

IMPACTO DO ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE DO CHÁ-MATE: UMA ABORDAGEM DE APRENDIZADO DE MÁQUINA

Data de aceite: 02/09/2024

Bianca Pio Ávila

Universidade Federal de Pelotas
<http://lattes.cnpq.br/6534635955153101>

Layla Damé Macedo

Universidade Federal de Pelotas
<http://lattes.cnpq.br/4108413489734073>

Maicon da Silva Lacerda

Universidade Federal de Pelotas
<http://lattes.cnpq.br/8040585838473928>

Alice Pereira Lourenson

Universidade Federal de Pelotas

Márcia Arocha Gularte

Universidade Federal de Pelotas
<http://lattes.cnpq.br/5756521626319170>

Frederico Kremer

Universidade Federal de Pelotas
<http://lattes.cnpq.br/6065261074656602>

predizer a qualidade do chá-mate ao longo do tempo, a partir de parâmetros de análise sensorial e parâmetros de coloração. Foi avaliado através de teste afetivo com escala hedônica de 7 pontos, de gostei a desgostei, para os atributos de aparência, cor, sabor e odor e através de colorimetria utilizando o sistema de cor CIELab. Observou-se que as amostras com 12 meses de armazenamento apresentaram aumento de luminosidade em 22%. Utilizando dados de análise sensorial e colorimetria foi possível prever através do modelo LSTM a vida útil do chá mate. Concluiu-se que a inteligência artificial é uma ferramenta promissora para a indústria alimentícia, capaz de melhorar a eficiência operacional e garantir a qualidade dos produtos e com baixo custo.

PALAVRAS-CHAVE: machine learning, vida útil, infusão, armazenamento

RESUMO: O armazenamento de produtos alimentícios ao longo do tempo, influenciam diretamente na aceitação do consumidor. O uso de modelos de aprendizagem de máquinas vem como uma ferramenta eficaz e ainda pouco explorada na indústria. Com isso, o estudo tem o propósito de utilizar técnicas de aprendizado de máquina para

INTRODUÇÃO

O chá mate é um produto derivado das folhas e galhos da erva mate (*Ilex paraguariensis*) pertencente à família Aquifoliaceae e cresce principalmente na América do Sul, com uma produção significativa na região sul do Brasil. Nativa

das regiões subtropicais da América do Sul, a erva-mate é cultivada principalmente no Brasil, Argentina e Paraguai (dos Santos, 2023). Em relação à produção de erva-mate no Brasil, dados recentes de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística indicam uma produção anual de aproximadamente 618.601 toneladas de folha seca, com o Estado do Rio Grande do Sul respondendo por 48% da produção de folha verde de erva-mate (IBGE, 2023)

O processo de produção do chá mate envolve várias etapas: sapeco, secagem, cancheamento, tamisação e torrefação. O sapeco consiste na rápida passagem dos ramos folhosos sobre chamas, com temperaturas entre 400 e 460 °C, para remover a umidade superficial e inativar enzimas que causam oxidação. Na secagem, a erva é desidratada, perdendo cerca de 70% do seu peso. Durante o cancheamento, as folhas são separadas dos ramos, trituradas e tamisadas, ou seja, peneiradas. Finalmente, a erva cancheada passa pela torrefação, resultando no chá-mate tostado (Esmelindro *et al.*, 2002).

O chá-mate é amplamente reconhecido por seus diversos compostos bioativos, que proporcionam benefícios à saúde, como atividades hipoglicemiantes, anti-inflamatórias, termogênicas e antioxidantes, entre esses compostos, destacam-se os fenólicos, especialmente os ácidos clorogênicos, que conferem alta capacidade antioxidante ao chá, e a cafeína, que contribui para suas propriedades energéticas (Mateo *et al.*, 2018). A composição química da erva-mate inclui xantinas, com propriedades anticancerígenas e antioxidantes, e alcalóides vegetais como a cafeína e a teobromina, conhecidos como metilxantinas. Polifenóis, como o ácido clorogênico, e flavonoides, como a rutina, também fazem parte da sua composição. As formas mais comuns de consumo da erva-mate incluem o chimarrão e as infusões em água quente (Panzl *et al.*, 2022).

A análise da qualidade dos chás, incluindo os derivados da erva-mate, requer avaliações físico-químicas e sensoriais que demandam tempo considerável. Grande parte dos produtos alimentícios, como os chás, tem sua vida útil limitada por mudanças em suas características sensoriais, destacando a necessidade de pesquisas contínuas e extensas sobre os mecanismos de deterioração dos alimentos (Hough, 2010). Em vista disso, a inteligência artificial se apresenta como uma tecnologia de baixo custo, que vem a auxiliar nessas avaliações, através de modelos preditivos.

Análises químicas tradicionais como cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), cromatografia gasosa (GC) e análises espectrofotométricas são utilizadas para estudos qualitativos e quantitativos do chá, correlacionando-se com avaliações sensoriais humanas para determinar sua qualidade final (Liang *et al.*, 2003). No entanto, esses métodos são conhecidos por serem trabalhosos, caros e requer muito tempo. Por isso, há uma necessidade de pesquisar métodos para determinação da qualidade de chás que não demandem de muito tempo e prático para essa análise de alimentos (Aouadi *et al.*, 2020). A qualidade do chá está diretamente ligada ao seu sabor e cor destacando a importância das avaliações sensoriais. Estudos recentes têm demonstrado a eficácia de dispositivos multisensoriais na análise qualitativa, quantitativa e na qualidade do chá (REN *et al.*, 2021).

O modelo LSTM é um tipo de rede neural recorrente (RNN) projetado para aprender dependências de longo prazo em dados sequenciais. Sua capacidade de manter informações relevantes por longos períodos faz com que seja ideal para tarefas de previsão de séries temporais, como a análise da vida útil de alimentos. As redes LSTM são compostas por células de memória e portas (input gate, output gate e forget gate) que regulam o fluxo de informações, permitindo que a rede aprenda quais informações devem ser mantidas ou descartadas (Oztums, 2024).

No contexto da análise de qualidade do chá-mate ao longo do tempo, é essencial utilizar técnicas robustas e precisas que possam capturar e prever variações em parâmetros críticos. Com esse objetivo, empregou-se um modelo de Long Short-Term Memory (LSTM) para analisar a coloração do chá-mate, verificando sua qualidade ao longo do tempo com base nesses parâmetros.

MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de chá-mate foi adquirida no comércio local de Pelotas, RS. As amostras foram armazenadas em temperatura ambiente ± 25 °C durante 12 meses.

Determinou-se o pH, a fim de confirmar se houve variações na atividade enzimática ao longo do tempo, para assim proceder-se com as demais análises. Para determinação do pH foi utilizado o método potenciométrico calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, seguindo metodologia da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2023). Primeiramente, calibrou-se o pHmetro com soluções tampão de pH 4, 7 e 10, certificando-se de que o aparelho esteja à temperatura ambiente. A amostra foi homogeneizada completamente. Enxaguou-se o eletrodo com água destilada entre as medições para evitar contaminação, posteriormente inseriu-se o eletrodo na amostra, aguardando até que a leitura se estabilizasse, e registrou-se o valor do pH.

Para a avaliação sensorial, o estudo foi submetido ao Comitê de Ética em pesquisa com seres humanos, e foi aprovado com o número de protocolo 69876123.2.0000.5317, sendo realizado conforme normas e princípios éticos que regulamentam a pesquisa com humanos. Foram recrutados 150 avaliadores não treinados, voluntários aleatórios entre discentes, docentes e funcionários da Universidade Federal de Pelotas (UFPeL), no Campus Capão do Leão. As amostras de chás foram encaminhadas ao Laboratório de Análise Sensorial, onde conduziu-se a análise em cabines individualizadas, equipadas com computadores e iluminação artificial uniforme. Os avaliadores tiveram acesso ao termo de consentimento livre e esclarecido antes de realizar a avaliação.

Para avaliação, foi utilizado o Teste de Aceitação nos dois tempos, tempo inicial e após 12 meses (Gularte, 2009). Fazendo-se uso de uma escala hedônica de sete pontos, ancorada com os termos “desgostei muito”, a “gostei muito”, foram avaliados os atributos de aparência, cor, sabor e odor.

Os testes foram conduzidos utilizando sachês não identificados numericamente, servidos em xícaras de porcelana, água acondicionada em embalagem PET (polietileno tereftalato) com revestimento refletivo de 1L com temperatura controlada de 75°C. As duas amostras de chás foram servidas uma após a outra, em momentos diferentes, a fim de não haver comparações entre as amostras.

O perfil colorimétrico das amostras de chás comerciais armazenadas por 12 meses em temperatura ambiente foi analisado com o colorímetro Minolta Chroma Meter CR-400. Assim verificou-se os parâmetros de luminosidade (L^*) com valor máximo de 100, que representa uma reflexão difusa e 0 que se caracteriza como preto, coordenada a^* ($+a^*$ direção para o vermelho, $-a^*$ direção para o verde) e coordenada b^* ($+b^*$ direção para o amarelo, $-b^*$ direção para o azul), utilizando o espaço de cor CIELab. O colorímetro foi calibrado, utilizando uma placa de cerâmica branca denominada cr-a43, que acompanha o equipamento, onde, a escala padrão são: $z = 93,6$; $x = 0,3133$; $y = 0,3195$. Para avaliação, foram realizados disparos de forma contínua, totalizando 10 disparos em diferentes pontos.

Através da linguagem de programação Python 3.12.1 se construiu os modelos LSTM e GRU, os quais são redes neurais usadas em aprendizado de máquinas para processamento de séries temporais e utilizadas para prever um evento. Para a escolha do melhor modelo projetou-se gráficos que indicaram os dados reais e preditivos e métricas de desempenho dos modelos denominados MSE (Mean Squared Error) e MAE (Mean Absolute Error) a fim de se prever as alterações de cor ao longo do tempo baseado nos parâmetros sensoriais e de colorimetria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras foram colocadas em placas de petri em superfície branca para a avaliação. Para a determinação colorimétrica utilizou-se duas amostras de chá-mate (figura 1).

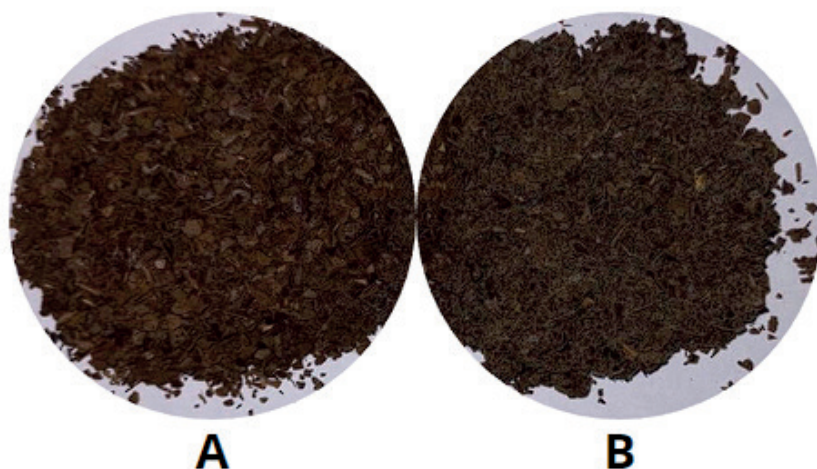


Figura 1. (A) fotografia do chá-mate no tempo inicial, (B) fotografia do chá-mate com 12 meses de armazenamento.

Na tabela 1 estão apresentados os resultados das leituras em cada um dos parâmetros observados no calorímetro e o valor de pH.

Parâmetros	Tempo inicial	Tempo 12 meses
Luminosidade	27,01±0,1	34,58±0,4
Coordenada a*	3,40±0,5	2,98±0,3
Coordenada b*	12,98±0,6	10,78±0,1
pH	6,95±0,1	6,05±0,0

Tabela 1. Parâmetros de cor e pH do chá-mate armazenado por 12 meses

O pH das amostras apresentou uma diminuição de 6,95 a 6,05 no período de 12 meses de armazenamento. No estudo de Molion (2011) encontrou resultados para o pH das folhas de *I. paraguariensis* variando de 5,2 a 6,4. Essa variação mostrou um forte efeito na atividade das enzimas nas folhas, uma vez que mesmo uma variação decimal no pH poderia causar uma variação na atividade enzimática (Benedito, 2023). Nakasaki *et al.* (2008), estudando a oxidação de chá-mate, observaram que o valor do pH foi mantido em um nível fracamente ácido de 5 a 6 durante toda a fermentação. Lehninger (2006) determina que o pH é um fator importante podendo afetar as enzimas oxidativas em vegetais (peroxidases e polifenoloxidase).

Os três parâmetros L*, a* e b*, fornecem *insights* específicos, portanto, o L* especifica a luminosidade, indica a cor entre preto (0) e branco (100), o chá-mate tende a apresentar uma coloração mais próxima ao preto e isso está diretamente relacionado ao seu processo de produção.

Observa-se na Tabela 1 que os valores reais encontrados para a luminosidade das amostras apresentou um aumento de 22%, assim como quando comparada com o valor predito no modelo (Figura 2) houve um aumento gradual ao longo do armazenamento tornando-se uma opção viável para a análise, já que ambos apresentaram valores de leitura semelhantes e próximas. Esses valores encontrados na luminosidade do chá-mate estão diretamente associados ao tipo de torra.

Segundo Nabechima (2014) em seu estudo sobre mudança de cor e degradação da clorofila durante o armazenamento de erva mate, associou-se a luminosidade na cor amarela entre 45 a 60 dias, indicando que a perda da cor amarela no prazo de validade é causada pelas reações de oxidação, quando comparado aos deste estudo observamos que a luminosidade aumentou ao longo do armazenamento e isso se difere, devido o chá passar por uma torra diferentemente da erva-mate.

O parâmetro a* indica a intensidade entre verde (-a) ao vermelho (+a), e como é possível observar na Figura 1 A e B, o chá-mate possui cor escura (nos dois tempos analisados). Desse modo, no parâmetro a* foi obtido um valor positivo associado a uma

torra por mais tempo distanciando da cor verde, além da redução do pH também contribuiu para a degradação da clorofila. Estudos prévios que investigaram a cinética de degradação da clorofila em ervilhas mostraram que sua meia-vida diminui em condições de baixo pH e alta temperatura, seguindo um modelo cinético de primeira ordem (Koca *et al.* 2006).

A coordenada b^* do sistema CIELab indica a intensidade do azul (-b) ao amarelo (+b), indicando que as amostras tendem para o amarelo, não sendo possível distinguir uma cor primária em nenhuma das amostras e sim uma mistura de cores, tendendo a coloração do cinza ao marrom.

Os resultados obtidos no perfil colorimétrico foram representados graficamente em três gráficos (Figura 2, 3 e 4), que comparam os valores reais dos parâmetros de coloração do chá-mate com os valores previstos pelo modelo LSTM.

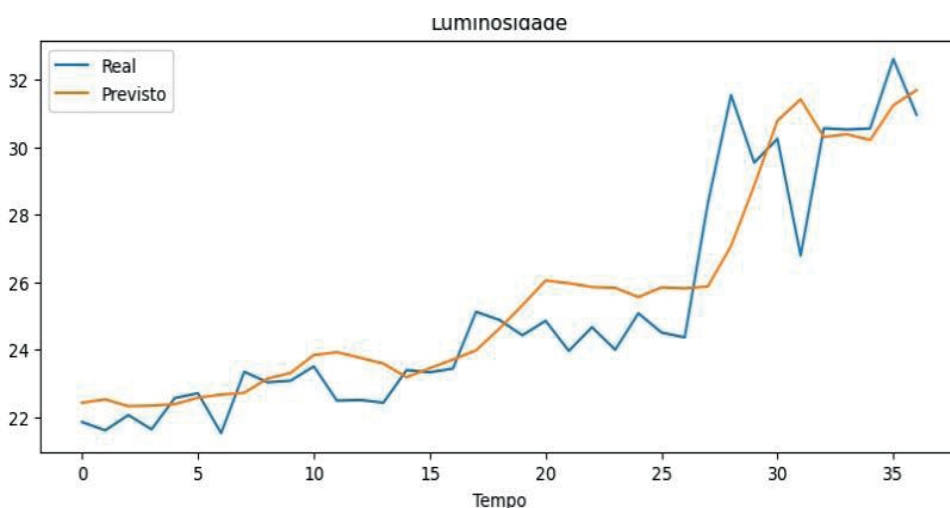


Figura 2. Gráfico do modelo LSTM do valor real versus o valor predito para luminosidade.

Os resultados indicam que o modelo LSTM utilizado foi capaz de capturar de maneira precisa as variações na luminosidade do chá-mate durante o armazenamento. A linha laranja (valores previstos) segue de perto a linha azul (valores reais), mostrando que o modelo conseguiu prever corretamente o aumento da luminosidade com o passar do tempo.

Segundo Pinto (2021) o aumento da luminosidade ao longo do armazenamento do chá-mate pode estar relacionado a uma combinação de fatores, tais como a desidratação, alterações na estrutura celular, formação de cristais ou outros depósitos, a degradação seletiva de pigmentos e reação com componentes ambientais.

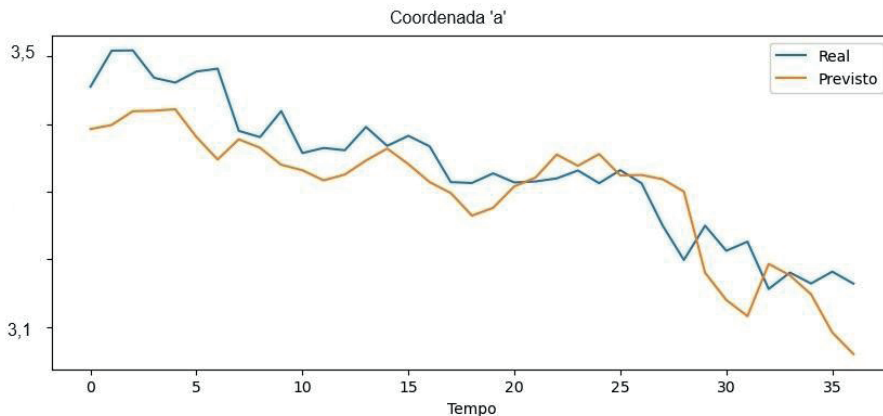


Figura 3. Gráfico do modelo LSTM para o valor real versus o valor previsto para coordenada “a”.

A Figura 3 revela que os valores previstos (linha Laranja) estão próximos dos valores reais (linha azul), indicando que o modelo LSTM conseguiu prever a tendência de mudança na coloração do chá-mate de forma eficaz. Observa-se na Figura 3 que a linha de tendência descendente apresentou uma mudança significativa na coloração ao longo do armazenamento, refletindo a transição dos tons avermelhados para os esverdeados.

O gráfico da coordenada ‘b’ (Figura 4) reflete a tendência de azul para amarelo.

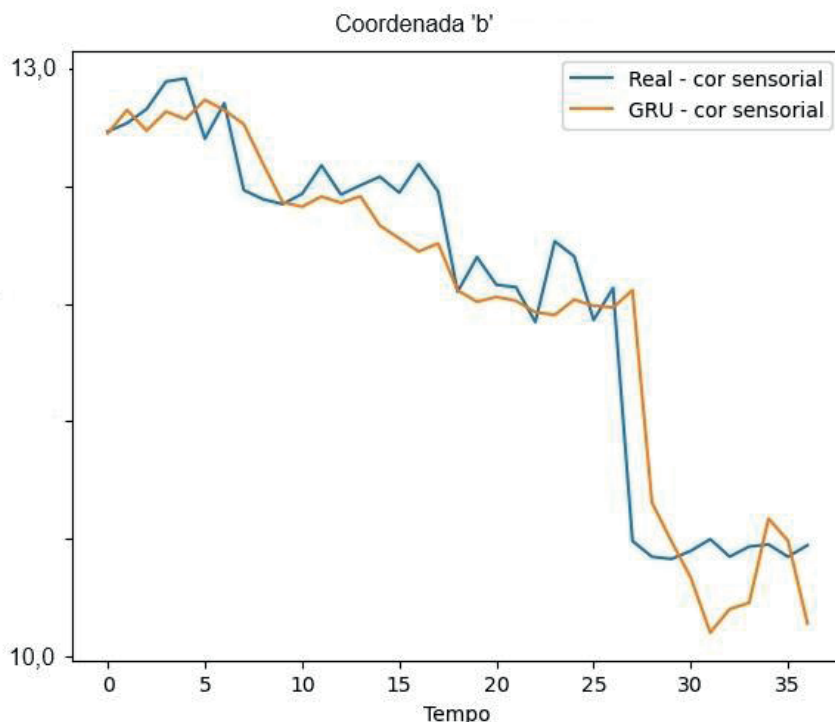


Figura 4. Gráfico do modelo LSTM para o valor real versus o valor previsto para coordenada “b”.

A alteração na coordenada b* do chá-mate durante o armazenamento pode ser explicada pela degradação de pigmentos amarelados, oxidação e reações de Maillard, alterações estruturais e ambientais, e interações entre compostos fenólicos. Esses processos químicos e físicos são cruciais para entender as mudanças na aparência visual do chá-mate ao longo do tempo. O modelo LSTM demonstrou ser uma ferramenta eficaz para prever essas variações, validando sua utilidade na análise da qualidade do chá-mate ao longo do tempo.

Os resultados da avaliação sensorial da amostra de chá-mate estão apresentados na Tabela 2. Quando as amostras foram avaliadas em termos de parâmetro de aparência houve uma queda nos valores ao longo dos doze meses, esse valor inferior da amostra (tempo 12 meses) podem estar atribuídas à degradação dos compostos que contribuem para a aparência visual do chá-mate, uma vez que os compostos como polifenóis e pigmentos naturais, são suscetíveis à oxidação e podem sofrer degradação térmica e fotoquímica durante o armazenamento.

Isso pode ser explicado por Ceni (2008) descreve que as enzimas polifenol oxidases e as peroxidases, são as principais responsáveis pela deterioração da qualidade e escurecimento das folhas de chá-mate.

Atributos	Tempo inicial	Tempo 12 meses
Aparência	8,10±0,5	7,03±0,2
Cor	7,93±0,3	5,15±0,5
Sabor	8,75±1,0	6,36±0,3
Odor	7,82±0,8	5,12±0,3

Médias±desvio padrão. Diferença estatística pelo teste t ($p < 0,05$).

Tabela 2. Análise sensorial pelo teste de Aceitação para o chá-mate armazenado por 12 meses

A avaliação sensorial para o atributo cor indicou uma diminuição significativa na nota de aceitação da amostra (tempo 12 meses). Podemos relacionar esses resultados junto a Tabela 1 na qual a coloração do chá-mate apresentou uma diminuição significativa na segunda avaliação (tempo 12 meses). Em relação ao sabor e odor, mostra-se que no tempo inicial, o chá-mate foi avaliado positivamente, provavelmente apresentando uma ressonância atraente e condizente com a expectativa dos avaliadores, mas, no tempo 12 meses, quando comparados, é possível perceber que a queda na avaliação pode estar atribuída à volatilização e degradação dos compostos aromáticos, como terpenos, flavonoides e ácidos fenólicos, esses que, podem sofrer oxidação e hidrólise, resultando em um sabor menos intenso e desagradável.

O odor é um componente crítico da experiência sensorial, contribuindo significativamente para a percepção do sabor através do olfato. Um aroma fresco e

característico é essencial para a identidade do chá-mate, e a perda é geralmente causada pela volatilização de compostos aromáticos e pela oxidação de óleos essenciais. Nos resultados encontrados, observa-se que houve grande diferença de um tempo para o outro, devido a perda dos compostos voláteis, como aldeídos e ésteres, que são responsáveis pelo aroma característico.

CONCLUSÃO

Concluiu-se que a análise colorimétrica e sensorial, aliada à inteligência artificial, é uma abordagem eficaz para prever a vida útil do chá-mate durante seu armazenamento. A diminuição do pH e as mudanças na coloração sofreram influência da atividade enzimática e consequentemente afetaram a qualidade sensorial do produto. Os modelos LSTM mostraram alta precisão na previsão das variações de luminosidade e coloração, validando sua utilidade na indústria alimentícia. A queda na qualidade sensorial, evidenciada pela avaliação de aparência, cor, sabor e odor, está relacionada à degradação de compostos chave durante o armazenamento, em consoante com o previsto no modelo de machine learning. Portanto, a inteligência artificial pode ser uma ferramenta valiosa para melhorar a eficiência operacional, reduzir o desperdício e garantir a qualidade e segurança dos alimentos, oferecendo insights críticos para a indústria de chá-mate.

REFERÊNCIAS

- Abe, M., Takaoka, N., Idemoto, Y., Takagi, C., Imai, T., & Nakasaki, K Characteristic fungi observed in the fermentation process for Puer tea. **International Journal of Food Microbiology**, v. 124, n. 2, p. 199-203, 2008.
- Aouadi, B., Zaukuu, J. L. Z., Vitális, F., Bodor, Z., Fehér, O., Gillay, Z., ... & Kovacs, Z. Historical evolution and food control achievements of near infrared spectroscopy, electronic nose, and electronic tongue—Critical overview. **Sensors**, 20(19), 5479, 2020.
- Benedito, D. C. D., Stuepp, C. A., Helm, C. V., Liz, M. V., Miranda, A. C., Imoski, R., Wendling, I. Compounds Concentrations and Stability in Leaves of *Ilex paraguariensis* Genotypes. **Forests**, v. 14, n. 12, p. 2411, 2023.
- Ceni, GC, Baldissera, EM, Antunes, OA, Vladimir Oliveira, J., Dariva, C., & de Oliveira, D. Oxidases from mate tea leaves (*Ilex paraguariensis*): extraction optimization and stability at low and high temperatures. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 31, p. 541-550, 2008.
- Dos Santos, P. A., Peixoto, C. N., de Souza, V. C. P., Dos Santos, A. L., de Araújo Gomes, A., Jacques, R. A. Analytical and chemometric strategies for elucidation of yerba mate composition. **Food Chemistry**, v. 429, p. 136918, 2023.
- Esmelindro, M. C.; Toniazzo, G.; Waczuk, A.; Dariva, C.; Oliveira, D. de. Caracterização físico-química da erva-mate: influência das etapas do processamento industrial. **Food Science and Technology**, v. 22, n. 2, p. 193– 204, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa de Orçamentos de Produção de Erva mate. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/erva-mate-cultivo/br>. Acesso em: 28 de julho de 2024.

Kaltbach, P., Ballert, S., Gillmeister, M., Kabrodt, K., & Schellenberg, I. Mate (*Ilex paraguariensis*) tea preparations: Understanding the extraction of volatile and non-volatile compounds upon variations of the traditional consecutive infusions. **Food Chemistry**, v. 374, p. 131756, 2022.

Koca N, Karadeniz F, Burdurlu HS. Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. **Food chemistry**, v. 100, n. 2, p. 609-615, 2007.

Liang, Y., Lu, J., Zhang, L., Wu, S., Wu, Y. Estimation of black tea quality by analysis of chemical composition and colour difference of tea infusions. **Food chemistry**, v. 80, n. 2, p. 283-290, 2003.

Lichters, M., Möslein, R., Sarstedt, M., & Scharf, A. Segmenting consumers based on sensory acceptance tests in sensory labs, immersive environments, and natural consumption settings. **Food Quality and Preference**, v. 89, p. 104138, 2021.

Mateos, R.; Baeza, G.; SarRIÁ, B.; Bravo, L. Improved LC-MS characterization of hydroxycinnamic acid derivatives and flavonols in different commercial mate (*Ilex paraguariensis*) brands. Quantification of polyphenols, methylxanthines, and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 241, p. 232–241, 2018.

Molin, RF, Valduga, AT, Di Luccio, M., Dartora, N., Cichoski, AJ, Pistore, M., Rigo, E. Assessment of oxidation of leaves of *Ilex paraguariensis* (St. Hil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, p. 337-345, 2011.

Nabechima G. H., Provesi, J. G., Henriquez Mantelli, M. B., Vieira, M. A., De Mello, C. A. R. D, Amante, E. R. Effect of the mild temperature and traditional treatments on residual peroxidase activity, color, and chlorophyll content on storage of mate (*Ilex paraguariensis*) tea. **Journal of food science**, v. 79, n. 2, C163-C168, 2012.

Nelson, D. L., Cox, M. M. Lehniger princípios de bioquímica. 4ª edição. São Paulo. Editora Sarvier, p. 626-631, 2006.

Oztuna Taner, O., & Çolak, A. B. factory milk product processing and sustainable of the shelf-life extension with artificial intelligence: a model study. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 8, p. 1344370, 2024.

Pinto, V. Z., Pilatti-Riccio, D., Costa, E. S. D., Micheletto, Y. M. S., Quast, E., & Santos, G. H. F. D. Phytochemical composition of extracts from yerba mate chimarrão. **SN Applied Sciences**, v. 3, n. 3, p. 353, 2021.

Ren, G., Li, T., Wei, Y., Ning, J., Zhang, Z. Estimation of Congou black tea quality by an electronic tongue technology combined with multivariate analysis. **Microchemical Journal**, v. 163, 2021.