

APLICAÇÃO DE APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA IDENTIFICAÇÃO E ESTIMATIVA QUANTITATIVA DE ADULTERAÇÃO EM SUCOS DE LARANJA INTEGRAIS REFRIGERADOS

Christiane A. S. Silva^{1*}, Camila M. M. Santos², Flávia A. G. G. Rezende³, Maria. A. V. T. Garcia⁴, Cleverson F. Garcia¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Produtos e Processos (PPGTPP), Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 30510-000.

² Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Departamento de Química, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 31270-901.

³ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Departamento de Química, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 30421-169.

⁴ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Faculdade de Farmácia, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 31270-901.

*e-mail: christianesantossilva@outlook.com

O suco de laranja é um dos sucos de fruta mais populares, destacando-se por seus constituintes, como vitamina C, carotenoides, polifenóis, antioxidantes e fibras dietéticas, e por apresentar uma grande relevância comercial¹, com 1,01 milhão de toneladas métricas produzidas no Brasil no ano de 2025². No entanto, têm-se registrado no Brasil apreensões de sucos de laranja devido a processos de adulteração, como a diluição com soluções de açúcares, mistura com sucos de menor custo^{1,3} ou com suco de laranja concentrado. Diante do desafio, instituições de pesquisa e órgãos de fiscalização têm intensificado os esforços na busca por métodos eficazes para identificar as diversas formas de fraude. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um método de identificação e estimativa quantitativa de adulterações em sucos de laranja integrais refrigerados por adição de suco de maçã integral, adição de sacarose e adição de uma mistura de açúcares, sendo utilizados, para tanto, dados físico-químicos processados por algoritmos de Floresta Randômica e de Redes Neurais. Foram utilizados sucos integrais de laranja refrigerados como amostras, comercializados em Belo Horizonte (MG), adequados à legislação brasileira. As adulterações foram realizadas com sucos de maçã integrais, solução aquosa composta por sacarose, glicose e frutose 2:1:1 e solução aquosa de sacarose. As adulterações com suco de maçã ocorreram em proporções de 10% a 40% do volume dos sucos de laranja, enquanto as demais adulterações ocorreram em proporções de 10% a 50% do volume, totalizando 264 experimentos. Em cada amostra foram quantificados os sólidos solúveis totais, em °Brix; a acidez titulável, em termos de ácido cítrico; os açúcares redutores, com base em glicose, e a densidade (g mL^{-1}), sendo seus valores utilizados para a estruturação da base de dados. Com relação aos métodos de classificação das adulterações, a Floresta Randômica se destacou por apresentar maior f1-score ($\alpha = 0,05$) para a classificação das adulterações de sacarose e de suco de maçã, 0,987 e 0,970, respectivamente. Paralelamente, as Redes Neurais por Perceptron Multicamadas (MLP) para Regressão possibilitaram a quantificação da sacarose identificada como adulterante, apresentando boa qualidade ($R^2 = 0,94$), com resíduos normais e homocedásticos. Por sua vez, a identificação do suco de laranja integral foi limitada, pois as adulterações de menores porcentagens, em volume, apresentaram dados similares. Dessa forma, pode-se concluir que as ferramentas de *Machine Learning* foram adequadas para as adulterações com soluções de sacarose e com suco de maçã integral e apresentam potencial para contribuir nas demais identificações.

Agradecimentos: às instituições CAPES e FAPEMIG pelo suporte financeiro.

[1] WANG, J.; CHOW, W. ACS Food Sci. Technol., 3, 2023, 729.

[2] USDA. For. Agri. Serv. Production Data, 2025.

[3] RÓZANSKA, A.; DYMERSKI, T.; NAMIESNIK, J. Monatshefte für Chemie., 149, 2018, 1615.