

Palma: origem, nutrição e metabolismo

Palm: origin, nutrition and metabolism

Palma: origen, nutrición y metabolismo

Recebido: 03/04/2020 | Revisado: 05/04/2020 | Aceito: 15/04/2020 | Publicado: 15/04/2020

Larisse Cadeira Brandão

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3862-2166>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: lalahbrandao@hotmail.com

Franciscleudo Bezerra da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6145-4936>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: franciscleudo@yahoo.com.br

Ana Marinho do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1808-7445>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: anamarinho06@hotmail.com

Álvaro Gustavo Ferreira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8977-3808>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: gustavosilva012345@gmail.com

Wellington Souto Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8195-6279>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: wellingtisouto@yahoo.com.br

Giuliana Naiara Barros Sales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4909-6774>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: giulianasales@outlook.com

Josilene Linhares de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4319-8507>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: josilenecondado@gmail.com

Sabrina Vieira de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0253-8694>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: sabrina.p.b@hotmail.com

Bruna Rocha da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0890-5798>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: bruna.orochoa@hotmail.com

Ayanne Basilio Malaquias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0117-7257>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: ayanne.bm@gmail.com

Marcio Santos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0288-3666>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: marcyyo@outlook.com

Thamirys de Luna Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3186-6424>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: thamirys_luna@hotmail.com

Resumo

A palma teve sua origem na América do Norte e do Sul e possui grande potencial para as regiões semiáridas, amplamente cultivada no Nordeste brasileiro, por tolerar longos períodos de estiagem. Por ser uma cactacea sua fisiologia proporciona maior eficiência no uso da água. O caule é suculento com estimado valor nutricional relevante para ser utilizado na dieta humana. O objetivo foi discutir os gêneros de palma mais consumidos, seus compostos bioativos e informações sobre seu metabolismo. Foi realizado levantamento bibliográfico em plataformas de pesquisa onde foram selecionados 57 artigos para ser utilizado como banco de dados. O conteúdo de compostos bioativos, o aroma, a coloração, a textura e o sabor podem ser alterados de acordo com a atividade enzimática, principalmente a fenilalanina amônia-liase.

Palavras-chave: Cladódio de palma; Compostos bioativos; Fenilalanina amônia-liase.

Abstract

The palm had its origin in North and South America and has great potential for semi-arid regions, widely cultivated in Northeast Brazil, for tolerating long periods of drought. Because it is a cactacea its physiology provides greater efficiency in the use of water. The stem is succulent with an estimated relevant nutritional value to be used in the human diet. The objective was to discuss the most consumed palm genera, their bioactive compounds and information on their metabolism. A bibliographic survey was carried out on research platforms where 57 articles were selected to be used as a database. The content of bioactive compounds, the aroma, the color, the texture and the taste can be changed according to the enzymatic activity, mainly the phenylalanine ammonia lyase.

Keywords: Palm cladodes; Bioactive compounds; Phenylalanine ammonia lyase.

Resumen

La palma tuvo su origen en América del Norte y del Sur y tiene un gran potencial para las regiones semiáridas, ampliamente cultivadas en el noreste de Brasil, para tolerar largos períodos de sequía. Debido a que es una cactácea, su fisiología proporciona una mayor eficiencia en el uso del agua. El tallo es succulento con un valor nutricional relevante estimado para ser utilizado en la dieta humana. El objetivo era discutir los géneros de palma más consumidos, sus compuestos bioactivos e información sobre su metabolismo. Se realizó una encuesta bibliográfica sobre plataformas de investigación donde se seleccionaron 57 artículos para ser utilizados como base de datos. El contenido de compuestos bioactivos, el aroma, el color, la textura y el sabor pueden modificarse de acuerdo con la actividad enzimática, principalmente la fenilalanina amoniaco liasa.

Palabras clave: Cladodios de palma; Compuestos bioactivos; Fenilalanina amoniaco liasa.

1. Origem e Introdução da Palma no Brasil

A palma, dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* teve sua origem na América do Norte e do Sul. Sendo o gênero *Opuntia* que o mais importante e tendo o México como centro de origem, devido o grande número de espécies presentes em seu território (Arba et al., 2017). Sendo introduzida no Brasil no final do século XIX, há pouco mais de 100 anos para ser utilizada na indústria têxtil, mais especificamente para a produção da cochonilha (*Dactylopius coccus*), inseto que produz um corante vermelho chamado de carmim, antigamente muito utilizado para tingir tecidos (Pereira & Lopes, 2011). Com o passar do tempo e desenvolvimento de

novas tecnologias, o uso desse tipo de corante foi sendo substituído e com isso a palma obteve o papel principal de forragem, sendo basicamente utilizada como ração animal. O objetivo do presente artigo foi discutir os gêneros de palma mais consumidos, seus compostos bioativos e informações sobre seu metabolismo.

A cultura da palma possui grande potencial para as regiões áridas e semiáridas, por tolerar prolongados períodos de estiagem, devido a sua fisiologia, tendo maior expressão de cultivo na área de pecuária leiteira do semiárido do Nordeste brasileiro, sendo considerado um excelente alimento energético. A presença de palma na dieta, substitui em parte capins e grãos, aumentando a palatabilidade e a ingestão que favorece o aproveitamento dos nutrientes (Neves et al., 2010; Rocha, 2012).

Por possuir mecanismos fisiológicos que a torna uma das plantas mais adaptadas às condições ecológicas das zonas áridas e semiáridas do mundo, a palma vem se adaptando com relativa facilidade ao semiárido do Nordeste Brasileiro (Oliveira et al., 2010).

Segundo Araujo (2009), a palma tem se destacado como alternativa de sustentabilidade para a pecuária regional, por ser uma espécie com maior eficiência no uso da água, apresentando elevada capacidade produtiva de biomassa, além de ser uma planta de múltiplos usos pela variedade dos seus produtos e subprodutos.

No Brasil, o uso da palma, na alimentação humana ainda enfrenta resistência da população, sendo que em outros países, como o México, Itália e Japão (Nunes, 2011), seu consumo é muito praticado e apreciado, em especial, o cladódio que contém uma boa fonte de nutrientes. O caule é do tipo cladódio, suculento, constituído principalmente de água e carboidratos, incluindo fibras, proteínas e minerais. Possui ainda valores consideráveis de fitoquímicos com propriedades antioxidantes como vitamina C, clorofilas, carotenoides e fenólicos, quando comparados a outras hortaliças (Farias, 2013). Com isso, cada vez mais vem se desenvolvendo estudos sobre o uso da palma e sua atuação mediante a dieta humana.

Os estudos mostram como se torna importante entender o comportamento da palma como uma hortaliça de consumo não convencional em função de suas características biológicas, morfológicas e fisiológicas. Por ser uma cultura bem adaptada as condições semiáridas, com elevada eficiência no uso da água, a palma passa a ser uma alternativa relevante não só para o consumo dos animais, em período de estiagem, mas para fazer parte da culinária da dieta humana.

1.1 Características morfológicas da palma

A palma pertence ao reino vegetal; subreino Embriophyta; divisão Spermatophyta; subdivisão Angiospermae; classe Liliatae; família Cactaceae; subfamília Opuntioideae; tribo Opuntiae; gênero Opuntia; subgêneros Opuntia e Nopalea (Silva, 2016).

Essa planta apresenta caule suculento, com casca verde e falta de folhas copadas. O órgão tipo caule, conhecido como cladódio é tipicamente oblonga a espatulada-oblonga, com 30 a 40 cm de comprimento e, algumas vezes, maiores de 70 a 80 cm e 18 a 25 cm de largura, e o peso de seus cladódios podem variar de 350 g até 1,8 kg, dependendo da espécie (Galvão Júnior et al., 2014; Frota et al., 2015).

Os cladódios da palma são revestidos por uma cutícula espessa, que é coberta por uma estrutura cerosa que diminui a perda de água por transpiração, protegendo contra o excesso de radiação solar. Esses órgãos também apresentam grande capacidade de armazenamento de água, por possuírem parênquima abundante com células que contêm grandes vacúolos (Farias, 2013).

O clima da região semiárida é seco, com temperaturas que variam de 23 a 27 °C, apresentando forte insolação (2.800h luz ano), evapotranspiração potencial média de 2.000 mm anuais, umidade relativa do ar em torno de 50%, resultando num balanço hídrico negativo com solo ralo e bioma Caatinga (Guimarães et al., 2016). Segundo Silva et al. (2011) a região ainda apresenta variabilidade de precipitação pluvial não uniforme em todo o Nordeste do Brasil, com os maiores valores de coeficiente de variação de precipitação pluvial e número de dias de chuvas do que aqueles apresentados no litoral e agreste nordestino. A precipitação pluvial pode variar consideravelmente, até mesmo dentro de alguns quilômetros de distância e em escalas de tempo diferentes. Sendo a maior parte da região Nordeste do Brasil situada dentro da zona semiárida, com grandes problemas para a sociedade e para os ecossistemas naturais, decorrentes das secas periódicas.

As cactáceas, assim como a palma, realizam um tipo específico de fotossíntese, que corresponde ao metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), no qual a captação atmosférica diária de CO₂ e a perda de água ocorrem principalmente à noite, proporcionando alta eficiência no uso da água quando comparado com o metabolismo que outras plantas realizam (Farias, 2013). Essas plantas abrem seus estômatos à noite onde por falta de luz, não ocorre fotossíntese, acarretando assim o acúmulo de ácido málico que é o ácido predominante nas cactáceas, para que durante o dia este seja utilizado nos demais processos da planta (Costa; Marengo, 2007).

Com base na literatura, percebe-se que a palma reúne características morfológicas como o caule do tipo cladódio, que armazena grande quantidade de água e a cutícula espessa que ajuda a planta a não perder água por transpiração. Essas características fazem com que a palma seja muito eficiente no uso da água, adaptando-se bem as regiões de condições de sequeiro.

2. Metodologia

A presente revisão bibliográfica é uma pesquisa de caráter qualitativo, onde os dados coletados são descritivos. Foi realizado levantamento bibliográfico em plataformas de pesquisa onde foram selecionados 57 artigos para ser utilizado como banco de dados.

3. Metabolismo Secundário das Plantas

As reações metabólicas consistem no conjunto de alterações químicas que estão ocorrendo continuamente nas células. O conjunto de determinadas reações direcionadas por enzimas específicas pode ser chamado de rota metabólica (Silva, 2009).

A partir disso, muitas enzimas são responsáveis por modificações que ocorrem na aparência, no sabor e aroma dos frutos naturais e processados, além disso, o uso delas é bastante amplo. As enzimas são amplamente utilizadas na química analítica, na tecnologia de alimentos, agricultura, medicina e estudos ambientais (Rotili, 2012).

Uma vez que as reações geradas através da ação enzimática são muito importantes nos alimentos, pode ocorrer a formação de compostos altamente desejáveis e também podem ocasionar consequências indesejáveis. As reações enzimáticas ocorrem no alimento natural e também durante seu processamento e armazenamento (Rotili, 2012).

Os produtos secundários, provenientes dessas reações, possuem uma ação contra a herbivoria, ataque de patógenos, competição entre plantas e atração de organismos benéficos como polinizadores, dispersores de semente e microrganismos simbiotes, além disso, também possuem ação protetora aos estresses abióticos, relacionados com as mudanças de temperatura, conteúdo de água, níveis de luz, exposição à radiação ultravioleta e deficiência de nutrientes minerais (Silva, 2014).

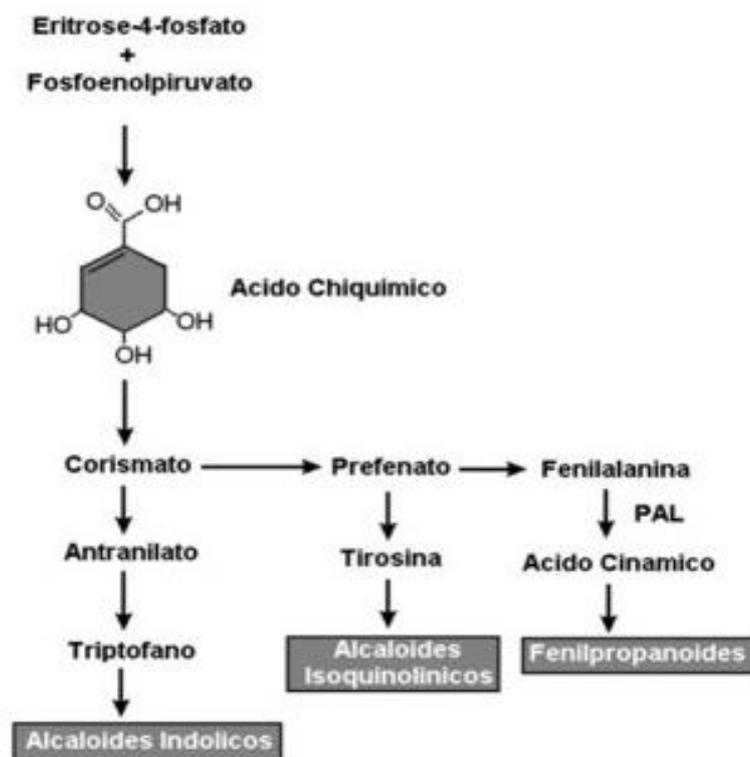
Estudos bioquímicos associam a produção de etileno com a ativação do metabolismo dos fenilpropanóides induzindo a síntese dos compostos fenólicos dos vegetais, em função principalmente do aumento da atividade de enzimas deste metabolismo, sobretudo da fenilalanina amônia-liase (PAL). Diversas substâncias são produzidas durante o metabolismo secundário de frutas e hortaliças, incluindo grande número de compostos fenólicos, como lignina, flavonoides, compostos de defesa contra herbivoria e patógenos, entre outros (Picoli et al., 2010).

A partir da oxidação enzimática dos compostos fenólicos por polifenoloxidasas pode ocorrer o escurecimento nos tecidos da planta, causando alterações indesejáveis na cor, no sabor, e na textura dos vegetais (Rotili, 2012). Os fenóis estão localizados no vacúolo das plantas, e nos tecidos com injúrias mecânicas, normalmente notam-se danos em membranas, sendo o tonoplasto (membrana que envolve o vacúolo) um dos locais afetados, o que origina um vazamento de fenóis (Picoli et al., 2010; Cruz, 2015).

Nas células, as enzimas são responsáveis por milhares de reações químicas coordenadas que não ocorrem isoladamente, elas são organizadas em cadeias de múltiplas etapas denominadas rotas ou vias, nas quais o produto de uma reação serve como substrato da reação posterior. No entanto, diferentes vias se inter-relacionam, formando uma rede integrada e objetiva de reações químicas, denominada metabolismo. Cada via é composta de cadeias multienzimáticas e cada enzima, por sua vez, pode exibir importantes características catalíticas e regulatórias (Cortez et al., 2017).

É importante observar na via do ácido chiquímico (Figura 1), a formação dos aminoácidos triptofano e fenilalanina que são considerados aminoácidos essenciais na dieta humana. Sendo possível verificar, também, a atuação da fenilalanina amônia-liase que é considerada a principal enzima dessa via para a formação do ácido cinâmico, que a partir do ácido cinâmico são formados compostos secundários importantes para a vida e manutenção da planta.

Figura 1: Principais aminoácidos formados pela via biossintética do ácido chiquímico.

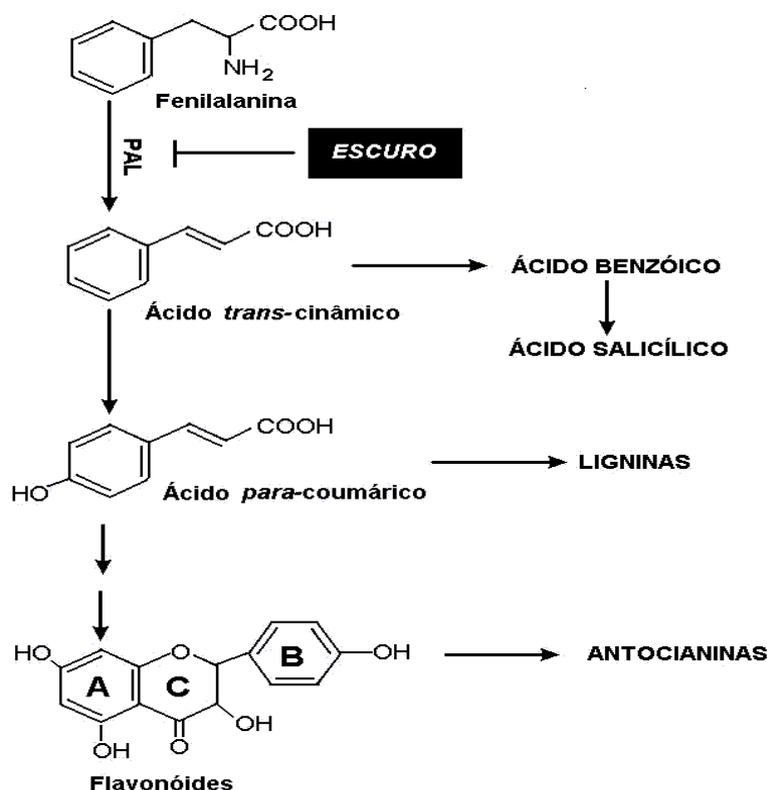


Fonte: Peres (2004).

Diante disso, os aminoácidos triptofano e fenilalanina são considerados essenciais, como a tirosina pode ser formada a partir da fenilalanina, ela não é considerada essencial na dieta humana (Ribeiro et al., 2007), como observado na Figura 1.

O ácido chiquímico pode ser metabolizado em ácido corísmico, pela incorporação de uma molécula de fosfenolpiruvato seguida de uma eliminação do tipo 1,4 do grupo fosfato. A redução do corismato e a incorporação de amônia conduzem a via do antranilato, que forma o aminoácido triptofano, precursor dos alcalóides indólicos. Um rearranjo intramolecular do ácido corísmico produz o ácido prefênico. A descarboxilação deste, seguida da aromatização e transaminação produz o aminoácido fenilalanina. Uma rota alternativa, a partir do ácido prefênico, conduz a formação de tirosina. A fenilalanina pela ação da PAL (fenilalanina amônia-liase) perde uma molécula de amônia, originando o ácido cinâmico e os principais compostos secundários que são formados a partir da atividade da fenilalanina amônia-liase, e a importância desses compostos para a planta (Figura 2). A regulação desta enzima é um fator crítico na produção dos metabólitos do chiquimato (Silva, 2009).

Figura 2. Principais compostos fenólicos derivados da enzima fenilalanina amônio-liase (PAL).



Fonte: Peres (2004)

Essa enzima retira uma amônia da fenilalanina ocasionando a formação do ácido cinâmico como observado na figura 2. A PAL é regulada por fatores ambientais tais como, o nível nutricional, a luz (pelo efeito do fitocromo) e infecção por fungos. Entre as substâncias formadas após a ação da PAL estão o ácido benzóico, o qual dá origem ao ácido salicílico, um importante composto na defesa das plantas contra patógenos (Barros et al., 2010).

4. Compostos Bioativos

As frutas e hortaliças são fontes de vitaminas, minerais e fibras, sendo alimentos nutricionalmente importantes da dieta. Ultimamente, maior atenção tem sido dada a estes alimentos uma vez que evidências epidemiológicas têm demonstrado que o consumo regular de vegetais está associado à redução da mortalidade e morbidade por algumas doenças crônicas não transmissíveis (Melo et al., 2008; Mondoni et al., 2010).

A maioria dos compostos bioativos são evidenciados e estudados como sendo a responsável pelos efeitos benéficos de uma dieta rica em frutas e hortaliças. Esses compostos variam em estrutura química e conseqüentemente, na função biológica. Contudo eles apresentam algumas características em comum: pertencem a alimentos do reino vegetal, são substâncias orgânicas e geralmente de baixo peso molecular (Canella et al., 2018).

As substâncias bioativas são definidas como nutriente e/ou não nutrientes com ação metabólica ou fisiológica específica. Estas substâncias agem como antioxidantes, ativando enzimas de detoxificação hepática, com efeitos no bloqueio de atividade de toxinas virais ou bacterianas, atuando também na inibição da absorção do colesterol, podendo diminuir a agregação plaquetária, e também destruir bactérias gastrintestinais nocivas (Queiroz, 2012).

O consumo de frutas e hortaliça auxilia no combate ao risco de incidência de mortalidade por câncer e doenças cardíacas, devido à presença destes compostos bioativos oriundos do metabolismo secundário, especialmente flavonoides e antocianinas, que possuem grande capacidade de reagir com radicais livres contribuindo na prevenção de doenças cardiovasculares, circulatórias, neurológicas e cancerígenas. Estes compostos possuem atividade anti-inflamatória, antialérgica, antitrombótica, antimicrobiana e antineoplásica (Jacques et al., 2010; Verruck et al., 2018).

Os compostos bioativos podem ser consumidos nos alimentos *in natura* como também processados ou inseridos em outro produto. Deste processo surgem, por exemplo, as cápsulas de fibras e aminoácidos, os leites enriquecidos com ácidos graxos (ômega 3 e 6) e as vitaminas (Batista, 2010; Canella et al., 2018).

É possível observar de acordo com a literatura, a importância dos compostos bioativos presentes na palma, como as vitaminas, carboidratos, fibras entre outros compostos. Os compostos bioativos podem atuar na atividade antioxidante, que ajuda a combater radicais livres, e portando ajuda no combate de doenças crônicas, neurológicas e cardiovasculares.

Os principais compostos bioativos são:

4.1. Polifenóis

Os frutos e hortaliças contêm, além dos nutrientes essenciais e de micronutrientes como minerais, fibras e vitaminas, diversos compostos secundários de natureza fenólica, denominados polifenóis (Costa & Jorge, 2011). Os polifenóis abrangem um extenso grupo de

substâncias que podem ser de estruturas simples e complexas, derivadas dos aminoácidos fenilalanina e da tirosina, possuem um anel aromático contendo pelo menos uma hidroxila (Escalada et al., 2011).

Os grupos de compostos encontram-se divididos em várias classes, segundo o esqueleto carbônico dos fitoquímicos, dentre as quais se destacam a dos ácidos fenólicos e a dos flavonóides. A capacidade antioxidante dos polifenóis é devida principalmente as suas propriedades redutoras, cuja intensidade da ação antioxidante oferecidas por estes fitoquímicos é diferenciada uma vez que depende do número e posição de hidroxilas presentes na molécula (Gasic et al., 2014; Ferreira et al., 2016).

Os polifenóis exercem função de fotoproteção nas plantas, na defesa contra microrganismos e insetos, como também são responsáveis pela pigmentação e por algumas características organolépticas dos alimentos (Balogh et al., 2011).

As substâncias fenólicas possuem funções fisiológicas importantes, desempenhando papel fundamental na prevenção de doenças crônico-degenerativas, atuando como antioxidantes, além de possuírem propriedades antialérgicas, anti-inflamatórias, antimicrobiana e efeito cardioprotetor e vasodilatador (Del Re; Jorge, 2012; França et al., 2013).

Os polifenóis são considerados compostos bioativos importantes, pois podem atuar na defesa e manutenção da planta e serem utilizados de maneira relevante no organismo humano. Devido essas propriedades, há a necessidade de mais estudos, para entender melhor como esses compostos podem atuar de maneira benéfica na dieta humana, oriundo principalmente da palma.

4.2. Antocianinas

As antocianinas são pigmentos hidrossolúveis de coloração variando do azul à púrpura, encontrados em frutos e hortaliças. A degradação das antocianinas ocorre devido ao aumento de temperatura e da atividade enzimática das glicosidases e polifenoloxidasas (Vieira, 2019).

Existe um grande interesse no estudo das antocianinas em diversas áreas, como na saúde, devido ao seu grande potencial terapêutico e farmacológico, apresentando propriedades de supressão de radicais livres, a cardioproteção, a capacidade de redução dos níveis de

colesterol e triglicérides, como também atuam no diabetes e no mal de Alzheimer como agentes antioxidantes, entre outras propriedades (Março et al., 2008; Queiroz, 2012).

As flavonas, flavanonas, flavanóis, catequinas ou epicatequinas e antocininas formam o grupo dos flavanoides, um potente grupo de antioxidantes que ocorrem naturalmente em frutas frescas (especialmente laranja, morango, jabuticaba, uva rosada e cacau), vegetais (especialmente alho, cebola roxa, repolho roxo, berinjela, batata-doce e soja), nos chás e nos vinhos tintos (Efraim et al., 2011). As antocianinas agem na proteção contra a oxidação do LDL-colesterol, reduzindo os radicais livres, atuam também contra alergias, inflamações, úlceras, virose, tumores, hepatotoxinas e também na inibição da agregação plaquetária, reduzindo as cardiopatias e trombozes e a síntese de estrógeno (Santana, 2016).

Segundo a literatura, as antocianinas são compostos bioativos que possuem propriedades terapêuticas e farmacológicas que atuam no combate de células doentes, sendo de muita importância, o estudo cada vez mais avançado dessas propriedades, que beneficiam o organismo humano.

4.3. Carotenóides

Os carotenoides são considerados um tipo de terpeno pigmentado, de cores amarelo, laranja e vermelho, que estão presente nas frutas e verduras possuindo um alto valor nutricional. São identificados 1.600 compostos químicos divididos em duas classes de moléculas. Os carotenos, que se pode dá como exemplo o beta-caroteno, pode ser encontrado na cenoura e no dendê; o licopeno encontrado no tomate e na melancia; a luteína encontrada nos vegetais verdes, e as xantofilas (zeaxantina, criptoxantina e astaxantina). Os carotenos auxiliam na proteção contra o câncer de bexiga, útero, próstata, pulmão e coloretal. O licopeno oferece proteção contra outros antioxidantes. Alguns terpenos encontrados nas frutas cítricas, os limonóides, têm ação quimioterápica (Zeraik & Yariwake, 2008).

Os carotenoides recebem muita atenção devido aos estudos relatarem que estes compostos possuem potenciais benéficos que extrapolam a síntese de vitamina A, devido a atuarem como agentes profiláticos contra diversas doenças, principalmente o câncer. Alguns carotenoides, como a luteína e zeaxantina protegem o olho contra degeneração macular, a betacriptoxantina está relacionada à diminuição do risco de câncer de pulmão, e o consumo de produtos ricos em licopeno tem associação à proteção contra certos tipos de câncer, sobretudo o de próstata (Queiroz, 2012)

Os carotenóides são compostos facilmente encontrados nos vegetais e, atuam na proteção dos células combatendo a ação oxidativa direta provocado pelo excesso de energia captada pela planta. Ademais, estes compostos, também, agem na prevenção e no combate de doenças, no organismo humano.

5. Atividade Enzimática

As enzimas são agentes catalisadores das reações que acontecem nos sistemas biológicos. Elas possuem eficiência catalítica extraordinária, geralmente muito maior que a dos catalisadores sintéticos; têm um alto grau de especificidade por seus substratos, aceleram reações químicas específicas e ainda, funcionam em soluções aquosas e em condições muito suaves de temperatura e pH (Lehninger, 2014).

As enzimas possuem um centro ativo, que é o local onde se processam as reações com determinados substratos. O centro ativo é constituído de modo geral de alguns resíduos de aminoácidos da cadeia de proteína e um grupo não-protéico, sendo responsável pela atividade biológica da enzima. Algumas enzimas dependem apenas da sua própria estrutura protéica (apoenzima) para exercer sua atividade, enquanto outras necessitam também de um ou mais componentes não proteicos chamados de cofatores, que podem ser íons metálicos ou moléculas orgânicas denominadas de coenzimas. Muitas enzimas dependem dos cofatores e das coenzimas. Outras enzimas possuem um grupo prostético que é similar ao cofator, mas está firmemente ligado à apoenzima. O complexo cataliticamente ativo enzima-cofator é denominado de haloenzima (Brasil, 2011).

Todas as enzimas são proteínas, com exceção de um pequeno grupo de moléculas de RNA com propriedades catalíticas. A atividade catalítica das enzimas dependem da integridade da sua conformação protéica nativa. A atividade catalítica geralmente se perde quando uma enzima é desnaturada ou dissociada em subunidades. A atividade catalítica é sempre suspensa quando uma enzima é quebrada em seus aminoácidos componentes. Assim, as estruturas protéicas primária, secundária, terciária e quaternária das enzimas são essenciais para o exercício da atividade catalítica (Lehninger, 2014).

Uma reação catalisada enzimaticamente ocorre no interior de uma cavidade, na estrutura molecular da enzima chamada de sítio ativo. Este sítio ativo que contém aminoácidos cujas cadeias laterais criam uma superfície complementar ao substrato,

permitindo que as enzimas atuem na ruptura de uma determinada ligação química. O sítio ativo liga-se ao substrato, formando um complexo enzima-substrato que resultará na enzima e seu produto (Brasil, 2011).

Qualquer que seja o mecanismo catalítico de uma reação, uma vez que as moléculas de substratos tenham reagido, a enzima separa-se dos produtos, liberando a molécula de enzima para novas reações. Deste modo, as enzimas não são consumidas nas reações que catalisam e proporcionam a catálise que é um processo a velocidade de uma reação aumenta por diminuir a energia de ativação da mesma, sem alterar a termodinâmica da reação. A velocidade da reação reflete a energia de ativação, ou seja, uma energia de ativação alta corresponde a uma reação lenta (Dias, 2012).

Na planta, podemos observar dois tipos de metabolismo, o metabolismo primário e o secundário. O metabolismo primário são as reações essenciais das plantas, como fotossíntese e respiração celular. O metabolismo secundário compete as reações que atendem necessidades específicas de cada planta, nessas reações há a participação de enzimas, que atuam catalisando reações, mas que precisam se encontrar em pH e temperatura ótima para isso, caso contrário podem ocorrer reações indesejadas, devido a isso, é necessário cada vez mais estudos sobre o comportamento enzimático e que fatores ambientais podem modificar a atuação das enzimas.

6. Atividade da Fenilalanina Amônia-liase - PAL (E.C. 4.3.1.5) em Plantas

A fenilalanina amônia-liase (PAL) é a primeira enzima do metabolismo do fenilpropano; catalisadora da reação de desaminação da L-fenilalanina, produzindo ácido trans-cinâmico e amônia. O ácido cinâmico é o precursor de muitos constituintes secundários das plantas. A desaminação ocorre em nível de citoplasma, e em algumas espécies catalisada através de inúmeras isoenzimas da PAL (Borsatti et al., 2015).

A PAL está situada em um ponto de ramificação entre o metabolismo primário e secundário, e catalisa a reação da formação de muitos compostos fenólicos (Almeida et al., 2012).

A enzima, descoberta por Koukol & Conn em 1961, foi isolada e caracterizada em *hordeum vulgare*. A faixa de pH ótimo encontra-se entre os valores de 8,8 a 9,2, sendo que o sistema é ativado na faixa de pH 8,0 a 10,6. Quando se refere a estabilidade térmica, a enzima

não apresenta perda da atividade a 50 °C por 10 minutos. A enzima é constituída de 4 subunidades, sendo o P.M. da molécula intacta de aproximadamente 330.000. Experimentos revelaram que a PAL é inibida por pelo seu produto final, o ácido t-cinâmico (Machado, 1993).

A Glicose-6-fosfato-desidrogenase (G-6P-DH) é uma enzima precursora do metabolismo dos fenilpropanóides (Acevedo & Clavijo, 2008). Visto que é através dela que a glicose-6P é desidrogenada, levando a uma sequência formadora da fenilalanina, que ao ser desaminada pela ação catalisadora da fenilalanina amônia-liase (PAL) produz ácido t-cinâmico. A medição da atividade das duas enzimas permite avaliar a intensidade do fluxo para o metabolismo dos fenilpropanóides e desta maneira, estimar a produção dos compostos flavonoides (Borsatti et al., 2015).

A PAL tem como substrato o aminoácido fenilalanina. Esta é uma enzima chave para todas as vias de síntese de compostos fenólicos, os quais estão envolvidos com resistência a pragas e patógenos. Esta enzima é a responsável pela primeira de uma série de reações metabólicas, que gera inúmeros produtos naturais baseados em fenilpropanos, incluindo a lignina, certos pigmentos e protetores contra a luz ultravioleta. A produção de tal enzima é regulada durante o crescimento vegetal, mas é também induzida em células vizinhas ao local de infecção por vários estímulos ambientais, como infecção, ferimentos, contaminação por metais pesados, luz e reguladores de crescimento (Pinto et al., 2011).

Os mecanismos de defesa contra ataques de patógenos ou herbívoros estão sempre ativos nos vegetais, funcionando como sistemas de proteção relacionados com a biossíntese de compostos secundários que interferem ou alteram a palatabilidade (flavonóides, quinonas, alcalóides), complexam proteínas (taninos), secretam substâncias urticantes (terpenos), produzem substâncias impermeabilizantes (cutina, ceras), alteram a resistência celular (pectina, lignina) e evitam ainda decomposição e a oxidação de tecidos, combatendo radicais livres, atuando com antioxidantes (flavonóides) (Rodrigues das Dôres, 2007).

Outra importante classe de compostos derivados da PAL é representada pelos flavonóides. Embora os flavonóides sejam quase ausentes em fungos, algas, briófitas e pteridófitas, sua importância nas angiospermas é muito grande. Os flavonóides e taninos presentes na casca do caule de angiospermas funcionam como feitos antiinflamatórios e antiulcerativos (Silva et al., 2015).

Os fenólicos são um grupo de compostos que estão presentes no nosso dia a dia, embora nem sempre nos demos conta disso. Desse modo, muito do sabor, odor e coloração de diversos vegetais que apreciamos são gerados por compostos fenólicos (Oliveira et al., 2009).

Com base na literatura, a fenilalanina amônia-liase (PAL) é uma enzima da planta, precursora da formação de compostos secundários que são importantes tanto por seu teor nutritivo como por ajudar na defesa e na manutenção da planta. A PAL é uma enzima sensível aos fatores externos, então se for exposta a condições adversas, ela pode alterar sua atividade enzimática, interferindo assim, no sabor, na textura, aroma e coloração da palma. Então é necessários mais estudos sobre o comportamento dessa enzima, como, quais condições são consideradas ideais para que ela tenha uma boa atividade, para que ela não interfira de forma negativa na qualidade da palma para o consumo humano.

7. Considerações

Em função do levantamento literário sobre a palma, percebe-se que o incentivo na produção de palma como um hortaliça não convencional para o consumo humano é possível. Para tanto, torna-se imprescindível investir no desenvolvimento de estudos sobre a composição nutricional da palma voltada à dieta humana, frente as diferentes espécies de palma presente na Região semiárida. Ou mesmo, avaliar o comportamento dos compostos bioativos e da atividade antioxidante da palma, no combate aos radicais livres, na organismo humano; E, ainda, compreender com riqueza de informação o metabolismo oxidativo da palma a partir das enzimas que participam diretamente do metabolismo secundário, como a via dos fenilpropanóides.

Referências

- Acevedo, J. C.; Clavijo, J. (2008). *Investigación agronómica em Colombia*. In: CLAVIJO, J. (Coord.). *Tiametoxam: um nuevo concepto em vigor e produtividade*. Bogotá: Syngenta, 2008. p. 34-92.
- Almeida, H. O. et al. (2012). Enzima marcadoras de indução de resistência diferencialmente reguladas em soja resistente e suscetível à ferrugem-asiática-da-soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(2), 163-172.

Araujo, A. M. (2009). Interação entre adubação fosfatada e espaçamento no cultivo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) no estado da Paraíba. 2009. 67 f. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Sistemas Agrosilvipastoris do Semi-Árido).

Arba, M. et al. (2017). Biology, flowering and fruiting of the cactus *Opuntia* spp.: a review and some observations on three varieties in Morocco. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 60(1).

Balogh, T. S. et al. (2011). Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. *Anais brasileiros de Dermatologia*, 86(4), 732-742.

Barros, F. C. et al. (2010) Indução de resistência em plantas à fitopatógenos. *Bioscience Journal*, 26(2).

Batista, P. F. (2010). *Qualidade, compostos bioativos e atividade antioxidante em frutas produzidas no Submédio do Vale do São Francisco*. 2010. 162p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN.

Batista, R. D. S. R. et al. (2010). Bebida mista à base de goiaba (*Psidium guajava* L.) e palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*): desenvolvimento e aceitabilidade. *Arch Latinoam Nutr*, 60(3), 285-90.

Borsatti, F. C. et al. (2015). Indução de resistência e qualidade pós-colheita de amora-preta tratada com ácido salicílico. *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal*, 37(2), 318-326.

Brasil, F. I. (2011). Enzimas: Natureza e ação nos alimentos. *Revista-fi*, 9(3), 2015.

Canella, D. S. et al. (2018). Consumo de hortaliças e sua relação com os alimentos ultraprocessados no Brasil. *Revista de Saúde Pública*, 52, 50.

Cortez, D. V.; De castro, H. F.; Andrade, G. S. S. (2017). Potencial catalítico de lipases ligadas ao micélio de fungos filamentosos em processos de biotransformação. *Química Nova*, 40(1), 85-96.

Costa, G. F da; Marengo, R. A. (2007). Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *Acta Amazonica*, 37(2), 229-234.

Costa, T.; Jorge, N. (2015). Compostos bioativos benéficos presentes em castanhas e nozes. *Journal of Health Sciences*, 13(3).

Cruz, F. J. R. (2015). *Respostas bioquímicas e fisiológicas de plantas jovens de cana-de-açúcar sob diferentes concentrações de NaCl no solo*. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Campus Jaboticabal.

Da Silva, M. S. et al. (2018). Qualitative Assessment of Early Palm Cladodes of *Opuntia tuna* L.(Mill) Grown with Organic Manures. *Journal of Experimental Agriculture International*, p. 1-14.

Del ré, P. V.; Jorge, N. (2012). Especiarias como antioxidantes naturais: aplicações em alimentos e implicação na saúde. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 14(2), 389-399.

Dias, F. RF; Ferreira, V. F.; Cunha, A. C. (2012) Uma visão geral dos diferentes tipos de catálise em síntese orgânica. *Revista Virtual de Química*, 4(6), 840-871.

Da Frota, Lopes, M. N. et al. (2015). Palma Forrageira na Alimentação Animal. *Embrapa Meio-Norte-Documentos (INFOTECA-E)*.

Efraim, P; Alves, A. B; Jardim, D. C. P. (2011). Revisão: Polifenóis em cacau e derivados: teores, fatores de variação e efeitos na saúde. *Brazilian Journal of Food Technology*, 14(3), 181-201.

Escalada, G. et al. (2011). Influencia de la zona de cultivo y procesamiento de la yerba mate sobre su contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante. *Revista Ciência e Tecnologia*, 13(15), 66-74.

Farias, V. F. S. (2013). *Avaliação do desenvolvimento, qualidade e capacidade antioxidante em brotos de palma (Opuntia sp.) para o consumo humano*. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal.

Fatibello-filho, O.; Vieira, I. C. (2002). *Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática*. *Quim. Nova*, 25(3), 455-464.

Ferreira, T. S. et al. (2016) Substâncias fenólicas, flavonoides e capacidade antioxidante em erva-mate sob diferentes coberturas do solo e sombreamentos. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 18(2), 588-596.

França, B. K. et al. (2013). Peroxidação lipídica e obesidade: métodos para aferição do estresse oxidativo em obesos. *GE jornal português de gastroenterologia*, 20(5), 199-206.

Galvão, T. H. B. et al. (2018). Physico-chemical Quality Changes of Young Cladodes of "Mexican Elephant Ear" Minimally Processed during Refrigerated Storage. *Journal of Experimental Agriculture International*, p. 1-9.

Galvão Júnior, J. G. B. et al. (2014). Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. *Acta Veterinaria Brasílica*, 8(2), 78-85.

Gašić, U. et al. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity of Serbian polyfloral honeys. *Food Chemistry*, 145, 599-607.

Guimarães, S. O. et al. (2016). Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(3), 337-365.

Horst, M. A.; Lajolo, F. M. (2007). Biodisponibilidade de compostos bioativos de alimentos. In: COZZOLINO, S. M. F. *Biodisponibilidade de nutrientes*. 2. ed. São Paulo: Manole Ltda, 2007. Cap. 35. p. 697-716.

Jacques, A. C.; Pertuzatti, P. B.; Barcia, M. T.; Zambiasi, R. C.; Chim, J. F. (2010). Estabilidade de compostos bioativos em polpa congelada de amora-preta (*rubus fruticosus*) cv. TUPY. *Quim. Nova*, 33(8), 1720-1725.

Melo, E. A.; Maciel; M. I. S.; Lima, V. L. A. G.; Nascimento, R. J. (2008). Capacidade antioxidante de frutas. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences. 44 (2), abr./jun.

Mondini, L. et al. (2010). Consumo de frutas e hortaliças por adultos em Ribeirão Preto, SP. *Revista de Saúde Pública*, 44, 686-694.

Nascimento, J. P. (1993) *Caracterização morfométrica e estimativa da produção de opuntia ficus-indica*, Machado, I. S. *Atividade de enzimas do metabolismo de compostos secundários comprometidos com o enraizamento "in vitro" de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden*. USP - São Paulo.

Março, P. H; Poppi, R. J; Scarmino, I. S. (2008). Procedimentos analíticos para identificação de antocianinas presentes em extratos naturais. *Química Nova*, 31(5), 1218-1223.

Nelson, D. L.; Cox, M. M. (2014). *Princípios de bioquímica de Lehninger*. 6.ed., Porto Porto Alegre: Artmed.

Neves, A. L. A. et al. (2010). Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros no semiárido brasileiro. *Embrapa Gado de Leite-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*, 7p.

Nunes, C. D. S. (2011). Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. *Revista Verde*, 6(1), 58-66.

Oliveira, Al. C. et al. (2009). Fontes vegetais naturais de antioxidantes. *Química Nova*, 32(3), 689-702.

Oliveira, F. T. de.; Souto, J. S.; Silva, R. P. da.; Filho, F. C. de A.; Júnior, E. B. P. (2010). Palma forrageira: adaptação e importância para os Ecossistemas áridos e semiáridos. *Revista Verde* (Mossoró – RN – Brasil) 5(4), 27 – 37, out-dez.

Pereira, A.S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM.

Pereira, E. F. P.; LOPES, P. S. de Q. (2011). Palma-ouro verde do semiárido. João Pessoa-PB.

Pereira, E. M. et al. (2018). Physiology and Postharvest Quality of Palm Sprouts (*Opuntia ficus-indica*) Harvested at Different Times. *Journal of Experimental Agriculture International*, p. 1-8.

Pereira, E. M. et al. (2017). Empirical models in the description of prickly pear shoot (*Nopal*) drying kinetics. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(11), 798-802.

Pereira, E. M. et al. (2013). Qualidade pós-colheita e processamento mínimo de brotos de palma *Opuntia ficus-indica* Mill. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8(3), 229-234.

Peres, L. E. P. (2004). In: *Metabolismo secundário*. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

Picoli, A. A.; Faria, D. B.; Jomori M. L. L.; Kluger, R. A. (2010). *Avaliação de biorreguladores no metabolismo secundário de beterrabas inteiras e minimamente processadas*. *Bragantia*, Campinas, 69(4), 983-988.

Pinto, M. S. T.; Ribeiro, J. M.; Oliveira, E. A. G. (2011). O estudo de genes e proteínas de defesa em plantas. *Revista Brasileira Bioci.*, Porto Alegre, 9(2), 241-248, abr./jun.

Pinto, S. M.; Farias, V. F. S.; Da Costa, F. B. (2018). Avaliação dos aspectos físico e químicos de brotos de palma (*Opuntia* sp.) para o consumo humano. *Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management*, 15(1).

Queiroz, E. de R. (2012). *Frações de Lichia: Caracterização química e avaliação de compostos bioativos*. (Mestrado em agroquímica) UFLA – MG.

Ribeiro, N. D. et al. (2007). Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(10), 1393-1399.

Rocha, J. E. S. (2012). Palma forrageira no Nordeste do Brasil: estado da arte. Embrapa Caprinos e Ovinos-Documentos *INFOTECA-E*.

Rodrigues das Dôres, R. G. (2007). *Análise morfológica e fitoquímica da fava d'anta (dimorphandra mollis Benth)*. (Doutorado em fitotecnia) – UFV – Viçosa – Brasil.

Rotilli, M. C. C. (2016). *Respostas bioquímicas, físico-químicas e micorbiológicas do maracujá amarelo durante armazenamento em atmosfera modificada e em diferentes temperaturas*, Marechal Cândido Rondon, UNIOESTE, 2012. (Dissertação – Mestrado em agronomia).

Santana, D. A. (2016). *Análise de compostos fenólicos e atividade antioxidante em cachaças baianas*.

Silva, A. F.; Rabelo, M. F. R.; Enoque, M. M. (2015). Diversidade de angiospermas e espécies medicinais de uma área de Cerrado. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 17(4), 1016-1030.

Silva, G. T. (2014). *Contribuição para o conhecimento de espécies da família cactaceae: usos pela medicina popular e potencial terapêutico*.

Silva, R. R.; Sampaio, E. V. S. B. (2016). Palmas forrageiras *Opuntia fícus-indica* e *Nopalea cochenillifera*: sistemas de produção e usos. *Revista Geama*, 1(2), 151-161.

Silva, S. A. S. (2009). *Biossíntese de produtos Naturais*. UFAL - Maceió, 2009.

Silva, V. P. R. et al. (2011). Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 15(2).

Verruck, S; Prudencio, E. S; Da Silveira, S. M. (2018). Compostos bioativos com capacidade antioxidante e antimicrobiana em frutas. In: *Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos*. 2018.

Vieira, E. L. (2019). *Apontamentos e práticas de fisiologia pós-colheita de frutos e hortaliças*. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. UFRB. Bahia, 2019.

Zeraik, M. L.; Yariwake, J. H. (2008). Extração de β -caroteno de cenouras: uma proposta para disciplinas experimentais de química. *Química Nova*, 31(5), 1259-1262.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Larisse Cadeira Brandão – 14%

Franciscleudo Bezerra da Costa – 14%

Ana Marinho do Nascimento – 10%

Álvaro Gustavo Ferreira da Silva – 10%

Wellington Souto Ribeiro – 10%

Giuliana Naiara Barros Sales – 6%

Josilene Linhares de Araújo – 6%

Sabrina Vieira de Sousa – 6%

Bruna Rocha da Silva – 6%

Ayanne Basilio Malaquias – 6%

Marcio Santos da Silva – 6%

Thamirys de Luna Souza – 6%