REVISTA Fitos®

ARTIGO DE PESQUISA

Potencial bioativo e perfil cromatográfico de folhas de *Mauritiella armata* em resposta à sazonalidade e disponibilidade hídrica

Bioactive potential and chromatographic profile of *Mauritiella armata* leaves in response to seasonality and water availability

https://doi.org/10.32712/2446-4775.2026.1989

Sá, Michelly Tayanne Santos de[1]
https://orcid.org/0009-0006-8056-2370

Melo, Geraldo Aclécio[1]
https://orcid.org/0000-0002-6294-9428

Veloso, Pedro Henrique Fonseca[2*]
https://orcid.org/0000-0003-2802-1244

Duarte, Eduardo Robson[3]
https://orcid.org/0000-0002-2205-9412

Cruz, Juliana Pimenta[1]
https://orcid.org/0000-0001-5115-3136

Vasconcelos, Viviane de Oliveira[1]
https://orcid.org/0000-0001-5126-3124

Sant'Ana, Gilzeanne dos Santos[1]
https://orcid.org/0000-0002-1809-8689

[1]Universidade Estadual de Montes Claros, Departamento de Biologia Geral/CCBS. Av. Dr. Ruy Braga, S/N, Vila Mauricéia, CEP 39401-089, Montes Claros, MG, Brasil.

[2]Universidade Estadual de Montes Claros, Laboratório de Produtos Naturais. Avenida Rui Braga, Vila Mauricéia, CEP 39401-089, Montes Claros, MG, Brasil.

[3]Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. Avenida Universitária, Universitário, CEP 39404-547, Montes Claros, MG, Brasil.

*Correspondência: pedrofonsecambc@gmail.com.

Resumo

Mauritiella armata, conhecida como Xiriri, é uma palmeira típica das veredas do Cerrado e uma espécie-chave desses ambientes. Apesar de sua importância social e econômica, existem poucos estudos sobre o potencial bioativo de suas folhas. Este trabalho avaliou a influência da sazonalidade climática e da localização na vereda sobre o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante das folhas, além de identificar metabólitos por UHPLC-MS/MS. As coletas foram realizadas na Vereda Almescla, em Bonito de Minas (MG), em áreas secas (borda) e úmidas (fundo), durante os períodos de seca e chuva. Os compostos fenólicos foram quantificados pelo método de Folin-Ciocalteau, enquanto a atividade antioxidante foi determinada pelo método DPPH. A caracterização química foi realizada por UHPLC-MS/MS. Os resultados demonstraram maiores teores de compostos fenólicos e maior atividade antioxidante nas folhas coletadas em áreas secas e durante a estiagem, sugerindo influência do estresse hídrico na produção de metabólitos secundários. A análise por UHPLC-MS/MS identificou seis substâncias, incluindo aminoácidos, polifenóis e

flavonoides com potencial bioativo. Os resultados evidenciam a influência da disponibilidade hídrica sobre o perfil metabólico de *M. armata* e seu potencial bioativo.

Palavras-chave: Arecaceae; Cerrado; Veredas; Variação sazonal; Compostos fenólicos, UHPLC-MS/MS.

Abstract

Mauritiella armata, commonly known as Xiriri, is a palm species typical of the Cerrado wetlands and plays an important ecological role in these environments. Despite its social and economic importance, few studies have investigated the bioactive potential of its leaves. This study evaluated the influence of climatic seasonality and position within the wetland on the phenolic compound content and antioxidant activity of the leaves, as well as the identification of metabolites by UHPLC-MS/MS. Samples were collected in the Almescla Wetland, in Bonito de Minas, Minas Gerais, Brazil, from dry (edge) and wet (bottom) areas during the dry and rainy seasons. Phenolic compounds were quantified using the Folin–Ciocalteu method, while antioxidant activity was determined by the DPPH assay. Chemical characterization was performed by UHPLC-MS/MS. The results showed higher phenolic compound contents and greater antioxidant activity in leaves collected from dry areas and during the dry season, suggesting that water stress influences the production of secondary metabolites. UHPLC-MS/MS analysis identified six compounds, including amino acids, polyphenols, and flavonoids with bioactive potential. These findings demonstrate the influence of water availability on the metabolic profile of *M. armata* and highlight its bioactive potential.

Keywords: Arecaceae; Cerrado; Veredas; Seasonal variation; Phenolic compounds, UHPLC-MS/MS.

1. Introdução

O Brasil é o país como a maior reserva de biodiversidade do planeta, no qual abriga ampla diversidade de fauna e flora em seus diversos domínios territoriais, divididos pelos biomas[1]. Entre os ecossistemas, as áreas úmidas são as mais ricas em espécies endêmicas, armazenamento de carbono e processos hidrológicos[2]. Dentre as fitofisionomias de áreas húmidas brasileiras, destaca-se as veredas, distribuídas no cerrado brasileiro e de proteção permanente, caracterizadas pela presença massiva e extra-amazônica da palmeira *Mautitia flexuosa*, popularmente conhecida como Buriti [3,4]. Além da presença da espécie-chave, a ocorrência de outra palmeira, a *Mauritiella armata* possui importância social, econômica e ecológica[5].

Mauritiella armata, também conhecida como Buritirana ou Xiriri, é uma palmeira amplamente distribuída no brasil, e é caracterizada como uma espécie-chave onde ocorre, como os ambientes alagados de veredas[6]. Pode ocorrer em agrupamentos densos, com formação de touceiras[7]. Estudos relacionados ao perfil cromatográfico e bioprospecção de atividades *in vitro* da espécie, revelaram um potencial biotecnológico [8]. Além dos aspectos químicos, atividade biológica do extrato aquoso das folhas da espécie tem efeito contra as larvas de *Aedes aegypti* e *Culex quinquefasciatus*[9].

As folhas da *M. armata* já demostraram potencial antioxidante e maior riqueza de flavonoides que a *M. flexuosa,* o que revela uma possível maior composição de compostos fenólicos bioativos[8]. Os metabólitos secundários, como os compostos fenólicos estão relacionados aos processos bioquímicos realizados pelas plantas, que podem sofrer interferência direta do ambiente ao qual estão inseridos, assim como incidência de radiação ultravioleta e disponibilidade de recursos hídricos[10].

 CC-BY 4.0

Considerando a importância da espécie para ambientes de vereda, e a geografia do ambiente, busca-se compreender, neste trabalho, a composição fenólica e capacidade antioxidante de folhas de *M. armata* coletadas em duas diferentes áreas da Vereda Almescla, caracterizada como borda (área seca) e fundo (área úmida) localizadas em Bonito de Minas, MG-Brasil.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo e coleta do material foliar de *M. armata*

A área de estudo está situada em uma vegetação de vereda, denominada Vereda Almescla, no município de Bonito de Minas, norte do estado de Minas Gerais, (44°55'00 W e 15°13'29 S) e faz parte da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros. A região possui clima tropical do tipo Aw, segundo classificação de Köppen, com inverno seco e temperatura média anual de 22,2 a 22,7 C, e precipitações variando de 1.008 a 1.073 mm, respectivamente[11,12].

A estação chuvosa ocorre nos meses de outubro a março e a estação seca em abril a setembro. Os solos de vereda da região são saturados de água e compostos por resíduos vegetais em diferentes estágios de decomposição[13]. O solo da região é considerado distrófico e arenoso[7], classificado como Histossolos[14]. Porém, ainda é possível observar a presença de água acima do solo proveniente dos lençóis freáticos em alguns locais, e a vegetação apresenta uma estrutura típica de ambientes hidrófilos, com presença de duas zonas principais “áreas abertas” e “floresta hidrófila”. As veredas são encontradas em bordas de chapadas, em fundos de vales e em cabeceiras de drenagem, o que permite o recebimento de água e de sedimentos advindos dos solos em sua volta[15]. O solo caracterizado como brejoso [16]. Todavia, principalmente, em áreas úmidas permanentemente inundadas o nível de água também pode se relacionar as características do solo[17].

O material vegetal foi coletado em duas diferentes áreas da vereda caracterizada como borda (área seca) onde o solo é mais seco com trechos campestres e podem ocorrer arvores mais isoladas e fundo (área úmida) com um solo mais brejoso saturados com água. Partes representativas da palmeira foi coletada identificada e depositada com o voucher 5778 no Herbário Montes Claros (HMCMG) da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), e registro SisGen sob número ACD79B2.

Foram selecionados 05 indivíduos jovens presentes na borda da vereda e 05 indivíduos jovens presentes no fundo para a coleta do material vegetal. As coletas foram realizadas de maneira a compreender os períodos de transição entre as estações seca (meses de julho a setembro) e chuvosa da região (meses de outubro a dezembro), segundo a definição de Alvares *et al.*[11].

2.2. Preparação do material vegetal

Folhas jovens, saudáveis e sem lesões de *M. armata* foram lavadas em água corrente. Posteriormente, as folhas foram desidratadas em estufa de circulação forçada de ar (TE 394/4, Tecnais, Brasil) a 38ºC por 72 h, trituradas em liquidificador industrial obtendo-se o pó seco das folhas e armazenada em sacos plásticos sob o abrigo de luz a 4°C até o uso.

2.3. Quantificação de fenólicos totais

A determinação do teor de fenólicos totais foi realizada por espectrofotometria pelo método de Follin-Ciocalteau[18,19]. Foram preparados tubos de ensaio contendo 3,5 mL de água destilada, aos quais foram acrescidas alíquotas de 50 µg de pó de folha seca. Em seguida foram adicionados 250 µL do reagente de Follin-Cicalteau e após três minutos acrescentou-se à mistura 500 µL de solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 10%. Após uma hora, as absorbâncias foram lidas em espectrofotômetro UV-Luz visível a 740 nm. O conteúdo de compostos fenólicos totais foi determinado com base em uma curva-padrão de ácido gálico (5-80 µg/mL). O teor foi expresso em equivalente de ácido gálico (EAG) por grama de matéria seca e os resultados expressos em média e intervalo de confiança.

2.4. Avaliação da capacidade antioxidante

Para a avaliação do potencial antioxidante das folhas foi realizado o ensaio de reduzir o radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH)[20]. No procedimento, 50 µg do pó das folhas secas foram adicionados a 3 mL de solução DPPH na concentração de 40 µg/mL. Após 30 minutos de reação sob abrigo de luz, a leitura das absorbâncias das amostras foi realizada em espectrofotômetro a 517 nm. Como controle foi utilizado a solução de DPPH e etanol foi usado como branco.

A porcentagem de atividade antioxidante (%AA) foi determinada pela equação (Rufino *et al.*, 2007):

% AA = [(Abs. Controle – Abs. Amostra) / Abs. Controle)] x 100

Onde: Abs. Controle = absorbância do controle (solução de DPPH sem antioxidante) e Abs. Amostra = absorbância da amostra (extrato) a ser testada[21].

2.5. Metodologia de análise UHPLC-MS/MS

2.5.1. Preparo da amostra

Com base nos resultados do teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante, o pó vegetal obtido dos períodos classificados como secos foram agrupados. Então pesados cerca de 5 mg do material vegetal, com auxílio de balança analítica, em microtubos tipo safem lock previamente identificados. Em seguida, as amostras foram solubilizadas em acetonitrila grau HPLC (Merck), com auxílio de ultrassom (5 min) e vórtex (2 min), para se atingir a concentração final de 5 mg/mL. As amostras foram filtradas e pipetados 50 µL em vials de polipropileno, os quais foram acondicionados na rack do amostrador automático para análise por UHPLC-MS/MS.

2.5.2. Análise UHPLC-MS/MS

As análises de UHPLC-MS/MS foram realizadas em um sistema Nexera UHPLC (Shimadzu) acoplado a um espectrômetro de massas com ionização por electrospray e detecção do tipo quadrupolo/tempo de vôo (ESI-Q-TOF) de alta resolução MaXis ETD (Bruker) e controlado pelo pacote de software Compass 1.5 (Bruker).

Alíquotas de 2 µL foram injetadas em uma coluna Shimpack XR-ODSIII (C18, 150 × 2,0 mm, 2,2 µm) (Shimadzu) a 40°C sob uma taxa de fluxo de 400 µL/min. As fases móveis A e B (0,1% de ácido fórmico Supelco em água e acetonitrila grau HPLC Merck, respectivamente) foram empregadas em uma eluição

em modo gradiente a 5% B por 5 min, seguida de uma rampa linear até 100% B em 45 min e uma espera a 100% B durante 5 min. Os espectros de massas foram adquiridos no modo de ionização positivo a uma taxa espectral de 5,00 Hz.

Os parâmetros da fonte de íons foram ajustados para 500 V de end plate offset, voltagem do capilar de 4.500 V, pressão do nebulizador de 3,0 Bar, e fluxo e temperatura do gás de secagem de 8,0 L/min e 200°C, respectivamente. Espectros de fragmentação foram adquiridos em modo dependente de dados (MS/MS automatizado) usando uma rampa de energia de colisão entre 15 e 60 eV. As configurações do resfriador de íons foram otimizadas para uma faixa de 100-1500 m/z usando uma solução calibrante de formiato de sódio Sigma 1 mM em 2-propanol 50% J. T. Baker. A calibração de massas foi realizada por meio de infusão inicial de 20 µL de solução calibrante na fonte de íons e recalibração pós-aquisição dos dados brutos. A detecção do composto foi realizada por dissecção de pico cromatográfico com subsequente determinação da fórmula de acordo com a massa exata e o padrão isotópico (MS1).

A identificação putativa foi baseada na comparação dos espectros de fragmentação dos compostos (MS2) com espectros de referência de substâncias padrão provenientes do banco de dados *in-house* público *MassBank*[22], assim como espectros de fragmentação *in silico* gerados a partir do banco de dados *Universal Natural Product Database* - UNPD-ISDB[23].

2.6. Análise estatística

Os dados quantitativos foram inicialmente submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Levene para a verificação da homocedasticidade e normalidade dos resíduos, respectivamente. Atendidos os pressupostos paramétricos, os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Nos casos em que o teste indicou diferença significativa entre as médias, aplicou-se o teste de comparações múltiplas de Tukey para a discriminação das médias a 5% de probabilidade de erro. Todas as análises estatísticas e construções gráficas foram executadas com o auxílio do programa STATISTICA® versão 7.0.

3. Resultados e Discussão

3.1. Fenólicos totais

As alterações microambientais e espaciais ao longo da fitofisionomia de vereda influenciaram a biossíntese de compostos fenólicos em *M. armata*. Os maiores teores de fenólicos totais foram observados nas folhas coletadas na área de borda (área seca) nos meses de julho, agosto, setembro e novembro, mantendo-se estatisticamente semelhantes entre si **(TABELA 01**, p≥0,05). Por sua vez, na área de fundo (área úmida), os teores mais elevados concentraram-se estritamente no trimestre inicial de amostragem (julho, agosto e outubro).

Observou-se que o mês de dezembro foi caracterizado por um declínio na concentração de compostos fenólicos em ambas as áreas estudadas (0,454 mgEAG/g na área seca e 0,341 mgEAG/g na área úmida), coincidindo com o estabelecimento do período chuvoso na região. Essa retração metabólica está diretamente associada à maior disponibilidade hídrica, uma vez que o estresse hídrico atua como um dos principais gatilhos para a síntese dessas moléculas em *M. armata*, o que corrobora as premissas de Pratyusha[24] ao pontuar flutuações metabólicas adaptativas decorrentes da atenuação ou intensificação do estresse abiótico. Adicionalmente, sabe-se que o déficit hídrico causa impactos profundos nas

características morfofisiológicas e no balanço energético de espécies vegetais[25,26]. Essas respostas fitoquímicas tornam-se ainda mais complexas quando associadas ao fato de que os meses de amostragem foram marcados por anomalias climáticas atípicas induzidas pelo fenômeno macroecológico *El Niño*, o qual interferiu drasticamente nos regimes pluviométricos e térmicos regionais. De acordo com os dados registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em 2023, os períodos avaliados foram caracterizados por severa irregularidade de precipitação e temperaturas elevadas, oscilando entre 20 e 33ºC. Sob a ótica química descrita por Carvalho *et al.*[27], os compostos fenólicos caracterizam-se por sua marcante instabilidade estrutural e susceptibilidade à oxidação. No entanto, a baixa concentração observada especificamente em dezembro é explicada pelo fato de a produção desses metabólitos possuir uma correlação estritamente positiva com o estresse hídrico agudo, cuja atenuação com as primeiras chuvas sazonais reduziu a demanda bioquímica por fotoproteção antioxidante. Logo, as oscilações na homeostase hídrica observadas ao longo do ano atuaram de forma efetiva como moduladoras da dinâmica biossintética de compostos fenólicos na espécie.

TABELA 1: Concentração de compostos fenólicos totais (Média ± Desvio Padrão) em extratos foliares de *Mauritiella armata* submetidos a monitoramento estacional (Julho a Dezembro) em diferentes microhabitats (Área de Borda vs. Área de Fundo) na Vereda Amescla, Bonito de Minas, MG.

Meses	Área de borda	Área de fundo
Julho	0,575 ±0,56^{Aa}	0,564±0,57^{Aa}
Agosto	0,569±0,66^{Aa}	0,588±0,58^{Aa}
Setembro	0,571±0,80^{Aa}	0,528±0,85^{Bb}
Outubro	0,524±0,86^{Bb}	0,560±0,10^{Aa}
Novembro	0,577±0,72^{Aa}	0,460±0,11^{Bb}
Dezembro	0,454±0,53^{Ac}	0,341±0,27^{Bc}

Legenda: Os valores representam a média de cinco repetições biológicas independentes (n = 5), expressos em equivalentes de ácido gálico (mg EAG/g de extrato ou matéria seca). Letras distintas na mesma linha horizontal indicam diferença estatística significativa entre os microhabitats dentro do mesmo mês de amostragem pelo teste estatístico de comparação de médias (Tukey, p≤ 0,05). Letras iguais indicam homogeneidade estatística (p > 0,05).

Diante disso, evidencia-se que os indivíduos estabelecidos nas porções perimetrais (área seca) direcionaram seu metabolismo para um maior rendimento de compostos fenólicos foliares, sugerindo que a plasticidade fitoquímica de *M. armata* é modulada em função do microhabitat ocupado. Essa flutuação metabólica assume grande relevância ecológica por estar intimamente acoplada à variação fenológica da espécie, a qual se consolida como um indicador fidedigno e sensível das respostas adaptativas e dos ajustes funcionais de organismos vegetais frente às oscilações climáticas e edáficas de uma microrregião[28].

Sob a perspectiva adaptativa, os compostos fenólicos desempenham múltiplas funções de defesa e proteção homeostática no reino vegetal. Essas biomoléculas atuam não apenas mitigando o impacto de estressores exógenos ambientais, tais como a alta irradiância solar, extremos térmicos e variações de umidade, mas também respondem a sinalizadores endógenos e fisiológicos integrados, incluindo o background genético, o aporte nutricional tecidual e os balanços fitormonais, os quais atuam de forma sinérgica desencadeando o upregulation de sua síntese[29].

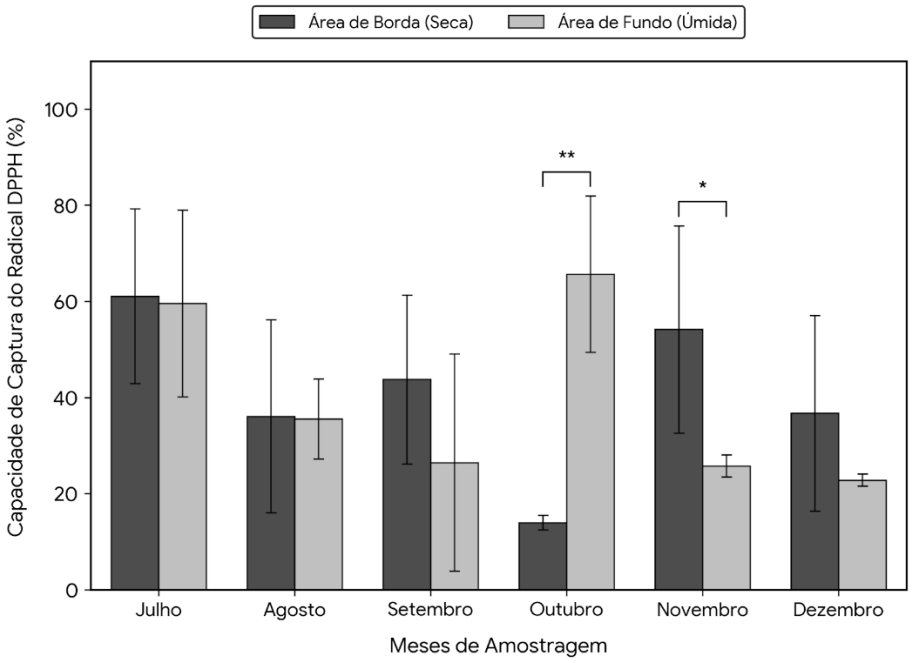
No contexto edáfico regional, Benites *et al.*[30] salientaram que os solos característicos do ecossistema de Veredas apresentam pronunciada escassez de macro e micronutrientes, textura predominantemente

arenosa, elevados teores de alumínio trocável e coloração escura nos horizontes superficiais, esta última decorrente do acúmulo crônico de matéria orgânica sob condições de anoxia. Em virtude dessas peculiaridades edáficas em associação estreita com as forças macroclimáticas da região, as comunidades vegetais estabelecidas nesses ambientes sofrem pressões sazonais drásticas na dinâmica e disponibilidade de água no perfil do solo. Consequentemente, estabelecem-se períodos severos de déficit hídrico combinados a estressores microclimáticos sinérgicos, tais como marcantes oscilações térmicas nictemerais, ação de ventos dessecantes e altos índices de irradiância solar incidente[31].

3.2. Capacidade antioxidante

No que tange à atividade antioxidante das folhas de *M. armata*, os ensaios conduzidos por meio do método de co-captura do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) revelaram que a capacidade sequestrante e o potencial redutor da espécie foram significativamente modulados tanto em função do microhabitat de amostragem quanto pela estacionalidade climática regional **(GRÁFICO 1)**.

GRÁFICO 1: Potencial de atividade antioxidante pelo método de co-captura do radical livre DPPH (%) em extratos foliares de *Mauritiella armata* coletados na Vereda Amescla (Bonito de Minas, MG), avaliando a influência do microhabitat (Área de Borda vs. Área de Fundo) e da estacionalidade climática (Julho a Dezembro). Valores expressos em Média ± Desvio Padrão (n = 5).



Médias ± Desvio Padrão (n=5). Letras diferentes na mesma linha indicam divergência estatística significativa (p<0,05). Asteriscos indicam diferença estatística significativa entre os microhabitats dentro do mesmo mês pelo teste *t* de Student (*p < 0,05; **p < 0,01).

Constatou-se um incremento expressivo na atividade antioxidante nos indivíduos adaptados às condições de estresse hídrico (borda da vereda) e durante os meses que compreendem a estação de estiagem.

A capacidade de captura do radical DPPH pelos extratos foliares de *M. armata* revelou uma dinâmica estacional e espacial bem definida. Nos meses correspondentes ao período seco e de transição (julho, agosto e setembro), não foram observadas diferenças significativas (p > 0,05) na atividade antioxidante

 CC-BY 4.0

entre os indivíduos da borda e do fundo, sugerindo uma estabilidade metabólica basal intrínseca à espécie nesses períodos.

Contudo, no mês de outubro, registrou-se uma divergência metabólica, onde as palmeiras localizadas na área de fundo (úmida) exibiram um incremento na atividade antioxidante (65,66% ± 16,26), superando significativamente a área de borda (13,9% ± 1,54; p = 0,0019). Esse pico adaptativo na área de fundo pode estar associado a respostas fisiológicas específicas a variações no lençol freático ou microclima local no ápice da transição estacional.

Em contrapartida, no mês de novembro, observou-se uma inversão dessa tendência, com a área de borda manifestando atividade significativamente maior (54,17% ± 21,55) em comparação à área de fundo (25,75% ± 2,29; p = 0,0415). Esse comportamento na borda pode refletir o estresse oxidativo induzido pelo retorno das precipitações e pela maior exposição a fatores estressores bióticos e abióticos característicos das zonas de transição da vereda, estimulando a rota dos fenilpropanoides e a consequente síntese de compostos fenólicos protetores.

Sob a perspectiva da ecologia química, os antioxidantes em *M. armata* constituem uma estratégia fundamental de homeostase frente a estressores abióticos. A capacidade de varredura radicalar aqui demonstrada corrobora a literatura ao posicionar as espécies de veredas como fontes potenciais de metabólitos bioativos[32]. Adicionalmente, a variação espacial observada reforça que, para macrófitas em ambientes restritivos, a síntese de antioxidantes não é um processo estático, mas um rearranjo fenológico finamente sintonizado às pressões do microambiente, como o potencial hídrico do solo e a radiação fotossinteticamente ativa[33].

Em sistemas mamíferos, a falha crônica nos sistemas endógenos de detoxificação celular e o consequente estresse oxidativo atuam na etiopatogenia de diversas condições clínicas severas, correlacionando-se diretamente com o desenvolvimento de neoplasias, disfunções coronarianas, obesidade, diabetes tipo 2, hipertensão arterial, catarata e distúrbios neurodegenerativos, como as doenças de Alzheimer e Parkinson[34]. Diante disso, a identificação de espécies do Cerrado com elevada capacidade de varredura radicalar, como *M. armata*, desperta marcante interesse biotecnológico para o desenvolvimento de novos insumos terapêuticos naturais.

Nesse contexto, a prospecção de espécies vegetais ricas em compostos com alta capacidade de varredura radicalar consolida-as como fontes biotecnológicas viáveis para o isolamento de moléculas bioativas com potencial aplicação no desenvolvimento de novas matrizes farmacológicas. Paralelamente ao seu valor biomédico, Oliveira[35] ressaltou que o incremento dos sistemas antioxidantes teciduais constitui uma estratégia adaptativa primordial das plantas para mitigar os danos foto oxidativos e a degradação macromolecular desencadeados pelo estresse hídrico.

3.3. Análises cromatográficas

Foi feita a cromatografia líquida de ultra alta eficiência acoplada à espectrometria de massas de alta resolução (UHPLC-MS/MS) para identificar os principais compostos presentes nas folhas da *Mauritiella armata* **(TABELA 2)**.

TABELA 2: Compostos identificados por UHPLC-MS/MS presentes em extrato de folhas de *Mauritiella armata* extraídos por acetato de etila.

Substância	Compostos (massa monoisotópica)	RT min	MS $[M+H]^+$ (m/z)	MS/MS Fragmentos MS/MS (M/Z abundância relativa -%)	Fórmula Molecular	Classe Química
1	Arginina[a] (174.1117)	1.0	175.1156	175.1151 (100.0); 158.0893 (19.4)	$C_6H_{14}N_4O_2$	Aminoácido
2	Citrulina[a] (175.0957)	1.1	176.0997	176.0998 (4.5); 159.0734 (100.0); 160.0764 (4.4)	$C_6H_{13}N_3O_3$	Aminoácido
3	Tirosina[a] (181.0739)	1.3	182.0778	182.0777 (13.1); 136.0728 (100.0); 165.0515 (73.4); 147.0407 (22.3)	$C_9H_{11}NO_3$	Aminoácido
4	Ácido clorogênio[b] (354.0951)	34.3	355.0956	355.0946 (1.0); 163.0358 (100.0); 135.0411 (9.0)	$C_{16}H_{18}O_9$	Ácido Fenólico
5	(-)-Epicatequina[b] (290.0790)	34.6	291.0807	291.0810 (31.9); 139.0360 (100.0); 123.0412 (42.7); 165.0514 (20.9)	$C_{15}H_{14}O_6$	Polifenólico
6	Rutina[b] (610.1533)	35.1	611.1497	611.1524 (3.0); 303.0444 (100.0); 465.0951 (9.7)	$C_{27}H_{30}O_{16}$	Flavonoide
7	Hiperosídeo[b] (464.0954)	35.3	465.0941	465.0949 (1.5); 303.0443 (100.0); 153.0149 (1.9); 229.0449 (1.7)	$C_{21}H_{20}O_{12}$	Flavonoide

Legenda: (a) Mass-Bank, espectro de massa de íon precursor [M+H]+ e íon produto combinado com aqueles registrados na biblioteca MS/MS "Mass-Bank"; (b) In-house, espectro de massa de íon precursor [M+H]+ e íon produto combinado com aqueles registrados na biblioteca MS/MS "In-house".

A substância 1, anotada como arginina, com m/z 175 e fórmula molecular $C_6H_{14}N_4O_2$, possui o fragmento característico de m/z 158 relativo a perda de amônia $[M+H-NH_3]$ do grupo guanidina[36]. A arginina participa da síntese de citocinina, tendo uma forte ação rejuvenescedora nas plantas, promovendo o crescimento radicular e podendo atuar na síntese de poliaminas que promovem um papel de defesa contra estresses[37].

A substância 2, anotada como citrulina, com m/z 176 e fórmula molecular $C_6H_{13}N_3O_3$, possui o fragmento característico de m/z 159, o íon produto mais abundante observado, relativo a perda neutra de $[M+H-NH_3]$ da substância[38]. Essa substância é um percursor natural da arginina, e que pode ser utilizada como um suplemento do qual a arginina pode ser sintetizada, o que é farmacologicamente promissor para o tratamento de doenças associadas a deficiência de arginina[39].

A substância 3, anotada como tirosina, com m/z 182 e fórmula molecular $C_9H_{11}NO_3$, possui os fragmentos característicos de m/z 136 relacionado a perda de um grupo carboxila [M+H-COOH], m/z 165 relacionado a perda de amônia da cadeia principal[40], e m/z 147 que pode estar relacionado a perda de amônia $[M+H-NH_3]$, seguida de uma desidratação $[M+H-H_2O]$[41]. A tirosina é um aminoácido ligado as funções fisiológicas do corpo humano, especialmente no equilíbrio das funções neurológicas, atuando na síntese de substâncias como serotonina e catecolamina, sabe-se que a deficiência desse aminoácido pode contribuir com o agravo de depressões[42].

Anotada como ácido clorogênico, a substância 4, com m/z 355 e fórmula molecular $C_{16}H_{18}O_9$, possui o fragmento caraterístico de m/z 163 relativo à perda de parte da estrutura $[M+H-C_7H_{11}O_6]$. O ácido clorogênico é um fenólico com atividades biológicas importantes, como atividade antioxidante, antibacteriana, hepatoprotetora, neuroprotetora dentre outras ações farmacológicas com grande importância para a saúde humana[43,44].

Já a substância 5, anotada como (-)-epicatequina com m/z 291 e fórmula molecular $C_{15}H_{14}O_6$, possui os fragmentos característicos de m/z 165, m/z 139 e m/z 123, já relatados na literatura, corroborando com o

achado[45]. Assim como os demais fenólicos, a epicatequina tem funções relacionadas a proteção contra os radicais livres, como ação antioxidante e anti-inflamatórias, contribui para o desempenho muscular e melhora do sistema cardiovascular[46].

Anotada como substância 6, a rutina com m/z 611 e fórmula molecular $C_{27}H_{30}O_{16}$, possui os fragmentos m/z 465 a perda do ramnosídeo [M+H-$C_6H_{11}O_4$] e m/z 303 correspondentes a quercetina aglicona[45]. Também, conhecida como vitamina P a rutina possui atividades farmacológicas já descritas, caracterizada como nutracêutico, está presente em uma diversidade de alimentos frutas e folhas de chá[47].

Anotada como subtância 7, o hiperosídeo com m/z 465 e fórmula molecular $C_{21}H_{20}O1_2$, possui o fragmento m/z 303, relativo à perda do glicosídeo [M+H-$C_6H_{11}O_4$], e os fragmentos m/z 229 e m/z 153 relativos à fragmentação no anel heterocíclico e ao rearranjo retro-Diels-Alder[48]. O hiperosídeo exerce uma ampla gama de efeitos farmacológicos, como prevenção do câncer e proteção do cérebro, neurônios, coração e rim, e regulando várias vias de sinalização, processos metabólicos, citocinas e quinases[49].

Em um estudo avaliando o perfil de compostos fenólicos das frações do fruto da buritirana foi determinado utilizando UHPLC-ESI-MS, que foram identificados e quantificados nove compostos sendo eles: quercetina, rutina, epicatequina/catequina e ácidos ferúlico, sinápico, p-cumárico, clorogênico, protecatecuico e quínico[50]. Assim, neste estudo, utilizando a mesma metodologia cromatográfica UHPLC-ESI-MS/MS, porém utilizando folhas da *M. armata* foram identificados compostos semelhantes com os que já foram identificados em frutos.

As plantas frequentemente enfrentam uma variedade de condições ambientais desfavoráveis, que vão desde períodos de seca a inundações, alta salinidade e temperaturas extremas. Muitas vezes, esses estresses abióticos não ocorrem isoladamente, mas sim em conjunto, como por exemplo, calor intenso e secura, e podem até coincidir com ataques de diversos agentes patogênicos[51]. Várias estratégias para lidar com os diferentes desafios do estresse abiótico requerem grandes adaptações no metabolismo dos aminoácidos.

Dessa forma, um dos compostos identificados pela cromatografia, a arginina participa da síntese de citocinina, tendo uma forte ação rejuvenescedora nas plantas, promovendo o crescimento radicular e podendo atuar na síntese de poliaminas que promovem um papel de defesa contra estresses[37].

Conclusão

O estudo da plasticidade metabólica de *Mauritiella armata* na Vereda Amescla permitiu elucidar que a produção de compostos bioativos nesta espécie é intrinsecamente responsiva à sazonalidade e à heterogeneidade microambiental do ecossistema de veredas. Os dados demonstram que o estresse hídrico sazonal atua como um modulador crítico da rota dos fenilpropanoides e da capacidade antioxidante foliar, evidenciando uma adaptação evolutiva robusta para a mitigação de danos oxidativos em ambientes de alta irradiância e oscilação hídrica.

A identificação de padrões divergentes entre os microhabitats de borda e fundo revelou que *M. armata* ajusta seu investimento em defesas químicas em função da disponibilidade hídrica local e das demandas metabólicas de crescimento. O potencial antioxidante e o perfil fitoquímico aqui delineados consolidam a

espécie como uma fonte promissora de moléculas bioativas, com perspectivas biotecnológicas relevantes para a indústria farmacêutica e nutracêutica.

Por fim, este trabalho reforça a importância das veredas como santuários de biodiversidade e laboratórios naturais de adaptação vegetal. Compreender os ajustes funcionais de *M. armata* sob o cenário atual de alterações climáticas e instabilidade pluviométrica é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes, garantindo a manutenção da integridade ecológica e dos serviços ecossistêmicos prestados por essas fitofisionomias do Cerrado.

Fonte de Financiamento

Não houve.

Conflito de interesses

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Fundação para o Apoio à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); à Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes) e ao Programa Ecológico de Longa Duração em Veredas PELD Veredas.

Referências

1. Ellwanger JH, Nobre CA, Chies JAB. Brazilian biodiversity as a source of power and sustainable development: a neglected opportunity. **Sustainability**. [s. l.]. 28 Dec. 2023; 15(1): 482. Available at: [https://doi.org/10.3390/su15010482].

2. Durigan G, Munhoz CB, Zakia MJB, Oliveira RS, Pilon NAL, Valle RST, *et al*. Cerrado wetlands: multiple ecosystems deserving legal protection as a unique and irreplaceable treasure. **Perspect Ecol Conser**. [s. l.]. Jul. 2022; 20(3): 185–196. Available at: [https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.06.002].

3. Nascente JC, Ferreira ME, Nunes GM. Integrated fire management as a renewing agent of native vegetation and inhibitor of invasive plants in vereda habitats: diagnosis by remotely piloted aircraft systems. **Remote Sensing**. [s. l.]. 21 Feb. 2022; 14(4): 1040. Available at: [https://doi.org/10.3390/rs14041040].

4. Ávila MA, Nunes YRF, Souza CS, Machado AO, Dos-Santos HCM, Ribeiro LM, *et al*. Local environment contributes to shape phenological patterns in *Mauritia flexuosa* L.f. **Forest Ecol Manag**. Oct. 2023; 545: 121252. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121252].

5. Henderson A, Galeano G, Bernal R. **Field Guide to the Palms of the Americas.** Princeton: Princeton University Press, 1995.

6. Ávila MA, Azevedo IFP, Antunes JR, Souza CR, Santos RM, Fonseca RS, *et al*. Temperature as the main factor affecting the reproductive phenology of the dioecious palm *Mauritiella armata* (Arecaceae). **Acta Bot Brasil**. 2022; 36. Disponível em: [https://doi.org/10.1590/0102-33062021abb0111].

7. Nunes YRF, Ávila MA, Santos RM. **Florística e Fitossociologia das comunidades arbóreas de veredas: um estudo de caso no norte de Minas Gerais, Brasil.** In: *Fitossociologia do Brasil: métodos e estudos de casos*. Viçosa: Editora UFV, 2015. p. 264-287.

8. Royo VA, Rocha JÁ, Santos KT, Freitas JFL, Almeida CA, Ribeiro B, *et al*. Comparative studies between *Mauritia flexuosa* and *Mauritiella armata*. **Pharmacogn J**. 7 jan. 2019; 11(1): 32–36. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.5530/pj.2019.1.6].

9. Matos RLFR, Souza NN, Santos SM, Rafael AF, Duarte ER, Oliveira KBA, *et al*. Larvicidal activity of leaf extract from *Mauritiella armata* (Aceraceae) on *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Culicidae). **J Agric Sci**. [s. l.]. 15 Jan. 2022; 14(2): 63. Available at: [https://doi.org/10.5539/jas.v14n2p63].

10. Babenko LM, Smirnov OE, Romanenko KO, Trunova OK, Kosakivska IV. Phenolic compounds in plants: biogenesis and functions. *The* **Ukrainian Biochem J**. 15 May 2019; 91(3): 5–18. Available at: [https://doi.org/10.15407/ubj91.03.005].

11. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalvez JD, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol Zeitschrift**. 2013; 22(6): 711-728.

12. Azevedo IFP, Nunes YRF, Ávila MA, Silva DL, Fernandes GW, Veloso RB. Phenology of riparian tree species in a transitional region in southeastern Brazil. **Braz J Bot.** 2014; 37: 47–59 [https://doi.org/10.1007/s40415-014-0046-5].

13. Ávila MA, Mota NM, Souza SR, Santos RM, Nunes YRF. Diversity and structure of natural regeneration in swamp forests in Southeastern Brazil. **Florest Amb**. 2021; 28(1): [https://doi.org/10.1590/2179-8087-floram-2019-0110].

14. Iuss Working Group Wrb. **World Reference Base for Soil Resources (WRB)**. Sistema universal reconhecido pela International Union of Soil Science (IUSS) e FAO. 2015. Disponível em: [https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf].

15. Boaventura RS. **Vereda berço das águas**. Belo Horizonte: Ecodinâmica, 264 p., 2007.

16. Oliveira T, *et al.* Avaliação da qualidade físico-química de polpas de frutas congeladas na cidade de Mossoró-RN. **Rev Verde Agroecol Desenv Sustent**. 2014; 9(2): 248–255.

17. Junk WJ, Cunha CN, Piedade, MTF. Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá** – MT. 2015. Disponível em: [http://cppantanal.org.br/wp-content/uploads/2017/04/E-book-Classificacao-e-Delineamento-das-AUs.pdf].

18. Swain T, Hillis WE. The phenolic constituents of *Prunus domestica* I. The quantitative analysis of phenolic constituents. **J Sci Food Agric**. 1959; (10): 63-68.

19. Soares CRB, Oliveira LM, Flores AV, Corrêa BJS. Investigação de dormência em pirênios de *Trithrinax acanthocoma* Drude: anatomia e histoquímica. **Ciênc Florest**. 2025. [https://doi.org/10.5902/1980509885292].

20. Sousa CMMS, *et al.* Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Quím Nova**. 2007; 30(2): 351-355.

21. Galeano AK, Centurión JR, Soverina MS, Mereles LG, Campuzano-Bublitz MA, Kennedy ML. *In vitro* antioxidant capacity and *in vivo* hepatoprotective effect of *Allophylus edulis* leaf extract. **Departamento de Farmacología, Facultad de Ciencias Químicas**, Universidad Nacional de Asunción; Departamento de Bioquímica de Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción, 2022.

22. Horai H, *et al.* Massbank: a public repository for sharing mass spectral data for life sciences. **J Mass Spectr**. 2010; 45(7): 703–714. [https://doi.or/10.1002/jms.1777].

23. Allard PM, Péresse T, Bisson J, Gindro K, Marcourt L, Pham VC, *et al*. Integration of molecular networking and in-silico Ms/Ms fragmentation for natural products dereplication. **Analyt Chem**. 2016; 88(6): 3317–3323. Disponível em: [https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b04804].

24. Pratyusha, S. Phenolic compounds in the plant development and defense. In: **Plant stress physiology: Perspectives in agriculture**. p. 125, 2022.

25. Ribeiro JES, Coêlho ES, Figueiredo FRA, Bezerra FTC, Dias TJ, Cavalcanti MLF, *et al*. Características morfofisiológicas em plantas de *Erythroxylum pauferrense* Plowman sob estresse hídrico. **Ciênc Florestal**. 2023; 33(2): Disponível em: [https://doi.org/10.5902/1980509865886].

26. Braz H, Ristau ACP, Cruz MSFV, Vitto DC, Malavasi UC, Malavasi MM. Características morfofisiológicas de espécies lenhosas rustificadas sob restrição hídrica. **Ciênc Florestal**. [s. l.]. 23 nov. 2022; 32(4): 1790–1806. [https://doi.org/10.5902/1980509841670].

27. Carvalho JCT, *et al.* Compostos fenólicos simples e heterosídicos. In: Simões CMO, *et al.* (Orgs.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre/Florianópolis: UFRGS/UFSC, 2004. Cap. 20, p. 519-535.

28. Fournier LA. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, vol. 24, p. 422-423, 1974.

29. Aherne SA, O'brien NM. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. **Nutrition**. New York. 2002; 18(1): 75-81.

30. Benites VM, Madari B, Machado PLOA. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. **Comunicado Técnico 16**. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, 7 p., 2003.

31. Rapini A, Ribeiro PL, Lambert S. **A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço**, 4, 2008.

32. Dimitrova L, *et al.* Antimicrobial and antioxidant potential of different solvent extracts of the medicinal plant *Geum urbanum* L. **Chem Central J**. nov. 2017; 11(1).

33. Morellato LPC, Talora DC, Takahasi A, Bencke CC, Romera EC, Zipparró VB. Phenology of Atlantic Rain Forest trees: a comparative study. **Biotropica**. 2000; 32: 811-823.

34. Barbosa KBF, *et al.* Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. **Rev Nutr**. Campinas. jul./ago. 2010; 23(4): 629-643.

35. Oliveira MB. **Avaliação do perfil metabólico foliar de *Gomphrena agrestis* Mart. (Amaranthaceae) crescendo em área de campo rupestre durante a transição das estações seca e chuvosa**. Montes Claros, 2015. 44 p. Dissertação de Mestrado [em Ciências Biológicas] – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, MG. 2015.

36. Cai T, Zhou J, Jiang Y, Xie K, Fang D, Qi H, et al. Gas-phase intramolecular hydroxyl-amino exchange of protonated arginine and verified by the synthetic intermediate compound. **J Mass Spectrom.** 2018; 53: 700–704. [https://doi.org/10.1002/jms.4208].

37. Alcázar R, Altabella T, Marco F, Bortolotti C, Reymond M, Koncz C, *et al*. Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. **Plant**. 2010; 231: 1237–1249.

38. Jones JW, Tudor G, Bennett A, Farese AM, Moroni M, Booth C, *et al*. Development and validation of a LC-MS/MS assay for quantitation of plasma citrulline for application to animal models of the acute radiation syndrome across multiple species. **Anal Bioanalyt Chem**. 2014; 406(19): 4663–4675. [https://doi.org/10.1007/s00216-014-7870-0].

39. Rashid J, Kumar SS, Job KM, Liu X, Fike CD, Sherwin CMT. Therapeutic Potential of Citrulline as an Arginine Supplement: A Clinical Pharmacology Review. **Pediatric Drugs.** 2020; 22(3): 279-293. [https://doi.org/10.1007/s40272-020-00384-5].

40. Shi J, Gao X, Zhang A, Qin X, Du G. Characterization of multiple chemical components of GuiLingJi by UHPLC-MS and 1H NMR analysis. **J Pharmac Anal**. 2022; 12(3): 460–469. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/j.jpha.2021.09.013].

41. Choi YS, Yang YJ, Yang B, Cha HJ. *In vivo* modification of tyrosine residues in recombinant mussel adhesive protein by tyrosinase co-expression in *Escherichia coli*. **Microb Cell Fact**. 2012; 11: 139. [https://doi.org/10.1186/1475-2859-11-139].

42. Parker G, Brotchie H. Mood effects of the amino acids tryptophan and tyrosine. **Acta Psychiatr Scandin**. 2011; 124(6): 417–426. Available at: [https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.2011.01706.x].

43. Naveed M, Hejazi V, Abbas M, Kamboh AA, Khan GJ, Shumzaid M, *et al*. Chlorogenic acid (CGA): a pharmacological review and call for further research. **Biomed Pharmacother**. 2018; 97: 67-74. [https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.10.064].

44. Miao M, Xiang L. Pharmacological action and potential targets of chlorogenic acid. **Adv Pharmacol**. Elsevier, 2020. Available at: [https://doi.org/10.1016/bs.apha.2019.12.002].

45. Sacramento VM, Royo VA, Veloso PHF, Souto KSF, Caldeira ASP, Martins CHG, *et al*. *Diplopterys pubipetala* (Malpighiaceae): Insights into antioxidant, antibacterial, and antifungal activities with chemical composition analysis via UHPLC-MS/MS and GC/MS. **Molecules**. 2025; 30(4): 946. [https://doi.org/10.3390/molecules30040946].

46. Qu Z, Liu A, Li P, Liu C, Xiao W, Huang J, *et al*. Advances in physiological functions and mechanisms of (−)-epicatechin. **Critic Rev Food Sci Nutr**. 2020; 61(2): 211–233. Available at: [https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1723057].

47. Ganeshpurkar A, Saluja AK. The Pharmacological Potential of Rutin. **Saudi Pharm J.** 2017; 25(2): 149-164. [https://doi.org/10.1016/j.jsps.2016.04.025].

48. Ji L, Shi W, Li Y, He J, Xu G, Qin M, *et al*. Systematic Identification, Fragmentation Pattern, And Metabolic Pathways of Hyperoside in Rat Plasma, Urine, And Feces by UPLC-Q-Exactive Orbitrap MS. **J Anal Methods Chem**. 2022; 2022: 2623018. [https://doi.org/10.1155/2022/2623018].

49. Xu S, Chen S, Xia W, Sui H, Fu X. Hyperoside: a review of its structure, synthesis, pharmacology, pharmacokinetics and toxicity. **Molecules**. 2022; 27(9): 3009. Disponível em: [https://doi.rog/10.3390/molecules27093009].

50. Souza FG, Araújo FF, Orlando EA, Rodrigues FM, Chávez DWH, *et al*. Characterization of Buritirana (*Mauritiella armata*) fruits from the Brazilian Cerrado: biometric and physicochemical attributes, chemical composition and antioxidant and antibacterial potential. **Foods**. 2022; 11: 786.

51. Heinemann B, Hildebrandt TM. **O papel do metabolismo de aminoácidos na sinalização e adaptação metabólica à deficiência energética induzida por estresse em plantas**. Instituto de Genética Vegetal, Departamento de Proteômica Vegetal, Universidade Leibniz Hannover, Alemanha, 2021.

Histórico do artigo | Submissão: 20/01/2026 | **Aceite:** 07/09/2026

Como citar este artigo: Sá MTS, Veloso PHF, Cruz JP, Sant'Ana GS, *et al*. Potencial bioativo e perfil cromatográfico de folhas de *Mauritiella armata* em resposta à sazonalidade e disponibilidade hídrica. **Rev Fitos**. Rio de Janeiro. 2026; 20(1): e1989. e-ISSN 2446.4775. Disponível em: <https://doi.org/10.32712/2446-4775.2026.1989>. Acesso em: dd/mm/aaaa.

Licença CC BY 4.0: Você está livre para copiar e redistribuir o material em qualquer meio; adaptar, transformar e construir sobre este material para qualquer finalidade, mesmo comercialmente, desde que respeitado o seguinte termo: dar crédito apropriado e indicar se alterações foram feitas. Você não pode atribuir termos legais ou medidas tecnológicas que restrinjam outros autores de realizar aquilo que esta licença permite.