

EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO NA POLPA DO COCO VERDE PARA OBTENÇÃO DE FRAÇÃO RICA EM LIPÍDEOS E PROTEÍNAS COMO NOVO INGREDIENTE

Guilherme Akira Kojima¹; Tatiana Guinoza Matuda²

¹ Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

² Professora do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Resumo. O elevado consumo da água de coco verde resulta em uma alta quantidade de resíduos ao longo da cadeia produtiva, como a polpa e a casca. A polpa apresenta funções tecnológicas, como capacidade emulsificante e espumante, em produtos como bolos e pães, agregando assim valor a este resíduo. O principal desafio é obter a polpa de coco verde estável em temperatura ambiente, com suas funções tecnológicas mantidas. O objetivo desta pesquisa foi estudar a extração sólido-líquido de açúcares da polpa de coco verde com etanol nas proporções 1:1, 1:2 e 1:3 (m/m) e temperaturas 25 °C e 65 °C, com a finalidade de aumentar sua estabilidade pelo aumento da sua temperatura de transição vítreia (T_g). O rafinado, rico em lipídeos e proteínas, foi avaliado em relação à atividade de água, capacidade espumante, emulsificante e absorção de água e óleo, cor, granulometria, microscopia eletrônica de varredura e análises térmicas e o extrato em relação à atividade de água, açúcares totais e redutores, teor alcoólico e de massa seca. A condição de 1:1 65 °C apresentou maiores valores para a capacidade emulsificante, overrun, absorção de água, entalpia e T_g , mostrando-se promissora sua aplicação na formulação de alimentos da área de panificação.

Introdução

Com uma produção mundial estimada em 64,7 milhões de frutos no ano de 2023 (FAOSTAT, 2025), o coco (*Cocos nucifera*) possui grande relevância ao redor do mundo, seja para a produção de óleo ou extração de sua água. Com uma colheita nacional de 2,1 milhões de frutos no ano de 2024 (IBGE, 2025), grande parte da produção brasileira de coco verde tem como destino a extração da água (SEBRAE, 2016).

Representando cerca de 80 % de seu peso bruto, polpa, casca e fibras do coco são pouco aproveitadas (Oliveira, 2017). Dentre estes resíduos, a polpa, composta majoritariamente por lipídeos, proteínas e carboidratos, em sua maioria açúcares, principalmente glicose, frutose e sacarose, e em menores quantidades por vitaminas, ácidos orgânicos e minerais, gera grande interesse pelas suas propriedades tecnológicas, sendo usada na produção de óleo, copra e leite de coco (Santana, 2012). Sua composição depende de fatores como local de plantio, variedade e grau de maturação (Carandang, 2008). De acordo com Balachandran e Arumughan (1995), os níveis de sacarose diminuem (89,22 % a 1,06 % massa/massa) e os de frutose e glicose aumentam com a maturação do fruto (1,14 a 36,98 % e 9,44 % a 61,95 % m/m, respectivamente). Santoso *et al.* (1996) indicam maiores valores de sacarose do que frutose e glicose na polpa do coco verde.

A maioria dos emulsificantes alimentares mais utilizados pode gerar impactos negativos na microbiota estomacal (Naimi *et al.*, 2021). Desta forma, a polpa do coco verde pode ser utilizada como um emulsificante natural, uma vez que apresenta quantidades consideráveis de albumina e globulina, sendo 52,1 % e 4,4 % respectivamente, em relação ao total de proteínas presentes na polpa, que corresponde a 11,37 % em base seca (Santana, 2012). Ambas as proteínas são consideradas anfifílicas (Borin *et al.*, 2021) e de importância em emulsões como os gelados comestíveis (Santana, 2021). Uma emulsão consiste em pequenas gotas de um líquido dispersas em outro líquido imiscível (Muhardina *et al.*, 2023) e, para que isto ocorra, é necessária a utilização de emulsificantes, compostos que possibilitam a homogeneização dos líquidos.

Devido ao alto teor de açúcares, entre 4,42% e 6,86% (Assa *et al.*, 2010), a secagem não é suficiente para manter a estabilidade do produto, principalmente devido à temperatura de transição vítreia. A transição vítreia é uma mudança de estado em alimentos (Leite *et al.*, 2005) que, ao atingir a temperatura de transição vítreia (T_g), sai do estado vítreo para o amorfo, tornando-o menos estável.

A água atua como plastificante nos alimentos, diminuindo sua T_g (Pittia e Sacchetti, 2008), assim como açúcares de baixo peso molecular, como frutose e glicose, uma vez que estes possuem baixas T_g (Roos e Drusch, 2016).

O processo de extração sólido-líquido visa a remoção de compostos solúveis de uma matriz sólida, resultando em uma massa denominada rafinado. Para isso é necessário o uso de um solvente, como o etanol, que permite a extração de uma gama de solutos. Além disso, por ser miscível em água, auxilia na interação com a água presente no alimento (Rayo-Mendez *et al.*, 2021).

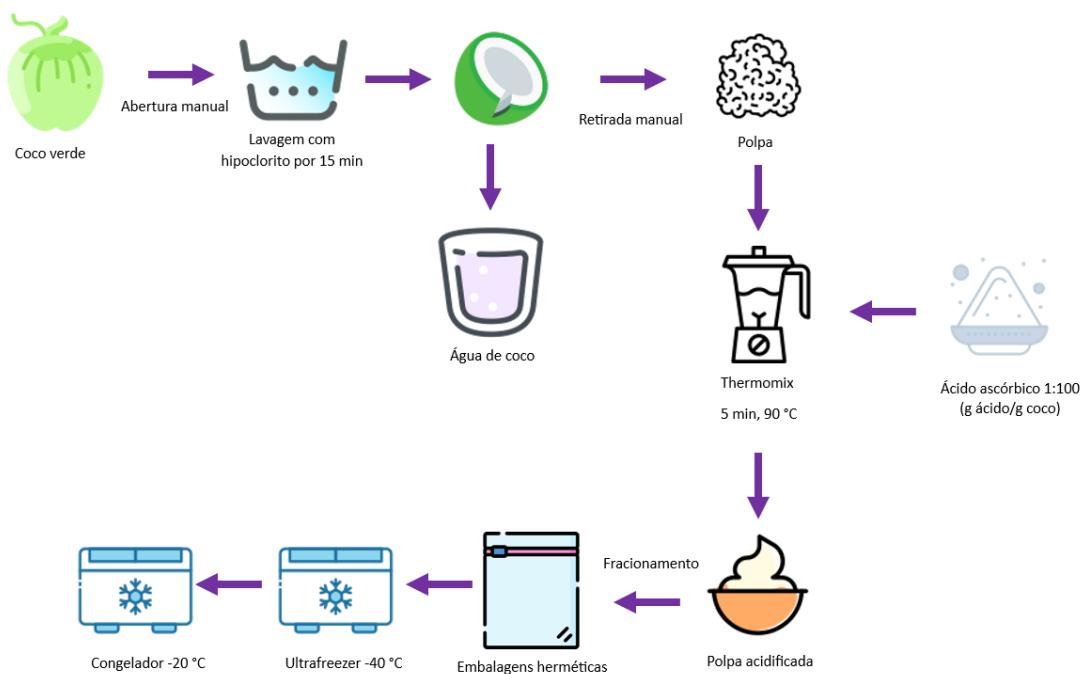
As variáveis do processo de extração sólido-líquido podem ser a temperatura, tempo de extração, velocidade de agitação e proporção entre sólidos e solvente (Zainol *et al.*, 2023). Rayo-Mendez *et al.* (2021) utilizaram o etanol em temperaturas de 25 e 65 °C, em proporções mássicas de 1:1, 1:2 e 1:3 (sólido: solvente) para extração de açúcares de polpa de banana. Roesler *et al.* (2007) utilizaram solução aquosa de etanol (5:95 v/v), em proporções mássicas de 1:3 (frutos: solução) para extrair açúcares de frutos do cerrado.

O objetivo deste trabalho foi estudar a extração sólido-líquidos dos açúcares presentes na polpa do coco verde, utilizando o etanol como solvente. Os rafinados foram analisados em relação ao teor de água, atividade de água, característica da partícula, propriedades térmicas, capacidades emulsificantes, espumantes e de absorção de água e óleo a fim de avaliar seu uso como um novo ingrediente estável à temperatura ambiente, com valor agregado e reduzindo o seu descarte no meio ambiente.

Material e Métodos

Os cocos verdes, provenientes do CEASA local, foram lavados em solução de hipoclorito por 15 min em lavador de legumes ATIR (Atir Brevettata, Itália). A água de coco foi extraída e o fruto partido com equipamento próprio para corte. A polpa foi retirada manualmente com auxílio de colheres e acidificada com ácido ascórbico (1 % m/m) (Chiroza *et al.*, 2021) para inativação das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PFO) presentes no coco e causadoras de escurecimento (Matsui, 2006). A polpa foi triturada e pasteurizada no Thermomix (Vorwerk, TM6, Alemanha) a 90 °C por 5 min em bateladas de 2 L, e fracionada em embalagens metalizadas de 1 kg, congelada no ultrafreezer (Klimaquip, UKI05, Brasil) a -40 °C e depois mantida em freezer doméstico (Metalfrio, Brasil) a -20 °C até uso posterior (Figura 1).

Figura 1 – Etapas da extração da polpa de coco verde.



Este projeto foi dividido em duas etapas. Na Etapa I, a polpa foi caracterizada em relação a umidade em estufa à vácuo (Tecnal, TE-395, Brasil) a 70 °C e vácuo de 100 mmHg (método 013/IV, IAL, 2008); proteínas pelo método de Kjeldahl modificado (método 036/IV, IAL, 2008); lipídeos pelo método de Bligh-Dyer (1959); açúcares redutores em glicose (método 038/IV, IAL, 2008); açúcares não redutores em sacarose (método 039/IV, IAL, 2008); fibras alimentares totais pelo método enzimático-gravimétrico utilizando kit de enzimas da Megazymes K-TDFR-100A (Proskey *et al.*, 1992); cinzas pela incineração em mufla (Quimis, Q.318.24, Brasil) à 550 °C (método 018/IV, IAL, 2008); carboidratos por diferença; atividade de água (Aw), utilizando leitor de atividade de água (Aqualab, série 3 TE, EUA); acidez titulável (método 016/IV, IAL 2008); pH, utilizando pHímetro (Gehaka, PG2000, Brasil) e teor de sólidos solúveis utilizando refratômetro (Hanna, HI96801, Romênia).

A polpa foi analisada de acordo com os padrões microbiológicos para alimentos, estabelecidos pela Instrução Normativa nº 161 de 2022 (ANVISA, 2022). A Tabela 1 mostra os limites para *Salmonella* em 25 g, *Escherichia coli*/g e Bolores e Leveduras/ g. A *Salmonella* foi analisada de acordo com BAM/FDA: 2016, *Escherichia coli* utilizando metodologia NMP APHA 9:2015 e Bolores e Leveduras de acordo com metodologia descrita em APHA 21:2015 (Silva *et al.*, 2017)

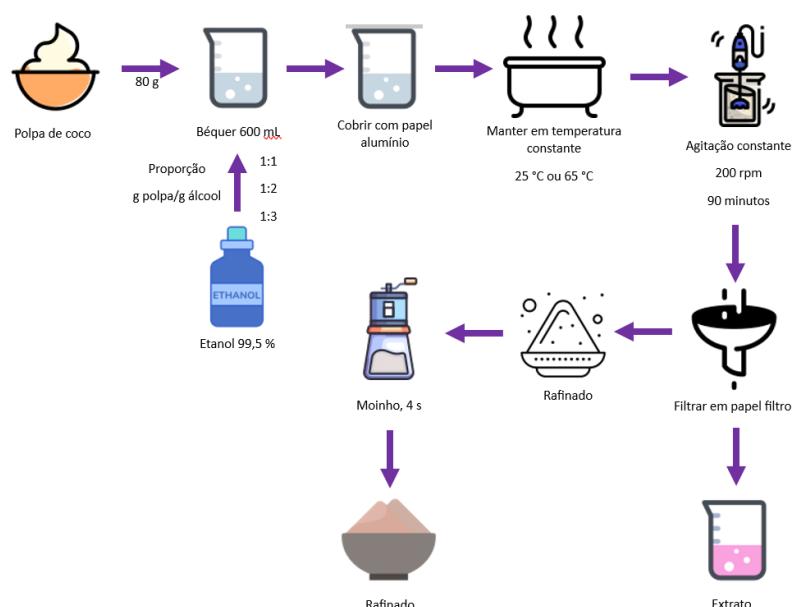
Tabela 1 - Plano de amostragem para polpas e purês de frutas de acordo com IN nº161/2022 (ANVISA, 2022).

Microrganismo	
<i>Salmonella</i> / 25g	n = 10; c = 0; m = Ausência
<i>Escherichia coli</i> / g	n = 5; c = 2; m = 10; M = 10 ²
Bolores e leveduras / g	n = 10; c = 1; m = 10 ³ ; M = 10 ⁴

* Em que: n – número de unidades amostrais; c – número de unidades amostrais toleradas com qualidade intermediária; m – limite microbiológico estabelecido (2 classes) e limite microbiológico de “qualidade aceitável” e “qualidade intermediária” (3 classes); M – limite microbiológico de “qualidade intermediária” e “qualidade inaceitável” (3 classes).

Na Etapa II foram estudadas as variáveis de processo na obtenção da polpa de coco verde sem açúcares por extração sólido-líquido da polpa de coco verde com etanol 99,5% (Anidrol) com razão massica de 1:1, 1:2 e 1:3 (sólido: solvente) e temperaturas de 25°C e 65°C (Figura 2). As extrações foram realizadas em triplicata por 90 min, sob agitação constante de 200 rpm utilizando agitador (IKA, RW 20 D S1, Alemanha). A fração sólida é denominada rafinado, e a fração líquida, extrato.

Figura 2 – Etapa II do Projeto, estudo da extração sólido-líquido de açúcares da polpa de coco verde e análises realizadas no extrato e rafinado.



Os extratos foram analisados em relação a umidade utilizando o método de Karl Fischer (método 014/IV IAL, 2008); açúcares redutores e totais utilizando método espectrofotométrico após reação com ácido dinitro-3,5 salicílico (DNS) (Vasconcelos *et al.*, 2013); densidade utilizando picnômetro (Labor Quimi, Brasil) previamente calibrado com água destilada; teor alcoólico pelo método de dicromato (Joslyn, 1970); massa seca, em que 2 g de amostra foram distribuídas em placas plásticas de 6,5 cm de diâmetro, dispostas em estufa de circulação de ar forçada (Ehik, 420-8D, Brasil) por 24 h a 40 °C. As análises foram realizadas em triplicata.

Os rafinados foram mantidos por 24 h em capela com exaustão de ar para a evaporação de etanol e armazenados em embalagens herméticas no dessecador. O material foi moído em moinho analítico (IKA, A11 Basic, Alemanha) por 4 s. Para a realização das análises, duas amostras de rafinado de cada condição de extração foram misturadas, de acordo com os valores de atividade de água medida em leitor de atividade de água (Aqualab, série 3 TE, EUA). Estas amostras foram analisadas em triplicata quanto à:

- cor no sistema Hunter Lab no colorímetro ColorQuest XE, (HunterLab Inc., EUA) com iluminante D65 e ângulo de abertura de 10° com o programa EasyMatchQC versão 4.77;
- capacidade espumante (CEP) de acordo com Bombara *et al.* (1994) com modificações, em que as amostras e o fermento químico (Royal) foram transferidos para provetas de 10 mL, na proporção 10:2 (amostra: fermento químico) e a água destilada, na proporção 2:4 (mistura de pós: água), e mantidos a 40 °C por 2 min (Figura 3). O resultado foi expresso por *overrun* % (Equação 1);

$$Overrun \ (\%) = \frac{(Volume \ espuma - Volume \ inicial)}{Volume \ inicial} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

- capacidade emulsificante (CEM) de acordo com Naczk *et al.* (1985) modificado. A amostra e água foram misturadas em tubos Falcon 50 mL, para formar solução proteica de 1 % (massa proteínas/volume de solução), agitada em vórtex por 10 s em agitador de tubos (Fanem, 251, Brasil). Foram adicionadas duas alíquotas de 7,5 mL de óleo de girassol (Liza), e agitado no Ultra Turrax (IKA, RW 20 D S1, Alemanha) por 30 s, a 14.000 rpm em cada adição. As amostras foram centrifugadas por 5 min a 1100 × g (Figura 3) em centrífuga (Fanem, Excelsa Baby II 206 – R, Brasil). O valor foi calculado pela Equação 2;

$$CEM = \frac{Volume \ da \ emulsão \ pós \ centrifugação \ (mL)}{Volume \ total \ da \ emulsão \ antes \ da \ centrifugação \ (mL)} \quad (\text{Eq. 2})$$

- absorção de água (CAA) e óleo (CAO) de acordo com Bencini (1986) modificado. Em que 0,25 g de amostra e 3,0 mL de água ou 1,5 mL de óleo foram adicionados a tubos Falcon 15 mL. As amostras foram homogeneizadas em vórtex (Fanem, 251, Brasil) por 30 s e tiveram seu pH medido. Foram colocadas em vórtex novamente por 90 s, e centrifugados por 30 min a 2.200 rpm × g em centrífuga (Fanem, Excelsa II 206 BL, Brasil). O sobrenadante foi retirado, e os tubos foram pesados. A capacidade de absorção de água e óleo foi determinada utilizando a Equação 3;

$$CAA \ ou \ CAO = \frac{(W_2 - W_1)}{W_0} \quad (\text{Eq. 3})$$

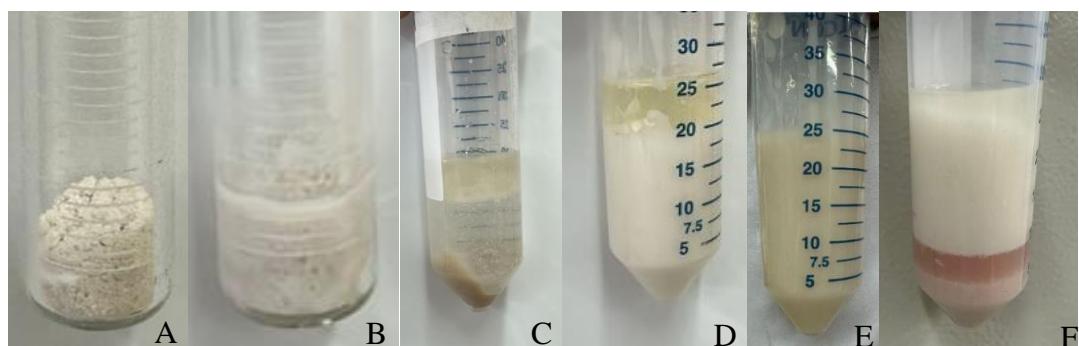
Em que W_2 é a massa dos tubos e sedimentos pós centrifugação, após a retirada do sobrenadante; W_1 a massa do tubo somada à massa da amostra seca; W_0 a massa de amostra seca.

- calorimetria exploratória diferencial (DSC) utilizando equipamento DSC (TA Instruments, Discovery DSC 25, EUA). Cerca de 10 mg de amostras foram colocadas em cadrinhos de alumínio de 40 µL com tampas herméticas, submetidas a um intervalo de temperatura de -90 a 115 °C a uma taxa de 10 °C/ min, vazão do gás purga nitrogênio de 50 mL/min, utilizando

um cadinho de alumínio vazio como referência. As análises foram realizadas em duplicata e a temperatura de transição vítreia (T_g) foi determinada pelo ponto médio da inflexão, assim como temperatura e entalpia de fusão. Os dados foram tratados no programa Trios versão 5.7.2 101 (TA Instruments, EUA);

- distribuição do tamanho de partícula por difração à laser no granulômetro (Bettersize, Bettersizer S3 Plus, China) e água como dispersante (com índice de refração 1,33). Utilizando o diâmetro equivalente em volume das partículas, foi determinado o percentual D_{10} , indicando que 10 % da massa da amostra possui tamanho menor que o valor de D_{10} , D_{50} e D_{90} foram determinados seguindo mesmos princípio de D_{10} (Bettersize Instruments, 2023).
- microscopia eletrônica de varredura (MEV), amostra foi metalizada com uma fina camada de ouro-paládio e analisada no microscópio eletrônico de varredura (Tescan, Vega LMU, Tchéquia), usando a técnica de elétrons secundários para fornecer topografia de superfície, com ampliações de 100 a 2000×;

Figura 3 – Capacidade espumante (A: antes de adicionar água e B: após o tempo sob aquecimento); Capacidade emulsificante (C: primeira adição de óleo, D: segunda adição de óleo, E: após agitação final e F: após centrífuga).



Foi feita a secagem da polpa de coco utilizando liofilizador (Terroni, LV 2000, Brasil), com espessura 0,8 cm durante 22 h, com rendimento de $(13,73 \pm 0,02) \%$. Após a liofilização, a amostra foi tratada e testada como descrito para os rafinados para efeito de comparação.

A análise estatística para os resultados obtidos foi realizada por meio do programa Minitab® 16.2.3. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey, com nível de confiança igual a 95 %, com o intuito de avaliar as diferenças significativas entre os tratamentos.

Resultados e Discussão

A polpa do coco verde apresentou $(84,57 \pm 0,05) \%$ de umidade, $(1,45 \pm 0,01) \%$ de proteínas, $(4,6 \pm 0,1) \%$ de lipídeos, $(0,98 \pm 0,01) \%$ de cinzas e 8,38 % de carboidratos por diferença, dos quais $(2,21 \pm 0,02) \%$ de açúcares redutores, $(4,05 \pm 0,04) \%$ de não redutores e $(1,33 \pm 0,01) \%$ de fibras. A Aw foi $(0,992 \pm 0,002)$, acidez titulável $(1,72 \pm 0,03) \text{ g de ácido lútrico/ 100 g}$, pH de $(4,39 \pm 0,01)$ e teor de sólidos solúveis $(8,9 \pm 0,5) \text{ }^{\circ}\text{Brix}$.

As análises microbiológicas da polpa foram negativas para *Salmonella*, e dentro dos padrões estabelecidos para *E. coli*, bolores e leveduras, estando em conformidade com a IN nº 161 de 2022 (ANVISA, 2022).

Os teores de água, açúcares redutores, açúcares não redutores, etanol e extrato seco, além da densidade dos extratos obtidos de proporções mássicas 1:1, 1:2 e 1:3 (polpa:etanol), em temperaturas 25 °C e 65 °C estão apresentados na Tabela 2.

A temperatura não afetou significativamente a remoção de água e o teor de etanol considerando as mesmas proporções polpa:etanol. Na condição 1:3, a temperatura não alterou significativamente nenhum parâmetro.

Os resultados para açúcares redutores e totais apresentaram diferenças significativas entre as temperaturas, com exceção da condição 1:3, demonstrando que o aumento de temperatura ocasionou maior retirada de açúcares. Este resultado está de acordo com Rayo-Mendez *et al.* (2021), em que a elevação da temperatura potencializou a remoção de açúcares em polpa de banana devido ao aumento da solubilidade dos sólidos solúveis.

Tabela 2 - Teores de água, extrato seco, etanol, açúcares redutores, açúcares totais e densidade dos extratos obtidos a partir de 1:1, 1:2 e 1:3 (polpa:etanol), a 25 °C e 65 °C.

	1:1 25 °C	1:1 65 °C	1:2 25 °C	1:2 65 °C	1:3 25 °C	1:3 65 °C
Água (%)	51 ± 2 ^A	53 ± 2 ^A	34 ± 2 ^B	34 ± 1 ^B	24 ± 1 ^C	25 ± 1 ^C
Ext. seco (g/100g)	3,9 ± 0,3 ^B	4,6 ± 0,3 ^A	2,3 ± 0,1 ^D	2,6 ± 0,2 ^C	1,72 ± 0,05 ^E	1,96 ± 0,01 ^E
Etanol (g/L)	413 ± 30 ^C	408 ± 11 ^C	574 ± 11 ^{AB}	548 ± 44 ^B	635 ± 8 ^A	645 ± 19 ^A
Aç. redutores (g/L)	14,6 ± 0,2 ^B	17,4 ± 0,9 ^A	7,2 ± 0,4 ^D	8,5 ± 0,4 ^C	4,5 ± 0,4 ^E	5,1 ± 0,3 ^E
Aç. totais (g/L)	20,9 ± 0,6 ^B	33 ± 1 ^A	13,5 ± 0,9 ^D	15 ± 1 ^C	9,7 ± 0,5 ^E	10,8 ± 0,4 ^E
Densidade (g/mL)	0,924 ± 0,004 ^B	0,937 ± 0,008 ^A	0,876 ± 0,002 ^C	0,880 ± 0,001 ^C	0,854 ± 0,001 ^D	0,855 ± 0,001 ^D

† médias com a mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente ($p>0,05$)

Os resultados das análises dos rafinados estão nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 – Atividade de água (Aw), parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , *overrun*, capacidade emulsificante (CEM), capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) dos rafinados.

	1:1 25 °C	1:1 65 °C	1:2 25 °C	1:2 65 °C	1:3 25 °C	1:3 65 °C
<i>Aw</i>	0,32 ± 0,02 ^A	0,26 ± 0,01 ^B	0,27 ± 0,01 ^B	0,27 ± 0,01 ^B	0,274 ± 0,004 ^B	0,257 ± 0,003 ^B
Cor						
L^*	65,4 ± 0,2 ^A	59,0 ± 0,4 ^C	62,4 ± 0,1 ^B	55,1 ± 0,3 ^D	62,5 ± 0,3 ^B	55,3 ± 0,2 ^D
a^*	11,04 ± 0,07 ^B	9,51 ± 0,04 ^E	11,71 ± 0,09 ^A	10,36 ± 0,03 ^C	10,21 ± 0,02 ^D	10,43 ± 0,07 ^C
b^*	19,6 ± 0,1 ^A	12,4 ± 0,1 ^F	17,7 ± 0,1 ^C	12,9 ± 0,1 ^E	18,0 ± 0,2 ^B	13,8 ± 0,1 ^D
<i>Overrun (%)</i>	9 ± 6 ^A	13 ± 3 ^A	15 ± 3 ^A	20 ± 6 ^A	19 ± 3 ^A	20 ± 6 ^A
CEM	42 ± 2 ^B	60 ± 4 ^A	57,5 ± 0,8 ^A	55 ± 2 ^A	62 ± 1 ^A	56 ± 3 ^A
CAA	5,2 ± 0,2 ^A	6,1 ± 0,6 ^A	6,2 ± 0,3 ^A	6,1 ± 0,3 ^A	5,9 ± 0,3 ^A	5,9 ± 0,5 ^A
CAO	1,17 ± 0,04 ^C	2,0 ± 0,1 ^A	1,30 ± 0,02 ^{BC}	1,21 ± 0,04 ^{BC}	1,33 ± 0,03 ^B	1,23 ± 0,01 ^{BC}

† médias com a mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente ($p>0,05$)

Os valores de Aw , com exceção da condição 1:1, não foram influenciados pela temperatura. Em relação aos parâmetros de cor L^* (luminosidade), a^* ($-a^*$ verde + a^* vermelho) e b^* ($-b^*$ azul + b^* amarelo), o aumento da temperatura diminuiu significativamente os seus valores. Tal redução indica um escurecimento e tons menos avermelhados e amarelados nas amostras, conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Rafinados 1:1 25 °C (A); 1:1 65 °C (B); 1:2 25 °C (C); 1:2 65 °C (D); 1:3 25 °C (E); 1:3 65 °C (F).



A temperatura e proporções polpa:etanol não afetaram significativamente o *overrun* e a capacidade de absorção de água em nenhuma condição.

O rafinado obtido na condição 1:1 25 °C apresentou menor valor de capacidade emulsificante, enquanto as outras amostras apresentaram valores sem diferenças significativas, explicitando que a temperatura não afetou a capacidade emulsificante nas condições 1:2 e 1:3.

A capacidade de absorção de óleo das amostras não apresentou diferenças significativas entre as condições 1:2 e 1:3, independentemente da temperatura. A condição 1:1 65 °C obteve valor maior às demais amostras, enquanto a amostra 1:1 25 °C obteve um valor significativamente menor de todas as outras amostras.

A polpa liofilizada apresentou ($0,214 \pm 0,006$) de Aw , (83 ± 2) de L^* , ($2,46 \pm 0,01$) de a^* , ($8,66 \pm 0,05$) de b^* , ($11,1 \pm 0$) % de *overrun*, (60 ± 3) de capacidade emulsificante, ($7,5 \pm 0,3$) de capacidade de absorção de água e ($1,84 \pm 0,06$) de capacidade de absorção de óleo. Santana (2012) reportou para polpa de coco verde liofilizada 267 % de *overrun* e 175 g óleo/ g de capacidade emulsificante. Diferenças nos valores podem ser explicadas pelo uso de diferentes métodos, processos e diferente safras. Segundo García-Vaquero *et al.* (2017) quanto maior o pH, maior a capacidade espumante de proteínas de algas, indicando que esta propriedade deve ser melhor investigada em diferentes pH.

Os rafinados apresentaram menor capacidade emulsificante, com exceção da condição 1:3 25°C em relação à amostra liofilizada, enquanto a amostra 1:1 25 °C, dentre todos os rafinados, foi o único a apresentar capacidade espumante menor que a polpa liofilizada. Todas as amostras apresentaram menor capacidade de absorção de água e apenas a amostra 1:1 65 °C apresentou maior capacidade de absorção de óleo em relação à polpa liofilizada.

Tabela 4 – Temperatura inicial de fusão (T_{onset}), Temperatura pico de fusão (T_{peak}), Entalpia de fusão (H) e temperatura de transição vítreia (T_g).

	1:1 25 °C	1:1 65 °C	1:2 25 °C	1:2 65 °C	1:3 25 °C	1:3 65 °C
T_{onset} (°C)	$10,8 \pm 0,3^C$	$10,5 \pm 0,3^C$	$11,6 \pm 0,1^{BC}$	$11,6 \pm 0,00^{BC}$	$13,2 \pm 0,6^A$	$12,5 \pm 0,4^{AB}$
T_{peak} (°C)	$25,6 \pm 0,1^C$	$25,4 \pm 0,1^C$	$26,0 \pm 0,1^B$	$26,27 \pm 0,01^B$	$27,1 \pm 0,1^A$	$27,16 \pm 0,04^A$
H (J/g)	$51,3 \pm 0,5^{AB}$	44 ± 1^{CD}	51 ± 2^A	47 ± 1^{BC}	47 ± 1^{BC}	$43,2 \pm 0,1^D$
T_g (°C)	$52,2 \pm 0,2^A$	$50,7 \pm 0,4^A$	$49,6 \pm 0,4^A$	$49,7 \pm 0,4^A$	52 ± 2^A	51 ± 1^A

† médias com a mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente ($p>0,05$)

A amostra da polpa liofilizada foi desengordurada com hexano e as frações desengordurada e a gordura foram submetidas ao mesmo programa de temperatura no DSC. A entalpia de fusão da fração gordura foi de ($86,9 \pm 0,1$) J/g e T_{peak} de 25,5 °C.

Na fração desengordurada, sem a presença do pico de fusão da gordura, uma transição de segunda ordem ficou evidente, com valor de -16 °C. Considerando a presença de açúcares na amostra liofilizada, esta transição pode representar a transição vítreia. Ao mesmo tempo, este resultado sinaliza a importância de analisar os rafinados desengordurados, para melhor determinação de sua transição vítreia.

Não houve diferenças significativas nos valores de T_g entre as amostras, demonstrando que tanto a temperatura quanto as proporções polpa:etanol não afetaram este parâmetro, indicando que não houve alteração no teor proteico das amostras.

Os rafinados apresentaram transição de segunda ordem próxima a -20°C, o que a princípio poderia ser classificado como T_g' , ou seja, temperatura de transição vítreia de um soluto em uma solução concentrada pela máxima formação de gelo (Ribeiro e Seravalli, 2007), contudo as amostras não apresentaram pico de fusão para água. Ademais, os rafinados devem ser analisados quanto ao teor de água e etanol, uma vez que a mistura influencia no ponto de fusão e na T_g' .

Segundo Paroutoglou *et al.* (2022), a entalpia de fusão do óleo de coco é (105 ± 11) J/g e a temperatura de fusão ($24,5 \pm 1,5$) °C. Assim as T_{onset} e T_{peak} indicam a fusão das gorduras presentes nos rafinados da polpa de coco verde. A partir da entalpia da amostra de gordura, foi possível estimar que os rafinados apresentam teor de gordura entre 0,5 e 0,6 g gordura/ g rafinado, e que os maiores

valores são para os extratos obtidos nas menores temperatura, o que pode ser observado nas entalpias de fusão na Tabela 4.

Tabela 5 – Valores de D_{10} , D_{50} e D_{90} dos rafinados.

	1:1 25 °C	1:1 65 °C	1:2 25 °C	1:2 65 °C	1:3 25 °C	1:3 65 °C
D_{10}	10,7 ± 0,5 ^C	11,63 ± 0,2 ^C	13,8 ± 0,5 ^A	14,6 ± 0,2 ^A	12,8 ± 0,3 ^B	12,7 ± 0,2 ^B
D_{50}	111 ± 7 ^B	107 ± 5 ^B	127 ± 7 ^A	111 ± 6 ^B	139 ± 6 ^A	109 ± 1 ^B
D_{90}	456 ± 37 ^B	390 ± 26 ^B	533 ± 40 ^A	438 ± 25 ^B	568 ± 10 ^A	416 ± 16 ^B

† médias com a mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente ($p>0,05$)

A mudança de temperatura não afetou significativamente os valores de D_{10} em nenhuma proporção. Em relação aos parâmetros D_{50} e D_{90} , as amostras 1:2 25 °C e 1:3 25 °C não apresentaram diferenças significativas entre si. A Figura 5 mostra a distribuição dos tamanhos de partículas dos rafinados e a Figura 6 as imagens obtidas pelo MEV com ampliação 1000×.

Figura 5 - Distribuição do tamanho de partícula dos rafinados obtida no granulômetro à laser.

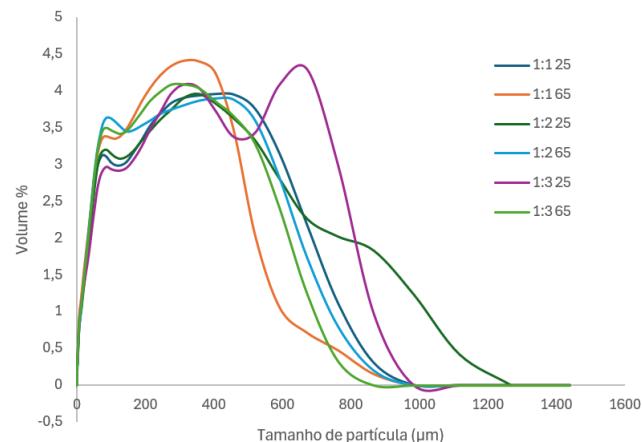
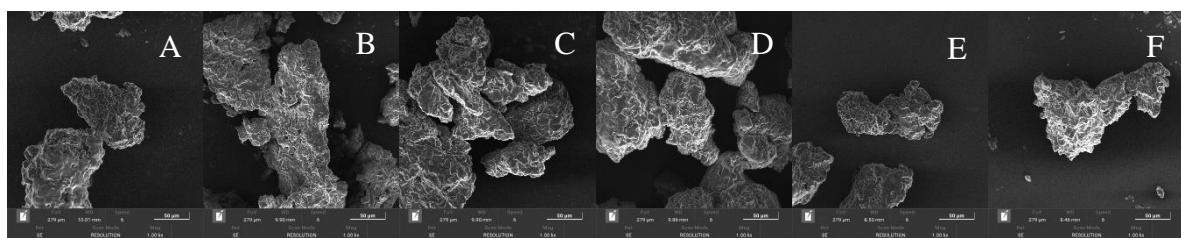


Figura 6 – Imagens dos rafinados 1:1 25 °C (A); 1:1 65 °C (B); 1:2 25 °C (C); 1:2 65 °C (D); 1:3 25 °C (E); 1:3 65 °C (F) obtidos por MEV com ampliação 1000×.



Conclusão

O rafinado na condição 1:1 65 °C mostrou-se promissor, apresentando maior capacidade emulsificante e capacidade de absorção de óleo. Tratando-se de uma condição 1:1, há menor gasto de etanol na extração, diminuindo o custo total da operação e de geração de resíduos, sem que ocorra perdas em propriedades tecnológicas do ingrediente. Contudo, ao analisar resultados da análise de DSC, percebe-se que há grande perda de gordura em decorrência do aquecimento, evidenciando a necessidade de estudos posteriores.

Para projetos futuros indicam-se alterações no método de secagem dos rafinados, sugerindo que seja feito em estufa, assim como no teste de extrato seco; no teste de capacidade espumante,

aumentando o volume de água utilizado a fim de facilitar a visualização do volume de espuma formado e a investigação do rafinado desengordurado para confirmação dos parâmetros térmicos. Espera-se a aplicação do ingrediente em produtos de panificação como um possível substituto a emulsificantes sintéticos.

Agradecimentos

À FAPESP, processo 2020/ 09163-3 e ao Laboratório de Materiais de Construção Civil.

Referências Bibliográficas

- Assa, R. R.; Konan, K. J. L.; Prades, A.; Nemlin, J.; Koffi, E. (2010). Physicochemical characteristics of kernel during fruit maturation of four coconut cultivars (*Cocos nucifera L.*). *African Journal of Biotechnology*, v.9, p.2136-2144, Academic Journals.
- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2022) Instrução Normativa IN N° 161 de 1 de julho de 2022, DOU, Imprensa Nacional.
- Balachandran, C.; Arumughan, C. (1995). Biochemical and cytochemical transformations in germinating coconut (*Cocos nucifera Linn*). *Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)*, v.72, ed.11, p.1385-1391.
- Bencini, M.C. (1995). Functional Properties of Drum-Dried Chickpea (*Cicer arietinum L.*) Flours. *Food Science*, v.51, ed.6, p.1518-1521.
- Bettersize Instruments (2023) Beginner's Guide to Particle Analysis. Disponível em: <<https://www.bettersizeinstruments.com/learn/knowledge-center/beginner-guide-to-particle-analysis/>>. [Acesso em 27/10/2025].
- Bligh, E.G; Dyer W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry Physiology*, v.37, n.8.
- Bombara, N.; Pilosof, A.M.R.; Añón, M.C. (1994). Mathematical Model for Formation Rate and Collapse of Foams from Enzyme Modified Wheat Flours. *Journal of Food Science*, v.59, ed.3, p.626-628.
- Borin, E.C.S.; da Silva, F.P.; C, L.; Uemura, M.T.T. (2021). Estudo da substituição do emulsificante pela polpa do coco verde em bolo sem glúten. Trabalho de Conclusão de Curso do CEUN IMT.
- Carandang, E.V. (2008). Health benefits of virgin coconut oil explained. *Indian Journal of Coconut Studies*, v.31
- Chiroza, B.D.; Silva, G.R.; Porto, L.C.; Roque, T.O. (2021). Avaliação do desempenho da polpa do coco verde em substituição ao emulsificante em pão de forma sem glúten. Trabalho de Conclusão de Curso do CEUN IMT.
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025). Compare Data. Disponível em:< <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>> [Acesso em 25/2/2025].
- García-Vaquero, M.; Lopez-Alonso, M.; Hayes, M. (2017). Assesment of the functional of protein extracted from the brown seaweed *Himanthalia elongata* (Linnaeus) S. F. Gray. *Food Research International*, v. 99, p. 971-978.
- IAL, Instituto Adolfo Lutz (2008). *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físicos-químicos para análises de alimentos*, ed. 4.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025). Produção de coco-da-baía. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coco-da-baia/br>>. [Acesso em 15/10/2025].
- Joslyn, M.A. (1970). Alcoholometry. *Methods in Food Analysis*, ed.2, p.447-474. Academic Press.
- Leite, J.T.C.; Murr, F.E.X.; Park, K. J. (2005). Transições de fases em alimentos: influência no processamento e na armazenagem. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.7, p.83-96.
- Matsui, K.N. (2006). Inativação das enzimas presentes na água de coco verde (*Cocos nucifera L*) por processo térmico através de microondas. Tese de doutorado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

- Muhardina, V.; Uttapap, D.; Wandee, Y.; Kotatha, D.; Udchumpisai, W.; Rungsardthong, V. (2023). Modified coconut pulp particles: The potential candidate for stabilizing pickering emulsions. *Advanced Power Technology*, v.34, ed.10, artigo 104198.
- Naczk, M.; Diosady, L.L.; Rubin, L.J. (1985). Functional Properties of Canola Meals Produced by a Two-phase Solvent Extraction System. *Food Science*, v.50, ed.6, p.1685-1688.
- Naimi, S.; Viennois, E.; Gewirtz, A.T.; Chassaing, B. (2021). Direct impact of commonly used dietary emulsifiers on human gut microbiota. *Microbiome*, v.9, artigo 66.
- Oliveira, J.C.G. (2017). Processos de valorização dos resíduos do coco. Dissertação Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Paroutoglou, E.; Fojan, P.; Gurevich, L.; Afshari, A. (2022). Thermal Properties of novel phase-change materials based on tamanu and coconut oil encapsulated in electrospun fiber matrices. *Sustainability*, ed. 14, v.12, artigo 7432.
- Pittia, P.; Sacchetti, G. (2008). Antiplasticization effect of water in amorphous foods. A review. In Finglas, P (ed), *Food Chemistry*, v.106, p.1417-1427.
- Prosky, L.; Asp, N.G.; Schweizer, T.F.; DeVries, J.W.; Furda, I. (1992). Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products: Collaborative study. *Journal of the Association of the Official Analytical Chemists*, v.75, p.360-367.
- Rayo-Mendez, L.M.; Koshima C.C.; Filho, P.A.P.; Tadini, C.C.; (2021). Recovery of non-starch polysaccharides from ripe banana (*Musa cavendishii*). *Journal of Food Engineering*, V.292, artigo 110356.
- Ribeiro, E.P.; Seravalli E.A.G. (2007). Química de Alimentos, ed 2, Editora Blucher.
- Roesler, R.; Malta L.G.; Carrasco, L.C.; Holanda, R.B.; Sousa, C.A.S.; Pastore G.M. (2007). Atividade Antioxidante de Frutas do Cerrado. *Food Science and Technology*, v.27.
- Roos, Y.H.; Drusch, S. (2016). Phase Transitions in Foods. Elsevier, ed.2.
- Santana, I.A. (2012). Avaliação química e funcional de polpa de coco verde e aplicação em gelado comestível. Dissertação de mestrado do CEUN-EEM.
- Santoso, U.; Kubo, K.; Ota, T.; Tadokoro, T.; Maekawa. (1996). Nutrient composition of kopyor coconuts (*Cocos nucifera* L.). *Food Chemistry*, v.57, ed.2, p.299-304.
- SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (2016). O cultivo e o mercado do coco verde. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde,3aba9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD#:~:text=Usos%20e%20Mercado-,Usos,fluidos%20para%20freio%20de%20avi%C3%A3o>>. [Acesso em 24/3/2025].
- Silva, N.D.; Junqueira, V.C.A.; Silveira, N.F.D.A.; Taniwaki, M.H.; Gomes, R.A.R.; Okazaki, M.M. (2017) Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água. Blucher.
- Vasconcelos, N.M.; Pinto, G.A.S.; Aragão, F.A.S. (2013). Determinação de Açúcares Redutores pelo ácido 3,5-Dinitrosalicílico: Histórico do Desenvolvimento do Método e Estabelecimento de um Protocolo para o Laboratório de Bioprocessos. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.88, ed.1 Embrapa Agroindústria Tropical.
- Zainol, N.; Aziz, N.H.; Baharudin, A.S. (2023). Influence of agitation and solvent percentage on the extraction of phytochemical compound from *Asystasia gangetica*. *Food Chemistry Advances*, v.3, artigo 100538.