



GRAZIELA SILVA OLIVEIRA

**CLASSIFICAÇÃO DE CAFÉ ARÁBICA POR MEIO DE
REDES NEURAS ARTIFICIAIS:
*SOFTWARES CLASSCAFE 1.0 E CLASSTORR 1.0***

**LAVRAS - MG
2019**

GRAZIELA SILVA OLIVEIRA

**CLASSIFICAÇÃO DE CAFÉ ARÁBICA POR MEIO DE REDES NEURAIAS
ARTIFICIAIS: *SOFTWARES* CLASSCAFE 1.0 E CLASSTORR 1.0**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Carlos José Pimenta
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Oliveira, Graziela Silva.

Classificação de café arábica por meio de redes neurais artificiais: *Softwares* ClassCafé 1.0 e ClassTorr 1.0 / Graziela Silva Oliveira. - 2019.

66 p. : il.

Orientador(a): Carlos José Pimenta.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Inteligência artificial. 2. Qualidade do café. 3. Classificação de bebida. I. Pimenta, Carlos José. II. Título.

GRAZIELA SILVA OLIVEIRA

**CLASSIFICAÇÃO DE CAFÉ ARÁBICA POR MEIO DE REDES NEURAIAS
ARTIFICIAIS: *SOFTWARES* CLASSCAFE 1.0 E CLASSTORR 1.0**

**CLASSIFICATION OF ARABIC COFFEE BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS:
SOFTWARES CLASSCAFE 1.0 AND CLASSTORR 1.0**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de fevereiro de 2019.

Dr. Sara Maria Chalfoun de Souza EPAMIG
Dr. Caroline Lima Angélico EPAMIG

Prof. Dr. Carlos José Pimenta
Orientador

**LAVRAS-MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me guiado ao longo desta jornada e ter me dado forças nos momentos difíceis. Se hoje estou aqui, foi por vontade Dele.

Aos meus pais, Floripes e Gilmar, por não terem medidos esforços para que eu pudesse seguir meus estudos, sempre me apoiando, lutando para que eu não passasse dificuldades, incentivando e acreditando em mim. Espero um dia poder retribuir metade de tudo que fizeram por mim! Amo vocês! Ao meu irmão, pela mútua admiração, carinho, amizade e apoio.

Aos meus amigos de “Lavras”, em especial a Nádja e Marielle, por toda paciência em me ouvir, companhia cotidiana e nas saídas para descontrair. Vocês me fizeram sentir mais em casa, mesmo morando distante.

Aos meus amigos “MAIS” de sempre, sou muito grata em ter vocês na minha vida e saber que, mesmo com a distância e poucos encontros, nada muda! Vocês são demais!

Ao Matheus, por todo apoio, paciência, carinho, conselhos e cuidado comigo desde sempre. Você foi mais que essencial para que eu pudesse finalizar o mestrado!

Ao meu orientador, professor Carlos Pimenta, por todo apoio em me orientar, pelos conhecimentos transmitidos, confiança e todas as oportunidades que me ofereceu ao longo do mestrado, contribuindo para o meu amadurecimento e formação profissional.

Aos membros da banca, Sara pela paciência, palavras nos momentos de dificuldade e todo auxílio prestado. Caroline, pela disponibilidade e sugestões para contribuir com o trabalho.

Aos técnicos, amigos do laboratório de análises avançadas e companheiros de laboratório, pelo auxílio, ensinamentos, disponibilidade, convivência e amizade conquistada ao longo desta jornada. Em especial à Luciana, pela amizade desde o começo, por sempre me orientar nas decisões a tomar, pela ajuda na dissertação e por sempre estar disponível para o que precisar! Sou muito grata por tê-la conhecido! À Dani, por estar sempre preocupada conosco, com o andamento da pesquisa e por toda ajuda no experimento! Você foi uma grande amiga ao longo do mestrado!

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade concedida em realizar o mestrado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, muito obrigada a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização desta dissertação!

RESUMO

O café é um produto de grande importância para a economia do país, e o estado de Minas Gerais é responsável por mais de 50% da produção nacional. Porém, o método tradicional de avaliação da qualidade da bebida é realizado de forma subjetiva, na qual provadores treinados através de análise sensorial, utilizam de suas percepções de aroma e sabor para classificar a bebida em padrões conhecidos como estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riada, rio e rio zona. Muitos estudos tentam relacionar a composição química dos grãos crus e torrados com a qualidade da bebida, a fim de desenvolver metodologias analíticas objetivas para complementar a avaliação feita por provadores. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar amostras diferentes de café oriundas do estado de Minas Gerais. Essas amostras, foram previamente classificadas por provadores treinados e, posteriormente, com o auxílio dos *softwares* de classificação de grãos cru (ClassCafe 1.0) e de classificação de grãos torrado, (ClassTor 1.0), classificadas novamente de maneira objetiva. Os dados químicos inseridos na camada de entrada do *software* para o café cru foram: a lixiviação de potássio, condutividade elétrica, acidez, pH, sólidos solúveis, atividade enzimática da polifenoloxidase e açúcares totais. Já para o café torrado, avaliou-se o teor de açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores, pH, sólidos solúveis, acidez e extrato etéreo. Ao final, comparou-se a classificação dada pelas duas metodologias. O *software* para café cru (ClassCafe 1.0) apresentou melhor eficiência na classificação das amostras quando comparado com o *software* para café torrado (ClassTorr 1.0). Com isso, conclui-se que os *softwares* desenvolvidos apresentaram grande capacidade em auxiliar a classificação do café, sugere-se que os dados químicos encontrados nesta pesquisa sejam utilizados para ampliar a alimentação desses sistemas computadorizados, a fim de aumentar a sensibilidade na distinção dos diferentes padrões.

Palavras chave: Inteligência artificial. Qualidade do café. Classificação de bebida.

ABSTRACT

Coffee is a product of great importance for the economy of the country, and the state of Minas Gerais, is responsible for more than 50% of the national production. However, the traditional method of evaluating the quality of the beverage is performed subjectively, whit tasters trained through sensorial analysis, using their perceptions of aroma and flavor to classify a beverage in in patterns known as strictly soft, soft, barely soft, hard, rioysh, rio and rio zona. Many studies attempt to relate the chemical composition of raw and roasted grains to the quality of the beverage in order to develop objective analytical methodologies to complement the evaluation done by tasters. In view of the above, the objective of this work was to evaluate different samples of coffee from the state of Minas Gerais. These samples were previously classified by trained tasters and, later, with the aid of grading software (ClassCafe 1.0) and classification of roasted grains (ClassTor 1.0), again objectively classified. The chemical data inserted in the raw coffee software input layer were: potassium leaching, electrical conductivity, acidity, pH, soluble solids, enzymatic activity of polyphenoloxidase and total sugars. For the roasted coffee, the content of total sugars, reducing sugars and non-reducing sugars, pH, soluble solids, acidity and ethereal extract were evaluated. At the end, the classification given by the two methodologies was compared. The raw coffee software (ClassCafe 1.0) presented better efficiency in classifying the samples when compared to the software for roasted coffee (ClassTorr 1.0). Therefore, it is concluded that the *softwares* developed had a great capacity to help the classification of coffee, it is suggested that the chemical data found in this research be used to increase the power of these computerized systems, in order to increase the sensitivity in the distinction between different standards.

Key words: Artificial intelligence. Quality of coffee. Classification of the beverage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1— Localização das principais regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais.	16
Figura 2 — Estrutura de uma rede neural multiperceptron.	28
Figura 3 — Tela inicial de funcionamento do software ClassCafe 1.0.	41
Figura 4 — Tela inicial de funcionamento do software ClassTorr 1.0.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Tabela oficial de classificação do café.	20
Tabela 2 — Principais constituintes químicos encontrados nos grãos cru de café (valores aproximados), para bebidas estritamente mole (EM), mole, apenas mole (AM), dura, riada e rio.....	22
Tabela 3— Principais constituintes químicos encontrados nos grãos de café torrado (valores aproximados), para bebidas estritamente mole (EM), mole, apenas mole (AM), dura, riada e rio.....	22
Tabela 4. Amostras de cafés identificadas quanto ao processamento e a classificação dada pela prova de xícara.....	39
Tabela 5 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão rio.	43
Tabela 6 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão riada.....	44
Tabela 7 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão dura.....	45
Tabela 8 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão apenas mole (AM).....	46
Tabela 9 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão mole.....	47
Tabela 10 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão estritamente mole (EM).	48
Tabela 11- Amostras de cafés identificadas com seus respectivos tipo de processamento, região de cultivo e a classificação quanto à prova de xícara.	55
Tabela 12 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrões rio.....	58

Tabela 13 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrões riada.	59
Tabela 14 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrão de bebida dura.	60
Tabela 15 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrão de bebida apenas mole.....	61
Tabela 16 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrão de bebida mole.	62
Tabela 17 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrão de bebida estritamente mole.	63

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	14
1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Aspectos comerciais do café no estado de Minas Gerais	15
2.2 Comercialização e classificação do café no país	17
2.3 Análises sensoriais.....	19
2.4 Composição química do café.....	20
2.4.1 Lixiviação de Potássio e Condutividade Elétrica	23
2.4.2 Sólidos solúveis	23
2.4.3 Açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores	24
2.4.4 Lipídeos	24
2.4.5 Acidez total titulável e pH	25
2.4.6 Atividade da enzima polifenoloxidase.....	25
2.5 Desenvolvimento de metodologias para classificação do café.....	26
2.6 Desenvolvimento e aplicação dos <i>softwares</i> Classcafe 1.0 e Classtorr 1.0.....	29
2.7 Aplicação de metodologias de classificação e a subjetividade do método tradicional de classificação do café.	30
REFERÊNCIAS	31
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	36
ARTIGO 1 - DIAGNÓSTICO DO SISTEMA TRADICIONAL DE CLASSIFICAÇÃO DO CAFÉ EM COMPARAÇÃO COM A CLASSIFICAÇÃO DADA PELO <i>SOFTWARE</i> CLASSCAFE 1.0	36
1. INTRODUÇÃO	37
2. MATERIAL E MÉTODOS	38
Preparo das amostras de café cru.....	38
Condutividade elétrica.....	39
Lixiviação de potássio	40
Acidez titulável, pH e sólidos solúveis totais	40
Açúcares totais em café cru	40

Atividade da enzima polifenoloxidase (PPO)	40
Classificação dos cafés através do <i>software</i> ClassCafe 1.0.....	40
Configuração do <i>software</i> ClassCafe 1.0	41
Análise estatística	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (ClassCafe 1.0) do café cru padrão de bebida rio.	42
Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (Classcafe 1.0) do café cru padrão de bebida apenas mole.....	45
Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (Classcafe 1.0) do café cru padrão de bebida mole.....	46
Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (Classcafe 1.0) do café cru padrão de bebida estritamente mole.	47
4. CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	49
ARTIGO 2 - CLASSIFICAÇÃO DE CAFÉ TORRADO APLICANDO O MODELO DE <i>SOFTWARE</i> CLASSTORR 1.0 EM COMPARAÇÃO COM O MÉTODO TRADICIONAL DE CLASSIFICAÇÃO.....	51
1. INTRODUÇÃO	52
2. MATERIAL E MÉTODOS	54
Preparo das amostras de café torrado	54
Açúcares totais, redutores e não redutores	55
Acidez total titulável, pH e sólidos solúveis	56
Conteúdo de lipídios.....	56
Classificação dos cafés através dos <i>softwares</i>	56
Configuração do <i>software</i> ClassTorr 1.0.....	57
Análise estatística	57
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida rio.	57
Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida riada.	58
Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida dura.	59
Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida apenas mole.	60
Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida mole.	61
Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo <i>software</i> (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida estritamente mole.	62
4. CONCLUSÃO	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, um produto de grande importância econômica para o país, principalmente para o estado de Minas Gerais, que concentra mais de 50% de toda a produção nacional de café, com áreas de cultivo espalhadas em quatro principais regiões produtoras: Sul de Minas, Cerrado, Matas de Minas e Chapada de Minas.

Apesar do destaque econômico, o método tradicional de comercialização do café, ainda é realizado de forma subjetiva, e acarreta dúvidas tanto para os produtores de café quanto para quem compra.

A distribuição e venda do café normalmente é intermediada por unidades de comercialização, que avaliam os grãos quanto aos aspectos físicos que os classificam quanto ao “tipo” e/ou por meio de análise sensorial, pelo método comumente conhecido como “prova de xícara”, avaliação realizada por um painel treinado que classifica a bebida e as divide em classes: estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado, rio e riozona. A classificação atribuída por esses provadores é determinante no momento da compra, pois é de acordo com a classe que se estima o valor de mercado do produto.

Considerando-se que, não raras vezes, o número de provadores é reduzido em relação ao volume de amostras a serem analisadas, somados à subjetividade da prova da xícara, estudos buscam relacionar as propriedades químicas do café com a sua qualidade sensorial. Sabe-se que, o aroma e sabor característico da bebida é ocasionado de um conjunto de atributos originados de transformações que ocorrem nos grãos de café cru no momento da torrefação, mediante várias reações químicas e bioquímicas.

Apesar dos avanços e do convencimento de que constituintes químicos contribuem de forma direta com a qualidade sensorial, ainda não se tem um método elucidado que consiga processar essas informações químicas em conjunto, as quais são tratadas, apenas isoladamente.

Assim, com o intuito de desenvolver uma metodologia objetiva que consiga relacionar esses dados, foram desenvolvidos, na Universidade Federal de Lavras, dois modelos de *softwares* (*Classcafé 1.0* e *Classtorr 1.0*), com a finalidade de, mediante dados químicos inseridos em sua camada de entrada, classificar o café de acordo com os padrões de bebida (BRASIL, 2003). Para o processamento dessas informações pelos *softwares*, utilizam-se redes

neurais artificiais (RNA), que são treinadas para realizarem funções parecidas com os neurônios biológicos.

Os modelos desenvolvidos apresentaram resultados promissores nos testes preliminares, despertando o interesse em utilizar esse sistema de classificação para verificar sua compatibilidade com o método tradicional de classificação por análise sensorial, a fim de comprovar possível subjetividade da prova de xícara. Além disso, a utilização dessa nova metodologia a cegas, contribui para um maior número de informações adquiridas, ajudando a garantir a confiabilidade da metodologia, que poderia vir a auxiliar a “prova de xícara”, tornando o método mais objetivo.

Diante do exposto, o presente trabalho teve a finalidade de avaliar quimicamente amostras já classificadas pela prova de xícara, oriundas de regiões tradicionais produtoras de café do Estado de Minas Gerais, para que seja possível comparar a classificação realizada pelas unidades de comercialização de café, por provadores treinados, com a classificação dada pelos sistemas dos *softwares* desenvolvidos, verificando possível discrepância entre as duas metodologias aplicadas (BRASIL, 2003).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos comerciais do café no estado de Minas Gerais

O café é um dos produtos mais consumidos e apreciados no mundo todo e contribui de forma significativa para a economia dos países onde é produzido e exportado (TOLEDO et al., 2017). O Brasil se destaca nesse comércio, pois é considerado o maior produtor e exportador de café do mundo.

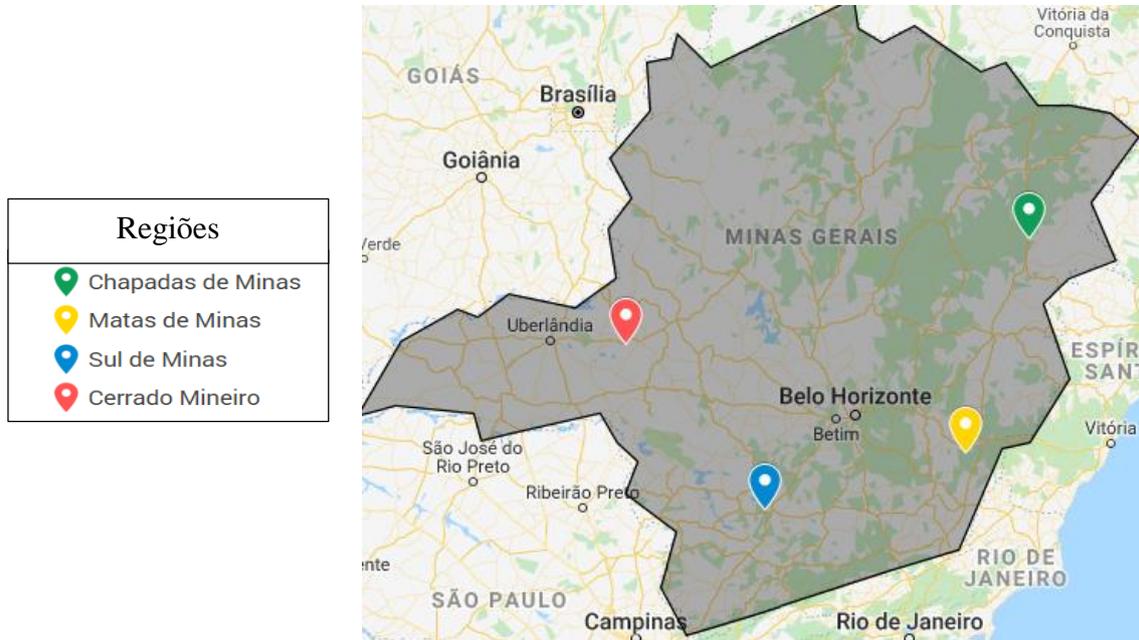
Em 2018, o país apresentou o melhor desempenho em sua produção, fechando o ano com o recorde de 61,7 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, crescimento este, de 37,1% comparado ao ano anterior (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB, 2018).

Dentre os estados brasileiros produtores de café, têm-se ressaltado para Minas Gerais, assumido como o maior produtor do país. O estado apresenta uma área de produção de aproximadamente 1 milhão de hectares, alcançando na safra de 2018, 32,97 milhões de sacas beneficiadas, representando um aumento de 36,5% em relação à safra anterior. Esse aumento deve-se principalmente, às condições climáticas favoráveis e bienalidade positiva (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB, 2018).

Responsável por mais de 50% da produção nacional, a cafeicultura mineira possui áreas de cultivo espalhadas em quatro principais regiões: Cerrado (Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba), Sul de Minas (Sul/Sudoeste), Chapadas de Minas (Vale do Jequitinhonha/Mucuri) e Matas de Minas (Zona da Mata/Rio Doce), como mostra a Figura 1.

A região do Cerrado Mineiro composta por municípios localizados entre o Alto Paranaíba, Triângulo Mineiro e o Noroeste de Minas Gerais, disponibiliza atualmente cerca de 189,2 mil hectares para produção de café (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB, 2018). Apresenta uma temperatura média de 18°C a 23°C, com altitude de produção cafeeira de 800 a 1.300 metros acima do nível do mar e estações bem definidas (verão úmido e inverno leve a seco), características estas que, em conjunto, contribuem para o cultivo de cafés especiais. (ORTEGA et al., 2009). Atualmente, possui lavouras empresariais que priorizam a mecanização e boa qualidade do café produzido (SPONGOSKI, et al., 2005). Os cafés produzidos nessa região, tendem a apresentar uma maior acidez com um corpo médio e doçura.

Figura 1— Localização das principais regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pelo autor. Map data ©2019 Google.

O Sul de Minas Gerais, é responsável por cerca de 30% do café do país produzido principalmente por pequenas fazendas que variam de 10 a 100 hectares. A região produz cafés

caracterizados pelo corpo, notas cítricas e aromas frutados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS, 2019).

A região denominada Chapadas de Minas compreende uma área de produção de 26,4 mil hectares, é significativamente menor que as demais regiões produtoras do estado (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB, 2018). Caracterizada por uma altitude de 1.099 m, apresenta baixo índice de insolação, isenta de geadas, altos níveis de umidade e potencial para produzir bebida dura a rio (IMA, 1995).

Composta por municípios da Zona da Mata Mineira e do Vale do Rio Doce, a região denominada Matas de Minas localiza-se ao leste do estado de Minas Gerais, em uma área montanhosa da Mata Atlântica, nas coordenadas 40° 50 'a 43° 36' Sul e 18° 35 'a 21° 26' Oeste (SILVEIRA et. al., 2016).

Os cafés produzidos no estado apresentam características de sabor e aroma distintos, fator que se deve às peculiaridades do clima, altitude e dos sistemas de produção empregados em cada região de plantio (BARBOSA et. al., 2010).

O café é pertencente ao gênero *Coffea*, sobre o qual duas variedades ganham destaque no mercado mundial, o *Coffea arábica* e *Coffea canephora*, apresentando características distintas entre as espécies. Em Minas Gerais, a produção de cafés se destina em maior proporção ao cultivo de café arábica, que representa cerca de 69% da produção de café arábica nacional, possuindo um parque cafeeiro de 1.210 mil hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAN, 2018).

Os grãos arábica são mais valorizados pelo mercado por apresentarem um equilíbrio entre os compostos químicos desejáveis e por oferecer uma bebida de qualidade superior, portanto, mais apreciada pelos consumidores (RIBEIRO et al., 2014).

2.2 Comercialização e classificação do café no país

Estima-se que o país possua um parque cafeeiro de 2 milhões de hectares com aproximadamente 300 mil produtores, predominando mini e pequenos, que fazem parte de associações e cooperativas distribuídas em 15 Estados: Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia e São Paulo (MAPA, 2018).

Essas associações e cooperativas prestam serviços a seus associados, como o recebimento ou comercialização da produção conjunta, armazenamento e industrialização, além

da assistência técnica, educacional e até social (OCEMG, 2017). Desempenham um papel importante no mercado do café, principalmente para os pequenos e médios produtores, que possuem um menor poder de negociação e que são dependentes dessas cooperativas em termos de informação e prestação de serviços para a intermediação da venda de seus produtos (BERTOLIN et al., 2008).

Neste processo, os produtores podem vender seus cafés para cooperativas, corretores ou, até mesmo, diretamente para exportadores. Porém, devido à capacidade dessas cooperativas reunirem um volume maior do produto, elas adquirem um melhor poder de negociação, muitas vezes a própria cooperativa fica responsável pela exportação (OLIVEIRA, 1997).

Na maioria das vezes, os pequenos cafeicultores dependentes deste sistema, acabam não desfrutando de informações sobre a qualidade de seus cafés, que pode ser depreciada para que o preço pago aos produtores seja inferior (FREDERICO, 2013).

Assim, a principal forma de comercialização do café no Brasil se dá mediante a classificação dos grãos por unidades de comercialização que pode ser realizada por meio de análise física dos grãos (Classificação por Tipo), segundo a Tabela Oficial Brasileira de Classificação do Café Beneficiado. Nessa classificação, mediante a soma do número de defeitos (grãos pretos, quebrados, pedras, paus e etc), determina-se o “Tipo do Café”, que pode ser enquadrado em tipos que variam de 2 a 8 (BRASIL, 2003) e também, pela avaliação dos aspectos sensoriais das bebidas conduzidas por provadores treinados que utilizam uma escala oficial de bebidas para enquadrar as amostras em grupos.

Devido à complexibilidade da classificação e avaliação do café, torna-se difícil para o produtor saber qual o “tipo” ou a classificação da bebida de maneira correta. É necessário recorrer a cooperativas, corretores ou qualquer outro tipo de comprador para realizar essa classificação e, assim, o produtor se torna dependente da avaliação para obter o conhecimento do preço que eles atribuem ao produto. Apesar de ser uma prática comum e ‘institucionalizada’ no mercado, não é raro que os produtores mencionem o incômodo que sentem com esse tipo de avaliação (MAFRA, 2008) por ser esta a responsável pela qualidade do café e a que vai definir o preço e sua comercialização no mercado, ou seja, uma avaliação determinante (MARTINEZ, et al., 2014).

2.3 Análises sensoriais

Os sistemas de classificação têm como finalidade facilitar a comercialização de alimentos em todo o mundo. Porém, nem todos os produtos podem ter a sua qualidade avaliada por meio de técnicas analíticas convencionais, e são vendidos de acordo com a qualidade sensorial (FERIA-MORALES, 2002).

O método tradicional de classificação do café é pela “prova de xícara”, que é um procedimento de análise adotada pela Organização Internacional do Café (OIC). Consiste em uma análise sensorial com variáveis empíricas e pode apresentar certa subjetividade na avaliação, por depender da descrição dos atributos de qualidade através da degustação realizada por provadores treinados. Devido à demanda por provadores que utilizam opinião pessoal adquirida por meio de treinamentos ou mesmo a frequência com que consomem determinados tipos de café, podem ser desenvolvidas habilidades sensoriais distintas, o que torna possível a ocorrência de variações no julgamento de amostras provadas por diferentes provadores (MAZZAFERA, 2002).

Para a realização da “prova de xícara”, utilizam-se 150 gramas de grãos de café torrados em ponto de torra clara e moídos em granulometria grossa. Desse café torrado e moído, 10 gramas são levadas para as mesas de prova em potes de vidro ou cerâmica, aos quais são adicionados 100 mL de água filtrada ou mineral, à temperatura de 90°C. A prova de xícara propriamente dita consiste na sorção, degustação e descarte da bebida. De acordo com a classificação oficial de café (BRASIL,2003), a bebida é avaliada por provadores treinados, que a realizam por meio das características aroma, corpo, acidez, suavidade, cor e aspectos homogêneos (CARVALHO JUNIOR et al., 2003). São depois, enquadradas em classes de bebida, descritas na Tabela 1.

Tabela 1 — Tabela oficial de classificação do café.

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Estritamente Mole	Café que apresenta em conjunto, todos os requisitos de aroma e sabor “mole”, porém, mais acentuado.
Mole	Café que apresenta aroma e sabor agradável, brando e adocicado.
Apenas Mole	Café que apresenta sabor levemente doce e suave, mas sem adstringência ou aspereza de paladar.
Dura	Café que apresenta sabor acre, adstringente e áspero, porém não apresenta paladares estranhos.
Riado	Café que apresenta leve sabor típico de iodofórmio.
Rio	Café que apresenta sabor típico e acentuado de iodofórmio.
Rio Zona	Café que apresenta aroma e sabor muito acentuado, assemelhado ao iodofórmio ou ao ácido fênico.

Fonte: (BRASIL, 2003).

Tem-se, também, outro método de classificação sensorial empregado na avaliação da qualidade de cafés especiais, adotada pela Specialty Coffee Association (SCA). Os cafés especiais têm seus atributos agrupados em duas categorias, quase sejam, uma subjetiva, representada pela fragrância/aroma, sabor, sabor residual, acidez, corpo, equilíbrio e impressão global, e uma objetiva, representada pela uniformidade, xícara limpa e doçura. A pontuação final é calculada, somando as pontuações individuais dadas para cada um dos atributos e os resultados finais são expressos de acordo com a escala de classificação de cafés especiais como excelente, muito bom e bom. Para se enquadrar como café especial, a nota final pela soma dos atributos, tem que ser mais que 80 (SCA, 2015).

2.4 Composição química do café

Sabe-se que a qualidade do café depende de um conjunto de atributos físicos, químicos e sensoriais. Vários fatores, desde o plantio até as etapas de pós-colheita, vão influenciar na composição química dos grãos e na qualidade organoléptica do produto final. Outros aspectos também interferem na composição dos grãos como a espécie de café utilizada para o preparo da bebida, a integridade dos grãos e presença de defeitos, podendo ser prejudiciais ao ocasionar mudanças na acidez, aumentar a adstringência e amargor, interferindo na qualidade global (SILVA et al., 2017).

A torra constitui uma etapa fundamental no desenvolvimento do aroma e sabor do café, mediante consecutivas reações químicas, entre elas, as reações de Maillard e de pirólise (PRAMUDITA et al., 2017). O processo de torra compreende três etapas consecutivas: secagem, pirólise e resfriamento. No início, tem-se a fase endotérmica na qual o grão verde reduz o teor de água para cerca de 8 a 12%. O grão muda de cor, passando de azul esverdeado para amarelo. Na segunda etapa, com o contínuo aquecimento dos grãos, iniciam-se as reações de pirólise (exotérmicas), ao atingir cerca de 175 a 185°C, resultando em mudanças nas propriedades físicas e químicas dos grãos decorrentes da liberação de grande quantidade de água, substâncias voláteis e CO₂, e ocorre a caramelização dos açúcares, levando a coloração marrom. Imediatamente deve-se proceder com o resfriamento para evitar a carbonização dos grãos. Entre esses eventos, os compostos aromáticos típicos do café são formados (GLOESS et al., 2014; MARTINEZ et al., 2014).

O sabor e o aroma do café estão relacionados com a presença de diferentes constituintes químicos voláteis e não voláteis, proteínas, açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, compostos fenólicos e também à ação de enzimas sobre alguns desses constituintes. O desenvolvimento dos atributos sensoriais, são dependentes da forma como esses compostos químicos sofrem mudanças durante a torrefação (PIMENTA, 2003; PRAMUDITA et al., 2017), pois esses constituintes do grão de café cru, interagem entre si durante todas as etapas de torrefação, originando produtos ainda mais diversificados (RIBEIRO; FERREIRA; SALVA, 2011).

Sabe-se que o café apresenta em sua composição diferentes constituintes químicos que, juntos, auxiliam no desenvolvimento e percepção do aroma e sabor desejáveis à bebida. As tabelas abaixo apresentam os valores médios dos principais constituintes encontrados na composição do café cru (Tabela 2) e na composição do café torrado (Tabela 3).

Tabela 2 — Principais constituintes químicos encontrados nos grãos cru de café (valores aproximados), para bebidas estritamente mole (EM), mole, apenas mole (AM), dura, riada e rio.

	EM	Mole	AM	Dura	Riada	Rio
pH	5,80 a 6,08	5,7 a 6,1	5,8 a 5,9	5,8 a 6,1	5,7 a 6,1	5,8 a 6,2
ATT	175 a 237	175 a 275	187 a 262	200 a 300	237 a 312	255 a 350
SS	25,5 a 35	25,9 a 31,6	30,67	26,3 a 33,3	25 a 30	26,56 a 35
PPO	67,6 a 74,6	64,1 a 67,6	62,9 a 66,6	55,9 a 62,9	37,3 a 53,6	36,1 a 37,8
CE	85,1 a 133	148 a 185	155,05	155 a 193,8	150 a 167	94,31 a 160
LK	40,7 a 53	59 a 98,44	64,97	61 a 86	67 a 69,5	60,49 a 64
AT%	7,04 a 7,56	7,0 a 7,13	6,46	5,76 a 6,09	5,80 a 7,18	5,74 a 6,48

Legenda: pH, Acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS) °Brix, atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) em U.min⁻¹.g⁻¹.ms, condutividade elétrica (CE) em μS.cm⁻¹.g⁻¹, lixiviação de potássio (LK) em ppm/g e açúcares totais (AT) %.

Fontes: (AGNOLETTI, 2015; CARDOSO, 2016; CARVALHO et.al, 1994).

Tabela 3— Principais constituintes químicos encontrados nos grãos de café torrado (valores aproximados), para bebidas estritamente mole (EM), mole, apenas mole (AM), dura, riada e rio.

	EM	Mole	AM	Dura	Riada	Rio
pH	5,38	5,3a 6,0	5,18	5,5 a 6,4	5,6 a 6,4	5,75 a 6,50
ATT	251	276	232	255	215	209
SS	21,00	21,30	21,00	19,53	23,76	23,59
EE	11,97	10,36	12,29	10,94	10,73	10,69
AR	0,18 a 0,35	0,17 a 0,27	0,23	0,15 a 0,28	0,24 a 0,26	0,13 a 0,19
ANR	1,06	0,76	0,70	0,84	1,19	0,69
AT	1,48	1,02	0,98	1,16	1,51	0,94

Legenda: pH, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS) °Brix, extrato etéreo% (EE), açúcares redutores % (AR), açúcares não redutores % (ANR), açúcares totais % (AT).

Fontes: (AGNOLETTI, 2015; BARBOSA, 2002; FRANCA et al. 2005; PINTO et al. 2001).

Como observado nas Tabelas 2 e 3, os padrões de bebida apresentam características químicas distintas e sobreposição dos valores determinados para cada atributo. Apesar da complexibilidade, diversos estudos têm sido realizados, na tentativa de relacionar a qualidade da bebida café com sua composição química, na qual a presença de defeitos e problemas nas etapas de processamento poderiam acarretar em danos nos grãos que causariam interferência em sua qualidade (FARAH et al., 2006; FRANCA et al., 2005; SAATH et al., 2012).

2.4.1 Lixiviação de Potássio e Condutividade Elétrica

A lixiviação de potássio e a condutividade elétrica são bons indicadores da integridade das membranas (AMORIM, 1978). Cafés que apresentam uma qualidade inferior tendem a ter uma maior lixiviação de potássio, ocasionado pela degradação da membrana, resultando em um maior fluxo deste íon. Além disso, o íon de potássio é relatado como o principal componente que influencia a condutividade elétrica, pois o potássio é o íon presente em maior quantidade na parede celular, é o indicador de injúrias nos grãos (LIMA et al., 2012).

Em estudo realizado para detectar a lixiviação de potássio e condutividade elétrica em grãos de café infectados pelo fungo *Cercospora coffeicola*, Lima et al. (2012) observou um aumento linear desses parâmetros com o aumento da proporção de café doentes, nesse caso, isso ocorre devido ao fungo *C. coffeicola* ser necrótico, produzindo enzimas que degradam a parede celular e, conseqüentemente, provoca vazamento adicional do conteúdo celular.

Goulart et al. (2007) também observaram um acréscimo proporcional entre a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio com a perda da qualidade da bebida do café, ou seja, os cafés classificados quanto à prova de xícara apresentaram valores de condutividade elétrica de 136,03 para bebida mole; 137,98 para dura e 195,23 u S g⁻¹ para rio. E de lixiviação de potássio, valores de 48,80 para a bebida mole, 51,58 para a dura e 72,16 ppm g⁻¹ para rio. A relação do aumento de lixiviação de potássio e condutividade elétrica nos cafés de menor qualidade indicam que as membranas celulares sejam as responsáveis diretas e indiretamente pelas transformações no grão, quando este se deteriora.

Pinto et al (2000), avaliando a relação entre a lixiviação de potássio e condutividade elétrica em relação à classificação da bebida do café, também verificou que, em bebidas classificadas como dura, rio e riada, ocorreu maior lixiviação de potássio e, por consequência, foi detectada maior condutividade elétrica, indicando uma menor integridade das membranas nesses cafés.

2.4.2 Sólidos solúveis

Uma maior quantidade de sólidos solúveis totais encontrados no café é desejável, pois propicia o corpo da bebida como também garante um maior rendimento industrial (PEREIRA et al., 2002). Cafés de qualidade apresentam altos valores de sólidos solúveis e quando passam pelo processo de torrefação, o conteúdo de sólidos solúveis tendem a diminuir, devido à perda

de ácidos orgânicos e da volatilização de alguns compostos no processo pirolítico (MENDONÇA et al. 2005).

Celestino et al. (2015) verificaram em estudo que, os cafés que, após a torrefação permaneceram com maiores valores de sólidos solúveis, também se sobressaíram como cafés de bebida superior.

2.4.3 Açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores

São denominados açúcares totais a junção dos açúcares redutores como glicose e frutose com os açúcares não redutores, principalmente a sacarose. O café apresenta de 5 a 10% de açúcares totais, são predominantes os não redutores como a sacarose. Os açúcares redutores, como glicose e frutose são encontrados em menores quantidades (AGNOLETTI, 2015).

Teores mais elevados de açúcares indicam a presença de maior doçura na bebida café, pois ao passar pelo processo de torrefação, a sacarose, principal açúcar não redutor, é degradada e utilizada em diferentes reações como a de Maillard e caramelização, dando origem a vários compostos voláteis e não-voláteis (SILVA et al., 2004). Além da grande importância no aspecto sensorial da bebida, a sacarose atua também como precursora de aromas e contribui para a formação da cor (AGNOLETTI, 2015).

Pimenta (1995) relata um aumento gradativo de açúcares redutores no fruto do café, à medida que o processo de maturação vai se intensificando. O mesmo autor relata que, à medida que os frutos dão início ao período de senescência, esses açúcares são metabolizados por via anaeróbica com produção de álcool e ácidos tendendo à diminuição dos teores.

2.4.4 Lipídeos

Danos internos e pequenas rupturas podem expor óleos e outros lipídios à oxidação durante o armazenamento, levando à formação de aldeídos voláteis indesejáveis ao sabor (CAMPOS, 2010).

O extravasamento dos lipídeos para todo o endosperma pode provocar alterações qualitativas e quantitativas na sua composição, levantando a hipótese de que essas transformações sejam a causa principal da mudança de qualidade da bebida. Os lipídeos do grão de café atuam durante a torração como peneira seletiva, isto é, parte dos compostos aromáticos formados pela pirólise durante o aquecimento fica retida nesses óleos, enquanto outra é liberada (AMORIM, 1978; PIMENTA, 2003). Assim, cafés que apresentam uma maior quantidade de

extrato etéreo poderão apresentar melhores características sensoriais (FERNANDES et al., 2003).

Ao avaliar aspectos histoquímicos e morfológicos do café, Goulart et al. (2007) observaram que o café de melhor qualidade (bebida mole) apresenta uma maior concentração de lipídeos na região periférica do grão, em formatos globulares e bem definidos no interior dos protoplastos. Com a perda da qualidade da bebida (bebida dura e rio), os lipídeos se encontram homogeneamente distribuídos no tecido nos grãos, não se apresentando mais em formatos como no café bebida mole, mas sim dispersos de forma irregular dentro da célula e nos espaços intercelulares.

2.4.5 Acidez total titulável e pH

A acidez presente no café é um importante atributo para a sua aceitação sensorial. Porém, quando em grau elevado, pode se tornar um defeito. Tem-se uma dificuldade em determinar todos os ácidos encontrados na bebida e, por consequência, identificar a influência desses ácidos no pH e acidez perceptível (PIMENTA et al., 2018; VIGNOLI; BASSOLI, 2007).

De acordo com o protocolo da Specialty Coffee Association (SCA, 2015), um equilíbrio da acidez agradável contribui para a vivacidade do café e aumenta a percepção da doçura.

Diversos fatores influenciam na intensidade da acidez como o estágio de maturação dos frutos, local de origem, tipo de colheita, forma de processamento, tipo de secagem (SIQUEIRA; ABREU, 2006). Além disso, a acidez titulável pode sofrer influência em razão de possíveis fermentações oriundas de microrganismos, que levam à produção de ácido acético, láctico, propiônico e butírico, que são responsáveis não só pela alteração da acidez, como também do sabor, aroma e cor dos frutos (PIMENTA, 1995). Do mesmo modo, o pH do grão é um forte indicativo de reações que podem ter ocorrido nos frutos do café tais como, fermentações indesejáveis na pré ou pós-colheita, que levam à redução do pH e consequente depreciação da bebida (SIQUEIRA; ABREU, 2006).

Assim, a acidez total titulável e o pH são parâmetros que podem auxiliar na avaliação da qualidade de bebida do café (PIMENTA, 1995; KIPKORIR; MULIRO; MUHOHO, 2015).

2.4.6 Atividade da enzima polifenoloxidase

A polifenoloxidase (PPO) é uma enzima cúprica ligada às membranas celulares. Quando as células do fruto sofrem algum tipo de dano, a PPO atua sobre os polifenóis intra e

extracelulares, promovendo hidroxilação de monofenóis a o-difenóis, os quais sofrem remoção de H⁺ e originam o-quinonas, que inibem a atividade da enzima PPO. Assim, grãos que sofreram danos, apresentarão baixa atividade da polifenoloxidase (MARTINEZ et al., 2014).

A enzima polifenoloxidase tem sido alvo de estudos há algum tempo, com o intuito de correlacionar a composição química do café com a qualidade da bebida, é um forte indicativo, chega-se até a elaboração de uma tabela de classificação a partir de resultados da atividade da enzima (CARVALHO, 1994; PEREIRA, 1997).

2.5 Desenvolvimento de metodologias para classificação do café

Padrões de qualidade são desenvolvidos para auxiliar na comercialização de alimentos. A definição dos parâmetros a serem medidos é de extrema importância para o desenvolvimento desses padrões. A metodologia aplicada para a análise deve ser feita pelo melhor método disponível, ser cientificamente validada e correlacionada com a percepção dos consumidores. Portanto, a utilização de sistemas sensoriais se torna um processo trabalhoso (FERIA-MORALES, 2002).

Atualmente, vários trabalhos têm sido desenvolvidos a fim de complementar o tradicional método de classificação do café, por meio da análise sensorial da bebida conhecida como “prova de xícara”. Esses estudos buscam relacionar os componentes físico-químicos e químicos do grão de café com a sua qualidade, no intuito de propor metodologias mais simples e precisas do que a prova de xícara (CARVALHO et al., 1994; REINATO, 2006).

Muito se vem discutindo sobre a subjetividade e o grau de confiança da classificação realizada pela prova de xícara. Em trabalho realizado por Pimenta (1995) comprova-se a tendência dos provadores em classificar os cafés como “bebida dura”, como valorização máxima para o produto. De acordo com o estudo, cafés colhidos verdes com elevado número de defeitos e cafés cereja selecionados a dedo apresentaram a mesma classificação pelos provadores.

O mesmo comportamento foi observado por Silva et al. (2009), ao avaliarem cafés provenientes de diferentes regiões de Minas, que, não apresentaram diferença na classificação quanto à bebida, todos foram classificados como bebida dura. Isso demonstra a necessidade de completar os testes sensoriais com padrões químicos para a obtenção de uma resposta mais precisa.

Sistemas computadorizados têm sido desenvolvidos para contribuir com a demanda por metodologias mais rápidas que auxiliem no monitoramento, manutenção e em diferentes etapas do processamento de alimentos.

No setor da cafeicultura, diferentes métodos que buscam avaliar características que influenciam diretamente na qualidade da bebida têm sido investigados. A análise definida para estudar essas variáveis normalmente é realizada por meio de ferramentas estatísticas, porém esses modelos não fornecem informações completas sobre a interação desses componentes químicos e físico-químicos estudados, eles apresentam melhores resultados quando são observados isoladamente (MESSIAS et al., 2012).

Uma forma de relacionar esses dados de forma mais eficiente, é pela utilização de redes neurais artificiais (RNA) que nada mais são do que modelos computacionais que tentam simular o comportamento dos neurônios biológicos.

Cerqueira et al. (2001) definem redes neurais como um conjunto de métodos matemáticos e algoritmos computacionais, especialmente projetados para simular o processamento de informações e aquisição de conhecimento do cérebro humano. De maneira geral, uma rede neural artificial pode ser vista como uma estrutura interconectada formada por uma camada de neurônios de entrada, um número de camadas ocultas e uma camada de saída, apresentando funções de classificação, associação e predições (CAVALCANTI et al., 2015).

Uma RNA é composta por uma combinação de neurônios em uma ou mais camadas, como mostra a Figura 2, que podem conter um ou mais neurônios interligados por meio de sinapses (LUDWING JUNIOR; MONTGOMERY, 2007). As camadas da RNA são classificadas em três grupos:

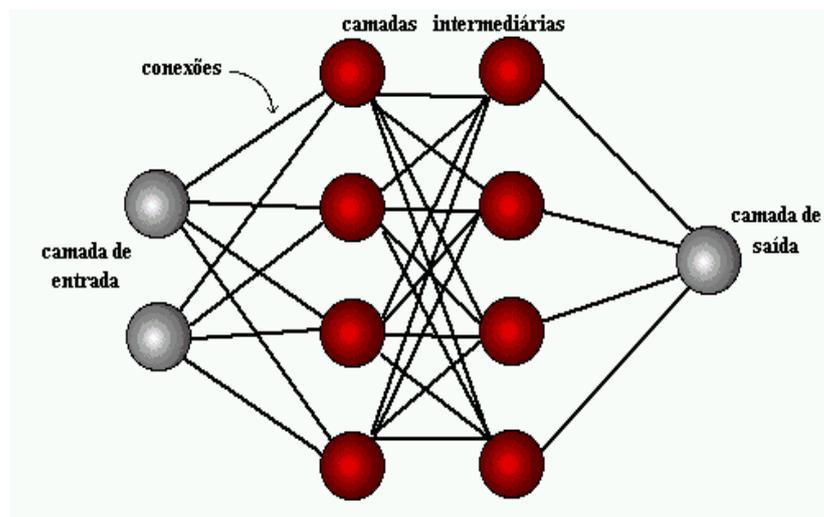
a) Camada de entrada: nessa camada os padrões são apresentados à rede e a única função dessa camada é distribuir os dados de entrada para cada neurônio da camada seguinte;

b) Camadas intermediárias ou ocultas: onde a maior parte do processamento é realizada, por meio das conexões ponderadas, por pesos, consideradas extratoras de características (FERNANDES, 2005);

c) Camada de saída: camada na qual os resultados serão apresentados.

A rede, na fase de treinamento e validação, utiliza os dados de entrada e, por pesos, tenta chegar ao resultado desejado pelo supervisor (SOUSA et al., 2003).

Figura 2 — Estrutura de uma rede neural multiperceptron.



Fonte: Redes (2017)

A utilização de redes neurais para auxiliar na classificação da bebida café, já tem sido alvo de estudos. Em trabalho realizado por Messias et al. (2012), os autores buscaram correlacionar dados químicos de açúcares redutores e não redutores com a qualidade da bebida, dada por avaliação sensorial, utilizando a RNA. O método empregado apresentou um bom desempenho na classificação.

Rodríguez, Durán e Reyes (2010) utilizaram redes neurais artificiais no processo de reconhecimento de padrões ao testar a utilização de nariz eletrônico no controle de qualidade de cafés, discriminando cafés com defeitos, de cafés bons. Os autores obtiveram bons resultados na classificação de cafés torrados.

Lima (2017) também aplicou as redes neurais no desenvolvimento de dois modelos de *softwares* que classificam o café torrado (Classtor 1.0) e café cru (Classcafé 1.0). O sistema desenvolvido utiliza dados químicos sugeridos como marcadores de qualidade na camada de entrada, fornecendo o resultado na camada de saída, referente ao padrão de bebida (estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado e rio). Nos testes preliminares, esses programas obtiveram sucesso, pois foram capazes de classificar corretamente 100% das amostras de cafés testadas, considerados promissores como surgimento de uma nova metodologia mais objetiva de classificação.

2.6 Desenvolvimento e aplicação dos *softwares* Classcafe 1.0 e Classtorr 1.0

Visando a adequar à demanda por novas metodologias que auxiliem na classificação do café de maneira rápida e precisa, Lima (2017) desenvolveu, na Universidade Federal de Lavras, dois modelos de softwares: Classtor 1.0 e Classcafe 1.0 com o objetivo de correlacionar a composição química dos grãos de café cru e de café torrado, com a sua qualidade sensorial, diminuindo assim, a subjetividade da “prova de xícara”. Esses dois modelos de softwares já possuem registros legais e o certificado de patente.

Os modelos construídos, realizam a classificação do café por redes neurais treinadas e validadas com dados de análise físico-química de amostras de café. Classcafe 1.0 é o *software* para classificar a bebida de café a partir de análises químicas realizadas em grãos crus (lixiviação de potássio, condutividade elétrica, acidez, sólidos solúveis, pH, teor de açúcares totais e atividade da polifenoloxidase). De acordo com os resultados dessas análises, o café pode ser classificado em estritamente mole, mole, apenas mole, duro, Riado e Rio.

Já o Classtorr 1.0 foi projetado para classificar a bebida a partir de análises sobre grãos torrados, avaliando os parâmetros de lipídios, teor de açúcares redutores, não redutores e totais, pH, sólidos solúveis (Brix) e acidez total titulável, classificando a bebida em estritamente mole, mole, apenas mole, duro, riada e rio.

As redes neurais utilizadas pelos softwares desenvolvidos foram modeladas e construídas com o software JMP (SAS, 2016) com o uso devidamente autorizado pela empresa que fabrica e comercializa, por uma licença temporária de trinta dias). O programa Lazarus Pascal (freepascal), em domínio público, foi utilizado para a criação dos softwares.

A configuração da Rede Neural Artificial dos *softwares* Classcafe 1.0 e Classtorr 1.0 são parecidas, no desenvolvimento do *software* Classcafe 1.0, utilizou-se uma camada de entrada composta por sete neurônios representados pelos parâmetros físicos e químicos, que foram escolhidos, uma vez que são bons marcadores de qualidade e uma camada de saída, composta por seis neurônios, um para cada tipo de classe de café (estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado, rio). Para treinar as redes, foram utilizados os dados experimentais de 154 amostras e, posteriormente, para validá-las foram utilizados os dados experimentais de 8 amostras. Entre várias arquiteturas testadas, a arquitetura composta por uma camada oculta contendo doze neurônios apresentou melhores resultados (LIMA, 2017).

A configuração do Rede Neural Artificial para o *software* Classtorr 1.0 seguiu a mesma linha, possuindo uma camada de entrada composta por sete neurônios representados pelos parâmetros experimentais químicos, que foram escolhidos pois, embora não tenham uma boa

elucidação ainda, podem contribuir para a qualidade do café. São testes simples a serem realizados e têm um baixo custo. A camada de saída, composta de seis neurônios, um para cada tipo de classe de café (estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado, rio). A determinação do modelo neural para a classificação do café foi feita por meio de dados experimentais de 120 amostras para treinar as redes e, posteriormente, os dados experimentais de 6 amostras foram utilizados para validá-las. Entre várias arquiteturas testadas, a arquitetura composta por uma camada oculta contendo doze neurônios apresentou maior eficiência (LIMA, 2017).

2.7 Aplicação de metodologias de classificação e a subjetividade do método tradicional de classificação do café.

A prova de xícara tem sido apontada como uma técnica consolidada devido à tradição de classificação do café e não como uma análise sensorial adequada do ponto de vista científico (GIACALONE et al., 2019). A discussão da subjetividade do método é originada por diversos fatores, entre eles, o fato de que normalmente é realizada por poucos provadores, ao contrário dos métodos usuais sensoriais que dependem de um grupo de foco maior. Além disso, um ou dois provadores são responsáveis por realizar a classificação de um grande número de amostras de café por dia, chegando a mais de 200 xícaras e sabe-se que, muitas vezes, a prova não é realizada totalmente às cegas, ou seja, os especialistas adquirem informações sobre o lote que estão avaliando (variedade, origem, fornecedor, etc...), o que, inevitavelmente, produzirá um resultado tendencioso. Quando a prova é realizada totalmente a cegas, algumas vezes, ocorre uma dificuldade desses provadores especialistas em identificar as mesmas amostras que já foram avaliadas por eles para obter a repetitividade da nota de qualidade já dada à amostra (FERIA-MORALES, 2002).

Com o desenvolvimento de metodologias promissoras para a classificação do café (Lima, 2017) que auxiliem na prova de xícara, desperta-se o interesse em aplicá-las rotineiramente, autenticando esses novos métodos e diminuindo possíveis erros da classificação por provadores treinados, visto que, a indústria do café, se baseia exclusivamente em procedimentos de degustação sensorial para negociar o produto, nos quais provadores que venham a ser influenciados de acordo com suas percepções, sejam responsáveis pela determinação da qualidade que interfere no julgamento do preço final do produto (PEREIRA et al., 2017).

Por isso, o estudo dessas novas metodologias, mediante simulações de situações rotineiras, é importante para que se possa verificar se os *softwares* atuam de forma correta e completa, satisfazendo as exigências do usuário, no caso, classificando corretamente os cafés, como demonstrado nos testes preliminares, alcançando o objetivo principal (PEÑA; SOUZA, 2013).

REFERÊNCIAS

- AGNOLETTI, B.Z. **Avaliação das propriedades físico-químicas de café arábica (*Coffea Arabica*) e Conilon (*Coffea Canephora*) classificados quanto à qualidade da bebida**. 2015. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.
- AMORIM, H.V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão do café verde relacionados com a deterioração de qualidade**. 1978. 85 p. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 1978.
- BARBOSA, J.N. et al. Spatial distribution of coffees from minas gerais state and their relation with quality. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 237-250, mar. 2011. Disponível em: <<http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/340>>. Acesso em: 02 de abril de 2019.
- BARBOSA, R.M. **Caracterização físico-química de seis categorias da bebida café classificada pelo teste da xícara**. 2002. 67 p. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- BERTOLIN, R.V. et al. Assimetria de Informação e confiança em interações cooperativas. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 59-81, Jan./Mar.2008.
- BRASIL. Instrução Normativa n.8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, jun. 2003. Seção 1, p.22-29.
- BSCA – BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. Disponível em: <<http://brazilcoffeenation.com.br/region/show/id/3>>. Acesso em 08 jan. 2019.
- CAMPOS, S.C. **Uso da morfometria celular na análise da qualidade de grãos de café nas etapas do processamento via úmida e durante o armazenamento**. 2010. 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- CARDOSO, D.B. **Estudo para a disponibilização de metodologias de avaliação da qualidade de grãos de café**. 2016. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- CARVALHO JUNIOR, C. et al. Influência de diferentes sistemas de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica L.*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1089-1096,

Oct. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542003000500017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 Apr. 2019.

CARVALHO, V. D. de; CHAGAS, S. J. de R.; CHALFOUN, S. M.; BOTREL, N.; JUSTE JUNIOR, E. S. G. Relationship between the physicochemical and chemical composition of the grain benefited and the quality of the coffee beverage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 449-454, 1994.

CAVALCANTI, A.S. et al. Modelagem neural e análise estatística do processo de degradação de chorume por foto. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, vol. 10, n. 1 – Jan. / Mar. 2015. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2015000100089&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 02 abr. 2019.

CELESTINO, S. M. A.; MALAQUIAS, J. V.; XAVIER, M.F. F. Agrupamento de acessos de café irrigado com melhores atributos para a bebida. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 131-137, fev. 2015. Disponível em:

<<http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/712>>. Acesso em: 02 de abril de 2019.

CERQUEIRA, E. O.; ANDRADE, J. C.; POPPI, R. J. Redes neurais e suas aplicações em calibração multivariada. **Química Nova**, [S.l.], v. 24, n. 6, p. 864-873, 2001.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v. 5– Safra 2018, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-84, dezembro de 2018.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v.98, n.2, p. 373-380, 2006.

FERIA-MORALES, A.M. Examining the case of green coffee to illustrate the limitations of grading systems/expert tasters in sensory evaluation for quality control. **Food Quality and Preference**, [S.l.], v. 13, n. 6, p. 355-367, set. 2002.

FERNANDES, et al. Constituintes químicos e teor de extrato aquoso de cafés arábica (*Coffea arábica* L.) e conilon (*Coffea canéfora* Pierre) torrados. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.27, n.5, p.1076-1081, set./out., 2003.

FERNANDES, A. M. R. Inteligência artificial: noções gerais. 3. ed. Florianópolis: Visual Books, 2005. 160 p.

FRANCA et al. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **LWT – Food Science and Technology**, [s.l.], v. 38, n. 7, p. 709-715, nov. 2005.

FREDERICO, S. Cafeicultura Científica Globalizada e as Montanhas Capixabas: a produção de café Arábica nas regiões do Caparaó e Serrana do Espírito Santo. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v.25, n.1, p. 7-20, jan/abr/2013.

GIACALONE, D. et al. Common roasting defects in coffee: Aroma composition, sensory characterization and consumer perception. **Food Quality and Preference**, [s.l.], v. 71, p. 463-474, jan. 2019.

GLOESS, A.N. et al. Evidence of different flavour formation dynamics by roasting coffee from different origins: On-line analysis with PTR-ToF-MS. **International Journal of Mass Spectrometry**, [s.l.], v. 365-366, p.324-337, maio 2014.

GOULART, P.F.P. et al. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.3, p.662-666, jun, 2007.

INSTITUTO MINEIRO DE AGROPECUÁRIA. Portaria n. 165, de 27 de abril de 1995. Delimita regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais para a Instituição do Certificado de Origem. Disponível em: <http://www.ima.mg.gov.br>. Acesso em 08 janeiro de 2019.

KIPKORIR, R. K; MULIRO, P.; MUHOHO, S. Effects of coffee processing technologies on physico-chemical properties and sensory qualities of coffee. *African Journal Of Food Science*, [s.l.], v. 9, n. 4, p.230-236, 30 abr. 2015.

LIMA, L.M.; POZZA, E.A.; SANTOS, F.S. Relationship between Incidence of Brown Eye Spot of Coffee Cherries and the Chemical Composition of Coffee Beans. **Journal of Phytopathology**, [s.l.], v. 160, n. 4, p. 209-211, fev. 2012.

LIMA, P. M. de. **Desenvolvimento de softwares para classificação do café cru e torrado através de indicadores químicos e físico-químicos de qualidade**. 2017. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

LUDWING JUNIOR, O.; MONTGOMERY, C. E. Redes neurais: fundamentos e aplicações com programas em C. **Ciência Moderna**, Rio de Janeiro. 136 p. 2007.

MAFRA, L.A.S. **Indicação Geográfica e construção do mercado: a valorização da origem no Cerrado Mineiro**. 2008. 127 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MARTINEZ, H. E. P et al. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, supl. p. 838-848, Dec. 2014.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br>>.Acesso em 08 janeiro de 2019.

MAZZAFERA, P., GONÇALVES, K. V., SHIMIZU, M. M. Extração e dosagem da atividade da polifenoloxidase do café. *Scientia Agricola*, [s.l.], v. 59, n. 4, p.695-700, dez. 2002.

MENDONÇA, L.V.L.; PEREIRA, R.G.F.A.; MENDES, A.N.G. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*coffea arabica* l.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p.239-243, jun. 2005.

MESSIAS, J.A.T. et al. Determination of the influence of the variation of reducing and non-reducing sugars on coffee quality with use of artificial neural network. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.354-360, abr. 2012.

OCEMG- ORGANIZAÇÃO DAS COOPERATIVAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Disponível em < <http://www.minasgerais.coop.br/pagina/34/o-sistema.aspx>> Acessado em 28/11/2017.

OLIVEIRA, L. H de. S.I.G. para a gestão de custos por qualidade: estudo de caso em uma cooperativa de café. **Rev. adm. contemp.**, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 97-119, Dec. 1997. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65551997000300006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 Apr. 2019.

ORTEGA, A.C.; JESUS, C.M.; MOURO, M.C. Mecanização e Emprego na Cafeicultura do Cerrado Mineiro. **Revista ABET**, vol. 8, n. 2, p.58-82, Dez. 2009.

PEÑA, L.G; SOUZA, M.L.O. Uma discussão sob o processo de verificação e validação de software crítico e seguro; definição de conceitos, limitações, normas, objetivos e técnicas aplicadas. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, [S.l.], v. 1, n. 1, 2013.

PEREIRA, R.G.F.A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (Coffea arábica L.) “estritamente mole”**. 1997. 96 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

PEREIRA, R.G.F.A; VILELLA, T.C; ANDRADE, E.T. (2002) Composição química de grãos de café (Coffea arabica L.) submetidos a diferentes tipos de pré-processamento. In: 2º Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória, Anais..., p. 826-831.

PEREIRA, L. L et al. The consistency in the sensory analysis of coffees using Q-graders. **European Food Research And Technology**, [S.l.], v. 243, n. 9, p. 1545-1554, mar. 2017.

PIMENTA, C.J. **Qualidade do café (Coffea arábica L.) originado de frutos colhidos em quatro estádios de maturação**. 1995. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

PIMENTA, C. J. **Qualidade de café**. Lavras: UFLA, 2003. p. 77-160.

PIMENTA, C. J.; ANGELICO, C. L.; CHALFOUN, S. M. Challenges in coffee quality: Cultural, chemical and microbiological aspects. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 42, n. 4, p. 337-349, agosto de 2018.

PINTO, N. A. V. D et al. Efeito da polifenoxidase, lixiviação de potássio e condutividade elétrica nos grãos crus em diferentes padrões de bebida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS 26, 2000, Marília. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA-PROCFÉ, 2000, p. 330- 331.

PINTO, N.A.V.D et al. Avaliação dos polifenóis e açúcares em padrões de bebida do café torrado tipo expresso. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.7 n. 3, p. 193-195, set-dez, 2001.

PRAMUDITA, D.; ARAKI, T.; SAGARA, Y.; TAMBUNAN, A.H. Roasting and Colouring Curves for Coffee Beans with Broad Time-Temperature Variations. **Food Bioprocess Technol**, New York, v.10, p. 1509–1520, april. 2017.

REDES NEURALS. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/ia/neurais/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

REINATO, C.H.R. **Secagem e armazenamento do café: aspectos qualitativos e sanitários**. 2006. 124 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

RIBEIRO, B.B. et al. Avaliação química e sensorial de blends de coffea canephora e coffea arabica L. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 178-186, 2014.

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**, [S.l.], v. 83, n. 5, p. 1352-1358, fev. 2011.

RODRÍGUEZ, J; CRISTHIAN DURÁN, C.; REYES, A. Electronic Nose for Quality Control of Colombian Coffee through the Detection of Defects in “Cup Tests”. **Sensors (Basel)**, v.10, p. 36-46, 2010.

SAATH et. al. Alterações na composição química e sensorial de café (coffea arabica l.) nos processos pós-colheita. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 27, n.2, p. 96-112, abril-junho, 2012.

SCA- Speciality Coffee Association. CUPPING Specialty Coffee PROTOCOLS • VERSION: 16DEC, 2015.

SILVA, R.F et al. Qualidade do café cereja descascado produzido na Região Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 28, n. 6, p. 1367-1375, nov./dez., 2004.

SILVA, M.C et al. Caracterização química e sensorial de cafés da chapada de minas, visando determinar a qualidade final. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1782-1787, 2009.

SILVA, T.V et al. Potential of Laser Induced Breakdown Spectroscopy for analyzing the quality of unroasted and ground coffee. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, [S.l.], v. 135, p.29-33, set. 2017.

SILVEIRA, A.S. et al. Sensory analysis of specialty coffee from different environmental conditions in the region of Matas de Minas, Minas Gerais, Brazil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 4, p. 436-443, agosto de 2016.

SIQUEIRA, H.H.; ABREU, C.M.P. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 112-117, jan./fev., 2006.

SOUSA, E. A. et al. Aplicação de redes neurais para avaliação do teor de carne mecanicamente separada em salsicha de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 307- 311, set./dez, 2003.

SPONGOSKI, S.; REIS, P. R.; ZACARIAS, M.S. Acarofauna da cafeicultura de cerrado em Patrocínio, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 9-17, Feb. 2005.

TOLEDO, P.R.A.B et al. Discriminant analysis for unveiling the origin of roasted coffeesamples: A tool for quality control of coffee related products. **Food Control**, [S.l.], v.73. p. 164-174, mar. 2017.

VIGNOLI, JA; BASSOLI, DG. Determinação de ácidos carboxílicos e fenólicos em café solúvel HPLC / DAD. **Revista Analytica**, v.27, p.76-79, 2007.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 - DIAGNÓSTICO DO SISTEMA TRADICIONAL DE CLASSIFICAÇÃO DO CAFÉ EM COMPARAÇÃO COM A CLASSIFICAÇÃO DADA PELO SOFTWARE CLASSCAFE 1.0

RESUMO

A composição química do café cru está diretamente relacionada com a qualidade da bebida que será obtida, pois, durante o processo de torra, os grãos passam por transformações dando origem a novos compostos químicos responsáveis pelo aroma e sabor da bebida. Sabendo disso, diversos estudos buscam relacionar estas características químicas de maneira objetiva, com o desenvolvimento de novas metodologias de classificação do café, afim de complementar o atual método que se baseia apenas na análise sensorial da bebida. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi utilizar um modelo de *software* de classificação de café cru, para avaliar diferentes cafés *Coffea arabica* L., obtidos no estado de Minas Gerais e verificar possíveis discrepâncias entre as metodologias de classificação aplicadas. Para o desenvolvimento do experimento, vinte e quatro amostras de café cru, foram avaliadas quanto a condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez total titulável, pH, sólidos solúveis e atividade da enzima polifenoloxidase. Os resultados das análises químicas foram então inseridos no *software* para verificar a classificação por este sugerida. Quando comparada com a avaliação por provadores treinados, o ClassCafe 1.0 apresentou 58,33% de semelhança. O modelo de *software* conseguiu distinguir as classes de bebida inferior, das classes superiores, apresentando resultados promissores. Alguns ajustes devem ser realizados para melhorar a sensibilidade do sistema, porém, os resultados obtidos na pesquisa foram satisfatórios.

Palavras-chave: Classes de café. Qualidade do café. Rede neural artificial.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a classificação oficial do café, é realizada de acordo com os procedimentos estabelecidos pela Instrução Normativa nº 8 de 11/6/2003 (BRASIL, 2003), na qual o grão de café beneficiado é classificado quanto à espécie, ao formato do grão, granulometria, ao tipo em função da quantidade de defeitos presentes e pela prova de xícara, que determina a qualidade da bebida.

Muito se vem discutindo sobre a precisão da análise da qualidade da bebida pela prova de xícara, por não se tratar de um método objetivo. Isso porque o processo do desenvolvimento de aroma e sabor é muito complexo e deve-se levar em consideração, não apenas as características químicas dos grãos, como também as interações entre os diferentes compostos conhecidos durante o preparo da bebida e as enigmáticas interações dentro da boca, que ocorrem através do contato da bebidas com as substâncias salivares e os estímulos ativados pelo cérebro (PRETE, 1992).

A aplicação de metodologias analíticas associadas a essa análise sensorial seria o caminho para garantir uma melhor confiabilidade da classificação, evitando possíveis perdas comerciais ocasionadas de uma classificação incorreta. Com isso, a utilização de marcadores químicos presentes naturalmente na composição dos grãos, e que possam auxiliar na diferenciação da classe de bebida de forma mais objetiva, são propícias para o desenvolvimento de novas metodologias.

A qualidade da bebida do café é ditada pela composição química dos grãos de café cru, sobre a qual exaustivos estudos tentam identificar a participação desses componentes na formação das características desejáveis da bebida. A composição do grão, porém, é influenciada por diversos fatores, entre eles, condições ambientais, práticas culturais e origem genética (SCHOLZ; PRETE; MAGRI, 2000).

O discernimento da constituição química, apenas, não é suficiente para explicar a contribuição desses componentes para o sabor do café. Da mesma maneira, avaliações sensoriais na ausência de dados químicos, não consegue correlacionar o que gera cada atributo sensorial específico (SUNARHARUM et al., 2014). A aplicação de ferramentas estatísticas é utilizada para compreender melhor essas interações, porém associar os atributos químicos de forma conjunta, com a qualidade, ainda é um desafio.

Assim, com o auxílio de um modelo de *software* ClassCafe 1.0, (LIMA, 2017) que baseia a classificação de cafés por meio da inserção de dados químicos, processando as informações por rede neural artificial, o objetivo desta pesquisa foi comparar os cafés crus já

classificados quanto ao padrão de bebida com os resultados fornecidos pelo *software* ClassCafe 1.0, a fim de avaliar correlações entre os dois métodos de classificação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas vinte e quatro amostras de café arábica (*Coffea arabica* L.), oriundas de diferentes regiões do estado de Minas Gerais, participantes do 14º Concurso de Qualidade do café de Minas Gerais, edição de 2017. O concurso é realizado pela Empresa de Assistência Técnica e Rural de Minas Gerais e pela Universidade Federal de Lavras.

As amostras foram obtidas em triplicata pelo processamento natural. Após, foi realizada a análise sensorial, “prova de xícara”, na qual provadores treinados classificaram a bebida pelo +aroma e sabor apresentados de acordo com a Classificação Oficial Brasileira (COB) quanto aos padrões de bebida estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado e rio, de acordo com a Instrução Normativa nº8, de 11 de junho de 2003 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2003).

A codificação das amostras, o tipo de processamento e a classificação sensorial de cada uma das amostras estão apresentados na Tabela 4. Para a classificação das amostras pelo *software* ClassCafe 1.0, trabalhou-se com análises químicas realizadas em grãos de café cru.

Preparo das amostras de café cru

Após a devida codificação das amostras, os cafés crus foram moídos em moinho refrigerado multiuso TE 631/2- Tecnal, até a obtenção de granulometria fina de 20 mesh. Posteriormente, foram armazenadas em potes de polietileno, à temperatura de aproximadamente -18°C, até a realização das análises químicas.

Os grãos de café cru foram analisados quanto à condutividade elétrica, no Laboratório Experimental da EPAMIG. A quantificação de lixiviação de potássio, determinada no Laboratório de Fertilidade do Solo localizado no departamento de Ciência do Solo e as demais análises químicas de acidez total titulável, pH, sólidos solúveis, açúcares totais e atividade enzimática da polifenoloxidase, determinadas no Laboratório Central de Análises e no Laboratório de Análises Avançadas, ambos localizados no departamento de Ciência dos Alimentos. Todos os laboratórios pertencem as dependências da Universidade Federal de Lavras.

Tabela 4. Amostras de cafés identificadas quanto ao processamento e a classificação dada pela prova de xícara.

AMOSTRA	TIPO DE PROCESSAMENTO	CLASSIFICAÇÃO PROVA DE XÍCARA
1	Natural	Rio
2	Natural	Rio
3	Natural	Rio
4	Natural	Rio
5	Natural	Riada
6	Natural	Riada
7	Natural	Riada
8	Natural	Riada
9	Natural	Dura
10	Natural	Dura
11	Natural	Dura
12	Natural	Dura
13	Natural	Apenas Mole
14	Natural	Apenas Mole
15	Natural	Apenas Mole
16	Natural	Apenas Mole
17	Natural	Mole
18	Natural	Mole
19	Natural	Mole
20	Natural	Mole
21	Natural	Estritamente Mole
22	Natural	Estritamente Mole
23	Natural	Estritamente Mole
24	Natural	Estritamente Mole

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Loeffler et al. (1988). Foram utilizados 50 grãos de cada amostra, pesados em balança analítica de precisão de 0,001g e imersos em 75 mL de água destilada no interior de copos plásticos. Os copos preenchidos com as amostras permaneceram em estufa a 25°C por cinco horas, procedendo-se a leitura da condutividade elétrica da solução de embebição em condutivímetro

de bancada C-701 Analion. Após a leitura, calculou-se a condutividade elétrica, expressando-se o resultado em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de grãos.

Lixiviação de potássio

A quantificação de íons de potássio lixiviado foi determinada segundo a metodologia proposta por Prete (1992), a leitura foi realizada em fotômetro de chama Digimed NK-2002. Com os dados obtidos, calculou-se a quantidade de potássio lixiviado expressando o resultado em ppm/g.

Acidez titulável, pH e sólidos solúveis totais

A acidez titulável total, os sólidos solúveis e o pH foram determinados seguindo a metodologia proposta pela Association of Official Analytical Chemists- AOAC (1990).

A acidez total titulável foi determinada por titulação com NaOH 0,1N e o resultado expresso em mL de NaOH 0,1 N por 100g de amostra.

O pH, determinado a partir do extrato utilizado na determinação da acidez titulável total, foi medido através de peagâmetro Digital Tecnal TEC 5.

A leitura da determinação dos Sólidos solúveis totais foi realizada por meio de refratômetro de bancada tipo ABBE e os resultados expressos em °Brix.

Açúcares totais em café cru

A análise de açúcares totais foi realizada de acordo com o método da Antrona proposto por Diche (1962). Os açúcares totais foram quantificados por espectrofotometria a um comprimento de onda de 620nm, utilizando uma curva padrão glicose (100mg/100mL).

Atividade da enzima polifenoloxidase (PPO)

A extração da polifenoloxidase seguiu de acordo com o descrito por Draetta e Lima (1976), adaptada por (CARVALHO et al., 1994). A atividade enzimática foi determinada pelo método descrito por Ponting e Joslyng (1948), utilizando-se o extrato da amostra sem o DOPA (3, 4-DIYDROXYPHENYL), como branco. A atividade enzimática foi expressa em $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ de grãos (U é a unidade de atividade enzimática equivalente a 0,001 da densidade ótica por minuto).

Classificação dos cafés através do *software* ClassCafe 1.0

Após o levantamento dos dados químicos obtidos na caracterização do café cru, os resultados das análises de quantificação de lixiviação de potássio, condutividade elétrica,

acidez, pH, sólidos solúveis, atividade enzimática da polifenoloxidase e açúcares totais, foram conduzidas ao modelo de *software ClassCafe 1.0*, a fim de se obter a classificação das amostras de café cru, de acordo com os padrões de bebida: estritamente mole, apenas mole, mole, dura, riado e rio. A tela inicial do *ClassCafe 1.0* pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3 — Tela inicial de funcionamento do *software ClassCafe 1.0*.

ClassCafe 1.0

Arquivo

Parâmetros químicos

Lixiviação de potássio ppm/g

Condutividade elétrica mS/g

Acidez ml NaOH/100g

Sólidos %

Açúcares %

pH

Polifenoloxidase u/min/g

PROBABILIDADES DE CLASSIFICAÇÃO (%)

Estr.Mole	Mole	Apn. Mole	Duro	Riado	Rio

Novo Cancelar Classificar Sair

DCA/UFLA ClassCafe 1.0 - Sistema de Classificação de Café Cru Eng. MSc. Priscilla Lima fpc 3.0.0 x86_64

Fonte: LIMA, 2017.

Configuração do *software ClassCafe 1.0*

O *ClassCafe 1.0* foi projetado, utilizando uma camada de entrada composta por sete neurônios representados pelos dados físicos e químicos, que foram escolhidos, uma vez que são um indicativo da bebida de qualidade. A camada de saída, composta por seis neurônios, um para cada tipo de classe de café (estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado, rio). Para treinar as redes, foram utilizados os dados experimentais de 154 amostras, e posteriormente, para validá-las foram utilizados os dados experimentais de 8 amostras. Entre várias arquiteturas testadas, a arquitetura composta por uma camada oculta contendo doze neurônios apresentou melhores resultados (LIMA, 2017).

Análise estatística

Os testes foram realizados utilizando o delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os dados das análises químicas da quantificação de lixiviação de potássio, condutividade elétrica, acidez, pH, sólidos solúveis, atividade enzimática da polifenoloxidase e açúcares totais, foram submetidos à ANOVA ($p < 0,5$) e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,5$), utilizando o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (ClassCafe 1.0) do café cru padrão de bebida rio.

As bebidas de padrão rio (1,3 e 4) analisadas pelo *software* foram condizentes com a classificação por provadores treinados. Nelas, foi determinado um teor de lixiviação de potássio entre 54 a 59,80 ppm/g, acidez mais acentuada variando de 156,31 a 160,15mL de NaOH 0,1N e o pH próximo a 5,7. Diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) da amostra 2 que apresentou uma certa incoerência entre a classificação dada pela prova de xícara e a do *software*, que a classificou como dura.

Para um maior discernimento das informações, observa-se, na Tabela 5 que, a amostra Rio 2, apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), entre as demais, no conteúdo de lixiviação de potássio, acidez total titulável e pH, fatores estes que em conjunto com os outros parâmetros determinaram sua classificação.

Apesar de não se ter uma relação concreta entre a acidez titulável total com os diferentes padrões de bebida, alguns trabalhos relatam que cafés de pior qualidade apresentam maiores valores para esse atributo (SILVA et al, 2004). Portanto, essa variável pode ter contribuído para que a bebida rio 2, fosse classificada pelo *software* como dura, pois apresentou menor acidez. O pH dos grãos verdes apresentou pequenas diferenças.

Outra variável que pode ter influenciado a classificação do café rio 2 como bebida dura foi a menor lixiviação de potássio que diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) das demais amostras, e condutividade elétrica, que apesar de não ser significativamente diferente, apresentou menor valor. Isso pode estar relacionado com o tamanho e formato dos grãos ou características referentes à espécie (PEREIRA; BARBOSA; LOPES, 2000). A bebida rio 2 apresentou um comportamento químico com características que indicam que ela seja classificada como dura, possivelmente ela, realmente, pertença a essa classe.

Tabela 5 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão rio.

Prova	LK (ppm/g)	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)	ATT (%)	SS (%)	AT (%)	pH	PPO ($\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{ms}$)	Classificação software
Rio 1	54,00a	129,82a	160,15a	37,17a	7,74c	5,75a	42,39b	Rio
Rio 2	42,92b	112,85a	113,43b	36,28a	7,80b	5,67b	41,26c	Dura
Rio 3	59,80a	144,27a	156,31a	37,18a	7,83a	5,75a	40,39d	Rio
Rio 4	56,14a	135,07a	160,24a	36,80a	7,35d	5,77a	46,40a	Rio

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (ClassCafe 1.0) do café cru padrão de bebida riada.

De acordo com a Tabela 6, para os cafés classificados na análise sensorial como riada, o *software* classificou 50% com precisão e 50% de erro.

Os atributos químicos de condutividade elétrica e a atividade da enzima polifenoloxidase não diferiram significativamente ($p>0,05$) entre as amostras 6 e 8, que apresentaram classificação similar a prova de xícara. Ainda foi possível observar que, o teor de açúcares totais foi menor para essas bebidas, quando comparadas as que foram classificadas pelo *software* como duras (5 e 7).

As bebidas classificadas como dura (5 e 7) pelo ClassCafe 1.0 apresentaram diferença significativa ($p<0,05$) na atividade da enzima polifenoloxidase em comparação com as bebidas classificadas como riada. Alguns trabalhos têm associado o teor da enzima PPO com a qualidade da bebida, em que o aumento da atividade enzimática ocorre em cafés de melhor qualidade (CARVALHO et al., 1994), diferente do que ocorreu neste estudo, no qual as bebidas riada apresentaram maior atividade do que as bebidas classificadas como dura. Cardoso (2016) observou esse mesmo comportamento ao avaliar a atividade enzimática da PPO em diferentes classes de bebida, encontrando valores de 39,55 e 46,44 $\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{ms}$, para as bebidas dura e riada respectivamente. O teor de açúcares totais também foi maior para essas amostras, podendo indicar que esse atributo pode apresentar um peso maior, contribuindo para que estas, fossem classificadas como dura. Os açúcares estão relacionados com maior doçura na bebida,

pois durante a torra a sacarose é degradada e participa de diversas reações como a de maillard e caramelização, originando vários compostos que contribuem para o sabor e aroma.

Por se tratarem de classes muito próximas, deve-se levar em consideração a sensibilidade do *software*, para distinguir padrões muito próximos e também, a dos provadores que podem não ter conseguido perceber alguns atributos durante a prova e acabaram desclassificando uma bebida com potencial para se enquadrar como dura.

Tabela 6 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidade (PPO) para bebidas de padrão riada.

Prova	LK (ppm/g)	CE (μ S.cm- 1.g -1)	ATT %	SS %	AT %	pH	PPO (U.min-1. g-1 .ms)	Classe <i>software</i>
Riada 5	74,44b	193,98a	205,36a	36,27b	8,96a	5,70a	43,46b	Dura
Riada 6	52,48c	111,42c	205,99a	35,44c	8,08c	5,56b	47,06a	Riada
Riada 7	87,09a	141,05b	205,75a	37,20a	8,24b	5,44c	40,73b	Dura
Riada 8	43,19d	101,55c	206,01a	36,34b	7,70d	5,71a	46,60a	Riada

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (ClassCafe 1.0) do café cru padrão de bebida dura.

Para a classe de bebida padrão médio, dura, o *software* ClassCafe 1.0 demonstrou precisão, como mostra na Tabela 7, conseguindo identificar todas as amostras, em harmonia com a classificação dada por provadores treinados.

Observa-se que não houve diferença significativa na condutividade elétrica e na atividade da enzima polifenoloxidase. Pode-se sugerir que os cafés classificados como bebida dura apresentaram lixiviação variando de 99,35 a 113,36 ppm/g e atividade enzimática de 44,26 a 50,26 U.min-1.g-1.ms e que essas variáveis podem ser fortes indicadores para distinção das classes. Para as demais, apesar da diferença estatística entre os atributos avaliados, foi comprovado que o método utilizado no processamento de dados por rede neural artificial conseguiu promover a junção de todas as características químicas e definir um padrão, alcançando sucesso na classificação.

Tabela 7 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão dura.

Prova	LK (ppm/g)	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$)	ATT (%)	SS (%)	AT (%)	pH	PPO (U.min-1.g-1.ms)	Classificação software
Dura 9	37,69b	101,66a	160,28a	36,38a	9,85a	5,81a	44,26a	Dura
Dura 10	42,45b	99,35a	160,09a	36,38a	8,30c	5,81a	50,26a	Dura
Dura 11	53,81a	113,36a	129,76b	37,2a	9,52b	5,71b	47,06a	Dura
Dura 12	39,19b	87,17a	131,26b	36,2a	8,18d	5,75b	47,86a	Dura

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (Classcafe 1.0) do café cru padrão de bebida apenas mole.

Para as bebidas de classe superior, o *software* apresentou certa incoerência nas classificações, não conseguindo separar corretamente as classes de bebida consideradas cafés de melhor qualidade.

As amostras 13 e 14, definidas sensorialmente como apenas mole, foram classificadas pelo *software* como bebidas dura e diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) nos quesitos condutividade elétrica e lixiviação de potássio, quando comparadas as amostras 15 e 16, classificadas com alta precisão como apenas mole, e que para estas variáveis apresentaram valores menores (Tabela 8).

Possivelmente, esses maiores teores de condutividade elétrica e íons lixiviados de potássio, que são indicativos de alterações nas membranas dos grãos, levou a uma pressuposição de uma possível perda da qualidade dos cafés. Porém, apesar desses parâmetros serem um forte indicativo, há uma série de fatores que influenciam na determinação de condutividade elétrica e lixiviação de potássio de exsudatos de grãos, como o tamanho dos grãos, separação por peneira e presença de grãos defeituosos (MALTA; PEREIRA; CHAGAS, 2005). Combinado a isso, as amostras (13 e 14) apresentaram um menor teor de açúcares totais quando comparado aos demais.

As amostras 15 e 16 (apenas mole) também apresentaram semelhança quanto ao teor de acidez, indicando menor acidez. Não se tem uma relação direta entre a acidez total titulável com as diferenças classes de bebida, todavia, muitos trabalhos têm apontado que cafés de

melhor qualidade apresentam menores valores para essa variável (CARVALHO et al, 1994; SILVA, et al 2004).

Tabela 8 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão apenas mole (AM).

Prova	LK (ppm/g)	CE (μ S.cm- 1.g-1)	ATT %	SS %	AT %	pH	PPO (U.min-1.g- 1.ms)	Classificação software
AM 13	53,16a	126,36a	152,55b	37,20a	8,97c	5,86a	46,46b	Dura
AM 14	50,80a	130,24a	198,13a	36,30a	8,72d	5,79b	51,86a	Dura
AM 15	32,00c	68,29c	118,21c	36,33a	9,05b	5,85a	50,13a	AM
AM 16	36,39b	84,39b	122,06c	37,20a	9,64a	5,81b	43,46c	AM

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (Classcafe 1.0) do café cru padrão de bebida mole.

As amostras de classe mole (Tabela 9) apresentaram uma tendência em serem classificadas como dura pelo *software*. Apesar de não haver uma correlação concreta entre os dados químicos, verifica-se que para a bebida 19, classificada como mole, o teor de açúcares totais foi mais elevado como também apresentou uma maior atividade da enzima polifenoloxidase.

Para essa classe, percebe-se uma maior relação do teor de açúcares totais com a bebida, pois para a atividade da polifenoloxidase não houve diferença ($p < 0,05$) entre a amostra classificada como mole (19) e a amostra classificada como dura (20) pelo *software*. Sabe-se da complexibilidade das interações físico-química e sensoriais do café, ou seja, as características químicas devem de estar relacionadas com a melhor qualidade e aceitação sensorial do produto. Os açúcares totais são referências para a obtenção de uma bebida em equilíbrio, influenciando o sabor, corpo, textura, doçura e cor. Assim, diferença significativa no teor de açúcares poderiam acarretar em melhor qualidade e aceitação sensorial do café (BARBOSA, 2002).

As demais amostras (17,18 e 20), por apresentarem características químicas peculiares às esperadas para o padrão mole, podem ter gerado uma classificação incorreta. Para melhorar

o reconhecimento dessa classe, os dados obtidos neste estudo podem vir a ser inseridos como forma de treinamento do perfil de padrão mole.

Tabela 9 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão mole.

Prova	LK (ppm/g)	CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}\cdot\text{1.g}^{-1}$)	ATT (%)	SS (%)	AT (%)	pH	PPO (U.min ⁻¹ .g ⁻¹ .ms)	Classificação software
Mole 17	54,22a	134,96c	163,83b	34,23b	8,52d	6,01a	42,75c	Dura
Mole 18	49,56b	181,13a	188,63a	37,20a	9,11c	5,67d	46,99b	Dura
Mole 19	57,07a	157,56b	171,42b	37,10a	9,93a	5,73c	51,26a	Mole
Mole 20	49,60b	111,15d	152,53c	36,33a	9,37b	5,83b	51,00a	Dura

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (Classcafe 1.0) do café cru padrão de bebida estritamente mole.

Quanto às amostras estritamente moles (Tabela 10), ocorreu uma dificuldade na separação entre as distintas classes superiores. As amostras 23 e 24 foram classificadas como estritamente moles, apresentando os resultados de lixiviação de potássio, condutividade elétrica e sólidos solúveis semelhantes entre si.

Já as amostras estritamente moles 21 e 22, apesar da diferença não ser discrepante, também tiveram suas classes reduzidas, mas ainda assim permaneceram como bebidas superiores. Apesar de não ser um comportamento esperado para essa classe de bebida, Cardoso (2016), em seu estudo, encontrou valores de condutividade elétrica de $185,04 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ e $155,05 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, para padrão mole e apenas mole respectivamente, valores estes, que podem ser comparados com os cafés que foram classificados pelo *software* neste estudo, os quais a bebida mole (22), apresentou $154,84 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de condutividade elétrica e a bebida classificada como apenas mole (21) que apontou uma condutividade de $171,40 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. Esse mesmo autor também observou uma alta lixiviação de potássio na classe de bebida mole e apenas mole, encontrando valores de 98,44 ppm/g e de 64,97 ppm/g, respectivamente. Os testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica têm sido associados como indicadores consistentes da integridade de membranas celulares, e correlacionados com a qualidade

(REINATO, 2003; RIBEIRO, 2003), porém, devido às diversas interferências que essas variáveis podem sofrer no momento da análise, elas devem ser aplicadas como métodos complementares para a diferenciação de bebidas, não se deve basear apenas nessas medidas (MALTA; PEREIRA; CHAGAS, 2005). Assim, devido à complexibilidade que envolve a formação do sabor, para a classe estritamente mole os dados químicos inseridos na alimentação do *software*, não conseguiram distinguir corretamente as classes, porém, nenhuma delas foi classificada como classe inferior, apenas foi apresentada uma falha na sensibilidade do *software* para a distinção das classes superiores.

Essa falha na percepção pode ser proveniente da própria similaridade apresentada na descrição da Instrução Normativa nº 8 para as classes de bebida apenas mole, mole e estritamente mole, onde, descreve-se como bebida apenas mole: café que apresenta sabor levemente doce suave, mas sem adstringência ou aspereza de paladar; Mole: café que apresenta aroma e sabor agradável, brando e adocicado e estritamente mole: café que apresenta em conjunto, todos os requisitos de aroma e sabor mole, porém, mais acentuado.

Tabela 10 — Valores médios das variáveis analisadas: lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), açúcares totais (AT), pH e polifenoloxidação (PPO) para bebidas de padrão estritamente mole (EM).

Prova	LK (ppm/g)	CE ($\mu\text{S.cm-1.g-1}$)	ATT %	SS %	AT %	pH	PPO (U.min-1.g-1.ms)	Classificação software
EM 21	65,72b	154,84b	183,03a	36,22a	10,51b	5,66c	62,00a	AM
EM 22	70,39a	171,49a	171,54b	37,20a	10,9a	5,76b	48,00c	Mole
EM 23	32c	62,13c	171,48b	37,20a	8,14d	5,77b	47,99c	EM
EM 24	32c	70,00c	114,42c	37,20a	8,67c	5,86a	57,26b	EM

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

4. CONCLUSÃO

Com a aplicação das redes neurais artificiais para classificação do café cru, foi possível verificar que nenhum dos cafés de classe inferior (riada, rio) foi erroneamente classificado como café de padrão superior (apenas mole, mole, estritamente mole), indicando que o modelo de *software* conseguiu diferenciar o café de alta qualidade do café de baixa qualidade.

A classificação dada pela prova de xícara e pelo *software* apresentou muita semelhança, com algumas pequenas variações. As redes neurais artificiais se mostraram eficientes na classificação dos grãos crus.

REFERÊNCIAS

AOACH. Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15th ed. Washington, v. 2, 1990.

BARBOSA, R.M. **Caracterização físico-química de seis categorias da bebida café classificada pelo teste da xícara**. 2002. 67 p. Dissertação (Mestrado ciência e tecnologia de alimentos) - Universidade federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

BRASIL. Instrução Normativa n.8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, jun. 2003. Seção 1, p.22-29.

CARDOSO, D.B. **Estudo para a disponibilização de metodologias de avaliação da qualidade de grãos de café**. 2016. 92 p. Dissertação (Mestrado em engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

CARVALHO, V. D. de; CHAGAS, S. J. de R.; CHALFOUN, S. M.; BOTREL, N.; JUSTE JUNIOR, E. S. G. Relationship between the physicochemical and chemical composition of the grain benefited and the quality of the coffee beverage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 449-454, 1994.

DISHE, Z. General color reactions. In: WHISTLER, R. L.; WOLFRAN, M. L. Carbohydrate chemistry. New York: Academic Press, 1962. p. 477-512.

DRAETTA, I. S.; LIMA D. C. Isolation and characterization of coffee polyphenoloxidases. **Collection of Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.7, p. 3-28, 1976.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

LIMA, P. M. de. **Desenvolvimento de softwares para classificação do café cru e torrado através de indicadores químicos e físico-químicos de qualidade**. 2017. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

LOEFFLER, T. M.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean quality. **Journal of Seed Technology**, Lansing, v. 12, p. 37-53, 1988.

MALTA, M.R.; PEREIRA, R.G.F.A.; CHAGAS, S.J.R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudato de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 1015-1020, set./out., 2005.

PEREIRA, R.G.F.A.; BARBOSA, C.R.; LOPES, L.M.V. Análise química de misturas em diferentes proporções de café arábica (*coffea arábica* L.), bebida mole, e conilon (*coffea canephora* pierre.). In: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil (1.:2000: Poços de Caldas, MG). Resumos expandidos. Brasília, D.F.: Embrapa Café; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. 2v.(1490p.), p.643-645.

PONTING, J. D.; JOSLYNG, M. A. Ascorbic acid oxidation and browning in apple tissue extracts. **Archives of Biochemistry**, p. 47-63, 1948.

PRETE, C. E. C. **Electrical conductivity of coffee bean exudates (*Coffea arabica* L.) and their relation with the quality of the beverage**. Dissertation- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

REINATO, C. H. R. et al. Avaliação técnica, econômica e qualitativa do uso de lenha e GLP na secagem de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 27, p. 21-29, 2003.

RIBEIRO, D. M. **Qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem**. 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

SILVA, R.F. et al. Qualidade do café-cereja descascado produzido na região sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 6, p.1367-1375, dez. 2004.

SCHOLZ, M.B.S. et al. Composição química de variedades de café (*Coffea arabica*). In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 1: 2000: Poços de Caldas, MG. Resumos expandidos. Brasília, D.F.: Embrapa Café; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. 2v. (1490p.), p. 673-676.

SUNARHARUM, E.B. et al. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. **Food Research International**, [s.l.], v. 62, p.315-325, ago. 2014.

ARTIGO 2 - CLASSIFICAÇÃO DE CAFÉ TORRADO APLICANDO O MODELO DE *SOFTWARE* CLASSTORR 1.0 EM COMPARAÇÃO COM O MÉTODO TRADICIONAL DE CLASSIFICAÇÃO

RESUMO

A qualidade do café é medida em função do aroma e sabor reconhecido por provadores treinados. Esses provadores, avaliam a bebida de maneira subjetiva, através de análise sensorial e as classificam em padrões reconhecidos como estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riada, rio e riozona. Na tentativa de relacionar os atributos químicos presentes no café associados a qualidade de maneira conjunta, novas metodologias têm sido investigadas. Com isso, o objetivo deste estudo foi analisar vinte e quatro amostras de café previamente classificadas por provadores treinados, quanto as suas características químicas e, em seguida, utilizar os dados obtidos para inserir no software ClassTorr 1.0 que foi desenvolvido para classificar cafés torrados de maneira objetiva. Para a inserção dos dados analíticos no *software*, foram determinados o teor de açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores, acidez total titulável, pH, sólidos solúveis e extrato etéreo. Após a implantação dos dados na camada de entrada do *software*, este classificou as amostras em estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riada e rio. Verificou-se entre as amostras analisadas, classificação idêntica à dada pela avaliação sensorial da bebida em 45,8% dos casos. O resultado encontrado demonstra que o modelo deve ser reajustado para incrementar o reconhecimento de padrões.

Palavras-chave: Qualidade. Análises químicas. Redes neurais.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a avaliação da qualidade do café é realizada pela análise sensorial da bebida, em que provadores usam da aptidão adquirida por meio de treinamentos, para degustar e classificar cafés de acordo com os padrões de bebida, etapa determinante para a valorização ou não do produto.

Uma das etapas fundamentais no processo de preparo das amostras para prova, é a torrefação, na qual os grãos de café sofrem inúmeras transformações até o desenvolvimento de uma variedade de compostos, responsáveis pelo aroma e sabor característico da bebida (TOLEDO et al., 2017).

As mudanças químicas oriundas da torrefação, incluem a perda de água e de dióxido de carbono dos grãos, a formação de diferentes constituintes pela reação de maillard, como as melanoidinas responsáveis pela coloração dos grãos e dos compostos voláteis. Além disso, se têm o consumo de mono e dissacarídeos e a hidrólise e pirólise da sacarose. O conteúdo de proteínas sofre desnaturação e os aminoácidos livres participam da formação de produtos da reação de Maillard. A maior parte dos ácidos clorogênicos e ácidos orgânicos são decompostos (BONNLANDER et al, 2005; CRAIG, et al., 2018).

A discriminação dos compostos responsáveis pelo aroma e sabor do café torna-se uma tarefa muito complexa, pois, após a torrefação dos grãos, já foram identificados mais de 800 compostos aromáticos de várias classes (TAVARES; FERREIRA, 2006), e ao mesmo tempo têm se a atuação de compostos não-voláteis, como a cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos, lipídios, polissacarídeos e proteínas que estão relacionadas diretamente com o desenvolvimento de alguns atributos que caracterizam o café, como o de amargura, adstringência, doçura (TOLEDO et al.,2016), o que torna a prova de xícara trabalhosa e de certa maneira subjetiva.

A subjetividade da prova de xícara está relacionada não apenas na incerteza de se utilizar apenas do julgamento de provadores para determinar a qualidade da bebida como também o tempo gasto e a necessidade da utilização de pessoas especializadas nesse tipo de método. Em conjunto, esses fatores dificultam a implementação eficiente dessa metodologia sem que se possa garantir que não haverá perdas tanto para quem vende quanto para quem compra o produto. Por isso, o desenvolvimento de métodos que correlacionam a análise sensorial com dados químicos experimentais tem sido discutido a fim de ajustar metodologias que possam ser utilizados na inspeção rotineira da qualidade do café (CRAIG et al., 2018; FERIA-MORALES, 2002).

Alguns marcadores químicos têm demonstrado potencial para diferenciar os padrões de bebida café conhecidos. A acidez é uma qualidade desejada na bebida do café, desde que não seja muito acentuada (ALVES et al., 2007). Nos grãos torrados, a acidez é atribuída à formação de ácidos como láctico e acético (BALZER, 2001; GINZ et al., 2000), como consequências das transformações que ocorrem no momento da torra, devido à degradação de carboidratos e ácidos orgânicos presentes, como também pela degradação do ácido clorogênico, dando origem aos ácidos fenólicos, cafeico e quínico (JACINTHO, 2002). O pH do café tem sido correlacionado com a acidez perceptível.

Maior quantidade no teor de sólidos solúveis contribui para o desenvolvimento do corpo da bebida (CELESTINO; MALAQUIAS; XAVIER, 2015). Já os açúcares atuam como precursores do aroma e sabor, participando de várias reações químicas simultâneas no momento da torra, dando origem a diversas substâncias como furanos, aldeídos, ácidos carboxílicos (FARAH et al., 2006).

O conteúdo de lipídios também tem sido associado à qualidade da bebida, pois durante a torrefação, os lipídios atuam como peneira seletiva, retendo os compostos aromáticos dos grãos e, com isso, melhorando as características de aroma e sabor na qualidade da bebida final (AMORIM, 1972).

Com o apoio de uma metodologia, ainda, em construção, utilizando redes neurais artificiais no desenvolvimento do *software* ClassTor 1.0, capaz de correlacionar a inserção de dados químicos com a classificação objetiva do café (LIMA, 2017), o objetivo deste trabalho é classificar diferentes amostras de café torrado oriundas do Estado de Minas Gerais e comparar com a classificação dada pela usual prova de xícara, a fim de se avaliar possíveis discrepâncias entre os resultados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas vinte e quatro amostras de café arábica (*Coffea arábica* L.), provenientes de diferentes regiões do estado de Minas Gerais, participantes do Concurso de Qualidade do café de Minas Gerais, referentes ao ano de 2017. O concurso é realizado pela Empresa de Assistência Técnica e Rural de Minas Gerais e pela Universidade Federal de Lavras.

As amostras foram obtidas em triplicata pelo pré-processamento natural. Após, foi realizada a análise sensorial, “prova de xícara”, na qual provadores treinados classificaram a bebida pelo aroma e sabor apresentados de acordo com a classificação oficial do café quanto aos padrões de bebida estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado e rio, de acordo com a Instrução Normativa nº8, de 11 de junho de 2003 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2003).

A codificação das amostras, o tipo de processamento, o local de cultivo e a classificação sensorial de cada uma das amostras estão apresentados na Tabela 11. Para a classificação das amostras pelo *software ClassTorr 1.0*, trabalhou-se com análises químicas realizadas em grãos de café torrado.

Preparo das amostras de café torrado

Após a codificação das amostras, separou-se aproximadamente 100 gramas das amostras de café cru, prosseguindo-se o processo de torra dos cafés. Foi utilizado um torrador de amostras da marca PROBAT, procedendo a torrefação por aproximadamente 8 a 12 minutos, até atingir o ponto de torra média. A torrefação foi realizada no Laboratório experimental da EPAMIG. Em seguida, os cafés torrados foram moídos em granulometria de 20 mesh, em moinho de facas multiuso TE 631/2- Tecnal. Ao final, foram armazenadas em potes de polietileno, à temperatura de aproximadamente -18°C até a realização das análises químicas.

Os grãos de café torrado foram analisados quanto ao teor de açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores, acidez total titulável, pH, sólidos solúveis e extrato etéreo. Todas as análises químicas foram realizadas no departamento de Ciência dos Alimentos, no Laboratório Central de Análises e no Laboratório de Análises Avançadas, ambos localizados na Universidade Federal de Lavras.

Tabela 11- Amostras de cafés identificadas com seus respectivos tipo de processamento, região de cultivo e a classificação quanto à prova de xícara.

AMOSTRA	TIPO DE PROCESSAMENTO	CLASSIFICAÇÃO PROVA DE XÍCARA
1	Natural	Rio
2	Natural	Rio
3	Natural	Rio
4	Natural	Rio
5	Natural	Riada
6	Natural	Riada
7	Natural	Riada
8	Natural	Riada
9	Natural	Dura
10	Natural	Dura
11	Natural	Dura
12	Natural	Dura
13	Natural	Apenas Mole
14	Natural	Apenas Mole
15	Natural	Apenas Mole
16	Natural	Apenas Mole
17	Natural	Mole
18	Natural	Mole
19	Natural	Mole
20	Natural	Mole
21	Natural	Estritamente Mole
22	Natural	Estritamente Mole
23	Natural	Estritamente Mole
24	Natural	Estritamente Mole

Açúcares totais, redutores e não redutores

Os açúcares totais e os açúcares redutores foram extraídos pelo método Lane-Enyon (AOAC, 1990) e determinados pela técnica de Somogy, adaptada por Nelson (1944). Os açúcares não-redutores foram encontrados pela diferença entre os totais e os redutores. Os valores então, foram expressos em porcentagem.

Acidez total titulável, pH e sólidos solúveis

A acidez titulável total, teor de sólidos solúveis e pH foram determinados seguindo a metodologia proposta por AOAC (1990). A acidez total titulável foi determinada por titulação com NaOH 0,1N e o resultado expresso em mL de NaOH 0,1 N por 100g de amostra. O pH determinado pelo peagâmetro Digital. E a leitura dos sólidos solúveis totais foi realizada por refratômetro de bancada tipo ABBE e os resultados expressos em °Brix.

Conteúdo de lipídios

O extrato etéreo foi determinado utilizando o extrator Soxhlet, de acordo com a metodologia de (AOAC, 1990). A quantidade de extrato etéreo foi expressa em percentual.

Classificação dos cafés através dos *softwares*

Após o levantamento dos dados químicos obtidos na caracterização dos cafés torrados pelas análises do teor de açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores, pH, sólidos solúveis, acidez total titulável e extrato etéreo, estes, foram conduzidas ao *software* ClassTorr 1.0, para então, classificar os cafés torrados de acordo com os padrões de bebida: estritamente mole, apenas mole, mole, dura, riado e rio. A tela inicial do *software* está representada na Figura 4.

Figura 4 — Tela inicial de funcionamento do *software* ClassTorr 1.0.

Fonte: LIMA, 2017.

Configuração do *software* ClassTorr 1.0

A configuração do Rede Neural Artificial para o desenvolvimento do *software* ClassTorr 1.0 apresenta uma camada de entrada composta por sete neurônios representados pelos parâmetros experimentais de dados químicos. Parâmetros estes que foram escolhidos, pois embora não tenham uma relação direta com a qualidade sensorial, podem contribuir para a qualidade do café. São testes simples a serem realizados e têm um baixo custo. A camada de saída, composta de seis neurônios, um para cada tipo de classe de café (estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado, rio). A determinação do modelo neural para a classificação do café foi feita mediante os dados experimentais de 120 amostras para treinar as redes, e posteriormente, os dados experimentais de 6 amostras foram utilizados para validá-las. Entre várias arquiteturas testadas, a arquitetura composta por uma camada oculta contendo doze neurônios apresentou maior eficiência (LIMA, 2017).

Análise estatística

Os testes foram realizados utilizando o delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os dados das análises químicas do teor de açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores, pH, sólidos solúveis, acidez total titulável e extrato etéreo foram submetidos à ANOVA ($p < 0,5$) e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,5$), utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida rio.

Ao analisar a classificação do padrão de bebida rio, verifica-se que as amostras rio (1 e 2) apresentaram a classificação do *software* compatíveis com a prova, e os cafés rio 3 e 4 foram declarados pelo *software* como bebidas riada (Tabela 12). Observa-se, na tabela abaixo, que os maiores valores determinados de açúcares não redutores e açúcares totais são das amostras classificadas como riada (amostra 3 e 4) pelo *software*. As pequenas variações do conteúdo de açúcares podem ser atribuídas à degradação que eles sofreram decorrentes do processo de

torração (PINTO et al. 2001). Na torra, a sacarose degrada-se, dando origem a açúcares menores precursores de ácidos e aldeídos, responsáveis pelo flavor (MARTINEZ et al 2014).

O conteúdo de lipídeos e de sólidos solúveis não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$), por isso não possível apresentar uma relação direta e proporcional a qualidade.

Apesar da diferença na classificação, os padrões encontrados são muito próximos, e o maior percentual de açúcares quimicamente falando, pode vir a atestar que estes cafés (rio 3 e 4) sejam pertencentes a classe de bebida riada, por se tratar de pequenas diferenças perceptíveis.

Tabela 12 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrões rio.

Prova	Lipídeos %	AR %	ANR %	AT %	pH	SS %	ATT %	Classificação software
Rio 1	14,10a	0,262a	0,877c	1,196c	5,30a	30a	193,97a	Rio
Rio 2	13,99a	0,245b	0,752d	1,052d	5,14b	30a	176,91d	Rio
Rio 3	14,15a	0,234b	1,125a	1,389a	5,26a	30a	178,38c	Riada
Rio 4	13,99a	0,276a	0,996b	1,354b	5,13b	30a	182,40b	Riada

**Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.*

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo software (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida riada.

Para os cafés de classe riada, a exatidão na classificação ocorreu apenas nas amostras 5 e 8, uma vez que a acidez total titulável foi um forte marcador para essa classe, pois, entre essas amostras, ela apresentou resultados semelhantes estatisticamente.

Observa-se que a classificação das amostras 6 e 7 (riada), em bebida estritamente mole, pode estar relacionada com o teor de açúcares totais, pH e acidez total titulável, que influenciaram diretamente na classificação dos cafés, na qual o modelo computadorizado entende que maiores teores de açúcares totais, está relacionado com bebidas de melhor qualidade. Porém, neste trabalho foram encontrados valores aproximados de 1,95% de açúcares totais para as bebidas 6 e 7, de padrão riada, o que pode ter acarretado em confusão no processamento dos dados e conseqüentemente uma falsa classificação, subentendendo que essas bebidas pertencessem a classe estritamente mole. Pinto et al. (2001) também observaram esse comportamento na avaliação de diferentes classes de cafés, em que a bebida riada

apresentou o maior teor de açúcares totais 1,51% entre as 6 principais classes de café, valor este que não diferiu significativamente da bebida estritamente mole 1,48%.

Além disso, o pH reduzido, com consequente aumento na acidez também foi significativo para essa classificação incoerente. A acidez presente no café pode ser desejável ou não, dependendo de sua origem. Uma acidez agradável contribui para aumentar a percepção da doçura. Em geral, cafés de muito baixa acidez não desenvolvem atributos suficientes para nota mais elevada (SCA, 2008), porém é importante determinar o tipo de ácido presente para assegurar que não seja oriundo de transformações indesejáveis que ocasionem em sabor azedo. Nesse caso específico, o aumento da acidez pode ter sido proveniente de reações indesejáveis. A presença de ácido acético, por exemplo, desenvolve um sabor fermentado altamente desagradável (LINGLE, 2011).

Tabela 13 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrões riada.

Prova	Lipídeos %	AR %	ANR %	AT %	pH	SS %	ATT %	Classificação software
Riada 5	14,35c	0,2561d	1,391c	1,635b	5,22a	28,45a	178,69b	Riada
Riada 6	14,66b	0,4185a	1,432a	1,957a	5,04c	28,74a	215,48a	EM
Riada 7	13,99d	0,3908b	1,424b	1,957a	5,06c	30a	220,58a	EM
Riada 8	16,03a	0,2840c	0,897d	1,252c	5,16b	30a	194,54b	Riada

**Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.*

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida dura.

Ao classificar as amostras de bebidas intermediárias (dura), as duas metodologias de classificação apresentaram certa concordância, exceto pela amostra dura 12, como demonstrado na Tabela 14, porém, ainda assim, as classes foram muito próximas. Para essa classe, não foi possível estabelecer uma relação direta entre os constituintes químicos e a diferença de classificação da amostra 12, pois para todas as variáveis analisadas os resultados foram muito próximos. Nota-se apenas, que essa amostra apresentou um menor teor de açúcares redutores, não redutores e de açúcares totais, que, apesar de serem menores, ao que tudo indica, entraram

em equilíbrio com os demais componentes sugerindo que a bebida 12 caracteriza-se como uma bebida apenas mole.

Tem-se uma dificuldade em determinar o conteúdo de açúcares específico para cada classe de bebida, pois as reações que ocorrem no momento da torra são incontrolláveis e grande parte desses açúcares participam de reações importantes do desenvolvimento de sabor. Os valores encontrados de açúcares redutores, não redutores e totais no presente estudo, foram maiores do que o determinado por Pinto et al. (2002), que identificou 0,30%; 0,73% e 1,09% para cada um dos atributos, respectivamente.

Para os parâmetros de acidez e sólidos solúveis não houve diferença significativa entre as amostras analisadas.

Tabela 14 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrão de bebida dura.

Prova	Lipídeos %	AR %	ANR %	AT %	pH	SS %	ATT %	Classificação software
Dura 9	14,76a	0,352b	1,266a	1,655a	5,06a	30a	188,46 a	Dura
Dura 10	13,99b	0,44a	0,798c	1,195b	5,03b	29,81a	193,95a	Dura
Dura 11	14,87a	0,354b	0,817b	1,137b	4,98c	29,72a	199,12a	Dura
Dura 12	13,99b	0,339b	0,753d	1,054b	5,08a	29,12a	196,36a	AM

**Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.*

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo software (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida apenas mole.

Na avaliação das classes de bebida apenas mole percebe-se uma falha no modelo de rede neural, não conseguindo detectar nenhuma das amostras como pertencentes a essa classe.

As amostras, apenas, mole 13 e 14, foram sugeridas como bebidas rio, apresentando entre elas, semelhança estatística entre os atributos pH e acidez total titulável. Conjuntamente, foram determinados os menores valores de açúcares redutores, não redutores e totais, que estão relacionados com bebida de qualidade inferior, pois os açúcares redutores, durante a torra, participam da reação de maillard reagindo com aminoácidos, originando compostos desejáveis responsáveis pela cor marrom do café, e compostos como aminoacetonas e aminoaldoses que,

após algumas reações formam numerosos compostos voláteis favoráveis ao aroma (GINZ et al., 2000; KITZBERGER, 2012).

As amostras de cafés 15 e 16, foram designadas como bebida mole pelo *software*. Entre elas, houve correlação nos padrões de açúcares não redutores, pH e acidez. Mais uma vez sugerindo que os açúcares redutores, quando em maior quantidade, estão associados à bebida de melhor qualidade e que uma acidez desenvolvida de maneira desejável contribui para a aceitação sensorial do café. Além disso, foram determinados o maior valor de açúcares não redutores e totais, a sacarose é apontada por ser a principal fonte de formação dos açúcares redutores, relacionados a doçura do café (ALVARENGA, 2017).

Tabela 15 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrão de bebida apenas mole.

Prova	Lipídeos %	AR %	ANR %	AT %	pH	SS %	ATT %	Classificação software
AM 13	15,06a	0,234d	0,752c	1,052d	5,32a	28,76a	182,91b	Rio
AM 14	14,1b	0,247c	0,978b	1,190c	5,20a	29,35a	176,38b	Rio
AM 15	13,9b	0,287b	1,392a	1,717b	5,05b	30,0a	212,91a	Mole
AM 16	14,4b	0,388a	1,3905a	1,928a	5,05b	30,0a	225,82a	Mole

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida mole.

Na avaliação das bebidas de padrão mole nota-se um rebaixamento das bebidas mole (17 e 18) para bebidas riada pelo *software*. Essas bebidas apresentaram menores conteúdo de açúcares redutores, não redutores e açúcares totais, quando comparada às demais. Apesar dos menores valores, Pinto et al, (2001) encontraram teores de 0,17%, 0,76% e 1,02% de açúcares redutores, não redutores e totais respectivamente, demonstrando a ocorrência de cafés de boa qualidade com menores teores destes açúcares.

Já as amostras mole 19 e 20 apresentaram classificação semelhante entre os provadores treinados e a leitura do modelo de rede neural. O conteúdo de açúcares redutores e açúcares totais são paralelos entre elas. Apesar de não haver diferença estatística, observa-se também,

um aumento na acidez total titulável. O conteúdo de lipídeos e sólidos solúveis não diferiram estatisticamente entre as amostras, demonstrando que não podem ser correlacionados com essas características químicas avaliadas no trabalho.

Para essa classe, também deve ser feito um ajuste nas variáveis que alimentam o *software* para que se tenha uma melhor precisão na classificação.

Tabela 16 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrão de bebida mole.

Prova	Lipídeos %	AR %	ANR%	AT %	pH	SS %	ATT %	Classificação software
Mole 17	14,34 a	0,234b	1,183c	1,48b	5,26a	29,55a	193,329a	Riada
Mole 18	13,99 a	0,244b	0,772d	1,158c	5,07b	29,67a	186,117a	Riada
Mole 19	14,25 a	0,434a	1,415b	1,89a	4,97d	29,84a	216,56a	Mole
Mole 20	13,99 a	0,388a	1,595a	1,98a	5,01c	30,05a	216,80a	Mole

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Quantificação dos marcadores químicos de qualidade e classificação pelo *software* (ClassTorr 1.0) do café torrado padrão de bebida estritamente mole.

Com relação à classe de bebida estritamente mole, as amostras 22 e 23 apresentaram concordância com a prova de xícara, estando relacionadas pelo pH e acidez. Maiores valores de acidez foram confrontados com bebidas de melhor qualidade. A acidez do café junto ao amargor é fator impactante na bebida final. Cada ácido presente no café contribuirá com o seu sabor característico como o sabor de limão do ácido cítrico, amanteigado do ácido láctico e o sabor de maçã do ácido málico (FIGUEIREDO, 2013) e podem ser desejáveis ou não. Cafés com elevada acidez conferem brilho e vivacidade à bebida, contribuindo para o diferencial do preço na sua comercialização (LINGLE, 2011)

Por se tratarem de classes superiores, e que a diferença entre elas se dá por nuances do aroma e sabor, a percepção por parte dos provadores também pode ter sido afetada. Esse fato, explica também, a classificação próxima da amostra 21 (Tabela 17), na qual ocorreu o inverso

do esperado, por provadores a bebida foi classificada como estritamente mole e no ClassTorr 1.0, equivalente a mole.

Com a amostra 23, observa-se uma diferença discrepante entre os métodos, sugerindo a perda de qualidade da bebida de alto padrão, para uma bebida intermediária. A desqualificação da classe está relacionada com os menores valores encontrados para os açúcares não redutores e açúcares totais, além de um pH levemente mais ácido.

Tabela 17 — Valores médios das variáveis analisadas: lipídeos, açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), açúcares totais (AT), pH, sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) para padrão de bebida estritamente mole.

Prova	Lipídeos %	AR %	ANR %	AT %	pH	SS %	ATT %	Classificação software
EM 21	13,99b	0,342a	1,238c	1,543c	5,20a	28,92a	183,28b	Mole
EM 22	14,02b	0,416a	1,424b	1,753b	5,06b	28,92a	201,71a	EM
EM 23	14,56b	0,437a	0,756d	1,135d	4,96c	28,54a	188,50b	Dura
EM 24	15,43a	0,421a	1,658a	2,00a	5,04b	28,53a	206,13a	EM

**Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.*

A caracterização de marcadores químicos eficientes que consigam distinguir cafés torrados de diferentes qualidades é um processo extremamente complexo devido à variedade de compostos aromáticos que são formados ao longo do processo de torra. Além disso, pequenas diferenças no manuseio da torração do café podem interferir diretamente na sua perda da qualidade. Sabe-se que o controle do tempo e da temperatura no processo de torra é determinante para o desenvolvimento pleno do aroma. Estudo realizado por Yang et al., (2016) identificou diferentes compostos voláteis que são originados em condições adversas de torra identificando os principais marcadores de defeitos do café torrado. Ainda segundo os autores, a torrefação mais branda está relacionada com níveis mais altos de ácido orgânicos como o ácido acético, ácido butanoico, ácido hexanoico e em maior intensidade de torra esses ácidos são degradados e os produtos oriundo da reação de Maillard e da degradação de lipídios são formados em maior extensão.

4. CONCLUSÃO

O teor de sólidos solúveis e o teor de lipídeos não apresentaram diferenças entre as amostras que pudessem auxiliar no entendimento das mudanças provenientes de cada classe de café, sugerindo que possam ser substituídos por outros indicadores químicos, a fim de se obter relações eficientes entre atributos sensoriais e características químicas do grão torrado.

O modelo de *software* ClassTorr 1.0, apesar dos bons resultados encontrados, apresentou pequenas variações na classificação, devendo ser ajustado para garantir a estabilidade do modelo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *software* Classcafe 1.0 que classifica os grãos de café cru por meio de dados químicos analíticos, se mostrou mais eficiente na separação das classes conhecidas do café, conseguindo separar integralmente os cafés de classe inferior de cafés de classe superior.

Aplicando apenas a análise estatística, não foi possível estabelecer uma relação direta entre os componentes químicos tanto dos grãos crus, quanto do café torrado com os diferentes padrões de bebida. Assim, a aplicação dos modelos de *softwares* que utilizam o sistema de rede neural artificial (RNA) foi mais eficiente na separação das classes e na determinação da qualidade do café.

Sugere-se a continuidade do trabalho, buscando novos parâmetros químicos que possam contribuir para a melhoria da sensibilidade dos *softwares*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, S.T. **Caracterização química e sensorial de cafés especiais do sul de Minas Gerais**. 121 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- ALVES, B.H.P. et al. Composição química de cafés torrados do Cerrado e do sul de Minas Gerais. **Ciência & Engenharia**, v. 16, n. 1/2, p. 9-15, dez. 2007.
- AMORIM, H. V. **Relação entre alguns compostos orgânicos do grão do café verde com a qualidade da bebida**. 136 p. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1972.
- AOACH. Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Washington, v. 2, 1990.
- BALZER, H.H. Acids in coffee. In: CLARKE, R.J.; VITZTHUM, O.G. (Ed.). **Coffee recent developments**. Berlin: Blackwell Science, p.18. 2001.
- BONNLANDER, B., EGGERS, R., ENGELHARDT, U. H., & MAIER, H. G. (2005). Roasting. In A. Illy, & R. Viani (Eds.). Espresso coffee, the science of quality (pp. 179–214). San Diego: Elsevier Academic Press. 2005.
- BRASIL. Instrução Normativa n.8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, jun. 2003. Seção 1, p.22-29.
- CELESTINO, S. M. A.; MALAQUIAS, J. V.; XAVIER, M.F. F. Agrupamento de acessos de café irrigado com melhores atributos para a bebida. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 131-137, fev. 2015. Disponível em: <<http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/712>>. Acesso em: 02 de abril de 2019.
- CRAIG, A.P et al. Mid infrared spectroscopy and chemometrics as tools for the classification of roasted coffees by cup quality. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 245, p.1052-1061, abr. 2018.
- FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v. 98, n. 2, p.373-380, jan. 2006.
- FERIA-MORALES, A.M. Examining the case of green coffee to illustrate the limitations of grading systems/expert tasters in sensory evaluation for quality control. **Food Quality and Preference**, [S.l.], v. 13, n. 6, p. 355-367, set. 2002.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FIGUEIREDO, L.P. 128 p. **Abordagem sensorial e química da expressão de genótipos de Bourbon em diferentes ambientes**. Tese (Doutorado em ciência dos alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- GINZ, M. et al. Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 211, n. 6, p. 404-410, 2000.

- JACINTHO, M.I.M. 102 p. **Efeito do modo de preparo na composição química de grãos de café cru e torrado. Relação da composição química com a qualidade da bebida.** Dissertação (Ciência dos Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2002.
- KITZBERGER, C.S.G. **Caracterização e discriminação de cafés arábica de diferentes variedades cultivados nas mesmas condições edafoclimáticas.** 2012. 146 p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.
- LIMA, P. M. de. **Desenvolvimento de softwares para classificação do café cru e torrado através de indicadores químicos e físico-químicos de qualidade.** 2017. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor.** 4. ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.
- MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J.M.; LACERDA, J.S.; NEVES, Y.P.; PEDROSA, A.W. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Rev. Ceres, Viçosa**, v. 61, supl. p. 838-848, 2014.
- NELSON, N. A photometric adaptation of Somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemists**, Baltimore, p. 375-384, 1944.
- PINTO, N.A.V.D et al. Avaliação dos polifenóis e açúcares em padrões de bebida do café torrado tipo expresso. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.7 n. 3, p. 193-195, set-dez, 2001.
- SCA- Speciality Coffee Association. CUPPING Specialty Coffee PROTOCOLS • VERSION: 16DEC, 2015.
- TAVARES, L.A; FERREIRA, A.G. Análises quali-quantitativa de cafés comerciais via ressonância magnética nuclear. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 5, p. 911-915, out. 2006.
- TOLEDO, P.R.A.B et al. Discriminant analysis for unveiling the origin of roasted coffeesamples: A tool for quality control of coffee related products. **Food Control**, [S.l.], v.73. p. 164-174, mar. 2017.
- Toledo, P.R.A.B. et al. Relationship Between the Different Aspects Related to Coffee Quality and Their Volatile Compounds. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s.l.], v. 15, n. 4, p.705-719, 15 abr. 2016.
- YANG, N et al. Determination of volatile marker compounds of common coffee roast defects. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 211, p.206-214, nov. 2016.