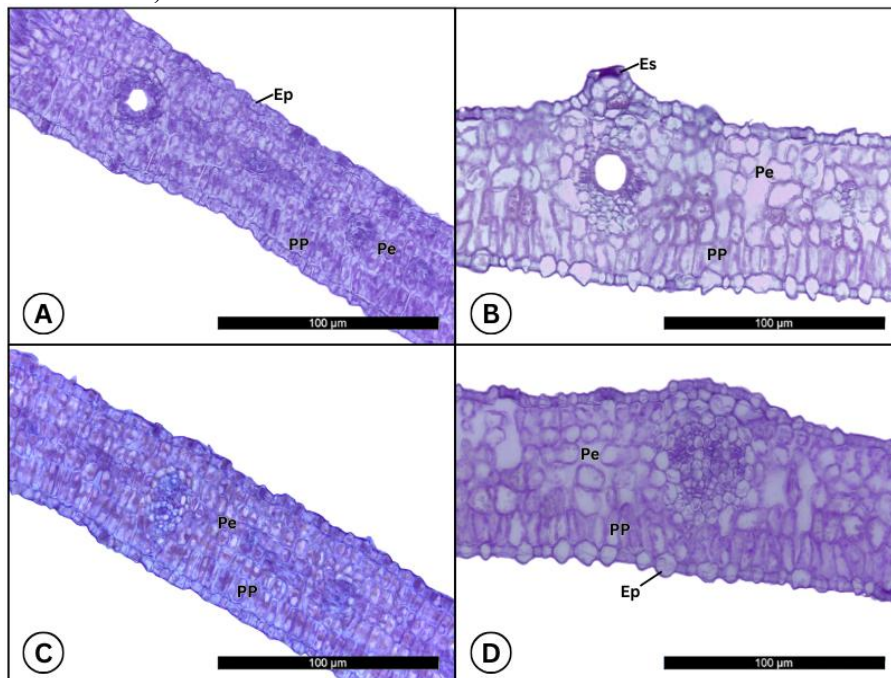
Dos resultados anatômicos obtidos na região da nervura foliar, foi possível observar alterações nos tecidos das plântulas, cujas sementes germinadas foram oriundas da Área 2, em comparação às da Área 1 (Figura 5). Na Figura 5A é possível observar que epiderme que recobre toda a região da nervura central das plantas, cujas sementes foram oriundas da Área 1, apresentam uma camada unisseriada de células com um padrão de formação semelhante entre elas, com paredes anticlinal e periclinal externa retas, característico da espécie (REIS et al., 2014). Entretanto, esta organização não foi observada nas células da epiderme das nervuras foliares, das

plantas cujas sementes foram oriundas da Área 2, pois elas apresentaram uma nítida alteração no formato destas células assumindo um padrão retorcido na parede anticlinal e com projeção da parede periclinal externa (Figura 5B).

Nas células parenquimáticas observadas na região da nervura, adjacentes à epiderme, observa-se presença de compostos de natureza fenólica e um padrão de formação arredondado da parede celular dessas células, sem apresentar retração de membrana celular (Figura 5 A). Porém, na Figura 5B é possível observar que na região e tecido correspondente à descrita anteriormente, observa-se alteração na coloração das células do parênquima, que possuem compostos de natureza fenólica, parede celular retorcida e retração de membrana. Isso pode indicar alteração na composição química dos compostos produzidos naturalmente por estas plantas. Além disso, na Figura 5C (plântula cuja semente oriunda da área 1), é possível observar as células condutoras do xilema com parede celular bem espessa, presença de lignina e um padrão de formação arredondado, características da espécie (REIS et al., 2014). Já na Figura 5D, verifica-se que houve uma alteração no formato das células condutoras do xilema e pouca presença de lignina nas mesmas. Isso pode indicar que a planta está tendo uma dificuldade na produção de compostos fenólicos, pois a lignina também é um composto fenólico presente nas paredes celulares destes elementos condutores e, tem como uma das funções sustentar e dar forma à célula (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2022, p. 27).

Nas Figuras 5E e 5F é possível observar a presença do canal secretor no floema da nervura central. Na Figura 5E as células do floema e no epitélio do canal secretor estão fortemente coradas indicando uma presença de compostos de natureza fenólica e, na Figura 5F, essa coloração é pouco evidente, isso também pode indicar uma alteração na produção desses compostos.

Figura 6 - Anatomia dos tecidos presentes na região de fragmentos de borda foliar das plântulas cujas sementes de *Anacardium occidentale* L. foram oriundas de área de fragmento de Cerrado (Área 1) e área limítrofe a monocultura (Área 2).



Fonte: Elaborado por Fernanda Carolina (2025).

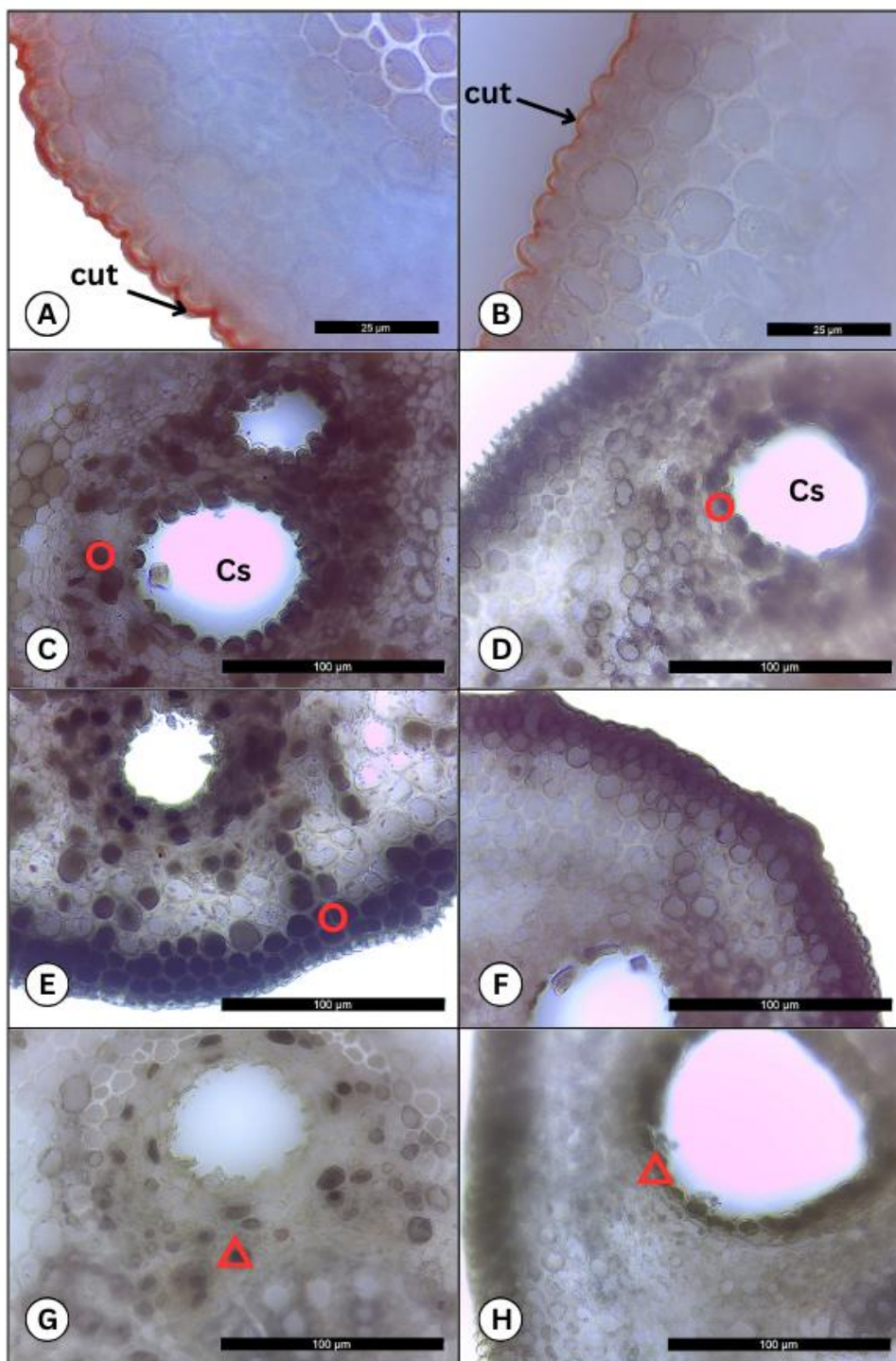
Legenda: Cortes transversais de bordas das folhas de indivíduos de *Anacardium occidentale*. Área de Cerrado - Área 1 (A e C), Área de monocultura- Área 2 (B e D). Ep (epiderme), PP (Parênquima paliçádico), Pe (Parênquima esponjoso), Es (Estômato).

Comparando as Figuras 6A e 6B, é possível observar que as alterações observadas nas células epidérmicas da região da nervura foliar, também se repetem aqui na região de borda.

Em relação a região do mesofilo observa-se que tanto o parênquima clorofiliano paliçádico, quanto o esponjoso, as células estão bem justapostas (Figura 6A); entretanto na Figura 6B, as células do parênquima esponjoso estão muito espaçadas, indicando que há um acúmulo de dióxido de carbono entre as células formando grandes espaços de ar e isso pode ser um indicativo de que a planta não está conseguindo converter o carbono do CO₂, presentes nestes espaços intercelulares, em glicose durante o processo de fotossíntese, o que prejudica a produção de energia e o seu desenvolvimento, como indica Azevedo *et al.* (2021) e Cruz (2020). Além disso, é possível observar que esses resultados se repetem entre as Figuras 6C e 6D.

Os resultados histoquímicos obtidos da região da nervura e de borda das folhas de plântulas de *A. occidentale*, cujas sementes foram oriundas das Áreas 1 e 2 apresentaram resultados que corroboraram com os resultados obtidos na anatomia anteriormente relatada.

Figura 7 - Histoquímica dos tecidos de fragmentos de nervura da folha das plântulas cujas sementes de *Anacardium occidentale* L. foram oriundas de área de Cerrado (Área 1) e área limítrofe a monocultura (Área 2).



Fonte: Elaborado por Fernanda Carolina (2025).

Legenda: Cortes transversais de fragmentos da nervura de folhas de indivíduos de *Anacardium occidentale*. Sementes oriundas da Área 1 (A, C, E e G); sementes oriundas da Área 2 (B, D, F e H). A e B (corados com Sudan III). C, D, E e F (corados com cloreto

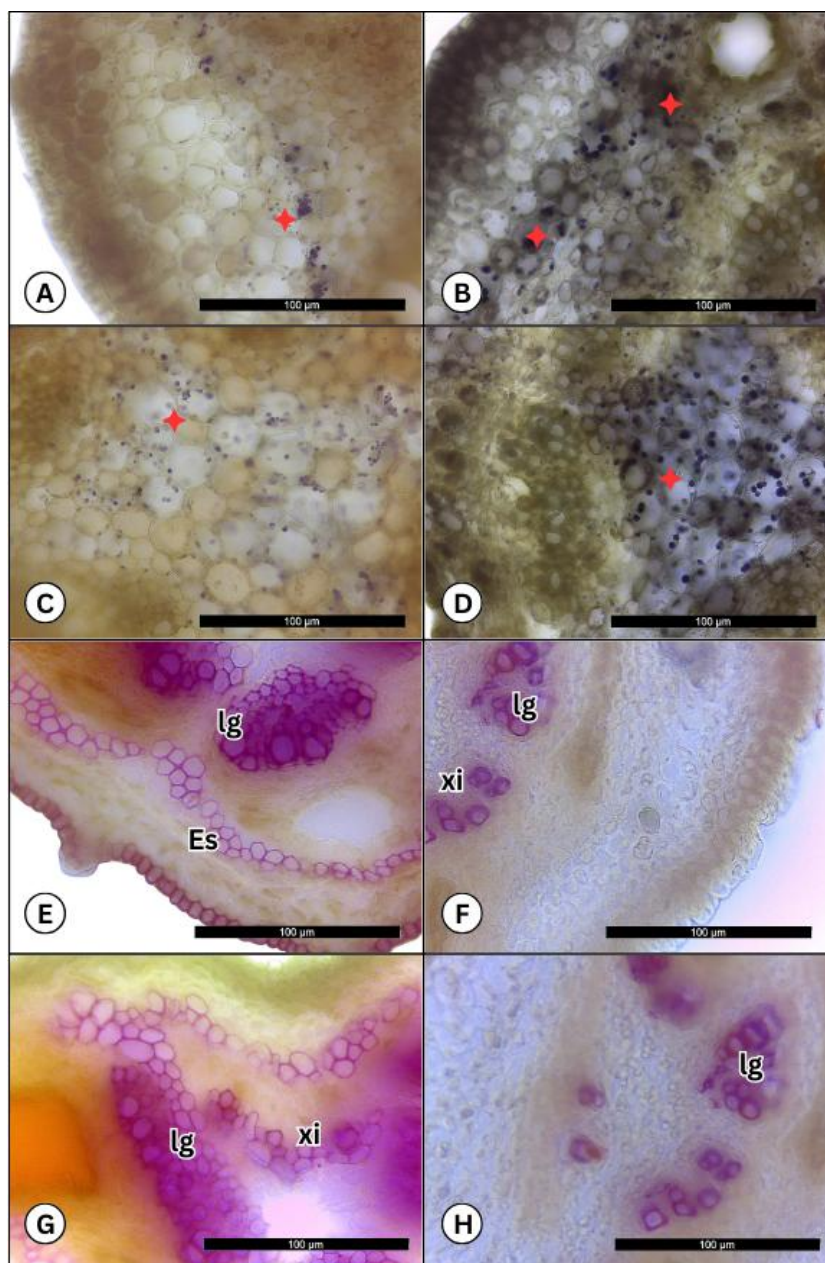
fêrrico); G e H (corados com Vanilina clorídrica). cut: cutícula; Cs: canal secretor; ○: fenóis; △: Taninos.

Ao analisar as Figuras 7A e B, que foram coradas com Sudan III, foi possível verificar a presença de lipídeos na região da cutícula, através do resultado positivo detectado pela coloração avermelhada. É característica da espécie de *A. occidentale* possuir uma cutícula espessa nas folhas (REIS et al., 2014), fato que contribui para a redução da transpiração e a chance de agentes externos contaminar a planta é menor (TAIZ; ZEIGER, 2010). Observou-se que apesar da reação ser positiva na epiderme das plantas oriundas das áreas 1 e 2 verifica-se uma diferença na coloração, indicando uma alteração na espessura desta camada e isso pode prejudicar os processos metabólicos da espécie.

As Figuras 7C, 7D, 7E e 7F, mostram os tecidos foliares que foram submetidos ao reagente cloreto fêrrico para identificação de fenóis. É possível observar na região do floema, do canal secretor e nos idioblastos (células parenquimáticas), a presença de fenóis (Figuras 7C e 7E) devido a coloração amarronzada. Este resultado retrata a reação positiva para este teste, nos tecidos das plântulas cujas sementes foram oriundas da área 1. Em contrapartida, nas Figuras 7D e 7F, esses compostos fenólicos não foram identificados nas células da região correspondente, nas plântulas oriundas da área 2. Isso evidencia que a produção de fenóis nas células foliares das plantas oriundas da área 2 está prejudicada e, a planta pode estar tendo dificuldade de produzir esses compostos essenciais para sua defesa frente ao ambiente em que vive.

Nas Figuras 7G e 7H, é possível observar os tecidos foliares que foram submetidos ao reagente vanilina clorídrica, teste responsável por detectar taninos, que apresentam reação positiva através da coloração marrom acastanhada. Em ambas imagens observa-se a presença de taninos, entretanto, a presença desses compostos está em regiões diferentes; nas plântulas oriundas da área 1, os taninos estão presentes nas células do floema do canal secretor (Figura 7G) e, nas plântulas oriundas da área 2, os taninos estão presentes nas células do epitélio do canal secretor (Figura 7H).

Figura 8 - Histoquímica dos tecidos de fragmentos da nervura da folha das plântulas cujas sementes de *Anacardium occidentale* L. foram oriundas de área de Cerrado (Área 1) e área limítrofe a monocultura (Área 2).



Fonte: Elaborado por Fernanda Carolina (2025).

Legenda: Cortes transversais de fragmentos da nervura de folhas de indivíduos de *Anacardium occidentale*. Área 1 (A, C, E e G); Área 2 (B, D, F e H). A, B, C e D (corados com lugol) E, F, G e H (corados com floroglucinol). cut: cutícula; lg: lignina; Xi: xilema; Es: esclerênquima. ♦:amido.

Na Figura 8, observa-se resultados positivos para amido (Figuras 8A, 8B, 8C e 8D) e lignina (Figuras 8E, 8F, 8G e 8H). É possível observar que há diferença na reação de amido, principal indicador de estresse, nas células do parênquima das plantas oriundas da área 1 (Figuras 8A e 8C) e da área 2 (Figuras 8B e 8D). A presença de amido em *A. occidentale*, pode ser utilizada como uma das fontes de sua reserva nutritiva em órgãos de reserva, porém pode indicar alterações metabólicas quando acumuladas em tecidos foliares.

A analisar o teste de presença de lignina nas células, foi possível observar diferenças bem evidentes, pois, nas plântulas cujas sementes foram oriundas da Área 1 (Figuras 8E e 8G), o resultado positivo para a lignina é característica da espécie, com presença deste composto na parede celular das células do esclerênquima e células condutoras do xilema. Entretanto, nas Figuras 8F e 8H, cujas plantas são oriundas da Área 2, foi identificado presença de lignina apenas em poucas células condutoras do xilema, indicando a baixa produção de lignina.

A maioria dos compostos fenólicos das plantas são produzidos pela fenilalanina, sintetizada pela enzima 5-enolpiruvilxiquimato-3-fosfato sintase durante a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2010, p. 345-353). Em *Anacardium occidentale*, esses compostos atuam como agentes protetores frente aos estresses que sofrem no cerrado, além de serem químicos que auxiliam na resistência e formação de suas estruturas, como a lignina e na proteção contra patógenos e herbivoria (BORGES; AMORIM, 2020, p. 54). A alteração desses componentes observados nos resultados anatômicos da espécie são semelhantes aos que foram observados em estudos com aplicação de agrotóxico (AZEVEDO et al., 2021; CRUZ, 2020), entretanto, as sementes e plântulas desse estudo não receberam agrotóxicos durante a fase experimental. Isso pode indicar que as sementes das plantas da área 2 estão sendo expostas aos agrotóxicos por deriva e, podem estar afetando o desenvolvimento e formação das mesmas. Isso pode ser um dos possíveis fatores que estão comprometendo a produção desses compostos de natureza fenólica, pois agrotóxicos, como o glifosato, podem bloquear a rota metabólica do ácido chiquímico, interferindo na síntese da enzima 5-enolpiruvilxiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS) e inibir a sintetização dos aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano (STEINRTICKEN e AMRHEIN, 1980), sendo o fenilalanina responsável pela produção de compostos fenólicos.

Esses resultados causam um alerta, pois as alterações observadas foram apenas nas plantas cujas sementes foram oriundas da área de 2 e, essas plantas não receberam agrotóxicos em nenhuma etapa do experimento. Esses resultados podem indicar que as sementes das plantas matrizes da área 2 estavam submetidas a estresses por agrotóxicos e, afetou a formação das sementes, que ao germinarem, apresentaram características anatômicas características de plantas que receberam aplicação de agrotóxicos, como pode ser observado nos trabalhos de Azevedo *et al.* (2021) e Cruz. (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível concluir que as sementes das plantas matrizes de *Anacardium occidentale* L., oriundas da área limítrofe à monocultura, foram expostas a agrotóxicos por deriva, pois, mesmo sem terem contato com agrotóxicos durante o experimento, as plântulas germinadas a partir destas

sementes, sofreram alterações histoquímicas e anatômicas na formação de suas células após a germinação. E, estas alterações histológicas foliares observadas são semelhantes às causadas por agrotóxicos já descritos na literatura, para outras espécies do Cerrado em condições experimentais. Além disso, apresentaram alterações nos compostos fenólicos, que são essenciais para o metabolismo, desenvolvimento e a sobrevivência da planta frente ao ambiente suscetível a estresses ao qual ela habita. Esses resultados não trazem apenas um alerta para os efeitos que essa espécie nativa está sofrendo, mas também ao possível risco para o futuro da população de *A. occidentale*. Por isso, há a necessidade de mais estudos anatômicos e histoquímicos sobre os possíveis impactos que os agrotóxicos podem causar nas plantas nativas e, estudos ontogenéticos para aprofundar nos conhecimentos destes impactos no desenvolvimento das sementes e gerações futuras destas plantas.

Agradecimentos

À equipe do laboratório de Anatomia Vegetal e Histologia. Ao apoio financeiro recebido do FAPT. À Universidade Federal do Tocantins.

REFERÊNCIAS

AMARANTE JÚNIOR, Ozelito Possidônio *et al.* Glifosato: Propriedades, Toxicidade, Usos E Legislação. **Química Nova**, São Paulo, jan. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>. Acesso em: 07 junho 2025.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa: Editora UFV, 2022. 27 p.

AZEVEDO, Lícia Priscila Nogueira *et al.* Efeito do inseticida fipronil sobre os parâmetros fisiológicos e morfoanatômicos em espécie do Cerrado. **Iheringia Série Botânica**. v. 79, maio. 2024. Disponível em: <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/1112>. Acesso em: 02 setembro 2025.

BAMISAYE, F.A.; AJUWON, O.R.; IBRAHIM, R.A.; SULYMAN, A.O.; JUBRIL, A.O. Hypoglycemic, Hypolipidemic and Antioxidant Potentials of Ethanolic Stem Bark Extract of *Anacardium occidentale* in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. **Physiological Society of Nigeria**, Nigéria, jun. 2022. v. 37, n. 1, p. 137-145. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/963b/a21a1b01023f8e07d1ee5c45a3d6619a1f5b.pdf>. Acesso em: 02 setembro 2025.

BARROSO, Grasielle Maciel *et al.* **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Minas Gerais: ed.Viçosa, 1999.

BORGES, Maiara Pinheiro da Silva *et al.* Glyphosate effects on tree species natives from Cerrado and Caatinga Brazilian biome: Assessing sensitivity to two ways of contamination. **Elsevier**, Rio Grande do Norte, v. 769, n. 15. maio 2021. DOI:

10.1016/j.scitotenv.2020.144113. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720376440?via%3Dihub>. Acesso em: 8 de agosto. 2025

BORGES, Larissa Pacheco; AMORIM, Víctor Alves. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, p. 54-67, 03 março 2020. Disponível em:
https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/pt_BR/article/view/9705. Acesso em: 10 agosto. 2025

BRAIN, Richard A.; PERINE, Jeff; COOKE, Catriona; ELLIS, Clare Butler; HARRINGTON, Paul; LANE, Andrew; O’SULLIVAN, Christine; LEDSON, Mark. Evaluating the effects of herbicide drift on nontarget terrestrial plants: a case study with mesotrione. **Environmental Toxicology And Chemistry**, 06 março 2017. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1002/etc.3786>. Acesso em: 10 julho. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 157-158 p.

CEDERLUND, Harald. Effects of spray drift of glyphosate on nontarget terrestrial plants—A critical review. **Environmental Toxicology And Chemistry**, v. 36, n. 11, p. 2879-2886, 21 julho, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/etc.3925>. Acesso em: 8 maio. 2025

CRUZ, Carlos Eduardo Souza; FREITAS-SILVA, Larisse de; RIBEIRO, Cleberson; SILVA, Luzimar Campos da. Physiological and morphoanatomical effects of glyphosate in *Eugenia uniflora*, a Brazilian plant species native to the Atlantic Forest biome. **Environmental Science And Pollution Research**, v. 28, n. 17, p. 21334-21346, 7 janeiro 2021. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-12003-4>. Acesso em: 6 maio. 2025.

FRAGOSO, Daniel de Brito; CARDOSO, Expedito Alvez. Expansão Da Agricultura No Estado Tocantins. In: COLLICCHIO, Erich; DA ROCHA, Humberto Ribeiro (org.). **Agricultura e Mudanças do Clima no Estado do Tocantins: Vulnerabilidade, Projeções e Desenvolvimento**. Tocantins: EdUFT, 2022. p. 51-64.

FUSCO, Roberta et al. Consumption of *Anacardium Occidentale* L. (Cashew Nuts) Inhibits Oxidative Stress through Modulation of the Nrf2/HO-1 and NF-KB Pathways. *Molecules*, v. 25, n. 19, p. 4426, setembro de 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/molecules25194426>. Acesso em: 6 maio. 2023.

GERLACH, Dieter. *Botanische Mikrotechnik: Eine Einführung*. 3 ed. Stuttgart: Thieme. 1984.

HAUPT, A.W. A gelatin fixative for paraffin sections. **Stain Technology**. p. 97-98. 1930.

HESS, Sonia Corina; NODARI, Rubens Onofre; Glifosato, o maior dos venenos. In: HESS, Sonia Corina (org.). **Ensaio sobre poluição e doenças no Brasil**. São Paulo: Outras Expressões, 2018. p. 150 - 159

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Available at:
<<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>> Accessed on 26 Dez 2024

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Biomass**. Available at:<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudosambientais/15842-biomass.html>>. Accessed on 29 Dez 2024

JOHANSEN, D.A. Plant microtechnique. New York, McGraw-Hill Book. 1940.

LIMA, Layanna Giordana Bernarndo. **Os Akwẽ-Xerente no Tocantins: território indígena e as questões socioambientais**. Tese (Doutorado em Faculdade de filosofia, letras e Ciências humanas) - Universidade de São Paulo, Programa de Pós - Graduação em Geografia Humana, 2017. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-11042017-082645/publico/2017_LayannaGiordanaBernardoLima_VCorr.pdf. Acesso em: 02 set. 2024.

MAPBIOMAS – **Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil**. Coleção. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 dez. 2025.

MUNIZ, Marlove Fátima Brião; SILVA, Lorenzo Melo e; BLUME, Elena. Influência da assepsia e do substrato na qualidade de sementes e mudas de espécies florestais. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 140-146, abril. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100019>. Acesso em: 13 jul. 2025.

MONSANTO DO BRASIL LTDA. Roundup Original Mais: bula técnica. São Paulo: Monsanto do Brasil. Registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento sob nº 01119.

MORAES, Any. **Uso potencial de análises fisiológicas e morfoanatômicas de *Hymenaea courbaril* L (Fabaceae) como subsídio ao biomonitoramento ambiental em áreas expostas ao glifosato**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/2764/1/Any%20Karoline%20Cardoso%20de%20Moraes%20-%20Disserta%20a7%20a3o.pdf>. Acesso em: 8 mai. 2023.

PEREIRA, C.N.; PORCIONATO, G. L.; CASTRO, C. N.; Aspectos Socioeconômicos da Região do MATOPIBA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Piauí, v. 1, n. 18, p. 48-59, 2018.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing [software]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acesso em: 20 set. 2025.

REIS, Ana Luísa Lopes Ernesto *et al.* Caracterização anatômica e histoquímica de raízes e folhas de plântulas de *Anacardium occidentale* L. (Anacardiaceae). **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 209-219, abril 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622014000200001>. Acesso em: 20 de maio 2025

SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

STEINRTICKEN H. C.; AMRHEIN N. The Herbicide Glyphosate is a Potent Inhibitor of 5-enolpyruvylshikimic Acid-3-Phosphate Synthase. **Elsevier**, v. 94, n. 4. p. 1207-1212, 1980.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 513–536 p.

THE JAMOVI PROJECT. jamovi (Versão 2.4) [software]. Sydney, 2022. Disponível em: <https://www.jamovi.org>. Acesso em: 20 set. 2025.