



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÂNICA E INORGÂNICA
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

CRISTIAN SAMPAIO DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS QUÍMICOS DO INHAME-ROXO
(*Dioscorea trifida*) E DO INHAME-BRANCO (*Dioscorea alata*)

FORTALEZA-CE

2024

CRISTIAN SAMPAIO DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS QUÍMICOS DO INHAME-ROXO
(*Dioscorea trifida*) E DO INHAME-BRANCO (*Dioscorea alata*)

Monografia apresentada ao Curso de Química Bacharelado do Departamento de Química Orgânica e Inorgânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Química

Orientador Pedagógico: Prof. Dr. Marcos Carlos de Mattos.

Orientador Profissional: Prof. Dr. Kirley Marques Canuto.

FORTALEZA-CE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S696c Sousa, Cristian Sampaio de.
Caracterização de compostos químicos do inhame-roxo (*Dioscorea trifida*) e do inhame-branco (*Dioscorea alata*) / Cristian Sampaio de Sousa. – 2024.
45 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Marcos Carlos de Mattos.
Coorientação: Prof. Dr. Kirley Marques Canuto.
1. Inhame-roxo. 2. Inhame-branco. 3. Composição. 4. UPLC-QDa-MS. I. Título.
- CDD 540
-

CRISTIAN SAMPAIO DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS QUÍMICOS DO INHAME-ROXO
(*Dioscorea trifida*) E DO INHAME-BRANCO (*Dioscorea alata*)

Monografia apresentada ao Curso de Química Bacharelado do Departamento de Química Orgânica e Inorgânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Química

Aprovada em: __/__/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Carlos de Mattos (Orientador Pedagógico)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Kirley Marques Canuto (Orientador profissional)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Me. Francisco Acácio de Sousa
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Para minha amada família, que me
inspira e me apoia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha família, Cleide, Cristiano, Cleane e Sofi, que me ajudaram ao longo de toda minha vida, fornecendo carinho, afeto, conselhos e atenção. Amo vocês!

Ao professor Dr. Marcos, por ser meu orientador pedagógico, ter acreditado em mim e, principalmente, por ser paciente e compreensível.

Ao professor Dr. Kirley, por ser meu orientador profissional, sendo paciente e atencioso, chamando minha atenção quando necessário. O senhor é uma inspiração para mim.

Ao Me. e atual doutorando Acácio, que aceitou participar da banca avaliadora. Uma pessoa querida que ajudou principalmente com conselhos e momentos descontraídos, ajudando o ambiente laboratorial a ser sério e científico, mas também acolhedor e divertido. Obrigado!

Ao analista Dr. Paulo, um profissional incrível que me auxiliou durante a elaboração deste trabalho, cedendo tempo, atenção, conhecimentos, conselhos e momentos de descontração que me arrancaram várias risadas.

A doutoranda Nigéria, uma pessoa ímpar que me ajudou na elaboração deste trabalho, cedendo seu precioso tempo apenas para me ajudar.

Aos meus amigos que fiz durante a graduação na UFC e que foram uma fonte de ânimo, entretenimento e troca de conhecimentos: Beбето, Gui, Mike, Gabs, Elci, Lekinha, Ceci, Dani, Denielciu, Lorrane, Ribeirinho e Kauan.

A Yasmim, por ter me escutado, dado atenção, e servido como fonte de inspiração e apoio. Sem sua injeção de ânimo provavelmente este trabalho não seria concluído. Você é uma pessoa muito importante!

A todos que fizeram parte da minha vida, influenciando positivamente nela, muito obrigado!

“Outside, the dawn is breaking
But inside in the dark I’m aching to be free
The show must go on”.

- Queen.

RESUMO

O inhame, pertencente ao gênero *Dioscorea spp.*, é um tubérculo que apresenta uma grande facilidade de cultivo, sendo cultivado principalmente em regiões tropicais e subtropicais. Dentre os quais, destaca-se o inhame-roxo (*Dioscorea Trifida*), também conhecido como cará-roxo no Brasil, e o inhame-branco (*Dioscorea Alata*), que são as principais espécies cultivadas no Brasil. Apesar da grande contribuição medicinal e nutricional conhecidas, o inhame é, culturalmente, menosprezado, pelos órgãos governamentais dando pouca ou nenhuma importância ao consumo deste tubérculo no Brasil. Este presente trabalho visa investigar a composição química de duas espécies de inhame, *D. trifida* e *D. alata*, com foco nos compostos polares. As extrações ocorreram pela solubilidade dos compostos polares utilizando Etanol/Água 30:70 (v/v) levemente acidificado com ácido clorídrico 0,001% (v/v), sendo analisadas posteriormente em um Cromatógrafo Líquido de Ultraeficiência acoplado a um Espectrômetro de Massa e Detector de Arranjo de Diodo (UPLC-QDa-MS). Foi possível detectar a presença de um total de 13 substâncias, das quais 7 foram identificadas utilizando os espectros obtidos aliados com a literatura, sendo que a amostra de *D. Trifida* com maior intensidade de coloração (RM) foi a que apresentou mais substâncias identificadas. Assim sendo, considerando as virtudes comprovadas em relação ao consumo deste tubérculo, vale salientar a importância da elaboração de mais estudos voltados para esta área.

Palavras-Chave: inhame-roxo; inhame-branco; composição; UPLC-QDa-MS.

ABSTRACT

Yam, belonging to the genus *Dioscorea spp.*, is a tuber that is easy to cultivate, being cultivated mainly in tropical and subtropical regions. Among which, the purple yam (*Dioscorea trifida*), also known as purple yam in Brazil, and the white yam (*Dioscorea alata*) stand out, which are the main species cultivated in Brazil. Despite the great medicinal and nutritional contribution that is already known, yam is culturally undervalued, with government agencies giving little or no importance to the consumption of this tuber in Brazil. This present work aims to investigate the chemical composition of two species of yam, *D. trifida* and *D. alata*, focusing on the polar compounds present in these tubers. Extractions occurred based on the solubility of polar compounds using Ethanol/Water 30:70 (v/v) slightly acidified with 0.001% hydrochloric acid (v/v) and were subsequently analyzed on an Ultra-Efficient Liquid Chromatograph coupled to a Mass Spectrometer and Detector of Diode Array (UPLC-QDa-MS). It was possible to detect the presence of a total of 13 substances, of which 7 were identified using the spectra obtained combined with the literature, and the *D. trifida* sample with the highest color intensity (RM) was the one with the most substances identified. Therefore, considering the proven virtues in relation to the consumption of this tuber, it is worth highlighting the importance of conducting more studies in this area.

Keywords: purple yam; white yam; composition; UPLC-QDa-MS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Diferenças morfológicas em espécie de <i>Dioscorea Trifida</i>	17
Figura 02: Diferenças morfológicas em espécie de <i>Dioscorea Alata</i>	18
Figura 03: Representação geral da estrutura química de um aminoácido	19
Figura 04: Aminoácidos que compõe a estrutura molecular de proteínas	20
Figura 05: Função orgânica fenol presente em compostos fenólicos	21
Figura 06: Estrutura química básica de um flavonoide	22
Figura 07: Tipos de flavonoides mais presentes na natureza.....	23
Figura 08: Estrutura básica de uma antocianina	23
Figura 09: Variação da coloração das antocianinas em função do pH	24
Figura 10: Esquema simplificado de um cromatógrafo líquido	25
Figura 11: Etapas de funcionamento resumido de um cromatógrafo de massa	27
Figura 12: Esquema simplificado do funcionamento do ESI	28
Figura 13: Amostras imersas em solução polar e apolar	31
Figura 14: Tratamento de sonificação das amostras em temperatura ambiente	32
Figura 15: Processo de secagem das amostras por rotaevaporação à 35°C	32
Figura 16: Secagem das amostras utilizando gás nitrogênio.....	33
Figura 17: Fluxograma do preparo das amostras.....	33
Figura 18: Espectro de massa (superior) e espectro de absorbância (inferior) obtidos do RM com o UPLC-QDa para Tr de 3,76 min	37
Figura 19: Espectro de massa para Tr de 4,4 min do RM utilizando UPLC-QDa	38
Figura 20: Espectro de massa (superior) e espectro de absorbância (inferior) para Tr de 5,27 min do BC obtido por UPLC-QDa.....	38
Figura 21: Espectros de massa para Tr de 5,86 min do RM obtido por UPLC-QDa.....	39
Figura 22: Espectro de massa (superior) e absorbância (inferior) para Tr de 6,55 min do RM obtido por UPLC-QDa	49
Figura 23: Espectros de massa positivo e negativo (superior) e espectro de absorção (inferior) para Tr de 6,57 min da PR, referente ao Vicenin 3	40
Figura 24: Espectros de massa positivo e negativo (superior) e espectro de absorção (inferior) para Tr de 6,62 min da PR, referente ao Vicenin 1	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Codificação das amostras analisadas de acordo com a espécie	30
Tabela 2: Massas obtidas do processo de extração.....	35
Tabela 3: Tentativa de caracterização de substâncias presentes nas amostras.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BC	Branco-Comum
CG	Cromatografia gasosa
CI	Chemistry ionization
CL	Cromatografia líquida
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EI	Electron ionization
ESI	Electrospray ionization
HCl	Ácido clorídrico
HPLC	High-Performance Liquid Chromatography
m/z	Razão massa/carga
MS	Mass spectrometry
PDa	Photodiode Array
PR	Pele-Roxa
RC	Roxo-Comum
RM	Roxo-Mata
RNA	Ácido ribonucleico
Tr	Tempo de retenção
UPLC	Ultra-Performance Liquid Chromatography

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Gênero <i>Dioscorea</i>	16
2.2	<i>Dioscorea Trifida</i>	17
2.3	<i>Dioscorea Alata</i>	18
2.4	Aminoácidos	19
2.5	Compostos fenólicos.....	21
2.6	Flavonoides.....	22
2.7	Antocianinas.....	23
2.8	Cromatografia líquida de ultra-eficiência (UPLC).....	25
2.9	Espectrometria de massa (MS).....	26
2.10	Ionização por <i>eletrospray</i> (EI).....	27
3	OBJETIVOS	29
3.1	Objetivo geral.....	29
3.2	Objetivos específicos	29
4	METODOLOGIA.....	30
4.1	Amostras	30
4.2	Preparação das amostras	30
4.3	Metodologia de análise do extrato no UPLC-QDa-MS	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Massas e rendimentos obtidos	35
5.2	Tentativa de caracterização de compostos.....	36
6	CONCLUSÃO.....	42
7	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Os tubérculos são uma categoria de vegetais que apresentam, como sua característica principal, um caule modificado utilizado para reprodução e armazenamento de nutrientes, como carboidratos e vitaminas, formando estruturas grossas e subterrâneas semelhante a raízes (Portal Embrapa, 2019). Ademais, tubérculos como macaxeira (*Manihot esculenta Crantz*) e batata-doce (*Ipomoea natatas (L.) Lam.*) estão presentes na agricultura e consumo brasileiro (AZEVEDO *et al.*, 1998), incluindo o inhame (*Dioscorea spp*), que apresenta benefícios em relação a outros tubérculos, sendo uma grande fonte de carboidratos, aminoácidos, vitaminas, minerais, compostos fenólicos e outros (SILVA, 2022).

Estima-se que no Brasil o inhame, popularmente conhecido como cará, ocorram entre 150 e 200 espécies, único gênero presente em todas as regiões do país, principalmente no Norte e Nordeste, fazendo parte da alimentação básica da população brasileira e mundial com mais de 300 milhões de consumidores (PEDRALLI *et al.*, 2002; MIGNOUNA *et al.*, 2003). Dentre as espécies mais cultivadas e consumidas no Brasil, o inhame roxo (*D. trifida*) e o inhame branco (*D. alata*) se sobressaem, pois apresentam uma boa facilidade de manejo aliada a corretos procedimentos de produção a larga escala, como fertilização, adubação, entre outras (AZEVEDO *et al.*, 2017). Não obstante, além de fornecerem grandes potenciais nutricionais, o inhame roxo e o inhame branco são citados na literatura acadêmica por apresentarem outras propriedades medicinais referentes a ação antimicrobiana, anti-inflamatória, anticancerígenas, hipoglicemiantes, antioxidante e, também, prevenindo contra doenças cardiovasculares (PADHAN *et al.*, 2020; SIQUEIRA *et al.*, 2009)

Entretanto, apesar das vantagens associadas a produção e consumo deste tubérculo, o inhame é considerado esquecido culturalmente pela sociedade, com sua produção e divulgação não recebendo o devido investimento financeiro governamental e/ou privado mesmo com o aumento da procura internacional por este produto (SIQUEIRA *et al.*, 2009), refletindo negativamente na produção brasileira de 107 mil toneladas em 2017 (IBGE, 2017), com o estado do Espírito Santo sendo o maior responsável por esta produção, além de uma grande participação da região Nordeste (PEIXOTO NETO PAS; LOPES FILHO J; CAETANO LC; ALENCAR LMC; LEMOS EEP, 2020).

Tendo em vista tal situação de negligência cultural e informacional, este trabalho visa analisar a presença de alguns componentes químicos em três amostras de inhame roxo (*D. trifida*) e uma amostra de inhame branco (*D. alata*), a fim de aprofundar e complementar informações sobre estes tubérculos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gênero *Dioscorea*

A família Dioscoreaceae, pertencente a ordem Dioscoreales, é composta pelos gêneros *Trichopus*, *Stenomeris*, *Tacca* e, por fim, o maior gênero em número de espécies e distribuição ao redor do mundo, *Dioscorea* (SILVA *et al.*, 2017).

Dentre as principais características do gênero *Dioscorea*, a que se destaca é o desenvolvimento de intumescências subterrâneas perenes, que são órgãos tuberosos comumente confundido com raízes, cuja função principal é a armazenagem de compostos de reserva e água para garantir uma maior capacidade de regeneração, além de funcionar também para propagar a espécie (APPEZZATO-DA-GLÓRIA *et al.*, 2015).

Dioscorea ocorre principalmente em ambientes tropicais e subtropicais, predominantemente na África e América do Sul (SMITH *et al.*, 1937), com cerca de 400 espécies catalogadas (JUDD *et al.*, 2009). No Brasil, considerando espécies nativas e endêmicas, há um total de 141 espécies (KIRIZAWA *et al.*, 2017), das quais as mais comuns são *D. trifida*, *D. alata*, *D. bulbifera*, *D. cayenenses* e *D. rotundata* (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Além das propriedades nutricionais, o gênero *Dioscorea* também pode ser consumido visando outros benefícios, dos quais os fins medicinais se destacam, já estando em pauta na comunidade científica. Nas estruturas tuberosas de *Dioscorea* ocorre a presença de alguns metabólitos secundários como a protodioscina, substância que apresenta potencial para combater diferentes tipos de células cancerígenas, funcionando também para o tratamento de doenças coronárias (MIYAZAWA *et al.*, 1995; HOU *et al.*, 2002). Já em 1937, foi isolada a diosgenina, substância química que pode ser utilizada como matéria prima para a síntese de cortisona e hormônios sexuais, sendo utilizada também por apresentar efeitos anti-inflamatório e contraceptivos (JUDD *et al.*, 2009). Vale ressaltar também a presença de antocianinas em algumas espécies, cujo material apresenta poder antioxidante e pode ser utilizado como corante natural para a indústria de alimentos ((ROSAS *et al.*, 2024).

Apenar dos vários benefícios medicinais, nutricionais e industriais já descobertos, culturalmente o inhame é esquecido e negligenciado, sendo associado a comunidades de baixo poder aquisitivo. Conseqüentemente, é comum o inhame ser

considerado indiferente para a pauta política agrária, afetando, por exemplo, o potencial de exportação do produto no Brasil (SOARES *et al.*, 2018).

Contudo, apesar da negligência, o cultivo do inhame mundial está em constante processo de crescimento, principalmente em países africanos (STATISTICAL YEARBOOK, 2021), devido sua facilidade de cultivo e descoberta de novos benefícios, propiciando um maior incentivo às pesquisas científicas na área, além de aumentar o potencial econômico do produto (LEBOT *et al.*, 2023).

2.2 *Dioscorea Trifida*

Espécie de inhame nativa da América do Sul, a *D. trifida* (inhame roxo), é um dos tubérculos mais consumidos em território sul-americano e América Central, ocorrendo no Caribe até o Peru e, no Brasil, distribui-se do território amazônico até a região sudoeste. Este tubérculo apresenta pigmentos fenólicos da classe das antocianinas, que garantem uma coloração que o nomeia popularmente e o relaciona diretamente a ação antioxidante (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Contudo, a espécie também pode apresentar diferentes características morfológicas entre si (Figura 01), como a variação da intensidade da coloração roxa da casca e da polpa do tubérculo (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Figura 01: Diferenças morfológicas em espécie de *Dioscorea Trifida*.



Fonte: Adaptado de (NASCIMENTO *et al.*, 2015)

Além das antocianinas, o inhame-roxo apresenta em sua composição química vitaminas A, vitaminas do complexo B e C, carboidratos, gorduras insaturadas,

minerais, compostos fenólicos e proteínas, tornando-o um alimento rico em nutrientes e recomendado por nutricionistas (SANTOS *et al.*, 2007).

Economicamente, o inhame-roxo apresenta um grande potencial, sendo cultivado no Brasil principalmente por agricultura familiar no Norte, Nordeste, e Sudoeste, tendo em vista sua facilidade de manejo, produção e adaptabilidade a climas tropicais e subtropicais (LOPES *et al.*, 2020).

2.3 *Dioscorea Alata*

Uma espécie nativa na Ásia, *Dioscorea Alata* é um tubérculo da família Dioscoreaceae, que hoje é cultivada principalmente em regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo, destacando a África, Ásia, América Central e América do Sul, incluindo o Brasil. Esta espécie é uma das mais cultivadas entre as *Dioscorea* por conta da sua alta adaptabilidade a diferentes tipos de solo e condições climáticas (SIQUEIRA *et al.*, 2009).

Essa espécie, assim como a *D. trifida*, também apresenta uma morfologia bastante variável (Figura 02), predominando o formato cilindro e coloração da polpa variando de branco para púrpura. (ARAÚJO, 1994).

Figura 02: Diferenças morfológicas em espécie de *Dioscorea Alata*.



Fonte: Adaptado de (JIRCAS, 2024)

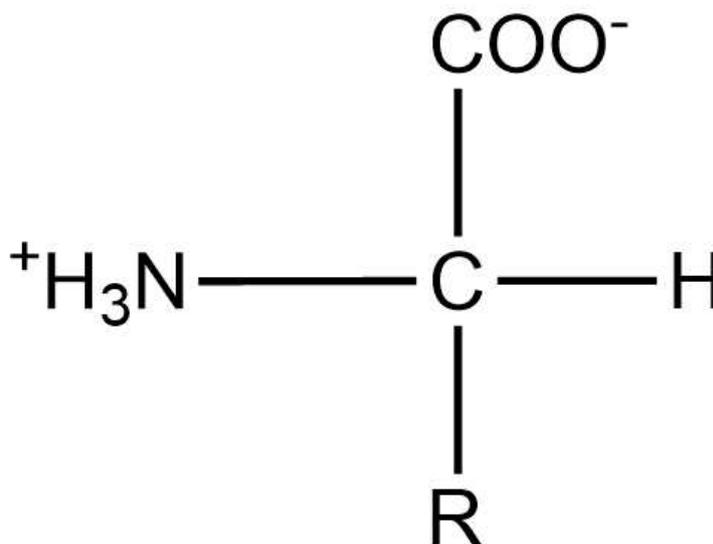
No Brasil e no mundo, esta espécie de inhame é utilizada em várias preparações culinária, como purês, sopas e cozidos, apresentando em sua composição

carboidratos, proteínas, gorduras, vitamina A, vitamina B1 e B2, entre outros nutrientes, tornando-o um alimento bem nutritivo (JIRCAS, 2024).

2.4 Aminoácidos

Os aminoácidos são um grupo de moléculas orgânicas que compõe as proteínas e os peptídeos. Esse grupo apresenta uma estrutura química bem característica formada por um centro estereogênico ligado a uma carboxila, um grupo amino, um hidrogênio e, por fim, a um grupamento “R”, que causa a diferenciação entre os aminoácidos (Figura 03) (NELSON *et al.*, 2002).

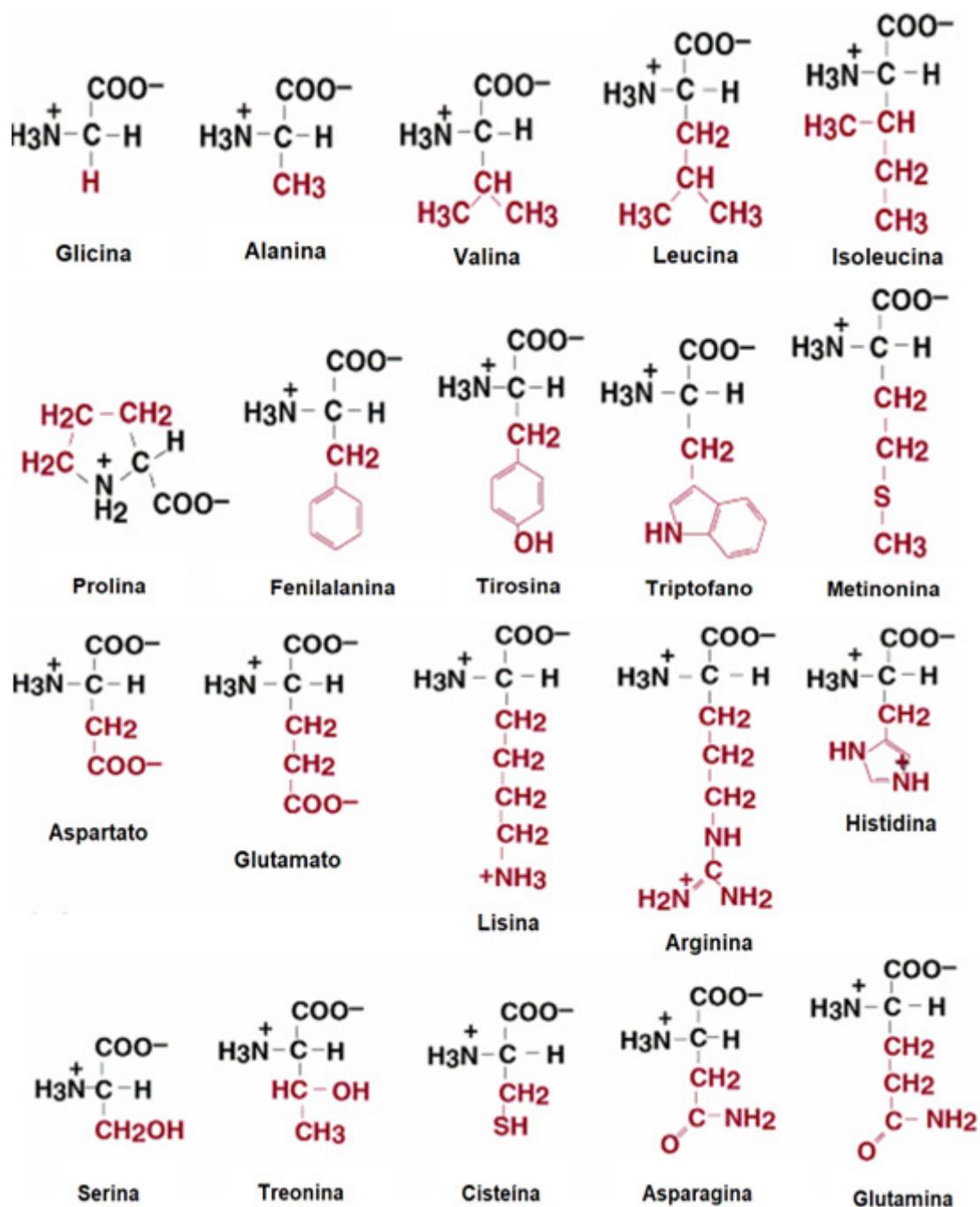
Figura 03: Representação geral da estrutura química de um aminoácido.



Fonte: Elaborado pelo autor via ChemDraw.

As proteínas são macromoléculas de alto peso molecular formadas a partir de ligações covalentes peptídicas entre os grupos amino e carboxila dos aminoácidos, formando longas cadeias semelhante a cadeias poliméricas. Nas moléculas de proteínas, são conhecidos 20 tipos de aminoácidos (Figura 4), com sua síntese controlada por mecanismos genéticos envolvendo DNA e RNA (NELSON *et al.*, 2002).

Figura 04: Aminoácidos que compõe a estrutura molecular de proteínas.



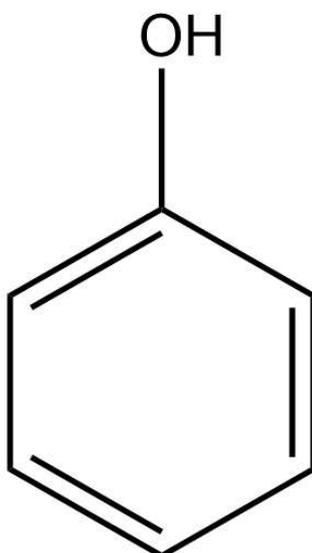
Fonte: Adaptado de (UNESP, 2024)

A depender do grupamento R de cada aminoácido (que apresenta coloração vermelha na Figura 04), é possível diferenciar os aminoácidos em apolar, polar, polar com proeminência de carga negativa e polar com proeminência de carga positiva (CAMPBELL *et al.*, 2007).

2.5 Compostos fenólicos

Os fenóis são substâncias orgânicas que apresentam em sua estrutura química um ou mais grupos fenólicos que se baseia em um anel aromático ligado a uma ou mais hidroxilas (Figura 05), além de outros grupos funcionais. São originários na natureza principalmente em frutas cítricas, como limão e tangerina, além de outras frutas como maçã e mamão. Existem catalogados mais de 5 mil compostos fenólicos, com diferentes substituintes ligados ao fenol, garantindo diferentes características químicas, como eletronegatividade, polaridade e outros (ANGELO; JORGE, 2006).

Figura 05: Função orgânica fenol presente em compostos fenólicos.



Fonte: Elaborado pelo autor via ChemDraw.

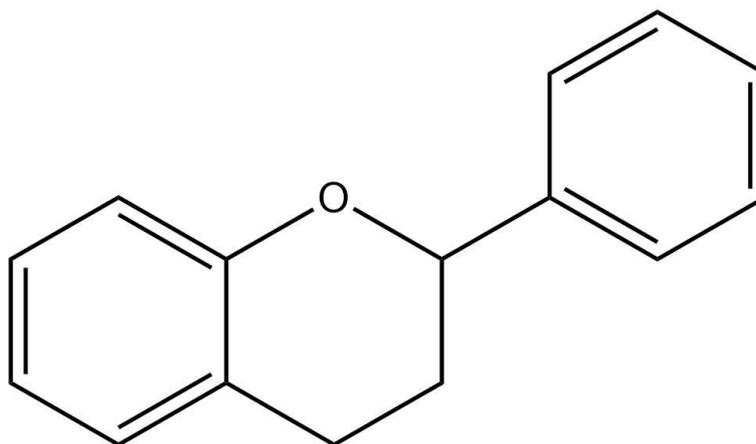
Atualmente, uma das características mais estudadas dos fenóis é sua ação antioxidante, funcionando como inibidores de radicais livres, reagindo principalmente com o radical peroxila. Esta função antioxidante garante uma redução da oxidação dos lipídeos presentes nos tecidos celulares, podendo ser de origem animal ou vegetal, servindo por exemplo para garantir a qualidade e aumentar a validade de alimentos frescos, atuando diretamente na diminuição da propagação de doenças patológicas como câncer, ou seja, os compostos fenólicos apresentam ação anticarcinogênica (ANGELO; JORGE, 2006).

2.6 Flavonoides

Compostos de origem natural, os flavonoides são um grupo de metabólitos presentes nas plantas, cuja principal função é a proteção contra ações oxidativas. Estes compostos são os principais responsáveis pelas diferentes colorações dos vegetais, agindo como uma proteção contra a luz (RODRIGUES *et al.*, 2009).

A estrutura química básica (Figura 06) é constituída por três anéis, dos quais dois são benzênicos, totalizando quinze carbonos. Suas cadeias carbônicas podem apresentar substituintes oriundos de diferentes tipos de reação como hidroxilação e sulfonação, de forma que mais de quatro mil compostos flavonólicos estão catalogados na literatura (SIMÕES *et al.*, 2010).

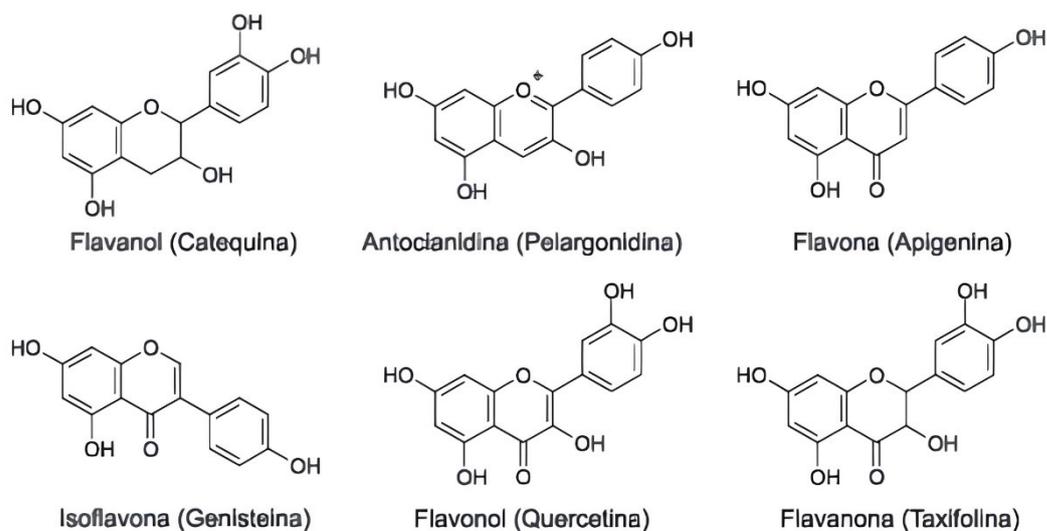
Figura 06: Estrutura química básica de um flavonoide.



Fonte: Elaborado pelo autor via ChemDraw.

Levando em consideração a grande quantidade de compostos flavonólicos, alguns padrões estruturais químicos são observados nesse grupo, podendo assim ser categorizados em função desses padrões, separando-os em diferentes tipos de flavonoides. Dentre os tipos de flavonoides mais presentes na natureza, destacam-se os flavanois, flavonas, isoflavonas, flavonois, flavanonas e antocianidinas (Figura 07).

Figura 07: Tipos de flavonoides mais presentes na natureza.

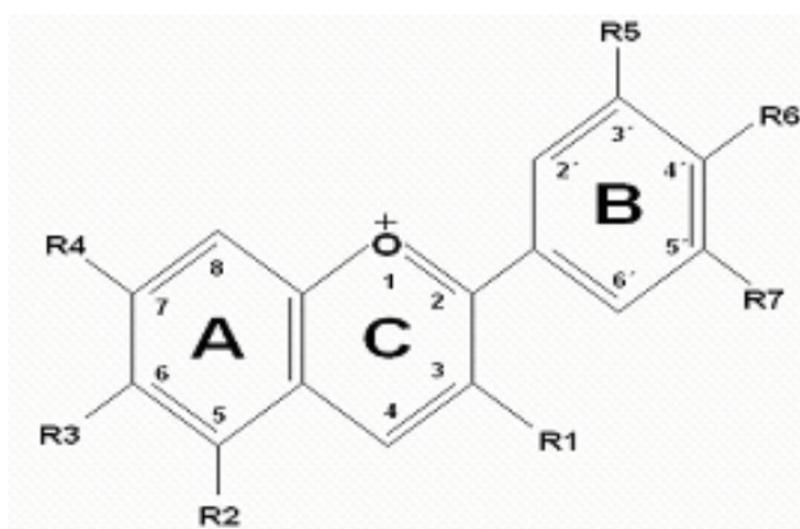


Fonte: (RODRIGUES *et al.*, 2009).

2.7 Antocianinas

As antocianinas são, depois da clorofila, o grupo de pigmentos mais importante de origem vegetal. Constituído por uma estrutura química básica policíclica de 15 carbonos (Figura 08), são flavonoides responsáveis pela coloração que varia de um vermelho intenso ao violeta azulado, podendo estar presentes em diferentes estruturas vegetais, como frutos, raízes, folhas, caules, etc (LOPES *et al.*, 2007).

Figura 08: Estrutura básica de uma antocianina.

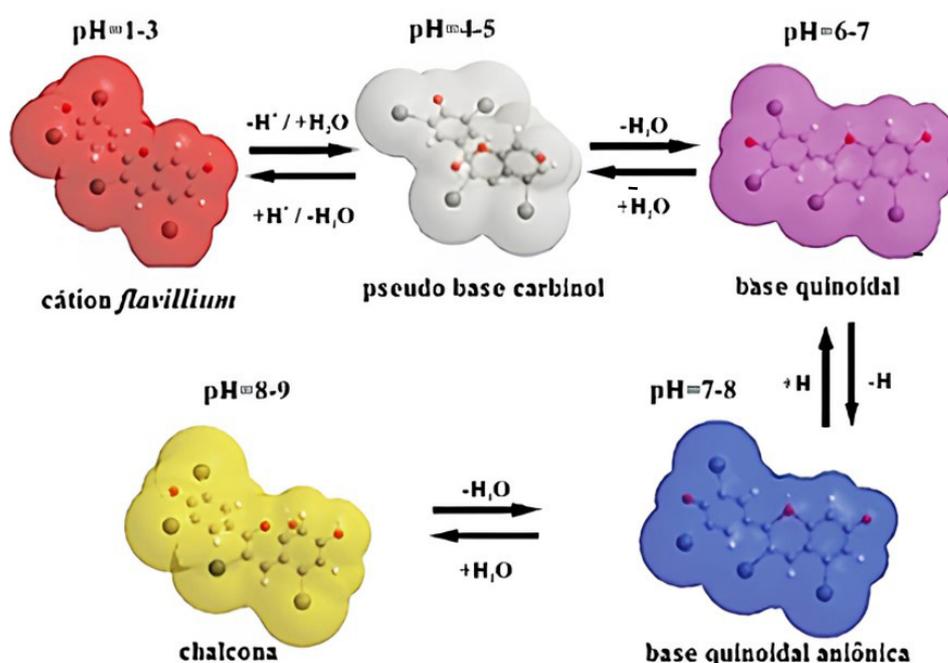


Fonte: (LOPES *et al.*, 2007)

Esse grupo de flavonoides exercem várias funções na planta, servindo como um agente oxidante, protegendo contra a luz e servindo também como um mecanismo reprodutor das plantas, atuando na polinização e no espalhamento de sementes (LOPES *et al.*, 2007).

Uma característica bem documentada das antocianinas é sua alta sensibilidade a variação de pH, variando sua coloração, variando de amarelo em meio básico para vermelho em meio ácido (Figura 09). Esta propriedade é de bastante utilidade para a indústria de alimentos, pois além de exercer a função de corante natural, também funcionará como indicador de pH, a fim de informar se o alimento está apto para o consumo por exemplo, função essa presente em algumas embalagens inteligentes (ARRUDA *et al.*, 2019).

Figura 09: Variação da coloração das antocianinas em função do pH.



Fonte: (ARRUDA *et al.*, 2019).

As antocianinas são extraídas facilmente com solventes polares, tendo em vista sua alta hidrofiliabilidade. O método mais convencional de extração utiliza-se etanol acidificado com ácido clorídrico 0,001% v/v, meio levemente ácido tendo em vista que as antocianinas apresentam maior estabilidade nessas condições. É importante salientar também que as antocianinas tendem a degradar termicamente em temperaturas acima de

40°C, sendo realizado a extração idealmente em temperaturas menores (ARRUDA *et al.*, 2019).

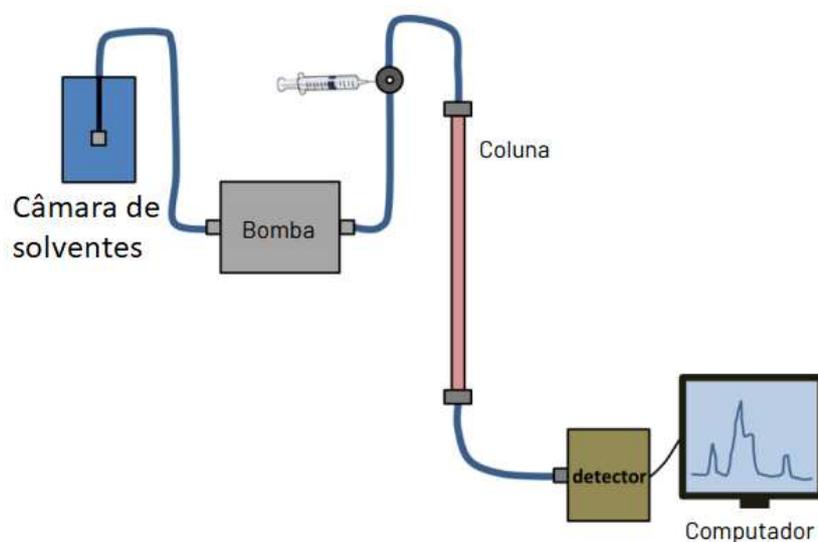
Comprovadamente, este composto também apresenta características antioxidantes. De acordo com NARAYAN *et al* (1999), as antocianinas são antioxidantes mais eficientes em comparação a outros como butilato hidroxil tolueno e vitamina E, podendo ser utilizado para prevenir a oxidação de alimentos, aumentando a vida útil do alimento.

Entretanto, em relação a corantes sintéticos, a utilização de antocianinas como corantes e antioxidantes de alimentos é inferior, tendo em vista sua baixa estabilidade em comparação a corantes sintéticos, além de uma alta sensibilidade a mudança de coloração em função da variação de pH do meio, quando esta característica não é desejada (ARRUDA *et al.*, 2019).

2.8 Cromatografia líquida de ultra eficiência (UPLC)

A cromatografia é uma técnica utilizada para separar os componentes químicos de uma amostra baseando-se nas diferentes interações moleculares entre esses compostos com a fase móvel e a fase estacionária de uma coluna, empregando geralmente a cromatografia gasosa (CG) para separar compostos voláteis e cromatografia líquida (CL) (Figura 10) para outros compostos, (NASCIMENTO, LIMA, BARBOSA e SILVA, 2022).

Figura 10: Esquema simplificado de um cromatógrafo líquido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na CL, diferente da CG, é empregado um solvente líquido como fase móvel, geralmente metanol específico para CG e água extremamente purificada, variando suas concentrações a depender da metodologia da análise empregada, variação de concentração denominada gradiente, que pode ser alterada ao longo da análise (PAVIA *et al.*, 2001).

De forma simplificada, com a fase móvel devidamente preparada, é inserido o material a ser analisado no CL, que será misturado com a fase móvel e bombeado na coluna a altas pressões, podendo passar de 15000 psi, tendo em vista que a coluna apresenta um diâmetro interno consideravelmente pequeno, variando de coluna para coluna. Em seguida, os constituintes já separados são analisados por um detector ou vários detectores acoplados, sendo o tempo que a substância atravessa a coluna até o detector denominado tempo de retenção (Tr) (PAVIA *et al.*, 2001)

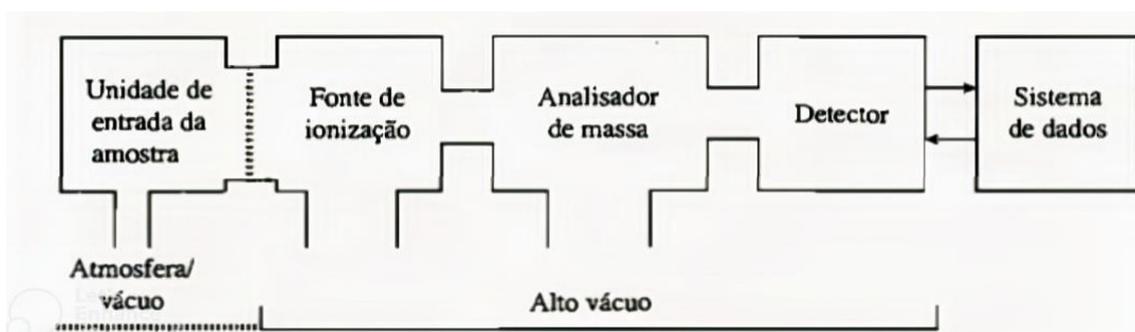
Em comparação ao HPLC, o UPLC apresenta excelente desempenho, pois trabalha em pressões maiores de até 15000 psi, garantindo uma facilidade por apresentar melhores sinais. Vale ressaltar também a velocidade de análise, sendo realizada mais rapidamente no UPLC (SKOOG *et al.*, 2008).

2.9 Espectrometria de massa (MS)

A espectrometria de massa é uma técnica que examina uma substância excitada por uma fonte de elétron, formando-se íons na fase gasosa, que são acelerados por um campo magnético e analisados em função da razão massa/carga (m/z) desses íons, podendo gerar dados quantitativos e qualitativos. (PAVIA *et al.*, 2001)

De forma simplificada, o processo de utilização de um espectrômetro de massa baseia-se em, primeiramente, inserir a amostra em uma câmara cuja pressão interna é a ambiente. Posteriormente, em alto vácuo, a amostra passa por uma câmara de fonte de radiação eletrônica, favorecendo a formação de íons. Esses íons formados são separados a partir da razão m/z em um forte campo magnético, que direciona esses íons para um detector acoplado a um computador que irá fornecer os dados obtidos, gerando um gráfico que relaciona a abundância de um íon com a sua razão m/z (Figura 11) (PAVIA *et al.*, 2001).

Figura 11: Etapas de funcionamento resumido de um cromatógrafo de massa.



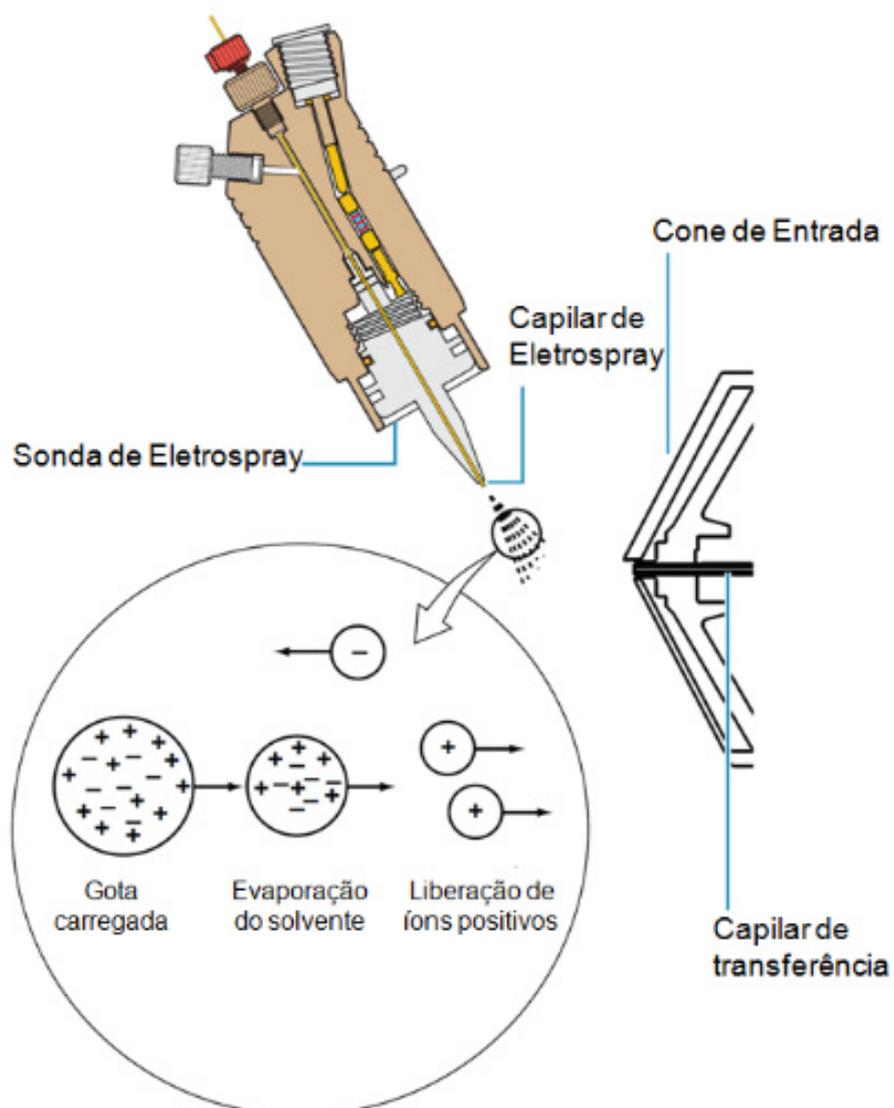
Fonte: (PAVIA *et al.*, 2001).

A técnica de espectrometria de massa pode apresentar diferentes formas de ionização, podendo ser ionização por elétrons (EI), ionização química (CI), ionização por desorção (SIMS, FAB E MALDE) e ionização por *eletrospray* (ESI) (PAVIA *et al.*, 2001). Este presente trabalho foi realizado utilizando ESI.

2.10 Ionização por *eletrospray* (ESI)

O ESI é um método muito eficiente quando empregado em moléculas orgânicas com alto peso molecular. Baseia-se em carregar positivamente partículas pequenas da amostra em altas temperaturas e no vácuo por meio de um tubo capilar carregado, que posteriormente é exposta a um gás de secagem (geralmente nitrogênio) cuja função é aumentar a densidade da partícula, retirando o solvente e deixando apenas o íon a ser analisado, menos pesado, sofrendo maior influência do campo magnético, direcionando a partícula carregada até o detector (Figura 12) (PAVIA *et al.*, 2001).

Figura 12: Esquema simplificado do funcionamento do ESI.



Fonte: (MILAGRE, 2014).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Caracterizar moléculas presentes em quatro amostras de inhame: três amostras de cará-roxo (*D. trifida*) e uma amostra de inhame-branco (*D. alata*).

3.2 Objetivos específicos

- Obter os rendimentos dos extratos e comparar com a literatura
- Avaliar a eficiência da extração utilizando Etanol/Água 30:70 (v/v) levemente acidificado com HCl 0,001% (v/v)

4 METODOLOGIA

4.1 Amostras

As quatro amostras foram cedidas pelo professor Dr. Edy Souza de Brito (Embrapa Alimentos e Territórios), originárias do município de Palmeiras dos Índios-AL. As amostras foram previamente tratadas pela Dr. Kesya Amanda Dantas Rocha (Embrapa Alimentos e Territórios), que inseriu os tubérculos já cortados por aproximadamente 72h e, posteriormente, liofilizando as amostras em um liofilizador modelo K 105 por cerca de 42h para realizar a secagem completa dos materiais. Com os materiais já secos, os mesmos foram expostos a um moedor de café para a obtenção dos materiais moídos. Este trabalho foi realizado no Laboratório Multiusuário de Química de Produtos Naturais (LMQPN), laboratório pertencente a Embrapa Alimentos e Territórios, com sede localizada em Fortaleza-CE.

4.2 Preparação das amostras

Inicialmente, pesou-se em tubos de vidro cerca 100mg de cada uma das 4 amostras, que foram codificadas de acordo com a tabela a seguir (Tabela 01).

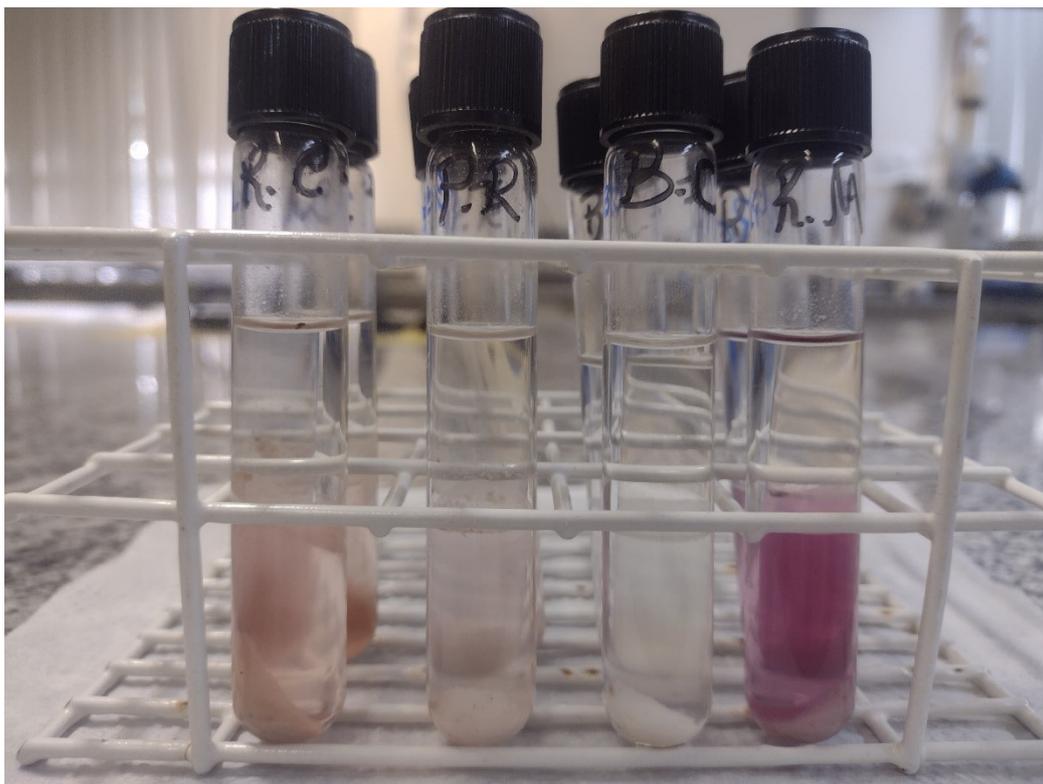
Tabela 1: Codificação das amostras analisadas de acordo com a espécie.

Espécie	Codificação	Codificação abreviada
<i>D. trifida</i>	Roxo-Mata	RM
<i>D. trifida</i>	Roxo-Comum	RC
<i>D. trifida</i>	Pele-Roxa	PR
<i>D. alata</i>	Branco-Comum	BC

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a pesagem, inseriu-se em cada tubo 3mL de uma solução Etanol/Água 30:70 (v/v) levemente acidificada com HCl 0,001% (v/v), juntamente com 3 mL de hexano, formando uma solução heterogênea de 3 fases, uma sólida (precipitado) depositando-se na parte inferior do tubo, uma fase polar composta pela solução de Etanol/Água acidificado na parte inferior do tubo e uma fase apolar, composta pela solução de hexano na parte superior (Figura 13).

Figura 13: Amostras imersas em solução polar e apolar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Logo após, os tubos foram expostos a 1 minuto de vórtex para a agitação da solução e sonificado por 3 minutos em temperatura ambiente (Figura 14), seguido de centrifugação por 1 minuto à 2500 rpm. Posteriormente, com o auxílio de uma pipeta, foi extraído a fase líquida polar, utilizando um filtro de seringa PTFE 0,22 μm para filtrar a solução polar obtida, descartando a fase apolar e o precipitado. Em seguida, foi realizada a secagem das amostras por meio de um rotaevaporador à 35°C (Figura 15), além de expor os extratos a N₂ (gás nitrogênio) pós rotaevaporação (Figura 16) para garantir a completa/maior secagem dos materiais, sobrando apenas extratos sólidos solúveis em meio polar que foram devidamente pesados (Tabela 02), solubilizados em metanol próprio para análises em UPLC, transportados para frascos de penicilina novos e, por fim, inseridos em um Cromatógrafo Líquido de Ultra Eficiência acoplado a um Espectômetro de Massa com Detector de Arranjo de Diodo (UPLC-QDa).

Figura 14: Tratamento de sonificação das amostras em temperatura ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15: Processo de secagem das amostras por rotaevaporação à 35°C.



Fonte: Elaborado pelo autor.

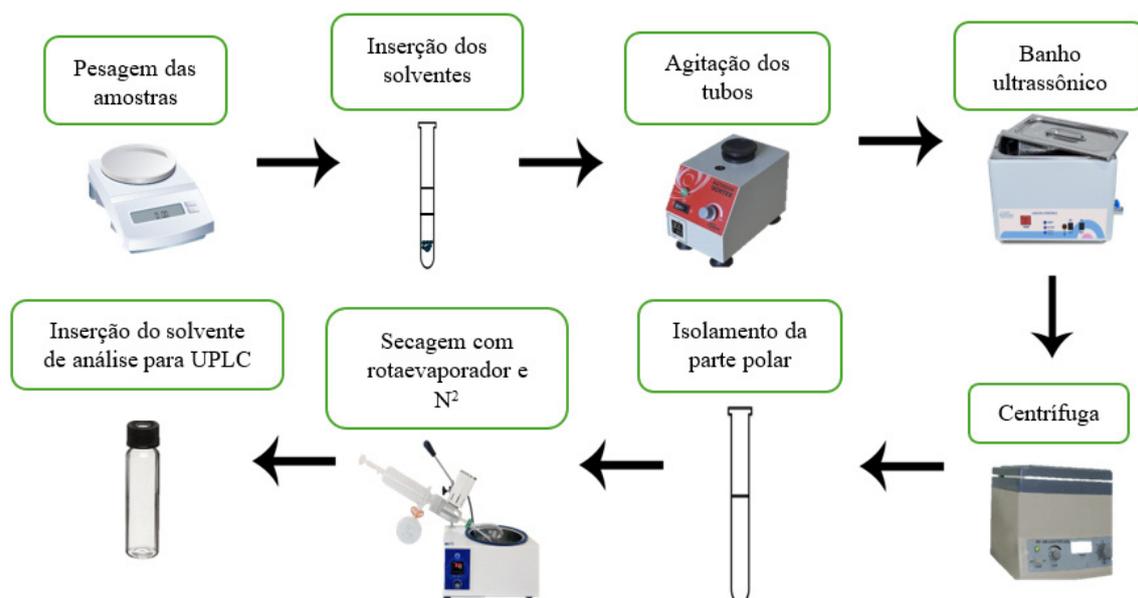
Figura 16: Secagem das amostras utilizando gás nitrogênio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, um fluxograma (Figura 17) ilustrando o passo a passo do preparo das amostras pré-inserção no equipamento de análise:

Figura 17: Fluxograma do preparo das amostras.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Metodologia de análise do extrato no UPLC-QDa-MS

Um sistema UPLC® Waters Acquity foi utilizado para realizar a análise de todos os extratos, constituído por um cromatógrafo acoplado a um espectro de massa quadrupolar e de arranjo de diodos (UPLC-QDa, Waters, Milford, MA, EUA). A fase móvel foi constituída por 0,1% de ácido fórmico em água (A) e 0,1% de ácido fórmico em acetonitrila (B), com um fluxo de 0,3mL/min, com um gradiente apresentando a variação a seguir: 0 min, 2% (B); 22 min, 95% (B); 23 min, 100% de B; 26 min, 100% de B; 26,5 min, 2% de (B); 29,5 min, 2% de (B). A tentativa de caracterização teve como base os espectros de massa aliados aos espectros de absorção de cada composto, relacionando-os com a literatura.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Massas e rendimentos obtidos

A tabela a seguir (Tabela 2) informa as massas obtidas oriundas do processo de extração, onde a letra “D” representa as duplicadas de cada amostra.

Tabela 2: Massas obtidas do processo de extração.

Amostra	Massa (mg)	Rendimento (%)	Rendimento médio (%)
RM	4,2	4,2	4,05
RM. D	3,89	3,89	
RC	3,42	3,42	3,43
RC. D	3,44	3,44	
PR	3,36	3,36	3,44
PR. D	3,53	3,53	
BC	2,93	2,93	2,84
BC. D	2,75	2,75	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre as massas obtidas, a amostra RM apresentou, além de uma maior massa, uma maior intensidade da coloração púrpura, ambas propriedades podendo estar relacionadas. Além disso, o RC e o PR apresentaram uma proximidade entre as massas obtidas e a coloração púrpura, corroborando ainda mais com esta hipótese. Não obstante, o BC apresentou características semelhantes, sendo a menor massa obtida e não apresentando, visivelmente, uma coloração púrpura, provavelmente caracterizando uma menor quantidade de flavonoides em relação as outras amostras.

Com relação ao rendimento (%) das extrações dos compostos polares, foi possível calcular o rendimento com base nas massas obtidas pós processo de secagem dos materiais. Considerando a média das massas obtidas das duplicatas (Tabela 1) e a massa pesada de cada amostra (1g), calculou-se o rendimento de extração de cada amostra, com RM apresentando um rendimento de 4,05%, o RC de 3,43%, o PR de 3,44% e, por fim, 2,84% do BC. O BC, apresentou o menor rendimento dentre as extrações, possivelmente por apresentar menos antocianinas em comparação com as outras amostras analisadas, o que afeta diretamente o rendimento da extração. Ademais, o RC foi o que apresentou melhor rendimento, podendo ser associado a presença de antocianinas, pois o material, dentre todas as outras, foi o que apresentou maior intensidade de coloração púrpura,

sendo a única extração onde foi possível identificar a presença de antocianinas por UPLC-QDa. O valores obtidos de extração são consideravelmente próximos aos presentes na literatura para o gênero *Dioscorea* (ROSAS *et al.*, 2024; VEKSHIN *et al.*, 1987), contudo vale ressaltar possíveis erros operacionais que podem ter ocorrido durante todos os processos, considerando também a degradação do material em relação a luz, exposição a oxigênio, temperatura, entre outros.

5.2 Tentativa de caracterização de compostos

Utilizando como base os espectros de massa, a tabela a seguir (Tabela 3) lista em ordem crescente de Tr a tentativa de caracterização de compostos presentes nas amostras analisadas, com o termo “X” indicando a possível presença deste composto na amostra.

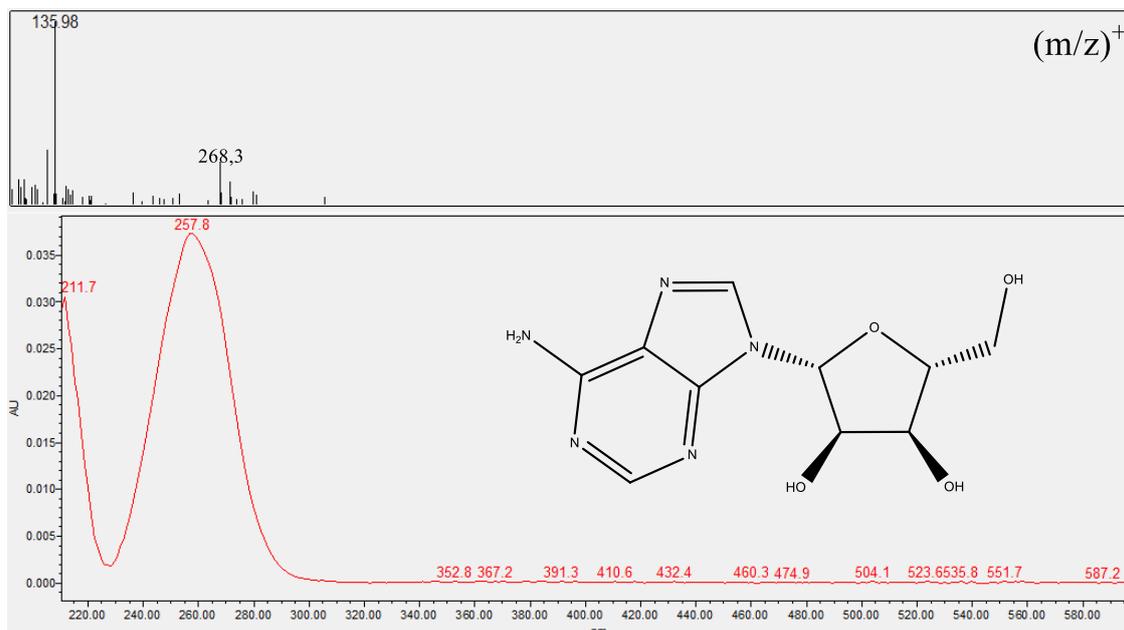
Tabela 3: Tentativa de caracterização de substâncias presentes nas amostras.

Nº	Nome	RM	PR	RC	BC	Tr (min)	(m/z) ⁻	(m/z) ⁺	Possíveis fragmentos	Fórmula molecular	Referências
1	Adenosina	X	X	X	X	3,76		268	136	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₄	ROBERTO, 2022
2	Fenilalanina	X	X	X	X	4,4		166	120	C ₉ H ₁₁ NO ₂	ROBERTO, 2022
3	Triptofano	X	X	X	X	5,27		205	188; 146	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₂	ROBERTO, 2022
4	p-coumaroylhexose-4-O-hexoside	X				5,86	487	511	119; 309		KJERSTI, 2007
5	Desconhecido	X	X			6,13	517	541	177		
6	Peonidin 3-(6'-p-coumarylglucoside)-5-glucoside	X				6,55		771		C ₃₇ H ₃₉ O ₁₈ ⁺	ROSAS, 2024
7	Vicenin 3	X	X			6,57	563	565	547	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₄	ROSAS, 2024
8	Vicenin 1	X	X			6,62	563	565	547	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₄	ROSAS, 2024
9	Desconhecido	X				7,2	577	579	561		
10	Desconhecido	X				11,28	315	317			
11	Desconhecido	X	X		X	17,38		284			
12	Desconhecido	X	X		X	17,64		520	502		
13	Desconhecido	X	X			20,1		591	573		

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Adenosina, que é um nucleosídeo endógeno, que funciona como fonte energética das células vegetais, ou seja, estão presentes no inhame. Além dos espectros de massa analisado nos tempos de retenção, os espectros de absorção também corroboram com a possível presença dessa substância em todos os extratos analisados. Segue o espectro de massa obtido da Adenosina no RM, além do espectro de absorbância no Tr estipulado (Figura 18).

Figura 18: Espectro de massa (superior) e espectro de absorvância (inferior) obtidos do RM com o UPLC-QDa para Tr de 3,76 min.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A presença dos picos 268 m/z e 136 m/z que são, respectivamente, a massa molecular da adenosina com um próton ($M+H^+$) e um fragmento característico (ROBERTO et al., 2022), corroboram com a possível presença deste composto nas amostras, além de que o espectro de absorvância com o pico em 257 nm para a adenosina também ser documentado na literatura (VEKSHIN *et al.*, 1987).

A Figura 19 contém o espectro de massa obtido no UPLC-QDa-MS referentes a identificação da Fenilalanina, um aminoácido que possivelmente foi identificado, fazendo parte da composição de proteínas vegetais.

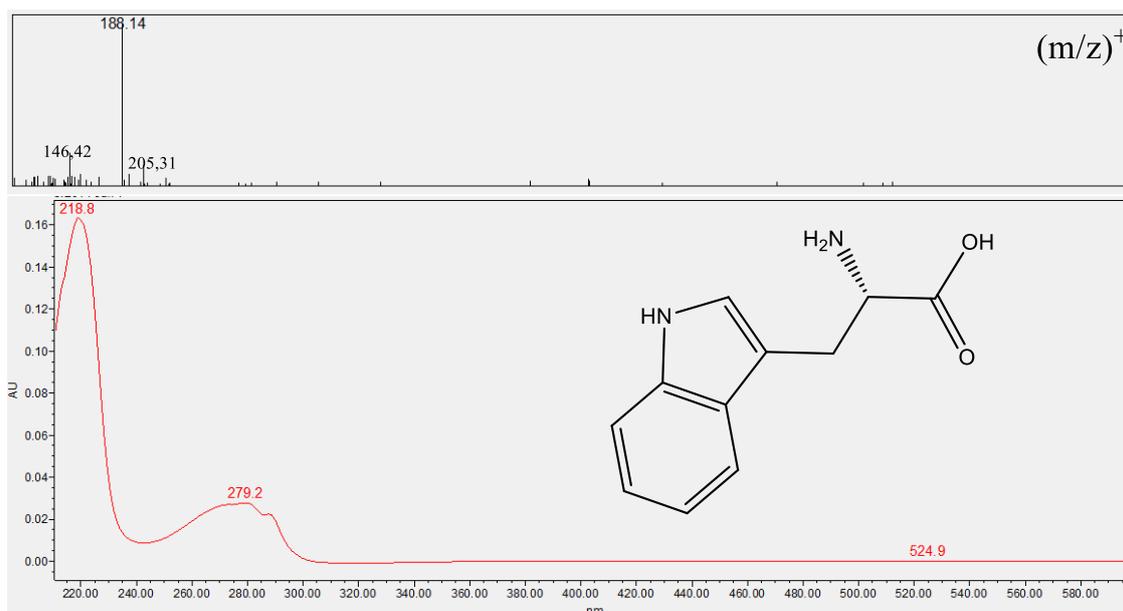
Figura 19: Espectro de massa para Tr de 4,4 min no RM utilizando UPLC-QDa-MS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As presenças dos picos 166 m/z ($\text{M}+\text{H}^+$) e 120 m/z evidenciam a presença de Fenilalanina (ROBERTO et al., 2022), além de já ser documentado na literatura que a Fenilalanina está presente na composição das espécies *Dioscorea spp.* (KIM et al., 2018).

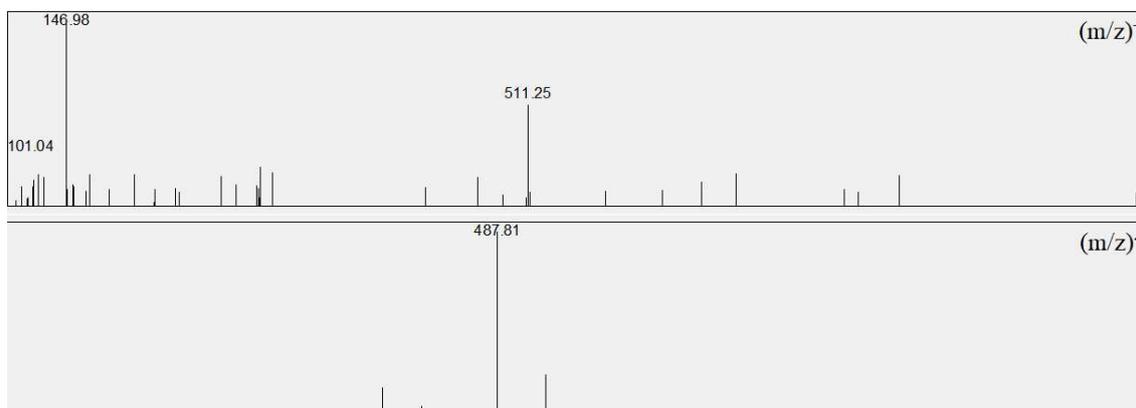
Figura 20: Espectro de massa (superior) e espectro de absorvância (inferior) para Tr de 5,27 min do BC obtido por UPLC-QDa-MS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos gráficos presentes na Figura 20, os picos destacados no espectro de massa (205, 188 e 146 m/z), além dos picos de absorção no espectro de absorvância obtidos (279 e 218 nm), corroboram com a possível presença de Triptofano nos compostos analisados (ROBERTO et al., 2022; FLIEGER et al., 2018).

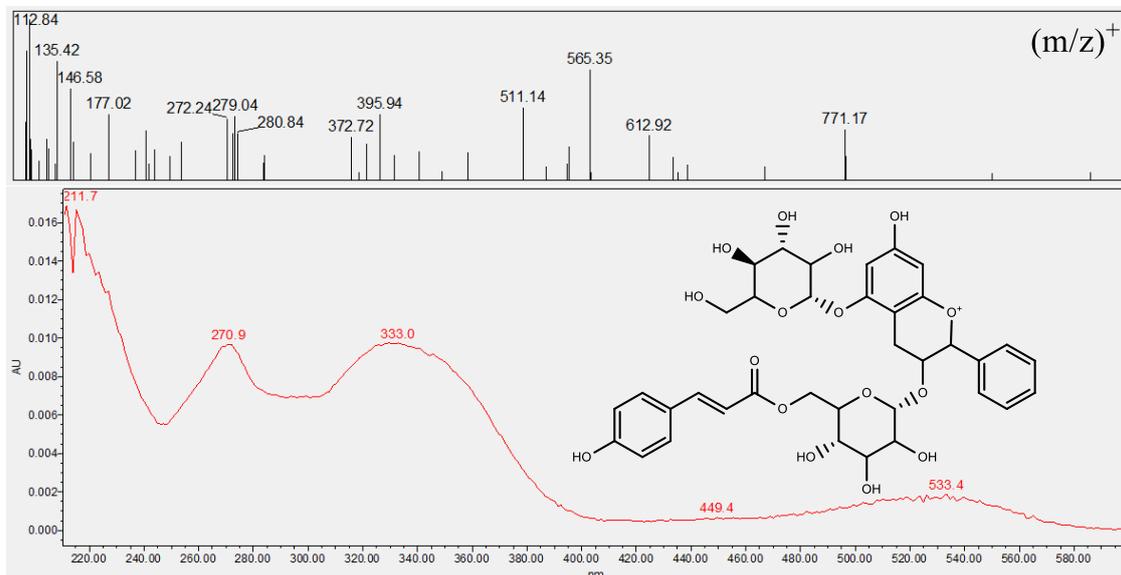
Figura 21: Espectros de massa para Tr de 5,86 min do RM obtido por UPLC-QDa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os espectros de massa (Figura 21), os picos 511 m/z (M+Na) e 487 m/z (M-H) no polo positivo e negativo, respectivamente, são um forte indicativo da presença do p-coumaroyl-hexose-4-O-hexosídeo na amostra (KJERSTI et al., 2007).

Figura 22: Espectro de massa (superior) e absorbância (inferior) para Tr de 6,55 min do RM obtido por UPLC-QDa.

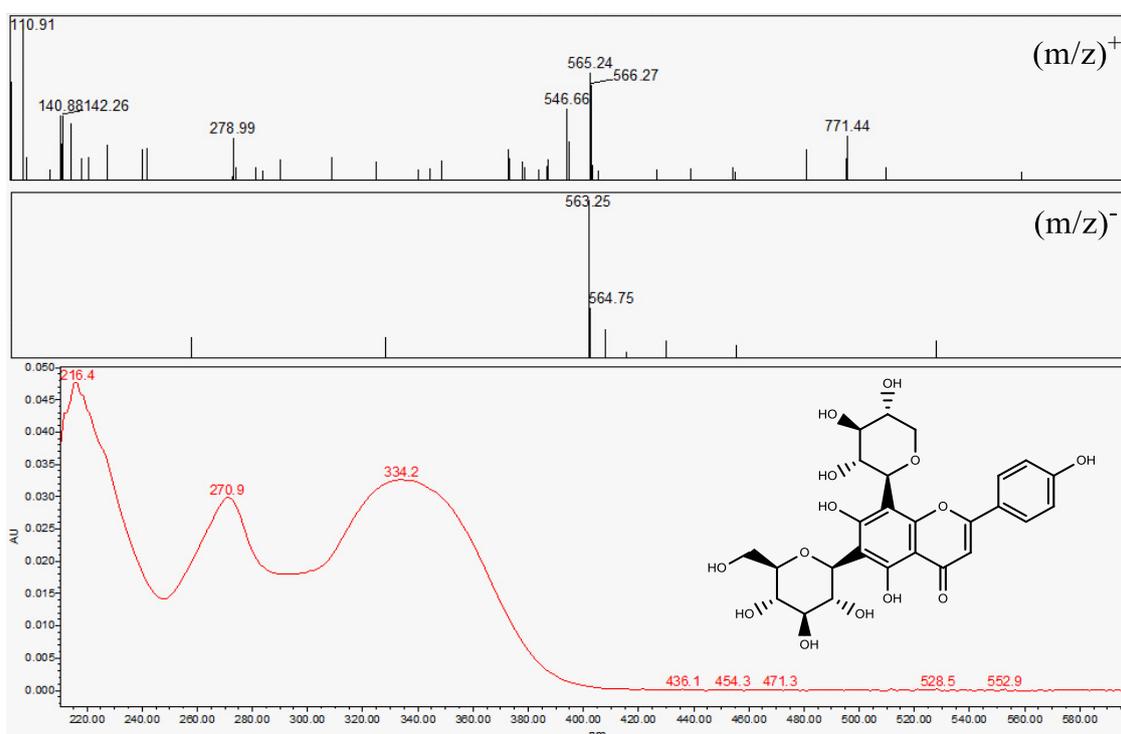


Fonte: Elaborado pelo autor.

A presença do pico 771 m/z , que representa a massa da antocianina Peonidin 3-(6''-p-coumarylglucoside)-5-glucoside, além do pico em 533 nm no espectro de absorção, sustentam a presença deste composto na amostra RM (Figura 22). Ademais, de acordo com a literatura, já foi identificado a presença desta antocianina em indivíduos de *D. trifida* originárias do Brasil (ROSAS et al., 2024).

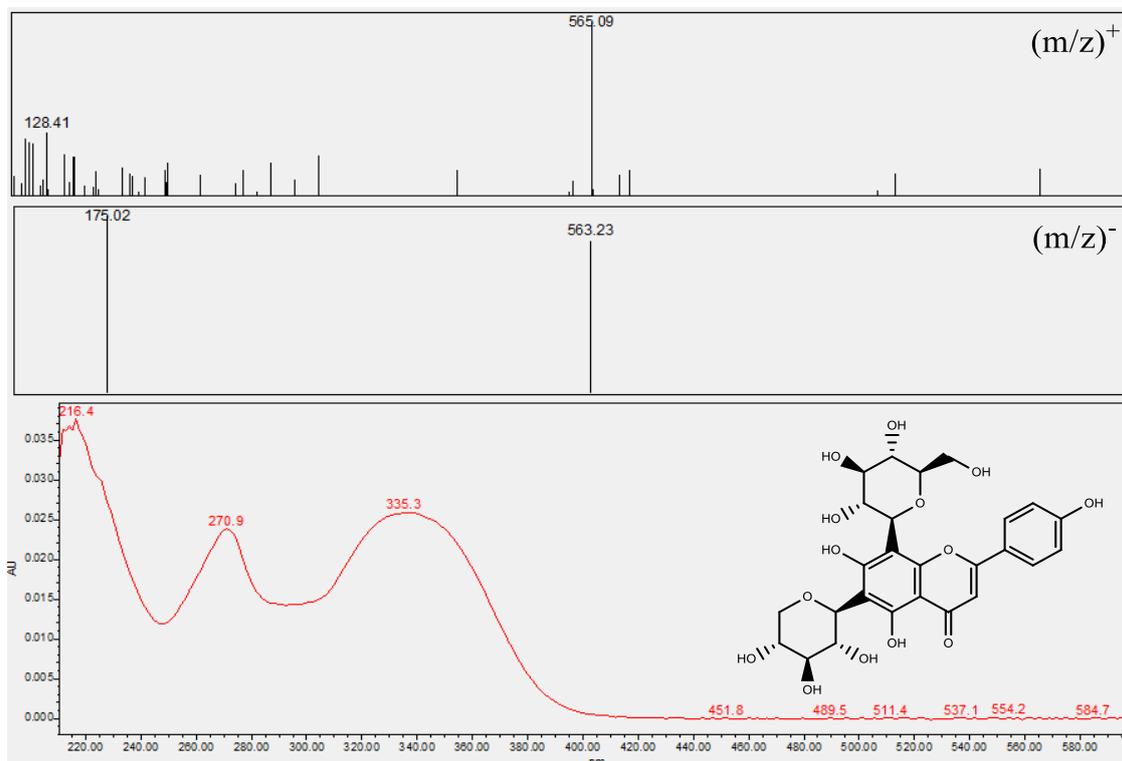
Vicenin 3 e Vicenin 1 são flavonoides e isômeros, apresentando uma estrutura química muito semelhante. Essa grande semelhança também está explícita nos Tr de cada substância, apresentando uma grande proximidade, ou seja, uma interação com a coluna do UPLC bastante semelhante, favorecendo a co-eluição desses flavonoides (Figuras 23 e 24). Contudo, apesar dessas características que dificultam a análise, a literatura já identificou a presença desses isômeros em *D. trifida* de origem brasileira (ROSAS *et al.*, 2024).

Figura 23: Espectros de massa positivo e negativo (superior) e espectro de absorção (inferior) para Tr de 6,57 min da PR, referente ao Vicenin 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24: Espectros de massa positivo e negativo (superior) e espectro de absorção (inferior) para Tr de 6,62 min da PR, referente ao Vicenin 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os picos em 565 m/z (M+H) e 563 m/z (M-H), encontrados em ambos os espectros de massa do Vicenin 3 e Vicenin 1, além do pico em 546 m/z (M-H₂O), evidenciam a presença dos compostos na amostra. Além disso, picos nos espectros de absorção de 271 e 335 nm também são muito próximos aos presentes na literatura para essas moléculas (ROSAS *et al.*, 2024).

Foram detectados um total de 6 compostos desconhecidos (Tabela 3), podendo estar associados a impurezas. Contudo, a possibilidade de ser compostos oriundos realmente nas amostras não está descartada, considerando, por exemplo, a presença dos compostos desconhecidos com Tr de 17,38 min e 17,64 min, que estão presentes nas amostras de RM, RC e BC, com exceção, da amostra RC, podendo evidenciar a real presença deste composto nas amostras, não oriundas de uma contaminação.

6 CONCLUSÃO

Foi possível identificar compostos presentes nas amostras através da metodologia empregada, com ênfase nas amostras de *D. trifida*, que são mais relatadas na literatura e apresentaram maiores rendimentos se comparadas a amostra de *D. Alata*. Dentre os compostos identificados, os aminoácidos (Fenilalanina e Triptofano) e o nucleosídeo (Adenosina) foram os que apresentaram uma maior facilidade com relação a identificação, pois são moléculas orgânicas mais simples e bastante abordadas na literatura em comparação aos outros compostos, além de seus espectros obtidos a partir do UPLC-QDa apresentarem uma excelente resolução e intensidade, facilitando a identificação. Ademais, é importante salientar que as espécies do gênero *Dioscorea spp.* apresentam em sua composição compostos bem documentados na literatura no que diz respeito a saúde, combinando ações benéficas tanto do ponto de vista medicinal quanto nutricional, sendo importante o incentivo para que estes tubérculos estejam mais presentes no meio acadêmico, a fim de se descobrir novos constituintes e suas propriedades. Não obstante, torna-se importante uma conscientização sobre o gênero *Dioscorea* na sociedade, englobando-a em projetos governamentais cujo objetivo seja elucidar e informar os benefícios envolvendo este tubérculo.

7 REFERÊNCIAS

- ANGELO, Priscila Milene; JORGE, Neuza. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Riala**, São Paulo, p. 1-9, 17 jul. 2006. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/insituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/2000/rial66_1_completa/1095.pdf. Acesso em: 12 set. 2024.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, Beatriz. **Morfologia de sistemas subterrâneos de plantas =: Morphology of plant underground systems**. . 2015. Belo Horizonte: 3. ed. . Acesso em: 19 set. 2024. ,
- ARAÚJO PSR. 1994. Efeitos da fertilização orgânica e mineral sobre a produção de cará (*Dioscorea alata* L.) var. Florida. Piracicaba: USP ESALQ. 79p (Tese mestrado).
- ARRUDA, Mirela Ribeiro Embirassú; BARBOSA, Elaiane Karine da Silva; SILVA, Carla Fabiana da; VINHAS, Glória Maria. Avaliação de extratos de antocianinas como indicadores de pH obtidos por diferentes métodos. **Brazilian Journal Of Food Research**, Campo Mourão, v. 10, n. 3, p. 87-100, set. 2019.
- AZEVEDO, Joaquim Nazário de *et al.* Principais tubérculos e raízes comercializados na CEASA-PI. Teresina: **Embrapa**, 1998. 4 p. Disponível em: https://more.ufsc.br/relatorio_tecnico/inserir_relatorio_tecnico. Acesso em: 18 set. 2024.
- AZEVEDO, Liliana Bury de. **Integração entre sistemas de cultivo de mandioca e inhame ecricação animal nas comunidades de Guapira e Batatan, no Recôncavo da Bahia**. 2017.
- CAMPBELL, M.K.; FARREL S.O. Bioquímica. Versão COMBO. São Paulo: Cengage Learning, 2007.
- FLIEGER, Jolanta; ŚWIĘCH-ZUBILEWICZ, Anna; ŚNIEGOCKI, Tomasz; DOLAR-SZCZASNY, Joanna; PIZOŃ, Magdalena. Determination of Tryptophan and Its Major Metabolites in Fluid from the Anterior Chamber of the Eye in Diabetic Patients with Cataract by Liquid Chromotography Mass Spectrometry (LC-MS/MS). **Molecules**, [S.L.], v. 23, n. 11, p. 3012, 17 nov. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules23113012>.
- HOU, Wen-Chi; HSU, Feng-Lin; LEE, Mei-Hsien. Yam (*Dioscorea batatas*) Tuber Mucilage Exhibited Antioxidant Activities in Vitro. **Planta Medica**, [S.L.], v. 68, n. 12, p. 1072-1076, dez. 2002. Georg Thieme Verlag KG. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2002-36356>.
- JIRCAS. **Dioscorea alata L. (Dioscoreaceae)**. 2024. Disponível em: <https://www.jircas.go.jp/en/database/thaivege/044>. Acesso em: 18 set. 2024.
- JUDD, Walter; CAMPBELL, Christopher; KELLOGG, Elizabeth; STEVENS, Peter; DONOGHUE, Michael; SIMÕES, André Olmos. **Istemática Vegetal: Um Enfoque Filogenético**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 612 p.

KIM, M.-J.; Son, S.-Y.; Jeon, S.-G.; Kim, J.-G.; Lee, C.-H. Metabolite Profiling of *Dioscorea* (Yam) Leaves to Identify Bioactive Compounds Reveals Their Potential as Renewable Resources. *Plants* **2021**, *10*, 1751. <https://doi.org/10.3390/plants10081751>

KIRIZAWA, M., Xifreda, C.C., Couto, R. & Araujo, D. 2017. Dioscoreaceae. In: Lista de espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB7372>.

KJERSTI; EKEBERG, Dag; SKREDE, Grete. Characterization of Phenolic Compounds in Strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) Fruits by Different HPLC Detectors and Contribution of Individual Compounds to Total Antioxidant Capacity. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 55, n. 11, p. 4395-4406, 1 maio 2007. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf0702592>.

LEBOT, Vincent; LAWAC, Floriane; LEGENDRE, Laurent. The greater yam (*Dioscorea alata* L.): a review of its phytochemical content and potential for processed products and biofortification. **Journal Of Food Composition And Analysis**, [S.L.], v. 115, p. 104987, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104987>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157522006056>. Acesso em: 13 set. 2024

LOPES, R.M.; OLIVEIRA, T.T.; NAGEM, T.J., et al. Flavonóides, *Biotechnology, Ciência & Desenvolvimento*, v. 3, n.14, p.18-22, 2000.

LOPES, Raimundo Nonato Carvalho de *et al.* **Produção de cará-roxo (*Dioscorea trifida*): efeitos de tamanho do tubérculo-semente, tipo de tutor e adubação do plantio.** 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215279/1/Doc147rev.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024

LOPES, Toni Jefferson; XAVIER, Marcelo Fonseca; QUADRI, Mara Gabriela Novy; QUADRI, Marinho Bastos. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. **Revista Brasileira de Agrociencia**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 291-297, 2007.

MIGNOUNA HD; ABANG MM; ASIEDU R. 2003. Harnessing modern biotechnology for tropical tuber crop improvement: Yam (*Dioscorea* spp.) molecular breeding. **African Journal of Biotechnology** 2: 478-485

MILAGRE, Humberto Márcio Santos. **Ionização por Eletrospray.** 2014. Disponível em: <https://www.iq.unesp.br/#!/multiusuarios/espectrometria-de-massas-novo1657/espectrometria-de-massas/esi/>. Acesso em: 15 set. 2024.

MIYAZAWA, Mitsuo; SHIMAMURA, Hideo; NAKAMURA, Sei-Ichi; KAMEOKA, Hiromu. Antimutagenic Activity of (+)-Polyalthic Acid from *Vitex rotundifolia*. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 43, n. 12, p. 3012-3015, dez. 1995. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf00060a004>.

NARAYAN, M.S.; AKHILENDER NAIDU, K.; RAVISHANKAR, G.A., et al. Antioxidant effect of anthocyanin on enzymatic and non-enzymatic lipid peroxidation. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, v. 60, n.1, p. 1-4, 1999.

NASCIMENTO, Wellington Ferreira do et al. Distribution, management and diversity of the endangered Amerindian yam (*Dioscorea trifida* L.). *Brazilian Journal of Biology*, v. 75, p.104-113, 2015.

NASCIMENTO, Wf.; SIQUEIRA, Mvbm.; FERREIRA, Ab.; MING, Lc.; PERONI, N.; VEASEY, Ea.. Distribution, management and diversity of the endangered Amerindian yam (*Dioscorea trifida* L.). **Brazilian Journal Of Biology**, [S.L.], v. 75, n. 1, p. 104-113, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.08313>.

NELSON, D.L.; COX, M.M. *Lehninger: Princípios de bioquímica*. 3 ed. São Paulo: Sarvier, 2002.

OLIVEIRA, Edriely Vilena de; YAMAGUCHI, Klenicy Kazumy de Lima. Conhecimento tradicional e o ensino de Ciências: uso de cará-roxo (*Dioscorea trifida*) como indicador de ácidos e bases. **Revista Insignare Scientia**, Ufa, v. 4, n. 6, p. 495-507, dez. 2021. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/12441/8222>. Acesso em: 13 set. 2024.

PADHAN, Bandana; BISWAS, Meghali; PANDA, Debabrata. Nutritional, anti-nutritional and physico-functional properties of wild edible yam (*Dioscorea* spp.) tubers from Koraput, India. **Food Bioscience**, v.34, p.100527, 2020.

PAVIA, Donald L. et al. *Introdução à espectroscopia*. Cengage Learning, 2010 PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. *Introduction to Spectroscopy*. ed. Bellingham, Washington: Thomson Learning. 2001.

PEDRALLI G. 2002. Dioscoreaceae e Araceae: Aspectos taxonômicos, etnobotânicos e espécies nativas com potencial para melhoramento genético. In: **Simpósio Nacional sobre as Culturas do Inhame e do Taro, 2., João Pessoa, PB, EMEBA (Ed.)** Esclarecimentos sobre as denominações dos gêneros *Dioscorea* e *Colocasia*. p.37-53.

PEIXOTO NETO PAS; LOPES FILHO J; CAETANO LC; ALENCAR LMC; LEMOS EEP. 2000. *Inhame: O Nordeste Fértil*. Maceió: EDUFAL, 88 p.

ROBERTO, Maria; BLASI, Francesca; ANGELINI, Paola; IANNI, Federica; ALABED, Husam B. R.; EMILIANI, Carla; VENANZONI, Roberto; COSSIGNANI, Lina. LC/MS Q-TOF Metabolomic Investigation of Amino Acids and Dipeptides in *Pleurotus ostreatus* Grown on Different Substrates. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 70, n. 33, p. 10371-10382, 9 ago. 2022. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.2c04197>.

RODRIGUES DA SILVA, Laís et al . Flavonóides: constituição química, ações medicinais e potencial tóxico. **Acta toxicol. argent.**, Ciudad Autónoma de Buenos Aires , v. 23, n. 1, p. 36-43, mayo 2015.

ROSAS, Alexandra Lizandra Gomes; GONÇALVES, Glória Caroline Paz; SILVEIRA, Tayse Ferreira Ferreira da; BARROS, Lillian; RAMIRES, Tassiana; SOUSA, Rafael Carneiro de; SILVA, Wladimir Padilha da; MEINHART, Adriana Dillenburg. Food Extract of Purple Yam (*Dioscorea trifida* L.f.) from Brazil: optimization of extraction method, characterization, in vivo toxicity, and antimicrobial activity. **Food Analytical**

Methods, [S.L.], v. 17, n. 8, p. 1254-1266, 14 jun. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12161-024-02644-3>.

ROSAS, Alexandra Lizandra Gomes; GONÇALVES, Glória Caroline Paz; SILVEIRA, Tayse Ferreira Ferreira da; BARROS, Lillian; RAMIRES, Tassiana; SOUSA, Rafael Carneiro de; SILVA, Wladimir Padilha da; MEINHART, Adriana Dillenburg. Food Extract of Purple Yam (*Dioscorea trifida* L.f.) from Brazil: optimization of extraction method, characterization, in vivo toxicity, and antimicrobial activity. **Food Analytical Methods**, [S.L.], v. 17, n. 8, p. 1254-1266, 14 jun. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12161-024-02644-3>.

SANTOS, ES dos et al. Inhame (*Dioscorea* sp.) tecnologia de produção e preservação ambiental. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v. 1, n. 1, p. 31- 36, 2007

SILVA, Amanda Amanda Divina Matias. **POTENCIAL DO INHAME (DIOSCOREA SPP.) NA ELABORAÇÃO DE BEBIDAS NÃO CONVENCIONAIS**. 2022. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Agrárias, Instituto Federal Goiano, Ceres, 2022.

SILVA, Jonathan Henrique da. **Anatomia, histoquímica e compostos de reserva de espécies de Dioscorea L. (Dioscoreaceae)**. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia, Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2017. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/pgibt/sites/242/2022/09/jonathan_henrique_da_silva_ms.pdf. Acesso em: 14 set. 2024.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R.(Orgs). *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 6.ed. Porto Alegre: **Editora da UFRGS**: Florianópolis: Editora da UFSC, 2010.

SIQUEIRA, Marcos Vinícius Bohrer Monteiro. INHAME (*DIOSCOREA SPP*): UMA CULTURA AINDA NEGLIGENCIADA. **Horticultura Brasileira**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 65-81, ago. 2009. Disponível em: <https://cdn.awsli.com.br/121/121715/arquivos/inhame.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024.

SMITH, B.W. 1937. Notes on the cytology and distribution of the Dioscoreaceae. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 64: 189-197.

SOARES, Verena Makarem. Propagação de *Dioscorea trifida* l.f. a partir de minitubérculo, estaquia e cultivo in vitro. **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA**, Amazônia, 09 out. 2018. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/5380>. Acesso em: 13 set. 2024.

STATISTICAL YEARBOOK 2021. Usa: Food And Agriculture Organization Of The United Nations, 2021. Anual. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/522c9fe3-0fe2-47ea-8aac-f85bb6507776/content>. Acesso em: 15 set. 2024.

Tubérculo - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/batata/pre-producao/caracteristica/planta/tuberculo#:~:text=Os%20tub%C3%A9rculos%20s%C3%A3o%20caules%20adaptados>>. Acesso em: 19 set. 2024.

VEKSHIN, Nikolai. **Screening hypochromism in chromophore stacks**. 1987.
Disponível
em:https://www.researchgate.net/publication/234324337_Screening_hypochromism_in_chromophore_stacks. Acesso em: 15 set. 2024.