



Capítulo 4

Recentes desenvolvimentos e potencial da espectroscopia no infravermelho próximo para tipificação de cafés Robustas Amazônicos especiais

*Michel Rocha Baqueta,
Francisco Lucas Chaves Almeida,
Patrícia Valderrama,
Juliana Azevedo Lima Pallone*

Introdução

O consumo de café tem relações positivas com prevenção de diversas doenças e bem-estar emocional, além das propriedades estimulantes (Esquivel; Jiménez, 2012; Rodríguez-Artalejo; López-García, 2018). Alguns destes efeitos benéficos são mencionados na Figura 1. Contudo, o café deixou de ser uma bebida apenas de consumo diário para ser uma bebida apreciada em momentos especiais. Na maioria dos locais onde há pessoas, há também café. Este café, geralmente servido com cor forte e sabor amargo, tem dado espaço para novos sabores e aromas ainda pouco conhecidos pela população em geral, oportunizando os consumidores a experimentar um café especial. Um dos novos cafés especiais que está se popularizando é o Robusta Amazônico.

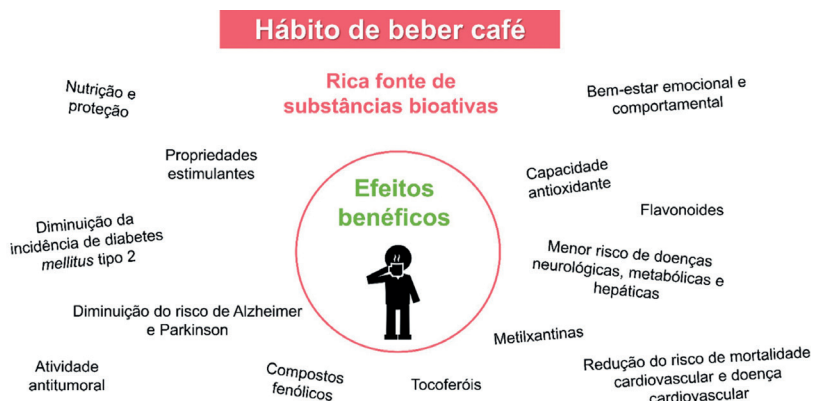


Figura 1. Efeitos benéficos associados ao consumo moderado de café.

O Robusta Amazônico é um café cultivado na região Amazônica do Brasil, mais especificamente no estado de Rondônia na Região Norte do país (Francisco et al., 2021) which are natural intervarietal hybrids of Conilon and Robusta. The impact of genetic diversity and environment on these compounds was also evaluated. Five genotypes (clones 03, 05, 08, 25, and 66. A Figura 2 mostra cafeeiros de Robusta Amazônico de uma fazenda sustentável de Rondônia, pertencendo a família Bento na cidade de Cacoal. É possível visualizar o ciclo do café, desde as flores até os frutos maduros num alto grau de maturação, com cor vermelha intensa, assim como as características físicas das plantas.

O Robusta Amazônico é uma denominação dos cafés cultivados na região Amazônica. São plantas da espécie *Coffea canephora*, oriundas do cruzamento natural entre as variedades botânicas robusta e conilon. O Robusta Amazônico é conhecido por seu perfil de sabor único, que se caracteriza por sua acidez média, corpo aveludado com notas de chocolate, nozes e especiarias. A produção de grãos de café Robusta Amazônico é frequentemente realizada utilizando métodos sustentáveis. Muitos cafeicultores da região Amazônica utilizam técnicas agroflorestais, que envolvem o plantio de cafezais ao lado de outras culturas e árvores. Isto ajuda a promover a biodiversidade e a saúde do solo, além de reduzir o uso de fertilizantes e agrotóxicos (Caferon, 2019; Zacharias et al., 2021).

Os grãos de café Robusta Amazônico estão se tornando cada vez mais populares entre os consumidores de cafés especiais que estão à procura de sabores novos e únicos. No entanto, ainda é um café relativamente novo que tem sido difundido principalmente nos últimos cinco anos.

O presente capítulo apresenta os aspectos gerais do canéfora e a relevância do café Robusta Amazônico neste contexto. Um panorama científico é mostrado e uma análise bibliométrica das pesquisas das últimas décadas é apresentada para embasar as discussões. Técnicas de espectroscopia portátil e de bancada operando na região do infravermelho próximo (NIR – do inglês, *Near Infrared*) são introduzidas e aplicadas para tipificação de cafés Robustas Amazônicos de cafeicultores indígenas e cafeicultores tradicionais de Rondônia. Os resultados obtidos através dos espectros são discutidos e as tendências no uso deste tipo de técnica analítica na avaliação do café Robusta Amazônico são consideradas. A importância da quimiometria para trabalhar com técnicas espectrais é mencionada. Também são expostos estudos já publicados para analisar os Robustas Amazônicos com espectroscopia no NIR realizados por nosso grupo de pesquisa.



Foto: Michel Rocha Baqueta

Figura 2. Cafeeiros de Robusta Amazônico em uma fazenda sustentável de Cacaoal em Rondônia.

Cenário do café canéfora

Apesar da ascensão do Robusta Amazônico, a espécie canéfora sempre foi inferiorizada no cenário mundial do café (Costa, 2020). As características químicas mais marcantes do canéfora que influenciam seu aroma e sabor (amargor, baixa acidez e aroma neutro) foram depreciadas ao longo da história cafeeira, recebendo menos interesse e tendo menor valor comercial. Por ser caracterizada por um teor de sólidos solúveis mais expressivo, trazendo mais rendimento a um menor custo,

o café canéfora vem sendo destinado a produção de café solúvel, além de servir para baratear *blends* com café arábica (Fiorott; Sturm, 2015; Souza et al., 2021).

Porém, grande parte da má reputação do café canéfora é resultado da falta de cuidado durante as etapas de colheita e pós-colheita dos grãos, que resulta na presença de inúmeros defeitos que depreciam a qualidade da bebida e seu preço, e não da qualidade inerente à espécie canéfora. A Figura 3, ilustra a evolução de um café canéfora tradicional para um Robusta Amazônico. Diferentes fatores foram decisivos para mudar o conceito de má qualidade que era até então atribuído a espécie canéfora, inclusive a criação do primeiro protocolo internacional de degustação de canéfora especial em 2010 (Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010). Atualmente, os Robustas Amazônicos progrediram tanto que estão atingindo padrões de qualidade à um nível igual ou até mesmo superior aos cafés especiais da espécie arábica (Alves et al., 2020; Souza et al., 2021; Manfrin Artêncio et al., 2023) por via úmida ou seca, ocorrem processos fermentativos. Estes, podem ser naturais ou induzidos e influenciam a qualidade de bebida. O objetivo desse trabalho foi testar o efeito de métodos de fermentação anaeróbica sobre a qualidade de bebida do Robusta Amazônico (*Coffea canephora*). Estes cafés podem ser uma escolha para os consumidores que preferem um café com sabores e aromas diferenciados, encorpado e que desejam um maior teor de cafeína, pois os cafés da espécie canéfora podem oferecer até duas vezes mais cafeína do que o arábica (Lemos et al., 2020).

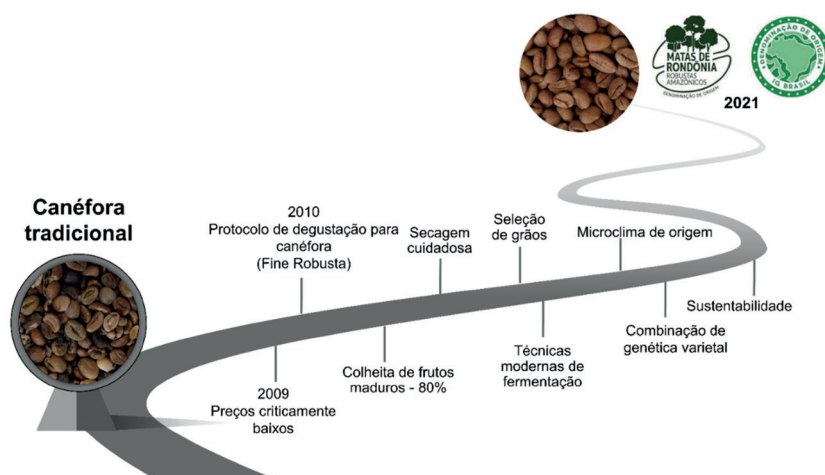


Figura 3. Evolução na qualidade do café canéfora mostrando uma amostra de café canéfora tradicional com defeitos, os fatores envolvidos na mudança da percepção acerca da espécie canéfora e por fim um café Robusta Amazônico especial e sem defeitos seguido dos selos da IG Matas de Rondônia.

Evolução do robusta amazônico e indicação geográfica

Pesquisadores brasileiros têm se empenhado ao longo dos últimos anos para estudar o Robusta Amazônico em diferentes aspectos (Souza et al., 2018; Alves et al., 2020; Dalazen et al., 2020). Contudo, os robustas de Rondônia evoluíram tanto que receberam em 2021 o registro de indicação geográfica (IG) do tipo denominação de origem (DO), resultado de suas inerentes características e da sustentabilidade envolvida na produção. Os Robustas Amazônicos são produzidos na região da IG Matas de Rondônia, que é composta por 15 municípios produzindo cerca de 2 milhões de sacas de café anualmente (Brazil, 2021a; Zacharias et al., 2021). A partir deste marco, há um olhar mais instigante para o potencial dos Robustas Amazônicos, pois são pouco estudados e possuem muitas peculiaridades a serem exploradas, como a diferenciada cafeicultura tradicional e indígena (Baqueta et al., 2023a), a disponibilidade de híbridos intervarietais naturais (Francisco et al., 2021) e de novos cultivares (Teixeira et al., 2020).

O Caderno de Especificações Técnicas do café Robusta Amazônico diz que:

Os cafés da Denominação de Origem Matas de Rondônia são produzidos exclusivamente a partir de cultivares de cafés da espécie *Coffea canephora*. A base genética das plantas dessa espécie é de natureza híbrida a partir de clones resultantes do cruzamento entre as variedades Conilon e Robusta selecionadas de forma empírica pelos próprios produtores locais. A consequência desse cruzamento foi um café diferenciado, que passou a ser chamado de Robustas Amazônicos. O perfil sensorial do café produzido na região é caracterizado pela presença dos descritores: doce, chocolate, amadeirado, frutado, especiaria, raiz e herbal.

A cadeia produtiva do café nas Matas de Rondônia inclui produtores indígenas, familiares, orgânicos e empresariais com foco na produção sustentável (Caferon, 2019).

Produção de robusta amazônico por indígenas

Além dos cafeicultores tradicionais que iniciaram o cultivo de café em Rondônia, cafeicultores indígenas produzem Robustas Amazônicos especiais e sustentáveis que atualmente são comercializados no mercado como microlotes, com apelo de origem diferenciada e indígena, sabores exóticos e sustentabilidade florestal.

A delimitação geográfica da Região das Matas de Rondônia, os municípios que a compõem e a localização das duas terras indígenas podem ser observadas na Figura 4. Diferente dos cafeicultores tradicionais, as famílias indígenas produtoras de café no estado, cerca de 132 no total, habitam na delimitação da IG, localizadas na Terra Indígena Sete de Setembro, no município de Cacoal, e Terra Indígena Rio Branco, em Alta Floresta D'Oeste (Zacharias et al., 2021). Eles produzem o café em meio à floresta amazônica com uma diversidade natural que desempenha um fator importante no reconhecimento destes cafés.



Figura 4. Ilustração com o mapa do Brasil, estado de Rondônia, delimitação da região da IG Matas de Rondônia e das terras indígenas onde o café Robusta Amazônico é cultivado.

Panorama científico dos robustas da amazônia

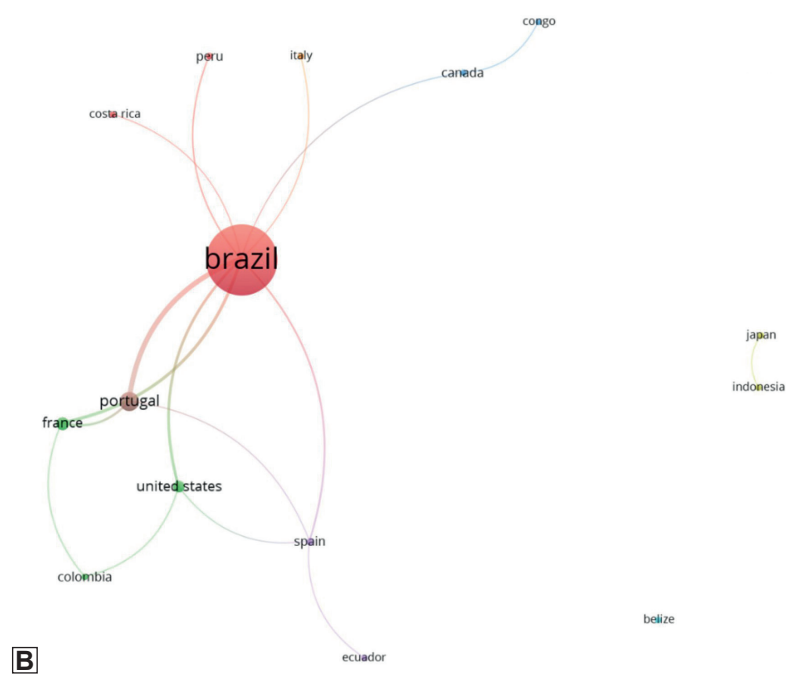
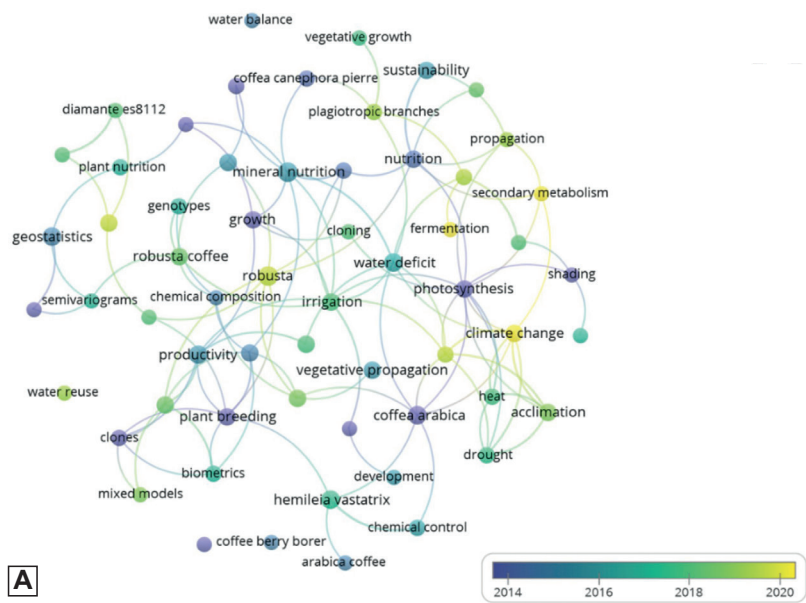
Muitos esforços têm sido feitos para entender mais sobre os Robustas Amazônicos. Contudo, pesquisas visando uma caracterização química ainda são limitadas devido a sua recente introdução no cenário dos cafés especiais. A literatura científica atual (Souza et al., 2018, 2021; Alves et al., 2020; Dalazen et al., 2020; Teixeira et al., 2020; Moraes et al., 2021; Francisco et al., 2021; Lourenço et al., 2022; Francisco et al., 2023) fornece mais informações sobre efeitos de variedade genética, clones, ge-

nótipos ou híbridos de robusta e/ou conilon na qualidade sensorial da bebida do que dados sobre a composição química dos grãos ou da bebida. Baseado nesta busca, verifica-se que faltam pesquisas mais amplas e genéricas para dar uma visão geral do Robusta Amazônico, bem como para contrastar as similaridades e diferenças entre cafés com outras qualidades. O café Robusta Amazônico, assim como todos os canéforas especiais, são um quebra-cabeça a ser estudado.

Análise bibliométrica

A fim de avaliar a perspectiva científica do café Robusta Amazônico, análises bibliométricas foram realizadas pelos autores deste estudo. Termos de busca como “Robusta Amazônico”, “Amazonian Robusta”, “Specialty Robusta”, “Fine Robusta Coffee”, “Brazilian *Coffea canephora*”, “Brazilian Canephora coffee”, “Conilon”, “Specialty Canephora”, “canéfora especial”, “canéfora” e “Uganda Coffee Development Authority” foram usados para realizar a pesquisa.

Uma primeira análise bibliométrica (Figura 5) não mostrou o termo “Robusta Amazônico” na pesquisa com mais de 300 documentos (artigos e revisões), mas sim o termo “Robusta” e uma associação com diferentes termos. Nos últimos anos, o termo “Robusta” tem sido associado com “fermentação”, “mudança climática” e “metabolismo secundário”, conforme é possível ver os pontos amarelos na Figura 5A. Muitos termos como “produtividade, nutrição, cultivo, deficiência hídrica, clone e irrigação” foram associados ao termo “Robusta”, e enfatizam a discussão acima. O termo “composição química” está intimamente relacionado ao termo “Robusta”. Estes resultados revelam como o tema “Robusta Amazônico” é ainda novidade no cenário científico. A Figura 5B mostra que o Brasil lidera na pesquisa de café canéfora, indicando a singularidade e importância no contexto da pesquisa brasileira e mundial. Por fim, a Figura 5C, na qual pontos compartilhando a mesma cor indicam uma relação, mostra os pesquisadores que se destacam, evidenciando assim relações entre pesquisadores brasileiros que estudam o café conilon no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) como Romário Gava Ferrão (Ferrão, R.G.), Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca (Da Fonseca, A.F.A.) e Maria Amélia Gava Ferrão (Ferrão, M.A.G.), e outros como Fábio Luiz Partelli (Partelli, F. L.) que é professor pesquisador na Universidade Federal do Espírito Santo. Há pesquisadores do café de Rondônia relacionados, como Marcelo Curitiba Espindula (Espindula, M.C.), Rodrigo Barros Rocha (Rocha, R.B.) e Alexsandro Lara Teixeira (Teixeira, A.L.). A Figura 5D revela um aumento no número de publicações acerca deste tema ao longo das últimas décadas.



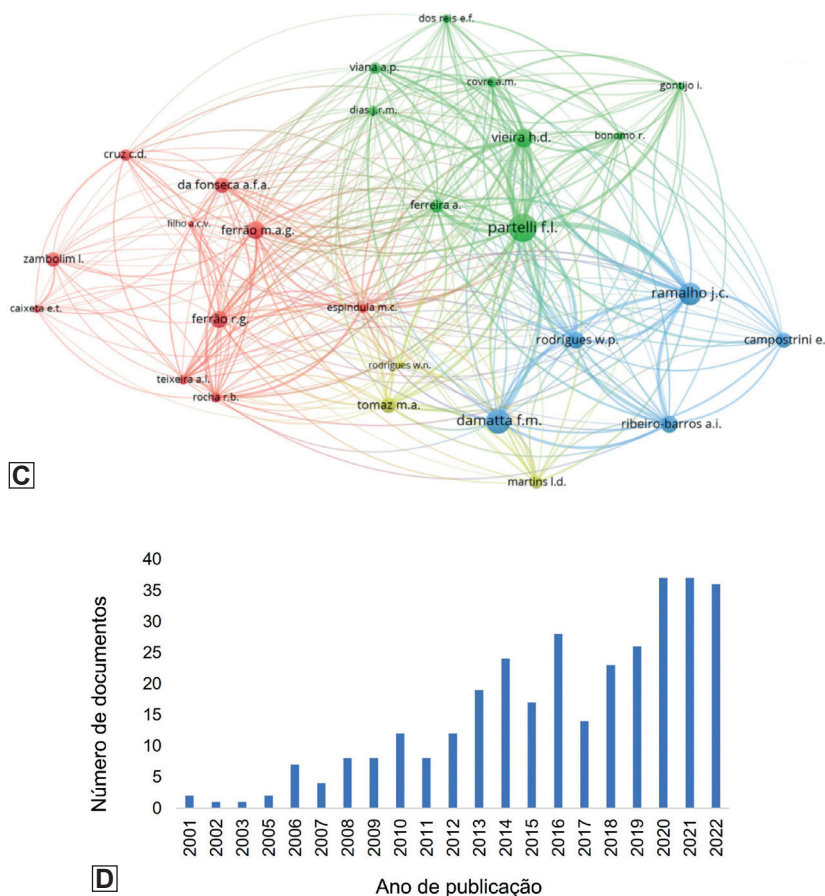
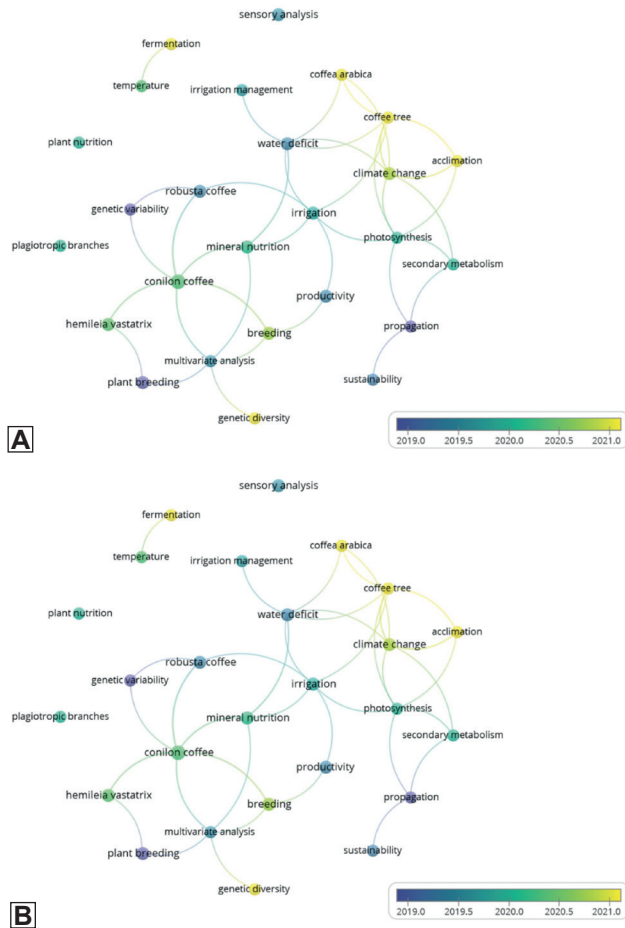


Figura 5. Análise bibliométrica com todos os trabalhos mostrando as redes com a ocorrência de palavras-chave em artigos da plataforma Scopus (A), os países que destacam nestas publicações (B), os autores (C) e número de publicações sobre o tema nos últimos anos (D).

A primeira análise bibliométrica forneceu o estado-da-arte sobre o tema canéfora abordando diversos aspectos. Contudo, essa estratégia pode encobrir os últimos achados importantes que podem ser relevância para entender o caminho atual da pesquisa do café canéfora. Portanto, uma segunda análise bibliométrica foi realizada com as mesmas palavras-chave, mas empregando-se uma estratégia de recorte temporal para os últimos cinco anos (2018–2022) do estado atual da pesquisa científica (Figura 6). Essa nova estratégia selecionou 159 estudos.

Verificou-se que algumas palavras têm relação com o tema principal deste capítulo, como “análise sensorial” e “análise multivariada” apareceram na nuvem

de palavras (Figura 6A). Também foi visto “Conilon” e Robusta”, um importante aspecto do canéfora, pois estas são duas variedades botânicas distintas da espécie (Francisco et al., 2023). Contudo, as palavras-chave “Conilon” e Robusta” foram intimamente relacionadas a termos agrônômicos, assim como na análise anterior. Já o café arábica foi relacionado nos últimos anos a termos como “diversidade genética” e “fermentação”. As pesquisas deste período também colocam o Brasil na liderança de estudo (Figura 6B). Muitos dos autores destacados nas publicações das últimas décadas na primeira análise bibliométrica também foram destacados nas publicações atuais dos últimos cinco anos. Contudo, outros nomes, como do professor pesquisador Lucas Louzada Pereira (Pereira, L.L.) do Instituto Federal do Espírito Santo foram destacados neste período (Figura 6C). De 2018 para 2022, houve um aumento na pesquisa deste tema (Figura 6D).



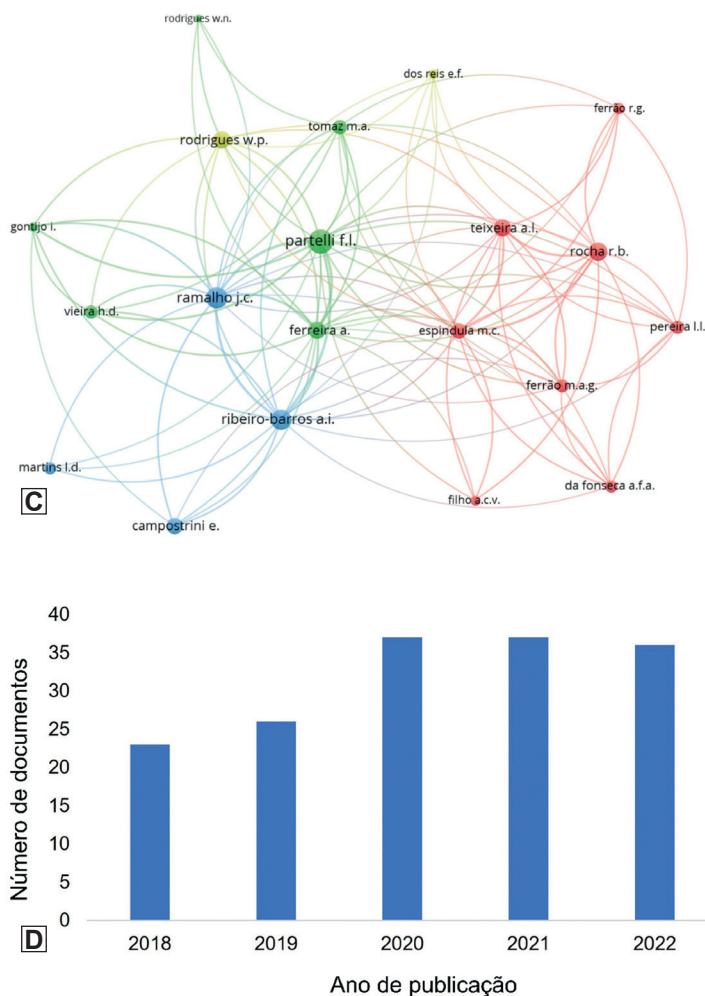


Figura 6. Análise bibliométrica com recorte temporal para os últimos cinco anos (2018-2022) mostrando as redes com a coocorrência de palavras-chave em artigos da plataforma Scopus (A), os países que destacam nestas publicações (B), os autores (C) e número de publicações sobre o tema nos últimos anos (D).

De maneira geral, esta pesquisa bibliométrica indica que embora existam trabalhos relacionados ao tema, a expressão “Robusta Amazônico ou Amazonian Robusta” ainda não é utilizada de forma difundida pelos autores em partes importantes dos trabalhos (título, resumo, palavras-chave), uma vez que, mesmo havendo publicações sobre tal (Souza et al., 2018, 2021; Alves et al., 2020; Dalazen

et al., 2020; Teixeira et al., 2020; Francisco et al., 2021, 2023; Morais et al., 2021; Lourenço et al., 2022), uma busca na base de dados Scopus utilizando “Robusta Amazônico ou Amazonian Robusta” como expressão de busca, fornece menos de cinco documentos. Assim, uma sugestão é que novos trabalhos busquem citar essa expressão em português ou em inglês “Amazonian Robusta” em uma das partes principais utilizadas como locais de busca por outros pesquisadores (por exemplo, título, resumo, palavras-chave), facilitando assim o acesso a trabalhos sobre esse tema e consequentemente a difusão do conhecimento.

Certificação de café tradicional e alternativas espectrais

A instrumentação analítica moderna é muito útil para avaliar a identidade do café, como para os Robustas Amazônicos. Muitas técnicas analíticas evoluíram e têm sido propostas para complementar os métodos tradicionais de análise para caracterização e certificação do café (Baqueta et al., 2020). A análise direta do café em suas diferentes formas, incluindo o grão verde ou torrado intacto, ou propriamente do pó de café verde ou torrado e moído é um dos principais avanços, sem necessitar de métodos de extração e separação de compostos individuais (Baqueta et al., 2020, 2021a).

Com a evolução dos Robustas Amazônicos, é imperativo que um sistema de certificação da indicação geográfica seja elaborado para rigorosamente triar e certificar as características esperadas do café. Contudo, a responsabilidade da certificação de cafés no Brasil está a cargo dos próprios cafeicultores e cooperativas. Isto implica em uma situação crítica, já que muitas vezes eles não possuem conhecimento técnico e experiência para desenvolvimento de métodos de análise e testes desse tipo, realizando apenas a análise física e sensorial dos grãos, para emitir os laudos de origem (Brazil, 2021b). O Caderno de Especificações Técnicas do café Robusta Amazônico indica que há uma separação entre Robustas Amazônicos que atingem 80 pontos ou mais e sem defeitos, daqueles com menor pontuação e com defeitos. Estes outros Robustas Amazônicos devem atender uma classificação física até tipo 6, que significa no máximo 86 defeitos na amostra de 300 g, máximo de 5% de vazamento da peneira 13, sem fundo, até 1% de impureza, limpo de odores de mofo e fumaça, com teor de umidade máximo de 12,5% e pontuação sensorial mínima de 70 da metodologia *Specialty Coffee Association* (Caferon, 2019).

Considerando que as informações que a cooperativa dispõe para certificar o café Robusta Amazônico não são obtidas de maneira simples e imediata, outros testes em laboratórios podem ser realizados. Nesse sentido, técnicas mais objetivas baseadas em espectroscopia molecular, podem ser um caminho promissor para avaliação destes cafés em larga escala. Quando essas técnicas são empregadas, os dados espectrais obtidos fornecem uma impressão digital química das amostras e são combinados aos métodos estatísticos de análise multivariada ou quimiometria para sua avaliação, após o processo analítico. As informações obtidas são então interpretadas por especialistas em química ou ciência e tecnologia de alimentos, com conhecimento em espectroscopia e análise de dados. Essa sequência permite elaborar estratégias para análise de dados (coleta, preparação e combinação de informações para alimentar algoritmos estatísticos e matemáticos) (Pallone et al., 2018; Baqueta et al., 2020; Amigo, 2021). Além de fornecer informações úteis para caracterizar cafés, esse tipo de estratégia pode servir até mesmo como uma via de controle para assegurar a autenticidade de cada produtor mesmo dentro da região da IG.

A disponibilidade de uma alternativa espectral para certificação do café em vez do método tradicional se alinha à demanda da indústria 4.0, que vem inserindo o uso da inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT) no acompanhamento de processos e produtos (Sebrae, 2023). Indústrias inteligentes priorizam a tomada de decisão imediata, analisando o produto de maneira rápida, economizando tempo entre o envio de amostra ao laboratório e realização de testes demorados, eliminando assim atrasos, aumentando a frequência de análise e otimizando todo o controle analítico. A inserção desse tipo de análise espectral na indústria atinge não só o setor de certificação e controle de qualidade, mas modifica a forma como se conduzem os negócios, abre novos mercados e aproxima a evolução tecnológica ao dia a dia de indústrias de grande importância, como a do café (Fulgêncio, 2023). A análise de dados inteligente, mais precisamente com quimiometria, cresce em ritmo acelerado devido a avalanche de dados produzidos por estas técnicas. Contudo, a análise bibliométrica mostrada anteriormente (Figura 5A) não trouxe informações sobre palavras-chave com espectroscopia e quimiometria associadas ao café canéfora, indicando que ainda há pouca informação associada a este tema.

Introduzindo a espectroscopia no infravermelho

O espectro eletromagnético é uma escala com diferentes radiações, onde a região do infravermelho é de grande importância para desenvolvimento de diversos tipos de estudos (Sankaran; Ehsani, 2014). A radiação eletromagnética no infravermelho apresenta energia em que ocorrem as vibrações moleculares. Já a espectroscopia na região do infravermelho é um tipo de espectroscopia vibracional que usa dessa energia e se popularizou na análise de alimentos, entre outras matrizes. Ela mede a vibração de moléculas com diferentes grupos funcionais em três regiões: infravermelho próximo (NIR) na região espectral de 780 a 2500 nm (ou 12821 a 4000 cm^{-1}); infravermelho médio (MIR), compreendendo a região de 2500 a 25.000 nm (ou 4000 a 400 cm^{-1}), e o infravermelho distante (FIR), menos usado, de 25000 a 1000000 nm (400 a 10 cm^{-1}) (Workman Jr & Weyer, 2012). O NIR e o MIR são os mais empregados para fins analíticos, tendo o NIR se destacado na área de alimentos.

Os espectros gerados na espectroscopia no infravermelho fornecem muitas informações sobre a composição de amostras. No processo analítico, é gerado um grande número de variáveis (comprimentos de onda) simultaneamente e o equipamento registra um espectro contínuo, considerando tanto a contribuição individual quanto as interações dos diferentes componentes químicos em uma amostra. O espectro resultante é um sinal representado por meio de um gráfico de dados contendo informações químicas, sendo único para cada amostra, assim como a impressão digital é única para cada pessoa. Desta forma, a análise estatística da característica espectral de uma amostra pode ser interpretada como uma impressão digital química propriamente dita (Ríos-Reina et al., 2021).

Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR)

Existem diferentes instrumentos disponíveis para trabalhar com espectroscopia e obter os espectros na região do NIR e eles podem ser muito úteis na tipificação, caracterização, discriminação, autenticação e controle de qualidade de café especial com apelos de origem e qualidade. A Figura 7 ilustra dois equipamentos de espectroscopia no NIR, sendo apresentado na Figura 7A um equipamento de bancada e na Figura 7B um portátil.

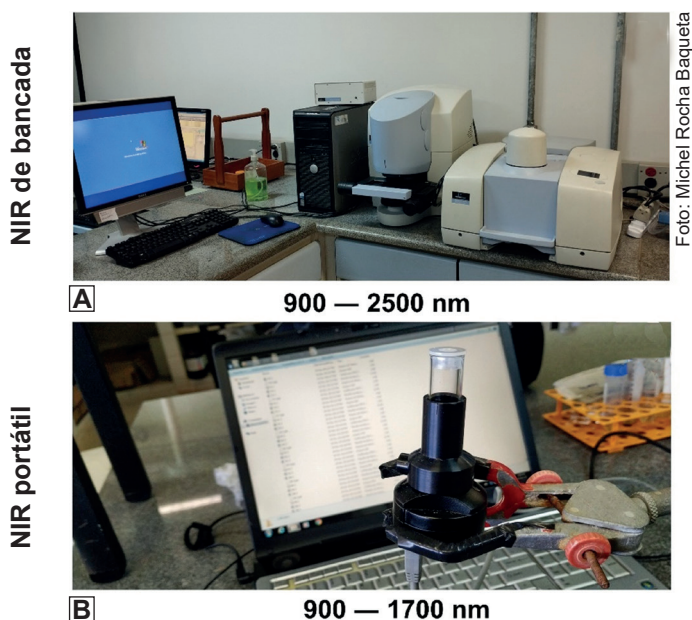


Figura 7. Versões de bancada (A) e portátil (B) de equipamentos comerciais que trabalham na região do NIR.

Há diferentes instrumentos disponíveis para obter o espectro no NIR, mas o mais comumente empregado é o equipamento tradicional (Figura 7A), de bancada. Por ser um instrumento robusto com diversos acessórios, a mobilidade não é uma tarefa simples e, portanto, seu uso para análise em campo é restritivo. Nos últimos anos houve uma tendência crescente no desenvolvimento da versão portátil desta espectroscopia, surgindo novas possibilidades de análise no campo e até mesmo no laboratório, com um equipamento mais barato que a versão tradicional (Beć et al., 2022). Um equipamento NIR portátil como este apresentado (Figura 7B), possui 45 mm de diâmetro e 42 mm de altura, pesando cerca de 60 g, sendo uma opção muito compacta.

A miniaturização da espectroscopia no NIR emergiu como uma tendência e tem feito um progresso substancial nos últimos anos, tornando-se mais acessível para a realidade de muitas indústrias, cooperativas e agências de controle que não possuem altos recursos econômicos. Na literatura, o NIR portátil tem simplificado uma série de problemas de análise em café (Correia et al., 2018, 2020; Baqueta et al., 2019, 2020, 2021b, 2023b; Boadu et al., 2023; Mutz et al., 2023).

A espectroscopia no NIR envolve a interação da radiação eletromagnética em comprimentos de onda na faixa de 780-2500 nm (ou 4000 - 10000 cm^{-1}) com a amostra. O espectro nesta região compreende regiões de absorções amplas, altamente sobrepostas e difíceis de interpretar ou atribuir bandas. Os espectros trazem informações decorrentes da absorção de radiação na região do NIR por moléculas orgânicas ao sofrerem uma mudança no momento dipolo como consequência de seu movimento vibracional ou rotacional. Os modos vibracionais fundamentais ativos no NIR envolvem a resposta e detecção das vibrações das ligações moleculares C-H, N-H, O-H e C=O, onde um átomo relativamente pesado (C, N ou O) está ligado a um átomo de hidrogênio (Workman Junior; Weyer, 2012; Pasquini, 2018). A composição química da amostra causa diferenças que se refletem nas vibrações, construindo assim um espectro característico para cada amostra (Ríos-Reina et al., 2021). A espectroscopia no NIR oferece resultado (espectro) de forma rápida, simples, sem preparação de amostra e de baixo custo quando comparada a técnicas sofisticadas. Ela também é mais fácil de implementar em escala industrial para mensurações em tempo real de produtos e processos (Catelani et al., 2018; Pires et al., 2021). Contudo, interpretar esses espectros para obter respostas específicas sobre a composição da amostra não é uma tarefa fácil.

Tipificação dos robustas amazônicos por NIR de bancada e NIR portátil

A Figura 8 mostra espectros de Robustas Amazônicas de cafeicultores indígenas e tradicionais obtidos no NIR de bancada e no NIR portátil pelos autores deste capítulo. Estes espectros foram obtidos diretamente nos cafés torrados e moídos, analisando, portanto, a amostra sólida. O NIR de bancada (1000-2500 nm) cobre uma faixa espectral mais larga de análise do que o NIR portátil (900-1700 nm) e, portanto, nem todas as informações adquiridas por um equipamento são adquiridas pelo outro. Há também uma diferença na resolução dos espectrômetros que fazem os espectros serem ligeiramente diferentes.

De maneira geral, os espectros no NIR dos Robustas Amazônicos (Figura 8) são muito semelhantes em quase toda a faixa para ambos equipamentos. Estes espectros são sinais que formam uma espécie de impressão digital ao longo dos diferentes comprimentos de onda. A forma do espectro segue sempre similar, mas há diferenças de bandas de absorção em quase toda a região espectral, para ambos os casos. Estes resultados inferem que mesmo com uma análise direta do pó de café, como no NIR, seja no equipamento de bancada ou portátil, os Robustas

Amazônicos de cafeicultores indígenas e cafeicultores tradicionais são diferentes do ponto de vista químico. Esta simples exploração visual dos dados NIR aponta que o tipo/origem do Robusta Amazônico (cafeicultor indígena ou não) tiveram um efeito nos espectros em ambos os equipamentos, mostrando diferenças nas absorções da energia no NIR.

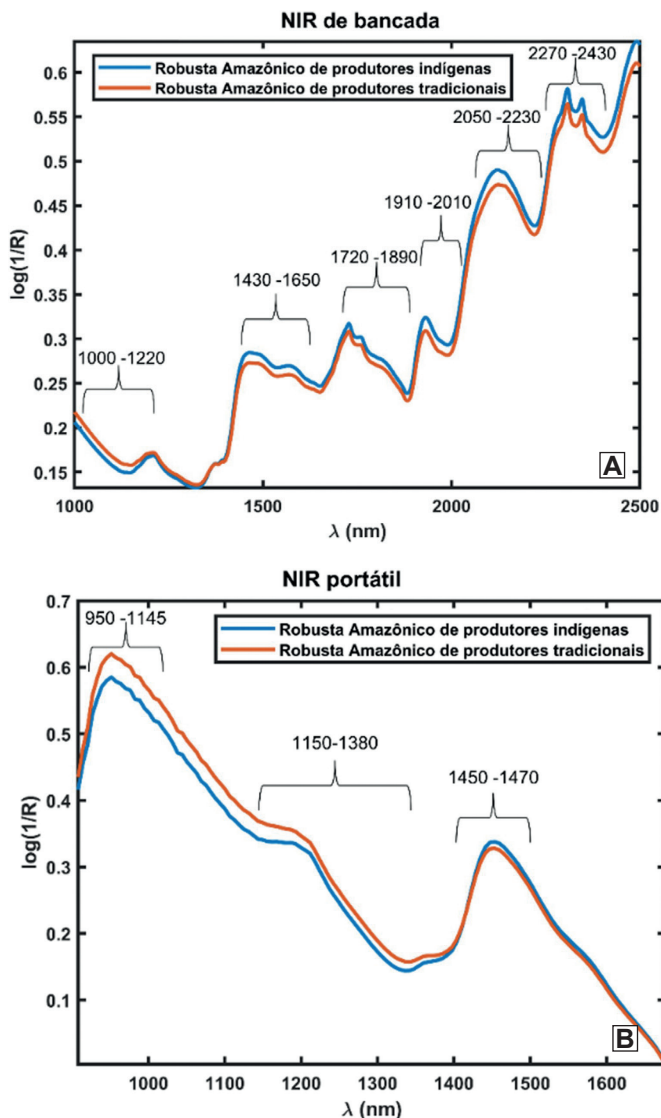


Figura 8. Espectros de amostras de Robustas Amazônicas cultivados por cafeicultores indígenas e tradicionais usando o NIR de bancada (A) e NIR portátil (B).

As faixas de absorção mais envolvidas para tipificação dos Robustas Amazônicos foram destacadas nos espectros da Figura 8. O NIR de bancada apresentou diferentes intensidades de absorções para cada café em muito mais regiões do que o observado para o NIR portátil, que foi menos específico. Quase todo o espectro no NIR portátil se comportou diferente entre os cafés com respeito a absorção. A Figura 9 traz a absorção no NIR dos principais compostos do café, cafeína, ácidos clorogênicos, proteínas, lipídeos, água e açúcares quando analisados nas mesmas condições de amostras, mas na forma pura obtida por meio de padrões analíticos de alta pureza de um estudo anterior (Ribeiro et al., 2011; Barbin et al., 2014). Isto ajuda o analista a interpretar os espectros no NIR e obter algumas observações superficiais. Contudo, em virtude da sobreposição de sinais característica do NIR, é difícil inferir conclusões específicas sobre a relevância individual de cada composto na caracterização, até porque o espectro é resultante dos compostos individuais e das interações entre eles. Em geral, açúcares e ácidos clorogênicos parecem ser os mais influentes para discriminação entre os cafés, pois apresentam intensas absorções em regiões que foram destacadas como de diferente intensidade nos espectros.

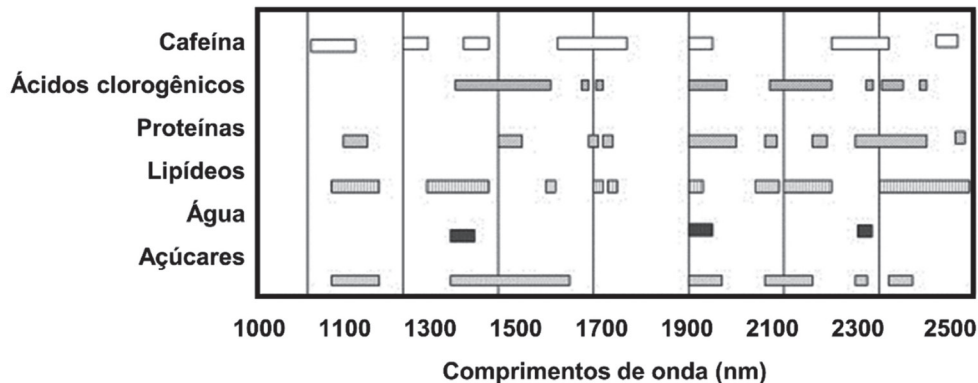


Figura 9. Absorções dos principais compostos do café na região do infravermelho próximo de 1000 a 2500 nanômetros.

Fonte: Adaptado de Barbin et al. (2014).

Recentemente, uma pesquisa realizada pelos autores deste capítulo (Baqueta et al., 2023b) demonstrou a utilidade da espectroscopia no NIR com a versão de bancada do equipamento para discriminar os cafés canéforas brasileiros, suas

origens, cultivares da Amazônia e as espécies canéfora e arábica. Um conjunto com 527 amostras foi analisado pela técnica em combinação com quimiometria. No primeiro momento, foi possível diferenciar os cafés canéforas dos arábicas, onde o fator espécie foi dominante. Outras diferenciações entre cultivares de Robusta, Conilon, híbrido e Robusta Apatã de Rondônia foram enxergadas pelos autores. Houve também uma discriminação entre os principais produtores de canéfora do Brasil: Espírito Santo, Bahia e Rondônia. Isto indicou que analisando diretamente as amostras na forma de café torrado e moído, a técnica possui potencial para diferenciar diretamente cultivares de canéfora usando uma análise mais simples do que aquelas usadas em programas de melhoramento genético para a identificação de genótipos de café, assim como para verificar a origem geográfica de cada canéfora.

Outro estudo desenvolvido recentemente pelos autores deste capítulo foi a comparação entre o NIR de bancada e o NIR portátil para discriminar os Robustas Amazônicos de cafeicultores indígenas e cafeicultores tradicionais (Baqueta et al., 2023a). Um outro estudo mais antigo introduziu a aplicação do NIR para discriminar cinco cultivares de canéfora, compreendendo três cultivares e dois híbridos de Conilon e Robusta de Rondônia quando ainda não havia o apelo atual para estes cafés (Luna et al., 2017).

A melhoria do controle de qualidade analítico por meio da análise espectroscópica no NIR vem para evitar a tomada de decisão inequívoca sobre a origem, qualidade ou características particulares esperada de um alimento especial, como um café Robusta Amazônico, utilizando métodos convencionais não muito informativos e reprodutivos, por exemplo, com a análise sensorial (Baqueta et al., 2021b). De fato, a análise sensorial tem desempenhado um papel importante no estudo de cafés especiais (Lingle; Menon, 2017), mas a tendência é aplicar técnicas analíticas, como a espectroscopia no NIR, que permitem a análise direta de um grande volume de amostras de forma confiável e rápida e, ao mesmo tempo, obter amplas informações sobre as características da amostra e se possível, de forma não destrutiva e até mesmo portátil. Além disso, outra vantagem destas técnicas é que elas não exigem um treinamento altamente especializado do analista para a obtenção de espectros de amostras, ao contrário da análise sensorial onde a experiência do provador tem um grande impacto sobre os resultados (Ríos-Reina et al., 2021).

Sinergia entre espectroscopia e quimiometria

A quimiometria é um campo interdisciplinar envolvendo análise multivariada, matemática e estatística, informática e química analítica que serve para extrair informações de forma eficiente usando análise de dados multivariados (Ríos-Reina et al., 2021). Existe uma forte ligação entre a espectroscopia no NIR e a quimiometria (Aleixandre-Tudo et al., 2022). Os resultados gerados pelos equipamentos trabalhando na região do NIR dependem da análise quimiométrica de dados para que sejam interpretados por meio de algoritmos especializados. É quase impossível interpretar este tipo de dado sem ajuda da quimiometria e, atualmente, a espectroscopia não pode ser aplicada como análise direta e objetiva sem esse recurso. Existem muitas ferramentas de quimiometria disponíveis para diferentes propósitos de análise. Mas em geral, a quimiometria é dividida em (i) calibração multivariada para prever uma concentração de interesse, (ii) análise de reconhecimento de padrões não-supervisada onde ocorre uma análise exploratória e (iii) análise de reconhecimento de padrões supervisionado onde acontece classificação e autenticação (Ferreira, 2015).

Dados espectrais são compostos por um grande número de variáveis que definem uma amostra, o que significa que o analista frequentemente tem que lidar com uma grande quantidade de números e a complexidade de trabalhar com eles. Com a ajuda da quimiometria, eles podem ser entendidos. A quimiometria fornece uma avaliação mais objetiva, extraindo as informações mais importantes dos dados químicos. A vantagem de associar a quimiometria a técnicas como o NIR é construir modelos quantitativos para prever características importantes de um alimento, como atributos sensoriais (Baqueta et al., 2019), grau de torra (Pires et al., 2021) ou outros parâmetros de importância pra indústria de café, como umidade e granulometria (Baqueta et al., 2020), ou classificar amostras de acordo com a origem, tipo, e espécie ou variedade (Baqueta et al., 2023b). Em particular, para o caso de tipificação do Robusta Amazônico, é importante verificar se uma amostra pertence ou não a uma classe específica (cafeicultor indígena ou não ou 80 pontos mais ou não).

O desafio atual para os Robustas Amazônicos é introduzir o potencial da quimiometria associada a espectroscopia NIR para os cafeicultores e para as associações envolvidas em proteger estes cafés, incentivando o desenvolvimento de mais métodos com essa tecnologia e gerando competitividade ao café no cenário dos cafés especiais com específicas indicações geográficas do Brasil.

Considerações finais

Os cafés Robustas Amazônicos são uma aposta promissora do Brasil no cenário mundial do café depois de muito tempo de desvalorização da espécie canéfora. Tais cafés têm quebrado paradigmas em respeito a qualidade sensorial, mas são poucos conhecidos na perspectiva química. A pesquisa bibliométrica apontou como há muitas lacunas para além dos parâmetros agronômicos a serem estudados nestes cafés e que a inclusão do termo de busca “Robusta Amazônico” em novos trabalhos pode ajudar a tornar o tema mais conhecido. Um novo olhar para o estudo destes cafés através da espectroscopia no NIR demonstrou sua utilidade em estudos anteriores e também no presente capítulo, demonstrando a aplicação da técnica para tipificação dos Robustas Amazônicos de cafeicultores indígenas e cafeicultores tradicionais mesmo a partir de uma análise visual do espectro. Algumas observações sobre o comportamento dos espectros e regiões de absorção dos principais compostos do café foram discutidas com base na literatura e revelaram como a análise desse tipo de técnica é informativa numa perspectiva de controle de qualidade. Não é uma tarefa fácil lidar com todas as questões específicas e típicas na interpretação dos dados analíticos obtidos na região do NIR, que é exatamente o campo temático da quimiometria. A análise profunda destes dados espectrais depende de um especialista e um propósito definido. Como perspectivas futuras, novos desenvolvimentos para análise dos cafés Robustas Amazônicos nos equipamentos NIR de bancada e portátil são uma via de estudo promissora, envolvendo predições de produtores específicos dentro da IG Matas de Rondônia, diferenciação entre cafés com mais de 80 pontos daqueles com menor pontuação, predição de atributos sensoriais dos cafés e controle de autenticidade, evitando possíveis fraudes.

Processos nº 2019/21062-0, 2022/04068-8 e 2022/03268-3, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processos nº 306606/2020-8, 402441/2022-2, e 310982/2020-0).

Referências

- ALEIXANDRE-TUDO, J. L.; CASTELLO-COGOLLOS, L.; ALEIXANDRE, J. L.; ALEIXANDRE-BENAVENT, R. Chemometrics in food science and technology: A bibliometric study. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 222, 104514, mar. 2022.
- ALVES, E. A.; SOUZA, C. A.; ROCHA, R. B.; PEREIRA, L. L.; LIMA, P. P.; LOURENÇO, J. L. R. Efeito da fermentação sobre qualidade da bebida do café robusta (*Coffea canephora*) cultivado na amazônia ocidental. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 3, p. 159-170, dez. 2020.
- AMIGO, J. M. Data mining, machine learning, deep learning, chemometrics: Definitions, common points and trends (Spoiler Alert: VALIDATE your models!). **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, v. 8, n. 32, p. 45–61, jul-sep. 2021.
- ARTÊNCIO, M. M.; CASSAGO, A. L. L.; SILVA, R. K. da; CARVALHO, F. M.; COSTA, F. B.; ROCHA, M. T. L.; GIRALDI, J. M. E. The impact of coffee origin information on sensory and hedonic judgment of fine Amazonian robusta coffee. **Journal of Sensory Studies**, v. 38, n. 3, e12827, mar. 2023.
- BAQUETA, M. R.; COQUEIRO, A.; VALDERRAMA, P. Brazilian Coffee Blends: A Simple and Fast Method by Near-Infrared Spectroscopy for the Determination of the Sensory Attributes Elicited in Professional Coffee Cupping. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 6, p. 1247-1255, may. 2019.
- BAQUETA, M. R.; VALDERRAMA, P.; ALVES, A. Discrimination of Robusta Amazônico coffee farmed by indigenous and non-indigenous people in Amazon: comparing benchtop and portable NIR using ComDim and duplex. **Analyst**, v. 148, p. 1524-1533, feb. 2023b.
- BAQUETA, M. R.; ALVES, E. A.; VALDERRAMA, P.; PALLONE, J. A. L. Brazilian Canephora coffee evaluation using NIR spectroscopy and discriminant chemometric techniques. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 116, mar. 2023a.
- BAQUETA, M. R.; CAPORASO, N.; COQUEIRO, A.; VALDERRAMA, P. A Review of Coffee Quality Assessment Based on Sensory Evaluation and Advanced Analytical Techniques. In: KALSCHNE, D.; CORSO, M.; DIAS, D. (ed.). **Innovations in Coffee Quality**. 1. ed. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, 2020. p. 15–53.
- BAQUETA, M. R.; COQUEIRO, A.; MARÇO, P. H.; MANDRONE, M.; POLI, F.; VALDERRAMA, P. Integrated ¹H NMR fingerprint with NIR spectroscopy, sensory properties, and quality parameters in a multi-block data analysis using ComDim to evaluate coffee blends. **Food Chemistry**, v. 355, 129618, sep. 2021a.
- BAQUETA, M. R.; COQUEIRO, A.; MARÇO, P. H.; VALDERRAMA, P. Multivariate classification for the direct determination of cup profile in coffee blends via handheld near-infrared spectroscopy. **Talanta**, v. 222, 121526, jan. 2021b.

BAQUETA, M. R.; COQUEIRO, A.; MARÇO, P. H.; VALDERRAMA, P. Quality Control Parameters in the Roasted Coffee Industry: a Proposal by Using MicroNIR Spectroscopy and Multivariate Calibration. **Food Analytical Methods**, v. 13, n. 1, p. 50-60, may. 2020.

BARBIN, D. F.; FELICIO, A. L. S. M.; SUN, D. W.; NIXDORF, S. L.; HIROOKA, E. Y. Application of infrared spectral techniques on quality and compositional attributes of coffee: An overview. **Food Research International**, v. 61, p. 23–32, jul. 2014.

BEĆ, K. B.; GRABSKA, J.; HUCK, C. W. Miniaturized NIR Spectroscopy in Food Analysis and Quality Control: Promises, Challenges, and Perspectives. **Foods**, v. 11, n. 10, 1465, may. 2022.

BOADU, V. G.; TEYE, E.; AMUAH, C. L. Y.; LAMPTEY, F. P.; SAM-AMOA, L.K. Portable NIR Spectroscopic Application for Coffee Integrity and Detection of Adulteration with Coffee Husk. **Processes**, v. 11, n. 4, 1140, apr. 2023.

BRAZIL. **Brazilian coffees with geographical indication**. 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/indicacao-geografica/arquivos-publicacoes-ig/brazilian-coffees-with-geographical-indication>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BRAZIL. **Ficha técnica de registro de indicação geográfica - Café em grão Robusta Amazônico**. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/indicacoes-geograficas/arquivos/fichas-tecnicas-de-indicacoes-geograficas/MatasdeRondonia.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.

CAFEICULTORES ASSOCIADOS DA REGIÃO MATAS DE RONDÔNIA. **Caderno de especificações técnicas: café em grão “Robustas Amazônicos”**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/indicacoes-geograficas/arquivos/cadernos-de-especificacoes-tecnicas/MatasdeRondonia.pdf>. Acesso em 15 de julho de 2023.

CATELANI, T. A.; SANTOS, J. R.; PÁSCOA, R. N. M. J.; PEZZA, L., PEZZA, H. R.; LOPES, J. A. Real-time monitoring of a coffee roasting process with near infrared spectroscopy using multivariate statistical analysis: A feasibility study. **Talanta**, v. 179, p. 292–299, mar. 2018.

CORREIA, R. M.; TOSATO, F.; DOMINGOS, E.; RODRIGUES, R.R.T.; AQUINO, L.F.M.; FILGUEIRAS, P.R.; LACERDA, V.; ROMÃO, W. Portable near infrared spectroscopy applied to quality control of Brazilian coffee. **Talanta**, v. 176, p. 59-68, jan. 2018.

CORREIA, R.M.; ANDRADE, R.; TOSATO, F.; NASCIMENTO, M.T.; PEREIRA, L.L.; ARAÚJO, J.B.S.; PINTO, F.E.; ENDRINGER, D.C.; PADOVAN, M.P.; CASTRO, E.V.R.; PARTELLI, F.L.; FILGUEIRAS, P.R.; LACERDA, V.; ROMÃO, W. Analysis of Robusta coffee cultivated in agroforestry systems (AFS) by ESI-FT-ICR MS and portable NIR associated with sensory analysis. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 94, 103637, dec. 2020.

COSTA, B. D. R. Brazilian specialty coffee scenario. In: ALMEIDA, L.F.; SPERS, E. E. (ed.). **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil: A Volume in the Consumer Science and Strategic Marketing Series**. Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2020. p. 51–64.

DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; PEREIRA, L. L.; ALVES, E. A.; ESPINDULA, M. C.; SOUZA, C. A. Beverage quality of most cultivated *coffea canephora* clones in the western amazon. **Coffee Science**, v. 15, n. 1, e151711. aug. 2020.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p. 488–495, may 2012.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. 1. ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2015. 493p.

FIOROTT, A. S.; STURM, G. M. Café canéfora: em busca de qualidade e reconhecimento. In: MARCOLAN, A.L.; ESPINDULA, M.C. (ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p.427-431.

FRANCISCO, J. S.; DIAS, R. C. E.; ALVES, E. A.; ROCHA, R. B.; DALAZEN, J. R.; MORI, A. L. B.; BENASSI, M. T. Natural intervarietal hybrids of *Coffea canephora* have a high content of diterpenes. **Beverages**, v. 7, n. 4, p. 1-9, dec. 2021.

FRANCISCO, J. S.; PORTELA, C. S.; DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; MORI, A. L. B.; BENASSI, M. T. Diterpenos em cafés *Coffea canephora* híbridos naturais cultivados em Rondônia. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 420–429, jan. 2023.

FULGÊNCIO, A. C. C. **Combinando modelos quimiométricos e portabilidade para o controle de qualidade de cerveja e outras bebidas fermentadas**. 2023. 173 f. Tese (Doutorado em Ciências – Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LEMO, M. F.; PEREZ, C.; CUNHA, P. H. P.; FILGUEIRAS, P. R.; PEREIRA, L. L.; FONSECA, A. F. A.; IFA, D.R.; SCHERER, R. Chemical and sensory profile of new genotypes of Brazilian *Coffea canephora*. **Food Chemistry**, v. 310, 125850, apr. 2020.

LINGLE, T. R.; MENON, S. N. Cupping and Grading—Discovering Character and Quality. In: FOLMER, B. (ed.). **The Craft and Science of Coffee**, London, United Kingdom: Academic Press, p.181-203, 2017.

LOURENÇO, J. L. R.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; ALVES, E. A.; TEIXEIRA, A. L.; FERREIRA, F. M. Genotype × Environment Interaction in the Coffee Outturn Index of Amazonian Robusta Cultivars. **Agronomy**, v. 12, n. 11, 2874, nov. 2022.

LUNA, A. S.; SILVA, A. P.; ALVES, E. A.; ROCHA, R. B.; LIMA, I. C. A.; GOIS, J. S. Evaluation of chemometric methodologies for the classification of *Coffea canephora* cultivars via FT-NIR spectroscopy and direct sample analysis. **Analytical Methods**, v. 9, n. 29, 4255–4260, jun. 2017.

MORAIS, J. A.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; ESPINDULA, M. C.; TEIXEIRA, A. L.; SOUZA, C. A. Beverage quality of *Coffea canephora* genotypes in the western Amazon, Brazil. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 43, e52095, jul. 2019.

MUTZ, Y. S.; ROSARIO, D.; GALVAN, D.; SCHWAN, R. F.; BERNARDES, P. C.; CONTE-JUNIOR, C. A. Feasibility of NIR spectroscopy coupled with chemometrics for classification of Brazilian specialty coffee. **Food Control**, v. 149, 109696, jul. 2023.

PALLONE, J. A. L.; CARAMÊS, E. T. S.; ALAMAR, P. D. Green analytical chemistry applied in food analysis: alternative techniques. **Current Opinion in Food Science**, v. 22, p. 115–121, aug. 2018.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 1026, p. 8–36, oct. 2018.

PIRES, F. C.; PEREIRA, R. G. F. A.; BAQUETA, M. R.; VALDERRAMA, P.; ROCHA, R. A. da. Near-infrared spectroscopy and multivariate calibration as an alternative to the Agtron to predict roasting degrees in coffee beans and ground coffees. **Food Chemistry**, v. 365, 130471, dec. 2021.

RIBEIRO, J. S.; FERREIRA, M. M. C.; SALVA, T. J. G. Chemometric models for the quantitative descriptive sensory analysis of Arabica coffee beverages using near infrared spectroscopy. **Talanta**, v. 83, v. 5, p. 1352–1358, fev. 2011.

RÍOS-REINA, R.; CAMIÑA, J. M.; CALLEJÓN, R. M.; AZCARATE, S. M. Spectralprint techniques for wine and vinegar characterization, authentication and quality control: Advances and projections. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 134, 116121, jan. 2021.

RODRÍGUEZ-ARTALEJO, F.; LÓPEZ-GARCÍA, E. Coffee Consumption and Cardiovascular Disease: A Condensed Review of Epidemiological Evidence and Mechanisms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 21, p. 5257–5263, jan. 2018.

SANKARAN, S.; EHSANI, R. Introduction to the Electromagnetic Spectrum. In: MANICKAVASAGAN, A.; JAYASURIYA, H. (ed.). **Imaging with Electromagnetic Spectrum - Applications in Food and Agriculture**. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag Berlin, 2014. p.1-15.

SEBRAE. **A inteligência artificial chega à indústria de alimentos**. 2023. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/a-inteligencia-artificial-chega-a-industria-de-alimentos,34bcff793e497810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SOUZA, C. A.; ALVES, E. A.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; TEIXEIRA, A. L. Perfis sensoriais dos cafeeiros cultivados na Amazônia Ocidental. In: PARTELLI, F. L.; PEREIRA, L. L. (ed.). **Café conilon: Conilon e Robusta no Brasil e no Mundo**. Alegre, ES: CAUFES, 2021. p.187–198.

SOUZA, C. A.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; TEIXEIRA, A. L.; DALAZEN, J. R.; FONSECA, A. F. A. Characterization of beverage quality in *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. **Coffee Science**, v. 13, n. 2, p. 210–218, jun. 2018.

TEIXEIRA, A. L.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; RAMALHO, A. R.; JÚNIOR, J. R. V.; ALVES, E. A.; LUNZ, A. M. P.; SOUZA, F. F.; COSTA, J. N. M.; FERNANDES, C. F. Amazonian robustas-new *Coffea canephora* coffee cultivars for the western brazilian amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p.1–5, jul-sep. 2020.

UCDA - UGANDA COFFEE DEVELOPMENT AUTHORITY. **Robusta Cupping Protocol, 2010**. Disponível em: <http://www.ico.org/documents/pscb-123-e-robusta.pdf> >. Acesso em 15 ago. 2023.

WORKMAN J.R., J.; WEYER, L. **Introduction to Near-Infrared Spectra. In Practical guide and spectral atlas for interpretive near-infrared spectroscopy**. 2. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2012. 326p.

ZACHARIAS, A. O.; ROSA NETO, C.; ALVES, E. A.; SILVA, R. K. **Modelo de negócio: cafés especiais robustas amazônicos**. Brasília, DF: Embrapa/Sebrae, 2021. 15p.