



SANDRA TORRES ALVARENGA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E SENSORIAL
DE CAFÉS ESPECIAIS DO SUL DE MINAS
GERAIS**

**LAVRAS - MG
2017**

SANDRA TORRES ALVARENGA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E SENSORIAL DE CAFÉS ESPECIAIS
DO SUL DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Profa. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira
Orientadora

**LAVRAS - MG
2017**

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

Alvarenga, Sandra Torres.

Caracterização química e sensorial de cafés especiais do sul de
Minas Gerais / Sandra Torres Alvarenga. - 2017.
120 p.

Orientador(a): Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira.

.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.
Bibliografia.

1. Qualidade. 2. Cafés especiais. 3. Análise multivariada. I. Pereira,
Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga. . II. Título.

SANDRA TORRES ALVARENGA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E SENSORIAL DE CAFÉS ESPECIAIS
DO SUL DE MINAS GERAIS**

**CHEMICAL AND SENSORY CHARACTERIZATION OF SPECIALTY
COFFEE FROM SOUTH OF MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 16 de agosto de 2017.

Dr. Eric Batista Ferreira	UNIFAL
Dr. Roney Alves da Rocha	UFLA
Dr. Diego Alvarenga Botrel	UFLA
Dr. Marcelo Ribeiro Malta	EPAMIG

Profa. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira
Orientadora

**LAVRAS - MG
2017**

*Aos meus pais, Sueli e Matheus,
que me apoiaram durante todos
esses anos.*

Dedico.

*Ao meu marido, João Paulo, pelo amor,
compreensão e por não me deixar desistir...*

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por não me deixar desistir.

A minha orientadora, Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira, pela oportunidade, carinho e confiança.

A todos os professores, técnicos e profissionais da UFLA que contribuíram ao longo desses anos.

À EPAMIG, pela cessão da área experimental, em especial ao pesquisador Marcelo Ribeiro Malta, por todo apoio e a todos que contribuíram com as análises.

À EMATER-MG, pela concessão das amostras de cafés especiais do concurso de qualidade e apoio durante o trabalho.

Ao professor Dr. Eric Ferreira (UNIFAL), pela colaboração.

À professora Luísa Figueiredo, pelos ensinamentos, disponibilidade e toda ajuda.

Aos amigos do Pólo e do QICafé, pelo apoio e boa convivência.

À minha amada família, meus pais, Matheus e Sueli e meus irmãos, Luiz Fernando, Marden e Matheus, tios, primos e sobrinhos.

Ao meu companheiro, João Paulo, que me apoiou, chorou comigo, vibrou e me apoiou durante todo o processo.

A todos os meus bons amigos que me apoiaram nos momentos difíceis e me deram força pra continuar, me trazendo alegrias e bons momentos!

A FAPEMIG, CNPq, CAPES, INCT/Café, Consorcio EMBRAPA/Café

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

Atualmente, os cafés especiais com certificações de qualidade estão ganhando os mercados nacionais e internacionais, sendo a qualidade obtida por meio de diversos parâmetros de natureza física e química dos grãos. Para alcançar esse nível, devem ser levadas em conta as técnicas adequadas de condução da lavoura, além dos cuidados na pós-colheita. Nesse sentido, no intuito de estimular os agricultores a produzirem cafés com qualidade superior, concursos de qualidade de cafés vêm sendo realizados e, em Minas Gerais, têm obtido destaque por apresentarem excelentes exemplares. Sendo assim, o objetivo, neste trabalho, foi correlacionar a composição química dos grãos de café com a qualidade sensorial da bebida em amostras finalistas do concurso de qualidade de cafés do Sul de Minas dos anos de 2013 e 2014. Por meio da análise de componentes principais (PCA), observa-se, para os cafés naturais do ano de 2013, que a nota final não foi influenciada positivamente por nenhum ácido graxo e nenhum composto bioativo, entretanto, se correlacionou de forma inversa com o ácido linolênico. Para os cafés cereja descascados, a nota final não se correlacionou com nenhum ácido graxo e foi influenciada pelos atributos doçura, acidez e sacarose, e negativamente pelo teor de cafeína. Os cafés naturais do ano de 2014 foram influenciados positivamente pelo teor do ácido graxo oleico e pelos atributos sensoriais corpo, acidez, doçura e sabor, e negativamente pelo ácido linolênico. Estudando os compostos bioativos, a nota final foi influenciada positivamente pelos atributos sensoriais, e negativamente pelo 5-ACQ. Os cafés cereja descascados foram influenciados positivamente pela presença do ácido esteárico e palmítico e pelos atributos acidez, sabor, doçura e corpo, e negativamente pelo ácido láurico. No estudo realizado entre os compostos bioativos, a nota final se correlacionou positivamente com os atributos sensoriais e negativamente com a sacarose. De acordo com a regressão de componentes principais (PCR), os melhores cafés de 2013 apresentaram elevados teores dos atributos sensoriais e dos ácidos linoleico e/ou linolênico. Os ácidos araquídico, palmítico e esteárico se correlacionaram com cafés de menor qualidade sensorial. Para os cafés de 2014, as maiores notas foram devidas aos atributos sensoriais e relacionadas ao ácido esteárico. Os ácidos graxos palmitoleico e láurico se correlacionaram com cafés com menor pontuação. Observa-se que os modelos propostos para explicar a nota final do café foram plausíveis, ou seja, foram um bom ponto de partida para se estudar a correlação entre a composição química dos grãos e a qualidade sensorial do café.

Palavras-chave: Qualidade. Cafés especiais. Análise multivariada. PCA. PCR.

ABSTRACT

Nowadays, specialty coffees, with quality certifications, are winning the national and international markets, being the quality obtained by means of several parameters of physical and chemical nature of the grains. In order to reach this level, appropriate crop management techniques must be taken into account in addition to post-harvest handling. In this sense, in order to stimulate farmers to produce higher quality coffees, coffee quality contests have been realized in Minas Gerais and have been outstanding for presenting excellent samples. Therefore, the objective of this study was to correlate the coffee beans chemical composition with the sensory quality of the beverage in the finalist samples of the South of Minas coffee quality contest in 2013 and 2014. The Principal Components Analysis (PCA) shows that for the natural coffees, in 2013, the final score was not positively influenced by any fatty acid and no bioactive compound, however, it correlated inversely with the linolenic acid. For peeled cherry coffees, the final score did not correlate with any fatty acid and was influenced by the sweetness, acidity and sucrose attributes, and negatively by the caffeine content. The natural coffees of 2014 were positively influenced by oleic acid content and body, acidity, sweetness and flavor attributes, and negatively by linolenic acid. Studying the bioactive compounds, the final score was positively influenced by the sensory attributes, and negatively by the 5-ACQ. Peeled cherries coffees were influenced positively by the presence of stearic and palmitic acid and by acidity, flavor, sweetness and body attributes, and negatively by lauric acid. In the study carried out among the bioactive compounds, the final score correlated positively with the sensory attributes and negatively with sucrose. According to Principal Components Regression (PCR), the best coffees of 2013 presented high levels of sensory attributes and linoleic or linolenic acid. The arachidic, palmitic and stearic acids correlated with coffees of lower sensorial quality. For the coffees of 2014, the highest scores were due to the sensory attributes and related to stearic acid. Palmitoleic and lauric fatty acids correlated with lower-scoring coffees. It is observed that the models proposed to explain the final coffee score were plausible, that is they were a good starting point to study the correlation between the chemical composition of the beans and the sensory quality of the coffee.

Keywords: Quality. Specialty coffees. Multivariate analysis. PCA. PCR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Estrutura química da cafeína.....	26
Figura 2 -	Estrutura química da trigonelina.....	27
Figura 3 -	Estrutura química do ácido clorogênico.....	27
Figura 4 -	Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo Natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2013.....	53
Figura 5 -	Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 20 amostras de café tipo natural do ano de 2013.	53
Figura 6 -	Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2013.....	54
Figura 7 -	Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 20 amostras de café tipo natural do ano de 2013.	54
Figura 8 -	Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2013.....	59
Figura 9 -	Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 20 amostras de café tipo cereja descascado, do ano de 2013.....	59
Figura 10 -	Biplot do terceiro e quarto componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2013.....	60
Figura 11 -	Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 20 amostras de café tipo cereja descascado, do ano de 2013.....	60
Figura 12 -	Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo natural, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2013.	64
Figura 13 -	Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 20 amostras de café natural do ano de 2013.....	64
Figura 14 -	Biplot do terceiro e quarto componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo natural, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2013.	65
Figura 15 -	Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 20 amostras de café natural do ano de 2013.....	65
Figura 16 -	Biplot dos primeiros componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo cereja descascado, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2013.	69

Figura 17 -	Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 20 amostras de café cereja descascado do ano de 2013.	69
Figura 18 -	Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo cereja descascado, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2013.	70
Figura 19 -	Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 20 amostras de café cereja descascado do ano de 2013.	70
Figura 20 -	Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2014.	74
Figura 21 -	Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 10 amostras de café natural do ano de 2014.	74
Figura 22 -	Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2014.	75
Figura 23 -	Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 10 amostras de café natural do ano de 2014.	75
Figura 24 -	Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos para cafés de 2014.	80
Figura 25 -	Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 10 amostras de café cereja descascado do ano de 2014.	80
Figura 26 -	Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2014.	81
Figura 27 -	Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4 para 10 amostras de café cereja descascado do ano de 2014.	81
Figura 28 -	Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo natural, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2014.	85
Figura 29 -	Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 10 amostras de café natural do ano de 2014.	85
Figura 30 -	Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2014.	86
Figura 31 -	Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 10	

	amostras de café natural do ano de 2014.....	86
Figura 32 -	Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos para cafés de 2014.....	89
Figura 33 -	Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 10 amostras de café cereja descascado do ano de 2014.	89
Figura 34 -	Biplot do terceiro e do quarto componente principal para dados de 10 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos para cafés de 2014.....	90
Figura 35 -	Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 10 amostras de café cereja descascado do ano de 2014.	90
Figura 36 -	Gráfico da proporção da variabilidade explicada por componentes principais - cafés de 2013.....	105
Figura 37 -	Espaço de variáveis dos atributos sensoriais, compostos bioativos e ácidos graxos encontrados nos componentes 1 e 2, para os cafés de 2013.	107
Figura 38 -	Gráfico de contorno dos componentes 1 e 2, para os cafés naturais e cereja descascados, no ano de 2013.....	107
Figura 39 -	Espaço de variáveis dos atributos sensoriais, compostos bioativos, ácidos graxos e sacarose nos componentes 3 e 4, para os cafés de 2013.	110
Figura 40 -	Gráfico de contorno das componentes 3 e 4, para os cafés naturais e cereja descascados no ano de 2013.....	110
Figura 41 -	Gráfico da proporção da variabilidade explicada por componentes principais, cafés de 2014.....	112
Figura 42 -	Espaço de variáveis dos atributos sensoriais, dos compostos bioativos e dos ácidos graxos dos componentes 1 e 2, para cafés de 2014.....	114
Figura 43 -	Gráfico de contorno dos componentes 1 e 2, para os cafés naturais e cereja descascados de 2014.....	114
Figura 44 -	Espaço de variáveis dos atributos sensoriais e ácidos graxos nos componentes 5 e 6, para cafés de 2014.....	116
Figura 45 -	Gráfico de contorno nos componentes 5 e 6, para os cafés naturais e cds de 2014.	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Amostras avaliadas no concurso de qualidade de cafés de Minas Gerais com seus respectivos locais de cultivo, tipo de processamento e a nota final do ano de 2013.	44
Tabela 2 -	Amostras avaliadas no concurso de qualidade de cafés de Minas Gerais com seus respectivos locais de cultivo, tipo de processamento e a nota final do ano de 2014	46
Tabela 3 -	Valores médios encontrados dos ácidos graxos para os cafés naturais do ano de 2013.	51
Tabela 4 -	Valores médios encontrados para os atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor e doçura) para os cafés naturais do ano de 2013.	52
Tabela 5 -	Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.	56
Tabela 6 -	Valores médios encontrados dos ácidos graxos para os cafés cereja descascados do ano de 2013.	57
Tabela 7 -	Valores médios encontrados para os atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor e doçura) para os cafés cereja descascados do ano de 2013.	58
Tabela 8 -	Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.	61
Tabela 9 -	Valores médios encontrados para os compostos bioativos (trigonelina, 5-ACQ, cafeína) e sacarose, para os cafés naturais do ano de 2013.	63
Tabela 10 -	Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.	66
Tabela 11 -	Valores médios encontrados para os compostos bioativos (trigonelina, 5-ACQ, cafeína) e sacarose, para os cafés cereja descascados do ano de 2013.	68
Tabela 12 -	Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.	71
Tabela 13 -	Valores médios encontrados dos ácidos graxos para os cafés naturais do ano de 2014.	72
Tabela 14 -	Valores encontrados para os atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor e doçura) do ano de 2014.	72
Tabela 15 -	Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.	77
Tabela 16 -	Valores médios encontrados para os ácidos graxos para os cafés cereja descascados do ano de 2014.	78
Tabela 17 -	Valores médios encontrados para os atributos sensoriais	

	(acidez, corpo, sabor e doçura) para os cafés cereja descascados do ano de 2014.	79
Tabela 18 -	Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.	83
Tabela 19 -	Valores médios encontrados para os compostos bioativos (trigonelina, cafeína, 5-ACQ) e sacarose para os cafés naturais do ano de 2014.	84
Tabela 20 -	Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.	87
Tabela 21 -	Valores médios encontrados para os compostos bioativos (trigonelina, cafeína e 5-ACQ) e teor de sacarose para os cafés cereja descascados do ano de 2014.	88
Tabela 22 -	Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.	92
Tabela 23 -	Amostras avaliadas no concurso de Qualidade de Cafés de Minas Gerais, com seus respectivos locais de cultivo e tipo de processamento, no ano de 2013.	101
Tabela 24 -	Dados do tipo de processamento, localização (município) e a nota sensorial das amostras finalistas do Concurso de Cafés do Sul de Minas Gerais, referentes a 2014.	102

LISTA DE SIGLAS

PCA	Análise de componentes principais
PCR	Regressão de componentes principais
ANAVA	Análise de variância
SCAA	<i>Specialty Coffee Association of America</i>
sc./há	sacas/hectare
BSCA	<i>Brazil Specialty Coffee Association</i>
TAG	<i>Triacylglycerides</i>
FFA	<i>Free fatty acids</i> (ácidos graxos livres)
SCAA	Associação Americana de Cafés Especiais
C12:0	Ácido láurico
C16:0	Ácido palmítico
C16:1	Ácido palmitoleico
C18:0	Ácido esteárico
C18:1	Ácido oleico
C18:2	Ácido linoleico
C18:3	Ácido linolênico
C20:0	Ácido araquídico
C22:0	Ácido behênico
5-ACQ	Ácido 5-cafeoilquínico
Trig	Trigonelina

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Importância do agronegócio café.....	18
2.2	Importância do Sul de Minas na produção de cafés especiais	19
2.3	Geração de empregos diretos e indiretos	19
2.4	Qualidade do café.....	20
2.5	Cafés especiais	21
2.6	Processamento pós-colheita.....	22
2.7	Composição química	23
2.7.1	Substâncias bioativas: cafeína, trigonelina e ácido clorogênico.....	25
2.5.2	Ácidos graxos.....	28
2.5.3	Sacarose.....	30
2.6	Análise sensorial.....	31
2.7	Análises estatísticas	32
2.7.1	Análise de componentes principais.....	33
2.7.2	Regressão de componentes principais	34
	REFERÊNCIAS	37
	CAPÍTULO 2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS DE CAFÉS ESPECIAIS DO SUL DE MINAS GERAIS.....	42
1	INTRODUÇÃO	42
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	44
2.1	Amostragem.....	44
2.2	Análise sensorial.....	46
2.3	Preparo das amostras	47
2.4	Análises químicas	47
2.4.1	Determinação do perfil de ácidos graxos	47
2.4.2	Determinação da cafeína, trigonelina e ácido clorogênico	48
2.4.3	Determinação de sacarose	49
2.5	Análise estatística	50
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.1	Ano: 2013	51
3.1.1	Ácidos graxos (processamento: natural)	51
3.1.2	Ácidos graxos (processamento: cereja descascado)	57
3.1.3	Bioativos e sacarose (processamento: natural)	62
3.1.4	Bioativos e sacarose (processamento: cereja descascado)	67
3.2	Ano: 2014	72
3.2.1	Ácidos graxos (processamento: natural)	72
3.2.2	Ácidos graxos (processamento: cereja descascado)	78
3.2.3	Bioativos e sacarose (processamento: natural)	84

3.2.4	Bioativos e sacarose (processamento: cereja descascado)	88
4	CONCLUSÃO	94
	REFERÊNCIAS	95
	CAPÍTULO 3 ANÁLISE DE REGRESSÃO DE	
	COMPONENTES PRINCIPAIS DE CAFÉS ESPECIAIS DO	
	SUL DE MINAS GERAIS.....	98
1	INTRODUÇÃO	98
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	100
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
3.1	Ano: 2013	105
3.2	Ano: 2014	111
4	CONCLUSÃO	119
	REFERÊNCIAS	120

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, o mercado nacional e o internacional vêm sinalizando a demanda por cafés diferenciados com certificações de origem e selos de qualidade, e estão dispostos a pagar mais por estes produtos. O Brasil tem elevado potencial para atender as demandas do mercado de cafés especiais, principalmente a região sul do Estado de Minas Gerais. As condições edafoclimáticas e o alto nível de tecnificação de produção dessa região favorecem o cultivo e obtenção de cafés especiais com sabor e aroma peculiares.

Nesse sentido, no intuito de estimular os agricultores a produzirem cafés com qualidade superior, concursos de qualidade de cafés especiais vêm sendo realizados em todo o país. Em Minas Gerais, as edições do Concurso têm alcançado destaque não apenas pela identificação de cafés de alta qualidade, mas também pela promoção de melhor qualidade de vida e agregação de valor. Além da qualidade sensorial diferenciada, a valorização desses cafés se relaciona com parâmetros de sustentabilidade econômica, ambiental e social.

O Concurso de Qualidade dos Cafés de Minas Gerais tem como objetivos: ampliar a inserção competitiva da produção agropecuária mineira nos mercados nacional e internacional; identificar as propriedades produtoras de café, visando à rastreabilidade, à manutenção e à melhoria da qualidade como instrumento de valorização dos cafés mineiros; promover a manutenção e a conquista de novos mercados por meio da qualidade; manter e ampliar os empregos gerados e o aprimoramento do atendimento, da manutenção e da recuperação das reservas legais, além do manejo adequado de solo (EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS - EMATER, 2017). A certificação obtida no concurso atesta

que o produto tem nota acima de 80 pontos na tabela de classificação da bebida, quanto ao sabor e ao aroma, sendo, portanto, considerado café especial, de acordo com escala de classificação da *Specialty Coffee Association of America* (SCAA).

As características diferenciadas dos cafés especiais estão relacionadas com a composição química dos grãos (BORÉM et al., 2016) que podem ser afetadas por fatores genéticos, tratos culturais, características específicas do ambiente de cultivo, tipos de processamento, inclusive fermentações, processos de secagem, torração, moagem, armazenamento e industrialização (TOLEDO et al., 2016).

Nesse sentido, esse trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar cafés especiais do Sul de Minas oriundos de diferentes tipos de processamento pós-colheita (natural e cereja descascado), por meio de parâmetros químicos e sensoriais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância do agronegócio café

O Brasil destaca-se como o maior produtor e exportador mundial de café. A estimativa é de 51,37 milhões de sacas beneficiadas para a safra 2016/2017 e, desse total, 35 milhões de sacas serão direcionadas para exportação, resultando na receita cambial de US\$ 5,6 bilhões. Esse resultado representa um acréscimo de 18,8%, comparado com a produção de 43,24 milhões de sacas obtidas na safra anterior (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ - ABIC, 2017). Em relação ao consumo, o Brasil ocupa a segunda colocação, com consumo *per capita* de 6,2 kg de café verde por ano (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2017).

A área total plantada no país com a cultura do cafeeiro (arábica e conilon) é de 2,2 milhões de hectares, sendo 79,13% correspondentes ao café arábica, sendo esta a espécie de maior importância econômica. Para a safra 2016/2017, considerando as duas espécies, estima-se produtividade média de 26,33 sc./ha, equivalendo a um ganho de 17,1% em relação à safra passada (ABIC, 2017). O café arábica manteve um bom resultado, sendo responsável por mais de 28,9 milhões de sacas exportadas, enquanto o robusta atingiu a marca de 277,5 mil sacas (CONSELHO DOS EXPOSTADORES DE CAFÉ DO BRASIL - CECAFÉ, 2017).

Em relação à produção de cafés especiais no Brasil, esse mercado cresce cerca de 15% ao ano, enquanto os cafés tradicionais crescem 2%. Com base na produção brasileira em 2016, o volume de cafés especiais no país representou cerca de 8 milhões de sacas. As cooperativas brasileiras têm dado suporte aos produtores que querem ingressar no setor de cafés especiais. Em leilões e prêmios pelo mundo, os cafés brasileiros são cada vez mais valorizados,

entretanto, os preços ainda variam muito (BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - BSCA, 2017).

A cotação das sacas de cafés especiais já é 25% superior à do produto convencional (CECAFÉ, 2017) e, em alguns casos, pode ultrapassar 100% (BSCA, 2017).

2.2 Importância do Sul de Minas na produção de cafés especiais

As lavouras cafeeiras estão presentes em 15 estados brasileiros, sendo Minas Gerais o maior estado produtor (53% da safra nacional). O estado está dividido nas seguintes regiões produtoras: Cerrado, Sul de Minas, Chapadas e Matas das Minas. A região Sul de Minas tem recebido atenção por produzir cafés encorpados, com sabores ácidos levemente cítricos e com aromas frutados.

2.3 Geração de empregos diretos e indiretos

O início do período da colheita do café reforça a geração de empregos no Sul de Minas. Segundo a Fundação Procafé (2017), só nesta época, a cadeia produtiva gera cerca de 300 mil empregos na região.

Segundo Soares (2015), as dez maiores cidades do Sul de Minas fecharam os sete primeiros meses do ano de 2015 com saldo positivo de contratações e isso se deve, em especial, à colheita do café. Nos sete primeiros meses do ano, a agropecuária foi responsável pela geração de 5.346 vagas de trabalho nas maiores cidades do Sul de Minas.

2.4 Qualidade do café

Para a exportação dos produtos agrícolas, vários países já exigem informações sobre a origem e todo o processo produtivo, visando tanto à sustentabilidade socioambiental como à qualidade intrínseca do produto. O consumidor quer saber como seu alimento foi produzido e está disposto a pagar mais por isso.

As certificações informam o padrão de qualidade com o qual o produto está sendo vendido, permitindo que o consumidor identifique o tipo de grão utilizado em cada produto e, assim, possa escolher aquele que mais lhe agrade (ABIC, 2017). A certificação é uma garantia de que o café foi produzido dentro dos pilares ambientais, sociais e econômicos estabelecidos (BSCA, 2017).

Vale ressaltar que ainda é pequena a porcentagem de cafés com certificações de qualidade. O estudo com cafés nas montanhas no sul de Minas Gerais confirma esses dados. Pesquisadores observaram que os produtores entendem a necessidade de agregar valor ao produto, mas ainda é pequena a porcentagem dos que o fazem por meio de certificação. De forma geral, a tendência à tecnificação e à mecanização como formas de agregação de valor é crescente (BREGAGNOLI e MONTEIRO, 2013).

Portanto, a qualidade do café se relaciona com um conjunto de atributos químicos, físicos e sensoriais responsáveis pelo sabor e aroma da bebida (TAVARES, 2012) e é dependente tanto da matéria-prima quanto do ponto de torra utilizado na industrialização (MALTA e CHAGAS, 2009). Portanto, pode ser influenciada por fatores genéticos, tratamentos culturais, ambiente de cultivo, tipo de processamento, processos de secagem, armazenamento, beneficiamento e industrialização (TOLEDO et al., 2016).

2.5 Cafés especiais

A indústria alimentícia brasileira vem crescendo e aprimorando seu processo produtivo devido às exigências dos consumidores e à concorrência no mercado exterior, que se preocupa cada vez mais com a qualidade, a saúde da população e as questões ambientais e sociais. Para isso, as indústrias estão obedecendo aos padrões internacionais, que são referências estabelecidas por especialistas com medidas qualificáveis e quantificáveis para cafés especiais, baseadas em testes científicos que estabelecem valores e intervalos de valores para o café (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA - SCAA, 2017). Segundo a SCAA (2017), são considerados especiais os cafés com pontuação igual ou superior a 80 pontos, sendo a nota final resultante do somatório dos atributos sensoriais avaliados.

Os cafés especiais diferenciam-se dos demais por qualidade superior da bebida, cuidados na colheita, aspectos dos grãos, história, tipo de preparo, origem dos plantios e cultivares, entre outros fatores (FIGUEIREDO, 2010).

O mercado valoriza atributos higiênico-sanitários e sensoriais do produto, além dos aspectos relacionados à proteção ambiental e à valorização social na produção de cafés especiais (BORÉM et al. 2008), o que gera valor agregado ao produto.

Trabalhos com cafés especiais vêm sendo realizados no intuito de estabelecer uma correlação entre a qualidade sensorial da bebida e a composição química dos grãos. Por exemplo, Fassio et al. (2017) observaram que os cafés especiais da região das Matas de Minas apresentaram perfis sensoriais distintos e característicos para as duas categorias de processamento avaliadas (natural e cereja descascado), sendo possível correlacionar os atributos sensoriais com a composição química dos grãos. Entretanto, os pesquisadores concluíram que

estudos adicionais deveriam ser realizados com conjuntos maiores de amostras representativas para cada categoria.

2.6 Processamento pós-colheita

Historicamente, dois métodos são utilizados para o processamento de café, por via seca e via úmida. Em ambos os processamentos o objetivo é secar o café até níveis seguros para seu adequado armazenamento e beneficiamento (FIGUEIREDO, 2010), eliminando riscos como oxidação e fermentações (SAATH et al., 2012).

Na via seca os frutos são secos na sua forma integral, originando o café natural ou em coco. Na via úmida são produzidos os cafés em pergaminho. O café descascado é obtido por meio da remoção da casca e de parte da mucilagem; o café despulpado, removendo-se a casca e a mucilagem, por fermentação biológica e o café desmucilado é obtido removendo-se mecanicamente a casca e a mucilagem (BORÉM, 2008; MALTA, 2011; CLEMENTE et al., 2015).

Bregagnoli e Monteiro (2013), estudando a cafeicultura sustentável no Sul de Minas, relataram que 99% dos produtores pesquisados ainda utilizavam a via seca como método de beneficiamento pós-colheita, salientando que a falta de cuidados na colheita e na secagem comprometeria a qualidade desses cafés.

O processamento pós-colheita tem efeito pronunciado na composição química dos grãos de café, especialmente em compostos solúveis em água, como açúcar, cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos. (MAZZAFERA e PADILHA-PURCINO, 2004; DUARTE et al., 2010). Além disso, a separação dos frutos verdes e imaturos dos frutos maduros é fundamental para se obter uma bebida de melhor qualidade e, para isto, é necessário dispor das mais diferentes técnicas de processamento (BORÉM et al., 2008).

Nobre et al. (2011), ao avaliarem a qualidade de frutos imaturos de café por tipos de processamentos diferentes (via seca e via úmida), submetidos a diferentes períodos de repouso antes do descascamento, com presença e ausência de água, observaram que o descascamento dos frutos imaturos eleva os indicadores físico-químicos e químicos de qualidade de café verde. Além disso, o uso da água durante o repouso dos frutos verdes não contribui para a manutenção da qualidade do café, sendo dispensável no processamento do café verde.

Em síntese, as condições do processo produtivo, operações pós-colheita, seleção de frutos, tipo de processamento, secagem e armazenamento podem influenciar diretamente a qualidade intrínseca dos grãos, sendo que a utilização do processamento pós-colheita varia entre os produtores, em função de aspectos tecnológicos, climáticos e econômicos (ISQUIERDO et al., 2012 ; CLEMENTE et al., 2015).

2.7 Composição química

Os mecanismos de formação do aroma e sabor do café são complexos e envolvem uma variedade de interações entre essas substâncias e rotas químicas que ocorrem ao longo da torração. Durante essa etapa, são desenvolvidos o aroma e o sabor da bebida do café provenientes da degradação e da formação de diversos compostos químicos, tais como ácidos, aldeídos, açúcares, cetonas, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos e compostos fenólicos (VILAS BOAS et al., 2001). Muitos destes compostos são originários principalmente das reações de pirólise, caramelização e reação de Maillard, que por sua vez são dependentes do binômio tempo e temperatura do processo.

Segundo Rodarte et al. (2009), a torra é considerada a principal etapa da industrialização, podendo ocorrer mudanças desejáveis ou não nos grãos, tais como a perda ou a preservação de constituintes nutricionais importantes.

Nesse contexto, vários trabalhos foram realizados visando relacionar a composição química do grão e a qualidade sensorial do café, a fim de identificar substâncias que possam mensurar a aceitação ou não da bebida (FIGUEIREDO, 2010).

Os principais constituintes químicos e seus teores médios foram citados por Prete (1992), para grãos crus de *Coffea arabica* L. São eles: proteínas (9% a 16%), minerais (2,5% a 4,5%), carboidratos (20% a 25%), lipídios (10% a 18%), sólidos solúveis (24% a 31%), açúcares totais (5% a 10%) e potássio (1,35% a 1,88%).

O grão de café apresenta uma variedade de minerais, tais como potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), sódio (Na), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e cromo (Cr), dentre outros. Esses minerais podem interferir na qualidade final do café por duas vias que são: 1) via direta, por seu papel no metabolismo da planta e acúmulo de compostos químicos desejáveis do aroma e sabor e 2) via indireta, por seu papel na produção de compostos que desfavorecem o desenvolvimento microbiano nos grãos (MARTINEZ et al., 2014).

O grão de café apresenta uma variedade de aminoácidos, como, por exemplo, alanina, asparagina, cisteína, ácido glutâmico, e de lipídios, como triglicerídeos e ácidos graxos livres. Os açúcares, sacarose, glicose, frutose, arabinose, galactose, maltose e polissacarídeos, também estão presentes em sua composição, sendo responsáveis pelo sabor do café. Além deles, o grão de café também apresenta substâncias bioativas, com atividade antioxidante, sendo de suma importância o seu conhecimento.

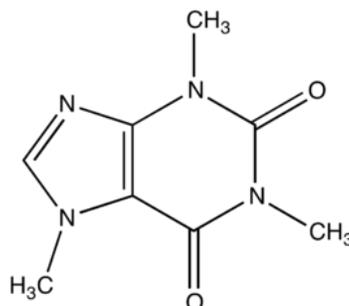
2.7.1 Substâncias bioativas: cafeína, trigonelina e ácido clorogênico

Os níveis dos compostos cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos em grãos de café têm sido estudados tanto para a discriminação das espécies quanto para a qualidade e as propriedades funcionais do café (RODARTE et al. 2009; MALTA e CHAGAS, 2009). O interesse de se estudar essas substâncias também ocorre devido às suas elevadas propriedades antioxidantes e ao efeito estimulante no sistema nervoso central. Esses compostos são facilmente solubilizados em água quente e, portanto, estão presentes na bebida do café, em teores dependentes de sua estabilidade aos processos degradativos que ocorrem na torra (NOGUEIRA e TRUGO, 2003).

A cafeína é um composto estável durante a torra, e é bastante consumida devido ao seu efeito estimulante e às suas propriedades farmacológicas (RODARTE et al., 2009). Tem sabor amargo característico e sua concentração varia de acordo com a espécie (AGUIAR et al., 2005). De acordo com dados encontrados na literatura, os valores de cafeína variam entre 0,9% a 1,2%, para grãos crus da espécie arábica (ILLY e VIANI, 1995) e os efeitos associados à qualidade ainda são controversos.

Estudando o teor de cafeína em espécies *C. arabica* L. e *C. Canephora* Pierre, Casal et al. (2000) observaram, tanto em grãos crus quanto em torrados, maiores quantidades desse composto nas espécies de *C. canephora* Pierre.

Figura 1 - Estutura química da cafeína.

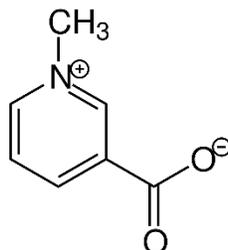


Fonte: Monteiro e Trugo (2005)

Dentre os compostos bioativos do café, a trigonelina apresenta importância biológica, uma vez que é precursora da niacina (vitamina importante do complexo B) (AGUIAR et al., 2005). O café é um dos únicos produtos que, mediante um processo de torração drástico, gera uma vitamina (MONTEIRO e TRUGO, 2005). Seu teor em grãos crus é variável em função, principalmente, da espécie e, segundo a literatura, varia entre 1,0% e 1,2% (ILLY e VIANI, 1995).

A intensificação no processo de torra reduz drasticamente seus teores (RODARTE et al., 2009). Além disso, segundo Aguiar et al. (2005), que estudaram a diversidade química de cafeeiros da espécie *C. Canephora* Pierre, as diferenças na concentração desses alcalóides foram baixas, sugerindo não ser bom parâmetro de discriminação entre variedades dessa espécie.

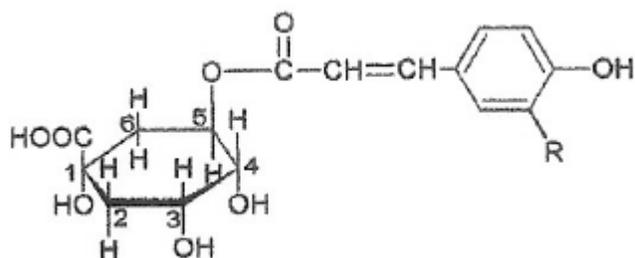
Figura 2 - Estrutura química da trigonelina.



Fonte: Monteiro e Trugo (2005)

Os compostos fenólicos são encontrados em diversas frutas e vegetais e têm sido investigados por apresentarem múltiplos efeitos biológicos (RICE-EVANS, MILLER e PAGANA, 1996). A principal classe de compostos fenólicos é representada pelo ácido clorogênico, conhecido por suas características antioxidantes. A atividade antioxidante de compostos fenólicos deve-se, principalmente, às suas propriedades redutoras e à sua estrutura química.

Figura 3 - Estrutura química do ácido clorogênico.



Fonte: Monteiro e Trugo (2005)

Segundo Aguiar et al. (2005), os ácidos clorogênicos exercem uma ação protetora, antioxidante dos aldeídos, interferindo no sabor e no aroma do café após a torração. Segundo Malta et al. (2003), esses ácidos têm relação inversa com a qualidade do café, ou seja, maiores teores de ácidos clorogênicos totais

são encontrados em cafés de baixa qualidade. Atualmente, sabe-se que mais importante do que se falar da quantidade total desses compostos é estudar os isômeros do ácido clorogênico e suas correlações com a qualidade do café. Destacam-se como principais isômeros do ácido clorogênico os grupos cafeoilquínicos, dicafeoilquínicos e feruloilquínicos.

Os ácidos clorogênicos são um grupo de compostos que representam de 5,5% a 8,0% da constituição em massa do café, conhecidos pela formação de aroma, responsáveis pela pigmentação e adstringência do café (ILLY e VIANI, 1995). Os ácidos clorogênicos estão entre os principais constituintes fenólicos responsáveis pela ação antioxidativa dos cafés, sendo o 5-ácido cafeoilquínico (5-ACQ) o majoritário.

A importância desses compostos, como a trigonelina e os ácidos clorogênicos, também está relacionada com suas funções como precursores de outros compostos voláteis que contribuem para o sabor e o aroma do café (MALTA e CHAGAS, 2009), sendo de suma importância o seu estudo.

2.5.2 Ácidos graxos

Os lipídeos são compostos importantes considerando-se os aspectos fisiológicos e sensoriais dos alimentos e estão relacionados com a percepção do aroma e sabor (ARAUJO, 2007). Entretanto, a liberação dos ácidos graxos não é uniforme e a degradação se dá de forma diferenciada de um ácido para outro. Segundo Toci et al. (2013), eles podem contribuir para a perda da qualidade sensorial durante o armazenamento. Seu conteúdo em grãos varia de acordo com a espécie. Para cafés arábica varia de 12% a 18% e, para café robusta, de 9% a 14% (CLIFFORD e WILSON, 1985). Na fração óleo, os ácidos graxos insaturados mais importantes são os ácidos linoleico, oleico e linolênico (SPEER e KOLLIN-SPEER, 2006). Durante a torração, eles são mobilizados no grão,

retendo componentes voláteis, muitos dos quais são perdidos após a moagem. Injúrias aos grãos podem causar sua oxidação, levando à formação de aldeídos indesejáveis ao sabor.

Altas temperaturas de secagem e taxas de remoção de água podem interferir na composição da estrutura celular dos grãos, provocando oxidações nos óleos e elevando os níveis de ácidos graxos, com consequente deterioração (SAATH et al., 2012).

Sob condições adversas de manejo, uma das principais reações que ocorrem é a formação de ácidos graxos livres, que são indicativos de qualidade e sua concentração nos grãos pode diferenciar lotes (SAATH et al., 2012).

O estudo de ácidos graxos também tem sido importante para a discriminação de cultivares em vários trabalhos. Por exemplo, avaliando o perfil de ácidos graxos em cultivares resistentes à ferrugem em dois ambientes, Fassio (2014) identificou a presença do ácido gama-linolênico como possível marcador para o Híbrido de Timor.

Em outro estudo, avaliando alterações na composição de triacilglicerídeos (TAG- *triacylglycerides*) e ácidos graxos livres (FFA- *free fatty acids*) para grãos torrados de café arábica em dois diferentes graus de torra (médio e escuro), durante seis meses de armazenamento em duas temperaturas diferentes (5 °C e 25 °C), Toci et al. (2013) observaram, após o terceiro mês, uma diminuição de 20% para torra média e 13% para a escura, sugerindo oxidação lipídica. Em ambos os graus de torra os ácidos graxos predominantes foram o palmítico e o linoleico.

Segundo Dias et al. (2011), devido à sua oxidação e ao desenvolvimento de *off-flavors*, os lipídios podem ser considerados como possíveis contribuintes para a perda de qualidade, o que será investigado neste trabalho.

A fração lipídica dos alimentos está relacionada a diversas propriedades, como aroma, coloração, textura, estabilidade das proteínas e vida de prateleira,

dentre outras. Transformações em seu conteúdo têm sido estudadas a fim de se buscar seu controle e garantir a qualidade sensorial dos alimentos. Sendo assim, o estudo da fração lipídica foi realizado nas diferentes amostras de café, no intuito de correlacionar o perfil químico dos ácidos graxos com a qualidade sensorial da bebida.

2.5.3 Sacarose

A sacarose é o açúcar de baixo peso molecular mais abundante no café cru. Seu conteúdo é importante para a formação de pigmentos e outros compostos responsáveis pelo *flavor* do café (TOCI, FARAH e TRUGO, 2006).

Esse açúcar é degradado rapidamente durante o processo de torra, podendo variar entre espécies. Em *Coffea arabica* L., o teor de sacarose varia entre 5,1% e 9,4%, enquanto em *Coffea canephora* Pierre este valor situa-se entre 4% e 7% (CLIFFORD e WILSON, 1985).

Segundo Martinez et al. (2014), a sacarose degrada-se dando origem a açúcares menores, precursores de ácidos e aldeídos responsáveis pelo *flavor* do café, destacando-se a frutose e a glicose, com teores entre 0 a 0,5%.

Estudando a qualidade do café natural e despulpado após a secagem com altas temperaturas, Borém et al. (2008) observaram que o aumento da temperatura de secagem influenciou os menores teores de açúcares redutores, em todos os tratamentos. Entretanto, os açúcares totais foram significativos apenas para o café despulpado. Entre os tipos de processamento, o café natural apresentou maiores teores de açúcares redutores em relação ao café despulpado, o que pode ser justificado pela presença da casca e da mucilagem durante a secagem, rica em açúcares.

A sacarose tem sido investigada por ser o principal contribuinte para a formação de açúcares redutores, envolvidos nas reações de caramelização e

fragmentação que ocorrem durante a torra, açúcares esses relacionados à doçura do café. Diante disso, é esperado que maiores teores de sacarose sejam encontrados em cafés de melhor qualidade, como verificado por Figueiredo (2013).

2.6 Análise sensorial

A avaliação sensorial é o método mais utilizado para a caracterização da qualidade da bebida e é feita pelos órgãos dos sentidos. O objetivo desse protocolo de avaliação é a determinação da percepção de qualidade. A qualidade dos atributos de sabores específicos é analisada e, em seguida, com base nas experiências dos provadores, as amostras são classificadas numa escala numérica.

No concurso dos cafés de Minas Gerais, a qualidade de cafés especiais é determinada pela prova de xícara (BRASIL, 2003; FERREIRA, 2010). A classificação pela bebida é definida sensorialmente por uma equipe de provadores treinados que distinguem diferentes padrões sensoriais de bebida, utilizando a metodologia *Cup of Excellence* – CoE, adotada pela Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA, 2017).

Segundo essa metodologia, os atributos a serem observados são os seguintes: acidez, bebida limpa, doçura, sabor, corpo, sabor remanescente, balanço e nota geral. Cada atributo recebe uma nota que varia de 0 a 8, de acordo com a sua intensidade, e, em seguida, é adicionado um fator de 36. O somatório das notas corresponde à classificação final da bebida e as amostras com pontuação igual ou superior a 80 pontos são classificadas como cafés especiais (LINGLE, 2011).

Segundo a Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA, 2017), o teste sensorial é realizado para determinar as diferenças sensoriais reais entre as

amostras, descrever o sabor das amostras, assim como para determinar a preferência dos produtos.

Por exemplo, estudando as alterações na composição química e sensorial de cafés arábica nos processos pós-colheita, Saath et al. (2012) observaram que o processamento associado à secagem interfere na qualidade da bebida durante o armazenamento. Isso porque a depreciação da qualidade sensorial do café natural estudado foi mais expressiva, principalmente nos cafés obtidos sob ar aquecido a 60 °C /40 °C, em relação ao despulpado, aos 12 meses de armazenamento. Ou seja, a qualidade química e sensorial dos grãos é fator relevante para a produção de cafés especiais (BORÉM et al., 2013) e, recentemente, tem sido alvo de vários estudos, uma vez que seu entendimento pode correlacionar perfis de qualidade, ajudando os produtores e os pesquisadores a produzirem cafés com qualidade superior.

2.7 Análises estatísticas

Os métodos estatísticos estão dispostos em dois grupos, um que trata da estatística para as variáveis de maneira isolada – a estatística univariada, e outro que observa as variáveis de forma conjunta – a estatística multivariada. Os métodos multivariados são escolhidos de acordo com os objetivos da pesquisa, com finalidades bem diversas entre si. Dentre esses métodos encontram-se a análise por componentes principais (PCA) e a regressão de componentes principais (PCR), que são métodos exploratórios dos dados, prestando-se a gerar hipóteses (VICINI, 2005).

2.7.1 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais, ou PCA, é uma técnica estatística da análise multivariada que possibilita investigações com um grande número de variáveis e observações. Por meio dela é possível calcular variáveis latentes (componentes principais) e determinar quais das variáveis originais têm maior influência na formação de cada componente. Além disso, esta técnica permite o agrupamento de indivíduos similares em gráficos de dispersão no espaço bi ou tridimensional, de fácil interpretação geométrica (VICINI, 2005).

Na PCA, o agrupamento das amostras define a estrutura dos dados por meio dos *scores* (coordenadas) e *loadings* (coeficiente de combinação linear que fornecem o peso, ou seja, o quanto cada variável contribui, representado pela correlação entre as variáveis).

A PCA é um método estatístico que encontra autovalores e autovetores da matriz de covariância dos dados, podendo, assim, reduzir a dimensão deles e analisar a variabilidade presente, separando informações importantes de desprezíveis. Vale ressaltar que, no momento em que se comprime a informação para um número menor de componentes principais, perde-se parte da informação, mas há um esforço em tornar essa perda mínima.

Segundo Marques e Marques (2005), a PCA tem o objetivo de reduzir o número de variáveis do problema e analisar quais delas ou quais conjuntos de variáveis explicam a maior parte da variabilidade total dos dados, revelando que tipo de relacionamento existe entre eles. Ou seja, constrói-se um novo sistema de eixos (denominados de componentes principais, variáveis latentes ou ainda autovetores) para representar as amostras, no qual a natureza multivariada dos dados pode ser visualizada em poucas dimensões.

Na construção desse novo sistema, cria-se um conjunto de novas variáveis linearmente independentes para descrever estes dados, combinação

linear das variáveis originais. Estes novos eixos são ortogonais entre si e ordenados em termos da quantidade de variância explicada, sendo que o primeiro autovetor encontra-se na direção de maior variância (VICINI, 2005).

Nesse tipo de análise, as variáveis são representadas por vetores e as amostras por pontos. Quanto mais próximo o ângulo entre os vetores, maior a correlação entre as variáveis. Essa análise multivariada é utilizada quando o interesse é verificar como as amostras se relacionam, ou seja, o quanto elas são semelhantes segundo as variáveis utilizadas no trabalho.

Assim, este novo conjunto de eixos de coordenadas no qual se projetaram as amostras é muito mais informativo e, pelo fato de serem ordenados pela sua importância, é possível visualizar estas mesmas amostras num gráfico de baixa dimensionalidade.

2.7.2 Regressão de componentes principais

Os modelos de regressão têm como propósito a explicação da variável dependente, por meio daqueles componentes principais que possuem altas correlações com ela (MARQUES e MARQUES, 2005).

O método de regressão de componentes principais (PCR, do inglês *principal components regression*) não requer a seleção de variáveis. Nele, ocorre a transformação das variáveis medidas em novas variáveis (componentes principais) que serão utilizadas nos cálculos do modelo. O modelo busca encontrar combinações lineares relevantes a partir dos valores originais e, então, utilizá-las na equação de regressão. Dessa forma, toda informação irrelevante será descartada e apenas as partes mais relevantes serão utilizadas na modelagem, obtendo-se uma equação de regressão mais objetiva.

Os modelos de regressão linear simples são modelos matemáticos que relacionam o comportamento de uma variável Y com outra X. A variável X é a

variável independente da equação, enquanto $Y = f(X)$ é a variável dependente das variações de X . Nesse caso, a variável dependente (Y) se refere à nota final do café. Quando a função f que relaciona duas variáveis é do tipo $f(X) = a + bX$, tem-se o modelo de regressão linear simples. O modelo de regressão é dito múltiplo quando o comportamento de Y é explicado por mais de uma variável independente X_1, X_2, \dots, X_k .

Após a análise, pode-se calcular o coeficiente de determinação (R^2) que indica a qualidade de ajuste do modelo aos dados, ou seja, o quanto da nota final dessas dimensões conseguem explicar. O R^2 fornece uma informação auxiliar ao resultado da análise de variância da regressão, como uma maneira de verificar se o modelo proposto é adequado ou não para descrever o fenômeno. O R^2 varia no intervalo de 0 a 1. Valores próximos de 1 indicam que o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno, ou seja, o R^2 indica a porcentagem da variação de Y que é explicada pelo modelo de regressão.

Este coeficiente pode ser utilizado como medida da confiança depositada na equação de regressão como instrumento de previsão ou como medida na qualidade do ajuste.

Determinar a relação entre variáveis serve para realizar previsões sobre o comportamento futuro de algum fenômeno. Pode-se, por exemplo, prever a nota final de uma amostra nova de café utilizando um modelo estatístico preditivo de posse de sua composição química (teor de sacarose, compostos bioativos, dentre outros), sem ser necessário, para isso, a avaliação dos produtores de café (tornando o processo mais rápido e menos oneroso), por meio da utilização de um modelo de regressão.

Na análise de alimentos essas técnicas vêm sendo muito empregadas para discriminar ingredientes alimentares. Por exemplo, estudando a aplicação de métodos de análise multivariada no controle qualitativo de essências alimentícias com emprego de espectroscopia no infravermelho médio, Helfer et

al. (2006) utilizaram diferentes lotes de amostras de essências alimentícias de baunilha, de leite, de caramelo, de cereja e de morango para a aquisição dos espectros, visando à construção dos modelos e validação do método. Foi possível observar que o método empregado não só discrimina as diferentes essências (em função da composição), mas também a origem e a uniformidade delas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. T. E. et al. Diversidade química de cafeeiros na espécie coffee Canephora. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.4, p.577-582, 2005.

ARAUJO, F. A. **Café (Coffea Arabica, L.) submetido a diferentes condições de torrefação: caracterização química e avaliação da atividade antioxidante e sensorial**. 2007. 130 p. Tese (doutorado)- Faculdade de Ciências Farmacêuticas, USP, São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ- ABIC. Disponível em:
<<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=48#6090/>>
Acesso em:04 mar. 2017

BORÉM, F. M. et al. Quality of natural and washed coffee after drying on ground and with high temperature. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, set./out., 2008.

BORÉM, F. M. et al. Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café submetidos 227 a diferentes formas de processamento e secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 22, p. 227-237, 2013.

BORÉM, F.M. et al. The relationship between organic acids, sucrose and the quality of specialty coffees. **African Journal of Agricultural Research**. Nigeria, vol. v. 11, n. 8, p. 709-717, 25 feb. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 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, 13 jun. 2003. Seção 1, p. 22-29.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - BSCA. **O que são cafés especiais?** Disponível em: <<http://bsca.com.br/cafes-especiais.php>>. Acesso em: 10 Jul. 2017.

BREGAGNOLI, M.; MONTEIRO, A. V. C. **Cafés nas montanhas: cafeicultura sustentável no Sul de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Letras e Imagem Editora, 2013, 104p.

CASAL, S. et al. Discriminate analysis of roasted coffee varieties for trigonelline, nicotinic acid and caffeine content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.48, p. 3420-3424, 2000.

CLEMENTE, A. DA C. S. et al. Post-Harvest operations and physicochemical and sensory quality of coffees. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 233 - 241, abr./jun. 2015.

CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M. N. **Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverages**, Croom Helm., London: p.305-374, 1985

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CONSELHO DE EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL- CECAFE. Disponível em: <<http://www.cecafe.com.br/>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

DIAS, E. C. et al. Processamento do café imaturo: efeito no perfil dos ácidos graxos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. VII, 2011, Araxá. **Anais eletrônicos...**Araxá- MG.

DUARTE, G. S. et al. Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post harvesting methods. **Food Chemistry**, Oxford, v. 118, n. 3, p. 851-855, 2010.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS (EMATER). Disponível em: < http://www.emater.mg.gov.br/portal.cgi?flagweb=site_tpl_paginas_internas2&id=9245>. Acesso em: 21 jul. 2017.

FASSIO, L. O. **Potencial de novas cultivares de Coffea Arabica L. resistentes à ferrugem para produção de cafés especiais**. 2014. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

FASSIO, L. O. et al. Sensory Profile and Chemical Composition of Specialty Coffees from Matas de Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 9, n. 9, p. 78, 2017.

FERREIRA, G.F.P. **Avaliação da qualidade física, química, sensorial e da composição fúngica de grãos de cafés beneficiados**. 2010, 119p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2010.

FIGUEIREDO, L. P. **Abordagem sensorial e química da expressão de genótipos de Bourbon em diferentes ambientes**. 2013. 128p Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FIGUEIREDO, L. P. **Perfil sensorial e químico dos genótipos de cafeeiro Bourbon de diferentes origens geográficas**. 2010. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality**. San Diego: CRC, 1995. 253 p.

ISQUIERDO, E. P. et al. Quality of natural coffee subjected to different rest periods during the drying process. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 4, p. 439-445, ago. 2012.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor**. California: 4. ed., Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66p.

MALTA, M. R. Processamento e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 66-75, 2011.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R. Avaliação de compostos não voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 57-61, 2009.

MALTA, M. R. NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras. v. 27, n.6, p.1246-1252, nov./dez., 2003.

MARQUES, J. M.; MARQUES, M. A. M. The principal components in the reduction of variables in a multiple regression model. **Revista da FAE**, Curitiba, v.8, n.1, p.93-101, jan./jun. 2005.

MARTINEZ et al. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 838-848, nov/dez, 2014.

MAZZAFERA, P., E.; PADILHA-PURCINO, R. (2004). Post harvest processing methods and alterations in coffee fruit. In: ASIC PROCEEDINGS OF 20TH COLLOQUE COFFEE. Bangalore. **Anais eletrônicos...** India.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

MONTEIRO, M. C; TRUGO, L.C. Determinação de compostos ativos em amostras de café torrado. **Química nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 637, 2005.

NOBRE, G. W. et al. Composição química de frutos imaturos de café arábica (*coffea arabica* l.) processados por via seca e via úmida. **Coffee science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 107-113, maio/ago. 2011.

NOGUEIRA, M.; TRUGO, L. C. Distribuição de isômeros de ácido clorogênico e teores de cafeína e trigonelina em cafés solúveis brasileiros. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 296-299, mai./ago. 2003.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (Coffea arabica L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

RICE-EVANS, C.A.; MILLER, N. J. PAGANA, G. Structure–antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology & Medicine**. New York, v. 20, n. 7, p.933–956, 1996.

RODARTE, M. P. Et al. Compostos não voláteis em cafés da região Sul de Minas submetidos a diferentes pontos de torração. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1366-1371, set./out., 2009.

SAATH, R. 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, abr/jun., 2012.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA- SCAA. Disponível em: <<http://scaa.org/?page=resources&d=scaa-flavor-wheel>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

SPEER, K., KOLLING-SPEER, J. The lipid fraction of coffee bean. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 201-216, 2006.

SOARES, L. Na contramão da crise, café segura a geração de empregos no Sul de MG, **G1 Sul de Minas**, Varginha, 25 Agosto de 2015. Disponível em: < <http://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2015/08/na-contramao-da-crise-cafe-segura-geracao-de-empregos-no-sul-de-mg.html>>. Acesso em: 10 abr. 2017

TAVARES, K. M. **Detecção de adulteração em café riado torrado e moído por espectroscopia no infravermelho e análise sensorial**. 2012. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

TOCI, A.T. Changes in triacylglycerols and free fatty acids composition during storage of roasted coffee. **LWT-Food Science and Technology**, Amesterdan, v. 50, n. 2, p. 581-590, 2013.

TOCI, A.T; FARAH, A., TRUGO, L.C. Effect of decaffeination using dichloromethane on the chemical composition of arabica and robusta raw and roasted coffees. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.5, p.965-971, 2006.

TOLEDO, 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**, New Jersey, v. 15, p. 705-719, 2016.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005, 215 p. Monografia (Especialização), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VILAS BOAS, B. M. et al. Seleção de extratores e tempo de extração para determinação de açúcares em café torrado. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 25, n. 5, p. 1169-1173, set./out., 2001.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS DE CAFÉS ESPECIAIS DO SUL DE MINAS GERAIS

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o segmento de cafés especiais representa, hoje, cerca de 16% do mercado internacional da bebida. Os atributos de qualidade cobrem desde origem, variedade, cor, tamanho, até preocupações de origem social e ambiental.

Nesse contexto, Minas Gerais se destaca por produzir um grande percentual desse total, com destaque para o Sul de Minas, que tem condições edafoclimáticas favoráveis para o cultivo e produção de cafés com corpo, sabor e aroma excelentes e uma doçura natural (BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION- BSCA, 2017). A complexidade sensorial desses cafés é atribuída aos diversos compostos voláteis e não voláteis presentes nos grãos.

Buscando avaliar a correlação existente entre a composição química e a qualidade sensorial da bebida do café, estudos matemáticos vêm sendo realizados, com destaque para a análise de componentes principais (PCA), que têm como um dos principais objetivos verificar a variabilidade dos dados.

Essa análise tem a finalidade de identificar a relação entre características extraídas de dados. Para isso, a análise reduz o número de dados de um problema, resumindo aqueles que contêm muitas variáveis (p) para um conjunto menor de (k) variáveis oriundas do conjunto original. Ou seja, a PCA é um método estatístico multivariado utilizado para projetar dados n -dimensionais em um espaço de baixa dimensão, normalmente duas ou três.

Cada componente principal é construído pela combinação linear das variáveis originais e, com os resultados, podem-se analisar os padrões principais

de variabilidade presentes nos dados, auxiliando na interpretação que leva a responder hipóteses.

Com isso, o objetivo, neste trabalho, foi correlacionar a composição química de amostras finalistas dos concursos de qualidade de cafés especiais de Minas Gerais, da região Sul de Minas nos anos de 2013 e 2014 (naturais e cereja descascados) com a qualidade sensorial da bebida, por meio da análise por componentes principais (PCA).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostragem

Foram selecionadas 60 amostras de café arábica (*Coffea arabica* L.) do Sul de Minas, finalistas do X e do XI concursos de qualidade de cafés de Minas Gerais, referentes aos anos de 2013 (40 amostras) e 2014 (20 amostras). As amostras foram cedidas pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER-MG).

A codificação das amostras, o tipo de processamento, os dados de localização (município) e a nota sensorial de cada uma das amostras estão apresentados na Tabela 1. Trabalhou-se apenas com grãos crus nas análises químicas e com grãos torrados na análise sensorial. As análises foram feitas em triplicata.

Tabela 1 - Amostras avaliadas no concurso de qualidade de cafés de Minas Gerais com seus respectivos locais de cultivo, tipo de processamento e a nota final do ano de 2013. (Continua)

Amostra	Tipo de processamento	Município	Nota
N1	Natural	Cássia	84,36
N2	Natural	São Tomaz de Aquino	82,73
N3	Natural	Poços de Caldas	82,90
N4	Natural	São Sebastião do Paraíso	84,00
N5	Natural	São Gonçalo do Sapucaí	81,70
N6	Natural	Monte Belo	87,00
N7	Natural	Santo Antônio do Amparo	84,50
N8	Natural	Carmo de Dias	84,50
N9	Natural	Santo Antônio do Amparo	84,50
N10	Natural	Poço Fundo	87,91
N11	Natural	Fortaleza de Minas	87,00
N12	Natural	Campanha	84,64
N13	Natural	São Gonçalo do Sapucaí	83,64
N14	Natural	Varginha	83,64
N15	Natural	Cristina	83,60
N16	Natural	Boa Esperança	83,46

Tabela 1 - Amostras avaliadas no concurso de qualidade de cafés de Minas Gerais com seus respectivos locais de cultivo, tipo de processamento e a nota final do ano de 2013. (Conclusão)

Amostra	Tipo de processamento	Município	Nota
N17	Natural	Conceição das Pedras	83,40
N18	Natural	Heliodora	83,40
N19	Natural	Santa Rita do Sapucaí	83,36
N20	Natural	Luminárias	83,30
CD21	CD	Carmo de Minas	85,54
CD22	CD	Carmo de Minas	85,37
CD23	CD	Poços de Caldas	81,42
CD24	CD	Carmo de Minas	82,60
CD25	CD	Carmo de Minas	85,36
CD26	CD	Carmo de Minas	84,92
CD27	CD	Carmo de Minas	85,18
CD28	CD	Carmo de Minas	85,46
CD29	CD	Carmo de Minas	84,18
CD30	CD	Carmo de Minas	84,82
CD31	CD	Carmo de Minas	85,09
CD32	CD	Virgínia	85,00
CD33	CD	Carmo de Minas	84,17
CD34	CD	Carmo de Minas	84,10
CD35	CD	Ilicínea	84,00
CD36	CD	Dom Viçoso	83,90
CD37	CD	Baependi	83,70
CD38	CD	Soledade de Minas	83,67
CD39	CD	Cristina	83,67
CD40	CD	Cristina	83,40

CD = tipo de processamento cereja descascado

Tabela 2 - Amostras avaliadas no concurso de qualidade de cafés de Minas Gerais com seus respectivos locais de cultivo, tipo de processamento e a nota final do ano de 2014.

Amostras	Tipo de processamento	Município	Nota
N1	Natural	Guaxupé	88,91
N2	Natural	Poços de Caldas	85,64
N3	Natural	Guaxupé	84,73
N4	Natural	Ilicínea	84,46
N5	Natural	Conceição do Rio Verde	84,27
N6	Natural	Monte Belo	84,18
N7	Natural	Conceição das Pedras	84,18
N8	Natural	Conceição das Pedras	83,55
N9	Natural	Campos Gerais	83,18
N10	Natural	Campos Gerais	82,91
CD11	CD	Carmo de Minas	88,36
CD12	CD	Conceição do Rio Verde	88,27
CD13	CD	Santo Antônio do Amparo	87,18
CD14	CD	Carmo de Minas	85,36
CD15	CD	Nova Resende	84,46
CD16	CD	Guaxupé	83,73
CD17	CD	Poços de Caldas	83,64
CD18	CD	Machado	83,64
CD19	CD	Três Pontas	83,64
CD20	CD	Areado	81,27

CD = tipo de processamento cereja descascado

2.2 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada pela prova de xícara, por 12 provadores treinados, durante as fases do X e do XI concursos de qualidade de cafés de Minas Gerais. Foi utilizada a metodologia da *Cup of Excellence* – CoE, descrita pela Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA, 2017).

Os atributos pontuados pelos provadores na etapa final do concurso foram acidez, bebida limpa, doçura, sabor, corpo, sabor remanescente, balanço e nota geral. Cada atributo recebeu uma nota que variou de 0 a 8, de acordo com a sua intensidade, e, em seguida, foi somado um fator de 36 para todas as

amostras. O somatório das notas correspondeu à classificação final da bebida (representada pela nota) e as amostras com pontuação igual ou superior a 80 pontos foram classificadas como cafés especiais e ranqueadas no concurso (LINGLE, 2011). Entretanto, foram analisados estatisticamente somente os atributos acidez, doçura, sabor, corpo e a nota, por serem os principais responsáveis pela distinção de diferentes perfis sensoriais do café. A nota final foi inserida simultaneamente com os outros atributos sensoriais, pois não corresponde à soma (ou combinação linear) delas.

2.3 Preparo das amostras

As amostras foram codificadas e, em seguida, moídas em moinho de amostra IKA[®] A11basic, com adição de nitrogênio líquido para evitar a oxidação delas. Após essa etapa, foram acondicionadas em tubos falcon e armazenadas em freezer, à temperatura de -20 °C, até a realização das análises de laboratório. Trabalhou-se apenas com grãos crus nas análises químicas.

2.4 Análises químicas

2.4.1 Determinação do perfil de ácidos graxos

As amostras de grãos de café pulverizados (~0,25 g) foram pesadas em tubos de microcentrífuga de 2,0 ml, sendo, em seguida, adicionado 1,0 ml de hexano em cada um. Os tubos foram, então, colocados em um banho ultrassônico, por 10 minutos, para a extração dos óleos. Depois disso, foram centrifugados, a 6.000 rpm, por 2 minutos. Uma alíquota de 500 µL de cada sobrenadante foi transferida para tubo criogênico de 2,0 ml e evaporada por fluxo de ar quente.

O óleo contido no tubo criogênico de 2 ml (~8 mg) foi dissolvido em 100 µl de uma solução de etanol (95%)/hidróxido de potássio 1 mol/l (5%) e, então, hidrolisado em um forno de micro-ondas doméstico (Panasonic Piccolo), à potência de 80 W (Potencia 2), durante 5 minutos.

Após resfriamento, adicionaram-se 400 µl de ácido clorídrico a 20%, uma ponta de espátula de NaCl (~20 mg) e 600 µl de acetato de etila. Agitou-se em vórtex, por 10 segundos e deixou-se em repouso por 5 minutos. Uma alíquota de 300 µl da camada orgânica foi retirada, colocada em tubos de microcentrífuga e seca por evaporação, obtendo-se, assim, os ácidos graxos livres (CHRISTIE, 1989, adaptado).

Os ácidos graxos livres foram metilados com 100 µl BF₃/metanol (14%) e aquecidos, durante 10 minutos, em banho de água a 60 °C. Em seguida, foram diluídos com 400 µl de metanol e analisados por cromatografia gasosa.

As análises foram realizadas no Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em um cromatógrafo a gás HP7820A, equipado com detector por ionização de chamas. Utilizou-se uma coluna HP-INNOWAX (HP) 15 m x 0,25 mm x 0,25 µm, com gradiente de temperatura 150 °C, 1 min, 7 °C/min até 240 °C; injetor (split de 1/50) a 250 °C e detector a 260 °C. Hidrogênio foi utilizado como gás de arraste (3 ml/min) e volume de injeção de 1 µl. A identificação dos picos foi feita por comparação com padrões de ácidos graxos metilados FAME mix C14-C22 (Supelco cat no 18917).

2.4.2 Determinação da cafeína, trigonelina e ácido clorogênico

A determinação dos compostos bioativos cafeína, ácido clorogênico e trigonelina foi feita utilizando-se cromatografia líquida de alta eficiência

(HPLC), com procedimentos de extração com água quente, segundo metodologia adaptada por Malta e Chagas (2009).

As amostras de 0,5 g de café cru moído foram extraídas em 50 ml de água destilada em ebulição e colocadas em banho-maria, com água em ebulição, por 3 minutos. O extrato foi filtrado em papel de filtro comum e, em seguida, filtrado em membrana de 0,45 μm .

A determinação desses compostos foi realizada no Laboratório de Qualidade do Café na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) em um cromatógrafo da marca Shimadzu (modelo M10AVP, Japão) com coluna de fase reversa C-18 Shimadzu (100 mm x 0,3 mm). O sistema se encontra acoplado a um detector espectrofotométrico UV/visível Shimadzu (modelo SPD-10A) conectado por uma interface (CBM-101) a um microcomputador para processamento de dados.

A concentração dos compostos foi determinada pela relação entre as áreas dos picos de cafeína, ácido clorogênico e trigonelina das amostras e dos respectivos padrões de concentrações conhecidas.

2.4.3 Determinação de sacarose

As amostras de grãos de café verde pulverizadas (~100 mg) foram pesadas em um tubo de microcentrífuga de 2 mL e 1,0 mL de hexano foi adicionado em cada um, para a remoção de óleos e de outras substâncias apolares. Os tubos foram, então, colocados em um banho ultrassônico por 10 minutos, centrifugados a 5.500 rpm, por 5 minutos e, então, o sobrenadante foi descartado.

As amostras de cafés desengorduradas secas por evaporação foram extraídas com 1,5 mL de água em um banho ultrassônico com banho aquecido a 60 °C, por 15 minutos. Após centrifugação, a 5.500 rpm, por 5 minutos, uma

alíquota de 250 µl do sobrenadante foi transferida para outro tubo de microcentrífuga e diluída com 250 µl de água. A concentração de sacarose foi determinada por meio de sistema HPLC (segundo metodologia de Pezzopane et al. (2012), no Departamento de Química da UFMG.

Para a curva de calibração, uma solução estoque contendo ~50,0 mg de sacarose (Sigma \geq 99%) foi preparada em 10 mL de água. As soluções padrão diluídas (20% a 100% da solução estoque) foram utilizadas para a construção da curva de calibração.

O cromatógrafo líquido utilizado consistiu de uma bomba LC-10AD (Shimadzu), detector por Índice de Refração RID-10A (Shimadzu), válvula de injeção Rheodyne e sistema de aquisição de dados Star 5.5 (Varian). As amostras e as soluções padrão foram analisadas em duas colunas em série, Nucleosil C18-5 µm 250 mm x 4,6 mm (Supelco) e Discovery HS F5 150 mm x 4,6 mm (Supelco).

A fase móvel foi água Milli-Q em temperatura ambiente e fluxo de 1,0 mL/min e volume de injeção 20 µl.

2.5 Análise estatística

O conjunto de dados compreendendo os resultados sensoriais e químicos foram submetidos a uma análise multivariada (análise de componentes principais, PCA) para obter uma compreensão mais profunda dos fatores utilizando o software Chemoface estatística (NUNES et al., 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ano: 2013

3.1.1 Ácidos graxos (processamento: natural)

Neste trabalho, foram identificados dez ácidos graxos para as amostras de café Natural, porém, apenas sete contribuíram significativamente para a análise de componentes principais. São eles ácido oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:2), ácido palmítico (C16:0), ácido esteárico (C18:0), ácido linolênico (C18:3), ácido araquídico (C20:0), ácido mirístico (C14:0), ácido palmitoleico (C16:1), ácido margárico (C17:0) e ácido behênico (C22:0). Na Tabela 3 apresentam-se os teores dos ácidos graxos encontrados e as notas dos atributos sensoriais (Tabela 4) avaliados nas amostras de cafés naturais do ano de 2013.

Tabela 3 - Valores médios encontrados dos ácidos graxos para os cafés naturais do ano de 2013.

Amostra	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C22:0
N1	33,83	8,67	8,05	40,88	1,34	3,45	0,93
N2	33,87	7,78	9,27	40,15	1,34	3,16	0,91
N3	33,11	7,63	9,07	41,00	1,57	3,01	0,79
N4	33,33	8,04	9,04	41,51	1,38	3,08	0,88
N5	33,82	7,33	9,12	42,51	1,40	2,73	0,75
N6	33,24	7,70	9,15	42,05	1,29	2,90	0,94
N7	35,68	8,20	8,52	39,20	1,16	3,18	0,94
N8	34,58	7,95	8,51	39,67	1,40	2,95	0,82
N9	33,83	7,43	8,77	41,42	1,22	2,85	0,83
N10	32,98	6,97	8,71	40,85	1,30	2,73	0,78
N11	34,96	7,37	8,27	41,70	1,37	2,74	0,75
N12	33,93	8,05	9,10	40,76	1,39	2,82	0,76
N13	33,87	7,96	9,10	41,16	1,40	2,82	0,74
N14	33,62	8,15	9,14	40,12	1,20	2,81	0,87
N15	33,89	7,67	8,66	40,02	1,40	2,66	1,06
N16	34,25	8,16	9,36	39,82	1,28	2,80	0,80
N17	34,68	7,49	8,65	40,15	1,50	2,81	0,79
N18	33,47	7,07	8,89	42,03	1,36	2,63	0,71
N19	33,65	7,17	8,06	42,09	1,52	2,78	0,70
N20	34,51	7,62	8,98	41,33	1,40	2,72	0,72

*Teor de ácido graxo em $g \cdot 100^{-1}$ de amostra.

Tabela 4 - Valores médios encontrados para os atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor e doçura) para os cafés naturais do ano de 2013.

Amostra	Acidez	Corpo	Sabor	Doçura
N1	6,67	6,33	6,33	6,67
N2	5,33	5,33	5,33	6,00
N3	6,67	6,33	6,33	6,33
N4	6,33	6,67	6,33	6,67
N5	6,00	6,33	6,00	6,17
N6	6,00	6,00	6,00	6,33
N7	6,00	5,67	6,00	6,00
N8	6,67	6,33	6,33	6,33
N9	6,00	6,00	6,33	6,33
N10	6,67	6,67	7,17	6,67
N11	6,33	6,67	6,33	6,00
N12	6,17	6,17	6,17	6,33
N13	6,00	6,00	6,00	6,00
N14	6,33	5,83	6,00	6,33
N15	6,00	6,00	6,00	5,67
N16	6,00	6,17	5,67	6,00
N17	6,33	6,33	6,33	6,33
N18	5,83	5,83	5,67	6,00
N19	6,00	5,67	5,67	6,00
N20	6,33	6,00	6,00	6,00

*Os teores dos atributos sensoriais sabor, corpo, acidez e doçura estão expressos em g/100g⁻¹.

Os valores médios, em g.100⁻¹, mínimo e máximo obtidos para os sete ácidos graxos encontrados nos cafés naturais neste estudo, C16:0 (32,98-35,68), C18:0 (6,97-8,67), C18:1 (8,05-9,36), C18:2 (39,2-42,51), C18:3 (1,20-1,57), C20:0 (2,63-3,45) e C22:0 (0,70-1,06), estão próximos da faixa esperada para grãos crus de café arábica.

Os lipídeos são ingredientes importantes para os aspectos fisiológicos e sensoriais dos alimentos e estão relacionados com a percepção do aroma e do sabor. A comparação de padrões de ácidos graxos é ferramenta útil para a discriminação de cafés, uma vez que, devido à sua oxidação e ao desenvolvimento de *off-flavors*, os lipídios podem ser considerados possíveis contribuintes para a perda de qualidade sensorial.

Na Figura 4 apresentam-se os dados dos componentes 1 e 2, e, na Figura 6, dos componentes 3 e 4, para as amostras de café natural do ano de 2013, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos encontrados. A seguir estão os mapas do fator individual das amostras analisadas (Gráficos 5 e 7).

Figura 4 - Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo Natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2013.

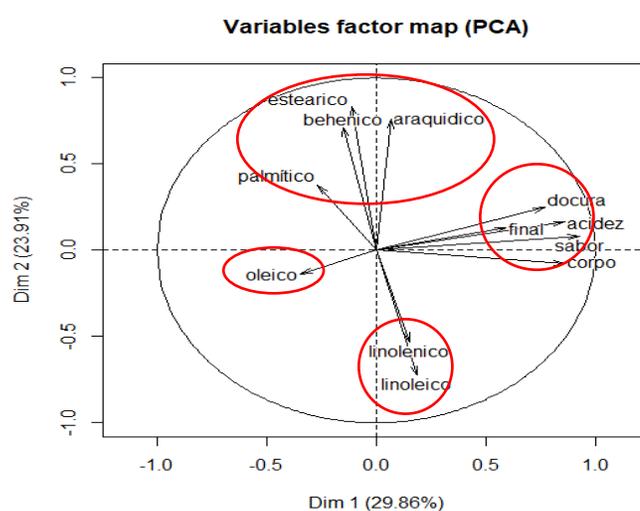


Figura 5 - Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 20 amostras de café tipo natural do ano de 2013.

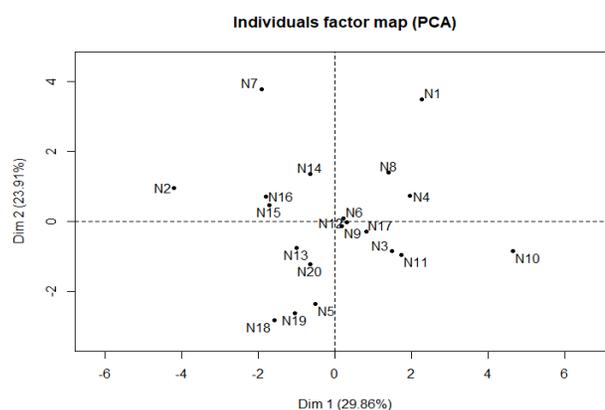


Figura 6 - Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2013

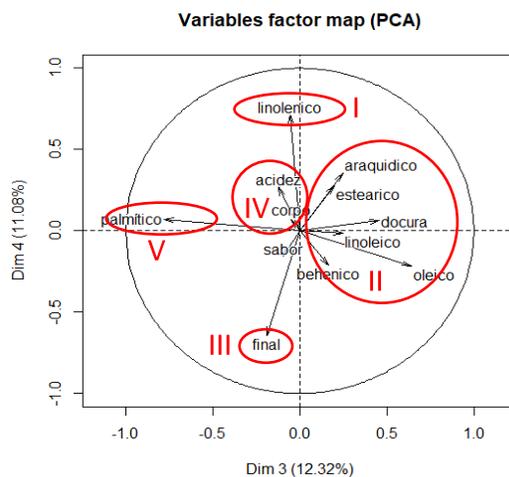
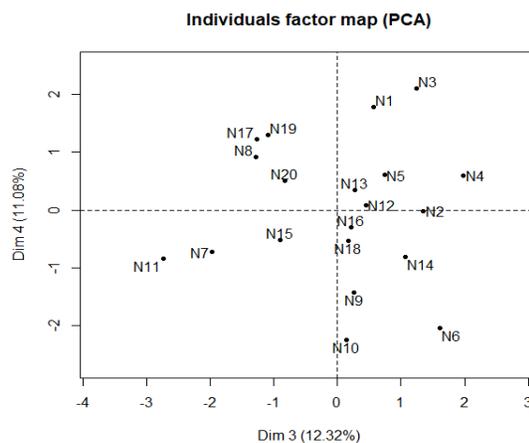


Figura 7 - Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 20 amostras de café tipo natural do ano de 2013.



Os biplots foram obtidos de acordo com a dispersão dos escores dos quatro primeiros componentes principais dos eixos, sendo o primeiro componente o de maior variância explicada (29,86%), seguido pelo segundo (23,91%) e assim por diante. Os componentes 3 e 4 explicaram

12,32% e 11,08%, respectivamente (Figura 4 e 6). Os quatro primeiros componentes principais explicaram 77,17% para os cafés naturais, sendo possível observar quais as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos formados.

Por meio das PC1 e PC2 observa-se que a nota final se correlaciona positivamente com os atributos sensoriais (corpo, sabor, acidez e doçura, correlacionados no grupo II), com destaque para a amostra N10. O grupo I foi influenciado pela presença dos ácidos esteárico, behênico, araquídico e palmítico. O grupo III foi influenciado pela presença do ácido linoleico e linolênico e o grupo IV, pelo ácido oleico. Nenhum ácido graxo influenciou de forma direta a nota final.

Na PC4 a nota não foi influenciada positivamente por nenhum ácido graxo, entretanto, altos teores do ácido linolênico se correlacionaram com cafés de menores notas.

Segundo a análise de correlação (Tabela 5), para os cafés naturais, os atributos corpo, doçura, sabor e acidez foram determinantes para a separação dos cafés no eixo horizontal (PC1) (Figura 4, Tabela 5). Os ácidos graxos não foram determinantes para a formação da PC1.

Tabela 5 - Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.

Parâmetros	Dim 1 (29,86%)	Dim 2 (23,90%)	Dim 3 (12,32%)	Dim 4 (11,08)
Final	0,59	0,13	-0,19	-0,64
Palmítico	-0,27	0,38	-0,78	0,07
Esteárico	-0,11	0,83	0,20	0,28
Oleico	-0,34	-0,14	0,64	-0,22
Linoleico	0,19	-0,72	0,25	-0,01
Linolênico	0,15	-0,53	-0,06	0,71
Araquídico	0,07	0,76	0,25	0,35
Behênico	-0,15	0,71	0,17	-0,21
Acidez	0,86	0,16	-0,12	0,27
Corpo	0,86	-0,08	-0,05	0,07
Sabor	0,93	0,08	-0,09	-0,15
Doçura	0,77	0,25	0,46	0,06

Na PC1 o ácido oleico apresentou escore negativo, indicando sentido contrário ao da nota final (embora não tenha sido tão significativo nessa dimensão), ou seja, cafés de menores notas apresentaram elevado teor desse ácido, como observado na amostra N13. Segundo a literatura, as reações oxidativas são facilitadas pela presença de oxigênio e os compostos mais susceptíveis a estas reações são os que contêm dupla ligação, causando a perda de atributos positivos da qualidade.

Foram determinantes para a PC2 os ácidos araquídico, esteárico, behênico e linoleico com destaque para as amostras N1 e N7. A maioria dos ácidos graxos foi determinante para a separação dos cafés apenas na PC2, com exceção dos ácidos oleico e palmítico, que foram explicados pela PC3 (Figura 6, Tabela 5). A nota final e o ácido linolênico foram explicados pela PC4, entretanto, altos teores desse ácido apresentaram correlação inversa à nota final (que apresentou escore negativo), ou seja, cafés com elevados teores de ácido linolênico se correlacionam com menores notas sensoriais.

De acordo com Figueiredo (2013), os ácidos graxos insaturados relacionam-se com baixa intensidade dos atributos acidez, fragrância, corpo e sabor, características bastante desejáveis em cafés especiais, corroborando os dados deste estudo.

3.1.2 Ácidos graxos (processamento: cereja descascado)

Foram identificados os mesmos ácidos graxos para os cafés cereja descascados, porém, com porcentagens diferentes. Na Tabela 6 apresenta-se o conteúdo dos ácidos graxos encontrado e, na Tabela 7, os atributos sensoriais avaliados para os cafés cereja descascados do ano de 2013.

Tabela 6 - Valores médios encontrados dos ácidos graxos para os cafés cereja descascados do ano de 2013.

Amostra	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C22:0
CD21	35,50	7,64	8,32	40,91	1,42	2,87	0,77
CD22	34,45	7,30	8,34	41,94	1,39	2,79	0,78
CD23	34,46	7,61	8,58	38,37	1,16	3,09	0,91
CD24	35,10	7,17	8,65	42,01	1,43	2,88	0,74
CD25	34,48	7,59	8,52	39,81	1,44	3,00	0,94
CD26	34,92	7,30	8,33	40,89	1,51	2,78	0,79
CD27	34,65	7,24	8,22	41,45	1,52	2,84	0,72
CD28	33,71	7,07	8,88	42,75	1,56	2,81	0,83
CD29	35,83	7,18	7,89	41,32	1,31	2,79	0,78
CD30	35,85	7,76	9,01	38,06	1,17	2,92	0,71
CD31	34,79	7,40	7,97	40,28	2,10	2,99	0,79
CD32	33,75	7,36	8,42	40,56	1,46	3,46	0,85
CD33	34,71	7,16	8,37	41,05	1,57	2,92	0,73
CD34	34,64	7,83	8,01	39,78	1,51	3,14	0,87
CD35	34,70	7,49	8,62	40,79	1,53	2,99	0,80
CD36	35,18	7,57	8,31	38,35	1,25	3,30	0,78
CD37	35,36	7,76	8,07	39,52	1,53	3,32	0,86
CD38	35,38	7,14	7,51	40,09	1,59	2,83	0,78
CD39	34,47	7,64	8,52	40,39	1,49	3,01	0,86
CD40	34,28	7,58	8,17	40,65	1,37	3,00	0,80

*Teor de ácido graxo em $\text{g}\cdot 100^{-1}$ de amostra.

Tabela 7 - Valores médios encontrados para os atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor e doçura) para os cafés cereja descascados do ano de 2013.

Amostra	Acidez	Corpo	Sabor	Doçura
CD21	6,33	6,17	6,00	6,00
CD22	6,33	6,33	6,33	6,33
CD23	6,00	6,00	5,67	5,50
CD24	6,67	6,33	7,00	6,33
CD25	6,67	6,00	5,67	6,17
CD26	6,67	6,00	6,33	6,00
CD27	6,67	5,67	6,00	6,33
CD28	6,00	6,50	6,00	6,00
CD29	6,00	6,33	6,67	5,67
CD30	6,00	6,00	5,33	6,00
CD31	6,00	6,67	6,33	5,67
CD32	6,00	6,00	6,33	6,00
CD33	6,33	6,33	6,00	5,67
CD34	6,00	5,67	5,33	5,67
CD35	6,00	6,00	6,00	5,67
CD36	6,33	5,67	5,67	6,00
CD37	5,67	6,33	6,00	6,00
CD38	6,00	5,67	6,67	6,00
CD39	6,33	6,00	6,00	6,33
CD40	6,00	6,00	6,33	5,67

*Os teores dos atributos sensoriais sabor, corpo, acidez e doçura estão expressos em $\text{g}/100\text{g}^{-1}$.

Os valores médios, em $\text{g}\cdot 100^{-1}$, mínimo e máximo, obtidos para os sete ácidos graxos encontrados neste estudo, C16:0 (33,71-35,85), C18:0 (7,07-7,83), C18:1 (7,51-9,01), C18:2 (38,06-42,75), C18:3 (1,17-2,10), C20:0 (2,78-3,46) e C22:0 (0,71-0,94), estão próximos da faixa esperada para grãos crus de café arábica.

Estudando o perfil de ácidos graxos em cafés imaturos, Dias e colaboradores (2011) também encontraram como majoritários os ácidos linoleico e o palmítico, com 42% e 34% para os cafés naturais, respectivamente e 41% e 35%, para os cafés cereja descascados.

Entretanto, apenas com a análise univariada não é possível discriminar as amostras de café, sendo necessária uma análise multivariada dos dados (Figuras 8 e 10).

Figura 8 - Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2013.

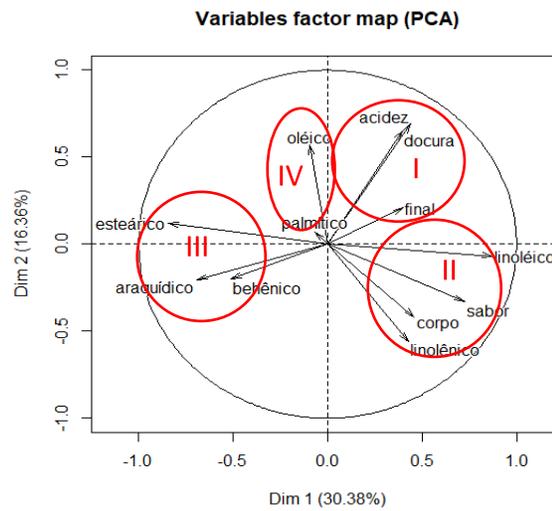


Figura 9 - Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 20 amostras de café tipo cereja descascado, do ano de 2013.

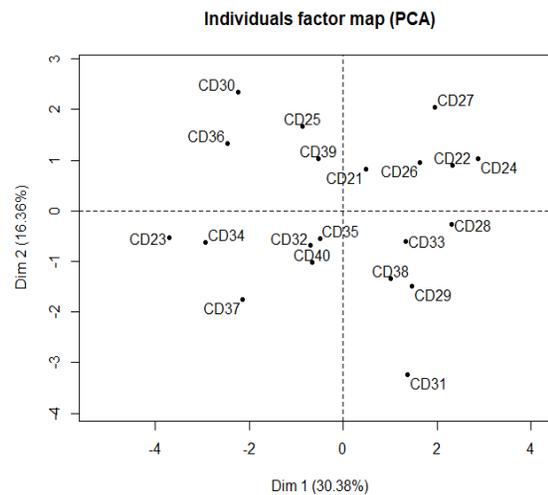


Figura 10 - Biplot do terceiro e quarto componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2013.

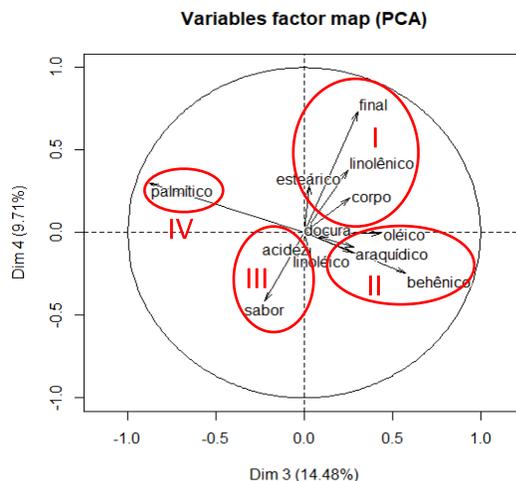
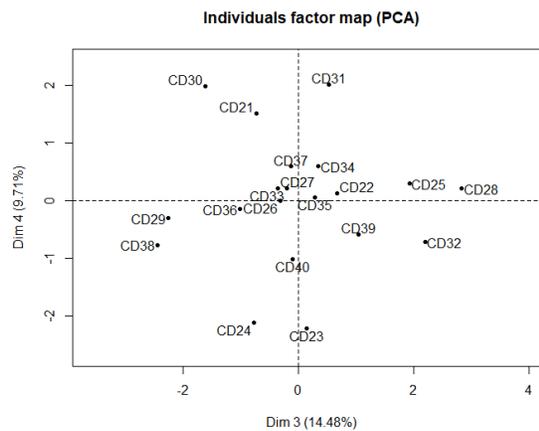


Figura 11 - Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 20 amostras de café tipo cereja descascado, do ano de 2013.



Os biplots foram obtidos de acordo com a dispersão dos escores, sendo o primeiro componente o de maior variância explicada (30,38%), seguido pelo segundo (16,36%) e assim por diante. Os componentes 3 e 4 explicaram 14,48% e 9,71%, respectivamente. Os quatro primeiros componentes principais explicaram 70,93% para os cafés cereja descascados (Figuras 8 e 10), sendo

possível observar quais variáveis mais contribuíram para os agrupamentos formados. Os mapas de fator individual explicitam a dispersão das amostras de cafés cereja descascados do ano de 2013 (Figuras 9 e 11).

Por meio da PC1 observa-se que a nota final se correlaciona positivamente com a acidez e a doçura (grupo I). Os ácidos araquídico, esteárico e behênico (grupo III) destacam-se como principais ácidos graxos influenciando negativamente a nota final. Ou seja, cafés com elevados valores desses ácidos apresentam notas mais baixas (CD23, Figura 9). Na Tabela 8 observam-se as correlações entre os parâmetros analisados.

Tabela 8 - Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.

Parâmetros	Dim 1 (30,38%)	Dim 2 (16,36%)	Dim 3 (14,48%)	Dim 4 (9,71%)
Final	0,40	0,21	0,30	0,73
Palmítico	-0,07	0,07	-0,88	0,30
Esteárico	-0,84	0,12	0,03	0,28
Oleico	-0,09	0,57	0,44	-0,01
Linoleico	0,87	-0,07	0,28	-0,12
Linolênico	0,43	-0,56	0,25	0,38
Araquídico	-0,69	-0,20	0,28	-0,09
Behênico	-0,51	-0,20	0,58	-0,24
Acidez	0,44	0,69	0,04	-0,15
Corpo	0,46	-0,42	0,26	0,21
Sabor	0,73	-0,33	-0,22	-0,41
Doçura	0,39	0,65	0,13	-0,02

Segundo a correlação entre os parâmetros (Tabela 8), para o processamento cereja descascado, a nota final foi explicada pela CP4, ou seja, as amostras situadas próximo ao primeiro quadrante apresentaram notas mais elevadas (CD31, Figura 11)

Observa-se que os atributos sabor e corpo e os ácidos esteárico, linoleico e araquídico foram determinantes para explicar a PC1 (Figura 8, Tabela 8).

Os ácidos oleico e linolênico foram explicados pela PC2, assim como os atributos acidez e doçura. Foram explicados pela PC3 os ácidos palmítico e behênico (ambos saturados).

Estudando o perfil de ácidos graxos e os parâmetros de qualidade de cafés especiais em diferentes regiões do Brasil, Figueiredo et al. (2015) observaram que os ácidos araquídico e esteárico também foram determinantes na distinção dos cafés.

Estudando a composição lipídica e a qualidade do café (*Coffea arabica* L.) durante armazenamento, Vidal (2001) relata que foi encontrado em maior porcentagem o ácido linoleico, entretanto, ele sofreu uma variação intensa durante armazenamento, e o ácido esteárico não se adaptou a nenhum fenômeno. Um fator a ressaltar é que a interação entre genótipo e ambiente pode influenciar a composição química e, sobretudo, a qualidade do café (Malta e Chagas, 2009), o que condiz com os resultados por se tratarem de amostras diferentes e ambientes diversificados.

3.1.3 Bioativos e sacarose (processamento: natural)

Os valores médios dos compostos bioativos, teor de sacarose e atributos sensoriais estão dispostos na Tabela 9, para os cafés naturais do ano de 2013.

Os valores médios, em g.100g⁻¹, mínimos e máximos, obtidos para os compostos cafeína (1,19-1,44), trigonelina (0,96-1,22), 5-ACQ (4,18-5,30) e sacarose (6,07-8,36) estão próximos da faixa esperada para grãos crus de café arábica (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores médios encontrados para os compostos bioativos (trigonelina, 5-ACQ, cafeína) e sacarose, para os cafés naturais do ano de 2013.

Amostra	Trig	5-ACQ	Cafeína	Sacarose
N1	0,96	4,59	1,28	8,36
N2	1,13	4,43	1,30	6,82
N3	1,04	4,72	1,26	7,23
N4	1,08	4,67	1,19	7,53
N5	1,15	4,81	1,43	6,07
N6	1,15	5,30	1,44	6,92
N7	1,10	4,73	1,24	7,48
N8	1,22	4,90	1,33	7,71
N9	1,13	4,76	1,30	6,86
N10	1,13	4,47	1,29	7,15
N11	1,10	4,53	1,20	7,30
N12	1,13	4,19	1,26	6,72
N13	1,16	4,49	1,24	7,17
N14	1,19	4,39	1,33	7,29
N15	1,21	4,18	1,22	6,28
N16	1,14	4,83	1,25	6,64
N17	1,24	4,44	1,22	6,93
N18	1,19	4,42	1,30	6,97
N19	1,10	4,43	1,19	6,84
N20	1,11	4,65	1,29	6,75

*Os teores de sacarose, trigonelina (Trig) e ácido 5-cafeoilquínico (5-ACQ) estão expressos em $\text{g}/100\text{g}^{-1}$ de matéria seca.

Os compostos bioativos vêm sendo investigados, devido, principalmente, às suas elevadas propriedades antioxidantes e efeito estimulante no sistema nervoso central. Além disso, os teores dos compostos cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos em grãos de café apresentam indicativos de possíveis discriminadores da qualidade sensorial da bebida do café.

Os biplots foram obtidos de acordo com a dispersão dos escores dos quatro primeiros componentes principais dos eixos, sendo o primeiro componente o de maior variância explicada (42,93%), seguido pelo segundo (18,29%) e assim por diante. Os componentes 3 e 4 explicaram 13,78% e 8,21%, respectivamente. Os quatro primeiros componentes principais explicaram 83,21% para os cafés naturais (Figuras 12 e 14), sendo possível observar quais

as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos formados. Os mapas de fatores individuais explicitam a dispersão das amostras de cafés naturais, em função dos compostos bioativos e da sacarose, do ano de 2013 (Figuras 13 e 15).

Figura 12 - Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo natural, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2013.

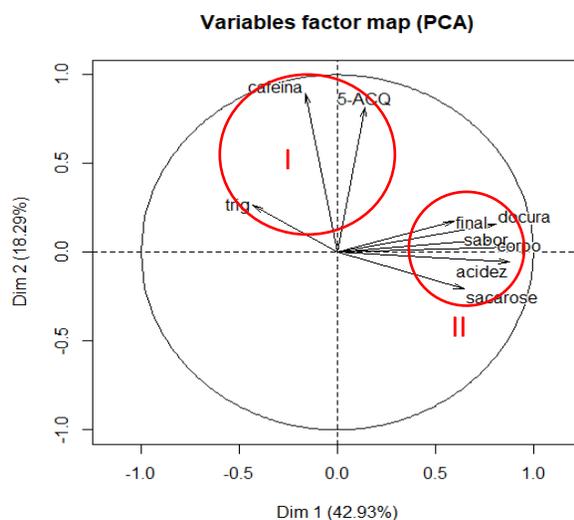


Figura 13 - Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 20 amostras de café natural do ano de 2013.

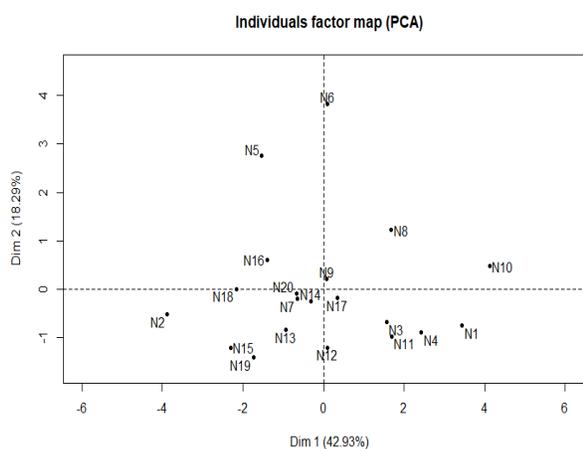


Figura 14 - Biplot do terceiro e quarto componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo natural, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2013.

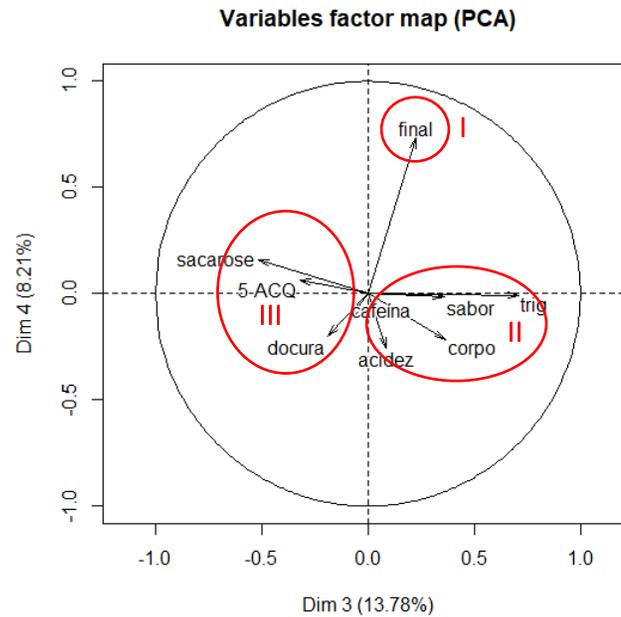
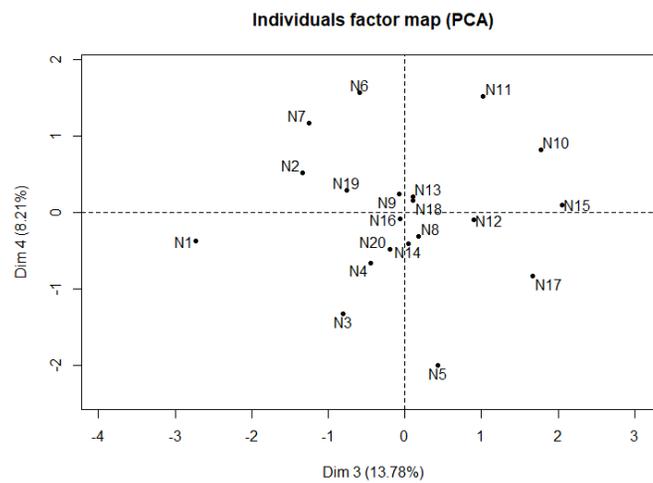


Figura 15 - Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 20 amostras de café natural do ano de 2013.



Por meio das componentes 1 e 2 observa-se que a nota final se correlaciona positivamente com os atributos sensoriais (corpo, sabor, doçura e acidez) e com o teor de sacarose, destacando-se as amostras do primeiro e do quarto quadrantes (Figura 13). O grupo I apresentou altos teores de cafeína, trigonelina e 5-ACQ.

Para as componentes 3 e 4 a nota final não foi discriminada por nenhum composto bioativo. Entretanto, elevados teores de trigonelina apontam para notas mais elevadas. O grupo II foi formado por cafeína, trigonelina, sabor corpo e acidez, e o grupo III foi discriminado pelo conteúdo de doçura, 5-ACQ e sacarose (Figura 14).

Tabela 10 - Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.

Parâmetros	Dim.1 (42,93%)	Dim.2 (18,29%)	Dim.3 (13,78%)	Dim.4 (8,21%)
Final	0,60	0,17	0,23	0,74
Trig	-0,43	0,27	0,71	-0,01
5-ACQ	0,14	0,82	-0,32	0,06
Cafeína	-0,16	0,89	-0,09	-0,12
Sacarose	0,65	-0,21	-0,52	0,16
Acidez	0,88	-0,05	0,09	-0,26
Corpo	0,80	0,08	0,37	-0,22
Sabor	0,89	0,03	0,36	-0,01
Doçura	0,81	0,16	-0,19	-0,20

De acordo com as correlações (Tabela 10), foram determinantes para a PC1 os atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor e doçura) e a sacarose.

Foram determinantes na PC2 apenas os compostos 5-ACQ e a cafeína, os quais estão correlacionados positivamente com a nota sensorial. A trigonelina foi explicada pela PC3. Geralmente, esse composto se correlaciona com cafés de melhor qualidade. Por exemplo, em grãos de café arábica são encontrados

maiores teores de trigonelina, quando comparados aos grãos de café robusta (MAZZAFERA e CARVALHO,1991).

A nota final foi explicada pela PC4. Nenhum composto bioativo foi determinante nessa componente, destacando-se N10 e N11 (Figura 15).

3.1.4 Bioativos e sacarose (processamento: cereja descascado)

Na Tabela 11 estão dispostos os valores médios dos compostos bioativos (trigonelina, 5-ACQ, cafeína) e o teor de sacarose para os cafés cereja descascados do ano de 2013.

Os valores médios, em $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$, mínimos e máximos, obtidos para os compostos cafeína (1,03-1,37), trigonelina (1,02-1,31), 5-ACQ (3,93-5,20) e sacarose (6,01-8,55), também estão próximos da faixa esperada para grãos crus de café arábica.

Tabela 11 - Valores médios encontrados para os compostos bioativos (trigonelina, 5-ACQ, cafeína) e sacarose, para os cafés cereja descascados do ano de 2013.

Amostras	Trig	5-ACQ	Cafeína	Sacarose
CD21	1,17	4,42	1,17	6,94
CD22	1,15	4,74	1,24	7,19
CD23	1,02	4,47	1,26	6,01
CD24	1,15	4,69	1,11	7,22
CD25	1,16	4,95	1,27	7,58
CD26	1,17	5,03	1,22	7,89
CD27	1,08	4,57	1,27	7,94
CD28	1,11	4,36	1,15	7,26
CD29	1,16	4,98	1,32	7,69
CD30	1,19	4,64	1,22	8,55
CD31	1,16	4,08	1,18	7,69
CD32	1,16	4,67	1,28	7,81
CD33	1,12	4,55	1,29	7,32
CD34	1,20	4,34	1,17	8,12
CD35	1,04	4,43	1,37	7,02
CD36	1,15	4,77	1,34	7,10
CD37	1,31	5,20	1,33	6,89
CD38	1,13	4,79	1,31	7,41
CD39	1,03	3,93	1,06	8,34
CD40	1,14	4,32	1,03	7,92

* Os teores de sacarose, trigonelina (Trig) e ácido 5-cafeoilquínico (5-ACQ) estão expressos em $\text{g}/100\text{g}^{-1}$ de matéria seca.

Os biplots foram obtidos de acordo com a dispersão dos escores dos quatro primeiros componentes principais dos eixos, sendo o primeiro componente o de maior variância explicada (24,24%), seguido pelo segundo (21,81%) e assim por diante. Os componentes 3 e 4 explicaram 16,57% e 15,04%, respectivamente. Os quatro primeiros componentes principais explicaram 77,66% para os cafés cereja descascados (Figuras 16 e 18), sendo possível observar quais variáveis mais contribuíram para os agrupamentos formados. Os mapas de fatores individuais explicitam a dispersão das amostras de café cereja descascado em função dos compostos bioativos e sacarose, do ano de 2013 (Figuras 17 e 19).

Figura 16 - Biplot dos primeiros componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo cereja descascado, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2013.

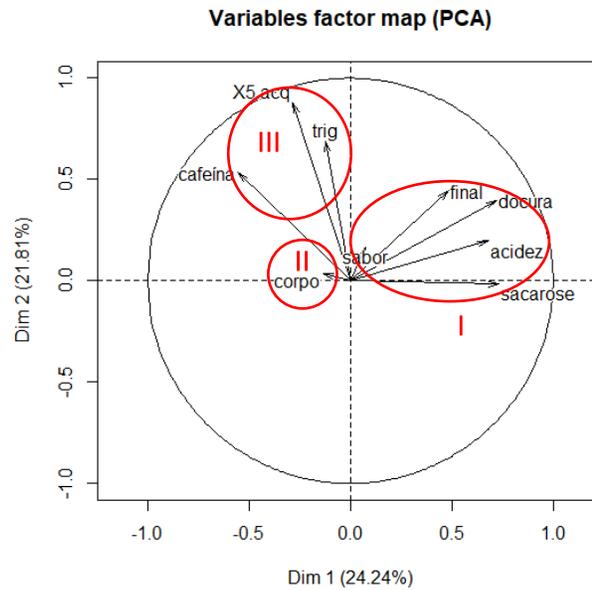


Figura 17 - Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 20 amostras de café cereja descascado do ano de 2013.

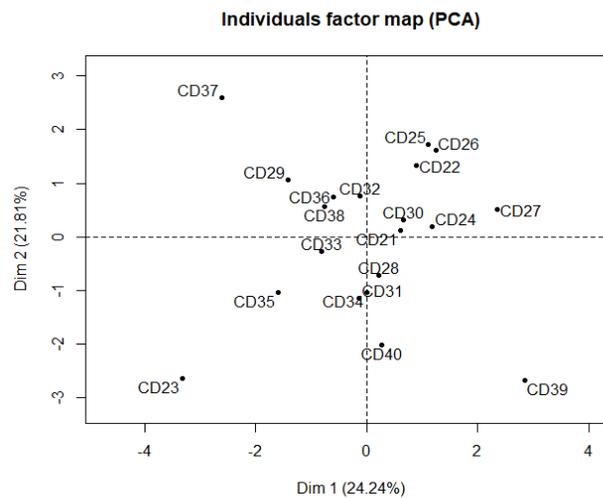


Figura 18 - Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 20 amostras de café tipo cereja descascado, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2013.

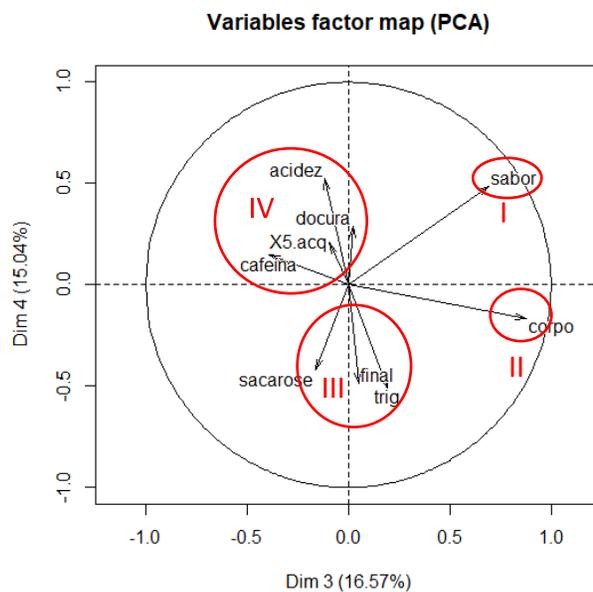
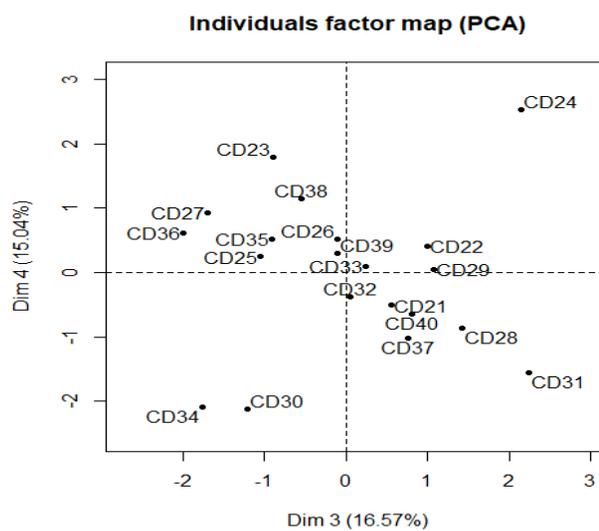


Figura 19 - Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 20 amostras de café cereja descascado do ano de 2013.



Por meio das PC1 e PC2 observa-se que a nota final se correlaciona positivamente com o grupo I (com destaque para C25, C22 e C27, Figura 17), destacando-se os atributos doçura, acidez e sacarose. Elevados valores de cafeína, trigonelina e 5-ACQ apontam para o grupo III. O grupo II foi discriminado pelo atributo corpo (Figura 16).

Por meio das CP3 e PC4 a nota final se correlaciona com o grupo III, com a trigonelina e a sacarose (o que era esperado segundo a literatura) e se associa de forma inversa ao grupo IV (com maiores teores dos atributos acidez, doçura e dos compostos 5-ACQ e cafeína) (Figura 18).

Tabela 12 - Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.

Parâmetros	Dim.1 (24,24%)	Dim.2 (21,81%)	Dim.3 (16,57%)	Dim.4 (15,04%)
Final	0,48	0,44	0,05	-0,48
Trig	-0,12	0,69	0,19	-0,51
5-ACQ	-0,28	0,88	-0,09	0,21
Cafeína	-0,56	0,54	-0,39	0,15
Sacarose	0,73	-0,02	-0,16	-0,42
Acidez	0,68	0,20	-0,12	0,52
Corpo	-0,13	0,03	0,88	-0,17
Sabor	0,07	0,17	0,69	0,49
Doçura	0,72	0,40	0,02	0,29

Pela correlação dos parâmetros (Tabela 12), observa-se que os atributos sensoriais (acidez e doçura) e o teor de cafeína e sacarose foram determinantes para a formação da PC1. Os atributos sensoriais e a sacarose se correlacionaram positivamente com a nota, enquanto a cafeína apresentou correlação inversa (ou seja, escore negativo). Ou seja, cafés com elevados teores de sacarose apresentam notas mais elevadas e cafés com maiores teores de cafeína apresentam notas menores.

Em relação ao teor de sacarose, era esperado encontrar correlação positiva com cafés de melhor qualidade sensorial (FIGUEIREDO, 2013), uma vez que esse açúcar está presente em maior quantidade nos grãos.

Os compostos bioativos (trigonelina e 5-ACQ) foram importantes para determinar a PC2, estando eles correlacionados positivamente com a nota sensorial. O corpo e o sabor foram explicados na PC3.

Esses dados estão de acordo com Clifford e Wilson (1985) quando sugerem que a melhor qualidade do café arábica em relação ao robusta se deve a maior quantidade de açúcares (associados positivamente) e ao menor teor de ácidos clorogênicos.

3.2 Ano: 2014

3.2.1 Ácidos graxos (processamento: natural)

Por meio da análise química, foram identificados nove ácidos graxos para as amostras de café natural do ano de 2014. São eles ácido oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:2), ácido palmítico (C16:0), ácido esteárico (C18:0), ácido linolênico (C18:3), ácido araquídico (C20:0), ácido mirístico (C14:0), ácido palmitoleico (C16:1) e ácido láurico (C12:0). Os resultados estão apresentados na Tabela 13, e na Tabela 14 os valores encontrados para os atributos sensoriais.

Tabela 13 - Valores médios encontrados dos ácidos graxos para os cafés naturais do ano de 2014.

Amostra	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0
N1	0,40	0,75	35,9	0,30	6,00	11,35	42,90	1,55	0,95
N2	0,15	0,40	36,25	0,15	5,70	12,45	42,35	1,40	1,15
N3	0,85	0,65	36,15	1,15	6,15	9,45	43,20	1,60	0,75
N4	0,55	0,75	38,00	0,35	6,60	10,60	40,40	1,50	1,25
N5	0,40	2,25	38,35	0,35	6,00	9,10	40,15	1,50	1,35
N6	0,30	1,55	37,40	0,25	6,50	9,85	41,30	1,85	1,10
N7	0,40	0,70	38,10	0,35	5,40	9,45	43,20	1,55	0,80
N8	0,75	1,00	37,70	0,70	6,20	9,80	40,10	2,00	1,10
N9	0,00	0,95	36,50	0,50	6,60	9,95	42,85	1,75	0,85
N10	0,10	0,85	35,65	0,05	6,55	10,65	43,15	2,05	0,95

*Teor de ácido graxo em $g.100^{-1}$

Tabela 14 - Valores encontrados para os atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor e doçura) do ano de 2014.

Amostra	Acidez	Corpo	Sabor	Doçura
N1	6,66	6,66	7,33	6,66
N2	6,66	7,00	6,33	6,33
N3	6,00	6,33	6,00	5,66
N4	6,16	6,16	6,33	6,33
N5	6,00	6,50	6,33	5,83
N6	6,66	6,66	6,00	6,66
N7	6,33	6,33	5,66	6,00
N8	5,33	5,33	6,00	6,00
N9	6,33	6,00	6,00	5,66
N10	6,00	6,00	6,00	5,66

*Os teores dos atributos sensoriais sabor, corpo, acidez e doçura estão expressos em g/100g⁻¹.

Os principais ácidos graxos encontrados para os cafés naturais foram o linoleico (43,2%) e o palmítico (38,35%), seguidos do oleico (12,45%), o esteárico (6,6%) e o linolênico (2,05%). Estes percentuais estão de acordo com dados da literatura para grãos crus de café arábica (VIDAL, 2001).

Os lipídios conferem valor nutritivo aos alimentos por serem a principal fonte de energia e também de ácidos graxos essenciais (como, por exemplo, de ácido linoleico e α -linolênico). Todavia, sua oxidação apresenta implicações sobre a qualidade e o valor comercial de alimentos e medicamentos. O oxigênio, a luz, o calor e a atividade de água, dentre outros fatores, influenciam o processo de oxidação. Esses agentes atuam como catalisadores de reações, originando compostos indesejáveis que conferem alteração na cor, no sabor e na degradação dos ácidos graxos essenciais (ARAUJO, 2007).

Para uma melhor compreensão dos atributos sensoriais acidez, corpo, sabor, doçura, os diferentes ácidos graxos encontrados e a nota final, bem como a interação entre eles e a qualidade de café, foi realizada uma análise multivariada dos dados, por meio da análise de componentes principais (PCA) (Figuras 20 e 22). Os mapas de fatores individuais explicitam a dispersão das

amostras de cafés naturais, em função dos ácidos graxos, do ano de 2014 (Figuras 21 e 23).

Figura 20 - Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2014.

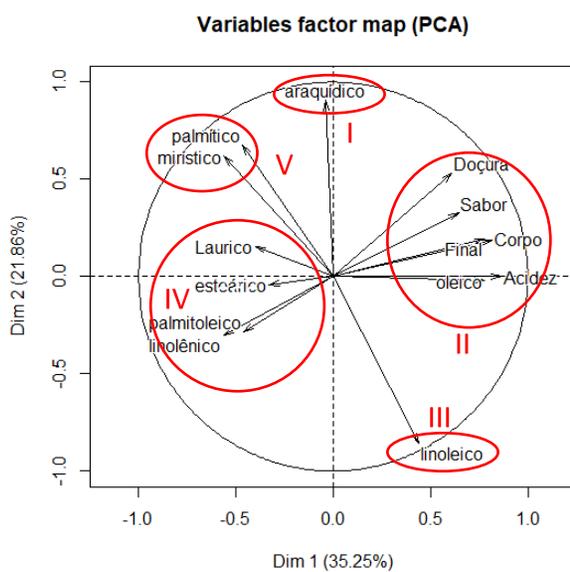


Figura 21 - Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 10 amostras de café natural do ano de 2014.

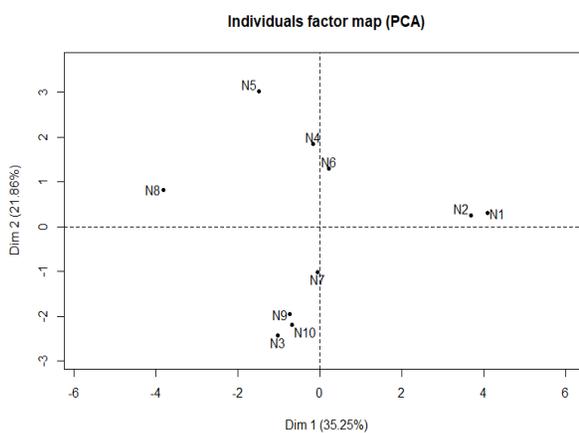


Figura 22 - Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2014.

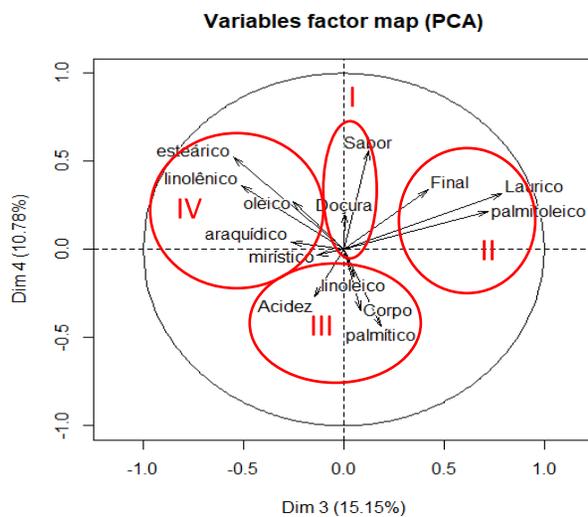
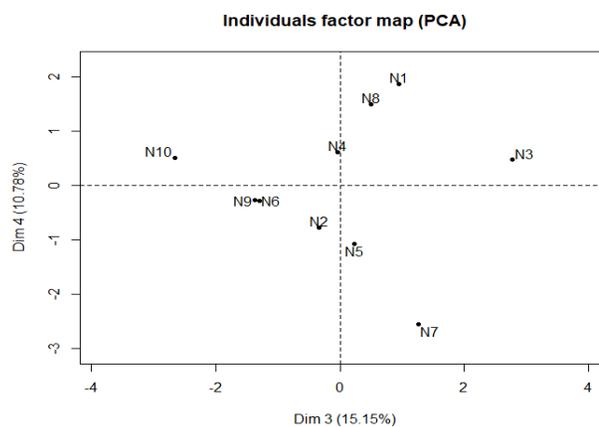


Figura 23 - Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 10 amostras de café natural do ano de 2014.



Os biplots foram obtidos de acordo com a dispersão dos escores dos quatro primeiros componentes principais dos eixos, sendo o primeiro componente o de maior variância explicada (35,25%), seguido pelo segundo (21,86%) e assim por diante. Os componentes 3 e 4 explicaram 15,15% e 10,78%, respectivamente. Os quatro primeiros componentes principais explicaram 83,04% para os cafés naturais (Figuras 20 e 22), sendo possível observar quais as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos formados.

Por meio das PC1 e PC2 observa-se que a nota final se correlaciona positivamente com o grupo II, destacando-se os atributos doçura, sabor, corpo e acidez. Além disso, destaca-se o ácido oleico como principal ácido graxo influenciando positivamente a nota sensorial (N2 e N1). O ácido oleico expressa a acidez do óleo do café. Vidal (2001) observou em seus estudos que a acidez do óleo foi inversamente proporcional ao teor de triacilgliceróis. À medida que os TAGs são degradados por reações hidrolíticas, os ácidos graxos são liberados, aumentando significativamente a acidez do óleo.

Altos teores dos ácidos araquídico, palmítico e mirístico também se correlacionam positivamente com a nota final. Em contrapartida, observou-se que o grupo IV se correlaciona negativamente com os atributos sensoriais e com a nota final, além da forte influência dos ácidos láurico, esteárico, palmitoleico e linolênico com as piores notas.

A acidez tem sido apontada como um bom indicativo de qualidade do produto, podendo auxiliar durante a prova de xícara (FERREIRA, 2010). Sua intensidade varia em função da cultivar, do manejo da lavoura, da colheita e da pós-colheita e do grau de torração, dentre outros (Siqueira e Abreu, 2006). O atributo corpo é percebido entre a língua e o céu da boca. O equilíbrio entre esses dois atributos é bastante desejável em cafés especiais, obtendo-se uma bebida

ácida e encorpada. O sabor e a doçura também são atributos desejáveis em cafés especiais.

Nas CP3 e CP4 a nota final se correlaciona positivamente com o grupo II e com os ácidos láurico e palmitoleico (com destaque para N3). A doçura e o sabor também apontam para notas mais elevadas (N1 e N6). Na Tabela 15 apresentam-se as correlações entre os parâmetros analisados para os quatro primeiros componentes principais.

Tabela 15 - Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.

Parâmetros	Dim.1 (35,25%)	Dim.2 (21,86%)	Dim.3 (15,15%)	Dim.4 (10,78%)
Final	0,78	0,19	0,42	0,34
Láurico	-0,40	0,16	0,79	0,32
Mirístico	-0,56	0,62	-0,13	-0,03
Palmítico	-0,46	0,68	0,18	-0,44
Palmitoleico	-0,46	-0,29	0,72	0,22
Esteárico	-0,33	-0,04	-0,55	0,52
Oleico	0,78	-0,02	-0,25	0,27
Linoleico	0,44	-0,86	0,05	-0,15
Araquídico	-0,04	0,91	-0,26	0,04
Linolênico	-0,56	-0,30	-0,51	0,36
Acidez	0,86	0,00	-0,15	-0,27
Corpo	0,82	0,19	0,08	-0,34
Sabor	0,65	0,33	0,13	0,56
Doçura	0,61	0,53	0,01	0,20

Estudando a correlação entre os parâmetros avaliados (Tabela 15), observa-se, para os cafés naturais, que os atributos acidez, corpo, sabor e doçura, assim como a nota final, foram determinantes para a formação da PC1. O ácido graxo oleico foi determinante para a separação dos cafés na PC1, apresentando escore positivo, ou seja, no mesmo sentido da nota final, destacando as amostras N1 e N2 (Figura 20, Tabela 15) com elevados teores. Ou seja, cafés com elevado

teor do ácido oleico apresentam notas mais elevadas e inversamente, cafés com elevados teores de ácido linolênico têm qualidade menor.

Por outro lado, destacam-se os ácidos láurico, esteárico, palmitoleico e linolênico como inversamente relacionados à nota sensorial, destacando-se o grupo IV com elevados teores (N10). Na formação da PC2 foram determinantes os ácidos palmítico, mirístico, linoleico e araquídico, sendo apenas o linoleico correlacionado de forma contrária à nota final. Os ácidos láurico, palmitoleico e esteárico foram explicados pela CP3.

3.2.2 Ácidos graxos (processamento: cereja descascado)

O estudo da composição de ácidos graxos dos cafés cereja descascados de 2014 está apresentado na Tabela 16 e os atributos sensoriais, na Tabela 17.

Tabela 16 - Valores médios encontrados para os ácidos graxos para os cafés cereja descascados do ano de 2014.

Amostra	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C20:0	C18:3
CD11	0,10	1,15	35,40	0,30	7,45	11,75	41,15	0,95	1,75
CD12	0,35	0,30	35,00	0,20	6,70	10,95	43,15	1,00	2,30
CD13	0,60	1,05	34,50	0,10	7,15	10,35	43,05	1,05	2,15
CD14	0,40	2,20	34,85	0,10	6,95	10,75	41,6	0,90	2,20
CD15	0,25	0,10	35,65	0,01	5,60	10,60	45,45	0,95	1,50
CD16	0,05	0,50	34,40	0,40	6,60	46,00	1,10	2,50	3,45
CD17	0,01	0,45	32,50	0,01	5,90	10,15	46,45	1,10	3,35
CD18	0,15	0,15	33,05	0,15	6,40	10,15	45,85	0,65	3,45
CD19	1,15	0,25	32,60	0,01	6,75	11,05	42,85	0,01	4,00
CD20	1,50	0,60	32,40	0,55	5,70	10,05	46,05	0,85	2,30

*Teor de ácido graxo, em g.100⁻¹ de amostra.

Tabela 17 - Valores médios encontrados para os atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor e doçura) para os cafés cereja descascados do ano de 2014.

Amostra	Acidez	Corpo	Sabor	Doçura
CD11	6,66	6,00	7,00	7,33
CD12	6,33	6,66	6,33	6,66
CD13	6,66	6,66	6,33	6,66
CD14	6,33	6,33	6,33	6,33
CD15	6,00	6,00	6,66	6,00
CD16	6,00	6,33	5,33	6,00
CD17	6,66	6,33	6,00	6,00
CD18	6,00	6,33	6,00	6,00
CD19	6,00	5,66	6,00	5,66
CD20	5,33	6,00	4,66	5,33

*Os teores dos atributos sensoriais sabor, corpo, acidez e doçura estão expressos em $\text{g}/100\text{g}^{-1}$.

Foram identificados os mesmos ácidos graxos para os cafés cereja descascados, porém, com porcentagens diferentes. Os ácidos graxos mais abundantes foram o ácido linoleico (com teor de 46,45%), seguido do ácido oleico (com 46%), ácido palmítico (35,65%), ácido esteárico (7,45%) e ácido linolênico (4%), respectivamente. Segundo a literatura, o linoleico, o oleico e o linolênico são os mais propensos à oxidação, devido à presença de insaturações.

Para melhor compreensão dos atributos sensoriais acidez, corpo, sabor, doçura, os diferentes ácidos graxos encontrados e a nota final, bem como a interação entre eles e a qualidade de cafés cereja descascados, uma análise multivariada dos dados foi realizada, por meio da análise de componentes principais (PCA) (Figuras 24 e 26). Os mapas de fatores individuais explicitam a dispersão das amostras de cafés cereja descascados, em função dos ácidos graxos, do ano de 2014 (Figuras 25 e 27).

Figura 24 - Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos para cafés de 2014.

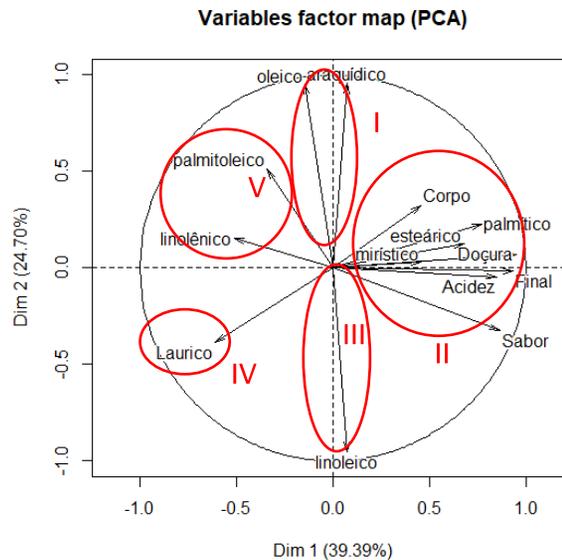


Figura 25 - Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 10 amostras de café cereja descascado do ano de 2014.

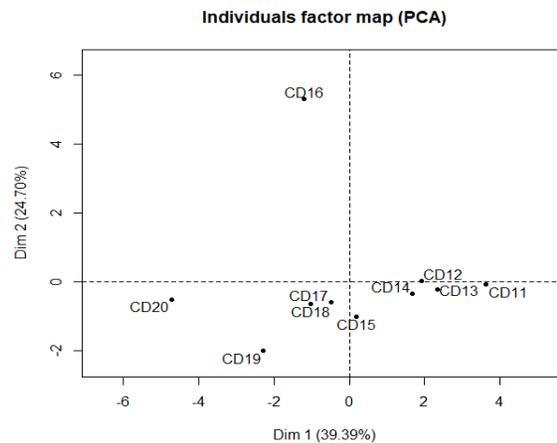


Figura 26 - Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2014.

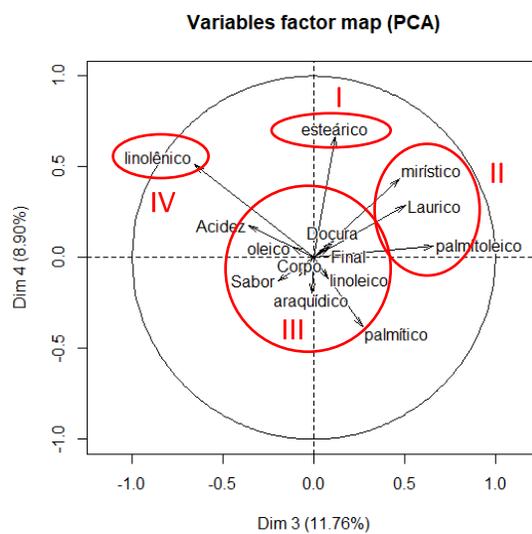
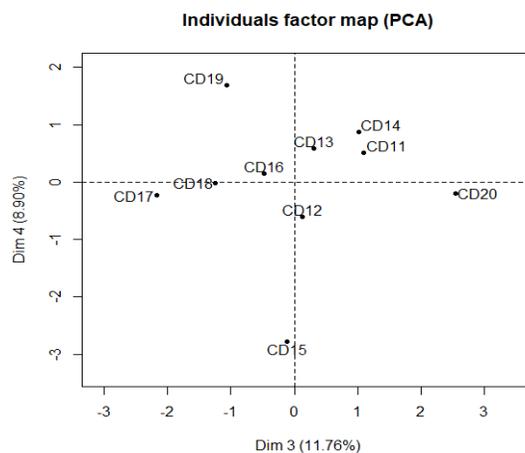


Figura 27 - Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4 para 10 amostras de café cereja descascado do ano de 2014.



Os biplots foram obtidos de acordo com a dispersão dos escores dos quatro primeiros componentes principais dos eixos, sendo o primeiro componente o de maior variância explicada (39,39%), seguido pelo segundo (24,70%) e assim por diante. Os componentes 3 e 4 explicaram 11,76% e 8,90%, respectivamente. Os quatro primeiros componentes principais explicaram 83,04% para os cafés cereja descascados (Figuras 24 e 26), sendo possível observar quais as variáveis mais contribuíram para os agrupamentos formados.

Por meio das PC1 e PC2 observa-se que a nota final se correlaciona principalmente com o grupo II e com os atributos sabor, corpo, doçura e acidez e com os ácidos esteárico, palmítico e láurico (sendo esse correlacionado de forma negativa).

A acidez da bebida é dada por ácidos não voláteis, como o cítrico, o málico, o oxálico e o tartárico, e os voláteis, como acético, propiônico e butírico (sendo estes últimos indesejáveis em grandes quantidades). A doçura remete ao sabor doce do café e está associada à presença de certos carboidratos. Ambos são atributos bastante valorizados por provadores durante a prova de xícara, estando de acordo com os resultados.

O grupo I correlaciona-se com o ácido araquídico e oleico, discriminando apenas a amostra C16 (Figura 25). O grupo III foi discriminado pelo ácido linoleico.

Tabela 18 - Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.

Parâmetros	Dim.1 (39,39%)	Dim.2 (24,70%)	Dim.3 (11,76%)	Dim.4 (8,90%)
Final	0,94	-0,02	0,09	0,06
Láurico	-0,61	-0,39	0,50	0,29
Mirístico	0,46	0,03	0,47	0,43
Palmítico	0,77	0,23	0,27	-0,38
Palmitoleico	-0,34	0,51	0,66	0,06
Esteárico	0,68	0,13	0,12	0,67
Oleico	-0,14	0,95	-0,12	0,06
Linoleico	0,08	-0,95	0,08	-0,12
Araquídico	0,08	0,96	-0,01	-0,19
Linolênico	-0,51	0,15	-0,66	0,51
Acidez	0,85	-0,05	-0,36	0,18
Corpo	0,46	0,32	-0,08	-0,10
Sabor	0,87	-0,33	-0,20	-0,13
Doçura	0,95	0,07	0,11	0,08

Observando-se a correlação entre os parâmetros (Tabela 18) para os cafés cereja descascados, os atributos acidez, sabor e doçura, assim como a nota final, foram determinantes para a formação da PC1. Os ácidos graxos láurico, palmítico e esteárico foram determinantes para a separação dos cafés na PC1, entretanto, apenas o ácido láurico se correlacionou de forma inversa à nota sensorial (apresentando escore negativo), destacando a amostra CD20 com elevadores teores (Figura 24, Tabela 18).

Para a formação da PC2, observa-se que os ácidos graxos oleico, linoleico e araquídico apresentam forte correlação, no entanto, apenas o ácido graxo linoleico apresenta correlação positiva com a nota sensorial. Os ácidos linolênico, palmitoleico e mirístico foram explicados pela PC3.

3.2.3 Bioativos e sacarose (processamento: natural)

Na Tabela 19 apresentam-se os teores dos compostos bioativos para as amostras de cafés naturais do ano de 2014, junto ao teor de sacarose nos grãos crus de café arábica.

Tabela 19 - Valores médios encontrados para os compostos bioativos (trigonelina, cafeína, 5-ACQ) e sacarose para os cafés naturais do ano de 2014.

Amostra	Trig	5-ACQ	Cafeína	Sacarose
N1	1,00	2,12	1,31	7,90
N2	0,91	2,72	1,16	7,45
N3	0,99	3,01	1,33	8,25
N4	0,98	3,05	1,35	6,85
N5	0,96	2,96	1,34	7,55
N6	0,93	2,91	1,26	7,15
N7	0,89	2,75	1,17	7,00
N8	0,85	2,74	1,22	7,55
N9	0,98	3,15	1,38	7,70
N10	0,91	2,77	1,32	6,90

*Os teores de sacarose, trigonelina e ácido 5-cafeoilquínico (5-ACQ) estão expressos em $\text{g}/100\text{g}^{-1}$ de matéria seca.

Os valores médios em $\text{g}.100\text{g}^{-1}$, mínimos e máximos obtidos para os compostos cafeína (1,17-1,38), trigonelina (0,85-1,0), 5-ACQ (2,12-3,15) e sacarose (6,85-8,25) estão próximos da faixa esperada para grãos crus de café arábica (Tabela 19).

O interesse em se estudar os compostos bioativos presentes nos alimentos está relacionado à sua capacidade antioxidante, que tem como principal função prevenir o dano oxidativo às células vivas. Diferentes constituintes do café têm sido sugeridos como antioxidantes presentes na bebida, tais como os ácidos clorogênicos, a trigonelina e a cafeína.

Para estudar os compostos bioativos (cafeína, trigonelina e 5-ACQ), foi realizada uma análise multivariada dos dados (Figuras 28 e 30). Os mapas de

fatores individuais explicitam a dispersão das amostras de cafés naturais em função dos compostos bioativos e sacarose do ano de 2014 (Figuras 29 e 31).

Figura 28 - Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo natural, em função dos compostos bioativos e sacarose, para cafés do ano de 2014.

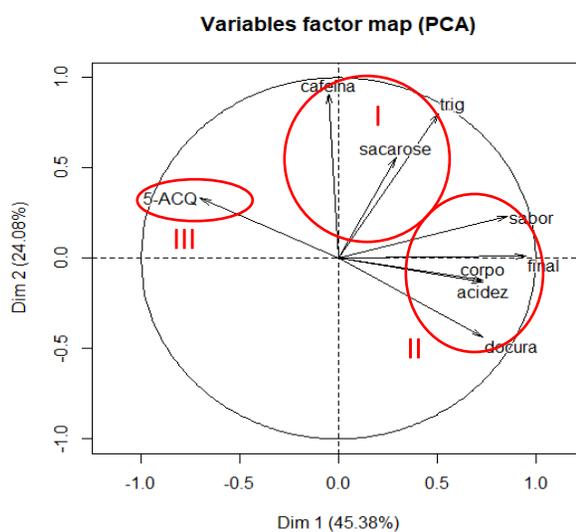


Figura 29 - Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 10 amostras de café natural do ano de 2014.

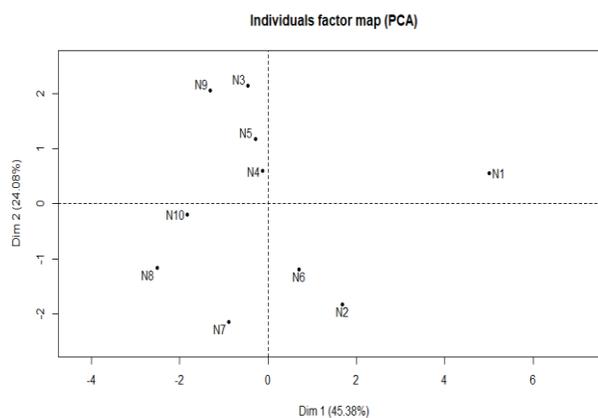


Figura 30 - Biplot do terceiro e do quarto componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo natural, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos, para cafés de 2014.

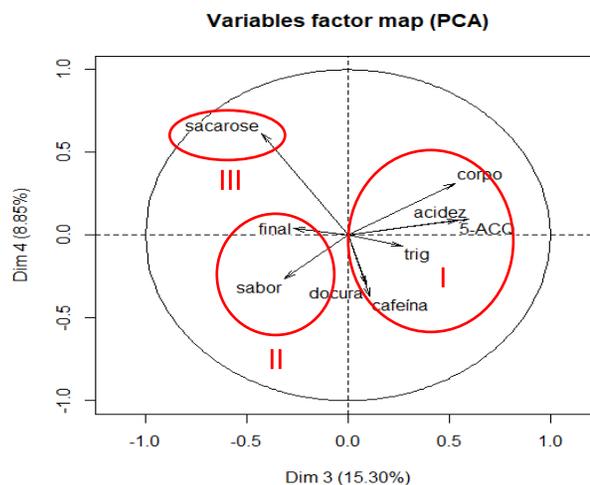
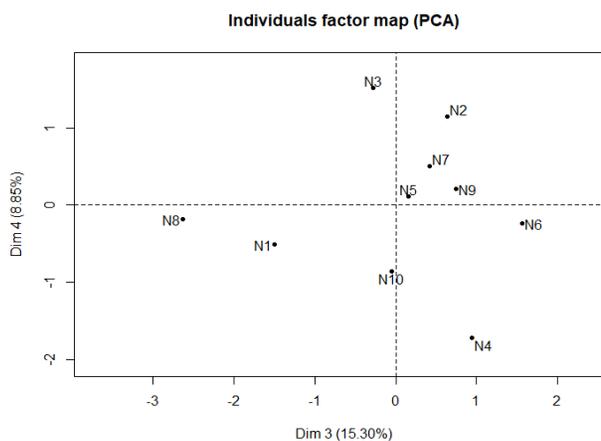


Figura 31 - Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 10 amostras de café natural do ano de 2014.



Os biplots foram obtidos de acordo com a dispersão dos escores dos quatro primeiros componentes principais dos eixos, sendo o primeiro componente o de maior variância explicada (45,38%), seguido pelo segundo (24,08%) e assim por diante. Os componentes 3 e 4 explicaram 15,30% e 8,85%, respectivamente.

Os quatro primeiros componentes principais explicaram 93,61% para os cafés naturais de 2014 (Figuras 28 e 30), sendo possível observar quais as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos formados.

A nota sensorial final se correlaciona com o grupo II, assim como os atributos sensoriais. Em destaque, observa-se a amostra N1 com maior nota final. Em contrapartida, observou-se o 5-ACQ se correlacionando negativamente com os atributos sensoriais e a nota final. O grupo I foi influenciado por altos teores de cafeína, sacarose e trigonelina. O grupo II não foi influenciado por nenhum composto bioativo.

Tabela 20 - Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.

Parâmetros	Dim.1 (45,38%)	Dim.2 (24,08%)	Dim.3 (15,30%)	Dim.4 (8,85%)
Final	0,95	0,01	-0,27	0,04
trig	0,51	0,80	0,27	-0,07
5-ACQ	-0,70	0,33	0,55	0,09
Cafeína	-0,05	0,91	0,11	-0,37
Sacarose	0,29	0,56	-0,42	0,61
Acidez	0,73	-0,13	0,60	0,10
Corpo	0,74	-0,12	0,53	0,31
Sabor	0,86	0,23	-0,31	-0,26
Doçura	0,73	-0,43	0,09	-0,30

Estudando a correlação entre os parâmetros (Tabela 20), observa-se que foram determinantes para a formação da PC1 a nota final, o 5-ACQ e os atributos acidez, corpo, sabor e doçura. Neste estudo, apenas o 5-ACQ correlacionou-se de forma inversa com a nota sensorial; todos os outros compostos contribuíram positivamente para o aumento da qualidade (PC1). Ou seja, cafés elevados teores de 5-ACQ apresentam menor qualidade sensorial.

O resultado condiz com dados encontrados na literatura, em que vários estudos associam a baixa qualidade do café às concentrações totais de ácidos clorogênicos, principalmente em relação ao 5-ACQ (FRANÇA et al. 2005).

Já para a formação da PC2 foram determinantes os compostos trigonelina, cafeína e sacarose, todos correlacionados positivamente com a nota sensorial final.

3.2.4 Bioativos e sacarose (processamento: cereja descascado)

Os valores médios, em $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$, mínimos e máximos obtidos para os compostos cafeína (1,13-1,59), trigonelina (0,88-1,35), 5-ACQ (2,06-4,16) e sacarose (6,25-9,0) estão próximos da faixa esperada para grãos crus de café arábica (Tabela 21). Os mapas de fatores individuais explicitam a dispersão das amostras de cafés naturais, em função dos compostos bioativos e sacarose, do ano de 2014 (Figuras 33 e 35).

Tabela 21 - Valores médios encontrados para os compostos bioativos (trigonelina, cafeína e 5-ACQ) e teor de sacarose para os cafés cereja descascados do ano de 2014.

Amostra	Trig	5-ACQ	Cafeína	Sacarose
CD11	0,88	2,38	1,13	6,85
CD12	0,96	2,54	1,28	7,85
CD13	0,98	2,93	1,33	6,25
CD14	0,91	3,74	1,31	6,60
CD15	1,13	3,26	1,59	7,10
CD16	1,07	4,16	1,45	8,45
CD17	1,35	3,45	1,33	6,80
CD18	1,15	3,30	1,58	7,35
CD19	1,09	2,79	1,50	8,95
CD20	0,97	2,06	1,25	9,00

*Os teores de sacarose, trigonelina (Trig) e ácido 5-cafeoilquínico (5-ACQ) estão expressos em $\text{g}/100\text{g}^{-1}$ de matéria seca.

Inúmeros trabalhos tentam correlacionar a composição química do grão com a qualidade final da bebida do café, sugerindo que cafés de qualidade inferior apresentam menores teores de açúcares e maiores teores de compostos

fenólicos, porém, os resultados ainda não são conclusivos (Pinto et al., 2001, Abrahão et al. 2010).

Figura 32 - Biplot dos dois primeiros componentes principais para dados de 10 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos para cafés de 2014.

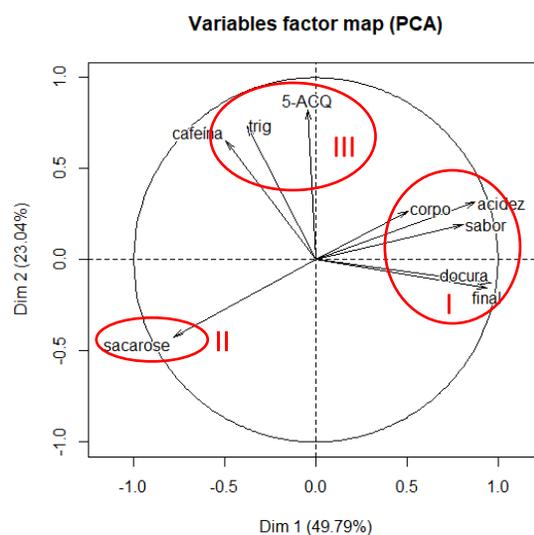


Figura 33 - Mapa do fator individual das dimensões 1 e 2, para 10 amostras de café cereja descascado do ano de 2014.

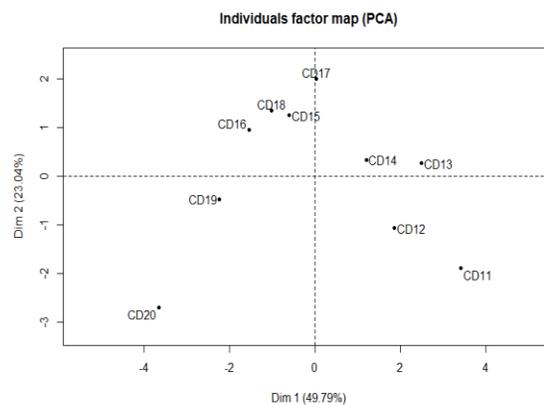


Figura 34 - Biplot do terceiro e do quarto componente principal para dados de 10 amostras de café tipo cereja descascado, em função da nota final, dos atributos sensoriais e dos ácidos graxos para cafés de 2014.

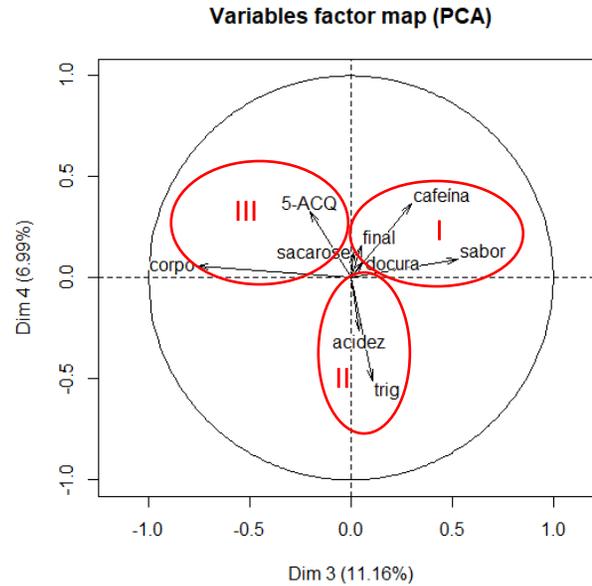
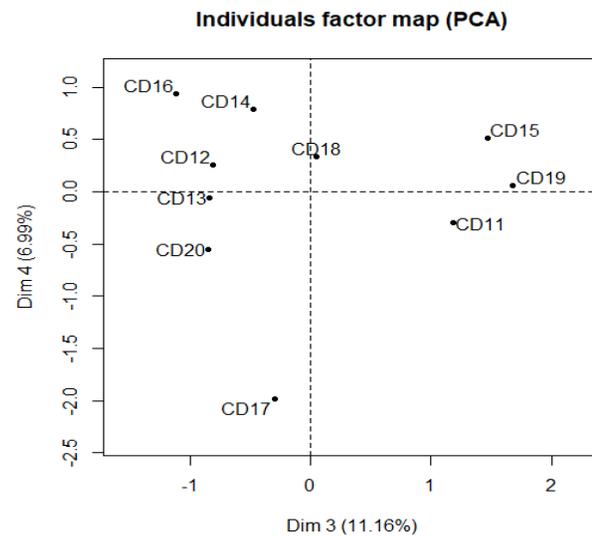


Figura 35 - Mapa do fator individual das dimensões 3 e 4, para 10 amostras de café cereja descascado do ano de 2014.



Os biplots foram obtidos de acordo com a dispersão dos escores dos quatro primeiros componentes principais dos eixos, sendo o primeiro componente o de maior variância explicada (49,79%), seguido pelo segundo (23,04%) e assim por diante. Os componentes 3 e 4 explicaram 11,16% e 6,99%, respectivamente. Os quatro primeiros componentes principais explicaram 90,98% para os cafés cereja descascados (Figuras 32 e 34), sendo possível observar quais as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos formados.

A nota sensorial final se correlaciona com o grupo I e está associada com os atributos sensoriais, significativamente com a doçura. A doçura, segundo Nobre et al. (2011), está relacionada ao teor de açúcar nos grãos e, conseqüentemente, à qualidade sensorial da bebida que, segundo Campa et al. (2004), dependem do estágio de maturação dos frutos, da espécie e do local de cultivo. Em contrapartida observara-se o grupo II se correlacionando negativamente com os atributos sensoriais e a nota final, e positivamente com altos teores de sacarose. O grupo III foi discriminado pelos compostos bioativos.

Analisando-se as correlações entre os parâmetros (Tabela 22), observa-se que os atributos sensoriais acidez, sabor e doçura, sacarose e a nota final foram determinantes para a formação da PC1. Entretanto, elevados valores de sacarose correlacionam-se com menores notas sensoriais, uma vez que apresentaram escore negativo, ou seja, no sentido contrário ao da nota final.

Tabela 22 - Correlações dos parâmetros avaliados para os quatro primeiros componentes principais.

Parâmetros	Dim.1 (49,79%)	Dim.2 (23,04%)	Dim.3 (11,16%)	Dim.4 (6,99%)
Final	0,94	-0,15	0,05	0,16
Trig	-0,38	0,74	0,11	-0,51
5-ACQ	-0,05	0,82	-0,20	0,33
Cafeína	-0,49	0,65	0,30	0,37
Sacarose	-0,78	-0,42	0,02	0,13
Acidez	0,88	0,32	0,04	-0,26
Corpo	0,51	0,27	-0,76	0,06
Sabor	0,81	0,19	0,53	0,09
Doçura	0,96	-0,12	0,06	0,08

A cafeína é o composto mais conhecido do café, apresentando um amargor característico e estabilidade térmica. Entretanto, não existe uma clara definição de sua participação sensorial na bebida do café (NOGUEIRA et al., 2003).

Em relação ao teor de sacarose, era esperado encontrar correlação positiva com cafés de melhor qualidade sensorial (FIGUEIREDO, 2013), uma vez que esse açúcar está presente em maior quantidade nos grãos. Contudo, assim como no trabalho de Fassio et al. (2017), maiores teores desse composto se correlacionaram a cafés de pior qualidade sensorial.

Para a formação da PC2 foram determinantes os compostos bioativos que se correlacionaram de forma negativa com a nota final.

Em um estudo abordando compostos não voláteis em cafés arábica da região Sul de Minas foram avaliadas as concentrações dos compostos trigonelina, ácido clorogênico e cafeína após a torração dos grãos. Para todos os padrões de bebida analisados (bebida mole, dura e rio), o ponto de torração utilizado foi um fator importante nas concentrações de trigonelina e 5-ACQ. As torrações mais acentuadas promoveram uma maior degradação desses compostos, enquanto a torração clara promoveu degradação apenas do ácido

clorogênico. A degradação da cafeína não ocorreu em nenhum ponto de torração estudado (RODARTE et al.2009). Apenas o atributo corpo foi explicado pela terceira dimensão.

A correlação dos conteúdos dos compostos bioativos e o teor de sacarose apresentaram variações em relação à qualidade sensorial da bebida e foram diferentes nos dois processamentos estudados, indicando não ter sido um bom parâmetro para a discriminação dessas amostras, uma vez que foram influenciados por fatores ambientais, métodos de colheita, tipo de processamento, armazenamento e torração.

4 CONCLUSÃO

Para os cafés naturais do ano de 2013, a nota final foi explicada pela PC4 e não foi influenciada positivamente por nenhum ácido graxo e se correlacionou de forma inversa com o ácido linolênico. Para os cafés cereja descascados, a nota final foi explicada também pela CP4, entretanto, não se correlacionou com nenhum ácido graxo. O ácido palmítico se correlacionou de forma negativa com a nota e o ácido behênico de forma positiva na PC3.

Analisando-se os compostos bioativos para os cafés naturais, verificou-se que a nota final não foi influenciada positivamente por nenhum dos compostos analisados. Elevados teores de trigonelina apontam para notas mais elevadas. Para os cafés cereja descascados, a nota foi influenciada pelos atributos doçura, acidez e sacarose, e negativamente pela cafeína.

Os cafés naturais do ano de 2014, foram influenciados positivamente pelo teor do ácido graxo oleico e atributos sensoriais corpo, acidez, doçura e sabor, e negativamente pelo ácido linolênico. Os cafés cereja descascados foram influenciados positivamente pela presença do ácido esteárico e palmítico e pelos atributos acidez, sabor, doçura e corpo, e negativamente pelo ácido láurico.

Estudando os compostos bioativos, para os cafés naturais, a nota final foi influenciada positivamente pelos atributos sensoriais, e negativamente pelo 5-ACQ. Elevados teores de trigonelina, cafeína e sacarose apontam para notas mais elevadas. Para os cafés cereja descascados a nota final se correlacionou positivamente com os atributos sensoriais e negativamente com a sacarose.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, S. A. et al. Coffee (*Coffea arabica* L.) bioactive compounds and antioxidant activity. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 414-420, mar./abr., 2010
- ARAUJO, F. A. **Café (Coffea Arabica, L.) submetido a diferentes condições de torrefação**: caracterização química e avaliação da atividade antioxidante e sensorial, 2007, 130 p. Tese (doutorado). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, USP, 2007.
- BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - BSCA. **O que são cafés especiais?** Disponível em: <<http://bsca.com.br/cafes-especiais.php>>. Acesso em: 10 Jun. 2017.
- CAMPA, C.; BALLESTER, J. F.; DOULBEAU, S.; DUSSERT, S.; HAMON, S.; NOIROT, M. Trigonelline and sucrose diversity in wild *Coffea* species. **Food Chemistry**, Washington, v. 88, p. 39-43, Jan. 2004.
- CASAL, S.; OLIVEIRA, M. B.; FERREIRA, M. A. HPLC/diode-array applied to the thermal degradation of trigonelline, nicotinic acid and caffeine in coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v.68, n.4, p.481-485, Mar.2000.
- CHRISTIE, W. W. Gas Chromatography and Lipids, Pergamon Press: Oxford, 1989. Disponível em:< <http://bsca.com.br/> >.Acesso em: 02 maio. 2017.
- CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M. N. **Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverages**, Croom Helm., London, UK: p.305-374, 1985.
- DIAS, E. C. et al. Processamento do café imaturo: efeito no perfil dos ácidos graxos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. VII, 2011, Araxá. **Anais eletrônicos**. Araxá- MG.
- FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, London, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.
- FASSIO, L. O. et al. Sensory Profile and Chemical Composition of Specialty Coffees from Matas de Minas Gerais, **Brazil. Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 9, n. 9, 2017.

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

FERREIRA, G.F.P. **Avaliação da qualidade física, química, sensorial e da composição fúngica de grãos de cafés beneficiados**. 2010, 119p . Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2010.

FIGUEIREDO, L. P. **Abordagem sensorial e química da expressão de genótipos de Bourbon em diferentes ambientes**. 2013. 128p Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FIGUEIREDO L. P. et al. Fatty acid profiles and parameters of quality of specialty coffees produced in different Brazilian regions. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v. 10, n. 35, p. 3484-3493, 2015.

FRANÇA, A. S. et al. Physical and chemical attributes of defective crude and Roasted coffee beans. **Food Chemistry**, Washington, 90, p. 89-94, 2005.

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, California, 2011. 66p.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R. Avaliação de compostos não voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 57-61, 2009.

MAZZAFERA, P.; CARVALHO, A. Breeding for low seed caffeine content of coffee (*Coffea L.*) by interspecific hybridization. **Euphytica**, Wageningen, v. 59, p.55-60, Jan. 1991.

NOBRE, G. W. et al. Composição química de frutos imaturos de café arábica (*coffea arabica* l.) processados por via seca e via úmida. **Coffee science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 107-113, maio/ago. 2011.

NOGUEIRA, M.; TRUGO, L. C. Distribuição de isômeros de ácido clorogênico e teores de cafeína e trigonelina em cafés solúveis brasileiros. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 296-299, maio/ago., 2003.

NUNES, C.A. et al. Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. **J. Braz. Chem. Soc.** Campinas, v. 23, n. 11, p. 2003-2010, 2012.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Agrometeorological parameters for prediction on the maturation period of Arabica coffee cultivars. **International Journal of Biometeorology**, Holanda, v. 56, n. 5, p. 843-851, 2012.

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.

RODARTE, M. P. et al. Compostos não voláteis em cafés da região Sul de Minas submetidos a diferentes pontos de torração. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1366-1371, set./out., 2009.

RODRIGUES, N. P.; BRAGAGNOLO, N. Identification and quantification of bioactive compounds in coffee brews by HPLC-DAD-MSn. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 32, n. 2, p. 105-115, 2013.

SIQUEIRA, H. H.; ABREU, C. M. P. Physical-chemical composition and quality of coffee submitted to two roasting procedures and to different methods of preparation. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 112-117, jan./fev., 2006.

VIDAL, H.M. **Composição lipídica e a qualidade do café (Coffea arábica L.) durante armazenamento**. 2001, 93 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

VITORINO, M. D. et al. Metodologias de obtenção de extrato de café visando a dosagem de compostos não voláteis. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 17-24, 2001.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DE REGRESSÃO DE COMPONENTES PRINCIPAIS DE CAFÉS ESPECIAIS DO SUL DE MINAS GERAIS

1 INTRODUÇÃO

Estudar a relação entre a composição química, os atributos sensoriais e a qualidade final do café é um processo complexo e requer a aplicação de técnicas estatísticas complementares. Os resultados podem ser úteis no controle de qualidade do produto ou predizendo atributos importantes para que um café apresente elevadas notas sensoriais, direcionando-os para mercados específicos, onde possam apresentar um diferencial.

Para isso, pesquisadores vêm desenvolvendo modelos estatísticos preditivos que sejam capazes de prever a nota final de uma bebida diante do conhecimento da composição química do grão de café e alguns de seus atributos sensoriais. Nesse contexto, o modelo de regressão por componentes principais (PCR) tem sido uma alternativa para investigar a relação entre essas variáveis, pois há diversas variáveis correlacionadas entre si que pretendem explicar o comportamento de uma variável resposta.

A análise de regressão estuda o relacionamento entre uma variável dependente e outras variáveis, chamadas independentes ou explicativas. O algoritmo utilizado na PCR promove a análise de componentes principais em sua primeira etapa e, em seguida, regressa os componentes no intuito de explicar a variável resposta de interesse – neste caso, a nota final do café. Outro modelo utilizado como ferramenta para a discriminação de amostras e na correlação com a qualidade sensorial do café são os chamados gráficos de contorno. Trata-se de representações gráficas multidimensionais que permitem a identificação das

unidades amostrais e as direções de aumento e diminuição da variável resposta, e como as variáveis explicativas se relacionam com as mesmas.

A PCR surge como alternativa para evitar a multicolinearidade típica em variáveis sensoriais, reduzindo a quantidade de ruído inserida no modelo matemático final. Além disso, pode, por meio dessa análise, fazer uma analogia com o mapa de preferência intitulado “Coffee score mapping”. Esse estudo gerou um subproduto que é a função R que pode ser disponibilizada ao usuário.

Neste contexto, o objetivo, neste trabalho, foi correlacionar variáveis químicas à qualidade sensorial da bebida de cafés especiais finalistas dos concursos de qualidade do Sul de Minas nos anos de 2013 e 2014, via regressão de componentes principais e superfícies de resposta.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas 40 amostras de café arábica (*Coffea arabica* L.) finalistas do X Concurso de Qualidade de Cafés do Sul de Minas do ano de 2013 (os 20 melhores cafés naturais e os 20 melhores cafés cerejas descascados) e 20 amostras finalistas do XI concurso de Qualidade de Cafés do Sul de Minas de 2014 (os 10 melhores naturais e os 10 melhores cereja descascados). As amostras foram cedidas pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER-MG).

A codificação das amostras, o tipo de processamento, os dados de localização (município) e a nota sensorial de cada uma das amostras estão apresentados na Tabela 23. Trabalhou-se apenas com grãos crus. As análises foram feitas em triplicata.

Tabela 23 - Amostras avaliadas no concurso de Qualidade de Cafés de Minas Gerais, com seus respectivos locais de cultivo e tipo de processamento, no ano de 2013.

Amostra	Tipo de processamento	Município	Nota
N1	Natural	Cássia	84,36
N2	Natural	São Tomaz de Aquino	82,73
N3	Natural	Poços de Caldas	82,90
N4	Natural	São Sebastião do Paraíso	84,00
N5	Natural	São Gonçalo do Sapucaí	81,70
N6	Natural	Monte Belo	87,00
N7	Natural	Santo Antônio do Amparo	84,50
N8	Natural	Carmo de Dias	84,50
N9	Natural	Santo Antônio do Amparo	84,50
N10	Natural	Poço Fundo	87,91
N11	Natural	Fortaleza de Minas	87,00
N12	Natural	Campanha	84,64
N13	Natural	São Gonçalo do Sapucaí	83,64
N14	Natural	Varginha	83,64
N15	Natural	Cristina	83,60
N16	Natural	Boa Esperança	83,46
N17	Natural	Conceição das Pedras	83,40
N18	Natural	Heliadora	83,40
N19	Natural	Santa Rita do Sapucaí	83,36
N20	Natural	Luminárias	83,30
CD21	CD	Carmo de Minas	85,54
CD22	CD	Carmo de Minas	85,37
CD23	CD	Poços de Caldas	81,42
CD24	CD	Carmo de Minas	82,60
CD25	CD	Carmo de Minas	85,36
CD26	CD	Carmo de Minas	84,92
CD27	CD	Carmo de Minas	85,18
CD28	CD	Carmo de Minas	85,46
CD29	CD	Carmo de Minas	84,18
CD30	CD	Carmo de Minas	84,82
CD31	CD	Carmo de Minas	85,09
CD32	CD	Virgínia	85,00
CD33	CD	Carmo de Minas	84,17
CD34	CD	Carmo de Minas	84,10
CD35	CD	Ilicínea	84,00
CD36	CD	Dom Viçoso	83,90
CD37	CD	Baependi	83,70
CD38	CD	Soledade de Minas	83,67
CD39	CD	Cristina	83,67
CD40	CD	Cristina	83,40

CD = tipo de processamento cereja descascado

Tabela 24 - Dados do tipo de processamento, localização (município) e a nota sensorial das amostras finalistas do Concurso de Cafés do Sul de Minas Gerais, referentes a 2014.

Amostras	Tipo de processamento	Município	Nota
N1	Natural	Guaxupé	88,91
N2	Natural	Poços de Caldas	85,64
N3	Natural	Guaxupé	84,73
N4	Natural	Ilicínea	84,46
N5	Natural	Conceição do Rio Verde	84,27
N6	Natural	Monte Belo	84,18
N7	Natural	Conceição das Pedras	84,18
N8	Natural	Conceição das Pedras	83,55
N9	Natural	Campos Gerais	83,18
N10	Natural	Campos Gerais	82,91
CD11	CD	Carmo de Minas	88,36
CD12	CD	Conceição do Rio Verde	88,27
CD13	CD	Santo Antônio do Amparo	87,18
CD14	CD	Carmo de Minas	85,36
CD15	CD	Nova Resende	84,46
CD16	CD	Guaxupé	83,73
CD17	CD	Poços de Caldas	83,64
CD18	CD	Machado	83,64
CD19	CD	Três Pontas	83,64
CD20	CD	Areado	81,27

CD = tipo de processamento cereja descascado

A nota final, proveniente da avaliação sensorial das amostras de café, foi modelada como sendo função de ácidos graxos (palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico, araquídico, behenico, láurico e mirístico), compostos bioativos (trig, 5-ACQ, cafeína), teor de sacarose e atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor, doçura). Tal modelagem foi feita de forma análoga para os anos de 2013 e 2014.

Como primeiro passo, foi feita a análise de componentes principais (JOHNSON; WICHERN, 2014) para modelar a matriz de correlação das 15 variáveis explicativas para os cafés de 2013 (sete ácidos graxos, quatro compostos bioativos e quatro atributos sensoriais) e de 17 variáveis explicativas

para os cafés de 2014 (nove ácidos graxos, quatro compostos bioativos e quatro atributos sensoriais). Foram retidos os seis primeiros componentes principais, ao se verificar que eram responsáveis pela explicação por mais de 75% da variabilidade dos dados.

De posse dos mais importantes componentes para explicar a estrutura de covariância dos dados foi ajustada uma superfície de resposta para prever a nota geral das amostras de café. Foi utilizado o método *backward* de ajuste de modelos lineares de regressão (DRAPER; SMITH, 1998), o qual, de posse do modelo geral (eq 1), obtinha o modelo encaixado com maior capacidade de explicar a nota final utilizando o menor número de graus de liberdade. Tal escolha é feita pelo critério de informação de Akaike (AIC).

O modelo a seguir é o modelo completo, a partir do qual era obtido o melhor modelo menor ou igual a ele.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 CP_1 + \beta_2 CP_2 + \beta_3 CP_3 + \beta_4 CP_4 + \beta_5 CP_5 + \beta_6 CP_6 + \varepsilon \quad (1)$$

em que Y é a nota final dada a uma amostra de café; β_i é o intercepto e os coeficientes dos componentes principais, com $i = 1, 2, \dots, 6$; CP_i é o i -ésimo componente principal e ε é o erro aleatório assumido normal, com média zero e variância constante.

Para o modelo escolhido foi calculado o coeficiente de determinação (R^2), para contabilizar quanto da variabilidade total dos dados era possível ser explicada pelo modelo de regressão. A análise de variância do modelo de regressão (ANAVA) foi realizada para verificar a importância de cada termo do modelo resultante.

Por fim, foram construídos gráficos de cargas (*loadings*) para os componentes principais retidos no modelo de regressão e um mapa de

explicação das notas finais (superfície de resposta) com os escores das amostras analisadas. Tais amostras foram numeradas de N1 a N20 e de CD1 a CD20, para denotar os 20 melhores de cafés naturais e cereja descascados, respectivamente, em 2013. Numeração análoga foi adotada para os 10 melhores cafés naturais e cerejas descascados de 2014.

Todas as análises estatísticas e gráficos foram feitas no software R (R CORE TEAM, 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

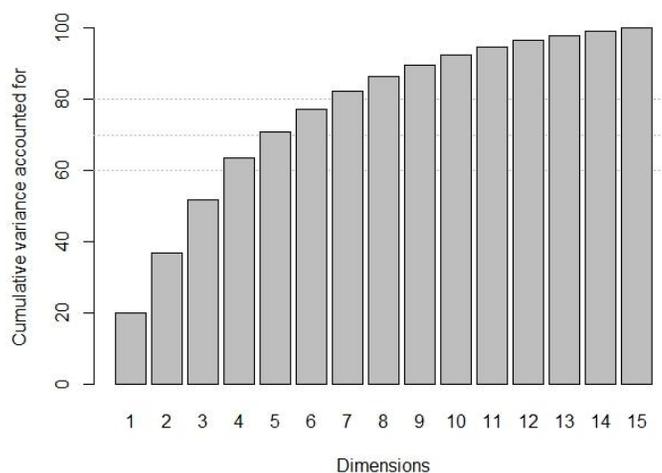
O estudo intitulado “Coffee Score Mapping” aborda a aplicação inovadora de técnicas estatísticas já existentes, a fim de separar o ruído e concentrar a informação em variáveis independentes (PCA), explicar a nota final da bebida por meio desses componentes principais, determinando o melhor modelo pelo procedimento *backward*, critério de Akaike e análise de variância, e apresentação da informação final em superfícies de resposta (mapas) com curvas de nível que permitem a descrição do cenário.

Coffee Score Mapping

3.1 Ano: 2013

Os resultados a seguir expressam a proporção da variação total dos dados explicada por cada componente principal para os cafés naturais e cereja descascados no ano de 2013 (Figura 36).

Figura 36 - Gráfico da proporção da variabilidade explicada por componentes principais - cafés de 2013.



A análise de componentes principais proporcionou a transformação das quinze variáveis explicativas originais em quinze variáveis latentes independentes, ordenadas por importância. De acordo com os resultados, para os cafés de 2013, têm-se 20% da variabilidade dos dados sendo explicados pela PC1 e aproximadamente 18% pelo PC2, sendo necessários seis componentes principais para explicar mais de 75% da variabilidade dos dados. Sendo assim, os seis primeiros componentes foram retidos e os demais foram desprezados, considerados ruídos. A ideia da análise foi fazer uma regressão desses componentes principais mais importantes (informação) para explicar a nota final do café. Além disso, o método de *backward* selecionou o melhor modelo possível, utilizando como ponto de partida o modelo completo de seis componentes.

O método *backward*, utilizando o critério de Akaike, forneceu o seguinte modelo ajustado para explicar a nota final do café (Y):

$$Y = 84,5 + 0,63CP1 + 0,57CP3 + 0,43CP4$$

em que CP1, CP3 e CP4 são os componentes principais retidos no modelo por serem importantes para seu poder de explicação.

A nota final do café pode ser explicada de forma significativa pelos componentes 1 (valor-p = 10^{-10}), 3 (valor-p = 4×10^{-8}) e 4 (valor-p = 6×10^{-5}), com coeficiente de determinação de, aproximadamente, 0,80.

Os componentes 2, 5 e 6 não foram considerados importantes para o modelo de regressão, ou seja, essas dimensões pouco contribuem para explicar a nota final. O procedimento *backward* testa diversas combinações de variáveis e detecta qual vale a pena ser retirada do modelo, por meio do critério de Akaike e testes de razão de verossimilhança. Os componentes 2, 5 e 6 não foram significativos e, além disso, o modelo fica melhor sem eles.

Figura 37 - Espaço de variáveis dos atributos sensoriais, compostos bioativos e ácidos graxos encontrados nos componentes 1 e 2, para os cafés de 2013.

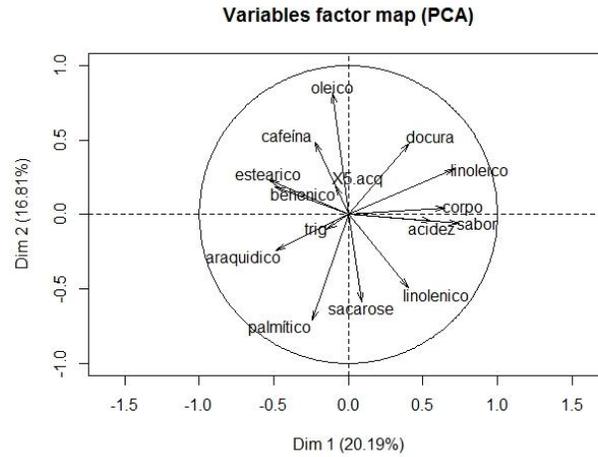
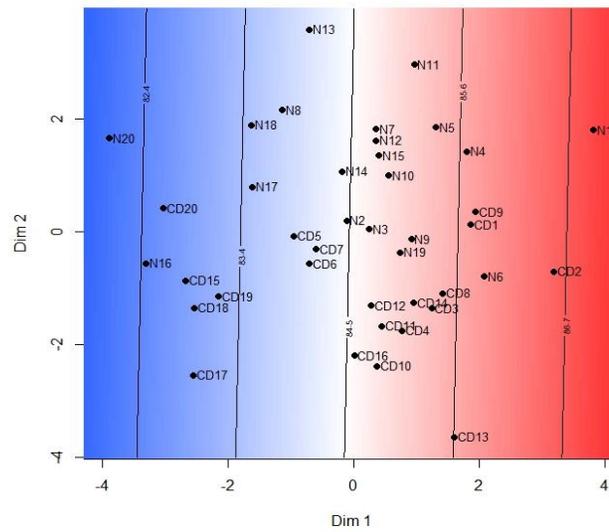


Figura 38 - Gráfico de contorno dos componentes 1 e 2, para os cafés naturais e cereja descascados, no ano de 2013.



Os gráficos do espaço de variáveis e contorno são complementares, devendo ser avaliados conjuntamente (Figuras 37 e 38). O primeiro contém as variáveis originais (explicativas) que foram comprimidas em componentes principais. O segundo apresenta as relações existentes entre as amostras e a variável resposta de interesse (no caso, a nota final do café).

A curva de nível identifica os valores dos fatores para os quais a variável resposta é constante. Neste caso, a análise tenta explicar a variação das notas finais dos cafés por meio das cores e das curvas de nível. Com base nos resultados, observa-se que, quanto mais para direita, maiores notas (vermelho), destacando-se N1 e CD2, e, mais para a esquerda, menores notas (azul), destacando-se N20, N16 e CD20.

Nos componentes 1 e 2 os atributos acidez, corpo, doçura e sabor estão correlacionados positivamente com notas mais elevadas. Em destaque observa-se uma correlação entre os ácidos linoleico e/ou linolênico com as maiores notas finais (todos no primeiro quadrante das Figuras 37 e 38). Ou seja, cafés com qualidade superior têm maior teor de ácido linoleico e/ou linolênico. Entretanto, devido à presença de insaturações em sua composição, estão altamente susceptíveis à oxidação. Injúrias ou danos aos grãos podem causar a oxidação desses ácidos, levando à formação de aldeídos indesejáveis ao sabor.

Segundo Vidal (2001), os ácidos graxos insaturados estão relacionados à formação de aldeídos, como 2-enais; a degradação deste composto influencia negativamente a qualidade do café. Foi observada uma redução no conteúdo do C18:2, oxidado durante a estocagem. No processo de oxidação, vários compostos voláteis são gerados, contribuindo com o *off-flavour*.

Segundo dados encontrados na literatura, um parâmetro estrutural importante para um ácido graxo é a quantidade de ligações duplas que a molécula apresenta. A presença de ligações duplas influencia as propriedades físicas dos ácidos graxos. Quanto maior é o número de ligações

duplas da molécula, mais baixo é o ponto de fusão, e maior a possibilidade de sofrer oxidação. Os ácidos insaturados, como C18:1, C18:2 e C18:3, são bastante suscetíveis a reações de degradação, diminuindo sua porcentagem no óleo durante o armazenamento (Vidal, 2001).

As reações oxidativas de ácidos graxos dão origem a uma série de implicações adversas na indústria de alimentos, devido, principalmente, à produção de compostos voláteis indesejáveis (como álcoois, cetonas e ésteres). Estes compostos promovem alterações sensoriais, como também destruição de constituintes essenciais (como, por exemplo, os ácidos graxos linoleico e linolênico), ocasionando o decréscimo do valor nutricional dos alimentos.

Segundo Lindley (1998), a oxidação dos compostos inicia-se nos grãos crus e constitui a segunda maior causa de deterioração dos alimentos, provocando a rancidez que provoca perda de qualidade do produto, devendo, portanto, haver cuidados durante e após a colheita dos grãos.

Os cafés que têm elevados teores de ácidos araquídico (C20:0), palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0) estão relacionados com menores notas sensoriais (observados nas dimensões 1 e 2, com destaque para as amostras N20, CD20 e N16). Segundo Banks et al. (2007), a falta de equilíbrio no sabor nos alimentos está associada com baixos teores de ácidos graxos saturados.

Observa-se, com base nos resultados, que maiores teores de sacarose, assim como de ácidos oleico e palmítico, apontam para notas medianas. Além disso, notas sensoriais mais baixas apresentam altos teores de cafeína.

Cafés com maiores notas finais apresentaram maiores teores de ácidos linolênico e/ou linolênico e as menores notas se associaram à presença de ácidos graxos saturados, o que não era esperado, de acordo com a discussão do capítulo anterior.

Os compostos bioativos (5-ACQ, trigonelina) e o ácido behênico (C22:0) ficam mais evidentes quando observados os componentes 3 e 4 (Figura

39), os quais, provavelmente, foram responsáveis pela sua significância no modelo.

Figura 39 - Espaço de variáveis dos atributos sensoriais, compostos bioativos, ácidos graxos e sacarose nos componentes 3 e 4, para os cafés de 2013.

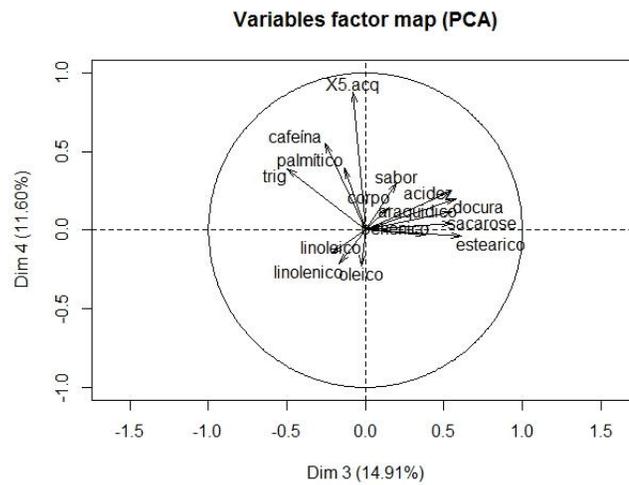
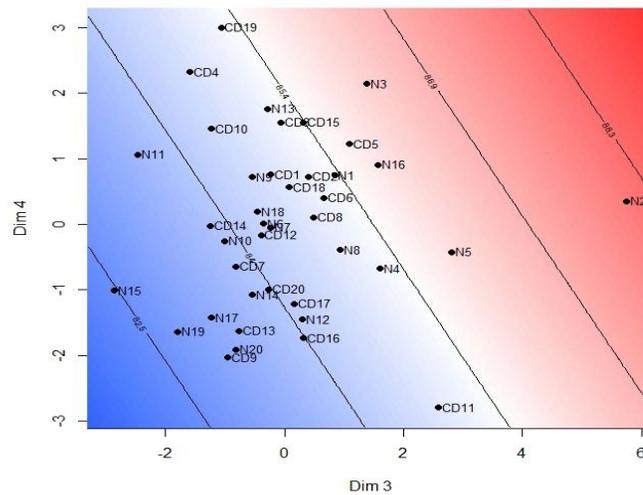


Figura 40 - Gráfico de contorno das componentes 3 e 4, para os cafés naturais e cereja descascados no ano de 2013.



Nessas dimensões, os compostos bioativos (trigonelina e 5-acq) e o ácido palmítico se correlacionaram com cafés com notas medianas, destacando, mais uma vez, os atributos sensoriais com correlação positiva à nota final. Quanto mais para cima à direita (primeiro quadrante), maior o teor dos atributos sensoriais (doçura, acidez e sabor) (Gráfico 12) e maior a nota final do café, destacando-se a amostra N2 (Figura 14) com alto teor do ácido esteárico. Altas notas sensoriais também se associam com elevados valores dos ácidos behênico e araquídico.

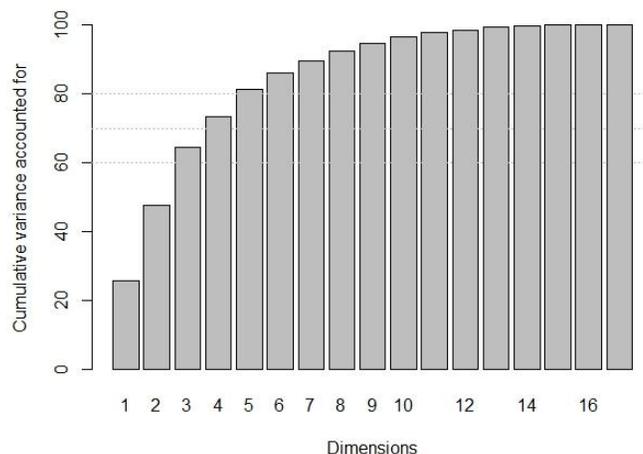
A determinação de atributos qualificadores de um produto e sua devida quantificação permitem a construção de superfícies de resposta que possibilitam a avaliação e a análise de soluções, bem como o desenvolvimento de novos produtos.

Para os componentes 3 e 4 (Figura 39), os resultados foram divergentes, principalmente para os cafés naturais, que apresentaram elevadas notas finais, como, por exemplo, N2, com alto teor de doçura, sacarose e acidez, assim como menor nota, N15, com elevados teores de ácidos graxos insaturados oleico, linoleico e linolênico. Já os cafés cereja descascados se concentraram nas notas medianas, com elevados teores de ácido palmítico e compostos bioativos.

3.2 Ano: 2014

Na Figura 41 correlaciona-se a quantidade da variância explicada por cada componente principal para os cafés naturais e cereja descascados no ano de 2014.

Figura 41 - Gráfico da proporção da variabilidade explicada por componentes principais, cafés de 2014.



Para os cafés do concurso de 2014, aproximadamente 30% da variância dos dados foram explicados pela PC1 e, aproximadamente, 10% pela PC2, sendo necessários seis componentes principais para explicar mais de 75% da variabilidade dos dados. O método proporcionou a redução de 17 variáveis explicativas para apenas seis componentes principais. Sendo assim, os seis primeiros componentes foram retidos e os demais foram desprezados, considerados ruídos.

O método *backward*, utilizando o critério de Akaike, forneceu o seguinte modelo ajustado para explicar a nota final do café (Y):

$$Y = 84,77 + 0,59CP1 + 0,29CP2 - 0,17CP3 + 0,23CP4 + 0,71CP5 + 0,72CP6$$

em que CP1, CP2, CP3, CP4, CP5 e CP6 são os componentes principais retidos no modelo por serem importantes para seu poder de explicação.

A nota final do café pode ser explicada de forma significativa pelos componentes 1 (valor-p = 5×10^{-5}), 2 (valor-p = 0,01874), 5 (valor-p = 1,623

$\times 10^{-3}$) e 6 (valor-p = $7,541 \times 10^{-3}$), com coeficiente de determinação de, aproximadamente, 0,85.

Os componentes 3 e 4 não foram considerados importantes para o modelo de regressão, ou seja, essas dimensões pouco contribuem para explicar a nota final. Embora as dimensões 3 e 4 não tenham sido significativas, o método *backward* entendeu que elas são importantes para o modelo e não as retirou. O modelo só conseguiu um $R^2 = 84,66\%$ pela presença de todas elas. Se for ajustado um modelo apenas com as dimensões 1, 2, 5 e 6, o modelo não teria esse poder de explicação (o R^2 seria bem menor), ou seja, as dimensões 3 e 4, embora não significativas, são importantes de estarem presentes para que as outras dimensões sejam significativas.

A significância de uma variável tem a ver com o coeficiente dela, se ela é estatisticamente igual a zero ou não. Outra coisa é o impacto dela no modelo. Algumas variáveis só são significativas na presença de outra devido à covariância, como observado acima.

A separação espacial das 20 amostras indica diferença nos atributos sensoriais e nos compostos químicos presentes nos grãos de cafés (Figuras 42 e 43).

Figura 42 - Espaço de variáveis dos atributos sensoriais, dos compostos bioativos e dos ácidos graxos dos componentes 1 e 2, para cafés de 2014.

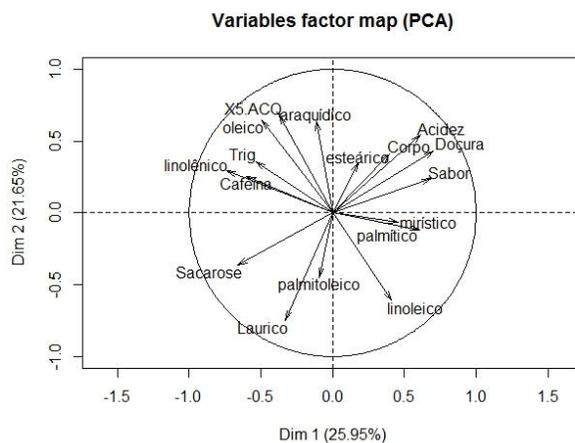
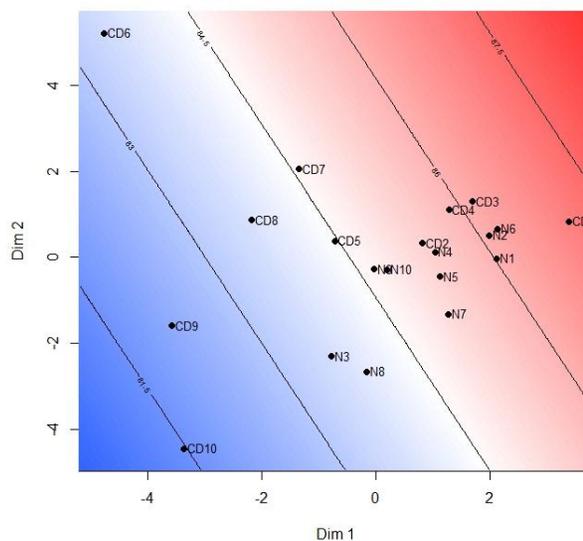


Figura 43 - Gráfico de contorno dos componentes 1 e 2, para os cafés naturais e cereja descascados de 2014.



Segundo os componentes 1 e 2 (Figura 42), os cafés com notas sensoriais mais elevadas apontam para elevados teores dos atributos sensoriais do ácido esteárico, destacando-se as amostras CD1, CD3 e CD4 (Figura 43) com as maiores notas finais.

Por outro lado, baixos valores das notas finais se correlacionam com altos valores dos ácidos palmitoleico e láurico e com alto teor de sacarose (o que não é esperado para cafés especiais, uma vez que altos teores de açúcares estão correlacionados com a doçura do café), destacando-se as amostras CD10 e CD9 com tipo de processamento cereja descascado.

O gráfico de contorno dos componentes 1 e 2 (Figura 43) para os cafés referentes ao concurso de 2014 apresenta uma maior linearidade entre as amostras com tipo de processamento natural, com notas medianas. Entretanto, observou-se, para as amostras de cafés cereja descascados, uma divergência nos resultados, uma vez que apresentaram a melhor e a menor nota ao mesmo tempo (CD1 e CD10).

Figura 44 - Espaço de variáveis dos atributos sensoriais e ácidos graxos nos componentes 5 e 6, para cafés de 2014.

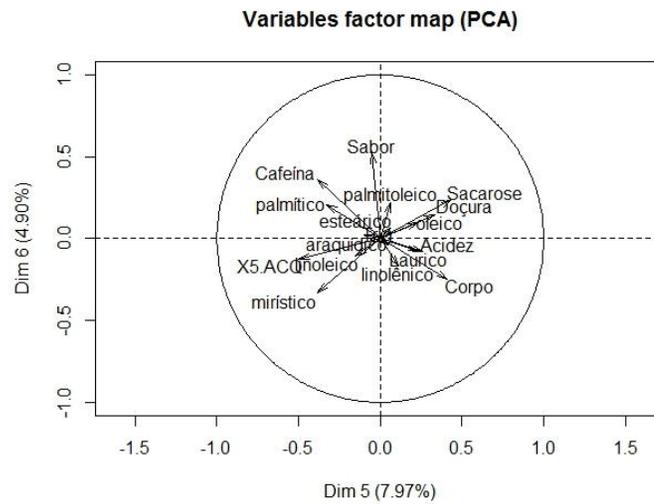
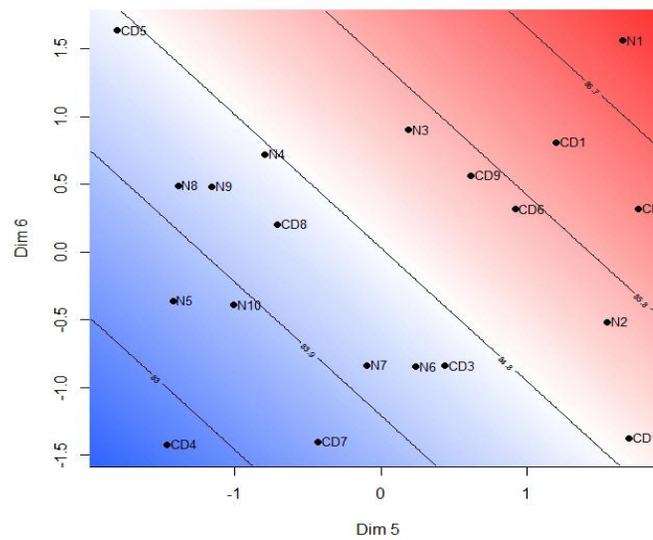


Figura 45 - Gráfico de contorno nos componentes 5 e 6, para os cafés naturais e cds de 2014.



Os compostos 5-ACQ e o teor de cafeína ficam mais evidentes quando observados os componentes 5 e 6 (Figura 44), os quais, provavelmente, foram responsáveis pela sua significância no modelo. A cafeína se correlaciona com notas medianas.

Altos valores de sacarose e doçura se correlacionaram com cafés com notas elevadas, assim como elevado teor do ácido oleico, com destaque para a amostra N1 (Figura 45).

O ácido linoleico, o mirístico e o 5-ACQ correlacionaram-se de forma negativa com a qualidade sensorial. Elevados valores desses compostos se associaram com menores notas finais, com destaque para amostra CD4.

O ácido linoleico é um ácido graxo essencial na dieta humana, entretanto, por se tratar de um ácido graxo insaturado, é altamente susceptível à oxidação, o que pode estar associado à baixa qualidade sensorial do café. Uma alimentação balanceada deve conter ácidos graxos essenciais necessários para manter os níveis saudáveis de lipídios no sangue, boa coagulação sanguínea e pressão arterial.

Estudando a composição lipídica e a qualidade do café durante o armazenamento, Vidal (2001) encontrou o ácido linoleico como principal ácido graxo presente (46,9% a 54,1%). Entretanto, a composição de ácidos graxos mostrou variações significativas, de acordo com o tempo de armazenamento. Os resultados sugerem que a liberação de ácidos graxos não é uniforme e que a degradação se dá de forma diferenciada de um ácido graxo para outro.

Na literatura não existe relatos entre o ácido mirístico e a baixa qualidade sensorial do café.

Inúmeros trabalhos sugerem que cafés de qualidade inferior apresentam menores teores de açúcares e maiores teores de compostos fenólicos, o que condiz com os resultados observados neste trabalho (BASSOLI, 1992; PINTO ET AL., 2001).

Por meio do gráfico de contorno (Figura 45), observa-se que a maioria das amostras com processamento natural apresentou notas sensoriais baixas, entretanto, os resultados foram divergentes, pois a análise também apresentou a nota mais alta (N1). Observou-se maior linearidade para os cafés cereja descascados, com 50% das amostras com notas elevadas.

4 CONCLUSÃO

Para os cafés do ano de 2013 foi observado, nos componentes 1 e 2, que as melhores notas sensoriais têm altos teores dos atributos sensoriais (acidez, corpo, sabor e doçura), assim como altos conteúdos dos ácidos linoleico e/ou linolênico. Os ácidos araquídico, palmítico e esteárico se correlacionaram com cafés de menor qualidade sensorial. Nos componentes 3 e 4, os compostos bioativos e o ácido palmítico se correlacionam com cafés com notas medianas, destacando-se a sacarose e o ácido esteárico com elevadas notas sensoriais.

Para os cafés referentes ao ano de 2014, as melhores notas sensoriais apresentaram elevados valores dos atributos sensoriais (sabor, doçura, acidez e corpo) junto ao elevado conteúdo de ácido esteárico (componentes 1 e 2). Os ácidos graxos palmitoleico e laurico se correlacionaram com cafés de menor qualidade. Observa-se que o conteúdo dos compostos bioativos se correlacionou com notas medianas para a maioria dos cafés de 2014. Para os componentes 5 e 6 foram importantes a sacarose e a doçura. Altos teores do ácido oleico apontam para melhor qualidade sensorial. Já o ácido mirístico se correlacionou com cafés de menor qualidade.

Observa-se, por meio dos resultados, que as notas finais dos cafés foram explicadas diferentemente pelo conteúdo dos ácidos graxos, sacarose e compostos bioativos, para os dois anos avaliados e que os modelos propostos para explicar a nota final do café foram plausíveis, ou seja, foram um bom ponto de partida para se estudar a correlação entre a composição química e a qualidade sensorial do café. Entretanto, estudos mais apurados podem melhorar esses resultados, atingindo um coeficiente de determinação mais explicativo.

REFERÊNCIAS

BANKS, J. M.; BRECHANY, E. Y.; CHRISTIE, W. The production of low fat Cheddar-type cheese. **Int. J. Dairy Technol**, v. 42, n. 1, p. 6-9, 1989.

BASSOLI, P. G. **Avaliação da qualidade de cafés verdes brasileiros: uma análise multivariada**. 1992. 110p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal de Londrina, Londrina, 1992.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. 3rd ed. New York ; Chichester: John Wiley, 1998. 736p.

JOHNSON, R.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2014, 800 p.

LINDLEY, M. G. The impact of food processing on antioxidants in vegetable oils, fruits and vegetables. **Trends in Food Science e Technology**, local v. 9, p. 336-340, 1998.

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.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2017, version 3.4.2. <<http://www.R-project.org/>>. Acesso 20 mar. 2017.

VIDAL, H. M. **Composição lipídica e a qualidade do café (Coffea arábica L.) durante armazenamento**. 2001. 93p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.