

**CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS E POTENCIAL
BIOLÓGICO DO RESÍDUO DA ERVA-MATE (*ILEX PARAGUARIENSIS*)
PROVENIENTES DO TERERÉ**

Modalidade: Artigo Completo

**Eduarda Hawerth^a, Nathalia Salina^a, Caroline Hennig^a, Arthur Passos^a,
Byanca Melo^a, Milena Cristina^a, Kelly Massarolo^a e Naiara Stefanello^a.**

^aFaculdade Donaduzzi

***duda.rafaela2007@gmail.com**

RESUMO: *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., popularmente conhecida como erva-mate, é uma espécie nativa da América do Sul amplamente consumida no preparo de bebidas tradicionais, como o tereré e o chimarrão. O objetivo deste estudo foi caracterizar o resíduo proveniente do preparo do tereré, que mesmo após o consumo apresenta diversos compostos bioativos, avaliando seu potencial de aplicação farmacêutica. Para isso, inicialmente foram avaliados o teor de umidade e cinzas do resíduo. Posteriormente, foi realizada a extração dos compostos utilizando solventes aquoso e hidroalcoólico, com auxílio de banho ultrassônico. A caracterização dos compostos bioativos foi conduzida por cromatografia de camada delgada (CCD), seguida pela quantificação dos compostos fenólicos, determinação da concentração inibitória mínima (MIC) e avaliação da atividade da acetilcolinesterase. O resíduo apresentou resultados de umidade ($79,9 \pm 0,9\%$), teor de cinzas de ($3,0 \pm 0,06\%$) e pH ($5,90 \pm 0,06$), dentro do esperado. Tanto o extrato aquoso ($156,05 \pm 62,56$ mg EAG/g) quanto o hidroalcoólico ($137,16 \pm 7,2$ mg EAG/g) apresentaram quantidades consideráveis de compostos fenólicos. Não foi observada diferença significativa na atividade da acetilcolinesterase entre as concentrações avaliadas. O extrato etanólico apresentou bons resultados indicando atividades antimicrobiana ($0,0125$ g/mL). Portanto, o resíduo apresenta compostos bioativos com potencial de aplicação farmacêutica, além de favorecer estratégias sustentáveis de reaproveitamento desse material vegetal.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis*, erva-mate, tereré, extração

1 INTRODUÇÃO

A Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* A. St. - hil.) é uma planta amplamente consumida na Argentina, Paraguai e no Brasil. Em território brasileiro, especialmente na região sul, ela é utilizada na preparação de bebidas tradicionais como o tereré e o chimarrão, gerando uma quantidade significativa de resíduo vegetal. Estima-se que no estado de Mato Grosso do Sul, o consumo médio anual per capita seja de 1,45 kg, o que demonstra uma expressiva produção de resíduo (Sanches, 2021).

A matriz vegetal em questão apresenta elevada concentração de compostos bioativos. Notavelmente, mesmo após o processo de infusão a frio, uma fração desses compostos permanece retida no resíduo. Desses constituintes, destacam-se os polifenóis, flavonoides e xantinas (cafeína e teobromina). Tais substâncias são reconhecidas por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas (Cardozo et al., 2021).

Diante desse cenário, o objetivo deste estudo foi caracterizar o resíduo proveniente do preparo do tereré, que mesmo após o consumo mantém compostos bioativos, avaliando seu potencial de aplicação farmacêutica. Além disso, busca-se comparar a eficácia de diferentes solventes de extração, visando possível reaproveitamento desse resíduo nas áreas da saúde e contribuir com a sustentabilidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Ilex paraguariensis A. St.-Hil. é uma árvore de grande porte que alcança 10-20 metros de altura onde seus galhos e folhas são utilizados para comércio conhecida como erva-mate. É uma espécie nativa da América do Sul, principalmente na região da Mata Atlântica e florestas tropicais em detrimento de sua adaptação ao clima subtropical úmido, utilizada principalmente na preparação de bebidas tradicionais com o tereré e o chimarrão (Royal Botanic Gardens, Kew, 2026).

A população sul-mato-grossense consome aproximadamente 1,45 kg de erva-mate per capita anualmente, de acordo com Sanches (2021). Segundo o IBGE (2021) haviam 2.839.188 habitantes no Mato Grosso do Sul em 2021, consequentemente foram consumidos aproximadamente 4,1 mil toneladas de erva mate, gerando uma enorme quantidade de rejeitos. Em detrimento da sustentabilidade idealiza-se possibilidades de reaproveitamento desse resíduo que, mesmo após o uso pelo consumidor, ainda é repleto de compostos bioativos.

A composição química desse rejeito contempla uma gama de metabólitos secundários, os quais são responsáveis por seus potenciais efeitos farmacológicos. Em maior quantidade estão presentes, os ácidos fenólicos como os ácidos clorogênicos, seguido pelas xantinas como cafeína e teobromina, flavonóides, alcalóides e as saponinas. (Cardozo et al., 2021).

Os ácidos clorogênicos possuem grande potencial anti-inflamatório e antioxidante modulando a resposta inflamatória e prevenindo contra as Espécies reativas de Oxigênio (ERO's) protegendo contra o estresse oxidativo, antidiabéticos modulando a homeostase da glicose, efeito cardioprotetor, hepatoprotetor, neuroprotetor recuperando danos neurológicos, anticancerígeno inibindo a migração de células tumorais e antimicrobiano (Nguyen et al., 2024). A cafeína apresenta propriedades estimulantes do sistema nervoso central, anti envelhecimento, antioxidante e anti obesidade, porém possui efeitos negativos como distúrbios de sono, hiperatividade e ansiedade (Lugo-Sanchez AA. et al., 2025).

Vale ressaltar que esses metabólitos secundários possuem atividade antimicrobiana, destacando os compostos fenólicos por realizar desestabilização na membrana celular, aumentando a permeabilidade, enfatizando a interferência em sistemas enzimáticos essenciais ao metabolismo microbiano. Os flavonoides, presentes nessa classe, também podem inibir a síntese de ácidos nucleicos e proteínas, prejudicando a integridade estrutural e as etapas metabólicas celulares. Já

as saponinas possuem capacidade de interagir com os componentes da membrana, especialmente com os esteróis, realizando alterações estruturais. (SIMÕES et al., 2017).

Desse modo, são evidentes as múltiplas atividades da erva-mate. As ações de maior interesse são a antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana, onde por meio da extração de seus compostos ativos podem ser aplicadas a produtos como cosméticos, produtos farmacêuticos e na indústria alimentícia, além de poderem serem incorporados à alimentação animal, na produção de fertilizantes orgânicos, em biocombustíveis e embalagens biodegradáveis. Isso traz alternativas sustentáveis para evitar o desperdício de um resíduo com tanto potencial de reaproveitamento.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Trata-se de um estudo experimental, de abordagem quantitativa, desenvolvido com o objetivo de caracterizar compostos bioativos presentes no resíduo de *Ilex paraguariensis* proveniente do preparo do tereré, bem como avaliar seu potencial biológico por meio de análises físico-químicas, microbiológicas e bioquímicas.

3.1 OBTENÇÃO DO RESÍDUO

As folhas úmidas de *I. paraguariensis* foram obtidas a partir do preparo e consumo de tereré, para evitar o desperdício. O resíduo foi submetido ao congelamento, a fim de evitar a proliferação de microrganismos, e posteriormente descongelado para o manuseio. A amostragem foi feita a partir da homogeneização do resíduo total, retirando uma quantidade suficiente para as análises.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

O teor de umidade foi alcançado submetendo 5g de resíduo úmido, à estufa a 105°C até massa constante, posteriormente calculando o teor a partir da massa seca (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

A determinação de cinzas totais foi realizada a partir da incineração, em um cadinho previamente tarado, de 3g de resíduo na mufla com o aumento gradual da temperatura até 550°C, após o resfriamento em dessecador, procedeu-se à pesagem e ao cálculo do teor a partir da massa de cinzas. (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

Para a determinação do pH foi diluído 1g de amostra em 10 ml de água destilada, homogeneizada e submetida em leitura direta em pHmetro até estabilização do resultado (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

3.3 SECAGEM E PREPARO DO MATERIAL VEGETAL

O resíduo de *Ilex paraguariensis*, previamente armazenado sob congelamento, foi descongelado e submetido ao processo de secagem, visando à redução da umidade e adequação do material para as etapas subsequentes do estudo (SANCHES, 2021; SIMÕES et al., 2017). Inicialmente, foram utilizados aproximadamente 870 g de resíduo úmido. O resíduo foi seco em estufa de circulação de ar a 40° C até a obtenção de massa constante. Após a secagem, o material vegetal foi submetido à moagem em moedor de facas com o objetivo de

promover maior homogeneidade da amostra e adequação para as análises posteriores (SIMÕES et al., 2017).

3.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica do material vegetal seco e triturado foi realizada por meio do método de peneiramento, utilizando tamises de diferentes granulometrias (10, 20, 40 e 80 mesh), sendo selecionado para os procedimentos subsequentes apenas o material retido nos tamises de 40 e 80 mesh. O procedimento foi conduzido mediante agitação manual por 15 minutos, permitindo a separação das partículas de acordo com seu tamanho. Após o peneiramento, obteve-se um total de 90 g de material com granulometria adequada para os processos de extração. A distribuição granulométrica da amostra foi avaliada por meio da observação da fração retida em cada peneira, possibilitando a caracterização granulométrica do material e sua padronização para os procedimentos de extração (SIMÕES et al., 2017).

3.5 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS AQUOSO E HIDROALCOÓLICO

Foram preparados extratos aquoso e hidroalcoólico a partir do resíduo de *Ilex paraguariensis*. O extrato aquoso foi obtido utilizando água como solvente extrator, enquanto o extrato hidroalcoólico foi preparado empregando solução hidroalcoólica a 50% como solvente (VIEIRA et al., 2009; SILVA et al., 2022).

Para a obtenção dos extratos, foram utilizadas duas porções de aproximadamente 44,5 g de resíduo seco, correspondentes à divisão da massa total seca obtida (90 g). O extrato aquoso foi preparado utilizando aproximadamente 450 mL de água destilada, enquanto o extrato hidroalcoólico foi obtido empregando aproximadamente 450 mL de solução hidroalcoólica a 50%, correspondendo a uma proporção resíduo:solvente de aproximadamente 1:10 (m/v) para ambas as extrações. As extrações foram conduzidas em banho de ultrassom durante 30 minutos. Ao término do processo extrativo, as amostras foram filtradas em funil contendo algodão e gaze para remoção do material particulado.

Após a extração, o extrato hidroalcoólico foi concentrado utilizando um evaporador rotativo sob pressão reduzida (rotaevaporador). Já o extrato aquoso, por conter apenas água como solvente, foi submetido à liofilização para obtenção do extrato seco. O rendimento dos extratos foi calculado pela relação entre a massa do extrato seco obtido e a massa inicial do material vegetal empregado na extração, conforme a Equação 1, sendo os valores obtidos apresentados na seção de Resultados.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{massa do extrato seco obtido (g)}}{\text{massa inicial do material vegetal seco utilizado (g)}} \times 100$$

Equação 1. Cálculo do rendimento dos extratos.

fonte: adaptado de Simões et al. (2017)

3.6 PURIFICAÇÃO POR PARTIÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO

A purificação dos extratos foi realizada por meio da técnica de partição líquido-líquido, baseada na separação dos compostos conforme suas diferenças de polaridade (HARBORNE, 1998).

Inicialmente, os extratos concentrados foram ressuspensos em água destilada, utilizando-se 100 mL para o extrato aquoso e 150 mL para o extrato hidroalcoólico. As soluções obtidas foram transferidas para funis de separação e submetidas a uma única etapa de partição sequencial com 50 mL de hexano, seguida de 50 mL de diclorometano (DCM) e, posteriormente, 50 mL de acetato de etila, tanto para o extrato aquoso quanto para o extrato hidroalcoólico.

Após agitação manual vigorosa do funil de separação e repouso até completa separação das fases orgânica e aquosa, as frações obtidas foram coletadas individualmente. Os solventes orgânicos foram removidos em evaporador rotativo (rotaevaporador) sob pressão reduzida, e as frações resultantes foram acondicionadas em frascos âmbar, visando minimizar a degradação dos compostos por exposição à luz (HOUGHTON; RAMAN, 1998).

3.7 CROMATOGRAFIA DE CAMADA DELGADA (CCD)

A análise cromatográfica dos extratos obtidos do resíduo de *Ilex paraguariensis* foi realizada por Cromatografia de Camada Delgada (CCD), utilizando placas de sílica gel como fase estacionária. Foram analisadas as frações aquosa-hexano, aquosa-diclorometano (DCM), aquosa-acetato de etila e hidroalcoólica-hexano.

As frações aquosa-hexano, aquosa-diclorometano e hidroalcoólica-hexano foram previamente diluídas em metanol, enquanto a fração aquosa-acetato de etila foi diluída em acetato de etila. As amostras foram aplicadas nas placas cromatográficas com auxílio de capilares.

A fase móvel utilizada foi composta por acetato de etila (81 mL), metanol (11 mL) e água destilada (8 mL). As placas foram colocadas em cuba cromatográfica contendo a fase móvel e mantidas até a ascensão do eluente por capilaridade.

Após o desenvolvimento cromatográfico, as placas foram observadas sob luz ultravioleta. Em seguida, foram submetidas à revelação com ácido sulfúrico e reagente de Dragendorff, permitindo a visualização qualitativa dos compostos presentes nos extratos (HARBORNE, 1998; HOUGHTON; RAMAN, 1998).

3.8 ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS

A quantificação dos compostos fenólicos dos extratos foi realizada a partir do método de Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999), onde se utilizou como reagente o Folin-Ciocalteu. Para produzir a curva padrão aplicou-se as concentrações de ácido gálico na faixa de 1-8 µg/mL medindo-se as absorbâncias em um espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda de 760 nm. Após a realização da curva padrão foi feita a leitura das amostras dos extratos aquoso e hidroalcoólico em triplicata, certificando que as absorbâncias obedeceram à Lei de Beer-Lambert com

leituras de 0,2 a 0,8. Posteriormente foram calculados os resultados dos fenóis totais em equivalentes de ácido gálico (EAG), a partir da equação da reta da curva padrão.

3.9 CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA (MIC):

A atividade antimicrobiana do extrato de *Ilex paraguariensis* foi avaliada por meio da determinação da Concentração Inibitória Mínima (MIC) frente à bactéria *Escherichia coli*.

A MIC corresponde à menor concentração de uma substância capaz de inibir o crescimento visível de um microrganismo após um período de incubação, sendo amplamente utilizada na avaliação do potencial antimicrobiano de extratos vegetais e compostos bioativos (CLSI, 2018).

A análise foi realizada utilizando a técnica de microdiluição em caldo, na qual diferentes concentrações do extrato foram colocadas em contato com uma suspensão padronizada de *E. coli*. Após incubação por 24 horas a 37 °C, os poços foram avaliados visualmente quanto à presença ou ausência de crescimento bacteriano. Posteriormente, foi realizado o plaqueamento em meio sólido para confirmação dos resultados obtidos na microplaca e determinação da Concentração Bactericida Mínima (MBC).

3.10 ATIVIDADE DA ACETILCOLINESTERASE

As amostras dos pacientes foram isoladas do sangue coletado com EDTA e separados com o gradiente de densidade Ficoll–Histopaque como descrito por Böyum (1968). A proteína foi determinada previamente para as amostras em 0,1-0,2 mg/dL de acordo com o método de Bradford (1976) usando albumina bovina como padrão. Após, a atividade da AChE foi determinada de acordo com Ellman et al. (1961) e modificada por Fitzgerald e Costa (1993). Brevemente, em cada poço foi adicionado água, extrato, amostra dos linfócitos e sistema. A placa foi dividida entre as diferentes concentrações de extrato, controle e branco. Em seguida adicionou-se o substrato e levou-se a um leitor de placas espectrofotométrico a 412 nm. A leitura foi feita nos tempos 0 min e 30 min. A AChE foi calculada a partir do quociente entre a atividade da AChE dos linfócitos e o conteúdo proteico e os resultados são expressos em µmol/h/mg de proteína. O extrato hidroalcoólico - fração diclorometano - foi dissolvido em etanol 10% em diferentes concentrações (0, 0,0001%, 0,001%; 0,01% e 0,1%) foram utilizadas no ensaio da atividade da AChE.

A partir disso calculou-se a atividade por meio da equação.

$$Atividade = \frac{(Abs\ final - Abs\ inicial) \times 2}{(30' \times 13,6 \times 0,15 \times Prot)} = valor \times 60\ (hora)$$

Equação 2. Cálculo da atividade da acetilcolinesterase (AChE).

Fonte: Adaptado de Ellman et al. (1961) e Fitzgerald e Costa (1993).

Para a análise dos resultados foi realizado o teste estatístico ANOVA de uma via seguida de teste de Dunnett 's.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

As análises de umidade e teor de cinzas foram realizadas em triplicata, enquanto a determinação do pH foi realizada em duplicata. Os resíduos vegetais apresentaram teor médio de umidade de $79,9 \pm 0,9\%$, teor de cinzas de $3,0 \pm 0,06\%$ e pH de $5,90 \pm 0,06$.

O elevado teor de umidade indica grande disponibilidade de água no material, característica esperada para resíduos de erva-mate após seu consumo, uma vez que a erva permanece em contato direto com água durante o preparo da bebida. O baixo teor de cinzas demonstra predominância de matéria orgânica e reduzida fração mineral. Os resultados obtidos são semelhantes aos descritos por Queiroz (2007) para resíduos vegetais utilizados em compostagem, que apresentaram elevada umidade, baixo conteúdo mineral e pH levemente ácido. Essas características favorecem a atividade microbiana e a degradação da matéria orgânica.

4.2 CROMATOGRAFIA DE CAMADA DELGADA (CCD)

A cromatografia em camada delgada (CCD) foi empregada como técnica qualitativa para a avaliação do perfil químico das diferentes frações obtidas do resíduo de *Ilex paraguariensis*. A análise permitiu a observação da separação dos compostos presentes em cada fração, bem como a comparação entre os perfis cromatográficos após a utilização de diferentes reagentes reveladores, conforme ilustrado a seguir.

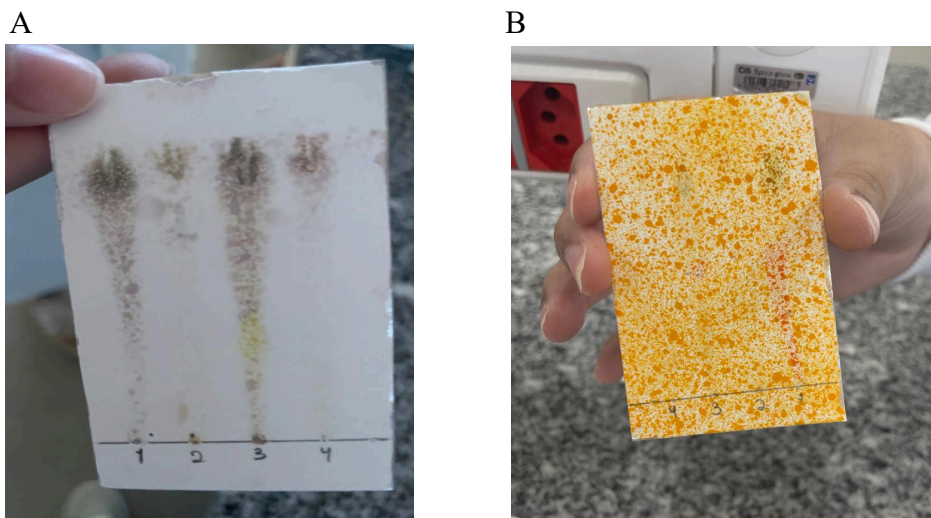


Figura 1. Placas cromatográficas das frações aquosa-hexano (1), aquosa-diclorometano (2), aquosa-acetato de etila (3) e hidroalcoólica-hexano (4) obtidas por CCD após revelação com ácido sulfúrico (A) e reagente de Dragendorff (B).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura A apresenta as placas cromatográficas obtidas a partir das frações aquosa-hexano (1), aquosa-diclorometano (2), aquosa-acetato de etila (3) e

hidroalcoólica-hexano (4) do resíduo de *Ilex paraguariensis*. Observou-se a formação de manchas em diferentes alturas das placas, indicando a separação de compostos com diferentes polaridades presentes nos extratos analisados.

Na Figura B, após a revelação com reagente de Dragendorff, foram observadas manchas de coloração alaranjada-avermelhada, sugerindo a presença de compostos alcaloídicos. Já na Figura A, a revelação com ácido sulfúrico permitiu a visualização de diferentes compostos orgânicos presentes nas amostras, evidenciando a complexidade química dos extratos obtidos.

As frações aquosa-diclorometano e aquosa-acetato de etila apresentaram manchas mais evidentes, sugerindo maior concentração de metabólitos secundários nessas frações. De modo geral, a CCD demonstrou a presença de diferentes compostos químicos no resíduo de erva-mate, confirmando a eficiência da extração e da partição líquido-líquido na separação dos constituintes presentes nas amostras.

Os valores de R_f obtidos para as frações analisadas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de R_f obtidos para as frações do resíduo de *Ilex paraguariensis* analisadas por CCD.

Amostra	Distância da mancha (cm)	R_f
1 – Aquosa Hexano	6,0	0,75
2 – Aquosa DCM	6,5	0,81
3 – Aquosa Acetato de Etila	6,0	0,75
4 – Hidroalcoólica Hexano	5,0	0,63

A fração aquosa-DCM apresentou o maior valor de R_f (0,81), indicando maior mobilidade cromatográfica dos compostos presentes na fração. Em contrapartida, a fração hidroalcoólica-hexano apresentou o menor valor de R_f (0,63), sugerindo maior interação com a fase estacionária. Esses resultados corroboram a influência da polaridade dos solventes empregados na partição líquido-líquido e evidenciam a presença de compostos com características químicas distintas.

4.3 RENDIMENTO EXTRATIVO, PERFIL FITOQUÍMICO E INFLUÊNCIA DA POLARIDADE DOS SOLVENTES

A composição química de *Ilex paraguariensis* é caracterizada principalmente pela presença de compostos fenólicos, flavonoides, metilxantinas, como cafeína e teobromina, além de saponinas, metabólitos secundários associados às atividades antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana da espécie (CARDOZO et al., 2021). A secagem e a redução granulométrica do resíduo favoreceram a eficiência do processo extrativo, uma vez que a diminuição da umidade e o aumento da área superficial das partículas facilitam o contato entre o material vegetal e os solventes, contribuindo para uma maior transferência dos compostos bioativos para o meio extrator (SIMÕES et al., 2017).

A obtenção dos extratos aquoso e hidroalcoólico evidenciou a influência da polaridade do solvente sobre os compostos extraídos. A água, por ser altamente polar, favorece a extração de substâncias hidrofílicas, como ácidos clorogênicos, flavonoides glicosilados e metilxantinas. Em contrapartida, a solução hidroalcoólica a 50% apresenta polaridade intermediária, possibilitando a extração tanto de compostos polares quanto de metabólitos moderadamente apolares, resultando em maior abrangência química do extrato (VIEIRA et al., 2009; SILVA et al., 2022). Esse comportamento pode explicar o maior rendimento obtido para o extrato hidroalcoólico (5,02%; 2,235 g) em comparação ao extrato aquoso (3,84%; 1,7084 g).

A partição líquido-líquido permitiu a separação dos compostos de acordo com suas diferenças de polaridade. O hexano favorece a extração de substâncias apolares, como lipídeos, ceras e pigmentos, enquanto o diclorometano e o acetato de etila apresentam maior afinidade por compostos de polaridade intermediária, incluindo flavonoides, alcaloides e compostos fenólicos (HARBORNE, 1998; HOUGHTON; RAMAN, 1998). Esse comportamento foi corroborado pelos resultados obtidos por Cromatografia de Camada Delgada (CCD), os quais evidenciaram a presença de metabólitos com diferentes polaridades nas frações analisadas, confirmando qualitativamente a permanência de compostos bioativos no resíduo de *Ilex paraguariensis* mesmo após o preparo do tereré.

4.4 ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos apresentam caráter anfifílico, com porções polares e apolares em sua estrutura, o que favorece sua extração em solventes hidroalcoólicos. As análises dos compostos fenólicos realizadas a partir do método anteriormente descrito renderam os seguintes resultados, $137,16 \pm 7,2$ mg EAG/g para o extrato hidroalcoólico e $156,05 \pm 62,56$ mg EAG/g para o extrato aquoso. Os valores do extrato de água destilada foram superiores, porém pelo desvio padrão elevado essa diferença não é significativa, indicando uma melhor extração em etanol 50%. Vieira (2009) obteve maiores resultados com o solvente de etanol 80% ($2,8 \pm 0,18$ g/100g), no entanto inferiores do presente artigo com etanol 50% ($13,71 \pm 0,72$ g/100g).

Santos (2025) analisou diferentes marcas de erva-mate para tereré, a marca C apresentou maior quantidade de compostos fenólicos em água destilada ($13,53 \pm 3,88$ mg EAG/mL). Quando comparada aos resultados deste trabalho, possui valores superiores ao extrato aquoso ($0,168 \pm 0,055$ mg EAG/mL). Já Silva (2022) apresentou maiores concentrações de fenóis em etanol 50% ($422,10 \pm 5,01$ mg/L) comparando com o presente extrato hidroalcoólico ($148,15 \pm 7,77$ mg/L).

Os valores podem variar de tal maneira por conta de fatores como processamento da amostra, tempo de extração, composição do solvente variando a quantidade de compostos fenólicos nas amostras. Além disso, há diferentes métodos de extração aplicados em diferentes estudos de fenóis o que afeta os resultados e dificulta a comparação dos dados.

Embora os flavonoides sejam reconhecidos como importantes metabólitos secundários presentes em *Ilex paraguariensis*, sua quantificação não foi realizada neste trabalho em decorrência da indisponibilidade de reagentes específicos em quantidade suficiente para a realização do ensaio, configurando uma limitação do estudo e uma perspectiva para investigações futuras.

4.5 CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA (MIC)

Observou-se ausência de crescimento bacteriano nos dois primeiros poços avaliados, indicando atividade inibitória do extrato de *Ilex paraguariensis* sobre o desenvolvimento de *E. coli*. A menor concentração capaz de impedir o crescimento visível da bactéria foi observada no segundo poço, correspondendo a uma MIC de 0,0125 g/mL.

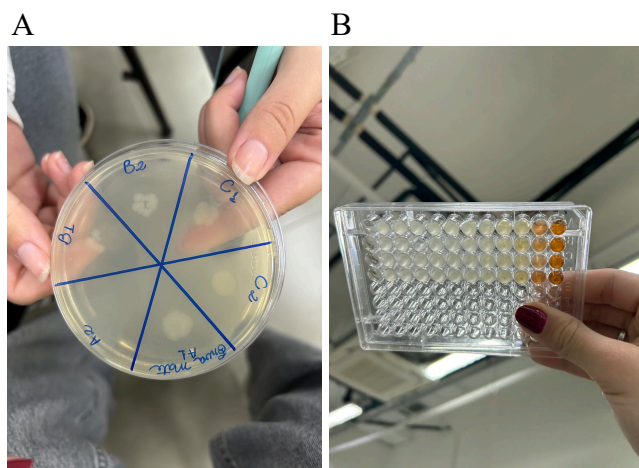


Figura 2. Determinação da atividade antimicrobiana do extrato de *Ilex paraguariensis* frente a *Escherichia coli*. **(A)** Confirmação dos resultados por plaqueamento em meio sólido. **(B)** Ensaio de microdiluição em caldo realizado em microplaca para determinação da Concentração Inibitória Mínima (MIC).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Em concentrações inferiores à MIC foi observado crescimento microbiano, evidenciado pela turbidez do meio de cultura. Os resultados obtidos na microdiluição em caldo podem ser observados na Figura 2B, enquanto a confirmação por plaqueamento em meio sólido está apresentada na Figura 2A.

A avaliação das placas corroborou os resultados obtidos na microplaca. A Concentração Bactericida Mínima (MBC) foi determinada como superior a 0,025 g/mL, sugerindo que concentrações mais elevadas seriam necessárias para promover a eliminação completa das células bacterianas.

A atividade antimicrobiana observada pode estar relacionada à presença de compostos fenólicos, flavonoides, saponinas e metilxantinas presentes na erva-mate, substâncias frequentemente associadas à ação antimicrobiana e antioxidante da espécie (CARDOZO et al., 2021). Esses metabólitos secundários podem atuar sobre a membrana celular bacteriana, alterar processos metabólicos e reduzir a capacidade de multiplicação dos microrganismos (BASTOS et al., 2007).

Dessa forma, a determinação da MIC permitiu comprovar a atividade antimicrobiana do extrato de erva-mate frente à *Escherichia coli*, evidenciada pela concentração inibitória de 0,0125 g/mL. Esses resultados complementam as análises fitoquímicas realizadas anteriormente e reforçam o potencial biológico dos compostos presentes em *Ilex paraguariensis*.

4.6 ATIVIDADE DA ACETILCOLINESTERASE

A acetilcolina atua inibindo a síntese de citocinas pró-inflamatórias, e a acetilcolinesterase é responsável pela degradação da acetilcolina. Deste modo, a redução da atividade dessa enzima pode aumentar a disponibilidade de acetilcolina, favorecendo a ativação da via colinérgica anti-inflamatória. Dessa forma, a avaliação da atividade da acetilcolinesterase pode ser utilizada como um marcador indireto do potencial anti-inflamatório dos extratos vegetais, conforme descrito por Pavlov e Tracey (2004).

Neste estudo não foi observada alteração significativa na atividade da acetilcolinesterase, como apresentado na figura 3. Nas análises estatísticas o $P=0,9032$ demonstra uma diferença não significativa, porém, outros autores registraram resultados divergentes.

Muñoz-Culla et al. (2016) apresentaram uma redução significativa e dependente da concentração na ativação linfocitária. Da mesma forma, Luz et al. (2016) demonstraram que o extrato de erva-mate apresentou atividade anti-inflamatória e a modulação de citocinas inflamatórias em um modelo animal de inflamação pulmonar. Em adição, o tratamento com extrato de erva-mate foi capaz de prevenir efeitos inflamatórios em um modelo de inflamação induzida por lipopolissacarídeo (LPS) em uma cultura de astrócitos, reduzindo mediadores pró-inflamatórios e oxidativos, modulando a atividade da acetilcolinesterase e aumentando as defesas antioxidantes (Ludke et al., 2025). Ou seja, existem dados da literatura que destacam o papel da erva-mate na modulação da inflamação, contudo, nossos resultados não corroboram com esses achados.

Dessa forma, os resultados deste trabalho podem ter divergido por conta da fração de DCM utilizada que é composta principalmente por terpenos e compostos lipofílicos (HARBORNE, 1998; HOUGHTON; RAMAN, 1998). Em contrapartida, alguns dos principais metabólitos da erva-mate associados a atividades biológicas, como o ácido clorogênico e a rutina, apresentam maior polaridade e tendem a ser concentrados em frações como a de acetato de etila. Além disso, a divergência deriva das concentrações utilizadas dos extratos, falha na aplicação do método durante a experimentação no laboratório, mas principalmente pelo número de pacientes analisados (N) e pelo ensaio feito apenas em duplicata.

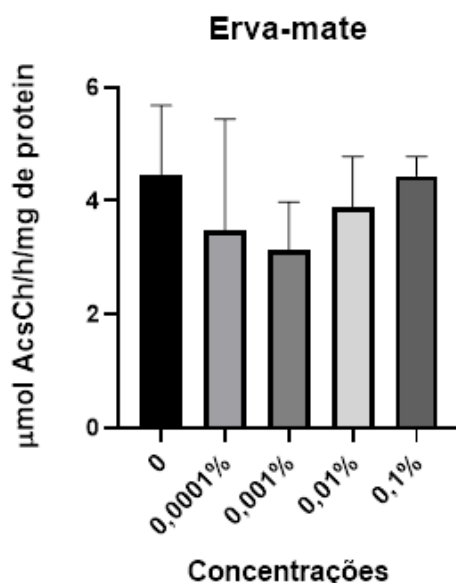


Figura 3. Atividade da AChE em linfócitos de pacientes expostos a diferentes concentrações (0,0001, 0,001, 0,01, 0,1%) da fração de diclorometano do extrato do resíduo da erva-mate derivada do tereré. Cada coluna representa a média $\pm$ erro padrão da média (n = 3). Os resultados são expressos em μmol de AcsCh/h/mg de proteína (ANOVA de uma via seguida pelo teste de Dunnett 's).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou o resíduo vegetal de *Ilex paraguariensis* focando em suas propriedades químicas e biológicas. Os resultados demonstraram que o extrato hidroalcoólico apresentou maiores teores de fenóis comparados ao aquoso. A análise de MIC mostrou que o extrato hidroalcoólico inibiu a *E. coli*. A atividade da acetilcolinesterase em linfócitos não apresentou diferença.

Entre as limitações do presente estudo destacam-se a impossibilidade da quantificação de flavonoides devido à indisponibilidade de reagentes em quantidade suficiente, o reduzido número de amostras utilizadas no ensaio de acetilcolinesterase e a realização de algumas análises em duplicata. Apesar dessas limitações, os resultados obtidos demonstram o potencial de reaproveitamento do resíduo de erva-mate em aplicações farmacêuticas e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

BAADER, Wilhelm Josef. Cromatografia em camada delgada (CCD). São Paulo: Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: https://www.iq.usp.br/wjbaader/qfl2343/Coloquio_CCD_2013.pdf. Acesso em: 5 jun. 2026.

BASTOS, D. H. M.; OLIVEIRA, D. M.; MATSUMOTO, R. L. T.; CARVALHO, P. O.; RIBEIRO, M. L. Yerba mate: pharmacological properties, research and

biotechnology. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, v. 1, n. 1, p. 37–46, 2007.

BÖYUM, A. Isolation of mononuclear cells and granulocytes from human blood: isolation of mononuclear cells by one centrifugation and granulocytes by combining centrifugation and sedimentation at 1 g. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, Stockholm, v. 21, suppl. 97, p. 77–89, 1968.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, New York, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 1976. DOI: 10.1006/abio.1976.9999.

CARDOZO, A. G. L.; ROSA, R. L.; NOVAK, R. S.; FOLQUITTO, D. G.; SCHEBELSKI, D. J.; BRUSAMARELLO, L. C. C.; RIBEIRO, D. T. B. Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.): uma revisão abrangente sobre composição química, benefícios à saúde e recentes avanços. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, e590101120036, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.20036. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/20036>. Acesso em: 18 maio 2026.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE (CLSI). *Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically*. 11. ed. Wayne, PA: CLSI, 2018. (CLSI Standard M07).

ELLMAN, G. L.; COURTNEY, K. D.; ANDRES JUNIOR, V.; FEATHERSTONE, R. M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical Pharmacology*, Oxford, v. 7, n. 2, p. 88–95, 1961. DOI: 10.1016/0006-2952(61)90145-9.

FITZGERALD, J. L.; COSTA, L. G. Modulation of muscarinic receptor-mediated phosphoinositide metabolism by organophosphorus compounds in rat cerebral cortex. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, Bethesda, v. 266, n. 3, p. 1443–1451, 1993.

HARBORNE, J. B. *Phytochemical methods: a guide to modern techniques of plant analysis*. 3. ed. London: Chapman & Hall, 1998.

HOUGHTON, P. J.; RAMAN, A. *Laboratory handbook for the fractionation of natural extracts*. London: Chapman & Hall, 1998.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de*

referência em 1º de julho de 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 8 maio 2026.

LUDTKE, V. M.; ROSA, T. M. da; BONA, N. P.; REIS, L. F. V. dos; SOUZA, L. P. de; DOMINGUES, W. B.; CAMPOS, V. F.; TAVARES, R. G.; SPANEVELLO, R. M.; FARIAS, I. V.; PEDRA, N. S.; REGINATTO, F. H.; STEFANELLO, F. M. Glioprotective effects of *Ilex paraguariensis* standardized extract through Nrf2 activation and NF- κ B suppression in lipopolysaccharide-treated astrocytes. *Neurochemical Research*, New York, v. 50, n. 5, p. 318, 2025. DOI: 10.1007/s11064-025-04568-8.

LUGO-SANCHEZ, A. A.; CHAVEZ-GRANADOS, P. A.; JURADO, C. A.; ALLAHM, Z.; RAMIREZ-LOPEZ, J. E.; LOPEZ-AYUSO, C. A.; ARANDA-HERRERA, B.; ALSHABIB, A.; GARCIA-CONTRERAS, R. Effects of caffeine on dental mesenchymal stem cells: implications for regenerative applications. *Journal of Functional Biomaterials*, Basel, v. 16, n. 9, p. 314, 2025. DOI: 10.3390/jfb16090314.

LUZ, A. B. G.; NASCIMENTO, M. V. P. S.; FACCHIN, B. M. C.; BARATTO, B.; FRÖDE, T. S.; DALMARCO, E. M.; REGINATTO, F. H. The anti-inflammatory effect of *Ilex paraguariensis* A. St. Hil (Mate) in a murine model of pleurisy. *International Immunopharmacology*, v. 36, p. 165–172, 2016. DOI: 10.1016/j.intimp.2016.04.027.

MUÑOZ-CULLA, M.; SÁENZ-CUESTA, M.; GUERECIA-BARANDIARAN, M. J.; RIBEIRO, M. L.; OTAEGUI, D. Yerba mate (*Ilex paraguariensis*) inhibits lymphocyte activation in vitro. *Food & Function*, Cambridge, v. 7, n. 11, p. 4556–4563, 2016. DOI: 10.1039/C6FO01061J.

NGUYEN, V.; TAINE, E. G.; MENG, D.; CUI, T.; TAN, W. Chlorogenic acid: a systematic review on the biological functions, mechanistic actions, and therapeutic potentials. *Nutrients*, Basel, v. 16, n. 7, p. 924, 2024. DOI: 10.3390/nu16070924.

PAVLOV, V. A.; TRACEY, K. J. The cholinergic anti-inflammatory pathway: a missing link in neuroimmunomodulation. *Molecular Medicine*, New York, v. 10, n. 1–6, p. 42–48, 2004. DOI: 10.2119/2005-00014.Tracey.

QUEIROZ, Fausto Fonseca de. *Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas: estudo de caso de Londrina*. 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

ROYAL BOTANIC GARDENS, KEW. *Plants of the World Online: Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. Kew Science, 2026. Disponível em:
<https://powo.science.kew.org>. Acesso em: 21 maio 2026.

SANCHES, Érico Vinícius Rocha. *A pirólise como procedimento de conversão térmica na valorização econômica dos resíduos da erva-mate (Ilex paraguariensis) oriundos da bebida tereré: estudo da composição química do bio-óleo e das características do biocarvão*. 2021. 101 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br>. Acesso em: 26 mar. 2026.

SANTOS, Beatriz Alves dos. *Análise qualitativa e quantitativa de compostos fenólicos e cafeína em amostras comerciais de erva-mate para chimarrão*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br>. Acesso em: 5 jun. 2026.

SILVA, Natallya Marques da; CAMPOS, Talita Aparecida Ferreira de; MARINS, Annecler Rech de; GOMES, Elienae da Silva; MATIUCCI, Marcos Antonio; SOUZA, Maria Luiza Rodrigues de; BENETI, Stéphanie Caroline; HECK, Stênio Cristaldo; FEIHRMANN, Andresa Carla. Avaliação de diferentes solventes combinados à técnica de alta pressão para extração de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da erva-mate (*Ilex paraguariensis*). *Research, Society and Development*, v. 11, n. 6, e43211629163, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29163. Disponível em: <https://rsdjournal.org>. Acesso em: 5 jun. 2026.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. *Farmacognosia: do produto natural ao medicamento*. Porto Alegre: Artmed, 2017.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. In: PACKER, L. (ed.). *Methods in Enzymology*. San Diego: Academic Press, 1999. v. 299, p. 152–178.

VIEIRA, M. A.; MARASCHIN, M.; PAGLIOSA, C. M.; PODESTÁ, R.; AMBONI, R. D. M. C.; AMANTE, E. R. Análise de compostos fenólicos, metilxantinas, tanino e atividade antioxidante de resíduo do processamento da erva-mate: uma nova fonte potencial de antioxidantes. In: INTERNATIONAL WORKSHOP – ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Cleaner Production Network, 2009. p. 1–11.