



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

TECNOLOGIA ENZIMÁTICA APLICADA AO BAGAÇO DE MAÇÃ: UMA OPÇÃO PARA AMPLIAR SUA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS

J. Z. Campos¹, R.C. Rodrigues², R. C. S. Thys³

1-Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – CEP: 91509-900 – Porto Alegre – RS – Brasil, Telefone: 55 (51) 33087789– e-mail: (zanini265@gmail.com)

2- Departamento de Tecnologia de Alimentos - Alimentos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – CEP: 91509-900 – Porto Alegre – RS – Brasil, Telefone: 55 (51) 33087789– e-mail: (rafaelcrodrigues@ufrgs.br)

3 – Departamento de Tecnologia de Alimentos - Alimentos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – CEP: 91509-900 – Porto Alegre – RS – Brasil, Telefone: 55 (51) 33087789– e-mail: (roberta.thys@ufrgs.br)

RESUMO – Diversos resíduos agroindustriais têm sido avaliados para uso como ingredientes na indústria de alimentos. No estado do Rio Grande do Sul, o bagaço de maçã (BM) é um exemplo de resíduo em abundância, que tem em sua composição celulose (40%), açúcares (30%), sendo também rico em pectina (6-18%). Esta pesquisa analisou a hidrólise enzimática do bagaço de maçã, através das enzimas pectinase, celulase e a combinação destas, em períodos de 4 ou 20 horas, com intuito de gerar um ingrediente rico em açúcares redutores (AR). Após 20 horas de tratamento, o teor de AR aumentou em quase 6 vezes (de ~106mgAR/gBM para ~594 mgAR/gBM), enquanto que em 4 horas de hidrólise, o tratamento com a enzima pectinase pura apresentou o melhor resultado (~370 mgAR/gBM). O produto gerado após a hidrólise apresentou potencial para uso como ingrediente de dulçor, trazendo mais saudabilidade e sustentabilidade à indústria de alimentos.

ABSTRACT – Various agro-industrial residues have been evaluated for use as ingredients in the food industry. In the state of Rio Grande do Sul, apple pomace (AP) is an abundant example of a residue that contains cellulose (40%), sugars (30%), and is also rich in pectin (6-18%). This research analyzed the enzymatic hydrolysis of apple pomace using pectinase, cellulase, and a combination of these enzymes over periods of 4 or 20 hours, to generate an ingredient rich in reducing sugars (RS). After 20 hours of treatment, the RS content increased by nearly 6 times (from approximately 106 mg RS/g AP to approximately 594 mg RS/g AP), while after 4 hours of hydrolysis, the treatment with pure pectinase yielded the best result (approximately 370 mg RS/g AP). The product generated post-hydrolysis demonstrated potential for use as a sweetness ingredient, contributing to enhanced health benefits and sustainability in the food industry.

PALAVRAS-CHAVE: bagaço de maçã, açúcar redutor, novo ingrediente, pectinase, celulase.



KEYWORDS: apple pomace; reducing sugar; new ingredient; pectinase; cellulase.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento enzimático de bagaços provenientes da agroindústria tem sido objeto de crescente interesse entre pesquisadores, visto seu potencial para ampliar as aplicações desses subprodutos, que frequentemente são subvalorizados. Esses resíduos agroindustriais, como o bagaço de maçã, são ricos em biopolímeros como celulose e pectina, e a utilização de enzimas específicas, como pectinases e celulases, pode desempenhar um papel crucial na transformação desses compostos estruturais em açúcares simples, que são mais facilmente integrados em processos industriais e alimentares (Silva, 2021).

As pectinases catalisam a degradação da pectina, um polissacarídeo fundamental presente nas paredes celulares das plantas, enquanto as celulases atuam sobre a celulose, um dos componentes mais abundantes da biomassa vegetal. Ambas as enzimas facilitam a hidrólise das ligações glicosídicas, promovendo a conversão de açúcares não redutores, como a pectina e a celulose, em açúcares redutores, como frutose e glicose. Essa transformação é particularmente importante porque açúcares redutores têm um papel essencial na eficiência de fermentação e na sweetening em diversos produtos alimentícios (Dornemann, 2016).

O presente estudo visa avaliar a eficácia do tratamento enzimático do bagaço de maçã por meio da quantificação do teor de açúcares redutores resultantes da hidrólise enzimática. A expectativa é que um aumento significativo na concentração de açúcares redutores após o tratamento evidencie a viabilidade dessas enzimas na otimização do uso do bagaço de maçã, posicionando-o como um ingrediente promissor para a substituição do açúcar em diversos produtos alimentícios. Além disso, tal abordagem não apenas contribuiria para a redução do desperdício na agroindústria, mas também fomentaria a produção de alimentos mais saudáveis e sustentáveis, alinhando-se às tendências atuais de consumo consciente e aproveitamento dos recursos naturais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção e caracterização do bagaço de maçã desidratado e moído

O BM (dado pela Naturasuc Industria e Comercio Ltda), constituído pela casca, sementes e talos da maçã, foi entregue congelado, sendo posteriormente descongelado (5°C/24 horas) e disponibilizado nas bandejas do desidratador (DAS Desidratadores, DS600), com circulação



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

forçada de ar. A secagem foi realizada à 60 °C, até peso constante (~4 horas). Após secagem, o BM foi moído em moinho de facas (SL-31, Solab) e armazenado em embalagens plásticas.

A caracterização do BM ocorreu através das análises de CRA e CRO (capacidade de retenção de água e óleo, respectivamente) (Begum *et al.*, 2023), cor (Delgado-Nieblas *et al.*, 2012), composição centesimal (AOAC, 1996; Brasil (2008)) e granulometria.

2.2 Tratamento enzimático do bagaço de maçã

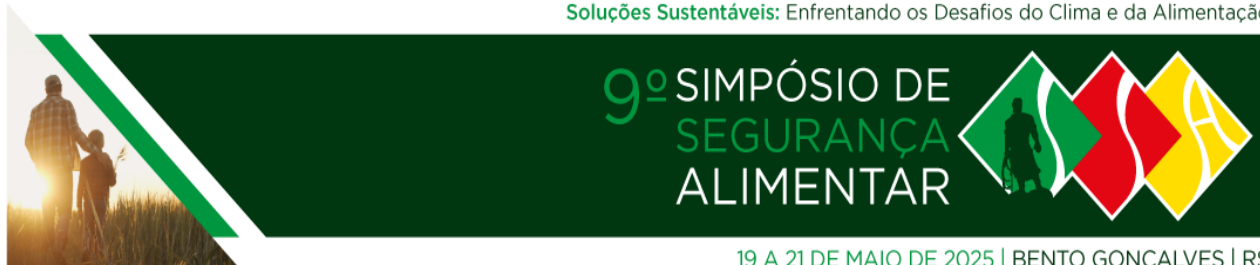
O tratamento enzimático foi realizado com o bagaço de maçã desidratado e moído. Foram avaliados os efeitos das enzimas pectinase (Novozym® 33095), celulase (Celluclast® 1.5) e a combinação de ambas (1:1). O experimento foi conduzido com três variáveis: o tempo de tratamento de 4 e 20 horas, a quantidade de enzima aplicada: 25 µL de pectinase ou celulase e 12 µL da combinação de ambas as enzimas e a quantidade de solução tampão para solubilizar a amostra 5,0, 7,5 e 10 mL. O bagaço de maçã foi pesado (0,5 g), disposto em erlenmeyers e adicionado do tampão de acetato de sódio e ácido acético glacial (pH 5) e da(s) enzima(s). Além disso, foi avaliada a razão sólido:líquido (massa de bagaço:tampão acetato).

As amostras foram colocadas em banho aquecido à temperatura de 40 °C, durante os tempos definidos no experimento para hidrólise de 4 ou 20 horas. Às amostras controles não foram adicionadas enzimas, sendo constituídas apenas do bagaço de maçã e da solução tampão. Para as amostras acrescidas da combinação de enzimas, ressalta-se que foi realizada a adição de 12 µL de cada enzima da combinação.

2.3 Análise de açúcares redutores

A determinação dos açúcares redutores foi feita através do método de ácido dinitrosalicílico (DNS), utilizando uma curva padrão de glicose. Para tanto, as amostras iniciais e após a hidrólise enzimática foram previamente diluídas. Das soluções diluídas das amostras coletou-se 1 mL e acrescentou-se 1 mL do reagente DNS. Em seguida, as amostras foram colocadas em um banho a 100 °C por 5 minutos, seguido de resfriamento em banho de gelo. A seguir, as amostras foram lidas em espectrofotômetro à 540nm. Os valores de absorbância de cada amostra foram utilizados para realizar o cálculo da concentração de AR através da curva padrão.

2.5 Análise estatística



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

Os resultados foram analisados estatisticamente por ANOVA e Teste Tukey, com nível de significância de 5%, através do software Statistica 13.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

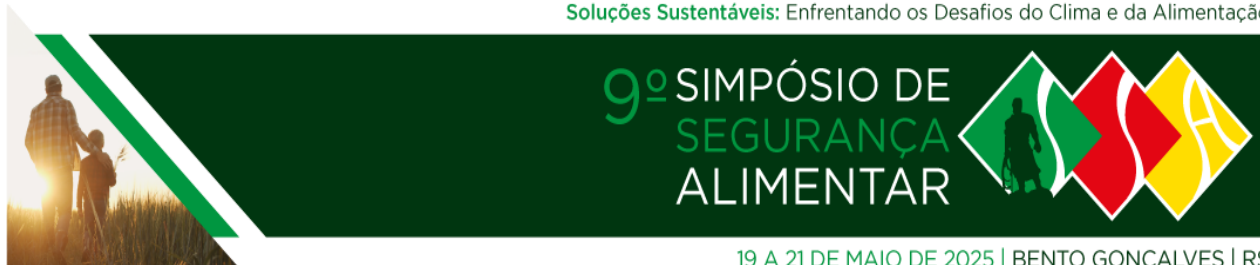
A umidade final do BM foi de 7%, após 4 horas de secagem. Após moagem, observou-se que a granulometria da amostra foi superior a 0,84 mm (peneira *mesh* 20) e inferior à 2 mm (peneira de *mesh* 9). A fração de menor granulometria (80% da amostra) foi mais clara ($L^* = 58,8$) e amarelada ($b^* = 27,1$) em comparação à de maior granulometria ($L^* = 53,8$ e $b^* = 26,2$). Apesar das diferenças estatísticas nas colorações, eram parecidas a olho nu. Quando ambas as frações foram combinadas, a CRA foi de 13,95 g H₂O/g matéria seca e a CRO de 8,36 g óleo/g matéria seca. Silva (2021) obteve valores inferiores de CRA (8,8 g H₂O/g matéria seca) e CRO (6,8 g óleo/g matéria seca). Uma alta CRA é desejada pois auxilia a atividade da enzima (Mutlu, Kahraman e Öztürk, 2017). Quanto à composição centesimal do BM (Tabela 1) observa-se que o processo de secagem aumentou os teores de cinzas, proteínas e carboidratos. Não foram determinados os valores de fibras alimentares totais para o bagaço in natura, no entanto, o valor encontrado para o bagaço desidratado comprova seu potencial para aplicação como ingrediente funcional (alto conteúdo de fibras).

Tabela 1 - Composição centesimal do BM in *natura* e desidratado.

	BM in natura	BM desidratado
Umidade	81,7±2,2 ^a	8,7±0,3 ^b
Proteínas	1,17±0,03 ^b	6,16±0,14 ^a
Cinzas	0,23±0,04 ^b	1,15±0,04 ^a
Fibras Totais	-	53,65±1,6 ^b
Lipídeos	0,82±0,07 ^b	3,42±0,15 ^a
Carboidratos	16,3±1,3 ^a	81,7±1,4 ^a

*Média ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes em uma mesma linha apresentam diferenças significativas.

A Tabela 2 apresenta os resultados do tratamento enzimático realizado no BM com as diferentes enzimas e diferentes tempos de hidrólise.



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

Tabela 2 - Resultados dos tratamentos enzimáticos do bagaço de maçã com diferentes enzimas e em diferentes tempos.

Tratamentos	Razão S/L (g/mL)	Concentração açúcar redutor (mg AR/g BM)	
		4 h de hidrólise	20 h de hidrólise
Controle- sem enzima (C5)	0,5:5,0	73,3 ±13,8CDb	106,5 ±0,1Ca
Controle- sem enzima (C7,5)	0,5:7,5	66,4 ±0,6Db	126,3 ±51,1Ca
Controle- sem enzima (C10)	0,5:10	71,59 ±8,2Da	105,1 ±29,1Ca
Pectinase (P5)	0,5:5,0	209,1 ±18Ca	291,9 ±108,2Ba
Pectinase (P7,5)	0,5:7,5	370,6 ±67,8 ±Aa	386,9 ±172,5Ba
Pectinase (P10)	0,5:10	178,3 ±22,4BCb	303,2 ±8,3Ba
Celulase (C5)	0,5:5,0	107,4 ±10,3Cb	161,14 ±6,6a
Celulase (C7,5)	0,5:7,5	149,9 ±16,7Bb	239 ±63,6Ba
Celulase (C10)	0,5:10	130,9 ±10,2Cb	229,1 ±24Ba
Pectinase + Celulase (PC5)	0,5:5,0	242,4 ±6,6Bb	594,3 ±32,7Aa
Pectinase + Celulase (PC7,5)	0,5:7,5	287,1 ±42,6ABb	382,8 ±187,7Ba
Pectinase + Celulase (PC10)	0,5:10	197,6 ±37,2BCa	367,6 ±168,5Ba

*Média ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na linha apresentam diferenças significativas ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na coluna apresentam diferenças significativas ($p < 0,05$). Razão S/L: razão sólido /líquido (massa de bagaço:tampão acetato pH5).

A hidrólise de 4 horas mostrou que a enzima pectinase gerou o melhor resultado (~370mgAR/gBM), quando o a razão S/L foi de 0,5:7,5 (P7,5). O tratamento realizado com a combinação de pectinase e celulase, para a mesma razão S/L obteve resultado igual estatisticamente. Ambos os tratamentos aumentaram consideravelmente o teor de AR do bagaço. resultado 3 x maior do apresentado pelos tratamentos sem uso de enzimas (C5, C7,5 e C10). Para a hidrólise de 20h, o tratamento PC5 foi o melhor dentre todos os tratamentos. O aumento gerado no teor de AR/gBM foi de aproximadamente seis vezes, sendo o maior valor encontrado, dentre todos os tratamentos e tempos de hidrólise.

O aumento considerável no teor de açúcares redutores no bagaço de malte permite concluir que o mesmo poderia ser um potencial agente de dulçor para a indústria de alimentos, assim como ser utilizados em processos fermentativos, para a produção de compostos biotecnológicos (Holfani et al., 2020). O resultado do presente trabalho foi superior ao encontrado por De Souza e



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

colaboradores (2023), onde após hidrólise ácida do bagaço de maçã, um aumento muito pequeno no teor de açúcares redutores entre o resíduo não hidrolisado (de $87,2 \pm 9,0$ à $95,5 \pm 15,2$ gAR/L) foi alcançado.

4. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados neste estudo permitem considerar a hidrólise enzimática como uma ferramenta interessante para aumentar o teor de açúcares redutores do bagaço de maçã. A combinação entre as enzimas pectinase e celulase mostrou-se mais efetiva, dentre os tratamentos utilizados. As próximas etapas do trabalho serão aplicar o produto hidrolisado em produtos de panificação e verificar o seu efeito como substituinte de açúcar e fonte de fibras.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists**. 16th Ed. Arlington, Virgínia, USA : AOAC, 1996. 1298p.

BEGUM, R., CHOWDHURY, M. A. F., HASAN, M. R., RAHMAN, M. F., RAHMAN, M. H., & ALIM, M. A. Efficacy of freeze-dried carrot pomace powder in improving the quality of wheat bread. **Food Research**, v. 7, 2023, p. 11–22.

DE SOUZA, N. M., BELLINI, J. R., SOUSA, D. DE A., BROD, F. C. A., MARIOTTO, S., & DA SILVA, R. O. (2023). Eficiência da hidrólise ácida e explosão a vapor na liberação de pentoses e hexoses de resíduos agroindustriais. *Revista Contemporânea*, 3(8), 12078–12095. Disponível em : <https://doi.org/10.56083/RCV3N8-117>

DOURADO, C. P., TOZATTI, P., STOSKI, J., DE FREITAS, D. C., NOVELLO, D., & BEZERRA, J. R. M. V.. Cookie added to apple pomace flour: chemical and sensory characterization. **Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde**, v. 1, 2014, p. 27-40.

HOUFANI, A. A.; ANDERS, N.; SPIESS, A. C.; BALDRIAN, P. & BENALLAQUA, S.; *Biomass Bioenergy*, 2020,134, 105481. [<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105481>]
OKRZYCKI, Wojciech; TATOL, Maciej. **Color difference Delta E** - Asurvey. *Machine Graphics and Vision*, Poland, p. 1-29, 1 abr. 2011.

SILVA, M. B. DA. Valorização do bagaço de maçã mediante explosão a vapor seguida de processamento ácido e secagem. Tese (Doutorado) – UFSC, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/231020/PENQ0925-T.pdf?sequence=-1&isAllowed=y> . Acesso em 17 dez. 2024.