



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE IMPERATRIZ
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LORENZO BARROS FERREIRA DOS SANTOS

EXTRAÇÃO DE CORANTES DE BETERRABA (*BETA VULGARIS L*) POR
EXTRAÇÃO COM SOLVENTES EM REGIME CONTÍNUO

IMPERATRIZ
2025



LORENZO BARROS FERREIRA DOS SANTOS

EXTRAÇÃO DE CORANTES DE BETERRABA (*BETA VULGARIS L*) POR
EXTRAÇÃO COM SOLVENTES EM REGIME CONTÍNUO

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: Profº. Dr. José de Ribamar Macedo
Costa

IMPERATRIZ
2025



Ficha Catalográfica

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

Santos, Lorenzo Barros Ferreira dos.

EXTRAÇÃO DE CORANTES DE BETERRABA BETA VULGARIS L POR
EXTRAÇÃO COM SOLVENTES EM REGIME CONTÍNUO / Lorenzo Barros
Ferreira dos Santos. - 2025.

43 p.

Orientador(a): José de Ribamar Macedo Costa.

Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal
do Maranhão, Imperatriz - Ma, 2025.

1. Beterraba. 2. Betalaínas. 3. Extração Por
Solventes. 4. Regime Contínuo. I. Costa, José de Ribamar
Macedo. II. Título.



LORENZO BARROS FERREIRA DOS SANTOS

EXTRAÇÃO DE CORANTES DE BETERRABA (*BETA VULGARIS L*) POR
EXTRAÇÃO COM SOLVENTES EM SISTEMA CONTÍNUO

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: Profº. Dr. José de Ribamar Macedo
Costa

APROVADO EM: ____/____/2025

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

Profª. Dr. Ramon Sousa Barros Ferreira
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
(Membro)

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

IMPERATRIZ
2025



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, com profunda gratidão, à minha família, pelo amor incondicional, pelo apoio em cada etapa da minha jornada e por me ensinarem o valor do esforço e da perseverança.



AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria durante toda essa jornada.

À toda a minha família, especialmente meus pais, Antonio Laécio e Rita de Cássia e minha irmã Cecília Barros, pelo apoio em todos os momentos e por acreditarem em mim mesmo quando eu duvidava. Sem vocês, nada disso seria possível.

Aos meus professores, que me ensinaram o valor do estudo, especialmente ao meu orientador José Ribamar Macedo Costa, pela paciência, dedicação e por compartilhar seus conhecimentos com tanta generosidade. Seu acompanhamento foi essencial para a realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos que caminharam comigo nesta etapa, pelas conversas, pelas trocas de ideias, pelo apoio nas horas difíceis e pelas risadas que tornaram tudo mais leve.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse concluído, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Atualmente, a indústria de alimentos utiliza corantes artificiais ou sintéticos, na maioria dos produtos, onde pigmentos naturais são muito instáveis. Nas últimas décadas, tem-se observado uma tendência mundial em substituir os corantes sintéticos pelos corantes naturais. Os corantes naturais permitidos pela legislação internacional estão classificados em quatro grandes grupos: antocianinas, betalaínas, carotenóides, diversos. As betalaínas, compreendem as betacianinas (vermelhos) e as betaxantinas (amarelas) e são os pigmentos mais abundantes na beterraba vermelha (*Beta Vulgaris L*), a principal fonte destes pigmentos. Métodos de extração em modo operação contínuo oferecem vantagens tecnológicas para obtenção deste material. Neste trabalho foi utilizado beterraba adquirida no comércio local, sanitizada, selecionada, ralada e fracionada para armazenamento. As amostras de beterraba foram submetidas às análises de umidade, proteínas, fibra bruta, acidez, pH e teor de corantes, determinado espectrofotometricamente. A extração dos corantes foi realizada em batelada, com razão de 5 g/125 mL de solvente, com tempo de processo de 50 minutos e em sistema contínuo, em leito fixo com massa de 1g e vazão de alimentação de 10 mL/min, à 25°C, com tamanho de partícula de 17,85 mm e aproximadamente 16,00 mm de diâmetro médio, usando água e etanol como solventes de extração. Os experimentos foram conduzidos segundo metodologia de planejamento experimental fatorial completo 2² avaliando o efeito do tamanho de partícula e do tipo de solvente sobre o tempo de processo (tempo de ruptura) e o rendimento em corantes. Os corantes betanina (536 nm) e a vulgoxantina (460 nm), apresentaram concentração média de 35,76 mg/L.g e 18,05 mg/L.g, respectivamente. O sistema de extração em batelada apresenta extratos com concentração média de 4,002 mg/L de betanina e 2,204 mg/L para vulgoxantina e tempo de processamento de 50 minutos. O processo em sistema contínuo, apresenta valores semelhantes, de 4,017 mg/L e 3,095 mg/L para betanina e vulgoxantina, respectivamente, com tempo de processo de 7 minutos, com redução de 50% do volume de solvente. Desta forma o tamanho de partícula de beterraba afeta o rendimento de extração, diminuindo em até 3,5% no rendimento quando é usado o maior tamanho de partícula.

Palavras chave: Beterraba, betalaínas, extração por solventes, regime contínuo

ABSTRACT

Currently, the food industry uses artificial or synthetic colors in most products, where natural pigments are highly unstable. In recent decades, there has been a global trend toward replacing synthetic colors with natural ones. Natural colors permitted by international legislation are classified into four major groups: anthocyanins, betalains, and carotenoids. Betalains, including betacyanins (red) and betaxanthins (yellow), are the most abundant pigments in red beets (*Beta Vulgaris* L), the main source of these pigments. Continuous extraction methods offer technological advantages for obtaining this material. The beets were purchased locally, sanitized, selected, grated, and fractionated for storage. The beet samples were subjected to analyses of moisture, protein, crude fiber, acidity, pH and dye content, determined spectrophotometrically. The dye extraction was carried out in batches, with a ratio of 5 g/125 mL of solvent, with a process time of 50 minutes and in a continuous system, in a fixed bed with a mass of 1 g and a feed flow rate of 10 mL/min, at 25°C, with particle size of 17.85 mm and 16 mm in average diameter, using water and ethanol as extraction solvents. The experiments were conducted according to a full factorial experimental design methodology 22, evaluating the effect of particle size and solvent type on process time (breakthrough time) and dye yield. The dyes betanin (536 nm) and vulgoxanthin (460 nm) presented average concentrations of 35.76 mg/L.g and 18.05 mg/L.g, respectively. The batch extraction system produces extracts with an average concentration of 4.002 mg/L for betanin and 2.204 mg/L for vulgoxanthin, with a processing time of 50 minutes. The continuous process produces similar values of 4.017 mg/L and 3.095 mg/L for betanin and vulgoxanthin, respectively, with a processing time of 7 minutes, with a 50% reduction in solvent volume. Beet particle size affects extraction yield, decreasing yield by up to 3.5% when the largest particle size is used.

Keywords: Beetroot, betaleins, solvent extraction, continuous regime

LISTA DE FIGURAS

	Pg.
Figura 01. Estruturas químicas das principais betacianinas. a) betanidinas. b) betaxantinas. Fonte: Drunkler,2006	16
Figura 02. Sistema para extração de corante em processo contínuo. 1- banho ultratermostatizado. 2 – béquero encamisado. 3 - reservatório de solvente. 4 – bomba peristáltica. 5 – válvula de 3 vias. 6 – sensor de temperatura. 7 – manômetro. 8 – leito encamisado. 9– manômetro. 10- sensor de temperatura. 11 – válvula de refluxo. 12 - válvula borboleta. 13 – bomba centrífuga (refluxo) 14 – válvula borboleta (refluxo). 15 – reservatório de extrato	20
Figura 03. Espectro UV-vis de extrato de beterraba, em pH 6. 5 g/25 mL, fator de diluição (1:6). Fonte: Autor, 2025	23
Figura 04. Espectro UV-vis de extrato de beterraba. 5 g/25 mL, fator de diluição (1:6) em diferentes solventes. Fonte: Autor, 2025	24
Figura 05. Efeito do pH sobre a absorção de corantes de beterraba. Fonte: Autor, 2025.	25
Figura 06. Extração de corantes em batelada. a) Extração em meio aquoso. b) extrato das etapas sequenciais em água c) Extrato das etapas sequenciais em etanol. Fonte: Autor, 2025.	26
Figura 07. Extração de corantes em batelada, em etapas sequenciais. Fonte: Autor, 2025	27
Figura 08. Extração de corantes em sistema contínuo. a) leito empacotado de beterraba ralada. b) Variação de concentração com tempo de extração em água. (c) . Variação de concentração com tempo de extração em etanol. Fonte: Próprio Autor, 2025	29
Figura 09. Extração de corantes em sistema contínuo. massa 1,001 g, vazão 10ml/min, temperatura 25°C. a) Extração de betacianinas ($\lambda = 536$ nm). b)) Extração de betaxantina ($\lambda = 460$ nm). Fonte: Autor, 2025.	30

- Figura 10. Extração de corantes em sistema contínuo. Massa 1,001 g, vazão 10ml/min, temperatura 25°C, solventes água:etanol 1:1. Fator de diluição 1:2. Comprimento de onda de betacianinas (λ = 536 nm) e betaxantina (λ = 460 nm). Fonte: Autor, 2025. 31
- Figura 11. Superfície de Resposta $d_{p \times S}$ para extração de corante betacianínico com 95% de confiança. 34

LISTA DE TABELAS

	Pg.
Tabela 01. Codificação de Intervalos de variáveis independentes	20
Tabela 02. Matriz codificada de planejamento experimental fatorial completo 2 ² .	21
Tabela 03. Propriedades físico-químicas de beterraba <i>in natura</i>	22
Tabela 04. Concentração de corantes por etapa de extração com água, T = 25°C, razão 5 g/25mL	28
Tabela 05. Concentração de corantes por etapa de extração com Etanol, T = 25°C, razão 5 g/25mL	28
Tabela 06. Tempo de ruptura (t_r), volume de solvente e concentração de corantes no extrato no tempo de ruptura, em regime contínuo a 25°C, vazão de 10 ml/min, massa de 1.000 g de beterraba solvente: água, etanol, água:etanol 1:1	31
Tabela 07. Concentração final de corantes no extrato em obtido em regime contínuo a 25°C, vazão de 10 ml/min, massa de 1.000 g de beterraba solvente: água, etanol, água:etanol 1:1.	32
Tabela 08. Matriz codificada de planejamento experimental fatorial completo 2 ² e resposta	33
Tabela 09. Tabela de efeitos de planejamento experimental fatorial completo 2 ² com 95% de confiança	33

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3.	REVISÃO	15
4.	MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1	Pré-tratamento da matéria prima	17
4.2	Caracterização da beterraba.....	17
4.3	Extração de corantes	17
<i>4.3.1</i>	<i>Quantificação fotométrica de betalaínas</i>	<i>17</i>
<i>4.3.2</i>	<i>Efeito do pH sobre a absorção de corantes betacianínico.</i>	<i>19</i>
<i>4.3.3</i>	<i>Extração de betalaínas em leito fixo.....</i>	<i>19</i>
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1	Caracterização físico-química da beterraba.	22
5.2	Análise espectrofotométrica do extrato de beterraba.	22
<i>5.2.1</i>	<i>Efeito do solvente sobre a absorção de corantes betanínico.</i>	<i>23</i>
<i>5.2.2</i>	<i>Efeito do pH sobre a absorção na região UV-vis para extrato de beterraba in natura</i>	<i>25</i>
5.3	Extração de corantes em batelada e em regime contínuo	26
<i>5.3.1</i>	<i>Extração de corantes em batelada</i>	<i>26</i>
<i>5.3.2</i>	<i>Extração de corantes em leito fixo</i>	<i>29</i>
<i>5.3.3</i>	<i>Efeito do tamanho de partícula e tipo de solvente sobre a eficiência de extração</i>	<i>32</i>
6.	CONCLUSÕES	35
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	36
	REFERÊNCIAS	37
	APÊNDICE I – Diferentes dimensões de partícula de beterraba in natura para extração de corante betacianina / betaxantina em sistema contínuo ...	41
	APÊNDICE II – Sistema de extração de corantes em regime	

contínuo	42
APÊNDICE III – Ajuste de modelo de decaimento exponencial de	
1ª ordem para curvas A vs t para extração de corantes em	
sistema contínuo	43

1. INTRODUÇÃO

Não há dúvida que a cor exerce grande influência na vida cotidiana. Essa influência pode ser observada em atitudes tão simples como a escolha de flores para ornamentar a casa, modificando até mesmo o humor.

A seleção de determinadas cores para decorar escritórios e oficinas é obviamente dirigida ao bem-estar dos empregados. Se a cor é empregada de forma correta, pode proporcionar prazer no trabalho, afetar o estado de espírito das pessoas que ali se encontram e, conseqüentemente, a produtividade.

Entre as três principais características dos alimentos: a cor, o sabor e a textura; a cor se apresenta como o atributo sensorial mais marcante. É através da cor que os consumidores são diariamente estimulados para o consumo. Na indústria de alimentos, a cor é um parâmetro importante no controle de qualidade.

Os produtos industrializados ocupam uma parcela cada vez maior do mercado de alimentos. Eles são bem práticos, pois já vêm prontos ou semi-prontos. Os processos aos quais são submetidos, tem variados objetivos, como aumento do tempo de prateleira, conservação de propriedades físicas como aroma, cor ou sabor, tornando-os mais atrativos ao paladar do consumidor.

Os aditivos alimentícios mais frequentemente encontrados em alimentos industrializados podem ser divididos em acidulantes, antioxidantes, aromatizantes, bicarbonatos, conservantes, corantes, edulcorantes, emulsificantes, espessantes, estabilizantes, umectantes. Nos corantes a função dos corantes é "colorir" os alimentos, fazendo com que os produtos industrializados tenham uma aparência mais parecida com os produtos naturais e mais agradável, portanto, aos olhos do consumidor.

Atualmente, a indústria de alimentos utiliza corantes artificiais ou sintéticos, na maioria dos produtos, exceto na indústria de laticínios, onde esses pigmentos são muito instáveis. Nas últimas décadas, tem-se observado uma tendência mundial em se substituir os corantes sintéticos pelos corantes naturais. Os corantes naturais permitidos pela legislação internacional estão classificados em quatro grandes grupos: antocianinas, betalaínas, carotenóides, diversos. Hoje são empregados corantes sintéticos e corantes naturais, como antocianinas, obtidas a partir de vegetais e frutos coloridos (TEIXEIRA, 2019).

A cor e a aparência são de grande relevância para a qualidade dos alimentos. Isso se deve à capacidade humana de perceber com facilidade esses

fatores, os quais são os primeiros a serem avaliados pelos consumidores no momento da aquisição dos alimentos. Sabe-se também que a cor tem influência sobre a percepção do sabor, além de possuírem atividade oxidante, a exemplo dos compostos responsáveis pelas cores brilhantes de frutas e vegetais. Infelizmente, muitos pigmentos alimentares são instáveis durante o processamento e o armazenamento. A prevenção de alterações indesejáveis costuma ser difícil ou impossível. Dependendo do pigmento, a estabilidade é afetada por fatores como a presença ou ausência de luz, oxigênio, metais, agentes redutores ou oxidantes, temperatura, atividade de água e pH (DAMODARAN, 2010).

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.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

- Estudar a extração de corantes betacianínicos da beterraba por extração com solvente em sistema contínuo.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do tamanho de partícula (ϕ), tipo de solvente (S) sobre a velocidade de extração dos corantes da beterraba à temperatura ambiente;
- Determinar o tempo de processo (t_r), necessário para extração dos corantes betanina e vulgoxantina em sistema contínuo;
- Comparar as eficiências do processo de extração de corantes betalaínicos em batelada e em regime contínuo.

3. REVISÃO

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, SANTOS, 2021). 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 (KLUGE et al., 2010; BASSETTO et al., 2013; LEMOS et al., 2013; PORTE et al., 2013).

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 (HENRY, 1996). (HENRY, 1996).

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

As estruturas das betacianinas e das betaxantinas podem ser observadas nas figuras 01a,01b a seguir.

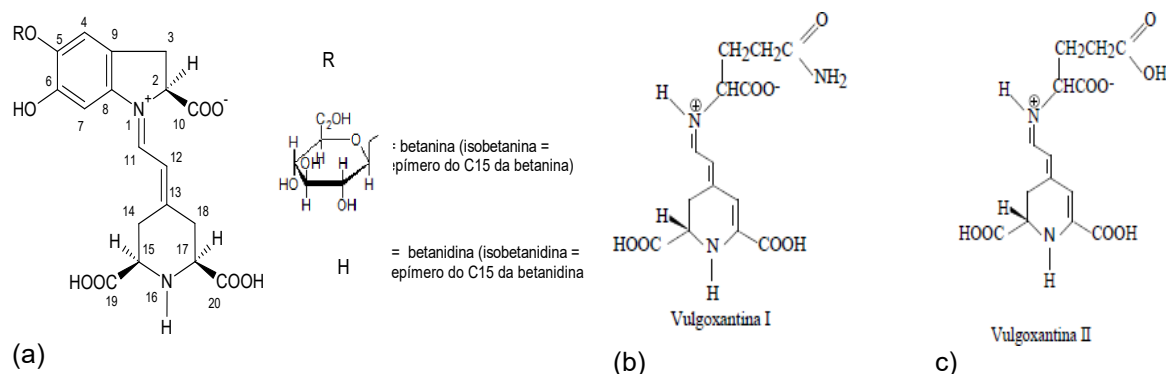


Figura 01. Estruturas químicas das principais betacianinas. a) betanidinas. b) betaxantina - Vulgoxantina I. c) betaxantina - Vulgoxantina II Fonte: Drunkler, 2006.

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 (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 largamente disponíveis no mercado de frutas e hortaliças.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nos laboratórios da Universidade Federal do Maranhão - UFMA. Centro de Ciências de Imperatriz – CCIM onde foram realizadas as etapas de extração, análise de cor por meio de métodos espectrofotométricos, além de análises para a caracterização das amostras de beterraba.

4.1 Pré-tratamento da matéria-prima

A beterraba foi adquirida no comércio local. Todos os materiais utilizados no estudo foram previamente higienizados com solução de água clorada 100 ppm, com o objetivo de eliminar possíveis contaminantes que pudessem interferir nos resultados das análises.

Após seleção dos exemplares maduros, livre de infecções e danos mecânicos, foram lavadas, descascadas e raladas em 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, pesados, identificados e armazenados sob refrigeração a - 22°C.

4.2 Caracterização da beterraba

As amostras de beterraba foram submetidos às análises de umidade (IAL 012/IV), proteínas (IAL 016/IV), fibra bruta (IAL 044/IV), acidez (IAL 016/IV), pH (IAL 016/IV) e concentração de corante.

Para a determinação do pH, uma amostra da polpa de beterraba foi homogeneizada e seu pH foi medido utilizando o pHmetro microprocessado Alfakit, modelo AT-315 devidamente calibrado. A titulação potenciométrica para determinação da acidez foi realizada com o mesmo equipamento. Desta forma 5 gramas de beterraba ralada foram suspensos em 125 mL de água destilada, sob agitação magnética (Agitador Magnético com aquecimento Solab, modelo SL-91), por 10 minutos. Alíquotas de 25 mL foram diluídas em 25 mL de água e tituladas com NaOH 0,02M até volume de 10 mL do titulante. O ponto de equivalência foi determinado a partir da derivada 1ª da curva pH vs $V_{\text{titulante}}$.

Para a determinação do teor de corante presente em cada material, foram realizadas leituras espectrofotométricas na região do ultravioleta-visível ($\lambda = 200 - 1000$ nm) dos extratos aquosos, etanólico e hidroalcoólico de beterraba em espectrofotômetro WebLabor sp, modelo WUV-M51.

4.3 Extração de corantes

4.3.1 Quantificação fotométrica de betalaínas

Para quantificação do corante betanínico presente na beterraba, foram realizadas extrações quantitativas do corante onde 5 g de beterraba ralada foram

submetido a extrações sucessivas, em batelada, com volumes de 25 mL de solvente: água deionizada, etanol (P.A. 99,5%, ACS científica) e etanol:água (1:1), com tempo de contato de 10 minutos, sob agitação magnética. Após centrifugação a 4000 rpm / 5 minutos (centrífuga Olemar modelo 80-2) para separação do extrato, a beterraba recebeu mais uma alíquota de 25 mL de solvente, reiniciando o ciclo de extração. A extração foi interrompida quando o extrato obtido apresentou absorvância, A ($\lambda = 536 \text{ nm}$) inferior a 0,100, medido em espectrofotômetro NOVA 1103, em cubetas de poliacrilato, com 1 cm de caminho ótico.

Para a determinação do teor de corante presente em cada material, foram realizadas leituras espectrofotométricas na região do ultravioleta-visível ($\lambda = 200 - 1000 \text{ nm}$) dos extratos aquosos de beterraba, em espectrofotômetro WebLaborsp, modelo WUV-M51, em cubetas de quartzo, com 1 cm de caminho ótico.

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 (JACKMAN, 1992; STRACK, 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 nos extratos, medindo absorvância em comprimentos de onda de $\lambda = 460 \text{ nm}$ e $\lambda = 536 \text{ nm}$, para betanina e vulgoxantina, respectivamente (BOVI, 2019). O conteúdo de betalaínas (BL) e foi calculado como:

$$BL \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = \frac{A \times DF \times MM \times 1000}{\varepsilon \times L} \quad (01)$$

Onde:

A – absorvância da solução (u.a).

DF - fator de diluição

MM – massa molar do corante (g mol^{-1})

L - caminho óptico da cubeta (1 cm).

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

Para a quantificação da betacianinas (Bc) e betaxantinas (Bx), as massas molares (MM) e absorvidade molares (ϵ) foram de 339 g.mol⁻¹, 48000 L mol⁻¹.cm⁻¹ em H₂O: λ = 460 nm para vulgaxantina e 550 g.mol⁻¹ e 60000 L.mol⁻¹.cm⁻¹ em H₂O: λ = 536 nm para betanina (GONÇALVES, 2021).

4.3.2 Efeito do pH sobre a absorção de corantes betanínico

O efeito do pH sobre a absorção de corantes foi avaliado pelo preparo de extratos em pH específico. A solução tampão Ácido Cítrico 2M: NaOH 2M foi usada para ajuste do pH nos valores 2,0, 4,0, 5,0 e 6,0. (PERRIN, 1974). Foi preparado um extrato com 5,000g de beterraba/50 mL de água, sob agitação por 10 minutos. Em seguida 0,5 mL do extrato foi diluído em solução tampão, ajustado o volume para 5 mL (fator de diluição 1:10). Foi realizada a varredura na região ultravioleta-visível, com λ = 190-1000 nm, em espectrofotômetro Web Labor sp modelo WUV-M51, em cubeta de quartzo de 1 cm de caminho ótico.

4.3.3 Extração de betalainas em leito fixo

A extração em regime contínuo foi efetuada com massas de 1.0 g – 2.0 g, submetidas à extração com solvente em sistema descrito na Figura 02 a seguir.

O leito fixo é constituído de partículas de beterraba, assumidas como tendo geometria retangular e tamanho médio de 16x2x1(mm). O tamanho médio foi determinado por análise de imagem, utilizando o programa ImageJ (Vide Apêndice I). A beterraba ralada foi colocada entre duas camadas de algodão com a função de sustentação do leito de beterraba, melhorar o fluxo de solvente funcionando como placa difusora e minimizando a formação de caminhos preferenciais, além de prevenir o arrasto do leito de beterraba durante extração com solvente (FROMENT, 2011, McCabe, 1956).

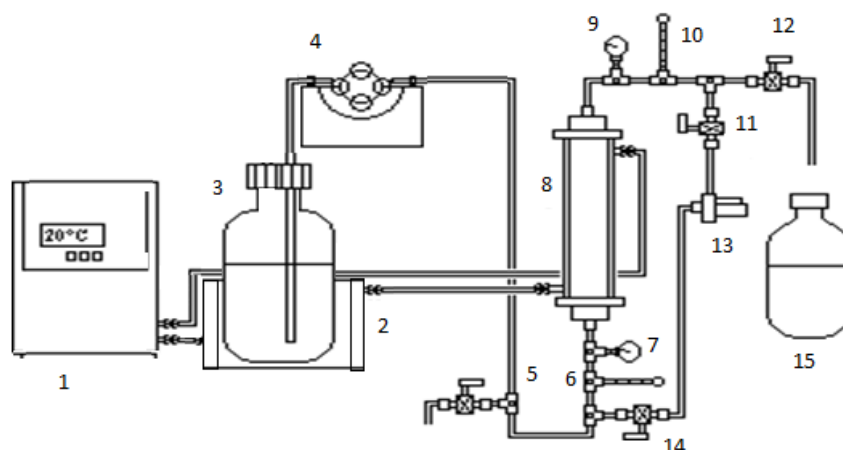


Figura 02 – Sistema para extração de corante em processo contínuo. 1- banho ultratermostatzado. 2 – Béquer encamisado. 3 - reservatório de solvente. 4 – bomba peristáltica. 5 – válvula de 3 vias. 6 – sensor de temperatura. 7 – manômetro. 8 – leito encamisado. 9- manômetro. 10- sensor de temperatura. 11 – válvula de refluxo. 12 - Válvula borboleta. 13 – bomba centrífuga (refluxo) 14 – válvula borboleta (refluxo). 15 – reservatório de extrato. Fonte: Autor, 2025.

Amostras de 3 mL do extrato foram tomadas em intervalos de 10 minutos e então submetidas à análise por absorção na região do UV/visível espectrômetro Nova Técnica modelo NOVA 1103, em cubetas de poliacrilato de 1 cm de caminho ótico, em comprimento de onda λ , de 460 nm e 535 nm, para determinação da concentração de corante betanina e vulgoxantina, respectivamente, por meio da equação (01).

Os ensaios de extração em leito fixo foram conduzidos segundo metodologia de análise multivariada, seguindo um planejamento experimental fatorial 2^2 , em dois níveis, para análise do efeito do tamanho de partícula, dp e composição de mistura extratora (solvente), S , sobre a eficiência de extração dos corantes betacianínicos: betalaína e betaxantina. Os testes foram realizados à temperatura, T , de 25°C e vazão de alimentação, v , de 10 ml/min.

Os intervalos estudados para cada variável são descritos na Tabela 01 a seguir.

Tabela 01. Codificação de Intervalos de variáveis independentes.

Variável	-1	0	+1
Tamanho de partícula (mm)	16	17	18
Composição do Solvente (Etanol: Água)	0:1	1:1	1:0

Fonte: Autor, 2025.

A eficiência de extração foi avaliada por meio do tempo de ruptura (t_r), que corresponde ao tempo de lixiviação 90% do corante contido no leito de beterraba, pelo volume de solvente gasto e pela concentração global do extrato, obtidos a partir das curvas de A vs t para cada condição de extração.

Os experimentos foram conduzidos segundo a matriz de planejamento da Tabela 02. Foi adotada a ordem aleatória para minimizar o efeito de bloco nos ensaios.

O efeito de cada variável estudada foi calculado com uso do programa Statística 8.0.

Tabela 02. Matriz codificada de planejamento experimental fatorial completo 2^2 .

exp	ordem	dp	S
1	2°	-1	-1
2	6°	+1	-1
3	4°	-1	+1
4	3°	+1	+1
5	1°	-1	0
6	5°	+1	0

Fonte: Autor, 2025.

O cálculo dos efeitos das variáveis independentes (dp , S) e da análise de superfície de resposta, foram realizados para isolamento de variáveis de maior influência sobre o processo de extração e indicar os parâmetros e seus intervalos a serem empregados na etapa de otimização da extração.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química da beterraba

Pela caracterização da beterraba as amostras testadas estão em acordo com dados apresentados para beterraba *in natura* (TACO, 2011) como também foi observado por Bovi *et al* (2019).

Tabela 03. Propriedades físico-químicas de beterraba *in natura*.

Propriedade	Valor*
Umidade (%)	85,01 ± 0,02
Proteína (%)	0,99 ± 0,003
Fibras (%)	0,46 ± 0,02
pH	6,39 ± 0,08
Acidez (mg ácido cítrico/g)	4,57 ± 0,07

* Valores expressos em base úmida.

Fonte: Autor, 2025.

Após a obtenção dos dados da tabela 03, observou-se que Crocetti (2016) reporta valores semelhantes para umidade (92%), teor de proteína (1,3%), fibras (1,15%) para beterraba fresca utilizada para produção de farinha de beterraba. O valor do pH observado concorda com valores indicados por Gomes (2020) com valor de pH de 6,93 para o extrato de beterraba usado para avaliar a carbonatação em corpos de prova de concreto e Ferreira Neto (2017) que indica valores médios de 6,53. Marques *et al.* (2010) e Barcelos (2010) também relatam valores semelhantes.

Em Ferreira Neto (2017), a acidez da beterraba é associada com a presença de ácidos orgânicos como o ácido oxálico e o ácido cítrico, com valor médio de 0,67 g/100 g para este último, próximo ao valor encontrado neste estudo.

5.2. Análise espectrofotométrica do extrato de beterraba

Foi realizada a análise de varredura espectrofotométrica do extrato de beterraba no intervalo de 200 a 800 nm, conforme pode-se observar na Figura 03.

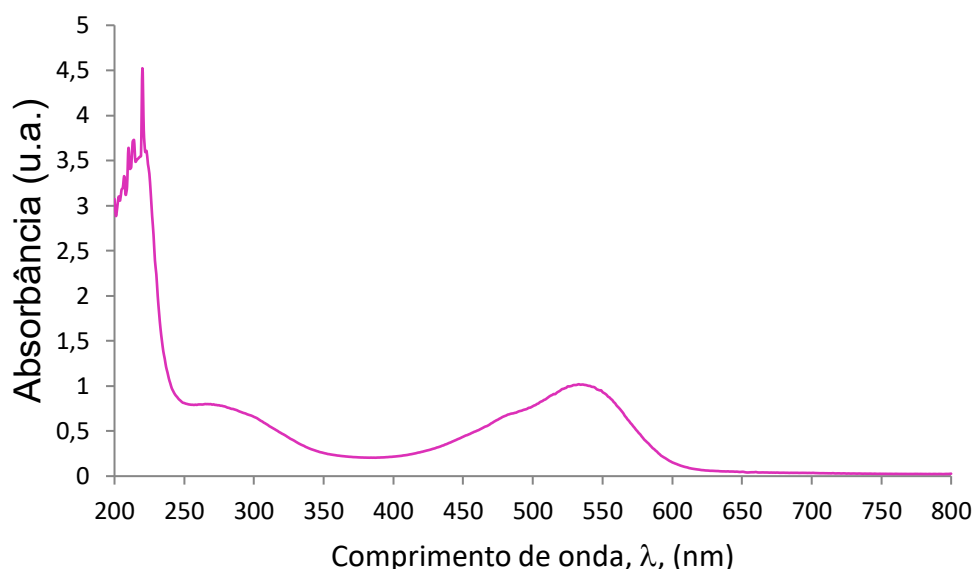


Figura 03. Espectro UV-vis de extrato de beterraba, em pH 6. 5 g/25 mL, fator de diluição (1:6). Autor, 2025.

Os extratos de beterraba obtidos com a razão de 5g:25 mL de H₂O foram diluídos para que o valor de absorbância fosse igual ou inferior a 1, estando, portanto, na faixa de linearidade da lei de Lambert-Beer. A absorbância no comprimento de onda de $\lambda = 536$ nm, $A = 0,9752$ foi usado 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 $\lambda = 460$ nm, $A = 0,6389$ foi de 18,05 mg L⁻¹. 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* e concordam com os dados divulgados por Wruss (2015).

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.

5.2.1 Efeito do solvente sobre a absorção de corantes betanínico

Para extração dos corantes, foram empregados como solvente a água e o etanol. Este último foi escolhido por sua baixa toxicidade e ponto de ebulição inferior à água, possibilitando sua recuperação em processos de destilação com pressão reduzida, com diminuição de perda de corante por degradação térmica

(LONGARAY, 2014). Ambos os solventes, transparentes na faixa visível, não afetam a absorção dos corantes e nem causam deslocamentos nas bandas de absorção (deslocamento batocrômico ou hipsocrômico (HARRIS, 2011, SKOOG, 2008), como percebido na Figura 04.

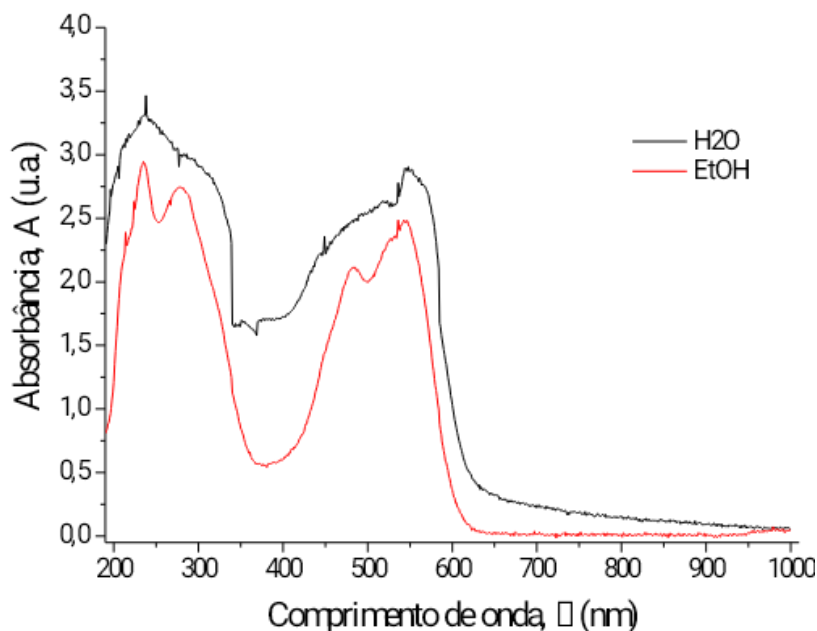


Figura 04. Espectro UV-vis de extrato de beterraba. 5 g/25 mL, fator de diluição (1:6) em diferentes solventes. Fonte: Autor, 2025.

Percebe-se, porém, uma diminuição da intensidade das bandas de absorção da betanina ($\lambda = 536$ nm) para o solvente etanol. Para Dias (2019), a solubilidade da betanina, composto hidrofílico, é significativamente menor em solventes menos polares, apontando o teor de betanina extraída com água em 144,9 mg/g de beterraba, enquanto o etanol puro extrai apenas 3,00 mg/100g. Foi observado também, durante os experimentos de extração de corantes com etanol, a precipitação de sólido vermelho, supostamente betanina, após o extrato ser posto em repouso (vide figura 6.a e figura 8.c), resultando em valores de absorbância mais baixos, em comparação com os extratos aquosos obtidos sob as mesmas condições. O conteúdo de betaxantinas (Vulgoxantina II e II), foi menos afetado pela mudança de solvente. A substituição do grupo glicídio ligado ao ácido betalâmico (betamina e isobetamina) pelo grupo amina na vulgoxantina II (TANAKA, 2008, GONÇALVES et al., 2012), causa a diferença de solubilidade no meio etanólico (vide Figura 01).

5.2.2 Efeito do pH sobre a absorção na região UV-vis para extrato de beterraba *in natura*

A Figura 05 mostra a influência do pH sobre a resposta espectrofotométrica do extrato de beterraba em meio aquoso.

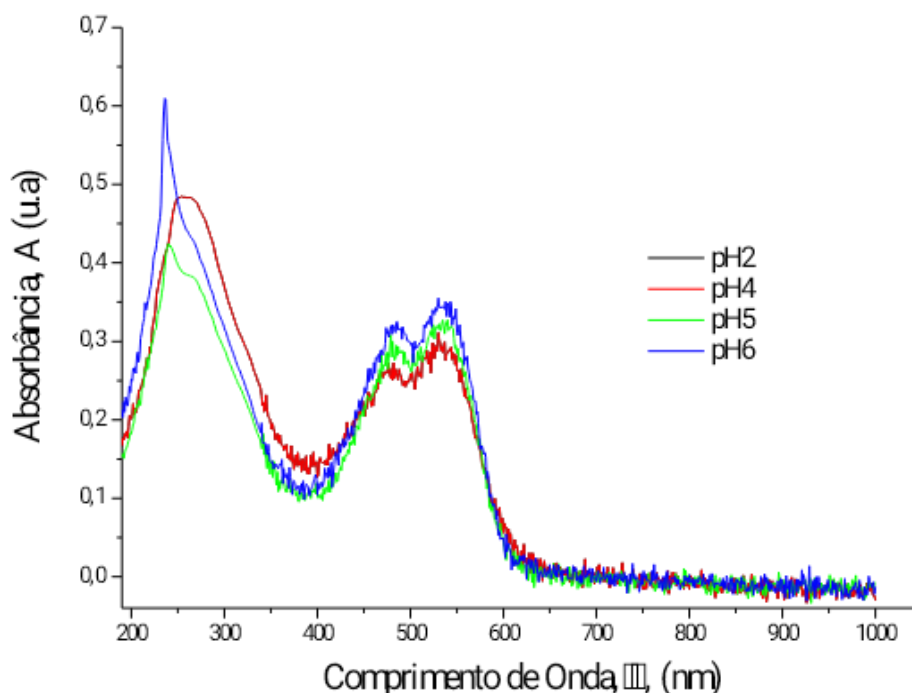


Figura 05. Efeito do pH sobre a absorção de corantes de beterraba. Fator de diluição 1:10. Fonte: Autor, 2025.

Nota-se que não houve alteração dos máximos das bandas de absorção de betanina (564 nm) e nem da betaxantinas (460 nm), conforme indicado por Strack (2003) e Gomes (2020) e Khan (2022), que apontam a estabilidade das betalaínas em pH 3 a 9. É observado ainda um discreto aumento na intensidade de absorção quando o pH muda de 5 para 6, com ganho de 9,32% na absorção da betacianinas ($\lambda = 536$ nm) e 6,89% para betaxantinas ($\lambda = 40$ nm) representando um aumento na capacidade corantes deste extrato no referidos pH's. A coloração vinho claro observada para os extratos está de acordo com o citado por Dias (2003). Em valores de pH próximo a 9,0, a solução se torna roxa e amarela em pH acima de 12,0 (GOMES, 2020), como observado durante titulação potenciométrica para determinação da acidez do extrato.

5.3. Extração de corantes em batelada e em regime contínuo

A extração em sistema batelada foi realizada também para fins comparativos e seus resultados são indicados nas Figuras 06, 07 e Tabela 04 a seguir.

5.3.1 Extração em Batelada

Cada etapa de extração, teve um tempo de contato de 10 minutos sob agitação, totalizando 50 minutos para toda a extração, que segundo Vogel (1981), favorece melhores rendimentos de extração.

Na Figura 06a, nota-se que a partir da 4 extração, a queda na concentração de corantes já é significativa, cerca de 97,44% menor que o observado no início da extração. A partir deste momento, as etapas sucessivas contribuem mais para a diluição do extrato final do que efetivamente para o rendimento em corante, o que também fica evidente na Figura 07, onde o distanciamento entre as curvas de extração (decaimento exponencial) diminui a cada etapa, independentemente do solvente utilizado. Esta etapa crítica, aqui denominada etapa de ruptura, parece ocorrer mais brevemente quando o solvente é o etanol, quando a partir da 2ª extração, a absorbância já cai para 10% do valor da 1ª batelada. outra observação pertinente é que, após o repouso, há precipitação do corante no meio etanólico, afetando ainda mais a absorbância observada para o comprimento de onda, $\lambda = 536$ nm, associado à betanina.

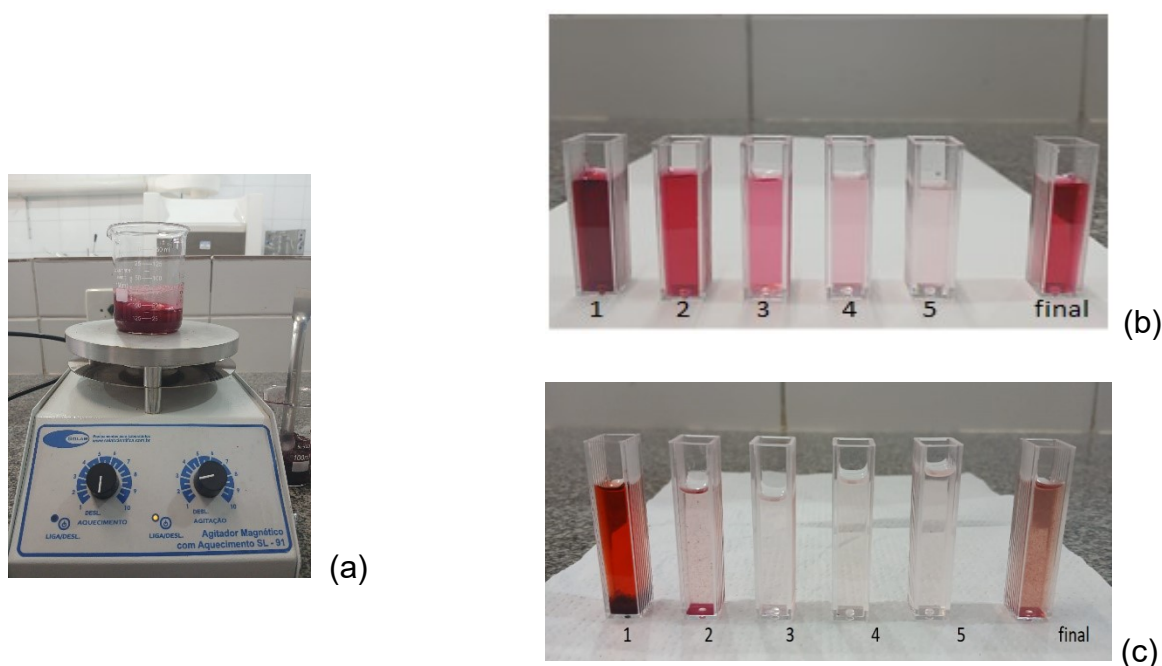


Figura 06. Extração de corantes em batelada. a) Extração em meio aquoso. b) extrato das etapas sequenciais em água c) Extrato das etapas sequenciais em etanol. Fonte: Autor, 2025.

Já a extração da betaxantina ($\lambda = 460$ nm) sofre menos com a mudança de solvente de água para etanol, como percebemos pelo menor distanciamento entre as curvas Agua460 e Agua536 na Figura 07.

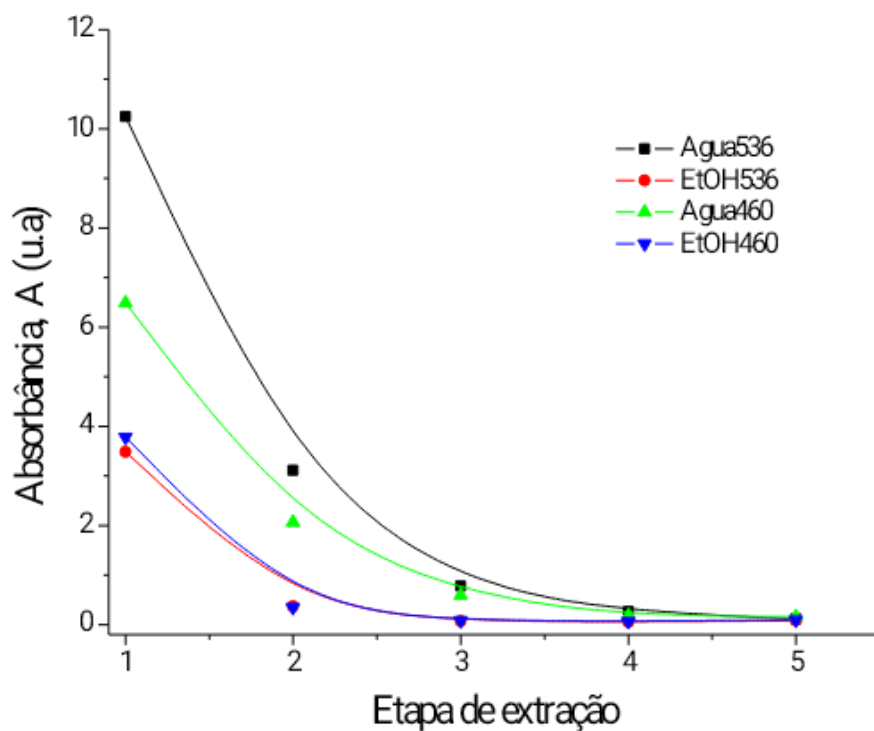


Figura 07. Extração de corantes em batelada, em etapas sequenciais. Fonte: Autor, 2025.

Nas Tabelas 04 e 05, os valores de concentração de betanina e betaxantina no extrato final indicam que a razão entre os teores de betanina e vulgoxantina é de 2:1, na extração com água, como indicado por Gonçalves et al (2015) e Jackman, (1992); Strack (2003).

Tabela 04. Concentração de corantes por etapa de extração com água, T = 25°C, razão 5 g/25mL.

Etapa	A _{460nm}	A _{536nm}	Fator Diluição	CBc (mg/L)	CBx (mg/L)
1 ^a	10,250	7,038	10	93,96	49,71
2 ^a	3,111	3,56	4,4	28,52	25,14
3 ^a	0,780	0,97	1	7,15	6,85
4 ^a	0,264	0,56	1	2,42	3,96
5 ^a	0,118	0,2	1	1,08	1,41
Extrato final*	2,184	1,56	12	20,02	11,02

*obtido por mistura de todas as frações.

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 05. Concentração de corantes por etapa de extração com Etanol, T = 25°C, razão 5 g/25mL.

Etapa	A _{460nm}	A _{536nm}	Fator Diluição	CBc (mg/L)	CBx (mg/L)
1 ^a	3,486	3,78	6	59,49	29,79
2 ^a	0,370	0,35	1	18,92	15,09
3 ^a	0,074	0,084	1	5,45	4,11
4 ^a	0,052	0,069	1	1,67	2,37
5 ^a	0,085	0,099	1	1,46	0,85
Extrato final*	0,658	0,759	1	12,01	6,61

*obtido por mistura de todas as frações

Fonte: Autor, 2025.

Quando é usado etanol, essa razão é mantida, porém o rendimento de extração é 60% menor. A precipitação no etanol parece afetar menos o corante betaxantínico, o que explica o tom mais amarelado do extrato final etanólico em comparação com o extrato aquoso, em concordância com o citado por Dias (2019).

5.3.2 Extração de corantes em leito fixo

O leito de beterraba foi montado com 1,000 g de beterraba ralada em um reator de vidro encamisado, com diâmetro interno de 0,745 cm e altura de leito de 3,40 cm (Figura 08a). O tempo de contato do solvente com o leito foi de 8,9 s. O tempo de residência do solvente no sistema de extração (vide apêndice II) foi de 1 minuto e volume morto de 10 mL.

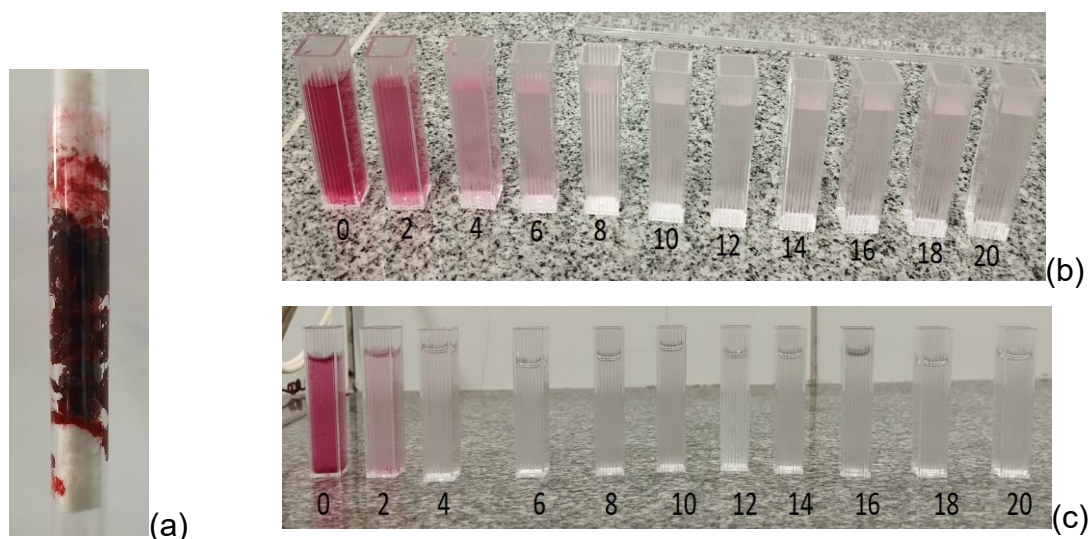


Figura 08. Extração de corantes em sistema contínuo. a) leito empacotado de beterraba ralada. b) Variação de concentração com tempo de extração em água. (c) . Variação de concentração com tempo de extração em etanol. Fonte: Autor, 2025.

Como percebemos na figura 08b e 08c, a partir de 4 minutos de extração o teor de corantes já é drasticamente reduzido. Segundo McCabe (1956) a lixiviação por percolação em um leito estacionário de sólidos é tão rápida que apenas um só passo de solvente através do material é suficiente para retirar o soluto desejado. Com frequência, são utilizados fluxo em contracorrente em tanques para reduzir o conteúdo de soluto a valores economicamente viável para o processo. Para extração com água, 6 minutos de processamento já é suficiente para atingir esse nível, como observado na Figura 09a e 09b. Essa redução acontece mais precocemente quanto o tamanho da partícula é menor ($d_p = 16,0 \pm 1,6$ mm). A queda de concentração é mais pronunciada quando o etanol é usado, como visto na Figura 09a, como resultado da menor solubilidade da betanina neste solvente. A concentração de betaxantina é menos afetada pela mudança do solvente água para etanol, com valores semelhantes nos primeiros instantes da extração (Figura 09b).

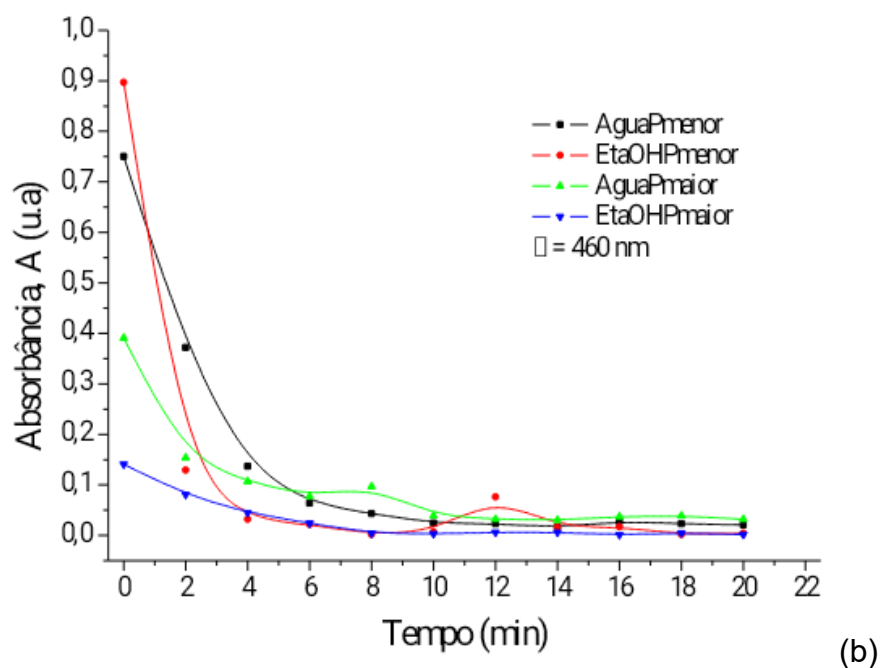
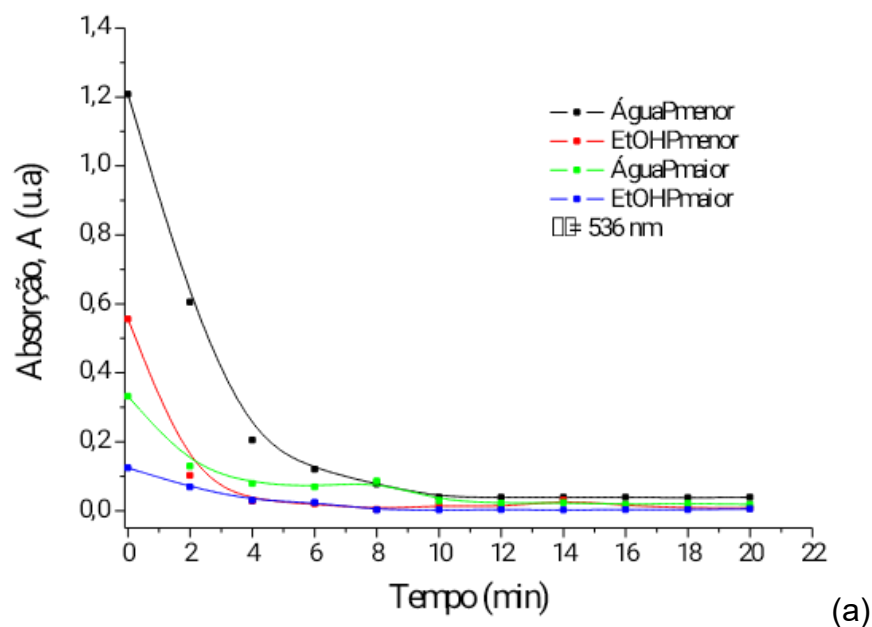


Figura 09. Extração de corantes em sistema contínuo. massa 1,001 g, vazão 10ml/min, temperatura 25°C. a) Extração de betacianinas ($\lambda = 536$ nm). b) Extração de betaxantina ($\lambda = 460$ nm). Fonte: Autor, 2025.

O uso do solvente misto (Figura 10) apresenta um rendimento melhor para extração da betanina com tamanho de partícula menor, se comparado com o obtido para água. Para o maior tamanho de partícula ($d_p = 17,85 \pm 5,8$ mm) em etanol, os rendimentos são semelhantes àqueles vistos para a água.

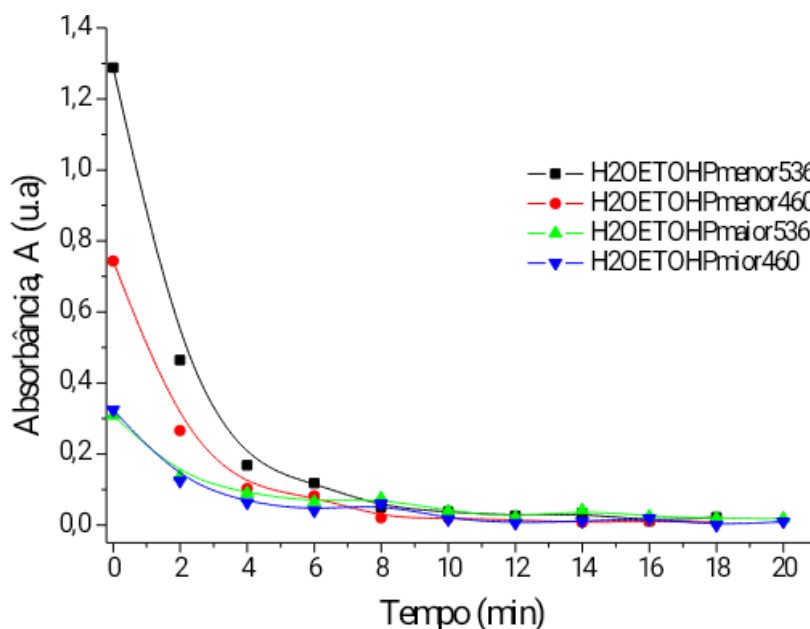


Figura 10. Extração de corantes em sistema contínuo. Massa: 1,001 g, vazão: 10 ml/min, temperatura 25°C, solventes: água:etanol 1:1. Fator de diluição: 1:2. Comprimento de onda de betacianinas ($\lambda = 536$ nm) e betaxantina ($\lambda = 460$ nm). Fonte: Autor, 2025.

Na tabela 06, os valores dos tempos de ruptura indicam os instantes que o processo deve ser interrompido (McCabe, 1956) para manter a extração mais eficiente, com extratos finais mais concentrados.

Tabela 06. Tempo de ruptura (t_r), volume de solvente e concentração de corantes no extrato no tempo de ruptura, em regime contínuo a 25°C, vazão de 10 ml/min, massa de 1.000 g de beterraba solvente: água, etanol, água:etanol 1:1.

Experimento	$t_{r536\text{ nm}}^*$ (min)	$t_{r460\text{ nm}}^*$ (min)	$V_{tr536}^\text{¥}$ (mL)	$A_{536\text{ nm}}$	$A_{460\text{ nm}}$	CBc (mg/L)	CBx (mg/L)
H ₂ OP _{menor}	6,93	5,01	69,30	0,438	0,438	4,017	3,095
EtOHP _{menor}	2,05	2,59	20,54	0,253	0,253	2,322	1,789
H ₂ OP _{maior}	3,16	4,46	31,6	0,197	0,197	1,803	1,389
EtOHP _{maior}	0,87	1,36	8,72	0,087	0,087	0,801	0,617
H ₂ O:EtOHP _{menor}	6,52	4,20	65,29	0,3209	0,3209	2,9415	2,2663
H ₂ O:EtOHP _{maior}	3,53	2,78	35,32	0,1518	0,1518	1,3915	1,0721

*tempo de ruptura obtido por ajuste de modelo de decaimento exponencial de 1ª ordem (vide apêndice III).

¥ volume total de extrato no tempo de ruptura para o corante betacianinas ($\lambda = 536$ nm). Fonte: Autor, 2025.

Tabela 07. Concentração final de corantes no extrato em obtido em regime contínuo a 25°C, vazão de 10 ml/min, massa de 1.000 g de beterraba solvente: água, etanol, água:etanol 1:1.

Experimento	A _{536nm} final	A _{460nm} final	Fator Diluição	CBc (mg/L)	CBx (mg/L)
H ₂ OP _{menor}	0,178	0,178	1	0,163	0,126
EtOHP _{menor}	0,058	0,058	1	0,121	0,093
H ₂ OP _{maior}	0,075	0,078	1	0,688	0,551
EtOHP _{maior}	0,042	0,040	1	0,385	0,283
H ₂ O:EtOHP _{menor}	0,124	0,710	2	1,137	5,014
H ₂ O:EtOHP _{maior}	0,053	0,039	2	0,040	0,023

Fonte: Autor, 2025.

Na tabela 07, podemos observar as concentrações finais dos extratos após 20 minutos de extração, com volume total de 210 mL. O volume morto do sistema é de 10 mL. Os extratos sofreram significativa diluição em comparação aos teores exibidos no instante de ruptura, t_r .

Comparando-se o rendimento em corantes obtido por extração com água em batelada (CBc = 4,004 mg/L.g_{beterraba} e CBx = 2,204 mg/L.g_{beterraba}) e o extrato obtido em regime contínuo no tempo de ruptura (CBc = 4,017 mg/L.g_{beterraba} e CBx = 3,095 mg/L.g_{beterraba}) percebemos que praticamente o mesmo rendimento é atingido em sistema contínuo com metade do volume de solvente usado no sistema em batelada. O tempo de processamento também cai de 50 para 7 minutos.

5.3.3 Efeito do tamanho de partícula e tipo de solvente sobre a eficiência de extração.

Na tabela 08 observamos os valores das variáveis dependentes tempo de ruptura, t_r , Concentração de Betacianina no no tempo de ruptura (CBc_{tr}) e Concentração de Betacianina no no tempo de ruptura (CBx_{tr}) em função da mudança dos níveis das variáveis independentes d_p e solvente.

Tabela 08. Matriz codificada de planejamento experimental fatorial completo 2² e resposta

exp	Identificação	ordem	dp	S	t _r (min)	C _{Bcf} [*] (mg/L)	C _{Bxf} [*] (mg/L)
1	H ₂ OP _{menor}	2°	-1	-1	6,93	4,017	3,095
2	EtOHP _{menor}	6°	+1	-1	2,05	2,322	1,789
3	H ₂ OP _{maior}	4°	-1	+1	3,16	1,803	1,389
4	EtOHP _{maior}	3°	+1	+1	0,87	0,801	0,617
5	H ₂ O:EtOHP _{menor}	1°	-1	0	6,52	2,9415	2,2663
6	H ₂ O:EtOHP _{maior}	5°	+1	0	3,53	1,3915	1,0721

* concentração de corante no extrato final

Fonte: Autor, 2025.

Os efeitos das variáveis independentes são mostrados na tabela 09 a seguir. Os efeitos estatisticamente significativos aparecem destacados em negrito.

Foi observado que o tamanho da partícula de beterraba afeta o tempo de ruptura, exibindo uma diminuição de 3,58% quando a passamos do nível -1 (partícula menor) para o nível +1 (partícula maior). As concentrações de betacianina e betaxantina parecem não sofrer influência deste fator, podendo as diferenças observadas serem atribuídas a erros aleatórios ou erros experimentais.

No intervalo de composição de solvente estudado, não houve efeito significativo sobre o tempo de ruptura ou concentração dos corantes nos extratos, sendo estas governadas especificamente pela solubilidade dos corantes nos solventes testados.

Tabela 09. Tabela de efeitos de planejamento experimental fatorial completo 2² com 95% de confiança.

Variável	t _r	Efeito*	
		CBc	CBx
Média	3,25	2,24	1,72
dp	-3,58	-1,35	-1,04
S	-2,47	-1,87	-1,44
dp x S	+1,29	0,35	0,25

*(95% de confiança)

Fonte: Autor, 2025.

Através da superfície de respostas D_p vs S , podemos deduzir que o uso de tamanho de partícula menor e solventes mais polares (meio aquoso) favorece menores tempos de extração.

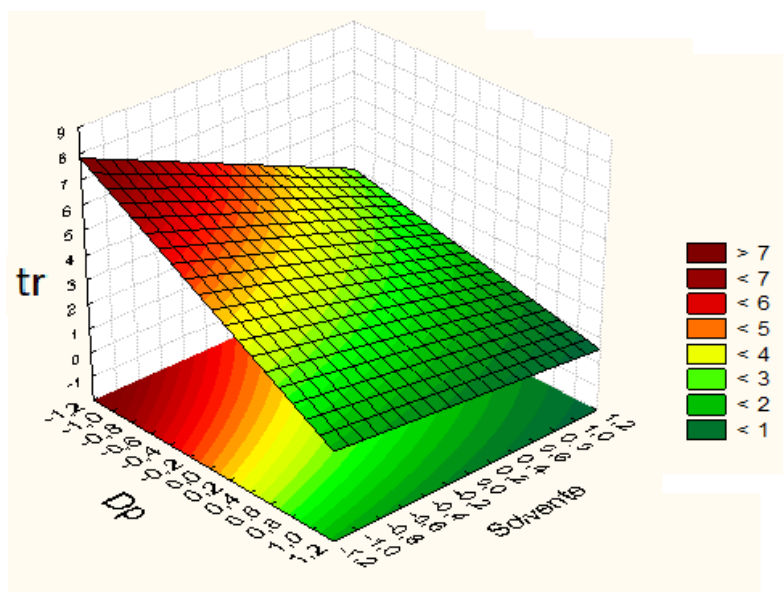


Figura 11. Superfície de Resposta $d_p \times S$ para tempo de ruptura na extração de corante betacianínico com 95% de confiança. Fonte: Autor, 2025.

6. CONCLUSÕES

O sistema contínuo de extração em leito fixo apresenta um desempenho superior quando comparado ao sistema em batelada, atingindo rendimentos similares de extração com tempo de contato solvente matriz e tempo de processo significativamente menor.

O volume de solvente necessário para o sistema de extração em regime contínuo também é reduzido pela metade;

O tamanho de partícula da beterraba influencia diretamente na eficiência da extração sendo que partículas menores permitem maior superfície de contato e por consequência, maior rendimento de extração dos corantes. Uso de beterraba liofilizada, com tamanho de partícula menor, deve favorecer ainda mais o rendimento em corantes.

Com relação aos solventes a betanina apresentou baixa solubilidade em etanol, resultando em menor rendimento, o que foi evidenciado por menor absorbância e precipitação do corante após repouso. Já a betaxantina demonstrou menor sensibilidade à polaridade do solvente, mantendo maior estabilidade em meio etanólico.

A mistura etanol:água (1:1) ou ainda o teste com o azeótropo (Etanol:água) pode ser uma alternativa viável, apresentando rendimento intermediário para extração de betanina e betaxantina. Essa solução pode ser interessante por equilibrar rendimento, toxicidade e facilidade de recuperação do solvente.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Ajustar parâmetros operacionais como montagem do leito de beterraba próximo à saída do reator para minimizar problemas difusionais como difusão lateral.
- Estudar o efeito do uso de reciclo sobre a velocidade de extração e rendimento em corante.
- Avaliar o efeito da temperatura sobre o rendimento na extração de corante;
- Proceder o isolamento e purificação dos corantes betacianínicos a partir dos extratos obtidos;
- Avaliar a capacidade corantes dos extratos obtidos em alimento modelo (gelatina) e comparar com corantes sintéticos comerciais de coloração equivalente.

REFERÊNCIAS

BASSETTO, R.Z.; et al. Produção de biscoitos com resíduo do processamento de beterraba, *Beta vulgaris* L. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.8, n.1, p.1981-8203, 2013.

BARCELLOS, J. C. Desempenho da beterraba 'Katrina' submetida a lâminas de água e doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciências do Solo)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

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>, Consultado em: jul 2025.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos.** 3ed. São Paulo: Varela, p. 103-118. 2001.

BOVI, D. C. M. L., et al. Determinação dos teores de betalaína e composição centesimal de beterraba in natura e tipo chips. Brazilian Journal of Food Research, Campo Mourão, v. 10 n. 2, p. 80-92, abr./jun. 2019.

DAMODARAN, S., PARKIN, K. L., FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema.** 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DIAS, M.V.; GUIMARÃES, P.I.C.; MERÇON, F. Corantes naturais como indicadores de pH. **Química nova na escola**, nº 17, .27-30, maio/2003.

DIAS, A. C. S. Extração de betanina em beterraba (*beta vulgaris*) utilizando solventes alternativos e avaliação da atividade antioxidante. VIÇOSA - MINAS GERAIS 2019. 52 p. Programa de Pós-Graduação em Agroquímica (Dissertação)

DRUNKLER, D. A., FETT, R., LUIZ, M. T. B. Avaliação da estabilidade de betalaínas em extrato de beterraba (*beta vulgaris* L.) com α -, β - e 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.

FERREIRA NETO, J. et al. Caracterização físico-química e microbiológica da

beterraba irrigada com efluente agroindustrial. **Rev. de Agroec. no Semiárido** (Sousa – PB - Brasil) v. 1, n.1, p.13 - 23, Jan - Junho, 2017.

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.

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.

GONÇALVES, L. C. P.; *et al.* A comparative study of the purification of betanin. *Food Chemistry*, v. 131, n. 1, p. 231-238, 2012.

GOMES, L. P. M. **Análise do uso de indicador natural de pH à base de betalaína em comparação com a fenolftaleína para a avaliação da profundidade de carbonatação do concreto**. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO. Monografia. Fev. 2020.48 p.

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.

HARRIS, Daniel C. – Explorando a Química Analítica - Ed. LTC, 4ª. Edição, 2011 - Rio de Janeiro - RJ

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

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.

LEMOES, D.M.; *et al.*; Avaliação físico-química de um blend de laranja tangor 'Ortanique' e beterraba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento**

Sustentável, v.8, n.13, p.1981- 8203, 2013

Khan, M. I., Lui, J. Plant betalains: Recent applications in food freshness monitoring films. **Food Packaging and Shelf Life**. Volume 34, December 2022, 100921

KLUGE, R. A.; PICOLI, A .A.; AGUILA, J. S. Respiração e produção de etileno em beterrabas inteiras e minimamente processadas submetidas a tratamentos com etileno e biorreguladores. *Horticultura Brasileira*, v.28, n.1, p.54-57, 2010

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.

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. 26, 4 (2006): 847 –852.

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.

MARQUES, L. F.; MEDEIROS, D. C., COUTINHO, O. L.; MEDEIROS, C. de B.; VALE, L. S., Produção e qualidade da beterraba em função da adubação com esterco bovino. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Porto Alegre, v.5, n. 1, p. 24-31. 2010.

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

MCCABE, W. L. SMITH, J. C. **Unit operations on chemical engineering**.Tokio: McGrill Hill Book Company,1956.1152 p.

MORTON, J. Jambolan. In: MORTON, J. **Fruits of warm climates**. Miami: Creative Resoursh Systems,1987. p.375-378. Disponível em: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/jambolan_ars.html>. Acesso em: 10 nov. 2005.

PERRIN, D. D., DEMPSEY, B. Buffers for pH and Metal ion control. London:Chapman and Hall, 1974. 165 p.

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

PORTE, A.; *et al.*; Determinação de ácido ascórbico em bebidas de abacaxi (*Ananas comosus*) e beterraba (*Beta vulgaris*) por titrimetria e cromatografia líquida. VI Congresso Latinoamericano e XII Congresso Brasileiro de Higienistas de Alimentos, v.27, n.218/219, 2013

SANTOS, M. L. P., *et al.* Características de consumo e aproveitamento integral da beterraba (*Beta Vulgaris*). **Brazilian Journal of Developmen**. Curitiba, v.7, n.8, p. 79770-79780 aug. 2021.

SKOOG, Douglas A. – Princípios de Química Analítica - Ed. Cengage Learning. 2008 – São Paulo– SP

STRACK, D. VOGT, T. SCHLIEMANN, W. Recent advances in betalain research. **Phytochemistry**. Volume 62, Issue 3, February 2003, Pages 247-269

TANAKA, Y.; SASAKI, N.; OHMIYA, A. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal*, v. 54, n. 4, p. 733-749, 2008

TEIXEIRA, L. **Corantes naturais: os sucedâneos dos artificiais**. Disponível em: <http://www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2010/04/corantes-naturais-2.pdf>. Acesso: abril/2025

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.

VOGEL, A. I. Química Orgânica: Análise Orgânica Qualitativa. 3. ed, Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico SA, 1981. v. 1

WRUSS, J., *et all.* Características composicionais de produtos comerciais de beterraba e suco de beterraba preparado a partir de sete variedades de beterraba cultivadas na Alta Áustria. **Revista de Composição e Análise de Alimentos. Volume 42** ,setembro de 2015. 46-55.

APÊNDICES

Apêndice I. Diferentes dimensões de partícula de beterraba *in natura* para extração de corante betacianina/betaxantina em sistema contínuo.

		
Média: 16,01 mm	Média: 16,93 mm	Média 17,85 mm

Fonte: Autor, 2025

Apêndice II. Sistema de extração de corantes em regime contínuo.



Fonte: Autor, 2025.

Apêndice III. Ajuste de modelo de decaimento exponencial de 1ª ordem para curvas A vs t para extração de corantes em sistema contínuo.

Equação	R ²	λ (nm)	Curva
$A=1,19027e^{(-t/2,43739)} + 0,02985$	0,99534	536	ÁguaP _{menor}
$A=0,54236e^{(-t/1,10324)} + 0,01362$	0,99810	536	EtOHP _{menor}
$A=0,29625e^{(-t/2,22272)} + 0,02970$	0,95717	536	ÁguaP _{maior}
$A=0,12423e^{(-t/2,99213)} + 0,00112$	0,98939	536	EtOHP _{menor}
$A=0,74114e^{(-t/2,43739)} + 0,01611$	0,99639	460	ÁguaP _{menor}
$A=0,879e^{(-t/0,96641)} + 0,018$	0,99396	460	EtOHP _{menor}
$A=0,34238e^{(-t/2,15885)} + 0,04256$	0,96873	460	ÁguaP _{maior}
$A=0,14196e^{(-t/3,27247)} + 0,00072$	0,99925	460	EtOHP _{menor}
$A=1,25819e^{(-t/21,90198)} + 0,02832$	0,99867	536	H ₂ O:EtOHP _{menor}
$A=0,72689e^{(-t/1,94851)} + 0,01393$	0,99699	460	H ₂ O:EtOHP _{menor}
$A=0,27243e^{(-t/2,5448)} + 0,0306$	0,97067	536	H ₂ O:EtOHP _{maior}
$A=0,30599e^{(-t/2,14653)} + 0,01517$	0,97662	460	H ₂ O:EtOHP _{maior}