Méis de floradas especiais: caracterização molecular por FTIR-ATR

Adriana Paiva de Oliveira[1], Gleyci Gabrieli de Andrade Lima[2], Milene Maris Borba da Silva Henn[3], Vittória Emanueli Gomes Batista [4], Rúben Santana Ramos da Silva[5]

[1] Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso- Campus Cuiabá-Bela Vista, Cuiabá, Brasil (adriana.oliveira@ifmt.edu.br)
[2,3,4,5] Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso- Campus Cuiabá-Bela Vista, Cuiabá, Brasil

Resumo: A avaliação da qualidade e das características químicas do mel é fundamental para atestar sua pureza e seu valor comercial. Nesse cenário, a FTIR-ATR (Espectrometria de Absorção Molecular na Região do Infravermelho por Refletância Total Atenuada) otimiza esse controle por meio de análises diretas, rápidas e sustentáveis, dispensando o preparo de amostras e reagentes e fornecendo uma assinatura espectral completa do produto. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo a caracterização molecular de méis de floradas especiais por meio de FTIR-ATR. Para isso, foram coletadas nove amostras de diferentes tipos de mel de floradas especiais comerciais: angico, aroeira, uva japonesa, melato da bracatinga, eucalipto, cipó-uva, laranjeira, silvestre e café. A análise FTIR-ATR foi realizada em um espectrômetro Shimadzu® modelo i-Spirit 3000, com resolução de 4 cm^{-1}, no modo de transmitância, com 45 scans e faixa de leitura espectral de 4000–400 cm^{-1}. Os resultados demonstraram um perfil molecular com bandas espectrais nas regiões características de méis genuínos conforme a literatura, sem indícios de adulteração. Sendo assim, conclui-se que a FTIR-ATR é uma técnica promissora para a caracterização molecular e o controle de qualidade do mel.

Palavras-chave: mel; FTIR; qualidade; compostos químicos.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação global com a sustentabilidade alimentar e a segurança do alimento tem impulsionado a busca por sistemas de produção mais resilientes e ecologicamente equilibrados. Nesse cenário, a apicultura emerge como uma atividade de fundamental importância, uma vez que as abelhas, como polinizadoras essenciais, desempenham um papel insubstituível na manutenção da biodiversidade e na produtividade agrícola (SCHÜLER et al., 2025).

A apicultura apresenta características sustentáveis que se manifestam nos âmbitos econômico, social e ecológico. Ela promove a integração, o fortalecimento e a melhoria da qualidade de vida do trabalhador por sua eficiência na complementação da renda familiar, gera empreendimentos econômicos e garante a conservação da biodiversidade (RODRIGO POSTELARO, 2021).

O mel é definido como um produto alimentício produzido pelas abelhas melíferas a partir do néctar de flores, de secreções de outras plantas ou, ainda, de excreções de insetos sugadores de plantas (MAPA, 2000). Já os méis de floradas especiais são aqueles produzidos a partir do néctar de flores específicas, em determinadas épocas do ano, conferindo características únicas de sabor, aroma e cor. Devido às propriedades nutricionais e funcionais distintas, bem como às experiências sensoriais diversificadas que proporcionam, o consumo desse tipo de mel tem aumentado significativamente no Brasil e no mundo (GARCIA et al., 2018; FREITAS et al., 2022).

A China é a maior produtora e exportadora de mel, e o Brasil tem ocupado, por anos consecutivos, a décima primeira posição na produção mundial de mel (TREVISOL et al., 2022). A grande expansão na produção e oferta de mel no mercado tem colaborado para o crescimento da apicultura brasileira (GOIS et al., 2013). Para que haja maior reconhecimento e preferência pelo produto nacional nos mercados consumidores, há necessidade constante de controle de qualidade do produto frente às adulterações (FAKHLAEI et al., 2020).

A composição química e a qualidade do mel são muito variadas, e tais diferenças são atribuídas a diversos fatores, como a origem floral do néctar (tipo de florada), a sazonalidade da região e a forma de manejo dos apicultores ao longo de todo o desenvolvimento da cadeia apícola (maturação do favo, processamento e armazenamento do produto) (BATISTON et al., 2020; AQUINO et al., 2024). O mel autêntico deve atender aos requisitos legais vigentes, tanto nacionais quanto internacionais, de qualidade. Sua adulteração pode afetar as

características nutricionais e sensoriais do produto final, além de impactar negativamente a produção e comercialização dos apicultores de uma cadeia produtiva sustentável. Portanto, a garantia de qualidade do mel é essencial para o consumo e a produção (GARCIA et al., 2018; BOSE & PADMAVATI, 2024).

A Espectrometria de Absorção Molecular na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada pode ser uma excelente aliada no controle de qualidade do mel devido à sua rapidez e praticidade. A FTIR-ATR permite a análise direta da amostra, sem necessidade de preparo prévio ou de reagentes químicos, o que torna o processo sustentável e econômico. Em questão de minutos, a técnica gera um "fingerprint" (impressão digital) espectral da amostra, sendo altamente eficiente para identificar fraudes por adição de açúcares comerciais, verificar a origem botânica e monitorar a umidade, garantindo a autenticidade do produto de forma não destrutiva.

Com isso em vista, o objetivo deste trabalho foi a caracterização molecular de méis de floradas especiais comerciais por meio de FTIR-ATR.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foram coletados nove tipos diferentes de méis de floradas especiais comerciais: mel de flores de angico, mel de flores de aroeira, mel de flores de uva japonesa, mel de melato da bracatinga, mel de eucalipto, mel de cipó-uva, mel de florada de laranjeira, mel silvestre e mel de café, numerados de 1 a 9, em ordem.

A caracterização de grupos moleculares foi realizada por espectroscopia de absorção molecular no infravermelho, por varredura espectral, utilizando um espectrômetro de absorção molecular no infravermelho com transformada de Fourier e atenuação total por refletância (FTIR-ATR), marca Shimadzu®, modelo iSpirit3000. As condições experimentais utilizadas foram: resolução de 4 cm^{-1}; modo de transmitância apodizado Sqrtriangle; 45 scans; faixa de leitura espectral de 4000–400 cm^{-1}. A temperatura e a umidade relativa do ambiente de leitura foram de 19,2–19,8 °C e 42–47%, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise por FTIR-ATR das nove amostras de méis de floradas especiais demonstrou que todas apresentam o perfil molecular característico exigido para méis genuínos (Figura 1).

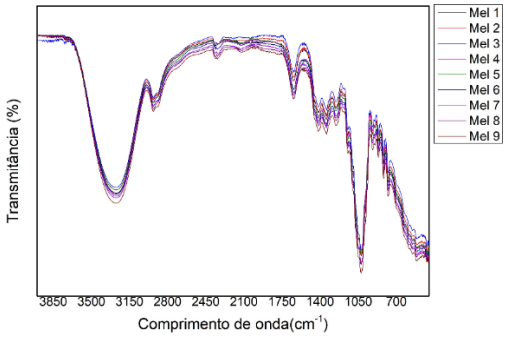


Figura 1. Espectro de absorção FTIR-ATR obtido para as amostras de méis de floradas especiais: 1) angico; 2) aroeira; 3) uva japonesa; 4) melato da bracatinga; 5) eucalipto; 6) cipó-uva; 7) laranjeira; 8) silvestre; e 9) café.

A primeira região de destaque foi observada em aproximadamente 3280 cm^{-1}, atribuída ao estiramento das ligações O-H (Tabela 1). A variação de transmitância observada nesta banda (~30% a ~38%) indica oscilações significativas no teor de umidade e na concentração de açúcares totais entre as floradas avaliadas.

Essa variação é complementada diretamente pela banda em 1640 cm^{-1} (~62% a ~70% de transmitância), associada à deformação angular H-O-H da água livre e estrutural. Como a umidade é um parâmetro crítico para a estabilidade e conservação do mel, essas flutuações espectrais demonstram a sensibilidade do FTIR-ATR para detectar variações físicas e químicas decorrentes da origem botânica e do processamento do produto.

Na região de deformação de ligações orgânicas, a banda em 2930 cm^{-1} (~65% a ~72% de transmitância) foi identificada e atribuída ao estiramento C-H. Este sinal reflete o esqueleto carbônico dos monossacarídeos majoritários do mel, a glicose e a frutose.

Contudo, a região de maior relevância analítica para a diferenciação e controle de qualidade das amostras localizou-se entre 1030 e 1050 cm^{-1} (~15% a ~25% de transmitância). Esta zona, correspondente aos estiramentos C-O e C-C, apresentou o pico principal e mais intenso de absorção, caracterizando a chamada região de *fingerprint* (impressão digital) dos carboidratos.

A alta absorção e as variações nesta faixa confirmam a elevada concentração de açúcares e são fundamentais para discriminar méis de floradas especiais, visto que a proporção de frutose e glicose varia conforme a origem floral.

Tabela 1. Atribuições químicas obtidas em diferentes bandas espectrais por FTIR-ATR nas amostras de méis de floradas especiais avaliadas neste trabalho.

Banda (cm^{-1})	**Atribuição Química**	**Variação Observada (% T)**	**Interpretação nas Amostras**
3280	Estiramento O-H	~30% a ~38%	Diferenças no teor de umidade (água) e de açúcares totais.
2930	Estiramento C-H	~65% a ~72%	Presença de esqueleto carbônico de glicose/frutose.
1640	Deformação H-O-H	~62% a ~70%	Água estrutural/livre no mel.
1030 - 1050	Estiramento C-O, C-C	**~15% a ~25%**	**Pico principal:** alta concentração de açúcares (região de *Fingerprint*).

Além disso, a ausência de picos anômalos ou proeminentes nas regiões de açúcares complexos (como a sacarose comercial, que apresentaria picos distintos) reforça a autenticidade das amostras (ANJOS et al., 2015).

CONCLUSÃO

O uso da técnica analítica instrumental FTIR-ATR mostra-se uma alternativa robusta e rápida para o monitoramento da qualidade de méis, permitindo a valorização de floradas especiais por meio de um método de "química limpa" e de alta reprodutibilidade.

Além disso, dispensa o preparo complexo de amostras e viabiliza tanto a caracterização rotineira do mel quanto a triagem rápida contra fraudes por adição de xaropes comerciais, consolidando o FTIR-ATR como uma técnica promissora para o controle de qualidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMAT pelas bolsas de iniciação científica concedidas, à CAPES pela bolsa de mestrado concedida e ao IFMT pelo fomento à taxa de bancada concedida pelo Edital 137/2025.

REFERÊNCIAS

ANJOS, O.; CAMPOS, M. G.; RUIZ, P. C.; ANTUNES, P. Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey. Food Chemistry, 169, 218–223, 2015.

AQUINO, I. de S.; SANTOS, J. G. dos; BARBOSA, A. da S.; BORGES, P. de F.; SOUSA, S. de. Caracterização Físico-Química de Mel Orgânico Comercial. Revista JRG de Estudos Acadêmicos, São Paulo, v. 7, n. 15, e151375, 2024.

BATISTON, T. F. T. P.; FRIGO, A.; STEFANI, L. M.; SILVA, A. S. D.; ARAUJO, D. N. Physicochemical composition and antimicrobial potential of stingless honey: a food of differentiated quality. Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 10, e7099108223, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Instrução Normativa nº 11, de 20 de outubro de 2000.

BOSE, D.; PADMAVATI, M. Honey Authentication: A review of the issues and challenges associated with honey adulteration. Food Bioscience, v. 61, 105004, 2024.

FAKHLAEI, R. et al. The Toxic Impact of Honey Adulteration: A Review. Foods, v. 9, n. 11, 1538, 2020.

FREITAS, E. P. B. de et al. Physicochemical characterization of honey produced in the municipality of Cachoeira do Arari – Ilha de Marajó, Pará. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 3, e34811326532, 2022.

GARCIA, L. N. H. et al. Physical-chemical quality of honey of Apis mellifera of different flowering. Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal, v. 12, n. 1, p. 1-20, 2018.

GOIS, G. C.; RODRIGUES, A. E.; LIMA, C. A. B.; TRAJANO, L. T. Composição do mel de Apis mellifera: Requisitos de qualidade. Acta Veterinaria Brasilica, v. 7, n. 2, p. 137-147, 2013.

LIMM, W.; KARUNATHILAKA, S. R.; MOSSOBA, M. M. Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Chemometrics for the Rapid Screening of Economically Motivated Adulteration of Honey Spiked With Corn or Rice Syrup. Journal of Food Protection, v. 86, n. 4, 100054, 2023.

POSTELARO, E. R.; AQUINO, M. D. H. de; FERRAREZI JÚNIOR, E. APICULTURA FAMILIAR: sua importância no cenário econômico, social e ecológico. Revista Interface Tecnológica, v. 18, n. 1, p. 298–307, 2021.

SCHÜLER, S.; MELO, N. A. de; EISENBERGER, J. L.; THOMÉ, J.; LOBO, E. A. Inovações na cadeia global da apicultura: uma revisão bibliométrica. Cuadernos de Educación y Desarrollo, [S. l.], v. 17, n. 5, e8303, 2025.

TREVISOL, G.; BUENO, M. P.; OLIVEIRA, J. P. L.; MACEDO, K. G. Panorama econômico da produção e exportação de mel de abelha produzidos

no Brasil. Revista Gestão e Secretariado (GeSec), São Paulo, SP, v. 13, n. 3, p. 352-368, set./dez. 2022.