PRODUÇÃO DE ÁCIDO ACÉTICO POR MEIO DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA E ACÉTICA DE RESÍDUO DE POLPA DE TOMATE PROVENIENTE DE INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

Samara Letiéle dos Santos[1] e Emerson Alberto Prochnow[2]

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, Brasil (samaraletiele@gmail.com)
[2]Universidade Luterana do Brasil - ULBRA, Canos, Brasil

Resumo: A produção de fermentado acético com polpa de tomate residual visa evitar desperdícios e agregar valor à subprodutos. O uso dessa matéria-prima contribui significativamente para práticas sustentáveis, ao promover o reaproveitamento de resíduos como substrato para fermentação alcoólica e acética. Foram obtidas quatro amostras de vinagre, analisadas físico-quimicamente, que atenderam aos parâmetros da legislação brasileira para vinagres de frutas.

Palavras-chave: Processos fermentativos; Resíduo; Reaproveitamento; Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e o reaproveitamento de resíduos orgânicos tem incentivado o desenvolvimento de processos biotecnológicos capazes de transformar subprodutos agroindustriais em compostos de valor agregado (SONI, 2021). Considerada uma abordagem sustentável e de baixo impacto ambiental, a fermentação acética representa uma solução viável para o reaproveitamento de resíduos alimentares, em especial aqueles oriundos de frutas e vegetais.

A produção de vinagres de frutas como forma de aproveitar subprodutos de frutas é uma opção amplamente utilizada pela indústria alimentícia, uma vez que excedentes ou frutas de segunda qualidade podem ser usados sem comprometer a qualidade do produto final. A natureza acética dos vinagres e seu subsequente impacto nas propriedades organolépticas do produto final permitem que quase qualquer tipo de fruta seja usado para sua elaboração. Um número crescente de estudos científicos está sendo realizado sobre essa matriz, e eles estão revelando a importância do controle dos processos envolvidos na elaboração do vinagre (LUZÓN, 2021).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), vinagre é o produto resultante de duas fermentações consecutivas: uma alcoólica utilizando leveduras, que converte qualquer fonte de carboidrato fermentescível (frutos, vegetais, xaropes, vinhos, etc.) em etanol, seguida de uma fermentação acética empregando bactérias acéticas, a qual converte o etanol em ácido acético, tendo ao final o produto principal, denominado de vinagre (FAO, 2016).

Uma das maiores preocupações nos tempos atuais é o desperdício de alimentos, principalmente frutas, verduras e hortaliças, segundo FAO (2019), estimou-se que são desperdiçados todos os anos 33% de todos os alimentos que são produzidos.

A fabricação do vinagre proporciona uma alternativa de utilização de matéria prima vista como resíduo e que no ponto de vista do mercado industrial se encontra inaproveitável (BASTANTE, 2010).

O resíduo de polpa de tomate é um subproduto obtido durante o processamento da polpa (CHIU et al., 2007; WANG; CHEN, 2005). A gestão dos subprodutos de tomate é considerada um problema enfrentado pelas empresas de processamento, devido ao custo para o descarte correto, ou na utilização de produtos com baixo valor agregado, principalmente para a alimentação animal (CAMPOS, 2005; LIMA; LIMA, 1995).

O vinagre é um produto resultante de duas fermentações consecutivas: a alcoólica, realizada por leveduras que transformam carboidratos em etanol, e a acética, conduzida por bactérias que convertem o etanol em ácido acético, seu principal componente.

Diante do alto índice de desperdício de alimentos, como frutas e hortaliças, a produção de vinagre surge como uma alternativa sustentável para o reaproveitamento de resíduos. A polpa de tomate residual, subproduto do processamento industrial, representa um desses resíduos que, apesar de

descartado ou destinado à alimentação animal, possui potencial de valorização.

Este trabalho propõe a utilização dessa matéria-prima na produção de um fermentado acético, com características semelhantes ao vinagre comercial, agregando valor e contribuindo para a redução de impactos ambientais e econômicos causados pelo descarte inadequado.

MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais e métodos utilizados, estão descritos conforme ordem de avaliação do estudo. Essa descrição envolve as etapas de desenvolvimento da pesquisa, técnicas, procedimentos, equipamentos e materiais necessários para a concretização do trabalho.

Amostragem

Quatro amostras diferentes de polpa de tomate residual (Figura 1), proveniente de sobras das análises de controle da qualidade, foram coletadas e submetidas as mesmas condições e parâmetros de produção e análise, sem qualquer tipo de variação, com o intuito de verificar a homogeneidade do resíduo na produção do fermentado acético obtido. As amostras foram nomeadas como A, B, C e D.

Figura 1. Polpa de tomate residual utilizada como matéria prima.

Microrganismos

Para a fermentação alcoólica da polpa de tomate, foi utilizado a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Já a fermentação acética foi conduzida pela inoculação de bactérias provenientes vinagre forte não pasteurizado (Figura 2).

Figura 2. Vinagre forte (mãe do vinagre).

Fermentação alcóolica

Para a fermentação alcoólica, foi utilizado um suco previamente preparado, na proporção de ¼, de resíduo de polpa de tomate em água. Com a amostra homogênea, o teor de sólidos solúveis foi ajustado para 18 ºBrix que é o ideal para a fermentação, através da adição de sacarose pelo processo de chaptalização, e o pH foi verificado e ajustado até a faixa ótima de pH para fermentação que é de 4,0 a 4,5.

Após os ajustes, o mosto foi pasteurizado em autoclave a 121 ºC durante 15 minutos e, em seguida, resfriado em temperatura ambiente e transferido para o fermentador.

A inoculação da levedura se deu por meio da adição de *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 3), o qual foi pesado em balança analítica na porção de 1 g/L, homogeneizado em água morna esterilizada até a completa dissolução e adicionado ao suco do fermentador.

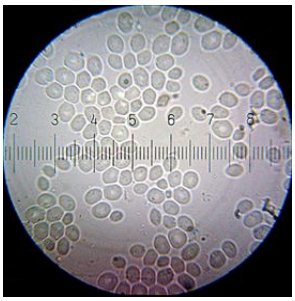

Figura 3. Levedura Saccharomyces cerevisiae em microscópio.

Ao fermentador foi conectado, um Airlock o qual foi preenchido o seu interior com álcool 70%, a fim de verificar a liberação de CO_2 formado durante o processo de fermentação, bem como impedir que ar contaminado entre em contato com o mosto, favorecendo o processo fermentativo em 23 °C.

O andamento do processo foi acompanhado de 12 em 12 horas, através do controle de °Brix do mosto, bem como a verificação de pH. O processo foi encerrado após 48h de fermentação, quando atingiu a estabilidade de ºBrix, o que significou a completa conversão do açúcar presente em álcool.

Após a fermentação atingir a estabilidade do teor de sólidos solúveis (°Brix), foi realizado a primeira trasfega para separação do fermento e do vinho, o qual foi sulfitado adicionando 0,1 g/L-1 de metabissulfito de sódio e mantido em refrigeração durante o período de 24h para decantação dos materiais particulados e após foi filtrado em filtro de material polimérico, conforme pode ser visto na Figura 4.

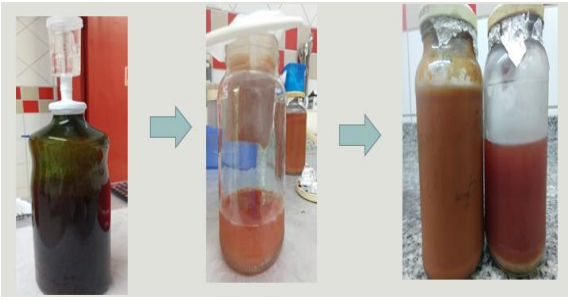

Figura 4. Processo de fermentação alcóolica.

Fermentação acética

A fermentação acética foi conduzida em processo submerso, realizado em batelada, em escala laboratorial. A fermentação ocorreu em um pequeno reator de mistura completa com capacidade de 1L. O oxigênio foi fornecido por borbulhamento no meio reacional. A agitação constante do reator foi fornecida por um agitador magnético com controle de temperatura e agitação, o qual foi ajustado para ficar entre 25 °C e 30 °C que é a temperatura ideal para o crescimento das bactérias acéticas.

O vinho de polpa de tomate obtido através da fermentação alcoólica foi adicionado ao reator juntamente com 100 g/L-1 de um vinagre forte de maçã não pasteurizado, com a finalidade de facilitar o crescimento das bactérias acéticas. O reator ficou em processo de acetificação durante 24h.

O produto obtido foi filtrado com papel filtro qualitativo e pasteurizado em banho maria por 15 min a 65 ºC e após foi envasado e acondicionado em embalagens adequadas, conforme a Figura 5.

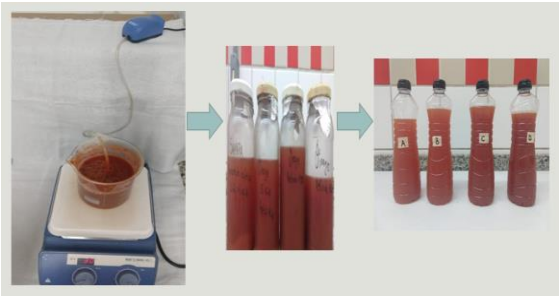

Figura 5. Processo de fermentação acética.

Para verificar se a fermentação acética foi efetiva e estava atendendo os parâmetros exigidos pela legislação para comercialização de vinagre de fruta foram realizadas as análises físico-químicas de pH, acidez volátil, teor etílico, cinzas e extrato seco total, bem como as organolépticas de aspecto, cheiro, sabor e cor.

Análises físico-químicas

A metodologia utilizada para as análises está descrita na Tabela 1. Para a determinação físico-químicas de °Brix e pH, foi utilizado o método do IAL- Instituto Adolfo Lutz,2008. Para as análises de acidez volátil, teor etílico, cinzas, extrato seco total e testes organolépticos (aspecto, cheiro, sabor e cor), foram utilizados os métodos oficiais de análises para vinagres conforme a Portaria Nº 76, de 27 de novembro de 1986 – MAPA.

Tabela 1. Análises e metodologias utilizadas.

Análise	Metodologia usada
°Brix	IAL- Instituto Adolfo Lutz,2008
pH	IAL- Instituto Adolfo Lutz,2008
Acidez volátil	Portaria Nº076 (MAPA), 1986
Teor etílico	Portaria Nº076 (MAPA), 1986
Cinzas	Portaria Nº076 (MAPA), 1986
Extrato seco total	Portaria Nº076 (MAPA), 1986
Organolépticos	Portaria Nº076 (MAPA), 1986

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH é um fator importante que pode afetar diretamente na qualidade de um fermentado. Os valores de pH iniciais para as quatro amostras obtidas tiveram uma linearidade ficando em 4,5 (VAMVAKAS, 2020). Ao longo do processo fermentativo, foi verificado a redução dos valores de pH iniciais para uma faixa aproximada entre 3,9 - 4,2, conforme mostra a Figura 6.

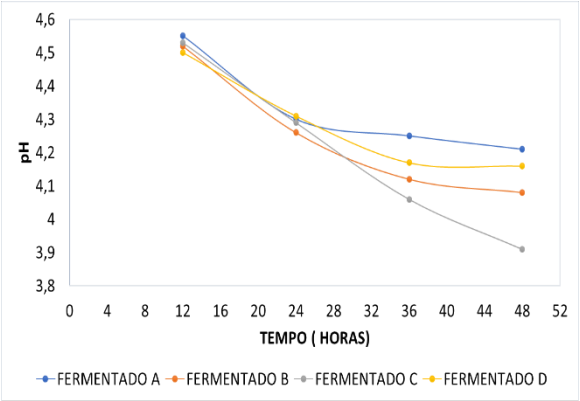

Figura 6. pH do fermentado alcoólico.

O fermentado acético, se comportou de maneira mais linear, onde o decaimento de pH se deu pelo processo de acetificação do meio, conforme pode ser observado na Figura 7.

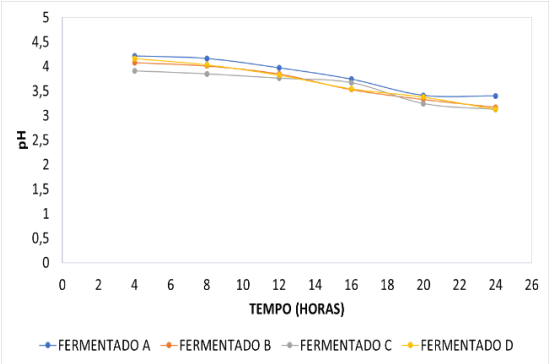

Figura 7. pH dos fermentados acéticos.

Os valores de °Brix (sólidos solúveis totais) durante a fermentação alcoólica tendem a diminuir, pois os microrganismos presentes utilizam esses açúcares do mosto para a produção do etanol. De acordo com a Figura 8, os fermentados analisados apresentaram valor final de °Brix praticamente iguais não tendo uma variação significativa entre eles, demonstrando uma homogeneidade.

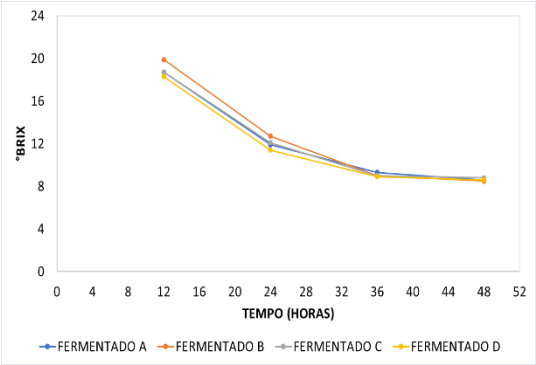

Figura 8. °Brix dos fermentados alcoólicos.

Os fermentados acéticos apresentaram uma variação um pouco maior no °Brix final, conforme pode ser visto na Figura 9. As análises indicam que até o período de 12 horas de fermentação todas as amostras apresentavam valores muito próximos.

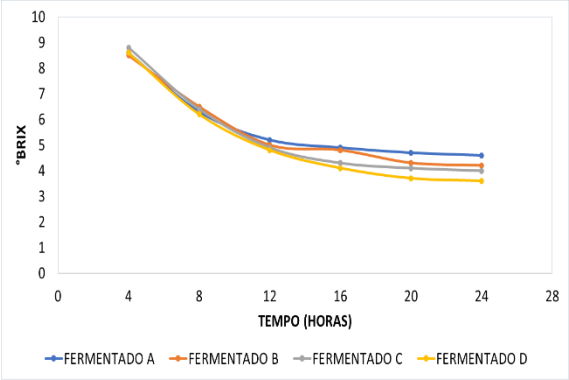

Figura 9. °Brix dos fermentados acéticos.

Os resultados de acidez volátil, teor etílico, cinzas, extrato seco total bem como os organolépticos estão descritos na Tabela 2, que apresenta a comparação com os valores reportados na legislação

Tabela 2. Caracterização final dos fermentados acéticos.

Parâmetro	Vinagre A	Vinagre B	Vinagre C	Vinagre D	Legislação	
					Mín.	Máx.
Acidez volátil	4,05	4,09	4,11	4,15	4	-
Teor etílico	0	0	0	0	-	1
Cinzas (g/L)	2,36	2,42	2,39	2,51	1	5
Extrato seco total (g/L)	14,21	13,99	14,03	13,97	6	-
Aspecto	Ausência de elementos estranhos à sua natureza e composição					
Cheiro	Característico de vinagre					
Sabor	Ácido					
Cor	De acordo com a matéria-prima de origem e composição					

No processo de fermentação, o pH e a acidez se comportaram de formas distintas, ocorrendo uma diminuição do pH com concomitante aumento da acidez. A acidez está relacionada com a formação do ácido acético e sua variação durante a fermentação exerce grande influência na estabilidade físico-química das bebidas fermentadas (YANYAN, 2015). Nas amostras analisadas, foi possível verificar uma curva crescente de aumento da acidez volátil, sendo característica do tipo de fermentação. Os fermentados obtidos apresentaram valores de acidez volátil significativos e atendendo o valor mínimo estabelecido na legislação que é de 4%. Ambas as amostras não apresentaram uma diferença significativa de valor da acidez, demonstrando uma linearidade para o tipo de fermentado obtido.

Quanto ao grau alcoólico real, todas as amostras analisadas apresentaram valores de 0% de álcool.

Em relação ao teor de cinzas, não se observou diferença significativa entre as amostras obtidas. Os valores encontrados permaneceram numa mesma faixa bem como muito próximos. A legislação estabelece um valor mínimo de 1,00 g/L e máximo de 5,0 g/L e as amostras apresentaram valores entre 2,36 g/L e 2,51 g/L.

Em relação à determinação de extrato seco total, observou-se que as amostras apresentaram um teor maior que o mínimo permitido na legislação que é de 6,00 g/L no entanto, não é estabelecido um valor máximo para esse parâmetro. Logo, as quatro amostras atendem esse requisito. Os resultados não tiveram uma diferença significativa de valor estando

as quatro amostras numa mesma faixa de valor de extrato seco.

Os vinagres apresentaram homogeneidade nos testes organolépticos apresentando apenas uma pequena diferença na coloração, conforme mostra a Figura 10. Essa diferença de coloração, possivelmente é devido a matéria prima utilizada como substrato, que por ser um resíduo nunca vai apresentar as mesmas características, pois, não há como garantir que sempre será de um mesmo lote de fabricação bem como de um mesmo fornecedor. No entanto, é importante ressaltar que a diferença de coloração nos quatro fermentados obtidos é mínima podendo ser percebida visualmente somente em frasco de vidro transparente.

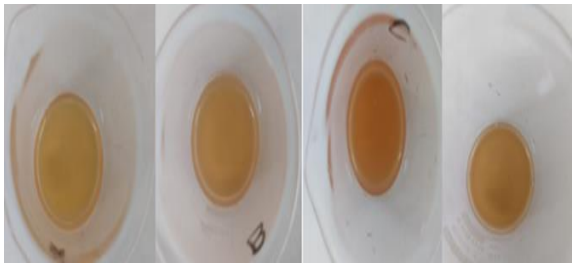

Figura 10. Coloração dos fermentados acéticos A, B, C e D, respectivamente.

No entanto, as outras análises organolépticas realizadas não apresentaram diferença entre os fermentados acéticos, demostrando ter uma estabilidade na produção com o tipo de matéria prima utilizada.

Com base nas análises dos quatro vinagres obtidos e os limites requeridos pela Legislação Brasileira, o produto final de vinagre de tomate atingiu o nível aceitável de ácido acético que é de no mínimo 4,0%, e a concentração de etanol foi inferior a 1,0% (v / v), estando de acordo com a legislação.

Os vinagres produzidos em escala laboratorial (Figura 11) apresentaram características físico-químicas e sensoriais similares aos produzidos industrialmente, o que os torna aptos a serem possivelmente comparados com os vinagres comerciais.

Figura 11. Vinagres envasados.

CONCLUSÃO

A polpa de tomate residual utilizada na produção do fermentado apresentou características adequadas para o processamento, demonstrando-se tecnicamente viável como substrato para os processos fermentativos. O fermentado acético obtido atendeu aos padrões estabelecidos pela legislação vigente e apresentou propriedades comparáveis às de vinagres elaborados a partir de outras frutas, conforme descrito na literatura científica. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a polpa de tomate residual pode ser empregada de forma eficaz na produção de vinho e vinagre, constituindo uma alternativa promissora para o aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Além disso, o uso dessa matéria-prima contribui significativamente para práticas sustentáveis, ao promover o reaproveitamento de resíduos que, de outra forma, seriam descartados. Esse tipo de abordagem não apenas minimiza os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos orgânicos, mas também favorece a economia circular, ao transformar subprodutos em insumos de valor agregado. Portanto, a aplicação da polpa de tomate residual em processos fermentativos representa uma estratégia viável e sustentável, alinhada às demandas atuais por tecnologias mais ecológicas e eficientes.

REFERÊNCIAS

Bastante MJC, Guerrero ED, Mejías RC, Marín RN, Dodero MCR, Barroso CG Estudo da composição polifenólica e da atividade antioxidante de novos produtos derivados do vinagre de xerez por maceração com frutas. J. Agric. Food Chem. 2010;58:11814–11820. doi: 10.1021/jf1029493.

Campos, W. E. Avaliação do resíduo industrial de tomate na alimentação de ruminantes. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG. (Tese de Doutorado). 123p; 2005.

Chiu, Y. T., Chiu, C. P., Chien, J. T., Ho, G. H., Yang, J., Chen, B. H. Encapsulation of lycopene extract from tomato pulp waste with gelatin and poly(gamma-glutamic acid) as carrier. Journal of agricultural and food chemistry, v. 55, n. 13, p. 5123–30, 2007.

FAO. Brazil Dairy, Cheese Production by Year. 2016.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. O Estado da Alimentação e da Agricultura 2019: Avançando na Redução de Perdas e Desperdícios de Alimentos. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura; Roma, Itália: 2019.

Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo, 2008, 4ª edição e 1ª digital.

Lima, F. A. P.; Lima, M. L. P. Tomate e outros hortifrutigranjeiros. In: Simpósio sobre nutrição de bovinos, 6., Piracicaba, 1995. Anais:Piracicaba:FEALQ, 1995. p.281-291.Norberto et al., (2000).

Luzón-Quintana LM, Castro R, Durán-Guerrero E. Biotechnological Processes in Fruit Vinegar Production. Foods. 2021 Apr 26;10(5):945. doi: 10.3390/foods10050945. PMID: 33925896; PMCID: PMC8145929.

Mapa - BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986. Dispõe sobre os métodos analíticos de bebidas e vinagre. Diário Oficial da República Federativa do Brasil , Brasília, 28 nov. 1986. Seção 1, pt. 2.

Soni, S., Verma, A., Bhatia, S., Batra, N., Sodhi, A., & Sharma, N. Insights sobre abordagens sustentáveis para produção e aplicações de produtos de valor agregado. Chemosphere , 286 Pt 1, 131623, 2021.https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131623 .

Vamvakas S.-S., Kapolos J. Fatores que afetam a tolerância ao etanol de levedura e a eficiência da fermentação. World J. Microbiol. Biotechnol. 2020;36:1–8. doi: 10.1007/s11274-020-02881-8.

Wang, C. Y., & Chen, B. H. Tomato pulp as source for the production of lycopene powder containing high proportion of cis-isomers. European Food Research and Technology, 222, 347–353, 2005.

Yanyan Zhang, Nicole Marie Hartung, Marco Alexander Fraatz, Holger Zorn.Quantification of key odor-active compounds of a novel nonalcoholic beverage produced by fermentation of wort by shiitake (Lentinula edodes) and aroma genesis studies, Food Research International,Volume 70, 2015.https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.019.