

Congresso
Internacional da
Agroindústria
10 e 11 de junho



Inovação,
Gestão e
Sustentabilidade
na Agroindústria

**CONTROLE DO GRAU DE TORRA DE GRÃOS DE CAFÉ: PERDA DE UMIDADE
E COMPOSIÇÃO VOLÁTIL**

**GRADO TORRE DE CONTROL DE CAFÉ EN GRANOS: PÉRDIDA DE HUMEDAD
Y COMPOSICIÓN VOLÁTIL**

**CONTROL OF COFFEE BEANS TOWER DEGREE: LOSS OF MOISTURE AND
VOLATILE COMPOSITION**

Phillipe Tenório Barbosa¹; Maria Vitória Lima Costa Donato²; Wallysson Wagner Vilela dos Santos³; Ana Letícia Toté de Medeiros⁴; Suzana Pedroza da Silva⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0025>

RESUMO

O café é uma bebida muito apreciada por seu aroma e sabor característicos, consequentes da combinação de compostos químicos produzidos pelas reações que ocorrem durante o processo de torrefação. A bebida é influenciada pelo grau de torra, dessa forma é possível definir os diversos compostos extraídos durante o processo de formação. É importante ressaltar que durante o processo de torrefação, além da água, evaporam diversos compostos voláteis presentes no café. Com isso, o objetivo desse estudo foi compreender a variação da perda de umidade e composição volátil como controle de grau de torra de grãos de café. Utilizou-se as principais plataformas de busca como SciELO, Google Scholar, Portal de Periódicos CAPES, Springer e Science Direct para a coleta dos artigos relacionado a variação de umidade e composição volátil durante o perfil de torra do café para fins de controle desta etapa do processo. Foi possível observar que a água é o principal componente do grão a ser liberado na primeira etapa do perfil de torra, 2 a 8 minutos. Essa presença de água e compostos voláteis continuam variando durante as reações de Maillard, degradação de Strecker, quebra de aminoácidos, degradação de trigonelina, ácido quínico, pigmentos, lipídios e interação entre produtos intermediários até a chegada da terceira e última etapa do perfil (12-17 min), a fase pirolítica em elevadas temperaturas (220 – 280 °C). A depender da torra clara, média ou escura varia a umidade e composição volátil, se formando alguns compostos e saindo outros, variando a perda de massa e cor dos grãos de café. Por este motivo é mais preciso se ter um controle do grau de torra não apenas pela cor e perda de massa mas principalmente pelo perfil de torra, acompanhando o binômio tempo x temperatura e composição volátil. Logo, quanto maior o grau de torra, menor a quantidade relativa de água presente no grão e menor o número de voláteis que levam a diferentes aromas no café. Conforme a temperatura de torra e o tempo aumentam, maior é a perda de umidade, destacando a influência sobre o tipo de torra e o sabor da bebida gerada. Portanto, é necessário se ter um padrão do perfil a fim de controle do grau de torra de grãos de café para melhor qualidade do produto final.

Palavras-Chave: Café; Compostos Voláteis; Torrefação; Umidade.

¹ Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco, phillipetb@gmail.com

² Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, vitoriadonato57@gmail.com

³ Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, wallysson70@gmail.com

⁴ Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, analeticiatote@gmail.com

⁵ Doutora em Engenharia Química, Universidade do Agreste de Pernambuco, suzana.pedroza@ufape.edu.br

RESUMEN

El café es una bebida muy apreciada por su característico aroma y sabor, resultado de la combinación de compuestos químicos producidos por las reacciones que ocurren durante el proceso de tostado. La bebida está influenciada por el grado de tostado, por lo que se trata de definir los distintos compuestos extraídos durante el proceso de formación. Es importante señalar que durante el proceso de tostado, además del agua, se evaporan varios compuestos volátiles presentes en el café. Así, el objetivo del estudio fue variar la pérdida de humedad y composición volátil como un control del grado de tostado de los granos de café. Se utilizaron las principales plataformas de búsqueda como SciELO, Google Scholar, CAPES Journal Portal, Springer y Science Direct para recolectar artículos relacionados con la variación de humedad y composición volátil durante el perfil de tueste del café con el propósito de controlar esta etapa del proceso. Se pudo observar que el agua es el componente principal del grano a liberar en la primera etapa del perfil de tostado, de 2 a 8 minutos. Esta presencia de agua y compuestos volátiles continúa variando durante las reacciones de Maillard, degradación de Strecker, descomposición de aminoácidos, degradación de trigonelina, ácido quínico, pigmentos, lípidos e interacción entre productos intermedios hasta la llegada de la tercera y última etapa del perfil (12-17 min), una fase pirolítica a altas temperaturas (220-280 °C). Dependiendo del tueste claro, medio u oscuro, la humedad y la composición volátil varía, formándose algunos compuestos y saliendo otros, variando la pérdida de masa y color de los granos de café. Por este motivo es más preciso tener un control del grado de tostado no solo por el color y pérdida de masa sino principalmente por el perfil de tostado, siguiendo el binomio tiempo x temperatura y composición volátil. Por lo tanto, cuanto mayor es el grado de tostado, menor es la cantidad relativa de agua presente en el grano y menor el número de volátiles que dan lugar a diferentes aromas en el café. A medida que aumenta la temperatura y el tiempo de tueste, mayor es la pérdida de humedad, destacando la influencia en el tipo de tueste y el sabor de la bebida que se genera. Por lo tanto, es necesario tener un patrón de perfil para controlar el grado de tostado de los granos de café para obtener la mejor calidad del producto final.

Palabras Clave: Café; Compuestos Volátiles; Torrefacción; Humedad.

ABSTRACT

Coffee is a beverage highly appreciated for its characteristic aroma and flavor, resulting from the combination of chemical compounds produced by the reactions that occur during the roasting process. The drink is influenced by the degree of roasting, so it is to define the various compounds extracted during the formation process. It is important to note that during the roasting process, in addition to water, several volatile compounds present in coffee evaporate. Thus, the objective of the study was to vary the loss of moisture loss and volatile composition as a control of the degree of roasting of coffee beans. The main search platforms such as SciELO, Google Scholar, CAPES Journal Portal, Springer and Science Direct were used to collect articles related to the variation of humidity and volatile composition during the roasting profile of the coffee for the purposes of controlling this stage of the coffee process. It was possible to observe that water is the main component of the grain to be released in the first stage of the roasting profile, 2 to 8 minutes. This presence of water and volatile compounds continues to vary during Maillard reactions, Strecker degradation, breakdown of amino acids, degradation of trigonelline, quinic acid, pigments, lipids and interaction between intermediate products until the arrival of the third and last stage of the profile (12 -17 min), a pyrolytic phase at high temperatures (220 - 280 °C). Depending on the light, medium or dark roasting, the humidity and volatile composition varies, with some compounds forming and others leaving, varying the loss of mass and color of the coffee beans. For this reason it is more accurate to have a control of the degree of roasting not only by the color and loss of mass but mainly by the roasting profile, following the binomial time x temperature and volatile composition. Therefore, the higher the degree of roasting, the smaller the relative amount of water present in the bean and the smaller the number of volatiles that lead to different aromas in the coffee. As the roasting temperature and time increase, the greater the moisture loss, highlighting the influence on the type of roasting and the flavor of the drink generated. Therefore, it is necessary to have a profile pattern in order to control the degree of roasting of coffee beans for the best quality of the final product.

Keywords: Coffee; Volatile Compounds; Roasting; Moisture.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem lugar de destaque como o maior produtor e exportador de café, sendo sua produção correspondente a 35% do consumo mundial (EMBRAPA, 2020). Segundo a Associação Brasileira de Cafés Especiais - BSCA (2014), sua diversidade topográfica e climática permite o desenvolvimento de características sensoriais diferenciadas e únicas nos grãos de café entre suas regiões produtoras. As espécies de café mais cultivadas são o café arábica (*Coffea arabica*) e o café robusta (*Coffea canephora*) (SANTOS, 2013).

A concentração de voláteis do café é influenciada por fatores como composição do café verde, que por sua vez é influenciada pelas espécies de café, origem geográfica, estágio de maturação e processamento pré e pós-colheita, além do grau de torra (CAPORASO *et al.*, 2018).

A torrefação é uma etapa de suma importância para o processamento do café, pois é nela em que se inicia a perda de massa e umidade dos grãos, seguida de reações complexas de pirólise (síntese e degradação de compostos) que irão ativar diversas substâncias responsáveis pelo aroma e sabor do café (DELIZA, 2020) e por estes motivos deve ser bem controlada.

O controle de grau de torra pode ser feito basicamente por perda de umidade, cor e/ou por perfil, levando-se em consideração o binômio tempo x temperatura (ALIAH, EDZUAN, DIANA, 2015).

O aumento das temperaturas de torra tem efeito direto sobre a perda de massa total, o que possibilita o estabelecimento de taxas de perda de massa para cada temperatura de torrefação (VARGAS-ELÍAS *et al.*, 2016), mas o estudo apenas da perda de massa e cor não é adequado para um controle preciso do processo. Sendo o controle por perfil mais sofisticado e preciso, utilizado pelos mestres de torra de café, possibilitando maior reprodutibilidade de um mesmo ponto de torra, potencializando e padronizando o processo; que se bem controlado, eleva a qualidade final do café (ALIAH, EDZUAN, DIANA, 2015).

Assim, o objetivo deste trabalho foi compreender a variação da perda de umidade e composição volátil como controle de grau de torra de grãos de café.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O café é um dos produtos que tem alteração em seu valor em decorrência da qualidade apresentada, podendo ter seu preço reduzido ou aumentado. A relação entre a qualidade da bebida oriunda do café e sua composição química, gera uma sucessão de fatores que contribuem para a melhoria de sua qualidade final, estando relacionada à composição dos grãos torrados e

sendo influenciada tanto pela composição da matéria-prima quanto pelo processamento pós-colheita (secagem, armazenagem, torrefação e moagem) (YERETZIAN *et al.*, 2019).

A torrefação de grãos de café verdes afeta diretamente o aroma do café pela degradação e formação ou liberação de numerosos compostos químicos por meio de reações de Maillard, degradação de Strecker, quebra de aminoácidos, degradação de trigonelina, ácido quínico, pigmentos, lipídios e interação entre produtos intermediários (ARKADAS, AVSAR, 2018).

O processo de torrefação é dividido em três fases: secagem, torrefação e resfriamento. A primeira fase é caracterizada pela liberação de água e compostos voláteis presentes nos grãos. A segunda fase é caracterizada pelas reações de pirólise, que resultam numa modificação intransigente da composição química dos grãos, e pela reação de Maillard, onde os grãos de café escurecem para uma cor marrom devido à caramelização dos açúcares. O final dessa etapa é caracterizado por um evento conhecido como “crack” onde, devido ao aumento da pressão interna, ocorre a expansão dos grãos causando pequenas rachaduras em suas paredes. A terceira fase, o resfriamento, é necessária para evitar a carbonização do grão, pois paralisa as reações de pirólise e, tanto o ar quanto a água podem ser utilizados como “agentes de resfriamento” (CAMPOS, 2016; PEDROSA; 2018).

Segundo Eugênio (2016) muitas reações que ocorrem nos processos de torrefação de café ainda são pouco conhecidas. Entretanto, as principais reações em que se desenvolvem a composição volátil durante o processamento do café são:

- a) Reação de Maillard ou escurecimento não enzimático: onde os nitrogênios presentes nas proteínas, lipídeos, aminoácidos, serotoninas, trigonelina, fenóis e açúcares redutores formam as aminoaldoses por condensação;
- b) Degradação de Strecker: quando um aminoácido e um α -dicarbonil formam uma aminocetona e condensam para formar compostos heterocíclicos nitrogenados ou reagem com formaldeídos para formar oxazóis;
- c) Degradação de aminoácidos sulfurados: quando a cistina, cisteínas e metionina são transformadas em mercaptanas, tiofenos e tiazóis após reagir com açúcares redutores ou produtos intermediários da reação de Maillard;
- d) Degradação de proteínas e aminoácidos livres: quando a serina e treonina reagem com a sacarose para formar alquilpirazinas;
- e) Degradação de prolina e hidroxiprolina: reações dos produtos intermediários de Maillard formando piridinas, pirróis e pirrolisina levando ao alquil-, acil- e furfurilpirróis;
- f) Degradação de trigonelina: formando alquipiridinas e pirróis;

- g) Degradação de ácido quínico: formando fenóis;
- h) Degradação de pigmentos: formando principalmente carotenóides;
- i) Degradação de lipídeos: formando principalmente diterpenos.

Os graus de torra podem ser divididos em três tipos: torra clara, torra média e torra escura. A torra clara apresenta acidez acentuada, aroma e sabor suaves e menor amargor; já a torra média acentua o aroma e o sabor; e a torra escura diminui a acidez e acentua o sabor amargo (ALVES, 2012).

Os diferentes graus de torrefação produzem bebidas com diferentes perfis aromáticos, produzindo cafés com aromas ricos em mais compostos voláteis, como ácidos voláteis e furanos enfatizando as notas frescas e florais, como cafés com aromas ricos em pirazinas, furanos e piridinas, enfatizando notas torradas e características terrosas. Sugerindo que o controle do grau de torra é influenciado por uma taxa, considerando-se o binômio tempo x temperatura, necessitando um conhecimento da composição volátil, desenvolvendo um perfil de torra (TOLEDO *et al.*, 2016).

Na maioria dos torradores industriais, o controle do processo é feito indiretamente (FRANCA *et al.*, 2009), entretanto é necessário desenvolver ferramentas de controle do processo proporcionando a obtenção de um café de alta qualidade. Este controle pode ser feito mediante o monitoramento da temperatura do grão (ALONSO-TORRES *et al.*, 2013) e pelo monitoramento dos compostos voláteis (VOC's) gerados durante o processo, principalmente de gases inorgânicos inodoros (CO₂, CO, N₂ e H₂O) e menos de 1% de VOC's, sendo estes responsáveis pelo aroma da bebida café, monitorados quantitativamente e qualitativamente pelo binômio tempo-temperatura (GLOESS *et al.*, 2014).

Durante a torrefação ocorre uma perda líquida considerável de matéria seca (principalmente de dióxido de carbono gasoso, água e produtos voláteis de pirólise), uma degradação considerável de ácidos clorogênicos, aminoácidos, açúcares e polissacarídeos, e um aumento relativo de ácidos orgânicos e teor de lipídeos, além de produzir altos níveis de produtos de caramelização e condensação (SANTOS, 2013).

Durante o processo de secagem do café é de extrema importância que o grão esteja armazenado em local seco para que apresente teor de umidade entre 11 a 13 % de umidade, de acordo com a variedade do grão. Qualquer variação acima ou abaixo dessa média compromete a qualidade do produto, uma vez que valores inadequados de umidade propiciam a proliferação fúngica e a fermentação indesejada. É importante ressaltar que durante a análise de umidade, além da água, evaporam-se diversos compostos voláteis presentes no café. Para saber

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA PERDA DE UMIDADE E COMPOSIÇÃO VOLÁTIL

exatamente o perfil de voláteis presentes no grão e, conhecer a composição da fumaça liberada durante a torra, o ideal é realizar análises instrumentais mais avançadas, como Cromatografia Gasosa, e utilizar preparos de amostra avançados, como Solid Phase Micro Extraction / Micro Extração em Fase Sólida (SPME) (YASHIN *et al.*, 2017; ARKADAS, AVSAR, 2018).

O aroma característico do café é resultado dos diversos compostos voláteis: compostos aromáticos, alicíclicos alifáticos, aldeídos, fenóis voláteis, cetonas, éteres, álcoois, hidrocarbonetos, ácidos carboxílicos, anidridos, ésteres, lactonas, aminas, furanos, pirróis, oxazolas, tiazóis, tiofenos, pirazinas e piridinas. Por apresentarem intensidades e concentrações diferentes, a contribuição de cada um desses compostos para com o aroma final da bebida é bem variada, podendo ocorrer interações sinérgicas e antagônicas entre esses diferentes compostos. O café processado contém mais compostos voláteis do que qualquer outro alimento ou bebida, chegando a aproximadamente mil compostos voláteis identificados (LÓPEZ-GALILEA, FOURNIER, GUICHARD, 2006; RIBEIRO *et al.*, 2010; TOLEDO *et al.*, 2016; YASHIN *et al.*, 2017).

As principais famílias de compostos químicos do café cru responsáveis pelos constituintes voláteis no café torrado são a trigonelina, ácidos clorogênicos, carboidratos, sacarose, lipídeos e proteínas (RIBEIRO *et al.*, 2009; YASHIN *et al.*, 2017).

Os dados sobre a variação de compostos voláteis de amostras comerciais podem ser usados para desenvolver uma compreensão fundamental da relação entre a composição do café verde e os compostos voláteis do café torrado, bem como obter produtos com maior qualidade. Apesar da alta variabilidade encontrada, Caporaso *et al.* (2018) mostraram que a composição volátil de grão único pode ser usada efetivamente como um indicador válido da origem do café para construir modelos de classificação confiáveis. Os autores ainda sugerem que sejam realizadas pesquisas a fim de se construir modelos de previsão com base em compostos voláteis específicos do café, especialmente visando compostos selecionados, por exemplo, odorantes potentes, com diferentes condições de torrefação.

METODOLOGIA

A pesquisa realizada caracteriza-se como qualitativa do tipo exploratória. Foram utilizadas as principais plataformas de buscas como SciELO (Scientific Electronic Library Online), Google Scholar, Portal de Periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), Springer e Science Direct para a coleta dos artigos relacionados ao controle do grau de torra de grãos de café por perda de umidade e composição volátil. Utilizou-

se as seguintes palavras-chave: Controle de grau de torra; Perfil de torra; Composição volátil; Perda de umidade e os mesmos na língua inglesa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grão de café possui cerca de 8 a 13% de água no início do processo de torrefação. Durante o processo a temperatura vai se elevando, chegando a faixas de 220 °C a 280 °C, o que ocasiona a evaporação da água. O maior percentual de umidade é evaporado nos primeiros minutos da torrefação, normalmente de 2 a 5 minutos, mas podendo atingir 8 minutos. Essa variação depende do método de torrefação utilizado e da curva de torra desejada, chegando, geralmente, no máximo a 15 minutos (SILVA, 2008, SOMPORN *et al.*, 2011).

É após este período, entre 127 °C a 188 °C, que o grão muda de tonalidade, do verde para o amarelado, ocorrendo maior perda de água, conhecida pela fase seca do perfil de torra. Entre 11 a 12 minutos, próximo dos 200 °C os grãos mudam para a tonalidade marrom clara. Após este tempo e com o aumento contínuo de temperatura, a tonalidade é um marrom mais escuro, chegando ao que se denomina como “French roast”. Podendo ultrapassar os 232 °C, atingindo o grau de torra denominado “Italian roast”, com uma cor marrom bem escura, chegando a perder 20% de seu peso (SILVA, 2008; SOMPORN *et al.*, 2011; ALIAH, EDZUAN, DIANA, 2015).

Durante a perda de água ocorre a expansão volumétrica e variação da densidade dos grãos de café e mudanças físicas são observadas durante o processo de torrefação. Desta forma o tecido celular dos grãos passa a ter uma textura seca e quebradiça, facilitando a moagem, e extração dos sólidos solúveis (JANSEN, 2006). Dependendo do grau de torra que se deseje alcançar esse aumento volumétrico pode chegar ao dobro do volume inicial (JANSEN, 2006; PERREN 2002). Na Tabela 1, são apresentados os graus de torra com seus respectivos efeitos nos atributos sensoriais e a influência na perda de peso.

O grau de torra inicialmente e ainda popularmente é medido pela cor (utilizando o sistema de medida $L^* a^* b^*$ por colorimetria e pelo disco Agtron ou pela perda de peso que ocorre durante o processo, consequentemente pela perda de umidade, em balança de umidade, somada aos compostos voláteis formados ou liberados durante o processo pirolítico. A perda de peso relacionada à evaporação da água ainda presente no café cru e aos gases gerados nas reações químicas e transformações físicas pode ser de 14% a 20% dependendo de fatores como a umidade inicial dos grãos, o grau de torra desejado e, a curva e mecanismo de torra (SILVA, 2008; SOMPORN *et al.*, 2011).

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA PERDA DE UMIDADE E COMPOSIÇÃO VOLÁTIL

Tabela 1. Influência dos graus de torra nas características sensoriais do café torrado.

Disco de Agtron	Temperatura °C	Torração	Perda de Peso %	Característica Sensorial
75	215	Moderadamente Clara	15	Limpo, Áspero.
65	221	Média Clara	16	Chocolate ao Leite
55	230	Média	17	Caramelo Chocolate Amargo
45	237	Moderadamente Escura	19	Leve Queimado
35	243	Escura	20	Pungente Queimado

Fonte. Specialty Coffee Association of America – SCAA (2021).

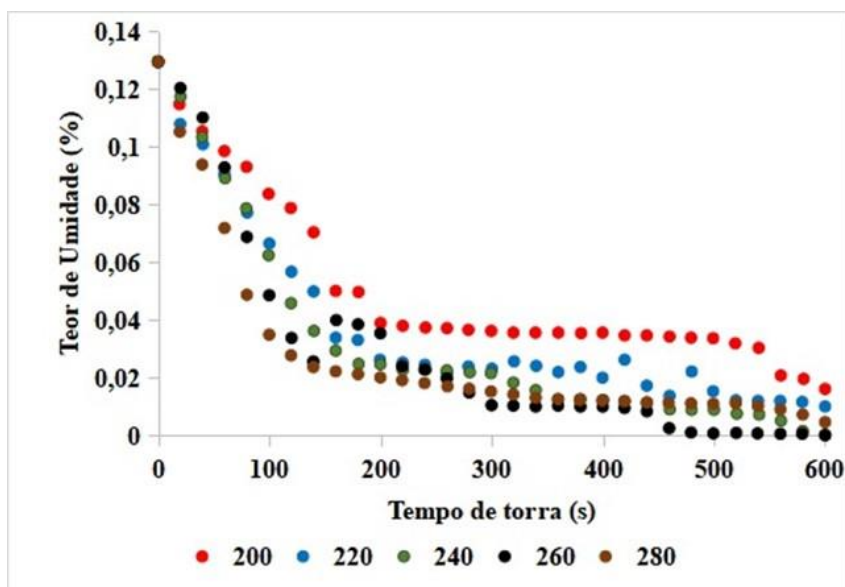
Durante o processo de desidratação ou etapa de seca no perfil de torra, 70% dos gases gerados são de vapor de água e 30% de dióxido de carbono. Inicialmente, dá-se uma desidratação lenta (abaixo de 100 °C), posteriormente já ocorre de forma mais acelerada (acima de 100 °C) e durante a pirólise; sendo evidente a perda de matéria seca, na formação de gás carbônico, monóxido de carbono, nitrogênio, ácidos voláteis e componentes aromáticos do grupo CH, água e, a eliminação da película prateada que fica aderida aos grãos de café cru (JANSEN, 2006). Porém, a quantidade dessa película no café arábica é de 0,3 a 0,9%, enquanto no robusta é de 1,8%, dependendo ainda do tipo de beneficiamento se por via úmida ou via seca, havendo nesta última um percentual bem maior dessa película (SILVA, 2008; SOMPORN *et al.*, 2011).

A transferência de calor é feita do exterior dos grãos para o interior; ocorrendo a transferência dos componentes voláteis, ocasionando um diferencial de temperatura nas diferentes partes do grão, que pode ser de até 50 °C no início da torrefação (JANSEN, 2006). São necessários cerca de 100 kcal para cada quilo de grão cru de café. Essa energia pode ser transferida por condução e contato (de forma menos eficientes), radiação, convecção, fluxo laminar e turbulento, sendo essencial o controle do binômio tempo x temperatura a depender do método utilizado e grau de torra desejado (SILVA, 2008).

É possível notar, a partir dos dados de Vanegas (2015), a tendência de estabilidade em relação a perda gradual de umidade e de compostos voláteis durante o processo de torrefação (Figura 1). Devido ao fato de a fase mais demorada do processo de torrefação ser a secagem e a água é o principal componente do grão, a quantidade relativa presente no grão é evaporada

com maior facilidade, apresentando-se com grandes perdas do total de umidade (água + compostos voláteis) nos 180 segundos iniciais. A partir disso, inicia-se a percepção dos aromas formados no café torrado, e dá-se início à reação de Maillard.

Figura 1. Perda de umidade (água + compostos voláteis) do grão de café sob diferentes condições de torrefação.



Fonte: Própria (2021).

É importante ressaltar a relação entre as temperaturas de torra, respectivamente, 200 °C e 220 °C que são próximas, e os grãos submetidos a estes processos apresentaram um tipo de torra clara a média-clara. Devido a menor exposição ao calor que promove reações de escurecimento, como caramelização e Reações de Maillard, a torra mais clara, apresenta cor menos acentuada e menor perda de constituintes voláteis (VANEGAS, 2015).

A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros de regressão linear para os valores de umidade (água + compostos voláteis) em função do tempo, de acordo com a temperatura de torrefação, onde as equações apresentam-se de forma polinomial. Essas equações são importantes porque permitem determinar como o tempo de torrefação influencia na umidade de cada grão, permitindo explicar a perda gradual de compostos voláteis e prever a bebida gerada para cada tipo de torra (PETERNELLI, 2004). O coeficiente de determinação (R^2) é uma forma de verificar se o método proposto é adequado ou não para descrever o fenômeno e indica a proporção ou porcentagem da variação da umidade.

Investir no desenvolvimento de modelos de previsão com base em compostos voláteis específicos do café é importante sendo possível prever os impactos que cada tipo de torra terá

sobre a bebida gerada e, para padronizar um perfil de torra, podendo ainda personalizar de acordo com o desejo do consumidor (CAPORASO *et al.*,2018).

Tabela 2. Regressão linear para os valores de umidade (água + compostos voláteis) em função do tempo em diferentes condições de torrefação, a partir dos dados de Vanegas (2015).

Temperatura de torrefação (°C)	Tipo de torra	Equação da reta ($y=ax^2+bx + c$)	Coefficiente de determinação (R ²)
200	Clara	$Y = 4,347E-07x^2 - 0,0004x + 0,1183$	0,92
220	Média-clara	$Y = 5,153E-07x^2 - 0,0004x + 0,1111$	0,92
240	Média	$Y = 5,554E-07x^2 - 0,0005x + 0,1129$	0,92
260	Média-escura	$Y = 5,739E-07x^2 - 0,0005x + 0,1140$	0,91
280	Escura	$Y = 5,576E-07x^2 - 0,0004x + 0,0972$	0,83

Fonte: Própria (2021).

Diante do exposto, percebe-se a necessidade de se ter o controle do grau de torra, a fim de se padronizar o tempo de cada etapa do perfil de torrefação dos cafés que serão submetidos à prova de xícara e receberão uma pontuação individual de cada atributo, afetando na pontuação final dos cafés avaliados, mas elevando a qualidade final da bebida (ABIC, 2013).

A predominância de classes funcionais dos compostos dos voláteis formados durante a torrefação nesta fase do perfil de torra é de pirazinas, furanos, aldeídos e piridinas. Dentre os furanos, o 2-furanometanol foi o composto que apresentou maior quantidade, já para as pirazinas o destaque foi o 2-metil-pirazina, dentre os aldeídos o composto de maior destaque foi o 3-metilbutanal e dentre as piridinas, a piridina se sobressaiu. Dentre os quatro compostos citados, a piridina foi o que apresentou menor proporção. Ela é um dos produtos da reação de Maillard e influencia diretamente na formação de aromas de café envelhecido e café queimado (AMSTALDEN, 2001; MOON; SHIBAMOTO, 2009; SANTOS, 2013).

Os aldeídos são caracterizados pelo seu aroma frutal e os furanos proporcionam atributos como doce e caramelo, sendo essa uma possível explicação para que estes tipos de torra proporcionem uma bebida menos encorpada, com acidez e aroma suaves e maior preservação dos óleos essenciais (ALVES, 2012; SANTOS, 2013). Amstalden *et al.* (2001), estudando os compostos voláteis de amostras de café comerciais torrado, também encontraram

valores significativos de furanos, aldeídos e piridinas, no entanto, a piridina apresentou maior concentração dentre eles (AYSELI; KELEBEK; SELLI, 2021).

Os grãos de café que foram torrados a 240 °C apresentam um decréscimo na curva de umidade a 100 segundos de reação, concluindo que possuem menor teor de água que os grãos submetidos a torras inferiores, uma torra média. O condensado obtido através da torrefação apresentou compostos voláteis semelhantes ao da torra clara, porém a classe dos aldeídos se perde quase que totalmente devido ao aumento da temperatura e a classe dos furanos prevaleceu, surgindo o 2-furanocarboxaldeído (furfural). A formação do furfural é favorecida a altas temperaturas, envolvendo os açúcares e aminoácidos presentes nos grãos (MOON; SHIBAMOTO, 2009).

A presença significativa de aldeídos faz com que este tipo de torra acarrete em uma bebida equilibrada em acidez, doçura, amargor e corpo, embora a diminuição dos óleos essenciais promova caramelização dos açúcares e decomposição dos ácidos naturais (FLAMENT, 2001; ALVES, 2012; SANTOS, 2013).

A mudança no perfil de voláteis para cada tipo torra já é esperado pois, segundo Ayseli; Kelebek; Selli (2021), há mudanças significativas nos compostos voláteis, qualitativas e quantitativas, para cada diferente processo de torrefação. O furfural também foi encontrado em blends de café secos por atomização (WONGSA *et al.*, 2019), e em amostras de cafés do Tipo Arábica e Robusta (CAPORASO *et al.*, 2018; AYSELI; KELEBEK; SELLI, 2021), mostrando que esse composto é característico da composição volátil dos grãos de café torrados.

Os grãos submetidos a temperaturas elevadas (260 °C - 280 °C), obtém torras do tipo média-escura e escura resultando em curvas com 27% de decréscimos nos 100 segundos iniciais, porém com valores de perda de umidade maiores e valores de teor de água menores que as torras claras e médias (VANEGAS, 2015), bem como cor mais acentuada e maior perda de constituintes voláteis, provocando perda de aroma e sabor (CORRÊA *et al.*, 2016).

Nos primeiros minutos do perfil de torra ocorrem as reações endotérmicas, conhecida pela fase seca, próximo à 160 °C e posteriormente, passam a ocorrer as reações químicas exotérmicas, próximo à 190 °C. Não há um consenso sobre o início e o fim de cada reação. Apesar da dificuldade de reprodução destas etapas a literatura traz comparações feitas entre os componentes dos grãos de café cru e os componentes dos grãos torrados. Algumas das mais complexas e abrangentes reações afetam principalmente os carboidratos do grão cru, entre as quais destacam-se a reação de Maillard, a degradação de Strecker, pirólise e caramelização, todas elas influenciam diretamente a formação do aroma, sabor e cor do café torrado (JANSEN, 2006).

A predominância de classes funcionais dos compostos dos voláteis formado durante a torrefação neste perfil de torra foi prevalente de furanos, piridinas e pirazinas, devido a isso o resultado é uma bebida menos ácida, menos encorpada e com amargor mais acentuado (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Os compostos que se destacaram no condensado formado nesses tipos de torra foram o furfural, o 2-furanometanol, a piridina, além de quantidades menores de aldeídos e ácido acético. Esses compostos apresentaram uma maior concentração na torra escura que nas torras média e torra clara, principalmente o grupo dos furanos.

Moon e Shibamoto (2009) relataram a presença de quantidades significativas de furanos tanto em cafés comerciais, quanto em cafés torrados em laboratório. Petisca *et al.* (2014), estudando diferentes tempos de torra de *blends* de cafés Arabica em cafés expressos, constataram que os furanos foram a classe de compostos mais abundante, apresentando também as piridinas e pirazinas em menor quantidade.

Schenker *et al.* (2002) avaliaram formação dos compostos aromáticos diferentes condições de torrefação utilizando um torrador de laboratório com leito fluidizado e capacidade máxima de 100 g de grãos crus por batelada. Os cafés submetidos à uma curva de torrefação lenta (10 min) apresentou uma menor concentração de compostos aromáticos relacionados a notas aromáticas herbáceas, de especiarias, terra e tabaco queimado, em relação aos grãos submetidos à uma curva de torração rápida (2 min e 30 seg), salientando que na curva de torra rápida ocorre uma maior abertura dos micro poros da parede celular dos grãos de café.

Dong *et al.*, (2017) investigaram diferentes métodos de secagem, na fase final do beneficiamento, em café robusta verde, em termos de componentes bioativos, composição de ácidos graxos e o perfil de compostos voláteis. Os autores provaram que a depender do método de secagem o café vai para a etapa de torra com diferentes concentrações de seus componentes, incluindo os voláteis. Semelhante ao que se comprova com a pesquisa de Yeretian *et al.* (2019) em que encontraram uma variação entre 87 e 170 compostos diferentes, em cafés arábica e canéfora.

Ainda de acordo com Yeretian *et al.* (2019) a composição dos voláteis do café verde é muito diferente daquela de café torrado. A maioria dos compostos importantes do aroma do café são formados durante a torrefação do café e seu conteúdo depende criticamente do perfil da temperatura de torra e do grau de torra. Alguns grupos que não estão presentes no café verde, mas que são importantes para o aroma do café torrado, são furanonas, fenóis e compostos contendo enxofre.

Assim como cafés cultivados em regiões de maior altitude liberam e retêm dimetil sulfeto, um importante constituinte do aroma e sabor dos cafés de qualidade e liberam mais

calor que os cultivados em regiões mais baixas; os ácidos clorogênicos ocorrem em maior concentração no café cru e a intensidade de degradação varia em função do grau de torra (SILVA, 2008).

De acordo com Arkadas, Avsar (2018), estudando os compostos voláteis do café Antakya usando técnicas de destilação a alto vácuo e cromatografia gasosa-espectrometria de massa (GC-MS), concluíram que os furanos parecem ser os mais abundantes neste tipo de café. Os grãos de café verde foram torrados a 235 °C e as amostras foram coletadas em intervalos de 10 minutos. Os resultados de GC-MS revelaram a presença de 36 voláteis (5 pirroles, 9 pirazinas, 10 furanos e 9 compostos diversos). Os autores reafirmam ainda que a formação de compostos voláteis produzidos termicamente começou a 140 °C e que durante a torra, não só se formam novos voláteis, mas também se observa a perda dos já formados, indicando as complexas mudanças bioquímicas.

Silva (2008) descreve em seu trabalho sobre a formação de diversos compostos voláteis, tais como aldeídos e cetonas que são formados a partir da degradação das proteínas e carboidratos durante o processo de torrefação, lembrando ainda que as proteínas são desnaturadas em temperaturas inferiores as da etapa da pirólise e que a hidrólise das ligações peptídicas libera algumas carbonilas e aminas. Reforça a permanência da cafeína e dos triacilgliceróis por serem termoestáveis. São evaporados em grande quantidade compostos sulfídricos hidrogenados e uma pequena quantidade de metil mercaptana e dimetil sulfeto também são liberados. Odores de peixe e amoniacal podem ser sentidos no café com grau de torrefação muito escura, proveniente de aminas.

Silva (2008) descreve ainda em seu trabalho que os aminoácidos livres, peptídeos e proteínas reagem com os açúcares redutores para formar glicosilaminas, aminoaldoses ou aminocetonas, por condensação e com os componentes do grupo α -dicarbonil durante a degradação de Strecker e formam amicetonas. A trigonelina ou ácido nicotínico é uma importante base nitrogenada que não é completamente degradada com a torrefação. Os glicerídeos aquecidos na presença da água e ácidos propiciam hidrólise, gerando glicerina e ácidos gordurosos, liberando óleos formando uma fumaça vermelha, e o dióxido de carbono não está presente no grão cru, sendo formado na etapa da pirólise, chegando a aproximadamente 1% do grão cru, transformar-se em dióxido de carbono durante a torrefação podendo chegar a 2% em graus de torra mais escuros.

Diante deste estudo destaca-se a importância do controle do grau de torra, que é comumente realizado por análises de cor e perda de massa, mas que elucida diante de todas as

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA PERDA DE UMIDADE E COMPOSIÇÃO VOLÁTIL

pesquisas já realizadas na literatura que se faz necessário se ter um controle do grau de torra por perfil de umidade e compostos voláteis para fins de precisão e padronização do processo.

CONCLUSÕES

Através do estudo realizado neste trabalho foi possível compreender o controle do grau de torra, a partir do perfil de torra, em relação a variação da umidade e da formação e liberação dos compostos voláteis durante o processo de torrefação.

Observou-se que o grau de torra é inversamente proporcional ao teor de água do café, logo, quanto maior o grau de torra, menor a quantidade relativa de água presente no grão. Dessa forma, conforme a temperatura de torra e o tempo aumentam, maior é a perda de umidade, destacando a influência sobre o tipo de torra e o sabor da bebida gerada. Entretanto, uma maior quantidade de compostos voláteis não está relacionada a maior qualidade do café, mas a que tipo de grau de torra deseja, levando-se ainda em consideração a espécie, origem, região geográfica, tipo de beneficiamento e método de torrefação.

Devido ao tempo de torrefação e à exposição ao calor, as torras mais escuras (260°C e 280 °C) apresentaram maior perda em sua composição volátil. Em contrapartida, as torras mais claras (200 °C e 220 °C) apresentaram menor perda de constituintes voláteis. Em função da umidade e da presença de constituintes voláteis, a melhor condição para bebida gerada apresenta-se na condição da torra média (aproximadamente 240 °C), pois os compostos voláteis presentes apresentam uma bebida com qualidade sensorial equilibrada em acidez, doçura, amargor e corpo, embora a diminuição dos óleos essenciais promova a caramelização dos açúcares e decomposição dos ácidos naturais. Tendo em vista que temperaturas de torrefação baixas não promovem o desenvolvimento desejável de aromas, da mesma forma que temperaturas de torrefação altas promovem bebidas com aroma menos acentuado e amargor mais forte.

Podendo ser investido ainda em pesquisas de modelagem matemática e cinética destes perfis de torra de grãos de café para fins de modernização e otimização do processo.

REFERÊNCIAS

ABIC. Associação Brasileira da Indústria de café. Norma de Qualidade Recomendável e Boas Práticas de Fabricação de Cafés Torrados em Grão e Cafés Torrados e Moídos. **Revisão 25**, de 12.04.2013.

ALIAH, A. M. N.; EDZUAN, A. M. F.; DIANA, A.M. N. A Review of Quality Coffee Roasting Degree Evaluation. **Journal of Applied Science and Agriculture**, v. 10, n. 7, p. 18-23, 2015.

ALONSO-TORRES, B.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, J. A.; SIERRA-ESPINOZA, F.; SCHENKER, S.; YERETZIAN, C. Modeling and Validation of Heat and Mass Transfer in Individual Coffee Beans during the Coffee Roasting Process Using Computational Fluid Dynamics (CFD). **CHIMIA International Journal for Chemistry**, v. 67, n. 4, p. 291–294, 2013.

ALVES, B. H. P. Análise química do aroma e da bebida de cafés de Minas Gerais e Espírito Santo em diferentes graus de torra. 2012. 162 f. **Tese** (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17507>

AMSTALDEN, L. C.; LEITE, F.; MENEZES, H. C. DE. Identificação e quantificação de voláteis de café através de cromatografia gasosa de alta resolução / espectrometria de massas empregando um amostrador automático de “headspace”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 123–128, 2001.

ARKADAS, M.; AVSAR, Y. K. Formation of volatile compounds in double roasted antakya coffee. **Journal of Nutrition, Food Research and Technology**, v. 1, n. 1, p. 19–22, 2018.

AYSELI, T. M.; KELEBEK, H.; SELLI, S. Elucidation of aroma-active compounds and chlorogenic acids of Turkish coffee brewed from medium and dark roasted *Coffea arabica* beans. **Food Chemistry**, v. 338, p. 127821, fev. 2021.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Café**: BSCA apresenta novo mapa das origens produtoras do Brasil. 2014. Disponível em: <http://bsca.com.br/noticia.php?id=242>. Acesso em: 29 mar. 2021.

CAMPOS, R. C. Propriedades físicas dos grãos de café moca durante o processo de torra e avaliação de qualidade. 2016. 74 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016.

CAPORASO, N.; WHITWORTH, M. B.; CUI, C.; FISK, I. D. Variability of single bean coffee volatile compounds of Arabica and robusta roasted coffees analysed by SPME-GC-MS. **Food Research International**, v. 108, p. 628–640, 2018.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; DE OLIVEIRA, A. P. L. R.; VARGAS-ELÍAS, G. A.; SANTOS, F. L., BAPTESTINI, F. M. Preservation of roasted and ground coffee during storage Part 1: Moisture content and repose angle. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 581-587, 2016.

DELIZA, R. **Café**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid5gmye02wyiv80z4s473qh1mi6v.html. Acesso em: 17 mar. 2020.

DONG, W.; HU, R.; CHU, Z.; ZHAO, J.; TAN, L. Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans. **Food Chemistry**, v. 234, p.121–130, 2017.

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA PERDA DE UMIDADE E COMPOSIÇÃO VOLÁTIL

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Consumo de café torrado e moído em nível global deverá crescer a uma taxa anual superior a 5% no período de 2016 a 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/12197016/consumo-de-cafe-torrado-e-moido-em-nivel-global-devera-crescer-a-uma-taxa-anual-superior-a-5-no-periodo-de-2016-a-2020>. Acesso em: 13 jan. 2021.

EUGÊNIO, M. H. A. Análise sensorial química e perfil de voláteis de cafés especiais das quatro regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais. Lavras, 2016. 138p. **Tese** (Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2016.

FLAMENT, I. **Coffee Flavor Chemistry**. 1ª edição ed. Chichester ; New York: Wiley, 2001.

FRANCA, A. S; OLIVEIRA, L. S; OLIVEIRA, R. C. S; AGRESTI, P. C. M; AUGUSTI, R. A preliminary evaluation of the effect of processing temperature on coffee roasting degree assessment. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 3, p. 345–352, 2009.

GLOESS, A. N.; VIETRI, A.; WIELAND, F.; SMRKE, S.; SCHONBACHLER, B.; LÓPEZ, J. A. S.; PETROZZI, S.; BONGERS, S.; KOSIOROWSKI, T.; YERETZIAN, C. Evidence of different flavour formation dynamics by roasting coffee from different origins: On-line analysis with PTR-ToFMS. **Journal of Mass Spectrometry**, v. 365–366, p. 324–337, 2014.

JANSEN, G. A. Coffee Roasting: Magic - Art - Science ; Physical Changes and Chemical Reactions. [s.l.] SV Corporate Media, 2006.

LÓPEZ-GALILEA, I.; FOURNIER, N.; CID, C.; GUICHARD, E. Changes in headspace volatile concentrations of coffee brews caused by roasting process and the brewing procedure. **Agric. Food. Chem**, 2006. Disponível em: [10.1021/jf061178t](https://doi.org/10.1021/jf061178t)/PMID: 17061834. Acesso em: 13 jan. 2021.

MOON, J.-K.; SHIBAMOTO, T. Role of Roasting Conditions in the Profile of Volatile Flavor Chemicals Formed from Coffee Beans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 13, p. 5823–5831, 2009.

OLIVEIRA, G.H.H.; CORRÊA, P.C.; SANTOS, F.L.; VASCONCELOS, W.L.; JÚNIOR, C.C.; BAPTESTINI, F.M., VARGAS-ELÍAS, G.A. Caracterização física de café após torrefação e moagem. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1813–1828, 27 ago. 2014.

PEDROSA, M.L.R.S. A Importância da Terra do Café: Etapas e Procedimentos do Processo na Indústria. 59p. **TCC** (Bacharel em Engenharia de Produção), Capim Grosso – BA, 2018.

PERREN, R. Recent developments in coffee roasting technology. In: Conferência anual da International Asspiation on Coffee Science, 2002. Turin. **Proceeding...** Zurich: Institute of Food Science, Swiss Federal Institute of Technology, 2002.

PETERNELLI, L.A. **Regressão Linear e Correlação**. In: Estatística. p. 108-118. Centro de Ciências Exatas - Departamento de Estatística. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 2004.

PETISCA, C.; PÉREZ-PALACIOS, T; PINHO, O.C.; FERREIRA, I. Optimization and application of a HS-SPME-GC-MS methodology for quantification of furanic compounds in espresso coffee. **Food Analytical Methods**, New York, v. 7, n. 1, p. 81-88, 2014.

RIBEIRO, J.S.; AUGUSTO, F.; FERREIRA, M.M.C.; TEREZINHA, J. G. S. Uso de perfis cromatográficos voláteis de cafés arábicas torrados para a diferenciação das amostras segundo o sabor, o aroma e a qualidade global da bebida. **Química Nova**, São Paulo, v.33, n.9, p.1897-1904, 2010.

RIBEIRO, J. S.; AUGUSTO, F.; SALVA, T.J.G.; THPMAZIELLO, R.A.; FERREIRA, M.M.C. Prediction of sensory properties of Brazilian Arabica roasted coffees by headspace solid phase microextraction-gas chromatography and partial least squares. **Analytica Chimica Acta**. Amsterdam, v.364, p.172-179, Dec. 2009.

SANTOS, G. Perfil de compostos voláteis de condensados obtidos a partir da fumaça gerada na torração do café. 2013. 88p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2013.

SCHENKER S.; HEIMANN, C.; HUBER, M.; POMPIZZI, R.; ESCHER, F. Impact of roast conditions on the formation of aroma compounds in coffee beans. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, n. 1, p. 60-66, Jan./Feb. 2002.

SILVA, J. R. Otimização do processo de torração do café pelo monitoramento de parâmetros e propriedades físicas e sensoriais. 82f. **Dissertação** (Programa de Pós-graduação Stricto-Sensu em Ciências dos Alimentos). Lavras-MG, 2008.

SOMPORN, C.; KAMTUO, A.; THEERAKULPISUT, P. SIRIAMORNPUN, S. Effects of roasting degree on radical scavenging activity, phenolics and volatile compounds of Arabica coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 11, p. 2287–2296, nov. 2011.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Cupping**. Disponível em: http://www.scaa.org/whatis_cupping.asp. Acesso em: 06/04/2021

TOLEDO, P. R. A. B.; PEZZA, L.; PEZZA, H. R.; TOCI, A. T. Relationship Between the Different Aspects Related to Coffee Quality and Their Volatile Compounds. **Comprehensive Review sin Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 4, p. 705–719, jul. 2016.

VANEGAS, J.D. B. Modelagem das propriedades físicas e da transferência de calor e massa dos grãos de café durante a torrefação. 2015. 65f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2015.

VARGAS-ELÍAS, G. A.; CORRÊA, P. C.; SOUZA, N. R. BAPTESTINI F. M.; MELO, E. C. Kinetics of mass loss of arabica coffee during roasting process. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 2, 2016.

WONGSA, P; KHAMPA, N.; HORADEE, S.; CHAIWARITH, J; RATTANAPANONE, N. Quality and bioactive compounds of blends of Arabica and Robusta spray-dried coffee. **Food Chemistry**, v. 283, p. 579–587, jun. 2019.

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA PERDA DE UMIDADE E COMPOSIÇÃO VOLÁTIL

YASHIN, A.; YASHIN, Y.; XIA, X.; NEMZER, B. Chromatographic Methods for Coffee Analysis: A Review. **Journal of Food Research**, v. 6, n. 4, 2017.

YERETZIAN, C.; OPITZ, S., SMRKE, S., WELLINGER, M. **Coffee Volatile and Aroma Compounds – From the Green Bean to the Cup**. Zurich University of Applied Sciences, Institute of Chemistry and biotechnology, 8820 Wädenswil, Switzerland. 2019.