



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS, SAÚDE E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE CORANTES DE BETERRABA
(*Beta Vulgares L*) EM MEIO AQUOSO

TAYS DIAS DA SILVA

IMPERATRIZ - MA

2021

TAYS DIAS DA SILVA

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE CORANTES DE BETERRABA
(*Beta Vulgares L*) EM MEIO AQUOSO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. José de Ribamar Macedo Costa.

IMPERATRIZ - MA

2021

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Dias da Silva, Tays.
Cinética de degradação térmica de corantes de beterraba
beta vulgares 1 em meio aquoso / Tays Dias da Silva. -
2021.
43 f.

Orientador(a): José de Ribamar Macedo Costa.
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia de
Alimentos, Universidade Federal do Maranhão, Universidade
Federal do Maranhão, 2021.

1. Betalainas. 2. Beterraba. 3. Degradação Térmica.
4. Estudo Cinético. I. Macedo Costa, José de Ribamar.
II. Título.

TAYS DIAS DA SILVA

**CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE CORANTES DE BETERRABA
(*Beta Vulgares L*) EM MEIO AQUOSO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. José de Ribamar Macedo Costa

APROVADO EM: _17/_09_/2021

Prof. Dr. José de Ribamar Macedo Costa (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Alan Bezerra Ribeiro (Membro)
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Júlio Cesar Freitas Rosas (Membro)
Universidade Federal do Maranhão

*Dedico à DEUS, minha querida filha
Isadora, meu sobrinho Gabriel e minha
Mãe Rosa.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à DEUS pelo seu infinito amor e misericórdia, pois Ele é a base das minhas conquistas. Porque dele e por ele, e para ele, são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente amém (Rm 11:36).

Sou grata especialmente a minha família. À minha filha Isadora meu amor maior, que ao nascer me fortaleceu com muitos momentos de felicidades, minha mãe, que me acompanhou sempre, apoiando emocionalmente e me fortalecendo para não desistir, meu sobrinho Gabriel, meu esposo Raimundo e minha irmã Adriana Dias. Obrigada pelos momentos alegres e incentivos.

Aos meus amigos ao longo desses anos, especialmente à Mateus Pereira, David Madeira, Adrienne Patrocínio e Jéssica Aguiar. Irei recordar com grande apreço.

Sou grata ao Professor Dr. José de Ribamar, por ter se compromissado, orientado e guiado a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Alimentos prontos ou semi-prontos ocupam uma parcela cada vez maior no mercado alimentício, sendo práticos, com segurança microbiológica e grande variedade de produtos para diferentes tipos de consumidores. Para tanto, o uso de aditivos é realizado para conservar ou melhorar a textura, cor, sabor, aumento do tempo de prateleira. Os corantes são os mais utilizados, tornando os alimentos mais atrativos, pois a cor do alimento eventualmente é afetada pelo processamento. Os corantes da beterraba (*Beta vulgaris* L), as betacianinas e betaxantinas, possuem grande aplicabilidade e são utilizados como corante natural na forma de suco concentrado ou em pó, em balas, sorvetes, leites aromatizados e alimentos infantis, dentre outros. A beterraba possui múltiplos fitoquímicos biologicamente ativos, incluindo betalainas, flavonóides, polifenóis, saponinas e nitrato inorgânico, além de poder antioxidante, que é atribuído às betalainas. Assim a pesquisa de novos processos de extração, conservação e modificação de corantes da beterraba apresenta grande relevância, contribuindo para soluções de problemas de processamentos de alimentos e redução de problemas de saúde relacionados ao uso excessivo de corantes sintéticos, como doenças de pele, alergias, sintomas gastrointestinais ou respiratórios, principalmente no público infantil. Os corantes betacianínicos presentes na beterraba (*Beta vulgaris* L) foram extraídos com água, a partir de beterraba liofilizada pulverizada, com proporção de 50 g/1000 mL/10 min, à temperatura ambiente. O extrato foi separado por centrifugação a 3000 rpm/20 min. A partir da solução estoque foram preparadas soluções de corante correspondentes à proporção de 5×10^{-3} g_{beterraba} /mL para os testes de degradação térmica, no intervalo de temperatura de 30°C a 80°C, em banho termoestabilizado, sendo monitoradas por análise por absorção na região do ultravioleta-visível, em intervalos de 10 minutos, até 120 minutos, em comprimento de onda, λ , de 475 nm para betaxantinas e 536 nm para betacianinas. A degradação do corante segue uma cinética de 1ª ordem para reações homogêneas, com 1 reagente e a constante de taxa de reação foi de $1,4 \times 10^{-4}$ mg/h, o tempo de meia vida, $t_{1/2}$, foi de 8,25 horas, à temperatura de 30°C para o corante betacianínico. O processo de degradação apresenta energia de ativação de 56,06 kJ/mol para o corante betacianínico e de 64,829 kJ/mol para a betaxantina. Decorrido o tempo do teste de degradação, a solução assume uma coloração amarelada.

Palavras-chave: Beterraba. Betalainas. Degradação Térmica. Estudo Cinético.

ABSTRACT

Ready-to-eat or semi-ready foods occupy an increasing share of the food market, being practical, with microbiological safety and a wide variety of products for different types of consumers. Therefore, the use of additives is carried out to preserve or improve the texture, color, flavor and increase in shelf life. Colorings are the most used, making food more attractive, as the food color is eventually affected by processing. Beet colorings (*Beta vulgaris* L), betacyanins and betaxanthines, have great applicability and are used as a natural coloring in the form of concentrated juice or powder, in candies, ice cream, flavored milks and children's foods, among others. Beetroot has multiple biologically active phytochemicals, including betalains, flavonoids, polyphenols, saponins and inorganic nitrate, in addition to antioxidant power, which is attributed to betalains. Thus, the search for new processes for extracting, preserving and modifying beet dyes has great relevance, contributing to solutions to food processing problems and reducing health problems related to the excessive use of synthetic dyes, such as skin diseases, allergies, gastrointestinal or respiratory symptoms, especially in children. The betacyanin dyes present in sugar beet (*Beta vulgaris* L) were extracted with water from sprayed freeze-dried beet, with a proportion of 50 g/1000 mL/10 min, at room temperature. The extract was separated by centrifugation at 3000 rpm/20 min. From the stock solution, dye solutions were prepared corresponding to the proportion of 5×10^{-3} g_{beets} /mL for the thermal degradation tests, in the temperature range of 30°C to 80°C, in a thermostatted bath, being monitored by analysis by absorption in the ultraviolet-visible region, at intervals of 10 minutes, up to 120 minutes, in wavelength, λ , of 475 nm for betaxanthines and 536 nm for betacyanins. Dye degradation follows 1st order kinetics for homogeneous reactions, with 1 reagent and the reaction rate constant was 1.4×10^{-4} mg/h, the half-life, $t_{1/2}$, was 8.25 hours at 30°C for the betacyanin dye. The degradation process presents an activation energy of 56.06 kJ/mol for the betacyanin dye and 64.829 kJ/mol for the betaxanthin. After the degradation test time has elapsed, the solution takes on a yellowish color.

Keywords: Beetroot. Betalains. thermal degradation. Kinetic Study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Estrutura de pigmentos vegetais utilizados em alimentos. Clorofila (tetrapirrol), perlagonina (antocianina), betacaroteno (carotenóide) e betanidina (betalaína).	14
Figura 2.	Beterraba hortícola ou beterraba de mesa (<i>Beta vulgaris</i> L.)	15
Figura 3.	Estrutura geral de ácido betâmico (a), betacianinas (b) e betaxantinas (c). Betacianina: R1 = R2 =H. R3 = amina ou grupo aminoácido.	17
Figura 4.	Estruturas químicas das principais betacianinas e betaxantinas	18
Figura 5.	Esquema de extração e teste de degradação térmica de corante de beterraba	22
Figura 6.	Reação de decomposição de betanina	24
Figura 7.	Espectro UV-vis de extrato de beterraba, em pH 6. 20 g/100 mL, fator de diluição (1:3).	28
Figura 8.	Decomposição térmica de corante betacianínico ($\lambda = 536$ nm) de beterraba em meio aquoso.	29
Figura 9.	Decomposição térmica de corante betaxantínico ($\lambda = 475$ nm) de beterraba em meio aquoso	30
Figura10.	Espectro UV-vis de extrato de beterraba, em pH 6. 20 g/100 mL, fator de diluição (1:3).	31
Figura11.	Espectros de absorção ultravioleta-visível de extrato aquoso de beterraba submetido à teste de degradação térmica a 80°C.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Composição química da beterraba <i>in natura</i> (g/100 g) de acordo com a Tabela TACO – 2011.	15
Tabela 2.	Propriedades físico química de beterraba liofilizada	28
Tabela 3.	Constante de taxa de reação (k) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) para degradação térmica de corante vulgoxantina ($\lambda = 475$ nm) e betanina ($\lambda = 536$ nm) em meio aquoso	30

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	13
3.	REVISÃO	13
3.1	Beterraba vermelha (<i>Beta Vulgaris L.</i>)	14
3.1.1	<i>Corantes betacianínicos</i>	16
4.	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1	Pré-tratamento da matéria prima	19
4.2	Caracterização da beterraba	19
4.3	Extração de corantes	21
4.3.1	<i>Quantificação fotométrica de betalaínas</i>	22
4.4	Estudo cinético da degradação de corantes de beterraba	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1	Caracterização físico-química da beterraba.	28
5.2	Análise espectrofotométrica do extrato de beterraba.	28
5.3	Estudo cinético da degradação térmica de corantes da beterraba: betanina e vulgoxantina I.	29
6.	CONCLUSÕES	33
	REFERÊNCIAS	34
	APENDICE 1 – Orientações para publicações	38

1. INTRODUÇÃO

Os produtos industrializados ocupam uma parcela cada vez maior no mercado alimentício. Eles são bem práticos, pois já vêm prontos ou semi-prontos, com inúmeras variedades de produtos para diferentes tipos de consumidores. Porém, junto à essa praticidade, o uso de aditivos químicos usados para conservar ou conferir características físicas e químicas aos alimentos, como melhoria na textura, cor, sabor, aumento do tempo de prateleira, tem seu consumo colocado quem cheque, a respeito do limite de consumo diário e sua correlação com o aparecimento de problemas adversos em curto e longo prazo à saúde do consumidor (LIMA, 2013; SOUZA, 2019).

Os corantes são os mais utilizados entre os aditivos alimentares pela indústria, são utilizados principalmente para tornar os alimentos mais atrativos pois o cozimento e processamento alteram a estrutura dos pigmentos. Portanto os corantes serão utilizados com a finalidade de favorecerem a aparência dos produtos industrializados dando vida através das cores aos alimentos e bebidas. Sendo a cor um fator de fundamental importância na escolha do consumidor (ANASTÁCIO, 2016; VALENTE 2018). Para Souza (2019), os corantes são colocados com a intenção de atribuir e resgatar a cor pedida do produto.

De maneira geral, muitos produtos alimentícios são naturalmente coloridos ou adicionados corantes alimentícios que são feitos por combinações de substâncias, tais como sais inorgânicos e compostos voláteis. Os corantes utilizados nos alimentos podem ser corantes naturais, corantes idênticos aos naturais, corantes artificiais e inorgânicos (HAMERSKI, REZENDE & SILVA, 2013).

O uso de corantes sintéticos em excesso pode causar doenças de pele e alergias, principalmente em crianças, causando sintomas gastrointestinais ou respiratórios. Além disso, em estudos *in vitro* já foram notados potenciais efeitos carcinogênicos desses corantes (CORRADIN, 2019). Com isso, tem-se percebido dia a dia a substituição dos corantes artificiais pelos naturais devido a rejeição por parte de consumidores cada vez mais conscientes da qualidade do que consomem (CAROCHO, 2015), que buscam produtos com ingredientes naturais, isentos de aditivos artificiais ou quaisquer tipos de compostos sintéticos.

Corantes naturais extraídos de origem vegetal ou animal, além de colorir, possuem propriedades benéficas para a saúde, como ação antioxidante, anticarcinogênica, antidiabético, antiinflamatória sendo também atóxicos e biodegradáveis (HAMERSKI, *et*

al, 2013). Diante dessa situação a indústria alimentícia tem investido gradualmente em consumidores que preferem produtos rico em composto bio-ativo e do tipo “clean label” (rótulo limpo), fazendo substituição de corantes sintéticos pelos naturais (MARTINS, *et al.*, 2019).

Existe uma grande variedade de corantes naturais com elevado potencial de utilização aplicados a alimentos. No entanto, infelizmente são instáveis durante o processamento e o armazenamento. A prevenção de alterações indesejáveis costuma ser difícil ou impossível. Dependendo do pigmento, a sua utilização requer muitas vezes procedimentos de estabilização que permitam manter a sua capacidade corante em diferentes condições como a presença ou ausência de luz, oxigênio, temperatura, atividade de água, pH e presença de outras substâncias (AZEREDO, 2009; DAMODARAN, 2010).

Estudos mostram que a beterraba possui múltiplos fitoquímicos biologicamente ativos, incluindo betalaínas, flavonóides, polifenóis, saponinas e nitrato inorgânico, além de possuir diversos minerais. Seu poder antioxidante é atribuído às betalaínas, que podem atribuir benefícios contra doenças relacionadas ao estresse oxidativo. Os corantes betacianínico (subdividido em betacianina e betaxantina) é um composto bio-ativo sendo encontradas em abundância na beterraba de mesa (*Beta vulgaris* L) e são utilizados como corante natural na forma de suco concentrado ou em pó, em balas, sorvetes, leites aromatizados e alimentos infantis, dentre outros alimentos (TIVELLI, 2011).

Assim, a pesquisa de novos processos de extração, conservação e modificação de corantes naturais representa uma área de importância significativa para a indústria de alimentos, contribuindo para soluções de problemas de processamentos de alimentos e manutenção da qualidade de produtos industrializados. Principalmente aqueles destinados ao público infantil.

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo realizar o estudo cinético do processo de degradação do corante de beterraba para avaliar a estabilidade térmica de extrato aquoso de beterraba de mesa (*Beta vulgaris* L.).

2. OBJETIVOS

Avaliar a estabilidade térmica de corantes de beterraba (*Beta vulgaris* L) em meio aquoso por meio do estudo cinético (n , k , $t_{1/2}$, E_a) da degradação térmica de corantes betacianínicos e betaxantínicos presentes na beterraba de mesa no intervalo de temperatura de 30°C a 80°C.

3. REVISÃO

Os aditivos mais usados na indústria de alimentos são os corantes. Considera-se corante a substância ou a mistura de substâncias que possuem a propriedade de conferir ou intensificar a coloração de alimento (e bebida) (Resolução - CNNPA nº 44, de 1977). Estes são adicionados para restaurar a tonalidade perdida no processamento, ajudar a proteger cheiros e vitaminas sensíveis à claridade durante a estocagem e servindo também como um indicador visual de qualidade. Os produtos com corantes ficam com aparência natural dos alimentos, ficando assim agradável aos olhos do consumidor (KONICA, 2021).

No Brasil, a indústria deve seguir a legislação do Ministério da Saúde. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece as condições gerais de elaboração, classificação, apresentação, designação, composição e fatores essenciais de qualidade dos corantes empregados na produção de alimentos (e bebidas).

A legislação sanitária vigente que trata da classificação e uso tolerado de corantes em alimentos (e bebidas) é a Resolução nº 44/CNNPA, de 1977, que estabelece no item 2 e anexo II como:

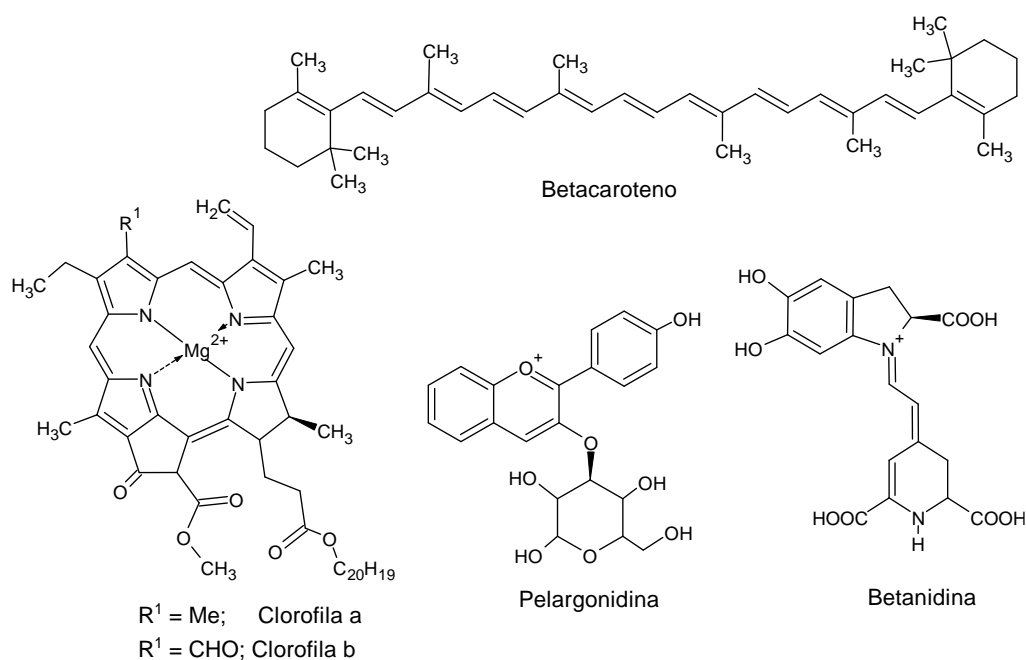
- Corantes orgânico natural - adquiridos a partir de fontes naturais (vegetal, animal): curcumina, riboflavina, cochonilha, urzela, clorofila, caramelo, carvão medicinal, carotenoides, xantofilas, vermelho de beterraba (betanina) e antocianinas.
- Corantes orgânico sintético idênticos ao natural - sintetizados industrialmente cuja estrutura química é semelhante à do princípio ativo isolado de corante orgânico natural: betacaroteno, beta-apo-8'-carotenal, éster etílico do

ácido beta-apo-8'carotênico, cantaxanteno, complexo cúprico da clorofila e clorofilina, caramelo amônia;

- Corante orgânico sintético artificiais - são obtidos sinteticamente, não encontrado em produtos naturais: amarelo crepúsculo, laranja ggn, amarelo ácido ou amarelo sólido, tartrazina, azul brilhante fcf, azul de idantreno rs ou azul de alizarina, indigotina, bodeaux s ou amaranto, eritrosina, escarlata gn, vermelho sólido e, ponceau 4 r, vermelho 40.
- Corante inorgânico - aquele obtido a partir de substâncias minerais, com emprego limitado à superfície. Podemos citar o carbonato de cálcio, dióxido de titânio, óxido e hidróxido de ferro, alumínio, prata e ouro.

A Figura 1, apresenta alguns corantes naturais encontrados em plantas.

Figura 1. Estrutura de pigmentos vegetais utilizados em alimentos. Clorofila (tetrapirrol), pelargonidina (antocianina), betacaroteno (carotenoide) e betanidina (betalaína).



Fonte: Gonçalves, 2015.

3.1 Beterraba vermelha (*Beta Vulgaris L.*)

A beterraba vermelha (ou de mesa) é uma planta herbácea da família das *Amaranthaceae*. Consiste em uma hortaliça de cor vermelho-arroxeadada, sendo três biótipos (beterraba açucareira, forrageira e hortícola), de significativa importância

econômica. Hortícola é a mais utilizada no Brasil. Os bulbos (raiz) possuem casca fina, polpa fibrosa e sabor adocicado e terroso (Figura 2) (TIVELLI *et al.*, 2011).

Figura 2. Beterraba hortícola ou beterraba de mesa (*Beta vulgaris* L.)



Fonte: Campo & negócios (2021)

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a beterraba é usualmente consumida em sucos e saladas na forma crua, ou no vapor e cozida em sopas e preparos em bolos e suflês. As folhas também possuem nutrientes e são consumidas refogadas, em omeletes e bolinhos. Deve-se evitar cozinhá-la em excesso para evitar perda de nutrientes, sendo seu consumo na forma *in natura* a melhor opção no ponto de vista nutricional, devido às beterrabas possuírem elevados níveis de antioxidantes, vitamina B6, fibras solúveis, ácido fólico, ferro, zinco, cálcio, fósforo, sódio, niacina, biotina, potássio e magnésio. Seus elevados níveis de antioxidantes possuem propriedades benéficas para a saúde (SANTOS, 2017). Na Tabela 1 podemos observar a composição centesimal da raiz da beterraba vermelha (TACO, 2011).

Tabela 1. Composição química da beterraba *in natura* (g/100 g) de acordo com a tabela TACO – 2011.

Componentes	Beterraba <i>in natura</i>
Umidade (%)	86
Proteína (g)	1,9
Lipídeos (g)	0,1
Carboidratos (g)	11,1
Fibra alimentar (g)	3,4
Cinzas (g)	0,9
Valor energético (cal)	49

Fonte: TACO, 2011, BOVI, (2019)

No Brasil, segundo o Censo Agropecuário (IBGE, 2017a), existem 24.870 estabelecimentos agrícolas que produzem 134.969 toneladas de beterraba, com valor de

produção de R\$ 94.379.000,00, sendo Minas Gerais o maior produtor. A cadeia produtiva desta hortaliça atingiu R\$ 841,2 milhões em 2010.

No Brasil a área plantada de beterraba é 18 mil hectares. São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Bahia e Goiás respondem por cerca de 87% da comercialização de beterraba nas Ceasas nacionais. Segundo a CEAGESP (2021), a beterraba (*Beta vulgaris* L.) é o 33º produto mais vendido. No ano de 2018 a 2019 houve aumento de 5,2% na produção brasileira de beterraba, refletindo de forma positiva no índice de exportação da hortaliça. A produção média no Brasil varia de 15.000 a 20.000 kg ha⁻¹ para as três variedades e de 28.000 a 33.000 kg/ha para os híbridos. Sendo maior produtividade no inverno (CAMPO & NEGOCIOS, 2021).

3.1.1. Corantes betacianínicos

Industrialmente, as betalaínas são usadas como substituintes de corantes artificiais na indústria alimentícia. Seu emprego limita-se a alimentos com pouco teor de umidade e que não tenham processamento prolongado em temperaturas elevadas, tais como sorvetes, iogurtes, leites aromatizados, carnes e pós instantâneos para sobremesas e pudins (LONGARAY, 2014; TIVELLI *ET AL.*, 2011).

O corante de beterraba é disponível para uso comercial como suco concentrado ou em pó, em preparações contendo entre 0,3% e 1,0% do pigmento de betacianina considerado o extrato vermelho da beterraba (DIAS, 2003). O corante na forma de pó possui maior facilidade de manuseio e vida útil mais longa do que alternativas como o concentrado desse legume. Hoje em dia, a aplicação do corante de beterraba, é bastante variada, podendo ser utilizado como aditivos em sorvetes, iogurtes, refrigerantes, maquiagens entre outros.

A beterraba vermelha é cultivada há milhares de anos em todo tipo de temperatura e clima. Os pigmentos presentes são conhecidos como betalaínas e podem ser divididos em duas classes: os pigmentos vermelhos conhecidos como betacianinas e os amarelos chamados de betaxantinas, ambos bastante solúveis em água. As betalaínas possuem uma distribuição limitada nas plantas, não havendo muitas espécies que possuam estas substâncias como colorante básico, sendo que ao que tudo indica as betalaínas e

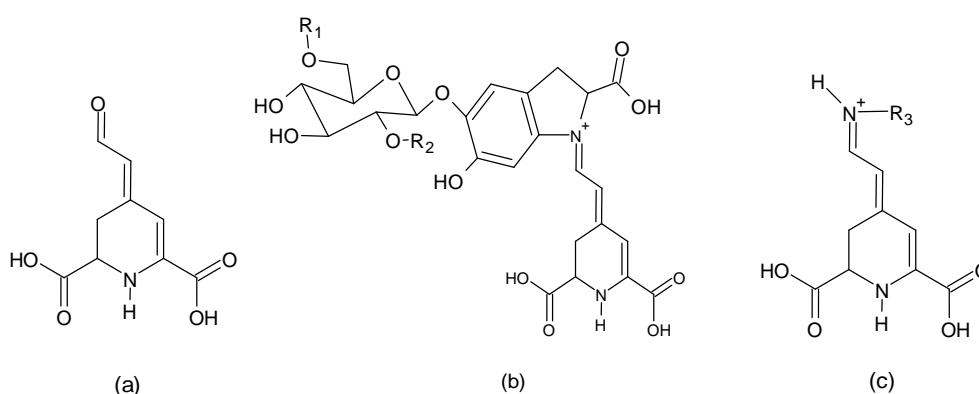
antocianinas são mutuamente exclusivas, ou seja, plantas que produzem betalaínas não contêm antocianinas e vice-versa (GONÇALVES, 2015; HENRY, 1996).

As betalaínas, classe de pigmentos naturais, compreendem as betacianinas (vermelhos) e as betaxantinas (amarelas). Ocorrem, principalmente, nas *Centrospermae* com destaque especial para a beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L.). Dentre as betacianinas, os pigmentos que apresentam maior percentagem (75-95 %) na beterraba vermelha e se destacam como corante em alimentos são a betanina e seu diastereoisômero isobetanina. As betaxantinas aparecem em menor percentagem na beterraba vermelha, das quais as principais são vulgoxantina I e II (JACKMAN e SMITH, 1992; MEGARD, 1993; STRACK, VOGT e SCHLIEMANN, 2003).

Segundo Delgado-Vargas (2000), mais de setenta betalaínas de ocorrência natural são bem conhecidas, e todas elas têm a mesma estrutura básica (em que R1 e R2 podem ser hidrogênio ou um substituinte aromático). Todavia, as betalaínas são divididas em dois grupos com diferenças estruturais, as betacianinas (apresentando cor vermelho/violeta e com um máximo de absorção de 535-538 nm) que se ramificam em quatro grupos, betanina, gonfrerina, amarantina e boungavilia; e as betaxantinas (de cor amarela).

As estruturas básicas das betacianinas e das betaxantinas, assim como do seu precursor, o ácido betalâmico, podem ser observadas na Figura 3 a seguir.

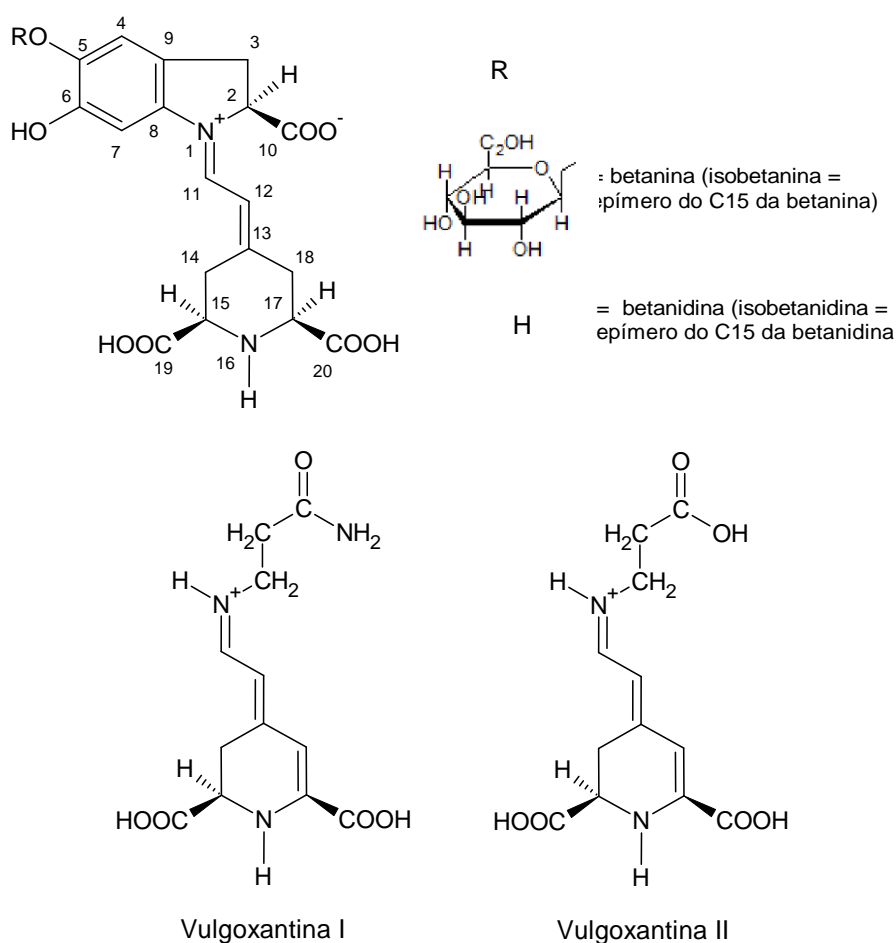
Figura 3. Estrutura geral de: (a) ácido betâmico, (b) betacianinas (c) betaxantinas (c). Betacianina: R1 = R2 =H. R3 = amina ou grupo aminoácido.



Fonte: Azeredo, 2009.

A estrutura da betanina e da vulgoxantina I e II, considerados os corantes mais abundantes na beterraba vermelha, são indicados na Figura 4.

Figura 4. Estruturas químicas das principais betacianinas e betaxantinas.



Fonte: Drunkler, 2006.

Dentro das betalainas conhecidas, existem cerca de cinquenta estruturas de betacianinas e vinte de betaxantinas (VOLP, 2009). Alteração dos grupos variáveis que constituem o pigmento (R1 e R2) ocorre em função das diferentes fontes de onde podem ser obtidos esses pigmentos e, conseqüentemente, determinam a sua tonalidade e estabilidade. (KHAN, 2016; SCHOEFS, 2004).

A susceptibilidade da betanina ao calor, oxigênio e a alta atividade de água restringe seu uso como corante alimentício, sendo mais utilizada em produtos que possuem um nível restrito de tratamento térmico, ou que possuam baixa atividade de água, ou até mesmo em alimentos com pequenos prazos de validade que não incluam SO₂ como agente conservante na sua formulação. Desta maneira os produtos mais comuns de aplicação deste corante são as misturas de pós e produtos congelados (GONÇALVES, 2018; FRANCIS, 1989).

Devido à importância crescente dos corantes naturais como substituto dos corantes artificiais para a alimentação, se faz necessário a realização de estudos a respeito da sua extração, separação e purificação a partir de matrizes alimentícias de largamente disponível no mercado de frutas e até então, pouco exploradas como o caso do jamelão e de hortaliças como o repolho roxo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Pré-tratamento da matéria-prima

A beterraba foi adquirida no comércio local em Imperatriz - MA, foi selecionada, separando os exemplares livres de imperfeições como podridão ou injúrias mecânicas. As beterrabas foram lavadas em água corrente e então sanitizadas (em solução de hipoclorito de sódio durante 15 minutos). Em seguida foram enxaguadas em água portátil, escurridas, descascadas e raladas com auxílio de processador de alimentos (Skymsem, Modelo PA-7LE), usando discos de corte E1, com duas passagens do material pelo processador. Após essa etapa a amostra fracionada foi acondicionada em sacos de PEBD (polietileno de baixa densidade), pesados, identificados e armazenados em freezer a -21°C, até o momento da extração de secagem.

A beterraba foi liofilizada (Liofilizador Liotop, modelo L101) a -56°C/ 50 µHg /50 h, obtendo-se o material seco. Este foi armazenado em potes de vidro, hermeticamente fechado, ao abrigo da luz, até o momento da extração.

4.2. Caracterização da beterraba liofilizada

As amostras de beterraba liofilizada foram submetidas às análises de umidade (método IAL 012/IV), acidez (método IAL 016/IV), proteína (método IAL 036/IV) e teor fibra bruta (método IAL 044/IV). Os procedimentos são descritos a seguir.

Umidade

Pesou-se 1,000 g da amostra em vidro de relógio, previamente tarado. Aqueceu durante 3 horas. Colocou-se no dessecador até a temperatura ambiente. Pesou e anotou os dados para cálculos.

$$Umidade (\%) = \frac{N \times 100}{P} \quad (01)$$

N = n° de gramas de umidade (perda de massa em g).

P = n° de gramas da amostra.

Acidez

Foram pesados de 5,000 g de beterraba, transferido para um frasco béquer de 100 ml com o auxílio de 50 ml de água. A amostra foi agitada por 10 minutos. Adicionou-se de 2 a 4 gotas da solução fenolftaleína e titulado com solução de hidróxido de sódio 0,1M com o auxílio de um pHgâmetro (potenciômetro). O ponto de equivalência foi determinado pela tomada da derivada 1ª da curva de titulação obtida.

$$Acidez \text{ em solução molar } (\%) \ v/m = \frac{V \times f \times 100}{P \times c} \quad (02)$$

V = no de ml da solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação

f = fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 M (f = 0,995)

P = grama da amostra usado na titulação

c = 10 para solução NaOH 0,1 M

Método de Kjeldahl clássico

Pesou-se 1,000 g da amostra em vidro de relógio e transferiu-se para o balão de Kjeldahl. Adicionou-se 25 ml de ácido sulfúrico e cerca de 6 g da mistura catalítica (CuSO₄ + K₂SO₄).

A amostra foi digerida em bloco aquecimento por 72 horas, na capela, até a solução se tornar azul-esverdeada e livre de material não digerido (pontos pretos). A amostra foi então resfriada até temperatura ambiente. Em sistema de destilação para proteínas, à amostra, foi adicionada 30 - 40 ml de solução de NaOH 40% (m/v) e o vapor gerado, foi recolhido erlenmeyer de 125 mL contendo 25 mL de solução de ácido bórico 0,05 M e 3 gotas de vermelho de metila (1%). O vapor foi recolhido até volume de 100 mL. O excesso de ácido bórico 0,05 M foi titulado com solução de hidróxido de sódio 0,1 M, usando vermelho de metila como indicador.

$$protídios (\%) \ (m/m) = \frac{V \times 0,14 \times f}{P} \quad (03)$$

V = volume de ácido sulfúrico 0,05 M gastos na titulação

P = massa da amostra (g)

f = fator de conversão (0,6)

Fibra bruta

Pesou-se 10,000 g da amostra, logo em seguida colocou em papel de filtro e amarrou com lã. Fez-se extração contínua em aparelho de Soxhlet, usando éter como solvente. Aqueceu-se em estufa para eliminar o resto de solvente. 2,000 g do resíduo foi transferido para um balão de fundo chato de 250 ml, com boca esmerilhada. Adicione-se 100 ml de solução ácida (500 ml de ácido acético glacial, 450 ml de água, 50 ml de ácido nítrico e 20 g de ácido tricloroacético). O sistema foi mantido em refluxo por 40 minutos a partir do tempo em que a solução ácida foi adicionada, mantendo sob aquecimento. A mistura foi filtrada em papel de filtro, com auxílio de vácuo e lavada com água fervente até que a água de lavagem não tenha reação ácida, medido com papel indicador (tornassol). Lavou-se com 20 ml de álcool e 20 ml de éter. O sólido recolhido foi mantido em estufa a 105°C, por 2 horas, resfriado em dessecador até a temperatura ambiente e pesado.

$$\text{Fibra bruta (\%)} (m/m) = \frac{N \times 100}{P} \quad (04)$$

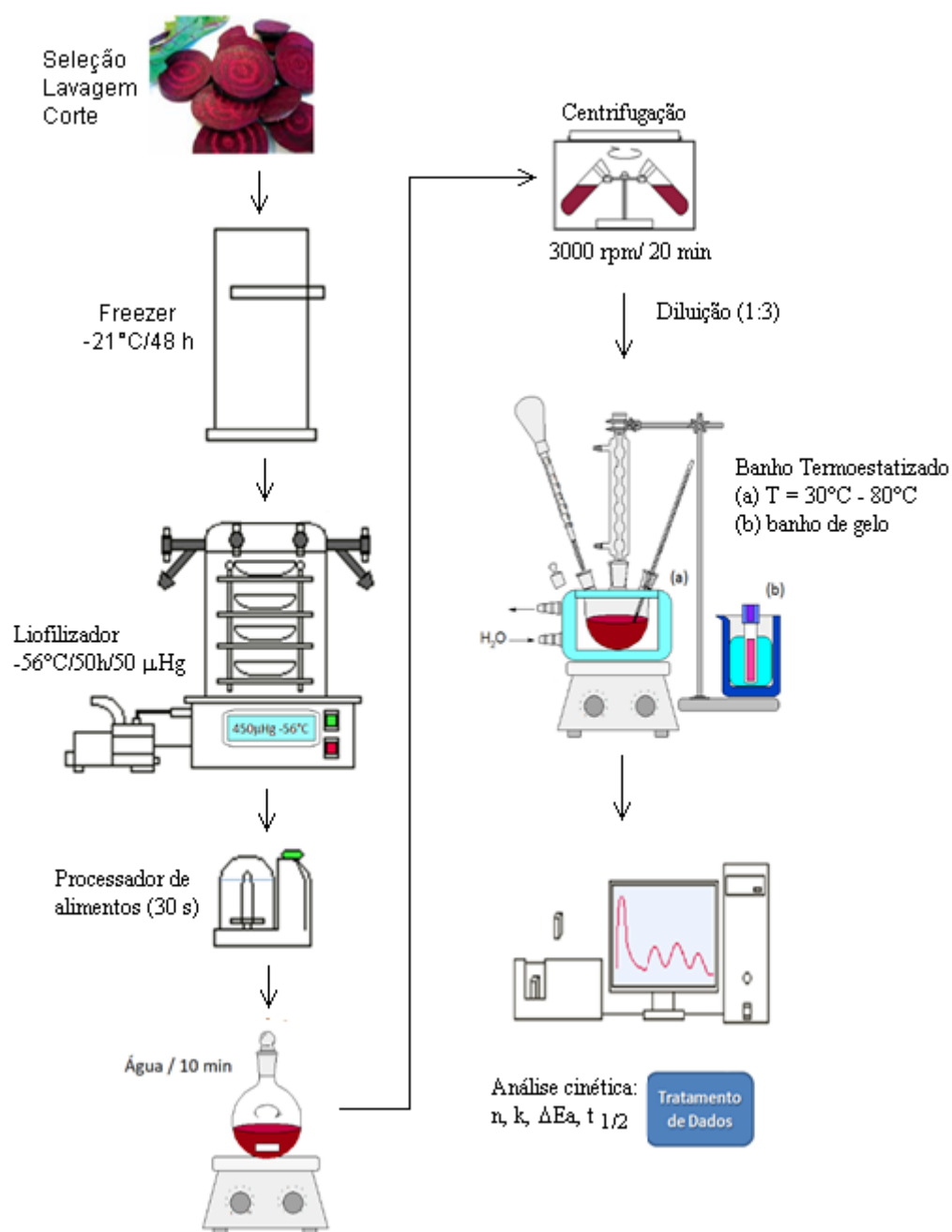
N = massa de fibra (g)

P = massa da amostra (g)

4.3 – Extração de corantes

A beterraba liofilizada foi pulverizada em mini processador de alimentos (Black&Decker, Modelo HC31x) por 30 segundos. Foi então preparada uma suspensão em água destilada, com proporção de 50 g de sólido: 1000 mL de água, mantido sob agitação magnética por 10 minutos. A Figura 5 descreve o procedimento executado desde a seleção das beterrabas, até a realização dos testes de degradação térmica.

Figura 5. Esquema de extração e teste de degradação térmica de corante de beterraba.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

4.3.1. Quantificação fotométrica de betalínas

Para a determinação do teor de corante presente em cada material, foram realizadas leituras espectrofotométricas na região do ultravioleta-visível ($\lambda = 200 - 900$ nm) dos extratos aquosos de beterraba.

Segundo Gonçalves e colaboradores (2015), a beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L) tem sido utilizada como a principal fonte de betalaínas (vermelhas) e betaxantinas (amarelas), sendo dos pigmentos, a betanina (magenta) e a vulgoxantina (amarela) os mais abundantes, razão pela qual, estes dois corantes foram selecionados como moléculas modelo para a quantificação dos corantes presente na beterraba liofilizada (JACKMAN e SMITH, 1992; MEGARD, 1993; STRACK, VOGT e SCHLIEMANN, 2003). Foram determinados os conteúdos de betanina e vulgoxantina dos extratos por espectrofotometria usando o método de Nilsson descrito por Koubaier (2013). Determinou-se a concentração de pigmento das amostras extratos de 5% (m/v) em relação ao material liofilizado, medindo absorvância em comprimentos de onda de $\lambda = 475$ nm e $\lambda = 536$ nm, para betanina e vulgoxantina, respectivamente (BOVI, 2019). O conteúdo de betalaínas (BL) e foi calculado como:

$$BL (mgL^{-1}) = \frac{A \times DF \times PM \times 1000}{\varepsilon \times L} \quad (05)$$

Onde:

A – absorvância da solução (u.a).

DF - fator de diluição

PM – massa molar do corante ($g \text{ mol}^{-1}$)

L - caminho óptico da cubeta (1 cm).

ε – absorvância molar (ε) ($g \cdot \text{mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

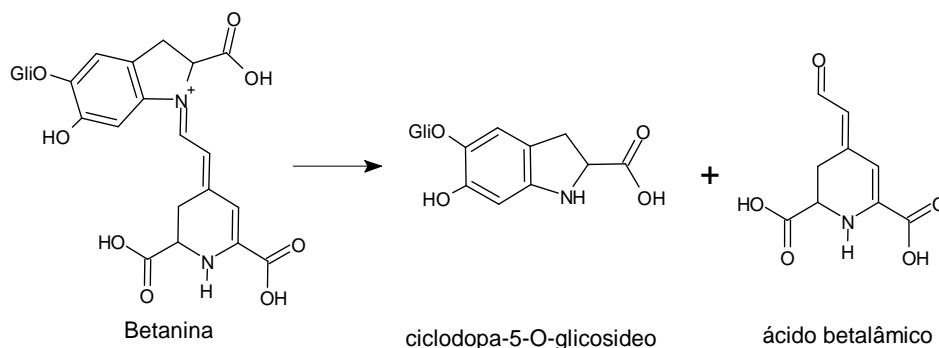
Para a quantificação da betacianinas (Bc) e betaxantinas (Bx), os pesos moleculares (PM) e absorvâncias molares (ε) foram de $339 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $48000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ em H_2O : $\lambda = 475$ nm para vulgoxantina e $550 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ e $60000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ em H_2O : $\lambda = 536$ nm para betanina (GONÇALVES, 2012).

4.4 – Estudo cinético da degradação de corantes de beterraba

A estabilidade das betalaínas e das betaxantinas é fortemente influenciada pela presença de luz, oxigênio, atividade da água, variação de pH e temperatura, tendo o

ciclodopa-5-O-glicosídeo e o ácido betalâmico como produtos principais, sendo este último um produto amarelo (SCHIOZER, 2007).

Figura 6. Reação de decomposição de betanina.



Fonte: SCHIOZER, 2007

A degradação térmica de corantes, em geral, segue uma cinética de 1ª ordem para reações em fase homogênea (FOGLER, 2010, FROMENT, 2011, ARNAOUT, 2007, SANTOS, 1990) e pode ser descrita pela equação diferencial a seguir.

$$v = -\frac{d[C]}{dt} = k[C]^n \quad (06)$$

Onde:

v – velocidade de degradação de corante ($\text{mol L}^{-1} \text{min}^{-1}$);

$[C]$ é a concentração do corante (mol L^{-1});

k – constante de taxa de reação (min^{-1});

n – ordem de reação;

t – tempo de reação (min).

Supondo a ordem de reação, n , igual a 1

$$-\frac{d[C]}{dt} = k[C] \quad (07)$$

resolvendo a equação diferencial pelo método da separação de variáveis, para as condições de contorno:

$$t = 0 \rightarrow [C] = [C]_0$$

e

$$t = t \rightarrow [C] = [C]$$

$$-\int_{[C]_0}^{[C]} \frac{d[C]}{[C]^n} = \int_0^t k dt$$

Para n igual a 1, temos

$$-Ln[C] \Big|_{[C]_0}^{[C]} = kt \Big|_0^t$$

$$\ln[C] = \ln[C]_0 - kt \quad (08)$$

Como, segundo a lei de Lambert-Beer (equação 09), a absorvância é uma função linear da concentração

$$A = \varepsilon.c.L \quad (09)$$

Sendo:

L – comprimento do caminho ótico (1 cm);

ε - absorvidade molar do corante betacianínico ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$);

c – concentração molar do corante betacianínico (mol L^{-1}).

Podemos assumir que o comportamento da concentração da solução ao longo do tempo de degradação térmica será o mesmo da absorvância em função do tempo, logo, escrevendo diretamente a absorção no lugar da concentração, temos

$$\ln[A] = \ln[A]_0 - kt \quad (10)$$

que descreve a diminuição da concentração/absorvância ao longo do tempo de reação de degradação térmica.

Essa diminuição, afeta a apresentação visual da solução. Esse, em geral, é o primeiro contato do consumidor com o alimento, recebendo especial destaque a cor e o formato (TEIXEIRA, 2009), com influência direta na sua aceitabilidade. A cor é um parâmetro ainda relacionado com a qualidade do alimento, pois remete o consumidor a experiências anteriores com o alimento, gerando expectativas quanto à aparência que o alimento deve ter (KONICA MINOLTA 2021), sendo a perda da coloração do alimento frequentemente associada à perda de qualidade. O tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) é um parâmetro que indica o tempo em que a concentração inicial do corante é reduzida pela

metade nas condições de reação. Assim, aplicando a definição de tempo de meia vida, $[C] = [C]_0/2$ ou ainda $[A] = [A]_0/2$ na equação anterior (10), teremos:

$$\ln \frac{[A]_0}{2} = \ln[A]_0 - kt$$

E com algum trabalho algébrico, chegamos a

$$\begin{aligned} \ln \frac{[A]_0}{2} - \ln[A]_0 &= -kt \Rightarrow \ln[A]_0 - \ln 2 - \ln[A]_0 = -kt_{1/2} \\ t_{1/2} &= \frac{\ln 2}{k} \end{aligned} \quad (11)$$

que nos permite determinar o tempo de meia vida do corante a partir do conhecimento da constante de taxa de reação de degradação térmica.

Essa velocidade de decaimento da concentração, é afetada ainda pelas condições de reação, sendo que o efeito da temperatura sobre a constante de taxa de reação pode ser avaliado por meio da equação de Arrhenius.

$$k = k_0 e^{\frac{-\Delta E_a}{RT}} \quad (12)$$

Sendo: k_0 - fator de frequência de choques efetivos para reação (u. a.);

ΔE_a - a energia de ativação aparente (J/mol).

Os valores de k determinados para diferentes temperaturas de reação, sendo $\Delta T \geq 20^\circ\text{C}$, conforme regra de Van't Hoff (FIGUEIREDO, 1987), são empregados para determinar as energias de ativação para reação de decomposição dos corantes, por meio da equação de Arrhenius (12), como proposto por Vannice (2005).

A linearização da equação de Arrhenius (equação 12), permite determinar a energia de ativação para o processo de decomposição dos corantes a partir do gráfico de $\ln k \times (1/T)$.

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{\Delta E_a}{RT} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (13)$$

Sendo:

R – constante dos gases ideais ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T – temperatura absoluta (K)

Para os testes cinéticos, o extrato foi centrifugado (3000 rpm/20 min) e diluído (1:3) até a proporção correspondente de $5 \times 10^{-3} \text{ g}_{\text{beterraba}} \cdot \text{mL}^{-1}$. Um balão de três bocas de fundo chato contendo 500 mL da solução de corante foi colocado em um béquer encamisado ligado a um banho termoestabilizado (Solab, modelo 152/10). A degradação térmica do extrato foi monitorada por análise espectrofotométrica na região ultravioleta-visível (espectrofotômetro Analyser Modelo LGS53 UV-VIS Spectrometer, cubeta de quartzo de 1 cm). Alíquotas de 3 ml extrato foram coletadas com auxílio de pipeta, depositada em tubo de ensaio e imerso em banho de gelo. O intervalo de tempo entre as tomadas de amostra foi de 10 minutos. As temperaturas de teste foram 30°C , 60°C e 80°C .

A partir dos dados de absorvância obtidos para os comprimentos de onda (λ) de 475 nm e 536 nm, foram obtidos os parâmetros cinéticos da degradação dos corantes betaxantínicos e betanínicos, respectivamente, presentes no extrato de beterraba.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química da beterraba

Pela caracterização da beterraba liofilizada percebe-se que os componentes da beterraba são concentrados em relação à beterraba *in natura* (TACO, 2011) sem perdas significativas se comparados aos teores inicialmente presentes na raiz, comportamento também observado por Bovi *et al* (2019), quando do uso de secagem por liofilização.

Tabela 2. Propriedades físico química de beterraba liofilizada.

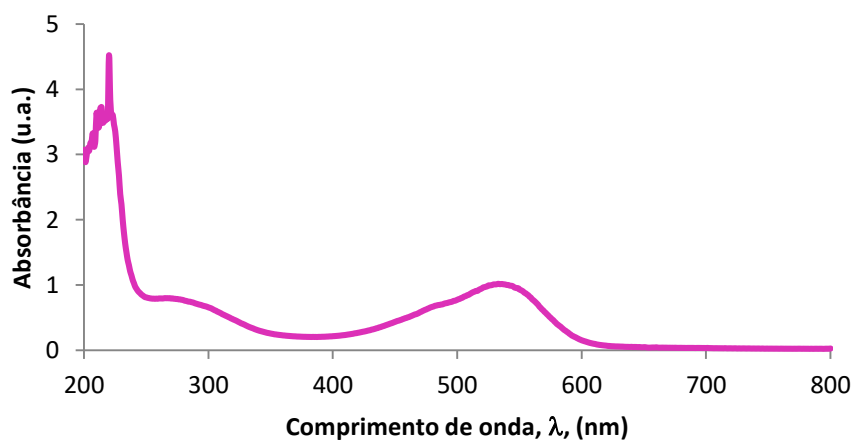
Propriedade	Valor*
Umidade (%)	5,24 ± 0,02
Proteína (%)	6,29 ± 0,15
Fibras (%)	2,93 ± 0,21
Acidez (mg ácido acético/g)	0,74 ± 0,04

Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

5.2. Análise espectrofotométrica do extrato de beterraba

Foi realizada a análise de varredura espectrofotométrica do extrato de beterraba liofilizada no intervalo de 200 a 800 nm, conforme podemos observar na Figura 7.

Figura 7. Espectro UV-vis de extrato de beterraba, em pH 6. 20 g/100 mL, fator de diluição (1:3).



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

No espectro apresentado na figura 7, para o comprimento de onda da figura

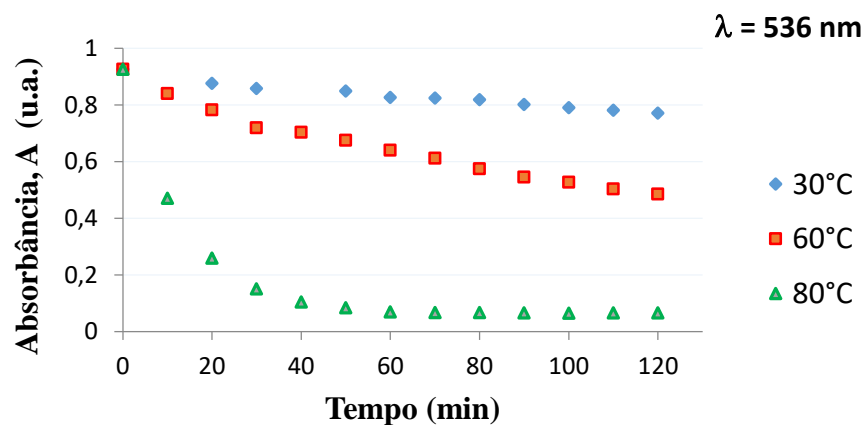
Os extratos de beterraba obtidos com a razão de 50g de pó:1000 mL de H₂O foram diluídos na razão de extrato: água de (1:3) (fator de diluição 4), para que o valor de absorvância fosse igual ou inferior a 1, estando, portanto, na faixa de linearidade da lei de Lambert-Bee (equação 09). A absorvância no comprimento de onda de $\lambda = 536$ nm, $A = 0,9752$ foi aplicado à equação 05 para o cálculo da concentração de betalaína (betanina), que foi de 35,76 mg L⁻¹. O teor de betaxantina (vulgoxantina), determinado no comprimento de onda de $\lambda = 475$ nm, $A = 0,6389$ foi de 18,05 mg L⁻¹. Estas concentrações equivalem a 1,42 mg de betanina e 0,72 mg de vulgoxantina por grama de beterraba liofilizada, respectivamente. Quanto ao teor de betalaína encontrado na beterraba, este se encontra muito próximo ao citado por Vitti *et al.* (2003) de 35mg/100g para beterraba *in natura*.

As quantidades de betaxantina e vulgoxantina estão de acordo com os trabalhos de Schiozer (2007), Gonçalves (2007), Koubaier (2013), Mikołajczyk-Bator (2017) e Azeredo (2009), que atestam estes corantes como os mais abundantes na beterraba de mesa.

5.3. Estudo cinético da degradação térmica de corantes da beterraba: betanina e vulgoxantina I

Na Figura 8 podemos perceber que o decaimento da concentração de corante no extrato a 30°C é praticamente linear e menos intenso que aqueles observados em temperaturas mais altas. Este comportamento corresponde ao esperado para reações com cinética de 1ª ordem (FOGLER, 2010; SILVA, 1990; FROMET, 2011; ARNOUT, 2007).

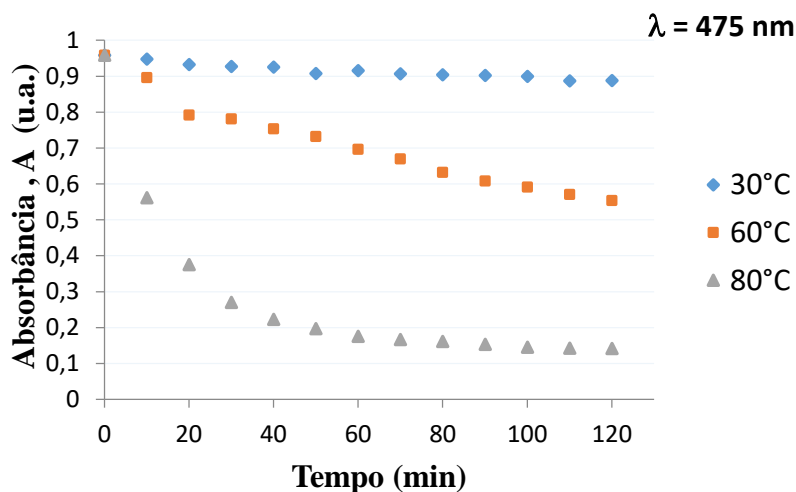
Figura 8. Decomposição térmica de corante betacianínico ($\lambda = 536$ nm) de beterraba em meio aquoso.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Comparada à betanina, a vulgoxantina, tem maior resistência à temperatura (Figura 9), com decaimento menos pronunciado a 30°C, 60° e 80°C. Este também exibe um comportamento de reação de 1ª ordem em fase homogênea (FOGLER, 2010).

Figura 9. Decomposição térmica de corante betaxantínico ($\lambda = 475 \text{ nm}$) de beterraba em meio aquoso.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Pelo método integral, foram determinados os parâmetros cinéticos para decomposição térmica dos corantes da beterraba. Estes estão listados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Constante de taxa de reação (k) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) para degradação térmica de corante vulgoxantina ($\lambda = 475 \text{ nm}$) e betanina ($\lambda = 536 \text{ nm}$) em meio aquoso.

T (°C)	$\lambda = 475 \text{ nm}$					$\lambda = 536 \text{ nm}$				
	<i>K</i> (min ⁻¹)	<i>t</i> _{1/2} (h)	<i>k</i> ₀	ΔE_a (kJ mol ⁻¹)	<i>R</i> ²	<i>k</i> (min ⁻¹)	<i>t</i> _{1/2} (h)	<i>k</i> ₀	ΔE_a (kJ mol ⁻¹)	<i>R</i> ²
30	$6,0 \times 10^{-4}$	19,25	18,23	64,829	0,993	$1,4 \times 10^{-3}$	8,25	15,48	56,06	0,924
60	$4,3 \times 10^{-3}$	2,40				$5,1 \times 10^{-3}$	2,26			
80	$2,4 \times 10^{-2}$	0,48				$3,7 \times 10^{-2}$	0,30			

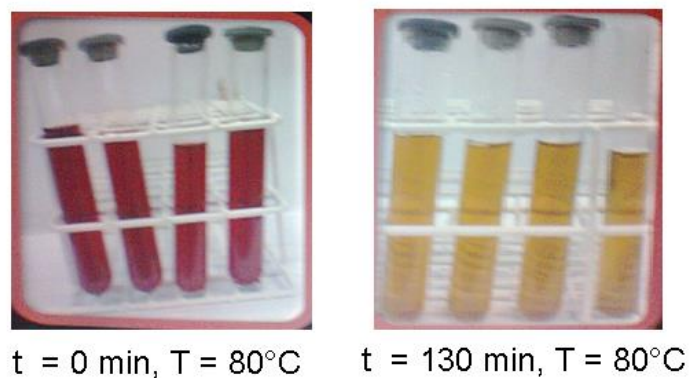
Os valores da constante de taxa de reação $1,4 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ para a betanina é cerca de 2 vezes maior que o observado para a vulgoxantina, mais resistente nas condições de reação a 30°C. O tempo de meia vida destes dois corantes não é superior a 1 (uma) hora, à 80°C, reforçando a recomendação de que seu emprego em alimentos deve limitar-se a processos em temperaturas mais brandas, ou com tempos de exposição mais curtos.

Longaray (2014) reporta constante de taxa de reação, *k*, com valores médios de 0,027 a $0,0069 \text{ min}^{-1}$ para decomposição de betaxantinas e de 0,0044 a $0,0067 \text{ min}^{-1}$ e para decomposição de betacianinas em água, em temperatura de 75°C a 85°C, com aquecimento ôhmico. Essa diferença de magnitude de constantes de taxa de reação se deve ao fato de que o aquecimento em meio aquoso, por transferência de calor convectivo, acontece de maneira mais irregular, que o calor ôhmico.

A energia de ativação (ΔE) calculada para a degradação do corante através da equação de Arrhenius, foi de 56,06 KJ/mol K para betacianinas e de 64,829 KJ/mol K para betaxantina, que demonstra que a ação da temperatura sobre a betanina é mais intensa que o observado para o corante vulgoxantina. Isso pode ser percebido também através dos valores de *k*₀, onde o número de choque efetivos 18,23 para a vulgoxantina denota um número menor de moléculas com energia mínima necessária para se decompor.

A decomposição térmica dos corantes da beterraba é acompanhada da regeneração do ácido betalâmico no meio, onde a solução adquire uma cor amarela ao final do processo, como visto na Figura 10.

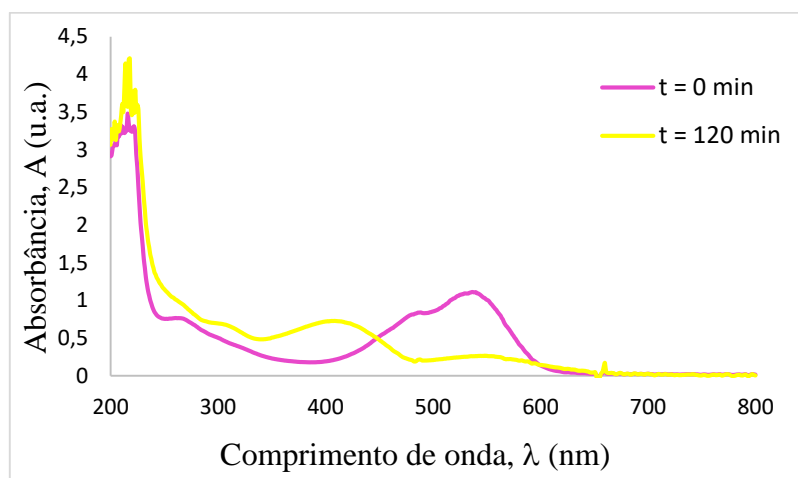
Figura 10. Espectro UV-vis de extrato de beterraba, em pH 6. 20 g/100 mL, fator de diluição (1:3).



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Na análise UV-vis do meio reacional após a etapa de degradação térmica, podemos perceber que o espectro do extrato inicial, tem as bandas de absorção em $\lambda = 475$ e 536 nm, que são progressivamente suprimidas (espectro em rosa).

Figura 11. Espectro de absorção ultravioleta-visível de extrato aquoso de beterraba submetido à teste de degradação térmica a 80°C .



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

O surgimento de uma banda de absorção em 430 nm corresponde ao ácido betalâmico, de cor amarela, resultante da decomposição da betacianina. A banda de absorção 320 nm, corresponde aos fragmentos glicosilados dos corantes, como o ciclo-dopa-5-O-glicosídeo constituinte da betanina (BASTOS, 2012).

6. CONCLUSÕES

A beterraba liofilizada apresenta teores de corantes a 1,42 mg/g de betanina (betacianina) e 0,72 mg/g de vulgoxantina (betaxantina), sendo uma fonte de corantes betaninicos com grande potencial de aplicação industrial.

O corante betanina (vermelho), mais abundante na beterraba, apresenta uma constante de taxa de degradação térmica $1,4 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ à temperatura de 30°C e o que é 2 vezes maior que a taxa de degradação do corante vulgoxantina (amarelo), com constante de taxa $6,0 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$.

A degradação dos corantes do extrato de beterraba é fortemente afetada pela temperatura, mas apresenta relativa estabilidade em temperaturas de 30°C ou menor, em meio aquoso.

Em temperatura mais elevadas (80°C), a concentração do corante vermelho (betacianina) da beterraba cai pela metade em cerca de 20 minutos, enquanto o corante amarelo (betaxantina) leva meia hora para ter sua concentração na mesma proporção.

A cor vermelha do extrato beterraba apresenta grande estabilidade na faixa de pH ácido (pH 6,0), apresentando grande potencial de aplicabilidade em alimentos minimamente processados ou com baixa temperatura ou baixo tempo de processamento e com condições temperatura bandas de armazenamento.

REFERÊNCIAS

- ARNAUT, L., FORMOSINHO, S., BURROWS, H. **Chemical kinetics: from molecular structure to chemical reactivity**. Netherlands: Elsevier, 2007. 563 p.
- AZEREDO, H. M. C. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 44, p. 2365–2376. 2009.
- ANASTÁCIO, L.B, *et al.* Corantes alimentícios amarantho, eritrosina B e tartrazina, e seus possíveis efeitos maléficis à saúde humana. **Journal of Applied Pharmaceutical Sciences–JAPHAC**, v.2, n.), p. 16-30. 2016.
- ANVISA. **Informe Técnico n. 68, de 3 de setembro de 2015**. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/alimentos/informes-anexos/68de2015/arquivos/418json-file-1>, Acessado em: 30 agosto 2021.
- BASTOS, E. L., GONÇALVES, L. C. P. **Determinação do coeficiente de absorção molar de betalainas**. 35ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. 2012.
- BERNARDINO, A. M. R., *et al.* **Antocianinas - papel indicador de pH e estudo da estabilidade da solução de repolho roxo**. Disponível em: <http://www.s bq.org.br/ranteriores/23/resumos/0256/index.html>. Acesso em: set/2021.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3ed. São Paulo: Varela, p. 103-118. 2001.
- D. C. M. L. BOVI *et al.* Determinação dos teores de betalaína e composição centesimal de beterraba *in natura* e tipo chips. **Brazilian Journal of Food Research**. v. 10, n. 2, p. 80-92. 2019.
- CAMPO & NEGÓCIO. **Beterraba: A raiz forte da terra**. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/beterraba-a-raiz-forte-da-terra/>. Acesso: set/2021.
- CEAGESP. **Beterraba**. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/beterraba/>, Acessado em: 27 setembro 2021. <https://ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/beterraba/>
- CORRADINI, M.G. Synthetic Food Colors. **Encyclopedia of Food Chemistry**. p.291-296. 2019
- CAROCHO, M., MORALES, P., FERREIRA, I.C.F.R. (2018). Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. **Trends in Food Science and Technology**, 71: 107–120.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.008>. Acesso em: nov. 2020.
- DAMODARAN, S., PARKIN, K. L., FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DELGADO-VARGAS F., JIMÉNEZ A.R., PAREDES-LÓPEZ O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains — characteristics, biosynthesis, processing, and stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 40, p. 173-289. 2000.

DIAS, M.V.; GUIMARÃES, P.I.C.; MERÇON, F. Corantes naturais como indicadores de pH. **Química nova na escola**, n° 17, p. 27-30, maio 2003.

DRUNKLER, D. A., FETT, R., LUIZ, M. T. B. Avaliação da estabilidade de betalaínas em extrato de beterraba (*beta vulgaris* L.) com α -, β - ϵ γ -ciclodextrinas. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 259-276, jan./jun. 2006.

FALCÃO, L. D., *et al.* **Copigmentação intra e intermolecular de antocianinas**: uma revisão. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 2, jul./dez. 2003.

FRANCIS, F. J. Food colorants: anthocyanins. **Critical Review of Food Science and Nutrition**, v. 28, p. 273-314. 1989.

FRANCIS, F. J. Anthocyanins and betalains: composition and applications. **Cereal Foods World**, v. 45, p. 208-213, 2000.

FIGUEREDO, L. L.; RIBEIRO, F. **Catálise heterogênea**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987. 240 p.

FROMENT, G., DEWILDE, J., BISCHOFF, K. **Chemical reactor analysis and design**. 3. ed. Denver: John Wiley & Sons. 2011. 902 p.

GONÇALVES, L. C., BASTOS, E. L. **Determinação de coeficiente de absorção molar de betalaínas**. 35a Reunião annual da Sociedade Brasileira de Química. Resumo. Disponível em: <http://sec.sbq.org.br/cdrom/35ra/resumos/T1576-1.pdf>. Acesso: set/2021.

GONÇALVES, L. C. P. *et al.* Betalaínas: das cores das beterrabas à fluorescência das flores. **Revista Virtual de Química**. v. 7, n. 1, p. 292-309. 2015.

HENRY, B.S. Natural food colours. In: HENDRY, G. A. F.; HOUGHTON, J.D. (Ed). **Natural Food Colorants**. London: Blakie Academic & Professional, p. 40-79, 1996.

HRAZDINA, G.; IREDALE, H.; MATTICK, L.R. Anthocyanin composition of *Brassica oleracea* cv. Red Danish. **Phytochemistry**, v. 16, n. 2, p. 297-299. 1977.

HAMERSKI, L.; REZENDE, M. J. C.; SILVA, B. V. (2013). Usando as Cores da Natureza para Atender aos Desejos do Consumidor: Substâncias Naturais como Corantes na Indústria Alimentícia. **Rev. Virtual Quim.**, 5 (3), 394-420. DOI: 10.5935/1984-6835.20130035. Acesso em: 13 nov. 2020

INSTITUTO ADOLFO LUTZ, IAL Coordenadores: Zenebon, O., Pascuet, N. S., Tiglea, P., Lutz, A., Zenebon, O., Pascuet, N. S., ... & Toledo, H. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª ed, 1ª ed digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, Normas Analíticas. 2008. 1020 p.

JACKMAN, R. L.; SMITH, J. L. Anthocyanins and betalains. In: HENDRY, G. A. F.; HOUGHTON, J. D. (Eds.) **Natural Food and Colorants**. 2 ed. Londres: Chapman & Hall, 1996. p. 245-309.

JOLY, A. B. **Botânica: Introdução à taxonomia vegetal**. 2ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1979.

KHAN M. I., Plant betalains: safety, antioxidant activity, clinical efficacy, and bioavailability. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, p. 316-330. 2016.

KONICA MINOLTA. **Como a cor afeta sua percepção dos alimentos**. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/como-cor-afeta-sua-percepcao-dos-alimentos/>. Acesso em: set 2021.

KONG, J. M. *et al.* Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, v. 64, p. 923-933, 2003.

KOUBAIER, H.B.H.; ESSAIDI, I.; SNOUSSI, A.; ZGOULLI, S.; CHAABOUNI, M.M.; THONART, P.; BOUZOUITA, N. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation on the colorants of heated red beetroot extracts. **African Journal of Biotechnology**. v. 12(7), p. 728-734, fev. 2013.

PREDIVELLO, B. A., *et al.* O pK_A de indicadores ácido-base e os efeitos de sistemas coloidais. **Química Nova**. 29, 3, p. 600 – 606. 2006.

LAGO, E. S., GOMES, E., SILVA, R. Produção de geléia de jamelão (*Syzygium cumini* Lamarck): processamento, parâmetros físico-químicos e avaliação sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas. v. 26, n. 4, p. 847 – 852. 2006.

LIMA, Gláucia Ferreira de. Aditivos Alimentares: Definições, Tecnologia e Reações Adversas. **Veredas Favip-Revista Eletrônica de Ciências**, v. 4, n. 2, p. 102 – 107. 2013.

LONGARAY, J. N. **Estudo da degradação de betalainas no suco de beterraba via aquecimentos ôhmico e convencional**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Engenharia Química (Graduação). 2014. 35 p.

LOPES. T. J. **Adsorção de antocianinas do repolho roxo em argilas**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Química (dissertação). 2002. 121 p.

MALACRIDA, C. S., MOTTA, S. **Antocianinas em suco de uva: composição e estabilidade**. CEPPA. Curitiba, v. 24, n. 1, p. 59-82 jan./jun. 2006.

MAZZA, G.; MINIATI, E. Anthocyanins in fruits, vegetables and grains. Boca Raton: CRC Press, 1993. 362 p.

MARTINS F.C.O.L, SENTANIN M.A, DE SOUZA D. (2019). **Analytical methods in food additives determination: Compounds with functional applications**. Food

Chemistry, 272: 732- 750. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.08.060. Acesso em: 29 de nov. 2020.

MORTON, J. Jambolan: Fruits of warm climates.. In: MORTON, J. Miami: **Creative Resoursh Systems**,1987. p.375-378. Disponível em: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/jambolan_ars.html>. Acesso em: jan/2021.

SANTOS, A. M. N. **Reatores químicos**: conceitos básicos e projeto de reatores ideias. Calouste Gulbenkian: Lisboa, 1990. v 1.

SCHIOZER, A. L., BARATA, L. E. S. Estabilidade de Corantes e Pigmentos de Origem Vegetal. **Revista Fitos** V.3 n. 02. (2007) 6 -24.

SCHOEFS B. Determination of pigments in vegetables. **Journal of Chromatography A**, v. 1054, p. 217-226. 2004.

SOUZA, B.A.; PIAS, K.K.S.; BRAZ, N.G.; BEZERRA, A.S. Aditivos alimentares: aspectos tecnológicos e impactos na saúde humana. **Revista Contexto & Saúde**, [S. l.], v. 19, n. 36, p. 5–13, 2019. DOI: 10.21527/2176-7114.2019.36.5-13. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoesaude/article/view/7736>. Acesso em: 24 abr. 2021.

REYNOSO, R. *et al.* Stability of Betalain Pigments from a Cactacea Fruit. **Jounal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, p.2884-2889, 1997.

TEIXEIRA, I. v. Análise sensorial na indústria de alimentos. **Rev. Inst. Latic. “Cândido Tostes”**. v 64, n. 366, p. 12-21. 2009.

TIVELLI, S. W. *et al.* **Beterraba: do plantio à comercialização**. Boletim Técnico IAC, Campinas: Instituto Agrônômico 2011.

VANNICE, M. A. **Kinetics of catalytic reactions**. New York: Springer, 2005. 257p.
VEIGAS, J. M. *et al.* Chemical nature, stability and bioefficacies of anthocyanins from fruit peel of syzygium cumini Skeels. **Food Chemistry**. 105 (2007) 619–627.

VALENTE, M. C. H. (2018). **Corantes artificiais: estudo da estimativa de ingestão por crianças e da percepção de adultos residentes no Rio Grande do Sul**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos.) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

VITTI, M. C. D.; KLUGE, R. A.; YAMAMOTTO, L. K.; JACOMINO, A. P. Comportamento de beterrabas minimamente processadas em diferentes espessuras de corte. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.4, p.623-626, 2003.

VOLP A.C.P., Renhe I.R.T., Stringueta P.C. Pigmentos naturais bioativos. **Alimentos e Nutrição**. v. 20, p. 157-166. 2009.

APENDICE 1 – Orientações para publicações

Apêndice 1. Orientações para submissão de artigos na Brazilian Journal of Food Research

The screenshot shows a web browser window with the URL periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/about/submissions#authorGuidelines. The page header features the REBRAPA logo and the text "Brazilian Journal of Food Research" with ISSN: 2448-3184. A navigation menu includes links for CAPA, SOBRE, ACESSO, CADASTRO, PESQUISA, ATUAL, and ANTERIORES. The main content area is titled "Submissões" and contains a list of links: [Submissões Online](#), [Diretrizes para Autores](#), [Declaração de Direito Autoral](#), and [Política de Privacidade](#). Below this, there is a section for "Submissões Online" with the question "Já possui um login/senha de acesso à revista Brazilian Journal of Food Research?" and a link to "ACESSO". Another link "ACESSE A PÁGINA DE CADASTRO" is provided for users without a login. A note states that registration and login are mandatory for submission and tracking the editorial process.

Diretrizes para Autores

Informações aos Autores e Formatação dos Manuscritos

A Brazilian Journal of Food Research (REBRAPA) publica artigos e comunicações científicas na área de Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos. Os trabalhos podem ser apresentados em português, inglês ou espanhol, devendo observar as disposições normativas da revista não podendo exceder 6000 palavras (excluindo resumo, abstract, tabelas, figuras, legendas e referências). Todos os manuscritos deverão ser submetidos exclusivamente através do sistema eletrônico de submissão disponível no site www.cm.utfpr.edu.br/rebrapa.

Os autores devem eleger um autor responsável pela submissão, que conduzirá todo o processo de submissão. O autor responsável deve ter obtido permissão por escrito de todos os autores do artigo, devendo manter tal autorização sob sua custódia. Durante o processo de submissão online o autor responsável deverá aceitar as condições de submissão e a declaração de direitos autorais.

A REBRAPA aceita submissão de artigos em duas categorias:

Artigos Originais: Trabalhos que descrevam descobertas originais e de maior importância e devem ser escritos de maneira clara e sucinta.

Artigos de Revisão: Destinados à apresentação do progresso em uma área específica com o objetivo de dar uma visão crítica do ponto de vista do especialista altamente qualificado e experiente. É imprescindível que, na referida área, o autor tenha publicações que comprovem a sua experiência e qualificação. O Corpo Editorial da REBRAPA poderá, eventualmente, convidar pesquisadores qualificados para submeter artigo de revisão.

Preparação dos manuscritos:

Todas as páginas devem ser numeradas consecutivamente (canto inferior direito de cada página). A submissão deverá ser feita em arquivos do tipo DOC ou DOCX em formato A4. Para artigos submetidos em inglês ou espanhol, autores que não sejam fluentes na língua são encorajados a procurar ajuda na escrita do documento. Artigos submetidos em português devem ser redigidos em linguagem culta. Incorreções gramaticais levam inevitavelmente ao atraso no processo de avaliação e aceite do artigo.

Não incluir no manuscrito informações sobre os autores e suas respectivas filiações bem como e-mail de contato ou outros dados que possam identificar a autoria do trabalho. Tais informações serão incluídas no formulário de submissão e não serão enviadas para os avaliadores a fim de manter a revisão cega dos manuscritos.

Texto: deve ser utilizada a fonte Times New Roman tamanho 12 para o texto, parágrafos justificados com espaçamento duplo entre linhas. Todas as linhas do manuscrito devem ser numeradas consecutivamente utilizando o respectivo comando do editor de textos (*Layout de Página > Números de Linha > Contínuo*).

Para o processo de submissão, o manuscrito deve ser preparado na seguinte ordem:

- 1) Títulos do trabalho em português e inglês ou espanhol e inglês. O título (fonte tamanho 14) deve ser escrito de forma breve, concisa e clara e deve refletir de forma objetiva o tema do artigo;
- 2) Resumo na língua do manuscrito (máximo de 250 palavras). Este deve ser conciso, fornecendo o escopo do trabalho, objetivos, resultados significantes e conclusões.
- 3) Resumo em inglês, caso o manuscrito não seja escrito em inglês;
- 4) Palavras-chave (3 a 5) em português e inglês ou espanhol e inglês.
- 5) Texto principal. Será permitida alguma flexibilidade na apresentação do conteúdo, contudo deve ser respeitada uma sequência lógica (Introdução, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusão, Agradecimentos, Referências).

*Importante: Não utilizar símbolos no resumo e palavras-chave.

Na elaboração do texto principal, os seguintes pontos devem ser respeitados:

- Deixar a margem esquerda, direita, superior e inferior de 2,5 cm.
- Incluir figuras e tabelas nos locais onde estas devem aparecer no artigo após a publicação. As figuras e tabelas devem ser numeradas consecutivamente em algarismos arábicos (Exemplo: Figura 1: ...; Tabela 1: ...). Evite duplicar informações apresentando-as simultaneamente em gráficos e tabelas. Os textos das legendas de tabelas e figuras devem refletir seu conteúdo e conter toda a informação necessária para o seu entendimento.
- Imagens não podem ser melhoradas durante o processo de editoração, por isso a qualidade final da imagem depende da qualidade das imagens fornecidas pelos autores. Utilize apenas gráficos e imagens sem cor (preto e branco ou escalas de cinza).
- É preferível que as figuras e tabelas não excedam as margens da página nem estejam em páginas com orientação paisagem.
- Abreviações, siglas e símbolos devem ser claramente definidos na primeira vez em que aparecem no texto.
- Notas de rodapé não são permitidas.
- Equações devem ser geradas por programas apropriados e identificadas no texto com algarismos arábicos entre parêntesis na ordem em que aparecem.
- As citações bibliográficas inseridas no texto devem ser indicadas dependendo do número de autores. Artigos com um, dois ou três autores, citam-se os sobrenomes separados por ponto e vírgula seguidos do ano de publicação; artigos com quatro ou mais autores, cita-se o sobrenome do primeiro autor, seguido da expressão “*et al.*” em itálico seguido do ano de publicação; se o nome do autor não é conhecido, cita-se a fonte de origem.

Exemplos:

“Como demonstrado por Silva, Souza e Costa (2008), as temperaturas...”;

“... relacionadas ao tipo de embalagem mais adequada ao seu acondicionamento (SANTOS; FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2004).”

“De acordo com Silva *et al.* (2010), os fatores ...”

“... em uma determinada pressão e temperatura (LUZ *et al.*, 2006).

“... até atingir massa constante (AOAC, 1994).”

“... foram realizadas segundo metodologia descrita pela AOAC (1995).”

- Toda a literatura citada ou indicada no texto deverá ser listada em ordem alfabética nas Referências. Artigos em preparação ou submetidos à avaliação não devem ser incluídos nas referências. A formatação das referências deve seguir o padrão exemplificado a seguir.

Livros:

SILVA, D. B.; SILVA, J. A.; JUNQUEIRA, N. P. V.; ANDRADE, L. R. M. **Frutas do cerrado**. Brasília: EMBRAPA, 2001.

BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. de A.; AQUARONE, E. **Biotecnologia industrial: Fundamentos**. São Paulo (SP): Edgard Blucher, 2001. V1.

Artigos:

LIMA, A.; SILVA, A. M. O.; TRINDADE, R. A.; TORRES, R. P.; MANCINI-FILHO, J. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 695-967, 2007.

Teses, Dissertações, Monografias e Trabalhos de Conclusão de Curso:

LEIMANN, F. V. **Nanopartículas Híbridas de Polímero Natural (PHBV)/Polímero Sintético**. 133 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

Normas Técnicas:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e Documentação. Referências: Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

Trabalhos Apresentados em Congressos:

CLAROS, R. A. R.; PENZ JÚNIOR, A. M. Control de Calidad de los Diferentes Sistemas de Processado de la Soya. In: **III Seminário Internacional em Ciência Avícolas**. Santa Cruz, Bolívia: Anais, p. 25-32, 1997.

Patentes e Marcas:

EMBRAPA. Unidade de Apoio, Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária (São Carlos). Paulo Estevão Cruvinel. **Medidor digital multisensor de temperatura para solos**. BR n. PI 8903105-9, 1995.

Home Pages e Documentos Disponíveis Somente em Meio Eletrônico:

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Manual para implantação de incubadores de empresas: por que implantar.** Disponível em:

<http://www.sebrae.com.br/br/parasuaempresa/incubadorasdeempresas_953.asp>.

Acesso em: 12 mai. 2004.

- Segundo o conselho editorial da REBRAPA, artigos submetidos cujas referências bibliográficas estejam fora do padrão determinado ou com informações incompletas não serão publicados até que os autores tenham as referências totalmente adequadas às normas.

- Caso necessário a equipe editorial da REBRAPA pode requisitar o envio de arquivos separados contendo as tabelas e figuras com resolução adequada para publicação impressa.

Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

1. A contribuição é original e inédita, e não está sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, deve-se justificar em "Comentários ao editor".
2. O arquivo da submissão está em formato Microsoft Word (DOC, DOCX e RTF).
3. URLs para as referências foram informadas quando possível.
4. O texto está em espaço duplo; usa uma fonte de 12-pontos; emprega itálico em vez de sublinhado (exceto em endereços URL); as figuras e tabelas estão inseridas no texto, não no final do documento na forma de anexos.
5. O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em Diretrizes para Autores, na página Sobre a Revista.
6. Em caso de submissão a uma seção com avaliação pelos pares (ex.: artigos), as instruções disponíveis em Assegurando a avaliação pelos pares cega foram seguidas.
7. Indicar, no momento da submissão, no mínimo 3 (três) potenciais revisores para o trabalho. Ao indicar, informar nome completo, e-mail para contato, instituição de afiliação e titulação (preferencialmente doutorado e de instituição distinta dos autores do trabalho). **IMPORTANTE:** A lista não deve ser incluída no manuscrito original. Tais informações podem ser incluídas no item "Comentários do autor" ao final desta página.
8. Assegurar-se de que todos os autores preencheram os metadados no sistema da revista. As informações devem conter o nome completo dos autores, seu e-mail, número do ORCID*, departamento ou setor, nome da instituição por extenso, câmpus, cidade, estado e país.

*ao copiar e colar o código ORCID, retirar a letra "s" do "https".

IMPORTANTE: O autor para correspondência deve informar endereço completo com CEP.

9. Pesquisa envolvendo seres vivos: Resultados de pesquisas relacionadas a seres humanos e animais devem ser acompanhados de cópia de aprovação do parecer de um Comitê de Ética em Pesquisa.

Declaração de Direito Autoral

Autores que publicam nesta revista concordam com os seguintes termos:

- a. Autores mantêm os direitos autorais e concedem à revista o direito de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a Licença Creative Commons Attribution que permite o compartilhamento do trabalho com reconhecimento da autoria e publicação inicial nesta revista.
- b. Autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não-exclusiva da versão do trabalho publicada nesta revista (ex.: publicar em repositório institucional ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial nesta revista.
- c. Autores têm permissão e são estimulados a publicar e distribuir seu trabalho online (ex.: em repositórios institucionais ou na sua página pessoal) a qualquer ponto antes ou durante o processo editorial, já que isso pode gerar alterações produtivas, bem como aumentar o impacto e a citação do trabalho publicado (Veja O Efeito do Acesso Livre).

Política de Privacidade

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.

ISSN: 2448-3184