



GABRIELLA SANTOS

**PERFIL DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE
CONDENSADOS OBTIDOS A PARTIR DA
FUMAÇA GERADA NA TORRAÇÃO DO CAFÉ**

LAVRAS – MG

2013

GABRIELLA SANTOS

**PERFIL DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE CONDENSADOS OBTIDOS
A PARTIR DA FUMAÇA GERADA NA TORRAÇÃO DO CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Carlos José Pimenta

Coorientador

Dr. Jefferson Luiz Gomes Correa

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Santos, Gabriella.

Perfil de compostos voláteis de condensados obtidos a partir da
fumaça gerada na torração do café / Gabriella Santos. – Lavras :
UFLA, 2013.

88 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Carlos José Pimenta.

Bibliografia.

1. Sistemas de condensação. 2. Cromatografia gasosa. 3. Grau de
torra. 4. Espectrometria de massas. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 663.934

GABRIELLA SANTOS

**PERFIL DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE CONDENSADOS OBTIDOS
A PARTIR DA FUMAÇA GERADA NA TORRAÇÃO DO CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de março de 2013

Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho UFLA

Dra. Deila Magna dos Santos Botelho EPAMIG

Dr. Carlos José Pimenta
Orientador

Dr. Jefferson Luiz Gomes Correa
Coorientador

LAVRAS - MG

2013

Ao meu pai pelo exemplo de força!
A minha mãe pelo exemplo de fé!
A minha irmã pelo exemplo de coragem!
Ao meu irmão pelo exemplo de profissional!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), pela oportunidade concedida e por ser minha casa durante esses anos.

Ao professor Dr. Carlos José Pimenta pela orientação, oportunidade, paciência, confiança, ensinamentos e amizade que foram de grande importância para realização deste trabalho e para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao CNPq pela concessão da bolsa!

Ao professor Dr. Cleiton Antônio Nunes pela preciosa disposição, atenção e auxílios de grande valia.

À professora Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira pela disponibilização do Polo de Tecnologia em Qualidade do Café para execução de parte do trabalho e pela atenção dada.

Ao professor Dr. Mário César Guerreiro por disponibilizar o laboratório de Análises Cromatográficas e pelos preciosos ensinamentos.

À professora Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho por ter aceitado o convite para fazer parte da banca examinadora e pelas valiosas contribuições para o trabalho.

À Dra. Deila Magna dos Santos Botelho por ter, tão prontamente, aceitado o convite para fazer parte da banca examinadora.

À professora Dra. Sára Maria Chalfoun de Souza pelo exemplo e disponibilidade de fazer parte da banca examinadora.

Ao Dr. Marcelo Malta e à EPAMIG pela doação do café e preciosos auxílios.

Aos alunos de Iniciação Científica Luís Gustavo Baldoni de Moura e Juliana Farinassi Mendes por cada dia, por cada ajuda, pela dedicação, companhia e confiança. Vocês vão longe!

À professora Dra. Soraia Vilela Borges pela força, atenção e carinho!

À Tina, Flávia, Denise e Edson pela harmoniosa convivência, pela disponibilidade em ajudar e pelo carinho e atenção!

À Lucilene, Rhaimá e Adriana, pela paciência e prontidão!

As minhas companheiras: Vivi, Raphaela, Marali e Telma pela convivência, apoio e paciência. Vivi minha amiga-irmã, exemplo de amizade! Raphaela e de mulher! Marali exemplo de pesquisadora e profissional! Telma exemplo de mãe!

Aos colegas de laboratório Juliana, Renato, Larissa Fassio, Luciana, Bruno Olivetti e Bruno Ribeiro pela ajuda e amizade!

RESUMO

O processo pirolítico que ocorre durante a torração, gera reações de caramelização e *Maillard*, e forma uma vasta gama de compostos voláteis, sendo objeto de estudo de muitos pesquisadores, que já identificaram mais de mil compostos. No processo de condensação os vapores são resfriados abaixo do ponto de orvalho e então passam para o estado líquido. Este trabalho foi realizado no Polo de Excelência do Café/DAG, no laboratório Central de Análises/DCA e no Laboratório de Análises Cromatográficas/DQI/UFLA. Objetivou-se condensar a fumaça gerada na torração do café, a partir da elaboração de três condensadores e traçar o perfil de compostos voláteis dos condensados obtidos em diferentes graus de torra. O experimento foi conduzido em um planejamento fatorial completo 3x3, com os seguintes fatores e níveis: condensador e torra, sendo leito de condensação; balão de condensação e extrator de *soxhlet* e clara; média e escura, respectivamente. Os cafés foram selecionados em peneira 16. Amostras de 2 kg foram torradas em torrador Pinhalense TC-02 e classificadas quanto ao grau de torra pelo método *Agtron-SCAA*. Os condensadores foram conectados ao torrador, individualmente, durante o processo de torra, obtendo o condensado. Foram feitas análises de composição de voláteis por CG/MS pela metodologia SPME - *Headspace* nos condensados e nos cafés precursores dos mesmos. Os resultados da composição de voláteis foram submetidos à análise descritiva. Analisou-se a cor dos condensados, caracterizando-os quanto aos parâmetros L* (brilho da amostra - 0-preto; 100-branco), a* (intensidade de verde a vermelho) e C* (cor forte ou fraca) e foram avaliados pela análise de variância (ANOVA), e pelo teste de *Tukey* com nível de 5% de significância. Foi possível condensar a fumaça gerada durante a torração do café, através dos três condensadores desenvolvidos. De acordo com a composição de voláteis o Leito de Condensação se mostrou mais eficiente, pois obteve os condensados com compostos voláteis de caráter de impacto do café. Os melhores condensados foram obtidos pela torra escura, onde caracterizam-se por cor mais acentuada, com um número maior de compostos de caráter de impacto e uma maior quantidade de compostos detectada.

Palavras-chave: Sistemas de Condensação. Cromatografia Gasosa. Espectrometria de Massas. Grau de Torra.

ABSTRACT

The pyrolytic process that occurs during roasting, generates Maillard and caramelization reactions, and forms a wide range of volatile compounds, being studied by many researchers, who have identified more than a thousand compounds. In the process of condensing the vapors are cooled below the dew point and then pass into liquid state. This work was performed at Polo Excellence Coffee/DAG, in the Central Laboratory of Analyses/DCA and Laboratory of Chromatographic Analysis/DQI/UFLA. The objective was to condense the smoke generated in the roasting coffee, from the elaboration of three condensers and drawing up the profile of volatile condensate compounds obtained at different degrees of roasting. The experiment was conducted in a complete factorial design 3x3 with the following factors and levels: condenser and roasting, being condensing bed, balloon of condensing and soxhlet extractor and light, medium and dark, respectively. The coffees were selected in 16 sieves. Samples of 2 kg were roasted in roaster Pinhalense TC-02 and classified according to the degree of roasting by the method Agtron-SCAA. The condensers were connected to roaster individually during the roasting process, getting the condensate. Analyses were made in the volatiles composition by GC/MS through SPME - *Headspace* methodology in the condensates and in the precursor's coffees thereof. The results of the volatile composition were subjected to descriptive analysis. The color of condensates was analyzed, characterizing them regarding the parameters L* (sample brightness -0-black; 100-white), a* (intensity of the green to red) and C* (weak or strong color) and were evaluated by variance analysis (ANOVA) and Tukey test with 5% level of significance. It was possible to condense the smoke generated during the coffee roasting, through the three condensers developed. According to the composition of volatiles, the condensing bed is more efficient, because obtained condensates with volatile compounds of impact character of the coffee. The best condensate were obtained from the dark roast, where characterized by color strong, with a larger number of impact character compounds and a greater amount of compounds detected.

Keywords: Condensation Systems. Gas Chromatography. Spectrometry Massas. Degree of Roast.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Café.....	12
2.2	O café arábica.....	15
2.3	Aroma do café.....	16
2.4	Torração.....	17
2.4.1	Reação de <i>Maillard</i>	18
2.4.2	Degradação de <i>Strecker</i> e formação de aldeídos, pirazinas e ozaxóis.....	20
2.4.3	Degradação da trigonelina.....	22
2.4.4	Degradação de ácidos fenólicos.....	22
2.4.5	Formação e degradação de ácidos.....	23
2.4.6	Degradação de açúcares.....	24
2.4.7	Alterações nas proteínas.....	24
2.5	Caracterização e identificação dos compostos voláteis.....	25
2.6	Voláteis de caráter de impacto do café.....	26
2.7	Grau de torra.....	28
2.8	Condensação.....	30
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1	Café.....	31
3.2	Condensadores.....	32
3.2.1	Leito de condensação.....	32
3.2.2	Balão de condensação.....	33
3.2.3	Extrator de <i>Soxhlet</i>	34
3.3	Processo de torração.....	35
3.4	<i>Headspace</i> e microextração em fase sólida – SPME.....	36
3.5	Cromatografia gasosa e espectrometria de massa.....	36
3.6	Análise de cor objetiva.....	37
3.7	Delineamento experimental.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1	Café.....	39
4.2	Condensadores.....	39
4.2.1	Leito de condensação.....	40
4.2.2	Balão de condensação.....	53
4.2.3	Extrator de <i>Soxhlet</i>	64
4.2.4	Compostos de caráter de impacto.....	75
4.2.5	Análise da cor objetiva.....	78
5	CONCLUSÃO.....	81
	REFERÊNCIAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

O consumo mundial de café aumenta a cada ano, na forma de bebida e em outras aplicações na culinária. Sua produção e comercialização empregam cerca de 20 milhões de pessoas em todo o mundo e envolve grandes cifras e disputas pelos mercados atuais e futuros. Por isso, o mercado tem exigido padrões de qualidade cada vez mais rigorosos.

O aquecimento de alimentos leva à formação de aromas característicos e atraentes ao consumidor, não restritos ao caso do café. A torração é geralmente definida como o tratamento térmico a seco de alimentos com a intenção de gerar compostos de aroma torrado, desenvolver cor, e frequentemente, criar uma textura crocante. Essa intenção explicita a diferença entre torração e simples secagem.

A torração é uma etapa de extrema importância para a formação do aroma e do sabor final da bebida. O processo pirolítico que ocorre durante essa etapa, faz com que a água contida no interior do grão seja convertida em vapor, gera reações de caramelização e *Maillard* e forma uma vasta gama de compostos voláteis.

Os grãos beneficiados do café não originam uma bebida agradável ao paladar e ao olfato; em oposição a isso, a bebida feita a partir de grãos torrados é impactante aos dois sentidos. Por isso, a composição dos voláteis responsáveis pelo perfil aromático do café tem sido objeto de estudo de vários grupos de pesquisadores, onde se tem identificado mais de mil compostos.

Dentre os métodos analíticos que têm sido utilizados para estudar o perfil aromático de amostras de café, pode-se citar a cromatografia gasosa associada à espectrometria de massas (CG/EM) como sendo amplamente utilizada para investigação dos componentes aromáticos que apresentam maior contribuição para a característica aromática de bebidas e cafés em pó.

Tem-se como objetivo condensar a fumaça gerada na torração do café, a partir da elaboração de três condensadores e traçar o perfil de compostos voláteis dos condensados obtidos em diferentes graus de torra. Para tanto pretende-se determinar o equipamento mais eficiente e o grau de torra que produz a melhor qualidade de voláteis.

Os objetivos específicos foram:

- a) desenvolver um leito de condensação da fumaça de torração do café;
- b) desenvolver um balão de condensação com utilização de um balão volumétrico e banho de gelo para captura e condensação da fumaça de torração do café;
- c) adaptar um Extrator de *Soxhlet* e avaliá-lo quanto ao potencial de condensação da fumaça gerada na torração do café;
- d) dimensionar e utilizar uma tubulação de vidro para fazer a conexão entre os três equipamentos, individualmente, para saída da fumaça do torrador;
- e) estudar a viabilidade de utilização da água como solvente e líquido refrigerante nos três condensadores;
- f) avaliar os graus de torra do café para obtenção do aromatizante;
- g) caracterizar o condensado quanto ao perfil de compostos voláteis por cromatografia gasosa e espectrometria de massa;
- h) determinar o grau de torra e o equipamento necessários para a obtenção do condensado de alta qualidade e rendimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Café

Originário da Etiópia, o café passou a ser cultivado para a obtenção de bebida na Arábia, para onde foi levado no século XV. Mais tarde, por volta de 1600, os turcos levaram o café para a Europa, de onde foi disseminado rapidamente para o resto do mundo. Em 1650 foi aberta a primeira casa de café em Oxford, na Inglaterra e 25 anos depois, já eram quase 300. O Rei da França Luiz XIV foi presenteado com essa planta em 1714, e a disseminou na América Central e do Sul, por meio de suas colônias (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC, 2011).

No Brasil, o café foi introduzido no século XVIII vindo da Guiana Francesa e foi disseminado em toda a costa, chegando a São Paulo e ao Paraná, tornando o Brasil o maior produtor e exportador mundial de café (ABIC, 2011).

Dois espécies são comercialmente cultivadas, a *Coffea arabica* e a *Coffea canephora*, respectivamente conhecidas como café arábica e café robusta. Essas duas espécies apresentam diferenças em relação à composição química.

O café é uma bebida produzida a partir dos grãos torrados do fruto do cafeeiro. É servido tradicionalmente quente, mas também pode ser consumido gelado. A bebida do café é um estimulante natural, por possuir cafeína – geralmente de 80 a 140 miligramas para cada 207 mL, dependendo do método de preparação (MARTINS et al., 2007). Sua grande aceitação deve-se, principalmente, ao seu aroma intenso e sabor peculiar (PÁDUA, 2002).

O consumo mundial de café aumenta a cada ano, na forma de bebida e em outras aplicações na culinária. Sua produção e comercialização empregam cerca de 20 milhões de pessoas em todo o mundo e envolve grandes cifras e

disputas pelos mercados atuais e futuros. Por isso, o mercado tem exigido padrões de qualidade cada vez mais rigorosos (MARTINS; AQUINO, 2008).

Alguns estudos recentes apontam para o potencial benéfico do café, com um possível papel antioxidante (DAGLIA et al., 2004; FUSTER et al., 2000). Vale ainda ressaltar que adultos que ingerem café diariamente, em doses moderadas, têm o sistema de vigília do cérebro estimulado, aumentando a capacidade de atenção, de concentração e de memória, reduzindo a apatia e a fadiga. (ENCARNAÇÃO; LIMA, 2003).

A cafeína é o mais conhecido constituinte do café devido às suas propriedades fisiológicas e farmacológicas. É um alcaloide farmacologicamente ativo pertencente ao grupo das xantinas, altamente resistente ao calor, inodoro e com sabor amargo bastante característico que contribui de forma importante para o sabor e aroma do café (MONTEIRO; TRUGO, 2005).

O consumo interno de café tem aumentado nos últimos anos. Expectativas iniciais indicavam um pequeno crescimento considerando-se a crise econômica mundial que teve início em 2008. A crise, que afetou muitos setores, não interferiu, no entanto, no consumo de café pelas famílias brasileiras. Uma evolução significativa pode ser observada nas empresas associadas ao processamento das diversas formas de café as quais participam com quase 65% do café industrializado produzido (ABIC, 2012).

Ainda segundo a Abic (2012), o consumo doméstico, predominantemente de cafés do tipo Tradicional, tanto quanto o consumo fora do lar, onde predominam os cafés Superiores e Gourmet, apresentaram taxas de crescimento positivas. Maiores investimentos em produtos e no *marketing* interno do café impulsionaram as vendas das marcas mais conhecidas. O mercado recebe, mensalmente, novas marcas de cafés especiais, fazendo com que o mercado brasileiro apresente uma oferta muito significativa de cafés de alta qualidade para os consumidores brasileiros.

As sementes usadas na preparação da bebida proveem de diferentes áreas geográficas e, conseqüentemente, os cafés se distinguem por apresentarem diferentes sabores. Portanto, é muito importante para a obtenção de bebidas finas o estudo do plantio, colheita, armazenamento e torração do café (MARTINS; AQUINO, 2008). Dentre as regiões produtoras de café no país as do Cerrado e do Sul de Minas vêm se destacando por produzirem cafés de melhor qualidade, pelos quais a procura tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. A região do Sul de Minas é a mais antiga e a maior produtora de café do Estado. O clima ameno, a altitude entre 1.100 e 1.350 metros e índice pluviométrico de 1.700 mm/ano, faz com que apresentem duas e até três floradas por ano (PIMENTA, 2003). Os grãos pretos, verdes e ardidos (PVA) constituem defeitos intrínsecos do café e resultam da colheita atrasada ou adiantada (grãos verdes), excesso de umidade ou de grãos que permaneceram muito tempo no chão. Segundo os especialistas, sua utilização na torração reduz a qualidade da bebida, pois altera cor, aroma e sabor (AKIYAMA et al., 2005; MENDONÇA et al., 2003; SAES; FARINA, 1999; TOLEDO; BARBOSA, 1998).

A atividade cafeeira vem se adaptando nos últimos anos, para atender a demanda do mercado. Se por um lado grandes níveis de tecnologia têm sido exigidos pelo setor cafeeiro, para o aumento da produtividade, redução de custos e restrição ao uso de agroquímicos, por outro lado, nunca valorizou-se tanto a qualidade do café com a crescente expansão do consumo de cafés especiais (MENDONÇA et al., 2007).

Novas metodologias vêm sendo empregadas na análise dos componentes químicos do aroma e do sabor do café de forma a auxiliar na classificação da bebida, atualmente feita por indivíduos especialmente treinados na análise sensorial.

2.2 O café arábica

As duas espécies de cafés mais cultivadas no mundo são *Coffea arábica* ou, simplesmente, café arábica e o *Coffea canephora* (café robusta ou conilon). O café arábica é geralmente cultivado em regiões com altitude entre 400 e 1000m. Possui aromas intensos e vários sabores com variações de corpo e acidez, podendo apresentar diversas tonalidades de cor verde. É considerado o café de melhor qualidade, mais fino e requintado sendo predominantemente oferecido nas mais refinadas cafeterias (ARLITA, 2006).

O café arábica é mais valorizado economicamente devido ao seu aroma e sabor. Ao longo dos séculos, diversas variedades foram plantadas em solo brasileiro, como o Bourbon. Atualmente as duas variedades de arábica mais cultivadas são Mundo Novo e Catuaí. A primeira tem esse nome porque originou-se na década de 1940, no município paulista de Mundo Novo, hoje chamado Urupês. Essa variedade foi criada pelo IAC (Instituto Agrônômico de Campinas). Uma das principais características do Mundo Novo é a alta produtividade de seus cafeeiros. Apesar dessa vantagem, o grande porte do Mundo Novo dificulta sua colheita. Devido a essa constatação, o IAC realizou novos estudos. O resultado foi o surgimento da variedade Catuaí, que significa "muito bom". Dentro dessa variedade, existem duas linhagens: o Catuaí Vermelho e o Catuaí Amarelo (COFFEEBREAK, 2011).

Outras variedades de café arábicas são Icatu Vermelho e Amarelo, Iapar 59, Tupi, Obatã, Catuaí Rubi, Topázio, Katipó, Catucaí Vermelho e Amarelo, Oeiras-MG 6851 e outras ainda com diversas linhagens.

2.3 Aroma do café

O marco inicial para a pesquisa sistemática dos compostos do aroma do café foi o trabalho de Reichstein e Staudinger em 1926. Eles conduziram um estudo para a identificação de 30 novos componentes no café. Seus resultados foram documentados na forma de patentes (FLAMENT, 2002).

Um grande avanço na identificação dos compostos voláteis do café ocorreu com a introdução da cromatografia em fase gasosa em 1956 e com a utilização de espectrometria de massas e ressonância magnética nuclear na década de 60 (FLAMENT, 2002).

A partir da década de 80, o interesse maior passou a ser a determinação do potencial odorífero dos componentes voláteis, o que conduziu à identificação daqueles que teriam maior impacto na constituição do aroma característico do café. Na atualidade cerca de mil componentes já foram detectados e alguns especialistas da área sugerem que dezenas de componentes ainda poderão vir a ser identificados (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999).

A Tabela 1 demonstra as classes químicas e o número de compostos voláteis identificados no café torrado.

Tabela 1 Classes químicas de compostos voláteis do café torrado

Classe química	Número de compostos	Classe química	Número de compostos
Hidrocarbonetos alifáticos	35 ¹	Pirazinas	91 ⁵
Hidrocarbonetos aromáticos	32 ¹	Quinoxalinas	11 ¹
Álcoois alifáticos	16 ¹	Furanos	126 ⁴
Álcoois aromáticos	2 ¹	Pironas	4 ⁵
Aldeídos alifáticos	18 ³	Oxazóis	35 ⁴
Aldeídos aromáticos	11 ³	Tióis	6 ¹
Cetonas alifáticas	62 ³	Sulfetos	15 ¹
Cetonas aromáticas	6 ²	Disulfetos	10 ¹
Ácidos	18 ⁴	Trissulfetos	3 ¹
Ésteres	33 ⁴	Tioésteres	2 ¹
Lactonas	9 ²	Tiofenos	31 ²
Anidridos	3 ⁶	Ditiolanos	2 ¹
Aminas alifáticas	12 ³	Tiazóis	27 ²
Aminas aromáticas	5 ³	Acetais	1 ⁶
Imidas	1 ¹	Nitrilos	2 ¹
Pirróis	69 ⁵	Oximas	1 ¹
Piridinas	20 ⁴	Fenóis	49 ⁴
Quinolinas	4 ¹	Indóis	4 ¹
Éteres	2 ⁶	Outros	20 ⁴
		TOTAL	818

Fontes: ¹CLARKE; MACRAE, 1985; ²DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999; ³MOREIRA; TRUGO; DE MARIA, 2000; ⁴CLARKE; VITZTHUM, 2001; ⁵FLAMENT, 2002; ⁶MONROY, 2005 citado por BASSOLI, 2006)

2.4 Torração

A torração é uma etapa de extrema importância para a formação do aroma e do sabor final da bebida. Os grãos beneficiados não originam uma bebida agradável ao paladar e ao olfato; em oposição a isso, a bebida feita a partir de grãos torrados é impactante aos dois sentidos. Nessa fase, os grãos sofrem algumas reações químicas importantes, necessárias à formação da

qualidade sensorial, assim como ocorrem mudanças físicas que podem variar de uma espécie a outra e também entre cultivares (LOPES, 2000).

O processo pirolítico que ocorre durante a torração, faz com que a água contida no interior do grão seja convertida em vapor, gera reações de caramelização e forma uma vasta gama de compostos voláteis. A qualidade da bebida é influenciada diretamente pelo grau de torra que os grãos são submetidos. Em temperatura alta, acima de 140 °C (zona de torração) é alcançada a formação total do aroma, temperaturas muito altas provocam a perda de aromas e gostos. Quanto mais alta a temperatura final da torração, menos desejável será o aroma e mais forte o amargor. Da mesma forma, temperaturas de torração baixas não desenvolvem inteiramente aromas desejáveis (ILLY, 2002).

Durante a torração do café ocorrem alterações tanto físicas quanto químicas no grão. Fisicamente ocorrem modificações na forma, cor e tamanho (PIMENTA, 2003). Quimicamente, ocorre a formação de componentes do aroma pela pirólise de compostos solúveis em água, como açúcares, aminoácidos e trigonelina. Não há alteração significativa da fração lipídica dos grãos, a qual protege os componentes do aroma de degradação à medida que a torração é realizada (DART; NURSTEN, 1989).

2.4.1 Reação de *Maillard*

A reação de *Maillard* (escurecimento não enzimático) é um conjunto de reações químicas entre açúcares redutores, principalmente D-glicose e um aminoácido livre ou um grupo amino livre de um aminoácido que é parte de uma cadeia proteica (FENNEMA, 2010).

O grupamento aldeído do açúcar redutor reage reversivelmente com amina para produzir glicosilamina, no caso da D-glicose, por exemplo. A

glicosilamina, por sua vez, sofre uma reação denominada rearranjo de Amadori resultando, no caso da D-glicose, num derivado de 1-amino-1-deoxi-D-frutose (Figura 1). A reação continua, especialmente em pH 5 ou menor, resultando em um intermediário que desidrata. Eventualmente um derivado de furano é formado. Se for originado de uma hexose forma-se o 5-hidroximetil-2-furaldeído (HMF). Sob condições menos ácidas (pH maior que 5), os compostos cíclicos reativos polimerizam rapidamente formando compostos de coloração escura, que são compostos insolúveis contendo nitrogênio (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010). Esses compostos escuros são responsáveis pela cor do café torrado.

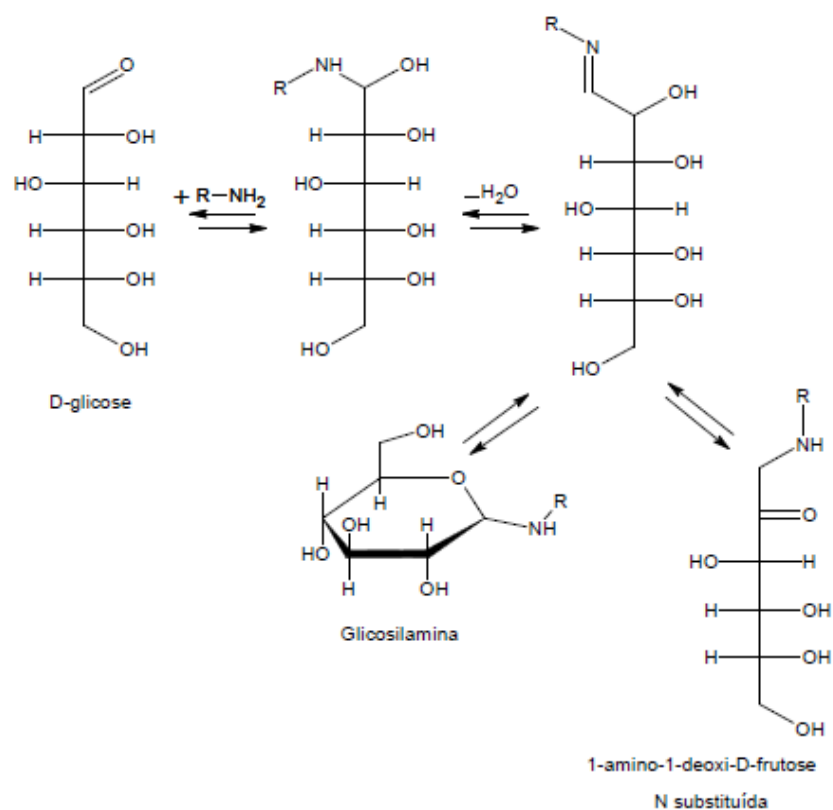


Figura 1 Produtos da reação de D-glicose com uma amina primária (RNH₂)
 Fonte: Fennema, Damodaran e Parkin (2010)

2.4.2 Degradação de *Strecker* e formação de aldeídos, pirazinas e ozaxóis

Na etapa final da fase intermediária da reação de *Maillard* ocorre a degradação de *Strecker* do aminoácido (Figura 2), na qual as α -dicarbonilas das deidrorredutonas (formadas em etapa anterior pela desidratação do açúcar em meio básico seguida de oxidação) reagem com um α -aminoácido formando uma base de *Schiff*. Essa base sofre descarboxilação com formação de CO₂ e uma

base de *Schiff* com um carbono a menos, a qual sofre hidrólise com formação de um aldeído (com um carbono a menos) e um derivado cetoamino, o qual por condensação e a ciclização formam compostos pirazínicos ou oxazóis. Tanto os aldeídos formados quanto os compostos pirazínicos e oxazóis conferem sabor e aroma característicos ao café (DART; NURSTEN, 1989; FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010).

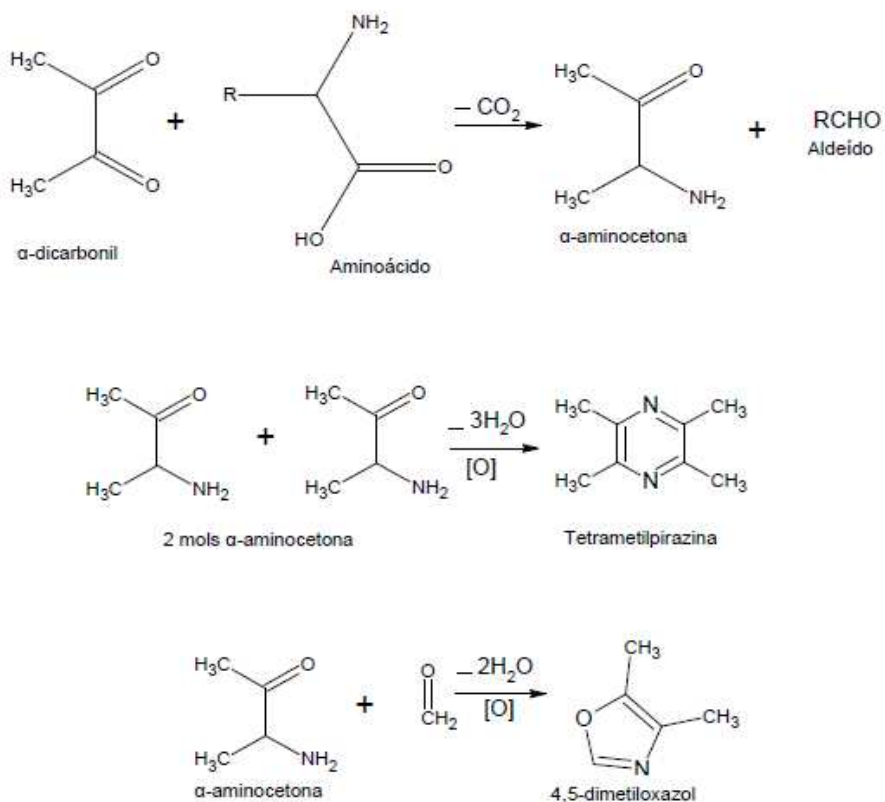
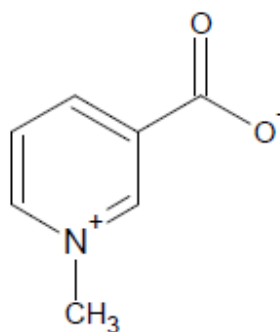


Figura 2 Degradação de *Strecker* e formação de aldeídos, pirazinas e oxazóis
Fonte: Dart e Nusrten (1989)

2.4.3 Degradação da trigonelina

A trigonelina (Figura 3) é uma N-metil betaína, importante para o sabor e aroma do café. Ela contribui para o aroma por meio da formação de produtos de degradação durante a torra e, entre esses produtos, estão as piridinas e o N-metilpirrol (MOREIRA; TRUGO; DE MARIA, 2000).

O café é um dos únicos produtos que, mediante um processo tão drástico como a torração, produz uma vitamina importante para o metabolismo humano, a niacina. Durante a torração, a trigonelina sofre desmetilação para formar a niacina, em quantidades que podem chegar próximo a 20 mg 100g⁻¹ de café torrado (TRUGO, 1984).



Trigonelina

Figura 3 Estrutura química da trigonelina
Fonte: Monteiro e Trugo (2005)

2.4.4 Degradação de ácidos fenólicos

Quanto maior o grau de torra, maior a quantidade de fenóis presentes no café. Os fenóis são formados a partir de ácidos fenólicos livres como ácido cafeico, p-cumárico, ferúlico e sinápico. O café conilon possui maior teor de

fenóis que o café arábica (DART; NURSTEN, 1989). Os produtos da degradação do ácido cafeico são demonstrados na Figura 4.

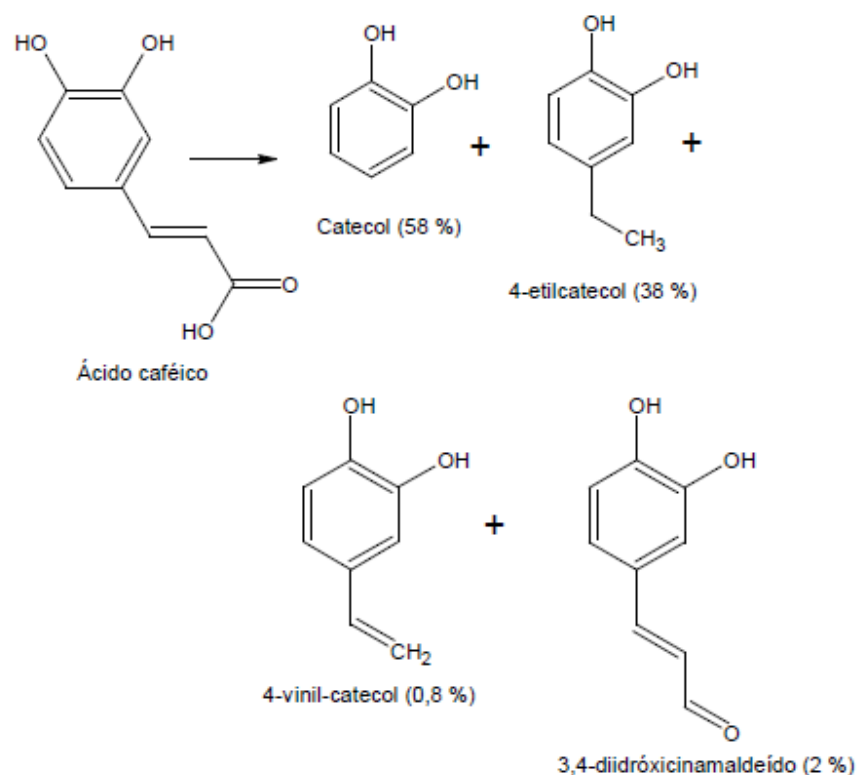


Figura 4 Degradação do Ácido Cafeico
Fonte: Dart e Nusrten (1989)

2.4.5 Formação e degradação de ácidos

Na torração, os carboidratos sofrem decomposição térmica com produção de ácidos carboxílicos e gás carbônico e os ácidos formados sofrem decomposição. Os principais ácidos encontrados no café torrado são o

clorogênico, o acético e o cítrico. O ácido clorogênico está presente em cafés crus em teores de cerca de 7 %, sendo que até a metade desse teor pode ser destruído durante a torração. O ácido acético encontra-se em percentuais próximos de 0,4 % no café torrado (PIMENTA, 2003).

A decomposição de ácidos acarreta um alto pH (em torno de 6,0) em bebidas de café de torrações leves (cafés praticamente impalatáveis). As torrações médias têm um pH de 5,1 e as torrações escuras, de 5,3. Os cafés de torrações consideradas ótimas são obtidos logo no início da perda de voláteis (principalmente o ácido acético), resultando em cafés de bebidas pouco ácidas (PIMENTA, 2003).

2.4.6 Degradação de açúcares

Os derivados de furanos são os principais produtos de decomposição dos monossacarídeos e açúcares de cadeia longa durante a torração. Durante a pirólise da glicose, ocorre enolização, desidratação e fissão, o que resulta na formação de HMF. Esse composto origina vinilfuranos, 2,4-pentadienal e furfural (FLAMENT, 2002).

2.4.7 Alterações nas proteínas

Durante a torração ocorre a hidrólise das ligações peptídicas das moléculas proteicas com liberação de carbonilas e aminas. O sulfeto de hidrogênio, proveniente de aminoácidos sulfurados, é liberado em grande quantidade e desprende-se facilmente do grão torrado (PIMENTA, 2003).

A hidrólise das proteínas também resulta em sulfato de metila, metilmercaptana e aminoácidos que reagem com carboidratos produzindo compostos de coloração escura. Além disso, são produzidas aminas que

conferem odor de peixe e de amoníaco aos cafés excessivamente torrados. Outra contribuição relacionada às substâncias proteicas é que as partículas insolúveis de proteínas se ligam aos lipídeos formando partículas coloidais responsáveis pela turbidez do café coado (PIMENTA, 2003).

Os aminoácidos cisteína, cistina e metionina sofrem o processo de degradação durante a torração do café e interagem com açúcares redutores e intermediários da reação de *Maillard* com formação de uma ampla variedade de componentes voláteis contendo enxofre. A cisteína, por exemplo, resulta em tiazóis e tiofenos, além de H₂S (FLAMENT, 2002).

2.5 Caracterização e identificação dos compostos voláteis

Inúmeras técnicas podem ser empregadas para aplicações na análise de odores, cada qual com funções distintas, destacando-se a cromatografia, sensores de estado sólido e espectrometria de massas. Para a identificação de componentes voláteis, cada vez mais são utilizados métodos de cromatografia a gás associada à espectrometria de massas (CG/EM), que tem-se tornado comercial e tecnicamente disponíveis e viáveis (LEHOTAY; HAJŠLOVA, 2002). Segundo Bassoli (2006), tal técnica parece oferecer muitas vantagens quando comparada às técnicas tradicionais e na área de alimentos é de especial dominância, quando a relação de resultados entre medidas instrumentais e a percepção humana requer cuidadoso controle para validar comparações.

A CG/EM é uma das técnicas analíticas mais usadas na indústria de perfumes e aromas e sua viabilização depende da adequação no preparo da amostra a ser analisada. Devido à sua complexidade, buscam-se colunas cromatográficas e condições analíticas que ofereçam a máxima resolução possível, algumas vezes em detrimento do tempo de análise (ASTEN, 2002).

2.6 Voláteis de caráter de impacto do café

Desde a década de 80 do século passado que se tem dado ênfase à identificação dos constituintes de maior impacto odorífico ao aroma característico de cada tipo de café. Dentre as dezenas de constituintes voláteis identificados no café somente alguns exercem forte impacto no aroma final. Esses constituintes são chamados de odorantes potentes. Nem sempre os compostos que se apresentam em maiores quantidades no café são os que mais contribuem para o aroma. O aroma é resultado da sinergia dos diversos constituintes da mistura e dependerá não só da concentração, mas do potencial odorífico de cada um (NASCIMENTO et al., 2007).

Segundo fonte descrita os compostos representados na Tabela 2 são odorantes de forte impacto no café.

Tabela 2 Compostos odorantes de impacto no café

Composto	Aroma	Referências
β -damascenona	Chá, Fruta, Flor	10
2-hidroximetil-furano	Amargo, matéria queimada	11
3-metil-2-acetil-tiofeno	Semelhante ao café	12
isobutil-metoxi-pirazina	Fruta, abacaxi	3
Dissulfeto de dimetila	Melhora o aroma	13
Metilpropanal	Fruta (banana)	10
Butanodiona	Óleo (manteiga)	10
3-metilbutanal	Fruta (pêssego); Chocolate; Matéria Queimada	10
2-metilbutanal	Fruta; Cacau Torrado ou Café	10
Pentan-2,3-diona	Óleo (manteiga)	10
Hexanal	Gramma (recentemente cortado); Fruta	10
Ácido isovalérico	Queijo; Herbáceo	10
3-etil-2,5-dimetilpirazina	Matéria queimada; Batata; Terra	10
2-etil-3,5-dimetilpirazina	Matéria queimada; Amêndoa; Nozes	10
2,3-dietil-5-metilpirazina	Mofo; Matéria torrada; Nozes; Batata; Avelã	10
3,5-dietil-2-metilpirazina	Nozes; Carne assada; Vegetais; Matéria torrada	10
2-isobutil-3-metoxipirazina	Gramma; Terra; Pimenta Verde; Ervilha	10
Furfurilmetildissulfeto	Carne frita (porco); Café torrado; Cebola (frita);	10
4-etil-2-metoxifenol	Fumaça; Matéria torrada; Remédio; Fenol	10
4-vinil-2-metoxifenol	Cravo-da-Índia; Matéria torrada; Fumaça	10
2-furfuriltiol	Torrado (café), torrado fresco	1, 2, 3, 6, 7, 8, 9
Formiato de 3-mercaptop-3-metilbutila	<i>Catty</i> , animal, torrado	1, 2, 9
3-metil-2-buten-1-tiol	Amina	1, 9
2-isobutil-3-metóxi-pirazina	Terra	1
5-etil-4-hidróxi-2-metil-3(2H)-furanona	---	1, 2
Guaiacol	Fenólico, condimento	1, 2, 3, 8
2,3-butanodiona (diacetil)	Amanteigado, assado	1, 3, 8, 10
4-vinil-guaiacol	Condimento	1,2,3,8
2,3-pentanodiona	Amanteigado	1

Tabela 2, continuação

Composto	Aroma	Referências
Metional	Batata doce	1,7
2-isopropil-3-metóxi-pirazina	Terra, torrado	1
Vanilina	Baunilha	1
4-hidróxi-2,5-dimetil-3(2H)-furanona (furanol)	Caramelo, fruta, morango, abacaxi	1,2
2-etil-3,5-dimetilpirazina	Terra, torrado	1,3,8
2,3-dietil-5-metilpirazina	Terra, torrado	1,2,9
2-etil-3-metilpirazina	Torrado, queimado e cereal	2
3-hidróxi-4,5-dimetil-2(5H)-furanona	Tempero	1
4-etil-guaiacol	Condimento	1,2,8,9
5-etil-3-hidróxi-4-metil-2(5H)-furanona	Tempero	1
2,4-dimetil-tiazol	Torrado	7
4,5-dimetil-tiazol	Torrado	7
Metanotiol	Pútrico, sulfuroso	5
2-hidróxi-metilfurano	Queimado	4

Fonte: ¹BLANK; SEN; GROSCH, 1991; ²SEMMELOCH et al., 1995; ³SEMMELOCH; GROSCH, 1996; ⁴DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999; ⁵MOREIRA; TRUGO; DE MARIA, 2000; ⁶ROWE, 2000; ⁷JAMESON, 2001a, 2001b; ⁸SCHENKER et al., 2002; ⁹ROWE, 2002; ¹⁰NASCIMENTO, 2007; ¹¹DART; NURSTEN, 1989; ¹²VERNIN; VERNIN (1985); ¹³FLAMENT (2002)

2.7 Grau de torra

O grau de torra afeta diretamente o sabor do café e está diretamente associado à cor do grão, definindo os vários compostos que são formados durante a pirólise e extraídos durante a formação da bebida. A Figura 5 demonstra as curvas que representam a variação dos sabores conforme o grau de torra e como este afeta os componentes e as características.

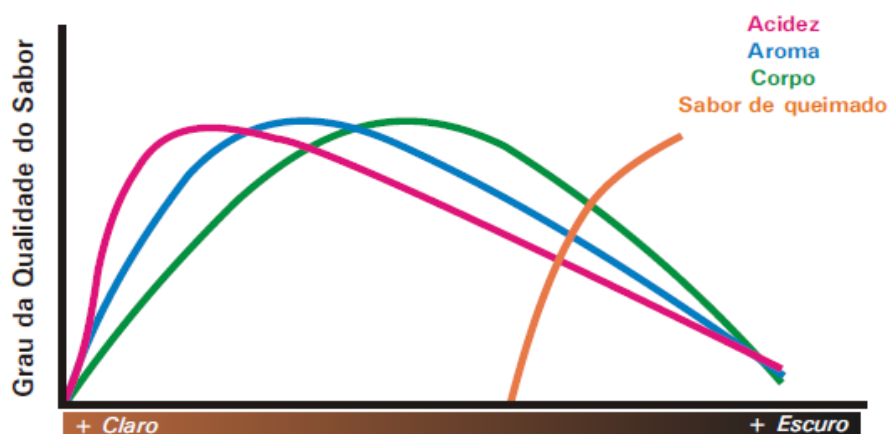


Figura 5 Curvas que representam os comportamentos das características do café quanto à acidez, ao aroma e ao corpo em função dos graus de torra que influenciam no sabor da bebida

Fonte: Melo (2004)

Observa-se nessa figura que há três características importantes que indicam a qualidade da bebida em função do grau de torra. Nota-se que em torra clara a característica predominante é a acidez, mas à medida que a torra aumenta, essa característica diminui destacando as demais. Na maioria das vezes, o grau de torra é monitorado visualmente seguindo a experiência do torrefador, pois como a torra define a qualidade do produto ou da bebida torna-se necessário o acompanhamento desse processo. Como não há uma maneira direta de monitorar a torra, a não ser pelo termômetro do torrefador que indica a temperatura da massa de grão no processo a *Specialty Coffee Association of America* - SCAA (2009) e a empresa norte-americana *Agtron* criaram padrões aceitos internacionalmente para monitorar indiretamente, isto é, fora do forno o grau de torra. Esse consiste de uma escala de 0 a 100, determinada com base na absorção de luz infravermelha pelo grão do café ou pelo pó, dividida em intervalo de 10 em 10 valores, chamados de número *agtron*. Cada número

agtron corresponde a um intervalo de temperatura do grão, quanto mais alto for o grau de torra menor será esse número. Outros padrões existem, mas esse é atualmente o mais popular (MELO, 2004).

2.8 Condensação

No processo de condensação os vapores são resfriados abaixo do ponto de orvalho e então passam para o estado líquido. A condensação ocorre quando a pressão parcial de um composto na corrente de gás é igual à pressão de vapor da substância pura a uma dada temperatura de operação.

A condensação é do tipo direto ou indireto. Na condensação por contato direto, o fluido de resfriamento e o condensado são misturados e combinados e, no tipo indireto, o fluido de resfriamento e o vapor/condensado trocam calor por alguma área de superfície associada ao equipamento, sem se misturarem. O processo de condensação é usado para a pré-separação e recuperação de substâncias orgânicas (BAUMBACH, 1996).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Polo de Excelência do Café do Departamento de Agricultura, no laboratório Central de Análises do Departamento de Ciência dos Alimentos e no Laboratório de Análises Cromatográficas do Departamento de Química, localizados na Universidade Federal de Lavras.

3.1 Café

Para o estudo foi utilizado café arábica (*Coffea arabica*) disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG.

Os grãos foram beneficiados em peneiras número 16. Após seleção por peneira, os grãos retidos foram selecionados manualmente, procedimento onde todos os defeitos intrínsecos e extrínsecos foram retirados, restando apenas grãos íntegros, com objetivo de padronizar a amostra. Os grãos íntegros foram armazenados em embalagem plástica de 1 kg, seguida por embalagem de papel pardo, a fim de proteger os grãos crus da incidência de luz e por mais uma embalagem plástica, protegidos da umidade e armazenados em sala com temperatura inferior a 15°C.

A avaliação sensorial do café foi feita de acordo com o protocolo de degustação de café da *Specialty Coffee Association of America* - SCAA (2009), utilizando-se a metodologia proposta por Lingle (1986), em que avalia a qualidade de cafés especiais, determinando as diferenças sensoriais entre amostras, descrevendo os sabores e aromas encontrados e determinando a preferência dos produtos. Para tanto, são pontuados objetivamente onze importantes atributos do café: fragrância/aroma, acidez, sabor, corpo, doçura, xícara limpa, balanço, finalização, uniformidade, defeitos e balanço geral. A

pontuação final é calculada pela soma da pontuação dada a cada atributo, Somente cafés com pontuação acima de 80 pontos são considerados especiais, tendo como pontuação máxima o valor de 100 (REIS; CUNHA; CARVALHO, 2011).

Além da resposta sensorial, a avaliação determina características importantes do grão como cor, aspecto, tipo e umidade. A análise foi feita com três repetições, por provadores treinados em Santo Antônio do Amparo, município de Minas Gerais.

3.2 Condensadores

Foram desenvolvidos, neste estudo, três condensadores da fumaça gerada durante o processo de torração do café, que foram descritos abaixo.

3.2.1 Leito de condensação

Uma coluna cilíndrica (leito) de plástico PVC com 1,0 m de altura foi montada como suporte para a captura da fumaça (Figura 6). Essa coluna foi acoplada a um torrador de café Pinhalense modelo TC-02 através de um tubo de vidro borosilicato de diâmetro interno de 8,6 cm e comprimento de 30 cm. Conectado a esse tubo, por meio de junta esmerilhada 24/40, foi colocado um tubo de 50,0 cm de comprimento e diâmetro interno de 2,00 cm, prolongado por um joelho e mais 15,0 cm de comprimento, promovendo a entrada da fumaça pela parte inferior da coluna. Essa redução do diâmetro interno do tubo transportador da fumaça se fez necessária, pois a redução provoca um aumento na pressão e conseqüente diminuição do diâmetro das bolhas de fumaça, facilitando a condensação e o aumento do rendimento de captura dos voláteis.

A coluna de condensação foi preenchida por esferas maciças de vidro de diâmetro de 15 mm cada, ocupando 50,0 cm da coluna, aumentando o período de permanência das bolhas de fumaça dentro da coluna, comportando-se como obstáculos. As esferas, por se encontrarem em temperatura ambiente, provocaram uma diferença de temperatura entre elas e a fumaça suficiente para promover a condensação da mesma.

Para a retirada do condensado aderido às superfícies externas das esferas de vidro, utilizou 200 mL de água à temperatura ambiente.

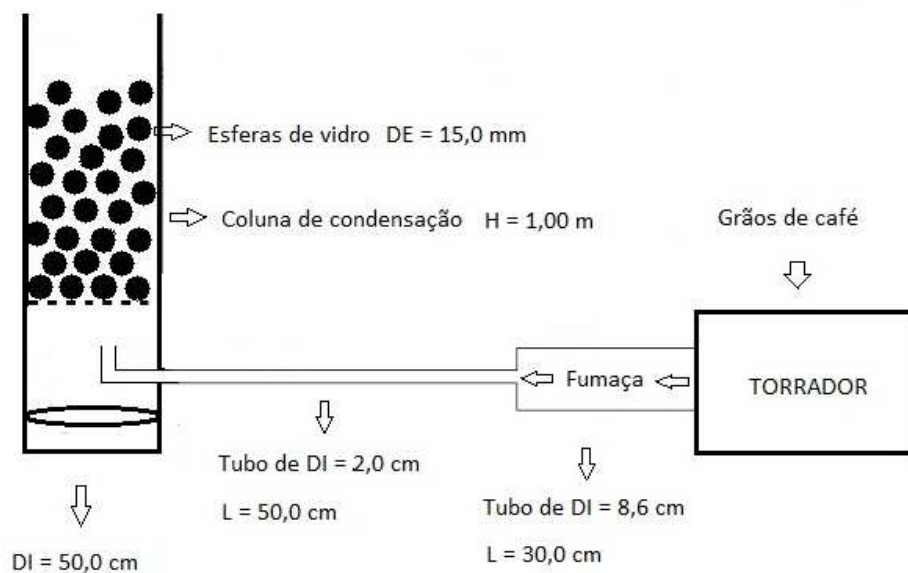


Figura 6 Esquema do leito de condensação da fumaça de torração
DI = diâmetro interno; DE = diâmetro externo; L = comprimento; H = altura

3.2.2 Balão de condensação

Para um segundo equipamento, tem-se a utilização de um balão volumétrico de fundo redondo de 5000 mL, imerso em um banho de gelo e

preenchido em seu interior por 200 mL de água à temperatura ambiente (Figura 7).

Para a conexão do torrador com o balão volumétrico utilizou-se a mesma tubulação de vidro borossilicato descrita anteriormente, conectada, por meio de junta esmerilada esférica, a um tubo de mesmo material de 20,0 cm de comprimento.

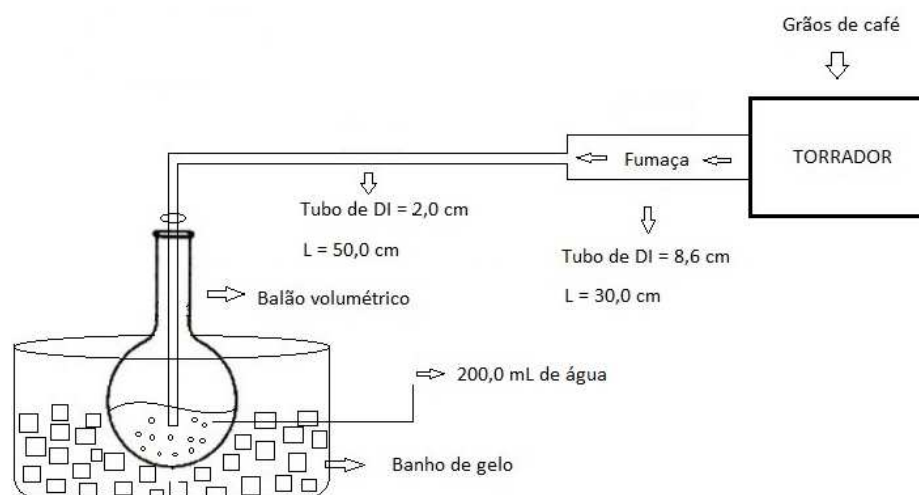


Figura 7 Esquema do balão de condensação da fumaça de torração
DI = diâmetro interno; DE = diâmetro externo

3.2.3 Extrator de Soxhlet

Como terceiro equipamento será utilizado um extrator de *soxhlet* (Figura 8), já existente e disponível. Esse foi adaptado à finalidade desejada, que é de condensar a fumaça de torração do café.

O extrator contém um balão volumétrico de duas bocas em sua parte inferior, por onde entrará a fumaça através da tubulação já descrita anteriormente. A fumaça sobe pela conexão e ao entrar em contato com a

superfície resfriada do condensador se liquefaz caindo no cilindro (coletor do condensado). Para o resfriamento da superfície, água em temperatura ambiente passa pelo tubo de vidro sem contato direto com o condensado.

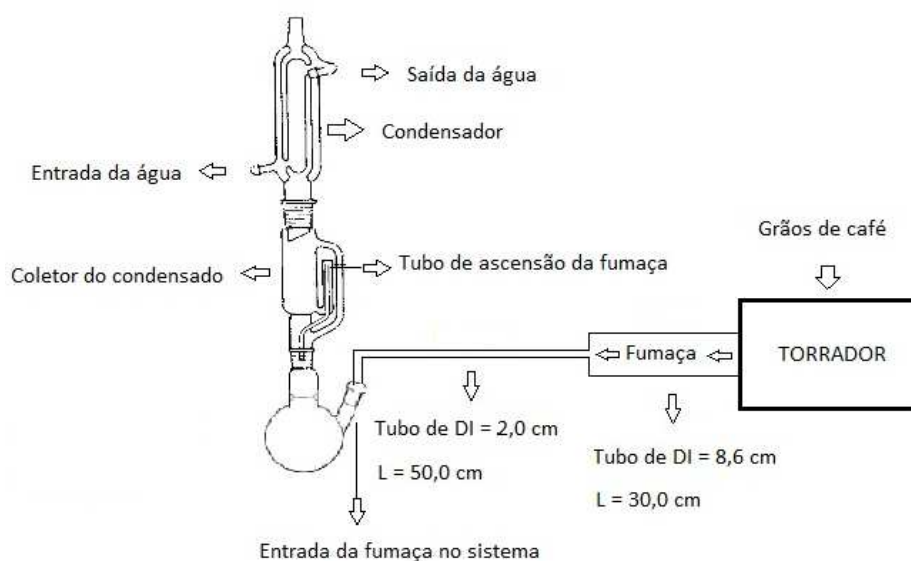


Figura 8 Esquema do extrator de *soxhlet* adaptado para a condensação da fumaça de torração

DI = diâmetro interno; DE = diâmetro externo

3.3 Processo de torração

Amostras de 2,0 kg de café foram torradas em torrador Pinhalense modelo TC-02, à temperatura de $200\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$. Para cada um dos três condensadores obteve-se três graus de torra comercial, torra clara, torra média e torra escura. Os pontos de torra claro, médio e escuro foram atingidos em aproximadamente 18, 22 e 27 minutos com desvio médio de 1 minuto, respectivamente.

As amostras torradas foram resfriadas imediatamente e moídas em moinho *Probat Emmerich*. As tonalidades das amostras foram detectadas pelo Sistema de classificação de cor de torração *Agtron M-Basic/ II – Coffee Roast Analyzer - SCAA*, o qual classifica amostras de café com valores entre 53,1 e 60,6 em torra clara, valores entre 38,3 e 45,7 em torra média e valores entre 23,4 e 30,8 em torra escura.

O torrador foi conectado aos condensadores, individualmente e, durante as torras descritas, foram capturados os condensados. Os grãos torrados e moídos e os condensados obtidos foram armazenados em potes de vidro lacrados, protegidos da luz por embalagens laminadas e acondicionados em biofreezer a -80 °C até posteriores análises.

3.4 Headspace e microextração em fase sólida – SPME

A extração foi realizada conforme a técnica de *Headspace-Microextração em Fase Sólida (SPME)* utilizando a fibra 75 µm *Carboxen/Polydimethylsiloxane (CAR/PDMS)* da Supelco. Para absorção o dispositivo de SPME contendo a fibra foi inserido através do septo do frasco e a fibra foi então exposta ao *headspace* por 20 minutos a 40 °C, sob agitação magnética constante. Os voláteis retidos na fibra foram dessorvidos, por 1 minuto, pela sua exposição no injetor do equipamento de cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massa.

3.5 Cromatografia gasosa e espectrometria de massa

Para a identificação dos compostos voláteis, foram utilizadas amostras de 1,0 g do café torrado e moído e 3 mL do condensado, sendo obtidos resultados tanto para o café, quanto para o condensado. As análises

cromatográficas foram realizadas com um cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massas *Shimadzu* modelo *QP-2010 Plus*, equipado com coluna *DB-5* de 30 m, 0,25 µm de espessura de revestimento interno e 0,25 mm de diâmetro. A programação de temperatura foi: início a 35 °C, mantida por 1 minuto, taxa de crescimento de 3°C/ minuto até 110°C, outra taxa de 10°C/minuto até 240 °C. As temperaturas de injetor e detector foram: 220°C e 240°C, respectivamente. O injetor foi operado no modo *Splitless*. O espectrômetro de massas foi operado a 70 eV e uma varredura de 45 a 650 m/z. Os índices de retenção foram calculados pela injeção de padrão de alcanos. A identificação dos compostos foi feita por meio de uma biblioteca de espectros de massas (*Wiley 140*) e de índices de retenção de Kovats (*ADAMS, 2007*). As análises foram feitas com três repetições e foi utilizada a mesma metodologia para o café e para o condensado.

3.6 Análise de cor objetiva

As amostras dos condensados foram avaliadas quanto à cor, por meio do Colorímetro *CR-300, Konica Minolta Sensing Inc.*, com iluminante *D65* para calcular índices de cor no sistema *CIELAB*, através dos parâmetros *L**, *a**, *C** - saturação (*chroma*), onde a coordenada *L** indica a luminosidade do produto (valor zero cor preta e valor 100 cor branca), a coordenada *a** está relacionada à intensidade de verde à vermelho e *Chroma* está relacionada à quantidade de cor existente (forte ou fraca). A análise foi feita com três repetições.

3.7 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em um planejamento fatorial completo 3x3, com os seguintes fatores e níveis: condensador e torra, sendo leito de

condensação; balão de condensação e extrator de *soxhlet* e clara; média e escura, respectivamente. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos obtidos foram distribuídos conforme Tabela 3.

Tabela 3 Tratamentos obtidos no estudo

Tratamento	Condensador	Torra
1		Clara
2	Leito de condensação (LC)	Média
3		Escura
4		Clara
5	Balão de condensação (BC)	Média
6		Escura
7		Clara
8	Extrator de <i>Soxhlet</i> (ES)	Média
9		Escura

Os resultados de cor foram avaliados pela análise de variância (ANOVA), e pelo teste de *Tukey* com nível de 5% de significância utilizando-se o *software Sisvar* - versão 5.3 (FERREIRA, 2000). Os resultados da composição de voláteis do condensado e do café foram submetidos à análise descritiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Café

Na avaliação sensorial, pela metodologia SCAA o café obteve 70,5 pontos, sendo classificado como “Café Comercial Fino”. Em correlação com a metodologia da Classificação Oficial Brasileira, essa pontuação equivale a um café de “Bebida Dura”. Além disso, o café foi descrito como: cor verde. Aspecto: bom. Tipo: 2. Umidade: 11,3%.

Tabela 4 Números *Agtron* obtidos para cada tratamento

Tratamento	Condensador	Torra	<i>Agtron</i>
1	LC	clara	56,8
2		média	45,4
3		escura	25,9
4	BC	clara	59,2
5		média	45,6
6		escura	23,6
7	ES	clara	60,4
8		média	41,8
9		escura	21,4

4.2 Condensadores

O três condensadores desenvolvidos neste estudo foram eficientes na condensação da fumaça de torração do café e suas características individuais foram apresentadas abaixo.

4.2.1 Leito de condensação

O leito de condensação (Figura 9) atingiu o objetivo inicial do trabalho, pois promoveu a condensação da fumaça de torração do café. Durante o processo de torra a temperatura da fumaça, medida na saída da mesma do torrador, chegou a 97 °C e assim que encontrava a tubulação de vidro borossilicato já iniciava o processo de condensação, demonstrando a eficiência do sistema, mais provocando perda de condensado anterior ao encontro da fumaça com o leito.

Como o leito foi preenchido com esferas de vidro, essas provocaram a condensação da fumaça, à medida que a mesma subia pelo leito. O condensado foi recolhido ao fundo do leito.



Figura 9 Foto do leito de condensação

De acordo com os dados representados na Tabela 5, a cromatografia gasosa associada à espectrometria de massas (CG/MS) identificou 54 compostos voláteis no café de torra clara, quando o torrador estava acoplado ao leito de condensação, conforme Figura 9.

Tabela 5 Compostos voláteis do café referente à torra clara e leite de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,64	2-butanona	0,18
2	2,71	2-metilfurano	2,08
3	2,87	n.i.	6,42
4	3,45	ácido acético	2,16
5	3,50	tetrahydro-3-furanol	0,39
6	3,59	1-propilmetil éter	0,53
7	4,08	2,3-pentanodiona	2,40
8	4,30	2,5-dimetilfurano	0,30
9	4,37	3-hidroxi- 2-butanona	0,45
10	4,70	fenol	0,31
11	4,93	pirazina	1,32
12	5,16	metilpirrol	0,57
13	5,29	piridina	13,07
14	5,59	piridina	0,52
15	5,70	pirrol	0,05
16	5,97	1-hidroxi-2-butanona	0,53
17	6,50	5-metil-3-propil-2-hexanona	0,15
18	7,14	2-heptanol	0,08
19	7,28	n.i.	1,79
20	7,89	2 metil-pirazina	7,81
21	8,18	3-metilfenol	0,45
22	8,39	2-furanocarboxaldeido	5,69
23	9,77	2-furanometanol	20,91
24	10,10	éster etil 2-acetoxi acético	1,78
25	10,58	3-metil-butanoico	0,16
26	10,73	2-metil-butanoico	0,27
27	11,53	éster 2-furilmetil de ácido fórmico	0,97
28	11,79	2,6-dimetil-pirazina	5,65
29	11,93	2-etil pirazina,	1,98
30	12,09	n.i.	1,03
31	13,51	5,5-dimetil-2-furanona	0,49
32	13,84	1-(2-furil)-2-propanona	0,42
33	14,03	4-metil-benzenometanol	0,35
34	14,34	5-metil-2-furanocarboxaldeido	6,34
35	14,54	2-butanone, 1-(acetiloxi)-	0,46
36	15,41	2-metil-tetrahidrotiofen-3-ona	0,13
37	15,58	n.i.	0,28
38	15,94	acetato de 2-furanometanol	4,64
39	16,08	2-etil-5-metil- pirazina	0,43
40	16,16	2,3,5 trimetil- pirazina	0,13
41	16,25	2-etil-3-metil-pirazina	0,07
42	16,32	1-(2-furil)-1-propanona	0,34
43	16,52	1-propanona, 1-(2-furanoil)	0,07

Tabela 5, continuação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
44	16,80	1h-pirrol-2-carbaldeido	0,38
45	17,09	5-amino-3-metil-4-isoxazol carbonitrila	0,25
46	17,23	n.i.	0,06
47	17,37	ciclohexeno, 1-metil-4-(1-metiletenil)	0,08
48	17,48	3-metil-1,2-ciclopentanediona	0,17
49	19,27	etanona, 1-(1h-pirrol-2-yl)	0,14
50	19,65	5-eteniltetrahydro2-furanometanol	0,14
51	19,79	etanona, 1-(1-metil-1h-pirrol-2-il)-	0,18
52	19,99	pirazina , 3-etil-2,5-dimetil	0,59
53	20,27	2-(2-furilmetil)furano	0,10
54	20,64	3-etil-2-hidroxi- 2-ciclopenten-1-ona,	0,12

TR – Tempo de Retenção; n.i. – Não identificado

Os compostos voláteis encontrados em maior quantidade foram 2-furanometanol, piridina, 2 metil-pirazina, 5-metil-2-furanocarboxaldeído, 2-furanocarboxaldeido, 2,6-dimetil-pirazina, acetato de 2-furanometanol, demonstrando a predominância por compostos das classes furano, pirazina e piridina.

O agrupamento quanto às classes funcionais mostra a predominância de furanos (42,88%), seguido de pirazinas (17,98%) e piridinas (13,59%) em área absoluta. Segundo Gonzales-Rios (2007), essa é uma divisão utilizada na literatura, mas vale ressaltar que há inúmeros compostos de funções mistas que são alocadas aleatoriamente nas classes majoritárias específicas.

Os furanos são majoritariamente formados no processo de degradação térmica dos açúcares, durante a pirólise. Conferem atributos como doce, frutal, nozes ou caramelo aos alimentos termoprocessados (FLAMENT, 2002).

Entre os furanos identificados destacaram-se: o 2-furanometanol, apresentando as maiores concentrações no *headspace*, composto que confere sensações de queimado e amargo, caracterizado por odor suave de caramelo e de

óleo queimado, já descrito como predominante no *headspace* do café torrado e formado progressivamente durante a torra (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999; FLAMENSTE, 2002). Ainda segundo os mesmos autores, 5-metil-2-furil-carboxaldeído, é descrito como um composto de odor doce-apimentado, cuja formação é atribuída à degradação da glicose ou a partir do intermediário de Amadori. O 2-furanocarboxaldeído, também conhecido como furfural, é resultado da oxidação de álcool furfurílico, formado pela decomposição de pentosanas, é uma característica de café levemente torrado a que se dá um sabor semelhante ao de cereais torrados. Mottram (1991 citado por FLAMENSTE, 2002) mostrou que ele é formado a partir do composto de Amadori de uma pentose e um intermediário 3-deoxio-ona. Tem sido descrito como pungente, mas doce, gosto de pão, caramelo, odor de canela e amêndoa de tenacidade pobres. E, o acetato de 2-furil-metanol, de odor herbáceo-floral, considerado o éster furfurílico presente em maior concentração no café (FAGERSON, 1969; TRESSL et al., 1978 citado por FRANÇA et al., 2009).

O grupo das pirazinas se destacou com 17,98% em área absoluta, Foram identificadas 8 pirazinas, predominando a 2-metil-pirazina, cuja formação aumenta com o progresso da torra (LESTREMAU; ANDERSSON; DESAUZIERS, 2004; STADLER et al., 2002).

As piridinas, que somaram 13,59%, são identificadas entre produtos de pirólise de modelos de reações envolvendo aminoácidos e açúcar e também podem ser formadas durante o processo de torração, pela decomposição da trigonelina (HUGHES; SMITH, 1946 citado por FLAMENSTE, 2002). O composto, com predominância neste grupo, a piridina, é caracterizada por pungente, odor penetrante e difusivo, geralmente descrito como nauseante, mas extremamente diluído torna-se quente, queimado e com aroma de fumaça (ARCTANDER, 1967 citado por FLAMENSTE, 2002).

Para a torra média, obtida juntamente com o leite de condensação, foram identificados 56 compostos voláteis no café, conforme observado na Tabela 6.

Tabela 6 Compostos voláteis do café referente à torra média e leite de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,71	2-metilfurano	9,31
2	2,80	n.i.	0,88
3	3,28	3-metilbutanal	0,32
4	3,42	2-metilbutanal	1,35
5	3,99	pentano-2,3-diona	0,49
6	4,24	2,5-dimetilfurano	0,92
7	4,86	pirazina	1,58
8	5,13	piridina	28,39
9	5,56	pirrol	0,63
10	5,79	n.i.	0,18
11	5,87	ácido propanoico	0,09
12	5,95	ácido 1,2-dicarboxílico	0,41
13	6,18	metil 5-oxopentanoato	0,14
14	6,44	acetaldeido, butilhidrazona	0,20
15	6,60	ciclopentanona	0,14
16	6,98	2-(propoximetil)oxirana	0,31
17	7,21	amida do ácido oxálico	0,47
18	7,46	1-etilpirrol	0,19
19	7,75	2-metilpirazina	6,66
20	8,07	2-(metoximetil)furano	0,34
21	8,12	m-cresol	0,42
22	8,22	2-furanocarboxaldeido	0,86
23	8,33	2-carboxi-1-metilpiridina	0,40
24	8,59	2-metil-1h-pirrol	0,28
25	8,95	ácido butanoico	0,24
26	9,06	2-alilfurano	0,19
27	9,28	2-furanometanol	23,25
28	9,73	2,5-dimetil-1h-pirrol	0,15
29	9,84	n.i.	0,61
30	11,45	2-furilmetil formato	1,03
31	11,57	2,5-dimetilpirazina	1,10
32	11,63	1-(2-furil)etanona	1,50
33	11,76	dihidro-2-furanona	1,32
34	11,97	2,3-dimetilpirazina	0,50
35	13,49	2,5-dimetil-3-furanona	0,14
36	13,77	1-(2-furil)-2-propanona	0,39

Tabela 6, continuação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
37	13,99	3,5-dimetilfenol	0,45
38	14,20	5-metilfurano-2-carbaldeído	0,61
39	14,30	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,20
40	14,47	1-butoxibutana	0,19
41	15,40	fenol	0,15
42	15,55	1,2, 6-hexanotriol	0,10
43	15,84	acetato de 2-furilmetil	6,80
44	15,94	2-furfurilmetilsulfide	0,25
45	16,12	2,3,5-trimetilpirazina	0,09
46	16,23	1-metilpirrol-2-carbaldeído	0,46
47	17,04	n.i.	0,32
48	17,38	3-metilciclopentano-1,2-diona	0,18
49	19,19	1-(1h-pirrol-2-il)etanona	0,29
50	19,77	1-(1-metilpirrol-2-il)etanona	0,22
51	20,01	2,5-dimetil-3-etilpirazina	0,24
52	20,24	2-(2-furilmetil)furano	0,33
53	20,51	2-metoxifenol	0,36
54	20,61	3-etilciclohexanona	0,06
55	20,70	2-metilprop-2-en-1-ol	0,12
56	21,38	2-etil-3-metilmaleico anidrido	0,15

Os grupos formados para essa torra, também mostram a predominância das classes funcionais furanos (46,38%), piridinas (28,79%) e pirazinas (10,17%). A quantidade de furanos 46,38% observada é maior do que a obtida para a torra clara, o que demonstra que a formação dos furanos aumenta com o aumento do grau da torra. O composto representante dessa classe, em maior quantidade também foi o 2-furanometanol, seguido pelo 2-metilfurano característico por possuir odor de éter e enjoativo e pelo acetato de 2-furilmetil (FLAMENT, 2002).

Entre as pirazinas presentes, a 2-metilpirazina também está presente em maior quantidade. Mas o composto predominante desse cromatograma foi a piridina (28,39%), também presente na torra clara, porém em menor quantidade.

Para a torra escura, em leito de condensação, foram obtidos 77 compostos voláteis, conforme representado na Tabela 7.

Tabela 7 Compostos voláteis do café referente à torra escura e leito de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,65	2-butanona	0,13
2	2,71	2-metilfurano	9,54
3	2,88	n.i.	4,39
4	3,03	1-butoxiopropan-2-ol	0,40
5	3,34	3-metilbutanal	0,32
6	3,49	2-metilbutanal	1,32
7	3,91	2-pentanona	0,05
8	3,96	3,4-dihidro-2h-piran	0,08
9	4,07	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,61
10	4,31	2,5-dimetilfurano	1,18
11	4,44	1-metil-1-ciclopenten-3-ona	0,06
12	4,70	fenol	0,43
13	4,91	pirazina	2,19
14	5,22	piridina	13,16
15	5,43	piridina	7,27
16	5,70	pirrol	0,91
17	5,86	n.i.	0,51
18	6,00	1-metilpiperidina	0,50
19	6,23	3-metilbutanoico ácido metil ester	0,18
20	6,50	3,3,5-trimetilheptano	0,21
21	6,64	ciclopentanona	0,07
22	6,68	n.i.	0,14
23	7,04	7-tert-butoxiheptanal	0,23
24	7,16	2-etilhexil pentenoato	0,10
25	7,25	2-metiloxolan-3-ona	0,20
26	7,52	1-etilpirrol	0,33
27	7,63	4-metilpiridina	0,15
28	7,82	2-metilpirazina	5,93
29	8,12	2-(metoximetil)furano	0,15
30	8,17	2-vinil-5-metilfurano	0,18
31	8,26	1,4-dimetil-1h-pirazol	0,61
32	8,39	2,3-dimetil-1h-pirrol	0,27
33	8,65	1-metilpirrol	0,37
34	9,11	2-alilfurano	0,26
35	9,57	2-furanometanol	16,94
36	9,67	3-metilpiridina	0,34
37	9,78	2,4-dimetil-1h-pirrol	0,32
38	9,98	ester etil l-leucina	0,93

Tabela 7, continuação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
39	10,55	3-hidroxi-4,4-dimetildihidro-2(3h)-furanona	0,15
40	10,69	n.i.	0,22
41	11,50	2-metil-2,3-hexadieno	1,08
42	11,70	2,6-dimetil-pirazina	3,43
43	11,84	2-etilpirazina	0,69
44	11,91	2-propenoico ácido, 2-metil-, 2-(dimetilamino)etil ester	0,24
45	12,02	2,3-dimetilpirazina	1,29
46	12,46	3-piridilmetanol	0,24
47	12,61	2-ciano-4-metilpentenoato	0,13
48	12,69	n.i.	0,07
49	13,02	n.i.	0,23
50	13,35	1-butilpirrol	0,14
51	13,49	2,5-dimetil-3(2h)furanona	0,15
52	13,84	3-etilpiridina	1,17
53	14,03	4-aminometil-fenilamina	0,26
54	14,26	5-metilfurano-2-carbaldeido	0,35
55	14,34	1-acetoxi-2-propionoxietano	0,29
56	14,51	2-oxobutil acetato	0,20
57	14,90	n.i.	0,18
58	15,55	fenol	1,16
59	15,93	acetato 2-furilmetil	4,99
60	16,14	2,3,5-trimetilpirazina	0,06
61	16,22	2-etil-3-metil pirazina	0,05
62	16,30	1-metilpirrol-2-carbaldeido	0,14
63	16,79	tetrahidrofurano-2-metanol	0,18
64	17,07	2,3-diciano-propionamida	0,57
65	17,46	3-metilciclopentano-1,2-diona	0,58
66	18,32	2-metilpropilpirazina	0,21
67	18,49	5-isopropil-1,4-dimetil-1-ciclopenteno	0,11
68	18,88	1-ciclohexeno ácido carboxílico	0,27
69	19,78	4-metoxi-fenilamina	0,45
70	19,99	2,5-dimetil-3-etilpirazina	0,59
71	20,27	2-(2-furilmetil)furano	0,54
72	20,54	2-metoxifenol	0,65
73	20,79	1-buten-3-ol	0,52
74	21,36	6,7-dihidro-5h-ciclopentapirazina	0,38
75	21,74	n.i.	0,38
76	22,03	2-hidroxi-3-etil-2-ciclopentenona	0,46
77	25,03	2-(2-furilmetil)-5-metilfurano	0,10

O agrupamento para a torra escura também mostra a predominância das classes funcionais furanos (33,53%), piridinas (22,59%) e pirazinas (14,80%). A quantidade de furanos é menor do que a observada para as torras clara e média, mas assim como as torras anteriores, o composto 2-furil-metanol predomina na amostra, seguido também pelo 2-metil-furano e acetato 2-furilmetil.

A quantidade de piridinas (22,59%) está entre as torras clara e escura e também tem como composto primordial a piridina. As pirazinas com 14,80% possuem valor intermediário em relação a três torras e possui como composto predominante a 2-metilpirazina, semelhante ao encontrado para as torras anteriores e vem seguida pela 2,6-dimetil pirazina caracterizada por possuir odor doce, de fritura, lembrando batata frita, mas não tão típico quanto o 2,5-isômero (ARCTANDER, 1967 citado por FLAMENT, 2002).

Para a torra clara, em leito de condensação, foram obtidos 25 compostos voláteis, conforme representado na Tabela 8.

Tabela 8 Compostos voláteis do condensado referente à torra clara e leite de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,66	2-butanona	2,85
2	2,74	hexano	0,42
3	2,80	hexano	0,33
4	2,97	n.i.	3,48
5	3,04	n.i.	0,64
6	3,44	3-metilbutanal	23,83
7	3,59	2-metilbutanal	3,78
8	4,15	3,3-dimetilbutan-2-ona	1,62
9	5,77	piridina	3,34
10	5,93	metilbenzeno	4,07
11	7,04	hexanal	1,33
12	8,27	2-furanocarboxaldeido	3,45
13	8,43	2-furanocarboxaldeido	6,16
14	9,55	2-furanometanol	12,48
15	10,60	3-heptanona	1,82
16	11,84	metil n-hidroxibenzenocarboximidoato	4,82
17	14,24	5-metilfuran-2-carbaldeido	1,30
18	17,56	2-etilhexan-1-ol	1,12
19	17,99	3-etil-3-heptanol	5,55
20	18,23	benzenoacetaldeido	6,66
21	21,26	nonanal	0,44
22	22,03	3,5,5-trimetilciclohex-2-en-1-ona	1,02
23	33,58	pentadecano	2,31
24	33,91	1-hidroxi-4-metil-2,6-di-tert-butilbenzeno	1,03
25	38,30	n.i.	0,41

Ao contrário dos resultados da cromatografia para os grãos de café, a predominância de classes funcionais dos compostos voláteis do condensado para a torra clara é de aldeídos (36,04%), seguidos pelos furanos (22,09%) também presentes em grande quantidade no café.

O composto em maior quantidade é o 3-metil-butanal, obtido através da pirólise da leucina e da leucina pela polifenoloxidase (MERRITT, 1970; MOTODA, 1979 citado por FLAMENT, 2002). Seu aroma é descrito como muito poderoso, penetrante, acre-pungente, causando tosse a menos que

altamente diluído. Em extrema diluição, seu odor torna-se frutal, agradável e seu aroma é como pêssego (ARCTANDER, 1967 citado por FLAMENT, 2002).

O 2-metil-butanal tem seu aroma descrito como forte, asfixiante, quando não diluído, mas torna-se tolerável em extrema diluição, quase um agradável frutado, fermentado com uma nota peculiar parecida com a do cacau ou café torrado (ARCTANDER, 1967 citado por FLAMENT, 2002). Para Motoda (1979 citado por FLAMENTE, 2002) é como maçã ou malte.

O composto benzenoacetaldeído, foi o aldeído mais representativo nesse tratamento e tem seu aroma descrito de diferentes formas por autores distintos. De acordo com Arctander (1967) possui odor muito poderoso e penetrante, verde-pungente, floral e doce tipo jacinto, como rosa lilás segundo Motoda, (1979) e como mel de acordo com Holscher, Vitzhum e Steinhart (1990). Todos citados por Flament (2002).

Dentro do grupo dos furanos foi encontrado em maior quantidade os já descritos 2-furanometanol e 2-furanocarboxaldeído, ou furfural.

A Tabela 9 demonstra os 19 compostos obtidos do condensado por torra média em leite de condensação.

Tabela 9 Compostos voláteis do condensado referente à torra média e leito de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,81	n.i.	8,86
2	3,30	3-metil butanal	1,46
3	3,45	2-metil butanal	3,85
4	4,02	n.i.	4,57
5	5,42	piridina	3,23
6	5,82	fenilmetil hidrazina	0,86
7	6,97	hexanal	1,79
8	7,90	metil pirazina	2,90
9	8,24	2-furanocarboxaldeido	26,69
10	9,27	2-furanometanol	12,91
11	11,71	1-2-furanoil etanona	2,12
12	14,23	5-metil 2-furanocarboxaldeido	13,30
13	15,89	propanoate 2-furanometanol	3,79
14	17,55	2-etil 1-hexanol	1,05
15	18,22	benzeneacetaldéido	0,84
16	21,25	nonanal	0,71
17	25,15	n-furfuril pirrol	0,45
18	30,10	1-4-hidroxi-3-metilfenil etanona	0,65
19	38,30	n.i.	3,05

O condensado obtido em leito de condensação com torra média possui compostos voláteis semelhantes ao obtido na torra clara, entretanto, a classe dos furanos prevaleceu nesse tratamento, englobando 59,26% de área do cromatograma, já os aldeídos, também presente em grande número na lista de compostos, para essa torra englobou apenas 8,62% da área do cromatograma.

Os furanos identificados são semelhantes aos encontrados tanto no café quanto no condensado anterior, predominando o 2-furanocarboxaldeido (furfural) seguido pelo 5-metil 2-furanocarboxaldeido e 2-furanometanol, já discutidos anteriormente.

Apesar de presentes os aldeídos 3-metil butanal, 2-metil butanal e benzeneacetaldéido, encontrados também na torra clara, para a torra média, porém, eles apareceram em menor proporção.

Conforme dados representados na Tabela 10, a análise cromatográfica do condensado de torra escura obtido no leito de condensação foi capaz de encontrar 46 compostos voláteis, número esse bem maior quando comparo às torras claras e médias.

Tabela 10 Compostos voláteis do condensado referente à torra escura e leito de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,61	2-butanona	0,23
2	2,65	1,2-dimetil hidrazina	2,02
3	2,80	n.i.	14,35
4	3,28	3-metil butanal	0,57
5	3,44	2-metil butanal	1,04
6	4,00	2,3-pentanodiona	1,93
7	4,27	n-1,1,3,3-tetrametilbutil formamida	0,16
8	5,12	1-metil 1h-pirrol	0,14
9	5,33	piridina	2,35
10	5,57	pirrol	0,39
11	5,80	heptano-1,2,4,6-tetraeno	0,08
12	6,94	hexanal	0,63
13	7,24	dihidro-2-metil 3(2h)-furanona	0,21
14	7,85	metil pirazina	2,21
15	8,09	2-(metoximetil) furano	0,20
16	8,21	2-furanocarboxaldeido	20,29
17	8,82	3-metil butanoico ácido	0,48
18	9,27	2-furanometanol	13,86
19	10,47	protoanomonina	0,60
20	11,46	2-furilmetil formate	0,82
21	11,66	1-(1h-imidazol-4-il) etanona	2,79
22	11,85	etil pirazina	0,65
23	12,34	metil ester ácido hexanoico	1,07
24	13,79	1-(2-furil)-2-propanona	0,07
25	14,00	benzaldeido	0,49
26	14,19	5-metil 2-furanocarboxaldeido	12,66
27	15,40	fenol	0,72
28	15,85	acetate 2-furanometanol	6,90
29	15,96	3-(1h-imidazol-1-il)propanonitrila	0,47
30	16,02	ácido hexanoico etil ester	0,76
31	16,25	6-metil 3-piridinol	0,79
32	16,48	1-(2-furanoil)1 1-propanona	0,12
33	16,64	pirrol-2-carboxaldeido	0,16

Tabela 10, continuação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
34	18,19	n.i.	0,49
35	19,20	acetilpirrol	0,40
36	19,78	1-(1-metil-1h-pirrol-2-il) etanona	0,35
37	20,24	n.i.	0,94
38	20,52	4-metoxi fenol	0,68
39	21,22	nonanal	0,81
40	22,03	3,5,5-trimetil 2-ciclohexen-1-ona	0,09
41	25,01	2-(2-furanoilmetil)-5-metil furano	0,40
42	25,10	n-furfuril pirrol	0,89
43	29,09	4-etil guaiacol	0,17
44	29,75	n.i.	0,34
45	30,08	2-metoxi-4-vinilfenol	1,16
46	38,29	n.i.	0,96

A predominância dos compostos para a torra escura também é de furanos semelhante à torra média, somando 57,15% da área do cromatograma. Os compostos encontrados em maior quantidade também foram os mesmo obtidos para o tratamento 2, 2-furanocarboxaldeído (furfural), 2-furanometanol, 5-metil 2-furanocarboxaldeído e acetate 2-furanometanol, encontrados também no café, com exceção do último.

Os aldeídos encontrados no condensado de torra clara, também foram encontrados neste, entretanto, semelhante à torra média eles ocuparam uma pequena porcentagem da área do cromatograma.

4.2.2 Balão de condensação

O balão de condensação (Figura 10) foi capaz de condensar a fumaça durante a torração do café. Durante o processo de torra do café a fumaça atingiu a temperatura de 97 °C, medida na saída da mesma do torrador. A condensação deu início assim que a fumaça entrava em contato com a tubulação de vidro

borossilicato, promovendo a perda de condensado anterior ao condensador. Processo esse, semelhante ao que ocorreu com o Leito de Condensação.

Assim que a fumaça percorreu toda tubulação e entrou em contato direto com a água ao fundo do balão, imerso em banho de gelo, promoveu a condensação instantânea, garantindo a eficiência do condensador. Em comparação com o leito de condensação, o balão de condensação é um equipamento bem mais simples de ser montado e trabalhado. Como a fumaça percorre um caminho menor e não encontra obstáculos, caindo diretamente no fluido refrigerante, a perda de fumaça é bem menor.



Figura 10 Foto do balão de condensação

A Tabela 11 demonstra os 49 compostos voláteis obtidos da análise cromatográfica do café de torra clara, processado durante a captura da fumaça pelo balão de condensação.

Tabela 11 Compostos voláteis do café referentes à torra clara e balão de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,64	2-butanona	1,83
2	2,79	n.i.	2,29
3	3,29	3-metilbutanal	0,34
4	3,43	2-metilbutanal	2,32
5	3,87	2-pentanona	0,05
6	4,00	3,3-dimetilbutan-2-ona	2,15
7	4,25	2,5-dimetilfurano	0,29
8	4,32	3-hidroxibutan-2-ona	0,81
9	4,65	fenol	0,34
10	4,79	eter metil-tert-butil-2,2-dimetilpropil	0,01
11	4,89	pirazina	0,98
12	5,11	1-metilpirrol	0,59
13	5,17	piridina	13,74
14	5,57	pirrol	0,20
15	5,88	1-hidroxi-2-butanona	0,75
16	6,46	ester butanoico ácido, 2-propenil	0,2
17	6,79	2,3-butanodiol	0,19
18	7,00	2-tert-butoxi-2-metilpropano	0,63
19	7,12	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,19
20	7,21	2-metiloxolan-3-ona	0,95
21	7,64	4-metiltiazol	0,10
22	7,76	2-metilpirazina	9,09
23	8,13	2,5-furanodiona	0,33
24	8,21	2-furanocarboxaldeido	8,51
25	9,00	3-metilbutanoico ácido	0,33
26	9,08	5,6-dihidro-4h-cyclopenta(b)furano	0,06
27	9,28	2-furanometanol	21,83
28	9,85	etil ester ácido 2-acetoxiacético	1,58
29	11,46	acetate de 2-furilmetil	1,43
30	11,58	2,5-dimetilpirazina	2,18
31	11,64	1-(1h-imidazol-5-il)etanona	3,62
32	11,79	2-etilpirazina	2,19
33	11,99	2,3-dimetilpirazina	0,51
34	13,49	2,5-dimetil-3(2h)-furanona	0,41
35	13,79	1-(2-furil)-2-propanona	0,47
36	14,01	ácido benzoico	0,22
37	14,20	5-metilfurano-2-carbaldeido	5,47
38	14,30	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,43
39	14,47	2-oxobutil acetato	0,34
40	15,85	acetato de 2-furilmetil	5,18
41	16,03	2-etil-5-metil pirazina	0,43
42	16,12	2,3,5-trimetilpirazina	0,11
43	16,25	1-metilpirrol-2-carbaldeido	0,85

Tabela 11, continuação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
44	16,64	pirrol-3-carboxaldeido	0,15
45	17,07	2-carbamilpirazina	0,45
46	17,40	n.i.	0,16
47	18,04	n.i.	0,16
48	19,78	1-(1-metilpirrol-2-il)etanona	0,19
49	20,01	2,5-dimetil-3-etilpirazina	0,61

Semelhante ao grupamento das classes funcionais dos cafés obtidos nos tratamentos 1, 2 e 3, observou-se a predominância de compostos da classe dos furanos com 43,92%, das pirazinas com 16,55% e das piridinas 13,74%. As porcentagens de área ocupada dos cromatogramas pelos grupos descritos ficaram bem próximas às encontradas no tratamento 1, o que era esperado, pois esse tratamento (T4) possui um condensador diferente, mas é torra clara como o tratamento 1.

Os compostos voláteis encontrados em maior quantidade foram 2-furanometanol, piridina, 2-metilpirazina, 2-furanocarboxaldeido (furfural), 5-metilfurano-2-carbaldeido, acetato de 2-furilmetil. Sendo o primeiro, o composto de maior participação na área do cromatograma, semelhante à torra clara já descrita. Cada composto mostrado corrobora com os resultados apresentados anteriormente e seus respectivos aromas já foram dispostos.

A Tabela 12 representa os 45 compostos voláteis encontrados para o tratamento 5, em que a torra é média e o condensador é o de balão.

Tabela 12 Compostos voláteis do café referentes à torra média e balão de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,72	2-metilfurano	9,05
2	2,81	n.i.	1,06
3	3,29	3-metilbutanal	0,42
4	3,43	2-metilbutanal	1,70
5	4,00	2,3-pentanediona	0,63
6	4,25	2,5-dimetilfurano	0,75
7	4,33	3-hidroxibutan-2-ona	0,37
8	4,65	fenol	0,44
9	4,88	pirazina	1,08
10	5,14	piridina	25,16
11	5,57	pirrol	0,38
12	5,89	2,2-dimetilpropanoico ácido	0,18
13	6,45	2-metilhexan-3-ona	0,24
14	6,99	n.i.	0,43
15	7,22	2-metiloxolan-3-ona	0,50
16	7,76	2-metilpirazina	5,80
17	8,13	2-vinil-5-metilfurano	1,02
18	8,23	2-furanocarboxaldeido	1,66
19	8,96	3-metilbutanoico ácido	0,20
20	9,07	2-alilfurano	0,27
21	9,28	2-furilmetanol	22,24
22	9,74	2,5-dimetil-1h-pirrol	0,14
23	9,85	acetic ácido 2-acetoxi-etil ester	1,12
24	11,46	ácido fórmico 2-furilmetil	1,54
25	11,58	2,5-dimetilpirazina	0,65
26	11,64	1-(2-furil)etanona	2,08
27	11,78	2-etilpirazina	1,75
28	11,98	2,3-dimetilpirazina	0,43
29	13,78	1-(2-furil)-2-propanona	0,55
30	14,01	3,5-dimetilfenol	0,40
31	14,21	5-metilfurano-2-carbaldeido	1,68
32	14,31	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,42
33	14,48	2-oxobutil acetato	0,22
34	15,85	acetato 2-furilmetil	7,60
35	16,02	metil etil pirazina	0,12
36	16,13	2,3,5-trimetilpirazina	0,12
37	16,25	1-metilpirrol-2-carbaldeido	0,88
38	17,06	pirazina	0,46
39	17,39	3-metilciclopentane-1,2-diona	0,23
40	18,05	2,3-dimetil maleico anidrido	0,28
41	19,20	1-(1h-pirrol-2-il)etanona	0,34
42	19,78	1-(1-metilpirrol-2-il)etanona	0,37
43	20,01	2,5-dimetil-3-etilpirazina	0,47
44	20,25	2-(2-furilmetil)furano	0,24
45	20,52	2-metoxifenol	0,27

Os grupos formados para essa torra média também mostram a predominância das classes funcionais furanos (47,02%), piridinas (25,16%) e pirazinas (10,88%). As porcentagens ficaram bem próximas às encontradas no tratamento 2, onde a torra também é média. A quantidade de furanos observada é maior do que a obtida para a torra clara, demonstrando mais uma vez que a formação dos furanos aumenta com o aumento do grau torra. O composto representante dessa classe, em maior quantidade também foi o 2-furanometanol, seguido pelo 2-metilfurano e pelo acetato de 2-furilmetil. O mesmo resultado obtido pelo tratamento 2

Entre as pirazinas presentes, a 2-metilpirazina também está presente em maior quantidade. Mas, o composto predominante desse cromatograma foi a piridina, também presente na torra clara, porém em menor quantidade, resultado esse semelhante à outra torra média.

Para a torra escura, em balão de condensação, foram obtidos 53 compostos voláteis, conforme representado na Tabela 13.

Tabela 13 Compostos voláteis do café referente à torra escura e balão de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,65	2-butanona	2,60
2	2,81	n.i.	4,55
3	3,29	3-metilbutanal	0,16
4	3,43	2-metilbutanal	0,77
5	4,01	2,3-pentanediona	0,21
6	4,25	2,5-dimetilfurano	0,59
7	4,34	3-hidroxibutan-2-ona	0,32
8	4,65	fenol	0,24
9	4,88	pirazina	1,76
10	5,13	piridina	43,61
11	5,58	pirrol	0,59
12	6,45	3-tert-butil-2-hexanona	0,23
13	6,61	ciclopentanona	0,22
14	6,76	trans- 3-metil-oxiranemetanol,	0,13
15	6,99	n.i.	0,20

Tabela 13, continuação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
16	7,23	2-metiloxolan-3-ona	0,16
17	7,48	1-etilpirrol	0,34
18	7,77	2-metilpirazina	4,82
19	8,13	2-vinil-5-metilfurano	0,51
20	8,25	2-furanocarboxaldeido	0,48
21	8,35	1-metil-2-piridinacarboxílico ácido	0,21
22	8,60	2-metil-1h-pirrol	0,23
23	8,89	3-metilbutanoic ácido	0,22
24	9,08	2-allilfurano	0,23
25	9,26	2-furanometanol	14,81
26	9,51	2-metilpiridina	0,39
27	9,74	2,5-dimetil-1h-pirrol	0,22
28	9,86	esterl etil-leucina,	0,56
29	11,47	2-etilfurano	0,78
30	11,60	2,5-dimetil pirazina	0,26
31	11,65	1-(1h-imidazol-5-il)etanona	1,26
32	11,77	2(3h)-furanona, dihidro-	1,48
33	11,98	2,3-dimetilpirazina	0,85
34	13,79	1-(2-furil)-2-propanona	0,36
35	14,00	3,5-dimetilfenol	0,92
36	14,23	5-metilfurano-2-carbaldeido	0,26
37	14,32	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,31
38	15,41	fenol	0,44
39	15,86	acetate de 2-furilmetil	5,45
40	15,95	furfurilmetildisulfido	0,71
41	16,04	metil etil pirazina	0,32
42	16,14	2,3,5-trimetilpirazina	0,11
43	16,26	1-metil-2-pirrolcarboxaldeido	0,41
44	17,06	pirazina	0,28
45	17,39	3-metilciclopentane-1,2-diona	0,21
46	19,21	1-(1h-pirrol-2-il)etanona	0,24
47	19,79	1-(1-metilpirrol-2-il)etanona	0,25
48	20,03	2,5-dimetil-3-etilpirazina	0,22
49	20,26	bi-(2-furil)-metane	0,41
50	20,53	2-metoxifenol	0,53
51	20,71	1-buten-3-ol	0,30
52	21,17	n.i.	0,23
53	21,40	6,7-dihidro-5h-ciclopentapirazina	0,19

O agrupamento para a torra escura também mostra a predominância das classes funcionais furanos (20,32%), piridinas (44%) e pirazinas (7,69%). A quantidade de furanos é bem menor do que a observada para as torras clara e média do balão de condensação, pois à medida que se aumenta o grau de torra os furanos formados são consumidos dando origem a outros compostos. É menor também quando comparado com os compostos da torra escura do tratamento 3, pois além do número de compostos ter sido inferior ocorreu um predomínio de piridinas no tratamento 6. O composto 2-furilmetanol predomina na amostra, seguido pelo 2- acetato 2-furilmetil .

A quantidade de piridinas está entre as torras clara e escura e também tem como composto primordial a piridina. As pirazinas possuem o menor valor em relação a três torras do balão de condensação e à torra escura do leito de condensação.

Para a torra clara, em balão de condensação, foram obtidos 36 compostos voláteis, conforme representado na Tabela 14.

Tabela 14 Compostos voláteis do condensado referente à torra clara e balão de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,64	2-butanona	3,11
2	2,81	n.i.	3,82
3	2,91	propilciclopropano	0,81
4	3,38	octanal	0,23
5	4,11	n.i.	6,26
6	5,58	piridina	1,42
7	5,70	2-propinonitrila	0,07
8	5,81	n.i.	9,26
9	6,66	2-metiloctanal	0,15
10	6,97	dibutil peroxida	0,22
11	8,02	2,5-dicianobiciclo-2,2,1-heptano	0,67
12	8,28	2-furanocarboxaldeido	17,34
13	9,33	2-furanometanol	5,11
14	10,57	n.i.	3,65
15	10,79	n.i.	0,20
16	11,03	5-metil- 3-hexanol	0,87
17	11,85	n.i.	0,18
18	11,91	n.i.	0,08
19	12,27	n.i.	0,14
20	12,38	éster metílico de ácido acético	0,67
21	12,63	2-(3-fenilpropil)- piridina	0,03
22	14,28	5-metil-2-furanocarboxaldeido	5,97
23	15,41	ester dibutil de ácido sulfúrico	0,03
24	16,06	ester 2-metilbutil de acid hexanoico	0,66
25	17,54	n.i.	20,38
26	17,98	n.i.	0,17
27	21,25	n.i.	0,96
28	22,07	3-metil-3-nitrobutironitrila	1,25
29	22,57	2,5-dihidro- 2-furanoacetoneitrila	0,24
30	31,88	dibutil ester de ácido sulfúrico	0,10
31	33,58	n.i.	4,43
32	33,91	n.i.	0,21
33	33,99	metil ester de ácido octanoico	0,24
34	35,07	tetrahidro 2-furanopropanonitrila	0,37
35	36,27	n.i.	0,03
36	38,30	n.i.	1,22

Ao contrário dos resultados da cromatografia para o condensado do tratamento 1, que também é torra clara, e corroborando com os resultados referentes aos tratamentos 2 e 3 a predominância de classes funcionais dos compostos voláteis do condensado para a torra clara são os furanos (28,42%). O composto em maior quantidade é o 2-furanocarboxaldeído, também chamado furfural, seguido pelo 5-metil-2-furanocarboxaldeído.

Conforme Tabela 15, a análise cromatográfica do condensado de torra média obtido pelo balão de condensação foi capaz de encontrar 15 compostos voláteis.

Tabela 15 Compostos voláteis do condensado referente à torra média e balão de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,81	n.i.	56,72
2	6,95	hexanal	1,66
3	7,90	metil-pirazine	1,71
4	8,24	2-furanocarboxaldeído	9,65
5	9,27	2-furanometanol	8,49
6	11,71	n.i.	0,53
7	11,90	etil-pirazine,	0,24
8	12,36	ester metil ácido hexanoico	0,6
9	12,61	n.i.	0,26
10	14,22	5-metil-2-furanocarboxaldeído	12,00
11	15,87	acetato de 2-furanmethanol	0,95
12	16,04	ester etil ácido hexanoico	1,25
13	17,53	2-etil hexanol	1,50
14	21,24	dodecanal	0,46
15	30,09	4-vinil-2-metoxi-fenol	0,27

O condensado obtido no balão de condensação com torra média possui compostos voláteis predominantes da classe dos furanos, entretanto, com o valor de 21,44%, a proporção de furanos encontrada é bem menor, quando comparada com o tratamento 2. O composto 5-metil-2-furanocarboxaldeído esteve presente

em maior quantidade, seguido pelo furfural e 2-furanometanol, também presente no tratamento 2.

Conforme dados representados na Tabela 16, a análise cromatográfica do condensado de torra escura obtida pelo balão de condensação foi capaz de encontrar 21 compostos voláteis.

Tabela 16 Compostos voláteis do condensado referente à torra escura e balão de condensação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,81	n.i.	25,97
2	3,29	3-metil butanal	0,71
3	3,44	2-metil- butanal	1,88
4	4,01	3,3-dimetil- 2-butanona	1,61
5	5,36	piridina	1,98
6	7,88	metil- pirazina	1,95
7	8,23	2-furanocarboxaldeido	17,46
8	9,26	2-furanometanol	15,27
9	11,69	1-(2-furanoil)- etanona	2,65
10	11,88	etil- pirazina	0,60
11	14,21	5-metil- 2-furanocarboxaldeido	12,34
12	15,87	acetate de 2-furanometanol	6,46
13	15,98	3-(1h-imidazol-1-il)propanonitrila	0,99
14	16,28	1-metil-2-pirrolcarboxaldeido	0,78
15	20,26	bi-(2-furil)-metano	0,77
16	20,52	2-metoxifenol	0,62
17	21,23	nonanal	0,81
18	25,12	n-furfuril pirrol	0,59
19	29,76	n.i.	0,18
20	30,09	4-vinil-2-metoxi-fenol	0,84
21	38,30	n.i.	0,97

A predominância dos compostos para a torra escura também é de furanos, semelhante aos outros tratamentos, somando 54,18% da área do cromatograma, valor bem próximo ao encontrado na torra escura para o leite de condensação. Os compostos em maior quantidade também foram os mesmos

obtidos do tratamento 2 e 3, 2-furanocarboxaldeído (furfural), 2-furanometanol, 5-metil 2-furanocarboxaldeído e acetate 2-furanometanol.

4.2.3 Extrator de Soxhlet

O extrator de *soxhlet* adaptado (Figura 11) foi capaz de condensar a fumaça durante a torração do café. Durante o processo de torra do café a fumaça atingiu a temperatura de 97°C, medida na saída da mesma do torrador. A condensação deu início assim que a fumaça entrou em contato com a tubulação de vidro borossilicato, promovendo a perda de condensado anterior ao condensador, até que a tubulação ficou totalmente preenchida por fumaça e essa percorreu o caminho até o condensador. Processo semelhante ao ocorrido com o Leito de Condensação e com o Balão de Condensação.

Assim que a fumaça percorre toda tubulação entra no extrator de *soxhlet* através de um balão de fundo redondo com duas bocas, essa fumaça percorre pelo tubo de ascensão onde encontra a câmara de resfriamento e se condensa, sendo o condensado armazenado no recipiente coletor.

Em comparação com o leito de condensação o extrator adaptado é mais simples, de mais fácil manipulação, entretanto também possui obstáculos que aumentam a perda de condensado, como tubo de ascensão, que, por ter um diâmetro interno pequeno, dificulta a passagem da fumaça. Quando comparado com o balão de condensação o extrator de *soxhlet* é mais complexo, porém visualmente mais eficiente.



Figura 11 Foto do extrator de *soxhlet* adaptado ao condensador

A Tabela 17 demonstra os 71 compostos voláteis obtidos da análise cromatográfica do café de torra clara, processado durante a captura da fumaça pelo extrator de *soxhlet*.

Tabela 17 Compostos voláteis do café referentes à torra clara e extrator de *soxhlet*

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,64	2-butanona	0,21
2	2,71	2-metilfurano	2,90
3	2,88	n.i.	0,87
4	3,36	n.i.	9,06
5	3,51	2-metilbutanal	2,20
6	4,08	2-metilpentan-3-ona	1,95
7	4,32	2,5-dimetilfurano	0,21
8	4,38	3-hidroxiбутan-2-ona	0,40
9	4,71	2-vinilfurano	0,27
10	4,94	pirazina	1,00
11	5,17	1-metilpirrol	0,91
12	5,30	piridina	11,05
13	5,47	piridina	1,44
14	5,86	metilbenzeno	0,44
15	5,96	hidroxi-2-butanona	0,32
16	7,05	2-(propoximetil)oxirano	0,68
17	7,27	2-metiloxolan-3-ona	1,10
18	7,87	2-metilpirazina	6,97
19	8,19	m-cresol	0,50
20	8,38	2-furanocarboxaldeido	5,70
21	9,71	2-furanometanol	20,51
22	10,09	éster etil 2-acetoxi ácido acético	1,74
23	11,54	ácido ciclohexenocarboxílico	0,82
24	11,78	2,6-dimetilpirazina	4,34
25	11,91	2-etilpirazina	1,37
26	12,10	2,3-dimetilpirazina	0,39
27	13,51	2,5-dimetil-3(2h)furanona	0,31
28	13,84	1-(2-furil)-2-propanona	0,39
29	14,05	(2-metoxifenil)metanol	0,38
30	14,34	5-metilfurano-2-carbaldeido	7,22
31	14,54	2-oxobutil acetato	0,46
32	15,58	acetato 3,7-dimetil 1,6-octadien-3-ol	0,29
33	15,95	2-furilmetil acetato	4,99
34	16,08	2-etil-5-metil pirazina	0,53
35	16,16	2,3,5-trimetilpirazina	0,13
36	16,25	2-etil-3-metil pirazina	0,09
37	16,33	1-metilpirrol-2-carbaldeido	0,42
38	16,53	1-(2-furil)propan-1-ona	0,08
39	16,80	1h-pirrol-2-carbaldeido	0,38
40	17,00	2-etenil-5-metil pirazina	0,02
41	17,10	2-carbamilpirazina	0,27
42	17,25	3,4-dimetilfurano-2,5-diona	0,04
43	17,39	1-metil-4-(1-metiletenil)ciclohexeno	0,06

Tabela 17, continuação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
44	17,49	3-metil-1,2-ciclopentanodiona	0,20
45	17,70	1-piridin-2-il-etanona	0,17
46	17,93	n.i.	0,03
47	18,02	n.i.	0,06
48	18,08	3,4-dimetilfurano-2,5-diona	0,02
49	18,24	benzenoacetaldeido	0,09
50	18,35	n.i.	0,01
51	18,52	n.i.	0,15
52	18,70	n.i.	0,01
53	18,79	heptano	0,06
54	18,92	3,5-dimetil ciclopentenolona	0,07
55	19,14	3,4-hexanodiona	0,05
56	19,29	1-(1h-pirrol-2-il)etanona	0,23
57	19,52	n.i.	0,01
58	19,66	n.i.	0,15
59	19,81	1-(1-metilpirrol-2-il)etanona	0,24
60	20,01	2,5-dimetil-3-etilpirazina	0,76
61	20,29	2-(2-furilmetil)furano	0,13
62	20,39	5-etil-2,3-dimetilpirazina	0,05
63	20,53	2-furilmetil propionato	0,09
64	20,66	etilciclopentenolona	0,14
65	21,41	n.i.	0,11
66	21,76	n.i.	0,30
67	22,04	n.i.	0,30
68	23,90	n.i.	0,08
69	24,72	n.i.	0,08
70	25,13	n-furfuril pirrol	0,11
71	25,39	n.i.	0,09

Semelhante ao grupamento das classes funcionais dos cafés obtidos nos outros tratamentos a predominância também é de furanos com 37,98%, das piridinas 12,49% e das pirazinas com 8,95%. As porcentagens de área ocupada dos cromatogramas pelos grupos descritos obtiveram valores menores em comparação com os resultados cromatográficos dos cafés de torra clara, evidenciando um maior número de classes de compostos diferentes presentes entre os voláteis.

Os compostos voláteis encontrados em maior quantidade foram 2-furanometanol, piridina, 5-metilfurano-2-carbaldeído, 2-metilpirazina, sendo o primeiro, o composto de maior participação na área do cromatograma, semelhante à torra clara já descrita. Cada composto mostrado corrobora com os resultados apresentados anteriormente e seus respectivos aromas já foram dispostos.

A Tabela 18 representa os 65 compostos voláteis encontrados para o tratamento 8, em que a torra é média e o condensador é o extrator de *soxhlet*.

Tabela 18 Compostos voláteis do café referentes à torra média e extrator de *soxhlet*

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,62	2-butanona	0,78
2	2,71	2-metilfurano	6,09
3	2,78	ácido acético	1,86
4	2,81	n.i.	2,37
5	2,98	metil propanoato	0,04
6	3,21	4-metiloxazol	0,02
7	3,29	3-metilbutanal	0,28
8	3,43	3-etoxi-1-propeno	1,31
9	3,90	3,4-dihidro-2h-pirano	0,15
10	4,01	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,70
11	4,06	3-pentanona	0,02
12	4,25	2,5-dimetilfurano	0,51
13	4,33	3-hidroxibutan-2-ona	0,27
14	4,65	fenol	0,43
15	4,88	pirazina	1,08
16	5,11	1-metilpirrol	0,33
17	5,15	piridina	22,21
18	5,58	pirrol	0,28
19	5,80	n.i.	0,06
20	5,89	n.i.	0,21
21	6,46	5-metil-3-propil-2-hexanona	0,22
22	6,63	3-metoxihex-1-eno	0,17
23	6,77	2,3-butanodiol	0,13
24	7,00	ácido 3,3-dimetil-butírico	0,41
25	7,12	2-tert-butoxitiofeno	0,08
26	7,22	2-miltetrahidrofurano-3-ona	0,48

Tabela 18, continuação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
27	7,29	2-(metoximetil)oxirano	0,08
28	7,49	1-etilpirrol	0,16
29	7,62	4-metiliazol	0,12
30	7,76	2-metilpirazina	7,21
31	8,14	m-cresol	0,26
32	8,23	2-furanocarboxaldeido	1,70
33	8,62	3-metil-1h-pirrol	0,17
34	8,98	ácido 3-metilbutanoico	0,69
35	9,08	2-allilfurano	0,07
36	9,29	2-furilmetanol	20,95
37	9,75	2,5-dimetil-1h-pirrol	0,10
38	9,86	éster etil 2-acetoxi-ácido acético	1,08
39	11,47	2-etilfurano	1,31
40	11,59	2,5-dimetilpirazina	1,58
41	11,65	1-(2-furil)etanona	3,14
42	11,79	2-etilpirazina	1,58
43	11,99	2,3-dimetilpirazina	0,51
44	13,52	2,5-dimetil-3(2h)-furanona	0,19
45	13,80	1-(2-furil)-2-propanona	0,45
46	14,03	3,5-dimetilfenol	0,41
47	14,22	5-metilfurano-2-carbaldeido	1,94
48	14,32	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,45
49	14,49	acetato de 2-oxobutil	0,28
50	15,42	fenol	0,15
51	15,87	acetato de 2-furilmetil	6,42
52	16,13	2,3,5-trimetilpirazina	0,15
53	16,26	1-metil-2-pirrolcarboxaldeido	0,61
54	16,64	1h-pirrol-2-carboxaldeido	0,09
55	16,82	2-metil-6-vinil pirazina	0,14
56	17,07	2-carbamilpirazina	0,45
57	17,40	3-metil-1,2-ciclopentanodiona	0,28
58	19,21	(pirrol-2-il)etanona	0,42
59	19,79	1-(1-metilpirrol-2-il)etanona	0,34
60	20,02	2,5-dimetil-3-etilpirazina	0,56
61	20,26	2-(2-furilmetil)furano	0,41
62	20,53	2-metoxifenol	0,48
63	20,64	etilciclopentenolona	0,07
64	20,74	1,3-propanodiamina	0,07
65	21,41	n.i.	0,08

Os grupos formados para a torra média também mostram a predominância das classes funcionais furanos (43,66%), piridinas (22,21%) e pirazinas (13,26%). As porcentagens ficaram bem próximas às encontradas nos tratamentos 2 e 4, onde a torra também é média. A quantidade de furanos observada é maior do que a obtida para a torra clara, demonstrando novamente que a formação dos furanos aumenta com o aumento do grau torra. O composto representante dessa classe, em maior quantidade foi o 2-furanometanol, seguido pelo acetato de 2-furilmetil e pelo 2-metilfurano. Os mesmos compostos foram obtidos pelos tratamentos 2 e 4, apenas alterando a ordem entre o segundo composto em maior quantidade e o terceiro, por uma pequena diferença de área.

Representando as piridinas, tem-se a piridina, composto com maior porcentagem de área do cromatograma. Entre as pirazinas presentes, a 2-metilpirazina também está presente em maior quantidade.

Para a torra escura, em extrator de *soxhlet*, foram obtidos 49 compostos voláteis, conforme representado na Tabela 19.

Tabela 19 Compostos voláteis do café referente à torra escura e extrator de *soxhlet*

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,65	2-metilfurano	3,06
2	2,81	n.i.	4,08
3	2,98	metil propanoato	0,04
4	3,29	3-metilbutanal	0,16
5	3,43	2-metilbutanal	0,68
6	3,90	3,4-dihidro-2h-pirano	0,11
7	4,01	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,21
8	4,25	2,5-dimetilfurano	0,46
9	4,34	3-hidroxibutan-2-ona	0,12
10	4,65	fenol	0,26
11	4,88	pirazina	0,99
12	5,13	piridina	53,38
13	5,58	pirrol	0,51
14	5,80	metilbenzeno	0,29
15	5,89	ácido 2,2-dimetilpropanoico	0,06

Tabela 19, continuação

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
16	5,97	3-metiltiofeno	0,19
17	6,45	5-metil-3-propil-2-hexanona	0,03
18	7,00	n.i.	0,06
19	7,23	2-metiloxolan-3-ona	0,15
20	7,48	1-etilpirrol	0,24
21	7,77	2-metilpirazina	5,58
22	8,13	2-vinil-5-metilfurano	0,55
23	8,25	2-furanocarboxaldeido	0,54
24	8,35	acetato de pirimidina	0,19
25	8,61	1-metoxi-2-metileno-ciclopentano	0,08
26	9,27	2-furanometanol	13,45
27	9,52	3-metilpiridina	0,21
28	9,74	2,5-dimetil-1h-pirrol	0,21
29	9,86	3-(isopropilamino)-1-butanol	0,53
30	11,47	2,4-hexadienal	0,77
31	11,60	2,5-dimetilpirazina	0,29
32	11,65	n.i.	1,22
33	11,78	dihidro- 2(3h)-furanona	1,28
34	11,92	3-pentanamina	0,04
35	11,98	2,3-dimetilpirazina	0,37
36	14,00	3,5-dimetilfenol	0,77
37	14,23	5-metilfurano-2-carbaldeido	0,30
38	14,32	3,3-dimetilbutan-2-ona	0,32
39	15,42	fenol	0,09
40	15,86	2-furilmetil acetato	3,56
41	15,95	n.i.	0,07
42	16,04	metil etil pirazina	0,05
43	16,14	2,3,5-trimetilpirazina	0,09
44	16,25	1-metilpirrol-2-carbaldeido	0,24
45	17,06	2-carbamilpirazina	0,35
46	17,40	3-metilciclopentano-1,2-diona	0,27
47	20,26	n.i.	0,05
48	20,53	2-metoxifenol	0,19
49	20,71	n.i.	0,06

O agrupamento para a torra escura mostra a predominância das classes funcionais furanos (23,20%), piridinas (53,59%) e pirazinas (7,72%), repetindo os resultados anteriores. A quantidade de furanos é bem menor do que a

observada para as torras clara e média do extrator de *soxhlet*, pois os furanos são consumidos à medida que se aumenta o tempo de exposição dos grãos ao calor. É menor também quando comparado com os compostos da torra escura dos tratamentos 3 e 6, pois além do número de compostos ter sido inferior ocorreu um predomínio de piridinas no tratamento 9. O composto 2-furilmetanol predomina na amostra.

A fumaça gerada durante a torra do café é densa e encontrou dificuldades em percorrer o Extrator de *Soxhlet*, no ponto em que encontra o tubo de ascensão do equipamento, justificando a quantidade inferior de compostos capturados, quando comparado com os condensadores anteriores.

A quantidade de piridinas foi superior quando comparada com os tratamentos 7 e 8, e tem como composto primordial a piridina. As pirazinas possuem o menor valor em relação as três torras do extrator e as duas torras escuras anteriores.

Para a torra clara, em extrator de *soxhlet*, foram obtidos apenas 9 compostos voláteis, conforme representado na Tabela 20.

Tabela 20 Compostos voláteis do condensado referente à torra clara e extrator de *soxhlet*

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,81	n.i.	55,85
2	5,38	piridina	6,79
3	5,81	n.i.	1,46
4	8,27	2-furancarboxaldeído	7,90
5	9,28	2-furanometanol	12,33
6	12,37	ester metal ácido heptanoico	1,13
7	14,25	5-metil 2-furancarboxaldeído	4,61
8	16,06	ester etil ácido hexanoico	2,18
9	17,54	2-etil hexanol	2,35

Ao contrário dos resultados da cromatografia para o condensado do tratamento 1, que também é torra clara, e corroborando com os resultados referentes aos tratamentos restantes à predominância de classes funcionais dos compostos voláteis do condensado para a torra clara são os furanos (24,84%). O composto em maior quantidade é o 2-furanometanol, seguido do 2-furanocarboxaldeído, também chamado furfural, e em terceiro o 5-metil-2-furanocarboxaldeído.

Como representante da classe das piridinas, o composto piridina também se apresenta em grande quantidade, visto que a quantidade de compostos é pequena.

Conforme dados representados na Tabela 21, a análise cromatográfica do condensado de torra média obtido pelo extrator de *soxhlet* foi capaz de encontrar 15 compostos voláteis.

Tabela 21 Compostos voláteis do condensado referente à torra média e extrator de *soxhlet*

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,61	2-butanona	2,78
2	2,81	n.i.	78,53
3	4,10	(s)-1-fenil-1-nonanol	0,16
4	5,45	piridina	1,71
5	5,82	n.i.	1,16
6	7,97	metil- pirazina	1,04
7	8,28	2-furanocarboxaldeído	3,08
8	9,30	2-furanometanol	3,59
9	10,57	octen-3-ol	0,63
10	12,37	ester metil de ácido hexanoico	0,95
11	12,62	n.i.	0,30
12	14,26	5-metil 2-furanocarboxaldeído	2,45
13	16,06	ester etil de ácido hexanoico	1,50
14	17,55	2-etil 1-hexanol	1,49

O condensado obtido no extrator de *soxhlet* com torra média possui compostos voláteis predominantes da classe dos furanos, entretanto, com o valor de 9,12%, a proporção de furanos encontrada é bem menor, quando comparada com os tratamentos 2 e 4. O composto 2-furanocarboxaldeído esteve presente em maior quantidade, seguido pelo 2-furanometanol, e pelo 5-metil-2-furanocarboxaldeído também presentes nos tratamento 2 e 4.

Conforme dados representados na Tabela 21, a análise cromatográfica do condensado de torra escura obtida pelo balão de condensação foi capaz de encontrar 22 compostos voláteis.

Tabela 22 Compostos voláteis do condensado referente à torra escura e extrator de *soxhlet*

PICO	TR	COMPOSTO	ÁREA %
1	2,78	ácido acético	9,86
2	4,15	ácido propanoico	0,56
3	5,39	piridina	7,69
4	6,96	hexanal	1,48
5	7,90	metil pirazina,-	3,97
6	8,26	2-furanocarboxaldeído	12,81
7	9,31	2-furanometanol	33,05
8	11,71	1-(2-furanol)- etanona	3,51
9	11,89	etil-pirazina	0,73
10	14,23	5-metil- 2-furanocarboxaldeído	18,35
11	15,88	acetato de 2-furanometanol	4,24
12	16,29	n.i.	0,90
13	16,66	pirrol-2-carboxaldeído	0,83
14	21,25	dodecanal	0,65
15	30,10	n.i.	1,37

A predominância dos compostos para a torra escura também é de furanos, semelhante aos outros tratamentos, somando 71,96% da área do cromatograma, valor maior do que o encontrado na torra escura para o leito de condensação e para o balão. Os compostos em maior quantidade também foram

os mesmos obtidos do tratamento 2, 3 e 6, 2-furanometanol, 5-metil 2-furanocarboxaldeído, 2-furanocarboxaldeído (furfural), e acetate 2-furanometanol.

O ácido acético, da classe dos ácidos, também foi encontrado nesse condensado. Classificado pelo seu aroma como odor pungente, picante-azedo, desagradável quando concentrado, menos repulsivo abaixo de 15% em água (ARCTANDER, 1967 citado por FLAMENT, 2002). Os outros compostos identificados encontram-se em pequena quantidade. A piridina também esteve presente em grande quantidade.

4.2.4 Compostos de caráter de impacto

Conforme representado na Tabela 2, diversos compostos voláteis do café foram caracterizados com compostos de caráter de impacto, sendo eles, importantes para a formação do sabor e aroma característicos do café.

Para a torra clara obteve-se um maior número de compostos voláteis do café com o Extrator de *Soxhlet* (ES) e do condensado com o Balão de Condensação (BC), conforme dados representados na Tabela 24. Entretanto somente a quantidade de compostos não diz muita coisa sobre a qualidade dos mesmos, então mesmo que o Leito de Condensação (LC) não tenha apresentado os maiores números de compostos voláteis para o café e para o condensado na respectiva torra, esse condensador conseguiu capturar três compostos de caráter de impacto do café no condensado, como pode ser observado na Tabela 23, sendo eles 3-metilbutanal, 2-metilbutanal e hexanal (NASCIMENTO, 2007). O BC e ES não capturaram nenhum composto de caráter de impacto.

Quando observada a torra média o maior número de compostos obtidos por CG/MS foi para o café e o condensado, o ES e o LC, respectivamente (Tabela 24). Observando apenas o condensado, o EX não conseguiu capturar

nenhum composto e caráter de impacto, obtendo um condensado de menor qualidade sensorial. O LC capturou os compostos 3-metilbutanal, 2-metilbutanal e hexanal novamente, como aconteceu na torra clara (NASCIMENTO, 2007). Já o BC capturou o hexanal e o 4-vinil-2-metoxifenol (Tabela 23), (NASCIMENTO, 2007).

Já para a torra escura o LC aparece com um maior número de compostos voláteis tanto para o café quanto para o condensado. Quanto aos compostos de caráter de impacto do café encontrados nos condensados o LC capturou quatro compostos, além dos três já obtidos nas torras clara e média (3-metilbutanal, 2-metilbutanal e hexanal), identificou também a 2,3-pentanodiona. Entre os compostos do BC foram obtidos 3-metilbutanal, 2-metilbutanal e 2,3-pentanodiona como compostos de caráter de impacto. Para o ES foi identificado em seu condensado, apenas o hexanal (NASCIMENTO, 2007).

Caracterizando os aromas dos compostos de caráter de impacto citados tem-se: 3-metilbutanal (fruta (pêssego); chocolate; matéria queimada), 2-metilbutanal (fruta; cacau torrado ou café); 2,3-pentanodiona (óleo - manteiga); hexanal (grama recentemente cortada e fruta); e 4-vinil-2metoxifenol (cravo-da-índia, matéria torrada e fumaça) (NASCIMENTO, 2007).

Portando, em relação ao grau de torra que produziu condensados com maior qualidade sensorial, tem-se a torra escura, onde conseguiu-se com o três condensadores capturar pelo menos um composto de caráter de impacto do café no condensado. A torra escura vem seguida pela torra média, em que dois condensadores foram capazes de condensar pelo menos dois compostos de caráter de impacto. Para a torra clara, conforme já foi descrita, apenas o LC foi capaz de condensar compostos de caráter de impacto.

Em relação aos condensadores o LC se mostrou mais eficiente que os demais, pois conseguiu capturar compostos de caráter de impacto nas três diferentes torras, para o condensado. O BC de condensação vem em segundo,

apresentando compostos de caráter de impacto nas torras média e escura. O ES condensou esses compostos apenas na torra escura.

Tabela 23 Compostos de caráter de impacto do café presentes nos condensados

CCI	CLARA			MÉDIA			ESCURA		
	LC	BC	ES	LC	BC	ES	LC	BC	ES
3-metilbutanal	X			X			X	X	
2-metilbutanal	X			X			X	X	
2,3-pentanodiona							X	X	
hexanal	X			X	X		X		X
4-etil-guaiacol									
4-vinil-2-metoxifenol					X				

CCI – Compostos de caráter de impacto do café; LC – Leito de condensação; BC – Balão de condensação; ES – Extrator de *Soxhlet*; clara, média e escura – Torras

Tabela 24 Número de compostos voláteis obtidos por CG/MS

NC	CLARA			MÉDIA			ESCURA		
	LC	BC	ES	LC	BC	ES	LC	BC	ES
Café	55	49	71	56	45	65	78	53	49
Condensado	25	36	9	19	15	14	46	21	15

NC – Número de compostos voláteis CG/MS; LC – Leito de condensação; BC – Balão de condensação; ES – Extrator de *Soxhlet*; clara, média e escura – Torras;

4.2.5 Análise da cor objetiva

Na Tabela 25 encontra-se os valores dos parâmetros da cor L*, a* e C* dos condensados obtidos.

Tabela 25 Valores dos parâmetros da cor para os três condensadores dentro de cada grau de torra

Torra	Condensador	L*	a*	C*
Clara	LC	5,46 a	-0,70 a	1,71 a
	BC	4,61 a	-0,51 b	1,59 a
	ES	9,69 b	-0,90 c	0,95 b
Média	LC	6,04 d	-0,83 d	1,60 d
	BC	6,13 d	-0,36 e	4,43 e
	ES	5,66 d	-0,52 f	2,29 f
Escura	LC	7,61 g	0,06 g	5,29 g
	BC	5,80 h	0,13 h	4,69 h
	ES	7,73 g	1,04 i	6,37 i
CV (%)		6,34	-8,17	3,35

*Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de *Tukey*.

LC - Leito de Condensação; BC - Balão de Condensação; ES - Extrator de *Soxhlet*

L* (Luminosidade) é o atributo da cor o qual geralmente descreve-se pelas palavras claro, escuro, relacionando tal cor a um cinza de luminosidade similar. Esse termo é também conhecido como claridade e existem diversos índices ou níveis de luminosidade (cinzas neutros) entre o nível máximo (branco absoluto) e o nível mínimo (preto absoluto). Conforme observado na Tabela 25, na torra clara, o ES apresenta o maior valor de L* e se diferencia ao nível de 5% de significância, dos demais condensadores. Como seu valor é o mais alto, então o condensado obtido no ES foi o mais claro e, portanto, o que o condensado de cor menos acentuada, pois a torra clara promove reações de escurecimento como caramelização e Reação de *Maillard* por menos tempo, obtendo menor número

de compostos responsáveis pela cor, como os caramelos e as melanoidinas (Tabela 24).

Ainda quanto ao parâmetro L^* , para a torra média não obteve-se diferença significativa entre os condensadores, estando os valores bem mais próximos do zero (nível mínimo), demonstrando que os condensados obtidos são mais próximos do preto. Na torra escura o condensado mais escuro foi obtido pelo BC, que se diferenciou significativamente dos demais, ao nível de 5%.

O parâmetro a^* representa as cores do verde ao vermelho. Como durante a reação de *Maillard* que ocorre no processo de torra do café, os compostos formados promovem cor, sabor e aromas característicos. Essa cor obtida é semelhante ao caramelo e, portanto, encontra-se entre tons de vermelho. Os valores obtidos para as três diferentes torras demonstram valores próximos de zero, então cores bem suaves.

Na torra clara obteve-se somente valores de a^* negativos para os três condensadores, demonstrando uma pequena tendência do condensado para a cor verde. Antes do processo de torra os grãos de café íntegros possuem cor esverdeada e como a torra clara é a mais branda, os condensados apresentaram leve tendência para essa cor. O BC produziu o condensado com o maior valor, significativamente ($p < 0,05$) de a^* , mostrando que o seu condensado foi o que se aproximou mais da vermelha.

A torra média também obteve condensados com valores de a^* negativos para os três condensadores e semelhante à torra clara, o maior valor foi o BC, sendo significativamente ($p < 0,05$) diferente dos demais. Para a torra escura, os condensados obtidos dos três equipamentos apresentaram valores de a^* positivo, demonstrando a tendência dos condensados para a cor vermelha. O maior valor foi obtido com o ES ($p < 0,05$).

“*Chroma*” ou C^* é aquela qualidade da cor pela qual distingui-se uma cor forte de uma cor fraca ou que está relacionada à quantidade de cor existente.

O grau de afastamento de uma sensação de cor do branco ou do cinza; a intensidade de uma tonalidade distinta. É observado frequentemente na literatura em diferentes termos tais como saturação, croma, intensidade, vivacidade, pureza, cromaticidade e profundidade.

Na torra clara os maiores valores de C^* foram obtidos pelos LC e BC, semelhantes ao nível e 5% de probabilidade, que apresentaram, portanto, condensados mais concentrados. Para a torra média o condensado com valor de C^* maior ($p < 0,05$) foi produzido pelo BC. Já o condensado com maior valor para a torra escura foi produzido pelo ES, significativamente diferente dos demais ($p < 0,05$).

5 CONCLUSÃO

Foi possível condensar a fumaça gerada durante o processo de torração do café, através dos três condensadores desenvolvidos. Quando comparado os resultados de CG/MS do café e do condensado, pode-se observar que, apesar da quantidade de voláteis ser menor nesse último, os voláteis capturados e identificados são classificados como de grande importância para o aroma do café.

De acordo com a composição de voláteis o Leito de Condensação se mostrou mais eficiente, pois obteve condensados com compostos voláteis de caráter de impacto do café. Os melhores condensados foram obtidos pela torra escura, onde caracterizam-se por cor mais acentuada, com um número maior de compostos de caráter de impacto e uma maior quantidade de compostos detectada.

Esse resultado foi confirmado pela análise de cor que mostra os condensados com saturação maior e mais escuros e de coloração avermelhada, assim como se espera um aromatizante de café, que além de oferecer aroma, pode ser utilizado simultaneamente como corante natural, deixando os produtos aromatizados também com os tons do café.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by GC/MS**. Illinois: Allured, 2007. 804 p.

AKIYAMA, M. et al. Characterization of flavor compounds released during grinding of roasted robusta coffee beans. **Food Science and Technology Research**, Tsukuba, v. 11, n. 3, p. 298-307, 2005.

ARCTANDER, S. **Perfume and flavor chemicals**. [S. l.: s. n.], 1967.

ARLITA. **Espécies de café**. 2006. Disponível em: < <http://www.arlita.com.br/o cafe. htm> >. Acesso em: 2 jul. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/>>. Acesso em: 2 fev. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **História**. 2011. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

ASTEN, A. The importance of GC and GC-MS in perfume analysis. **Trends in Analytical Chemistry**, Oxford, v. 21, n. 9/10, p. 698-708, 2002.

BASSOLI, D. G. **Impacto aromático dos componentes voláteis do café solúvel: uma abordagem analítica e sensorial**. 2006. 238 p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

BAUMBACH, G. **Air quality control**. New York: Springer, 1996. 490 p.

BLANK, I.; SEN, A.; GROSCHE, W. Aroma impact compounds of arabica and robusta coffee: qualitative and quantitative investigations. In: COLLOQUE CIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ, 14., 1991, San Francisco. **Proceedings...** San Francisco: ASIC, 1991. p. 117-129.

CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee chemistry**. London: Elsevier, 1985. 115 p.

CLARKE, R. J.; VITZTHUM, O. G. **Coffee**: recent developments. Oxford: Blackwell Science, 2001. 257 p.

COFFEE BREAK. Espécies e variedades: características influenciam escolha. Disponível em: <<http://www.coffebrak.com.br/ocafezal>>. Acesso em: 2 jul. 2011.

DAGLIA, M. et al. In vitro and ex vivo antihydroxyl radical activity of green and roasted coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 52, n. 6, p. 1700-1704, 2004.

DART, S. K.; NURSTEN, H. E. **Coffee Chemistry**. 2nd ed. London: Elsevier Applied Science, 1989.

DE MARIA, C.; MOREIRA, R.; TRUGO, L. Componentes voláteis do café torrado. Parte I: componentes heterocíclicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 209-217, 1999.

ENCARNAÇÃO, R. O.; LIMA, D. R. **Café e saúde humana**. Brasília: Embrapa Café, 2003. 64 p.

FAGERSON, I. S. Thermal degradation of carbohydrates: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 17, p. 747, 1969.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 5.3. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FLAMENT, I. **Coffee flavor chemistry**. New York: J. Wiley, 2002.

FRANCA, A. S. et al. A preliminary evaluation of the effect of processing temperature on coffee roasting degree assessment. **Journal of Food Engineering**, London, v. 92, p. 345, 2009.

FUSTER, M. D. et al. Antioxidative activities of heterocyclic compounds formed in brewed coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 11, p. 5600-5603, 2000.

GONZALES-RIOS, O. et al. Impact of “ecological” post-harvest processing on coffee aroma: roasted coffee. **Journal of food composition and analysis**, San Diego, v. 20, p. 297, 2007.

HOLSCHER, W.; VITZHUM, O. G.; STEINHART, H. Identification and sensorial evaluation of aroma-impact compounds in roasted Colombian coffee. **Café, Cacao, Thè**, Paris, v. 34, n. 2, p. 205-212, 1990.

HUGHES, E. B.; SMITH, R. F. The nicotine acid content off coffee. **Journal of the Society of Chemical Industry**, London, v. 65, p. 286-296, 1946.

ILLY, E. A saborosa complexidade do café: a ciência que está por trás de um dos prazeres simples da vida. **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. 2, jul. 2002. Disponível em: < http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/a_saborosa_complexidade-do-cafe.html>. Acesso em: 23 jan. 2012.

JAMESON, D. **Organosulphur chemistry**: aroma chemicals and beyond. Redhill: Speciality Chemicals, 2001a. 17 p. Part 1.

JAMESON, D. **Organosulphur chemistry**: aroma chemicals and beyond. Redhill: Speciality Chemicals, 2001b. 9 p. Part 2.

LEHOTAY, S.; HAJŠLOVÁ, J. Application of gas chromatography in food analysis. **Trends in Analytical Chemistry**, Oxford, v. 21, n. 9/10, p. 686-697, 2002.

LESTREMAU, F.; ANDERSSON, F. A. T.; DESAUZIERS, V. Investigation of artefact formation during analysis of volatile sulphur compounds using solid phase microextraction (SPME). **Chromatographia**, Wiesbaden, v. 59, p. 607-613, 2004.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: a systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. Washington: Coffee Development Group, 1986. 32 p.

LOPES, L. M. V. **Avaliação da qualidade de grãos crus e torrados de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2000. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MARTINS, C. M.; AQUINO, F. J. T. Estudo da composição química e da atividade antioxidante de cafés (*coffee arabica*) e de suas palhas provenientes do cerrado. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12., 2008, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2008. 1 CD ROM.

MARTINS, C. M. et al. Determinação gravimétrica de cafeína no café arábica (*coffea arabica*) do cerrado e de sua palha. In: ENCONTRO REGIONAL DA SBQ-MG, 30., 2007, Uberlândia. **Trabalho apresentado...** Uberlândia: SBQ, 2007. 1 CD ROM.

MELO, W. L. B. **A importância da informação sobre o grau de torra do café e sua influência nas características organolépticas da bebida.** Brasília: Embrapa, 2004. (Comunicado Técnico, 58).

MENDONÇA, J. C. F. et al. Estudo preliminar de caracterização física e química de grãos defeituosos de café (PVA) antes e após a torra. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 7, p. 44-49, 2003.

MENDONÇA, L. M. V. L. et al. Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* l. suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix* Berg et Br. 2007. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 413-419, mar./abr. 2007.

MONROY, G. **Caracterización del aroma del café molido de Puerto Rico mediante la técnica de microextracción em fase sólida (SPME) y cromatografía de gás acoplada a espectrometria de masas (GC/MS).** 2005. 156 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico.

MONTEIRO, M. C.; TRUGO, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras de café torrado. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 637-641, jul./ago. 2005.

MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C.; DE MARIA, C. A. B. Componentes voláteis do café torrado: compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 195-203, 2000. Parte II.

MOTODA, S. Formation of aldehydes from amino acids by polyphenol oxidase. **Journal of Fermentation Technology**, Osaka, v. 57, p. 395-399, 1979.

MOTTRAM, D. S. Meat volatile compounds. In: MAARSE, H. (Ed.). **Foods and beverages.** New York: M. Dekker, 1991. p. 107-177.

NASCIMENTO, E. A. et al. Constituintes voláteis e odorantes potentes do café conilon em diferentes graus de torração. **Ciência & Engenharia**, Uberlândia, v. 16, n. 1/2, p. 23-30, jan./dez. 2007.

PÁDUA, F. R. M. **Composição química e qualidade de diferentes tipos de café torrado e moído durante o armazenamento**. 2002. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

PIMENTA, C. J. **Qualidade de café**. Lavras: UFLA, 2003. 304 p.

REIS, P. L.; CUNHA, R. L.; CARVALHO, G. R. **Café arábica da pós-colheita ao consumo**. Lavras: Epamig, 2011. v. 2, 734 p.

ROWE, D. High impact aroma chemicals: the good, the bad and the ugly. **Perfumer and Flavorist**, Oregon, v. 27, p. 24-33, 2002.

ROWE, D. More fizz for your buck: high-impact aroma chemicals. **Perfumer and Flavorist**, Oregon, v. 25, n. 5, p. 1-19, 2000.

SAES, M. S. M.; FARINA, E. M. M. Q. **O agribusiness do café no Brasil**. São Paulo: Milkbizz, 1999. 230 p.

SCHENKER, S. Impact of roasting conditions on the formation of aroma compounds in coffee beans. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, n. 1, p. 60-67, 2002.

SEMMELOCH, P. et al. Determination of potent odourant in roasted coffee by stable isotope dilution assays. **Flavour and Fragrance Journal**, Glasgow, v. 10, p. 1-7, 1995.

SEMMEYROCH, P.; GROSCH, W. Studies on character impact odorant of coffee brews. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v. 44, n. 2, p. 537- 543, 1996.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Cupping method**. Long Beach, 2009.

STADLER, R. H. et al. Alkylpyridiniums. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, p. 1192-1199, 2002.

TOLEDO, J. L. B.; BARBOSA, A. T. **Classificação e degustação de café**. Brasília: Sebrae, Abic, 1998. 95 p.

TRESSL, R. et al. Diphenole und Caramelkomponenten in Rostkaffees verschiedener Sorten. **Z Lebensn Unters-Forsch**, Berlin, v. 167, p. 111-114, 1978.

TRUGO, L. C. **HPLC in coffee analysis**. 1984. 108 p. Thesis (PhD) - University of Reading, Reading, 1984.

VERNIN, G.; VERNIN, G. **Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1985. 347 p.

WORCH, T.; LÊ, S.; PUNTER, P. H. How reliable are consumers? Comparison of sensory profiles from consumers and experts. In: **SENSOMETRICS MEETING**, 9., 2008, Saint Catherines. **Resumos...** Saint Catherines: [s. n.], 2008.