



COMUNICADO  
TÉCNICO

477

Colombo, PR  
Dezembro, 2021

**Embrapa**

# Método de inativação enzimática de folhas de erva-mate usando radiação infravermelha visando redução dos custos de secagem e perda de bioativos naturais

Washington Luiz Esteves Magalhães  
Gisele Eliane Perissutti  
Cristiane Vieira Helm  
Ivar Wendling

# Método de inativação enzimática de folhas de erva-mate usando radiação infravermelha visando redução dos custos de secagem e perda de bioativos naturais

---

**Washington Luiz Esteves Magalhães**, Engenheiro Químico, doutor em Ciências e Engenharia de Materiais, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR; **Gisele Eliane Perissutti**, Bióloga, doutora em Bioquímica, analista da Embrapa Florestas; **Cristiane Vieira Helm**, Química Industrial, doutora em Ciências dos Alimentos, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR; **Ivar Wendling**, Engenheiro Florestal, doutor em Ciências Florestais, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hilaire) apresenta uma rica composição química, como compostos fenólicos, esteróis, terpenóides, alcalóides purínicos, ácidos graxos, saponinas, metilxantinas, carboidratos, aminoácidos e proteínas, glicídios, vitaminas e minerais (Alikaridis, 1987; Filip et al., 2001; Dartora et al., 2011; Valerga et al., 2012; Helm et al., 2015).

A extração de folhas de erva-mate no Sul do Brasil e também no sul do estado de Mato Grosso do Sul está entre as atividades extrativistas mais importantes, rivalizando com a castanha-do-brasil, em relação à importância econômica, social e ambiental.

O processamento das folhas de erva-mate pode modificar a composição química da infusão (Dartora et al., 2011; Valerga et al., 2012), uma vez que a composição do extrato da bebida final é influenciada por vários fatores, podendo resultar em variações de suas atividades

biológicas. A influência do processamento industrial, variações de material seco e métodos de preparação têm sido relatados por diversos autores (Isolabella et al., 2010; Dartora, et al., 2011; Lin et al., 2012; Corso et al., 2016; Hihat et al., 2017; Valduga et al., 2019; Dibanda et al., 2020; Mesquita et al., 2021). O processo de branqueamento (ou sapeco) utiliza altas temperaturas (180 °C a 240 °C, por 5 minutos), a fim de diminuir a atividade e, ou inativar enzimas oxidativas e melhorar o sabor, uma vez que permite a eliminação de água e proteção, ao mesmo tempo, do conteúdo de compostos bioativos da amostra. Mas, apesar das vantagens elencadas, este processo pode provocar alterações no produto, mediante rearranjos, oxidação e, ou redução de moléculas bioativas, de acordo com a temperatura e o tempo de exposição das amostras (Calixto, 2000; Isolabella et al., 2010; Hihat et al., 2017). Mesquita et al. (2021) descrevem

três etapas complementares para o processamento da erva-mate: “sapeco”, que consiste na pré-secagem da erva verde mediante exposição direta a altas temperaturas, para diminuir a umidade e inativar enzimas oxidativas; a secagem, onde material é exposto ao ar quente em tambores rotativos aquecidos a gás ou lenha (“barbacuá”), ou por meio de um mecanismo de correia contínua, até atingir cerca de 3% de umidade; e moagem, onde a erva é primeiramente triturada e depois submetida à secagem adicional (Valerga et al., 2012; Mesquita et al., 2021).

Isolabella et al. (2010) observaram que o processamento industrial alterou a composição dos compostos bioativos. Amostras de “zapecada”, erva-mate seca ou envelhecida continham um maior teor de compostos bioativos (derivados de cafeoil, cafeína, teobromina e rutina) que as folhas verdes (Isolabella et al., 2010) e, consequentemente, podem conter uma maior atividade antioxidante (Valerga et al., 2012, Tomasi et al., 2021a, 2021b).

Apesar destas etapas serem essenciais para a qualidade da folha de erva-mate, com a redução e, ou inativação de reações enzimáticas, redução da degradação microbiana e fisiológica que interferem diretamente sobre a coloração das folhas e aceitação do produto final, durante os processos de sapeco/secagem, as folhas de erva-mate são expostas a muita fumaça advindo de fornalhas a lenha. Esta fumaça pode impregnar-se nas folhas e, por conter substâncias como levoglucosanas, hidrocarbonetos

policíclicos aromáticos, antraquinonas etc., com forte associação a espécies reativas de oxigênio, está sendo condenada pela Organização Mundial de Saúde, por ser insegura ao consumidor e potencial causadora de doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer (Xu et al., 2017; Tomasi et al., 2021b).

Recentes estudos conduzidos na Embrapa Florestas utilizaram micro-ondas para a secagem de folhas de erva-mate destinada à indústria alimentícia, mostrando ser eficiente para a manutenção dos compostos bioativos (Tomasi et al., 2021a, 2021b).

Uma alternativa a esse processo de sapeco e secagem foi desenvolvida pela Embrapa, em escala laboratorial, por meio de radiação na região das micro-ondas. A técnica é promissora por ser potencialmente mais eficiente sob o ponto de vista energético e não causar mudanças sensoriais nas bebidas derivadas das folhas tratadas, ao menos nos testes sensoriais já realizados até o momento (Tomasi et al., 2021a, 2021b). Entretanto, ainda não existe um equipamento industrial dedicado à secagem e inativação de enzimas oxidantes das folhas de erva-mate pelo uso de micro-ondas.

Alternativamente, neste trabalho o aquecimento será feito por meio de radiação infravermelha. A luz infravermelha pode, vantajosamente, evitar o escurecimento e oxidação das folhas de erva-mate, quer por aquecimento quer pela ação individual da radiação. Existem fornos contínuos industriais que usam lâmpadas de infravermelho

para a secagem de pellets de polímeros. Pequenas alterações deste forno poderiam servir para evitar a oxidação das folhas de erva-mate e otimizar a sua secagem.

O objetivo deste comunicado técnico é apresentar uma metodologia nova de inativação enzimática de folhas de erva-mate baseada na radiação infravermelha, para evitar a oxidação das folhas, apontando distâncias e tempos típicos de exposição à fonte de luz.

## Metodologias usadas na caracterização das folhas de erva-mate

Folhas maduras de erva-mate foram coletadas aleatoriamente de plantios expostos à luz solar, em áreas experimentais da Embrapa Florestas (Colombo, PR, Brasil), em agosto de 2021. As folhas, num total de três para cada experimento, estavam íntegras e sãs, foram numeradas e divididas em grupos (controle, folhas secas em micro-ondas e submetidas à irradiação por lâmpada com luz infravermelha). As etapas de secagem iniciaram imediatamente após a coleta.

Na secagem da erva-mate em micro-ondas doméstico, as folhas foram dispostas lado a lado e submetidas à radiação na potência média, por 30 segundos, cinco vezes, depois por 1 minuto, viradas de lado e finalmente deixadas por mais 30 segundos.

Para a realização dos experimentos foi construída uma estrutura em MDF, para abrigar a lâmpada com luz infravermelha, no formato de uma caixa com 31 cm x 30 cm x 28 cm (comprimento x largura x altura) e base com 120 cm. A lâmpada com luz infravermelha (Eletrothermo SP Brasil) possui 22 cm de comprimento, 1 cm de diâmetro, sem refletor e densidade de potência de 80 W/cm<sup>2</sup>.

As folhas foram dispostas em grupos de três, colocadas umas sobre as outras em um anteparo com orifício central ou dispostas lado a lado sobre uma grade para a exposição, aos experimentos submetidos à irradiação por lâmpada com luz infravermelha, em intervalos de tempo de 10 minutos e 20 minutos, respectivamente.

Em ambos os casos, as amostras de folha foram fixadas em diferentes distâncias da lâmpada com luz infravermelha (25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm, 65 cm e 75 cm de distância).

As amostras foram codificadas de acordo com a distância em relação à lâmpada, experimento e tempo de exposição à luz infravermelha.

Após os processos de secagem, as amostras foram trituradas em um moedor de café (Cadence®), classificado como moagem fina, com peneira de 0,25 mm.

As folhas controle e as expostas à radiação em micro-ondas e luz infravermelha foram analisadas quanto ao teor de umidade (porcentagem em massa úmida), após permanecerem em estufa a 105 °C, por 17 horas.

Extratos aquosos foram preparados utilizando 100 mg das amostras de folhas trituradas, adicionado 30 mL de água ultrapura fervente em tubos tipo Falcon (50 mL), seguido de filtração em papel de filtro e volume ajustado para 50 mL de extrato.

As análises de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante frente aos radicais ABTS e DPPH foram realizadas de acordo com o protocolo do Laboratório de Tecnologia de Produtos não Madeiráveis da Embrapa Florestas (Brand-Williams et al., 1995; Re et al., 1999; Rufino et al., 2007a, 2007b; Yim et al., 2013). As leituras das absorbâncias, em espectrofotômetro Shimadzu UV 1800, foram feitas nos comprimentos de onda de 760 nm, 734 nm e 515 nm, respectivamente. As análises foram realizadas em duplicata. Os resultados para os compostos fenólicos totais foram expressos em mg/g de amostra, em ácido gálico, descontados os teores de umidade. Para a atividade antioxidante frente aos radicais ABTS e DPPH, os resultados foram expressos em TEAC (atividade antioxidante equivalente ao Trolox) em  $\mu$ mol TEAC/g de amostra, descontados os teores de umidade.

A análise estatística dos dados foi realizada com duas repetições. As variáveis foram analisadas utilizando ANOVA. Nas comparações foi utilizado o teste Tukey com 5% de probabilidade de crítica de erro para significância estatística. Os dados foram submetidos ao software R e Rstudio (Versão 1.1.453 – © 2009-2018 RStudio, Inc.).

## Variação das características químicas das folhas em função do tempo de exposição e distância à fonte de luz

A lâmpada utilizada do experimento é a mesma usada no equipamento industrial para secagem de polímeros quanto à dimensão e potência, mas, na indústria o equipamento rotativo de secagem possui diversas lâmpadas acopladas ao tambor (Figura 1).



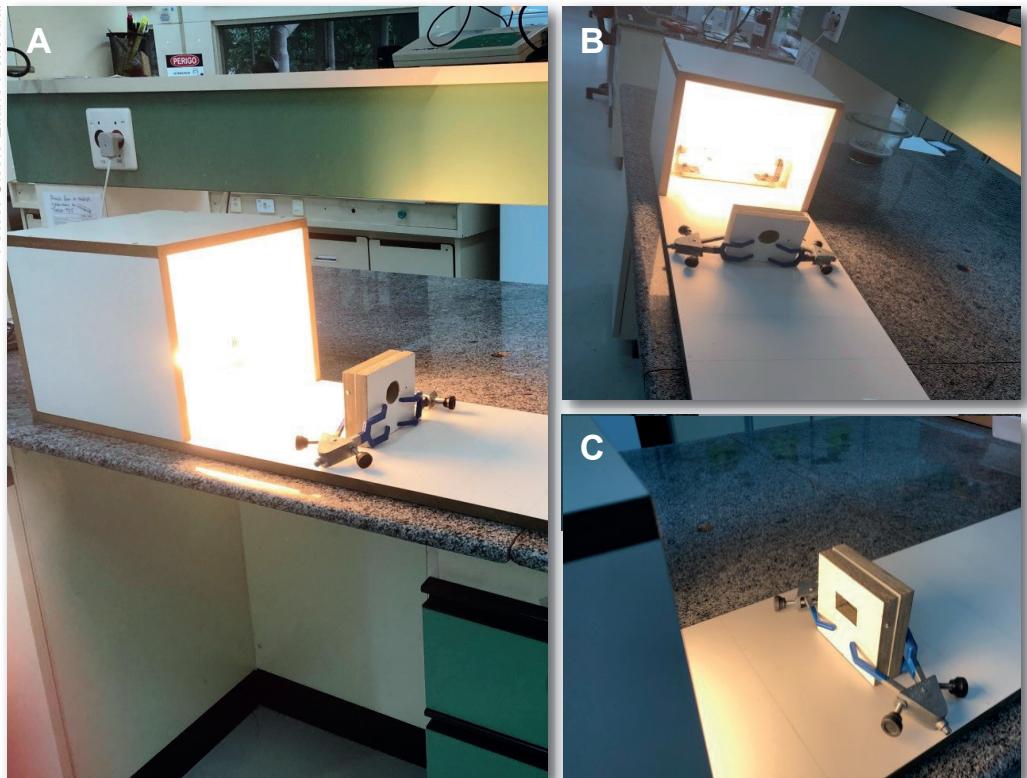
**Figura 1.** Foto do secador industrial desenvolvido para a secagem de polímeros e que pode ser facilmente adaptado para secagem de erva-mate.

As folhas foram dispostas em grupos de três, colocadas umas sobre as outras em um anteparo com orifício central e expostas à irradiação por lâmpada com luz infravermelha em intervalos de tempo de 10 minutos, em diferentes distâncias da lâmpada (25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm, 65 cm e 75 cm de distância), conforme ilustra a Figura 2.

As folhas foram dispostas lado a lado sobre uma grade para a exposição à irradiação por lâmpada com luz infravermelha, no intervalo de tempo de 20 minutos, conforme ilustra a Figura 3.

Distâncias muito próximas da fonte, em geral menores que 25 cm, causam secagem excessiva e queima das folhas em tempos tão curtos quanto dez minutos (Figura 4).

Fotos: Gisele Eliane Perissutti



**Figura 2.** (A) Estrutura em MDF no formato de caixa contendo a lâmpada com luz infravermelha e o anteparo contendo as amostras de folhas de erva-mate em seu interior. (B) Experimento com as folhas de erva-mate na distância 35 cm da lâmpada, expostas à radiação por dez minutos. (C) Detalhe do anteparo contendo as amostras de folhas entre duas chapas perfuradas de MDF.

Fotos: Gisele Eliane Perissutti



**Figura 3.** (A) Estrutura construída com MDF, no formato de caixa contendo a lâmpada com luz infravermelha e a grade contendo as amostras de folhas de erva-mate. (B) Experimento com as folhas de erva-mate na distância 35 cm da fonte de luz infravermelha, expostas por 20 minutos. (C) Detalhe da grade contendo as amostras de folhas.

**Figura 4.** Folha de erva-mate com lesões por queimadura causada pela exposição à luz infravermelha, por dez minutos, na distância 25 cm.



Foto: Gisele Eliane Perissutti

Folhas tratadas com tempos curtos e com grandes distâncias da fonte de luz não apresentaram efeitos significativos. Lembrando que a intensidade de luz diminui com o quadrado da distância da fonte luminosa.

O efeito da radiação sobre as folhas tratadas com luz infravermelha pode ser acompanhado pela sua caracterização, principalmente pelos teores fenólicos totais, poder antioxidante, e o teor de umidade.

### Análise do teor de umidade

As folhas controle e as expostas à radiação em micro-ondas e luz infravermelha foram trituradas até tornarem-se um pó bastante fino. A análise do teor de umidade foi realizada em duplicata e os resultados estão listados na Tabela 1.

A partir dos dados da Tabela 1, pode-se observar que o teor de umidade das amostras que foram expostas à radiação por luz infravermelha, nos tempos de

**Tabela 1.** Teor de umidade das amostras de folhas de erva-mate expostas à lâmpada com luz infravermelha.

Distância das folhas à luz infravermelha (cm)	Tempo de exposição à luz infravermelha (minutos)	Amostras	Teor de Umidade médio (%) <sup>*</sup>	Desvio padrão	CV (%)
	-	Controle	12,91	0,02	0,14
	-	Microondas	9,27	0,44	4,70
25		25I10	11,11	0,09	0,83
35		35I10	10,35	0,03	0,26
45		45I10	10,72	0,73	6,82
55	10	55I10	10,25	0,16	1,51
65		65I10	9,37	0,01	0,14
75		75I10	10,35	0,03	0,31
25		25II20	12,45	1,20	9,62
35		35II20	13,42	0,74	5,52
45		45II20	12,24	0,61	4,98
55	20	55II20	11,67	0,92	7,89
65		65II20	10,90	0,80	7,29
75		75II20	11,02	0,44	3,96

\* Com base na massa úmida.

Observação: amostras codificadas de acordo com a distância em relação à fonte luminosa, experimento e tempo de exposição à luz infravermelha.

dez e 20 minutos, está abaixo do valor de umidade para as folhas controle (12,91%), com um teor médio de 10,36% e 11,95%, respectivamente.

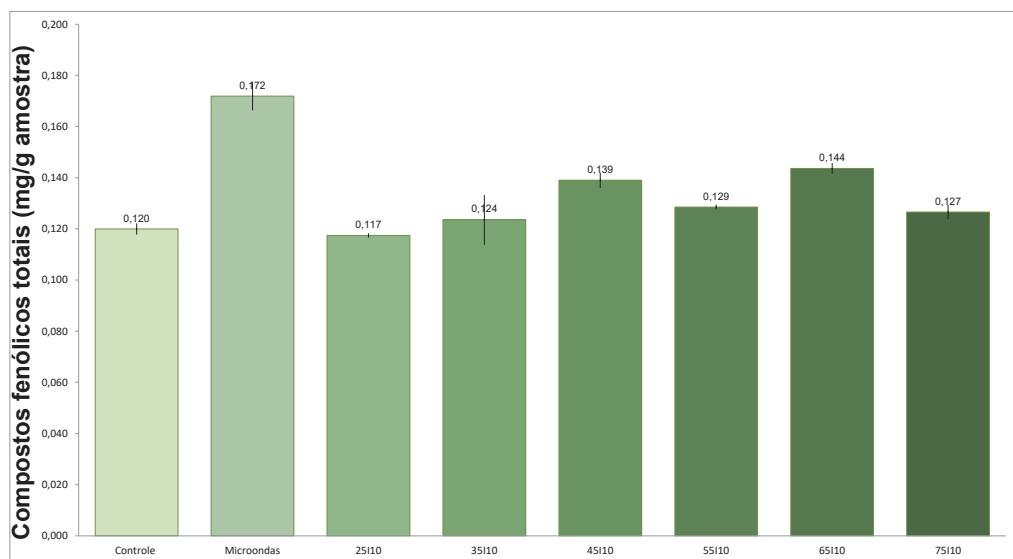
As amostras expostas à radiação por micro-ondas apresentaram um teor médio de umidade de 9,27%.

#### Análise de compostos fenólicos totais

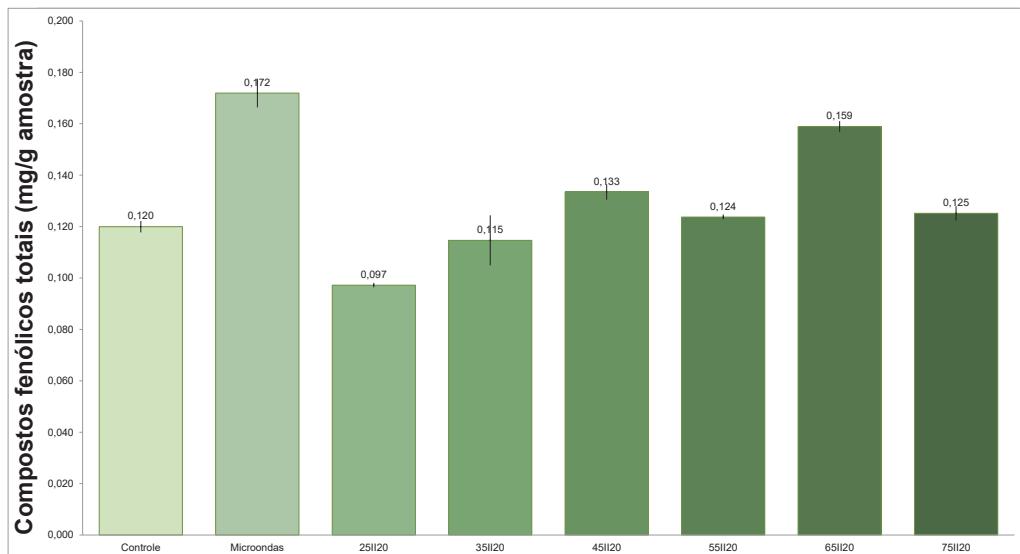
A análise de compostos fenólicos totais foi realizada a partir da extração das amostras em água fervente. As análises foram realizadas em duplicata e o teor de compostos fenólicos totais está apresentado nas Figuras 5 e 6.

Os extratos das folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por dez minutos apresentaram valores de teor de compostos fenólicos totais entre 0,117 mg/g e 0,144 mg/g de amostra, expressos em ácido gálico. O teor de fenólicos não é o mais indicado para mostrar a diferença entre os tratamentos. O tratamento por micro-ondas (0,172 mg/g) é diferente do controle (0,120 mg/g) e das demais amostras tratadas por dez minutos no infravermelho. Todavia, os tratamentos expostos à luz infravermelha por dez minutos não diferem estatisticamente das amostras controle.

Tomasi et al. (2021a, 2021b) realizaram experimentos com chás obtidos de



**Figura 5.** Teor de compostos fenólicos totais (mg/g de amostra) do extrato de folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha, por dez minutos, nas distâncias 25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm, 65 cm e 75 cm.



**Figura 6.** Teor de compostos fenólicos totais (mg/g de amostra) do extrato de folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por 20 minutos, nas distâncias 25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm, 65 cm e 75 cm.

folhas de erva-mate submetidas ao processo de secagem em micro-ondas, liofilização em comparação com métodos tradicionais (torrefação + secador rotativo e torrefação + secador de esteira). Os autores observaram que todos estes processos resultaram em preservação e alto teor de compostos fenólicos e capacidade antioxidante das amostras, sendo que os tratamentos por meio de micro-ondas e liofilização apresentaram valores superiores aos métodos de secagem tradicionais. Apesar dos bons resultados encontrados para o processo de secagem por micro-ondas, em relação à quantidade de compostos fenólicos e atividade antioxidante, os chás preparados obtiveram a menor aceitação no painel sensorial quando comparados

aos demais grupos, devido ao aumento do sabor adstringente, oriundo da composição elevada de compostos fenólicos ácidos, como cafeoilquínicos (CQA) em combinação com o conteúdo de cafeína.

Os extratos das folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por 20 minutos apresentaram valores de teor de compostos fenólicos totais entre 0,097 mg/g e 0,159 mg/g de amostra expressos em ácido gálico. Apenas os teores de compostos fenólicos na distância 65 cm (65II20) foi superior ( $p < 0,05$ ) ao do grupo controle (0,120 mg/g em ácido gálico), com valor de 0,159 mg/g em ácido gálico.

As amostras que apresentaram maiores valores de compostos fenólicos foram: 65II20, com 0,159 mg/g de

amostra e 45II20, com 0,133 µmol TEAC/g de amostra, respectivamente.

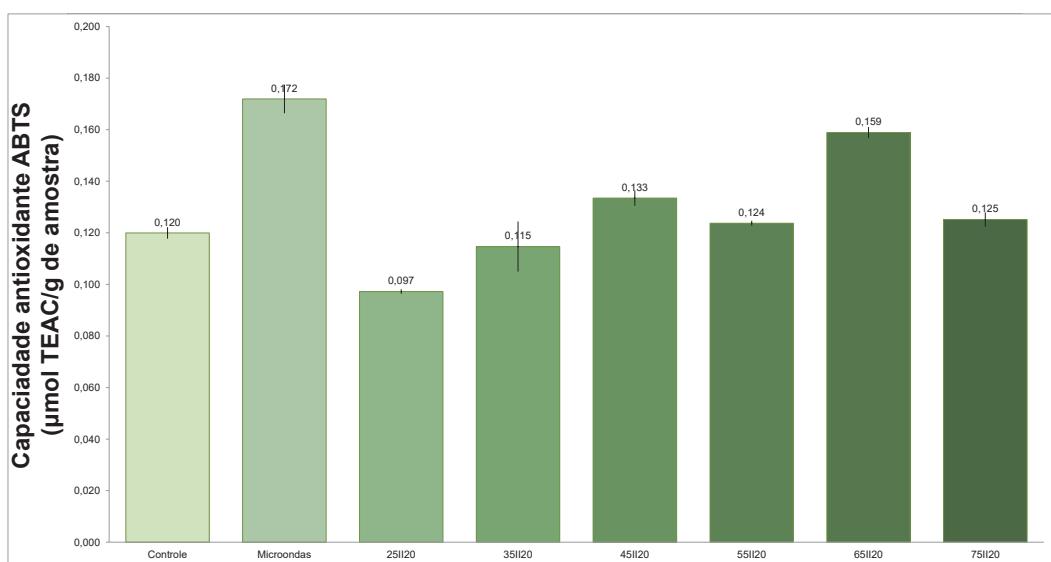
### Atividade antioxidante frente ao radical ABTS

A análise da atividade antioxidante frente ao radical ABTS foi realizada a partir da extração das amostras em água fervente. As análises foram realizadas em duplicata e a atividade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC), expressa em µmol TEAC/g de amostra, está representada nas Figuras 7 e 8.

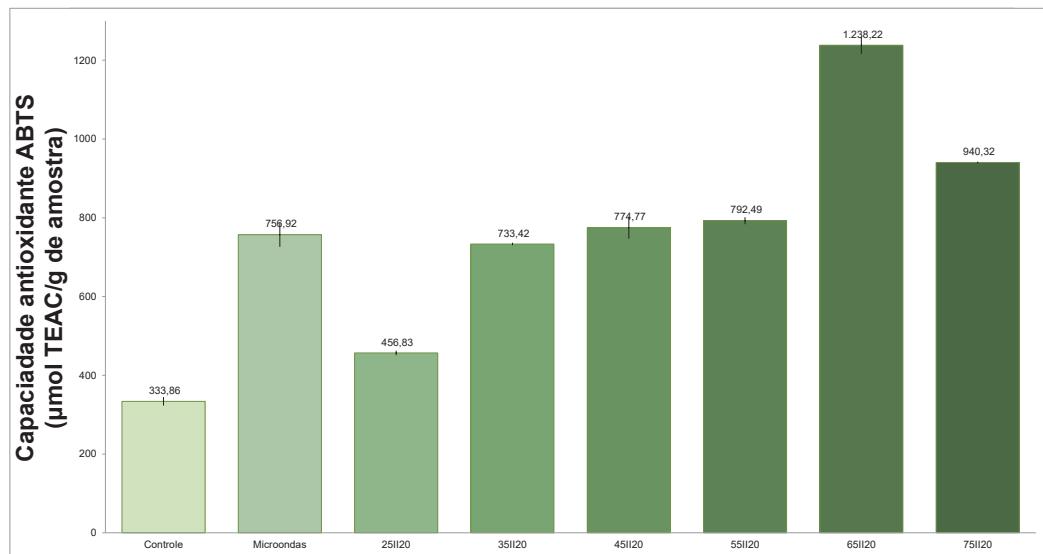
Os extratos das folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por dez minutos apresentaram valores de capacidade antioxidante determinada pelo

método de sequestro do ABTS entre 257,07 µmol TEAC/g e 667,63 µmol TEAC/g de amostra. As folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha, nas distâncias 45 cm (45I10), 55 cm (55I10), 65 cm (65I10) e 75 cm (75I10), apresentaram resultados com valores superiores ( $p < 0,05$ ) aos do grupo controle (333,86 µmol TEAC/g de amostra), com valores de 440,45 µmol TEAC/g; 419,68 µmol TEAC/g; 667,63 µmol TEAC/g e 436,90 µmol/g de amostra, respectivamente.

As amostras que se destacaram quanto aos valores de atividade antioxidante frente ao ABTS foram: 65I10, com 667,63 µmol TEAC/g de amostra e 45I10, com 440,45 µmol TEAC/g de amostra, respectivamente. A amostra que foi



**Figura 7.** Atividade antioxidante frente ao radical ABTS (µmol TEAC/g de amostra) do extrato de folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por dez minutos, nas distâncias 25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm, 65 cm e 75 cm.



**Figura 8.** Atividade antioxidante frente ao radical ABTS ( $\mu\text{mol TEAC/g de amostra}$ ) do extrato de folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por 20 minutos, nas distâncias 25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm, 65 cm e 75 cm.

submetida à radiação por micro-ondas obteve um valor de atividade antioxidante frente ao ABTS de 756,92  $\mu\text{mol TEAC/g de amostra}$ .

Os extratos das folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por 20 minutos apresentaram valores de capacidade antioxidante determinada pelo método de sequestro do ABTS entre 456,83  $\mu\text{mol TEAC/g}$  e 1.238,22  $\mu\text{mol TEAC/g de amostra}$ . Todas as amostras obtiveram valores de capacidade antioxidante superiores aos do controle ( $p < 0,05$ ). Ainda, as amostras expostas à luz infravermelha por 20 minutos, nas distâncias de 65 cm (65II20) e 75 cm

(75II20) apresentaram os mais altos valores e superiores aos do tratamento por micro-ondas (756,92  $\mu\text{mol TEAC/g de amostra}$ ), com valores de 1.238,22  $\mu\text{mol TEAC/g}$  e 940,32  $\mu\text{mol TEAC/g de amostra}$ , respectivamente.

Os valores encontrados para as amostras que se destacaram nos tempos de dez e 20 minutos de exposição à luz infravermelha (65I10, 45I10, 65II20 e 75II20) estão acima do valor encontrado para o controle (333,86  $\mu\text{mol TEAC/g de amostra}$ ) e também para as folhas secas em micro-ondas, indicando um possível efeito de inativação das enzimas pela radiação infravermelha.

## Atividade antioxidante frente ao radical DPPH

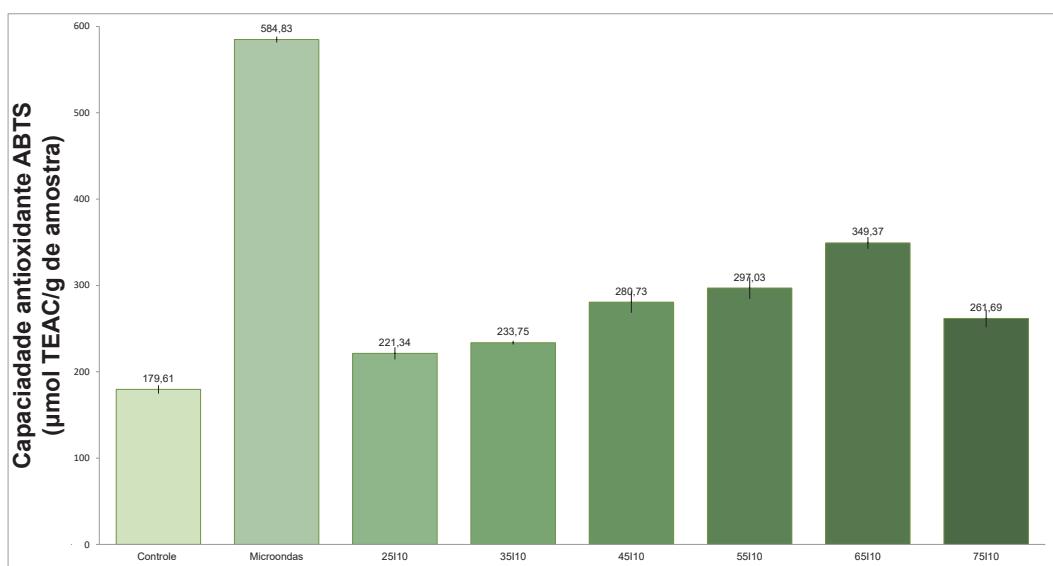
A análise da atividade antioxidante frente ao radical DPPH foi realizada a partir da extração das amostras em água fervente. As análises foram realizadas em duplicata e a atividade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC), expressa em  $\mu\text{mol}$  TEAC/g de amostra, está representada nas Figuras 9 e 10.

Os extratos das folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por dez minutos apresentaram valores de capacidade antioxidante determinada pelo método de sequestro do DPPH entre 221,34  $\mu\text{mol}$  TEAC/g e 349,37  $\mu\text{mol}$  TEAC/g de amostra. Todas as amostras de erva-mate expostas à luz

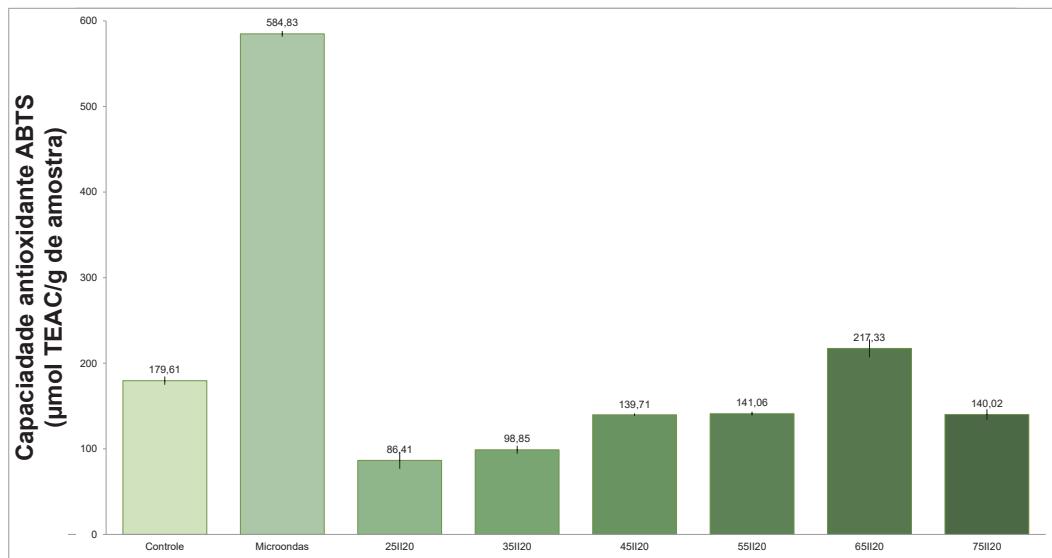
infravermelha por dez minutos apresentaram resultados superiores ( $p < 0,05$ ) aos do grupo controle (179,61  $\mu\text{mol}$  TEAC/g de amostra).

As amostras que apresentaram maiores valores de atividade antioxidante frente ao DPPH foram: 65I10, com 349,37  $\mu\text{mol}$  TEAC/g de amostra e 55I10, com 297,03  $\mu\text{mol}$  TEAC/g de amostra, respectivamente. A amostra que foi submetida à radiação por micro-ondas obteve um valor de atividade antioxidante frente ao DPPH de 584,83  $\mu\text{mol}$  TEAC/g de amostra.

Os extratos das folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por 20 minutos apresentaram valores de capacidade antioxidante determinada pelo método de sequestro do DPPH



**Figura 9.** Atividade antioxidante frente ao radical DPPH ( $\mu\text{mol}$  TEAC/g de amostra) do extrato de folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por dez minutos, nas distâncias 25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm, 65 cm e 75 cm.



**Figura 10.** Atividade antioxidante frente ao radical DPPH (μmol TEAC/g de amostra) do extrato de folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por 20 minutos, nas distâncias 25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm, 65 cm e 75 cm.

entre 86,41 μmol TEAC/g e 217,33 μmol TEAC/g de amostra. Apenas a amostra colocada à distância de 65 cm (65II20) obteve resultado superior ( $p < 0,05$ ) ao do grupo controle, com valor de 217,33 μmol TEAC/g de amostra.

As amostras que apresentaram maiores valores de atividade antioxidante frente ao DPPH foram: 65II20, com 217,33 μmol TEAC/g de amostra e 55II20, com 141,06 μmol TEAC/g de amostra, respectivamente.

Os valores encontrados para as amostras que se destacaram nos tempos de dez e 20 minutos de exposição à luz infravermelha (65I10, 55I10, 65II20 e 55II20) estão acima do valor encontrado para o controle (179,61 μmol TEAC/g de amostra), indicando um possível efeito

de inativação das enzimas pela radiação infravermelho.

Considerando o compilado de dados referentes ao teor de compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante frente aos radicais ABTS e DPPH, pode-se observar que as amostras de folhas de erva-mate expostas à luz infravermelha por dez minutos na distância 65 cm (65I10) foi o tratamento que apresentou os melhores resultados, com 0,144 mg/g para os compostos fenólicos, 667,63 μmol TEAC/g de amostra para a capacidade antioxidante frente ao radical ABTS e 349,37 μmol TEAC/g de amostra para a capacidade antioxidante frente ao radical DPPH.

Com relação à exposição à luz infravermelha por 20 minutos, as amostras de

folhas de erva-mate que se destacaram também foram aquelas do tratamento com distância de 65 cm (65II20), com 0,159 mg/g para os compostos fenólicos, 1.238,22  $\mu$ mol TEAC/g de amostra para a capacidade antioxidantante frente ao radical ABTS e 217,33  $\mu$ mol TEAC/g de amostra para a capacidade antioxidantante frente ao radical DPPH.

As amostras 65II20 e 75II20 apresentaram valores de capacidade antioxidantante frente ao radical ABTS superiores aos valores obtidos para as folhas que sofreram exposição à radiação por micro-ondas, indicando uma possível inativação das enzimas responsáveis pelo escurecimento das folhas devida à radiação infravermelha.

Em todas as avaliações realizadas (compostos fenólicos e atividade antioxidantante frente aos radicais ABTS e DPPH), as amostras expostas à radiação nas distâncias 25 cm e 35 cm apresentaram valores inferiores aos verificados para o grupo controle, possivelmente devido aos danos causados pela radiação infravermelha (Figura 4).

Para os tratamentos realizados, no tempo de exposição à luz infravermelha de dez minutos, a atividade antioxidantante frente ao radical DPPH seguiu a ordem: folhas secas em microondas > folhas expostas à luz infravermelha > folhas in natura. Para o tempo de exposição à luz infravermelha de 20 minutos, a atividade antioxidantante frente ao radical DPPH seguiu a ordem: folhas secas em microondas > folhas in natura > folhas expostas à luz infravermelha (exceto amostra 65II20).

## Considerações finais

O tempo de exposição e distância das folhas à luz infravermelha e a interação entre esses parâmetros são significativos para a propriedade "poder antioxidantante" (por ABTS ou por DPPH). No entanto, para o teor de fenólicos, a distância foi mais importante e a interação tempo x distância não foi significativa.

A partir dos resultados deste trabalho, poder-se-á direcionar a construção/adaptação de fornos para inativação de folhas de erva-mate mediante o uso de lâmpadas infravermelhas, em escala piloto.

Ainda faltam testes sensoriais com bebidas produzidas com folhas de erva-mate tratadas com esta metodologia. Outras características físico-químicas estão em andamento, como espectroscopias FITR, outras reações para poder antioxidantante, presença de produtos da degradação térmica de biomassa (levoglucosanas, hidrocarbonetos polícíclicos aromáticos etc.) e inativação de enzimas.

A luz infravermelha pode ser uma alternativa de fácil implementação industrial para prevenir a oxidação de folhas de erva-mate, uma vez que causa uma diminuição da ação das enzimas responsáveis pelo escurecimento das folhas, sem a necessidade da queima das folhas e sua exposição à fumaça, que acumula substâncias potencialmente tóxicas oriunda do processo de sapeco.

Neste estudo, para a potência utilizada na lâmpada, o tempo de exposição de 20 minutos e a distância de 65 cm

da fonte de luz são as condições mais indicadas, uma vez que os teores de fenólicos totais, capacidade antioxidante e inativação das enzimas oxidantes são superiores aos valores do grupo controle.

## Agradecimento

Os autores agradecem à Dayanne Regina Mendes Andrade pelo auxílio na avaliação experimental do teor de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante e inativação enzimática; e, ao Fabrício Augusto Hansel, pelas análises estatísticas no software R.

## Referências

- ALIKARIDIS, F. Natural constituents of *Ilex* species. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 20, p. 121-144, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(87\)90084-5](https://doi.org/10.1016/0378-8741(87)90084-5).
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel - Wissenschaft und -Technologie**, v. 22, p. 25-30, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- CALIXTO, J. B. Efficacy, safety, quality control, marketing and regulatory guidelines for herbal medicines (phototherapeutic agents). **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 33, p. 179-189, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-879x2000000200004>.
- CORSO, M. P.; VIGNOLI, J. A.; BENASSI, M. T. Development of an instant coffee enriched with chlorogenic acids. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 3, p. 1380-1388, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2163-y>.
- DARTORA, N.; SOUZA, L. M. de; SANTANA, A. P.; IACOMINI, M.; VALDUGA, A. T.; GORIN, P. A. J.; SASSAKI, G. L. UPLC-PDA-MS evaluation of bioactive compounds from leaves of *Ilex paraguariensis* with different growth conditions, treatments and ageing. **Food Chemistry**, v. 129, p. 1453-1461, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.112>.
- DIBANDA, R. F.; AKDOWAA, E. P.; RANI P., A.; TONGWAA, Q. M.; MBOFUNG F., C. M. Effect of microwave blanching on antioxidant activity, phenolic compounds and browning behaviour of some fruit peelings. **Food Chemistry**, v. 302, 125308, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125308>.
- FILIP, R.; LÓPEZ, P.; GIBERTI, G.; COUSSIO, J.; FERRARO, G. Phenolic compounds in seven South American *Ilex* species. **Fitoterapia**, v. 72, p. 774-778, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0367-326x\(01\)00331-8](https://doi.org/10.1016/s0367-326x(01)00331-8).
- HELM, C. V.; RUIZ, H. Z.; HANSEL, F. A.; STUEPP, C. A.; WENDLING, I. **Efeito do solvente na extração de teobromina e cafeína em progêneres de erva-mate**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 363). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1038782>.
- HIHAT, S.; REMINI, H.; MADANI, K. Effect of oven and microwave drying on phenolic compounds and antioxidant capacity of coriander leaves. **International Food Research Journal**, v. 24, n. 2, p. 503-509, 2017.
- ISOLABELLA, S.; COGOI, L.; LÓPEZ, P.; ANESINI, C.; FERRARO, G.; FILIP, R. Study of the bioactive compounds variation during yerba mate (*Ilex paraguariensis*) processing. **Food Chemistry**, v. 122, p. 695-699, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.039>.
- LIN, L.; LEI, F.; SUN, D. W.; DONG, Y.; YANG, B.; ZHAO, M. Thermal inactivation kinetics of *Rabdosia serra* (Maxim.) Hara leaf peroxidase and polyphenol oxidase and comparative evaluation of drying methods on leaf phenolic

profile and bioactivities. **Food Chemistry**, v. 134, p. 2021-2029, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.008>.

MESQUITA, M.; SANTOS, E.; KASSUYA, C. A.; SALVADOR, M. J. Chimarrão, terere and mate-tea in legitimate technology modes of preparation and consume: a comparative study of chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and anti-anxiety properties of the mostly consumed beverages of *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 279, 114401, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114401>.

RE, R.; PELEGRINNI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decoloration assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 9/10, p. 1231-1237, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de; MORAIS, S. M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007a. 4 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado técnico, 127). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/426953>.

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de; MORAIS, S. M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS+. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007b. 4 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado técnico, 128). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/426954>.

TOMASI, J. C.; LIMA, G. G. de; DUARTE, M. M.; GODOY, R. C. B.; WENDLING, I.; HELM, C. V.; HANSEL, F. A.; GRUNENVALDT, R. L.;

TOMAZZOLI, M. M.; DESCHAMPS, C. Toasted yerba mate: impact of drying methods on bioactive compounds, antioxidant capacity, and mate tea consumer acceptance. **Journal Food Processing Preservation**, v. 45, n. 11, e15944, 12 p., 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15944>.

TOMASI, J. C.; LIMA, G. G. de; WENDLING, I.; HELM, C. V.; HANSEL, F. A.; GODOY, R. C. B. de; GRUNENVALDT, R. L.; MELO, T. O. de; TOMAZZOLI, M. M.; DESCHAMPS, C. Effects of different drying methods on the chemical, nutritional and colour of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) leaves. **International Journal of Food Engineering**, v. 17, n. 7, p. 551-560, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2020-0312>.

VALDUGA, A. T.; GONÇALVES, I. L.; MAGRI, E.; DELALIBERA FINZER, J. R. Chemistry, pharmacology and new trends in traditional functional and medicinal beverages. **Food Research International**, v. 120, p. 478-503, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.091>.

VALERGA, J.; RETA, M.; LANARI, M. C. Polyphenol input to the antioxidant activity of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extracts. **LWT: Food Science Technology**, v. 45, p. 28-35, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.022>.

XU, D.-P.; LI, Y.; MENG, X.; ZHOU, T.; ZHOU, Y.; ZHENG, J.; ZHANG, J. J.; LI, H.-B. Natural antioxidants in foods and medicinal plants: Extraction, assessment and resources. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 1, 96, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms18010096>.

YIM, H. S.; CHYE, F. Y.; RAO, V.; LOW, J. Y.; MATANJUN, P.; HOW, S. E.; HO, C. W. Optimization of extraction time and temperature on antioxidant activity of *Schizophyllum commune* aqueous extract using response surface methodology. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 275-283, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0349-5>.

**Embrapa Florestas**

Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,  
Caixa Postal 319  
83411-000, Colombo, PR, Brasil  
Fone: (41) 3675-5600  
[www.embrapa.br/florestas](http://www.embrapa.br/florestas)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

**1<sup>a</sup> edição**  
Versão digital (2021)



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

**Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Florestas**

Presidente  
*Patrícia Póvoa de Mattos*

Vice-Presidente  
*José Eldney Pinto Júnior*

Secretária-Executiva  
*Elisabete Marques Oaida*

Membros

*Annette Bonnet*

*Cristiane Aparecida Fioravante Reis*  
*Guilherme Schnell e Schühli*

*Krisle da Silva*

*Marcelo Francia Arco-Verde*

*Marcia Toffani Simão Soares*

*Marilice Cordeiro Garrastazu*

*Valderés Aparecida de Sousa*

Supervisão editorial/Revisão de texto  
*José Eldney Pinto Júnior*

Normalização bibliográfica  
*Francisca Rasche*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Neide Makiko Furukawa*

Fotos capa:  
*Gisele Eilan Perissutti*

**CGPE**