

**Secador de camada fixa: uma adaptação para melhorar a secagem de café natural no Brasil**

**Fixed bed dryer: an adaptation to improve drying of natural coffee in Brazil**

**Secador de capa fija: una adaptación para mejorar el secado del café natural en Brasil**

Recebido: 24/03/2020 | Revisado: 25/04/2020 | Aceito: 26/04/2020 | Publicado: 27/04/2020

**Filipe da Silva de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3463-9630>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [filipe.oliveira@estudante.ufla.br](mailto:filipe.oliveira@estudante.ufla.br)

**Ednilton Tavares de Andrade**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8448-8781>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [ednilton@ufla.br](mailto:ednilton@ufla.br)

**Kátia Soares Moreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8724-3133>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [katiasoaresmoreira@hotmail.com](mailto:katiasoaresmoreira@hotmail.com)

**Sara Maria Chalfoun de Souza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9305-606X>

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [chalfoun@ufla.br](mailto:chalfoun@ufla.br)

**Flávio Meira Borém**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6560-8792>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [flavioborem@ufla.br](mailto:flavioborem@ufla.br)

**Resumo**

A secagem de café por meio de secadores de camada fixa tem sido amplamente utilizada por cafeicultores brasileiros. Entretanto, frequentemente são relatados elevados gradientes de teor de água formados nestes secadores, bem como o aparecimento de microrganismos na massa de café. Desenvolveu-se o presente trabalho com a finalidade de monitorar a performance destes secadores e seu efeito na qualidade final do produto, comparando à uma adaptação feita

em secadores de camada fixa convencional. Durante a secagem foram monitorados em diversos pontos na câmara de secagem as seguintes características: temperatura do ar de secagem, do ar intergranular, do ar de exaustão e do ar ambiente; umidade relativa do ar de secagem, do ar ambiente e do ar de exaustão e teor de água do produto em diferentes pontos e alturas na câmara de secagem (0,12; 0,36 e 0,60 m). Dentre as avaliações do produto seco, foram realizadas: análise de cor e análise microbiológica. De acordo com os resultados obtidos, a secagem com inversão do fluxo de ar resultou em um gradiente de teor de água de 0,4% (b.u.), enquanto a secagem convencional ocasionou um gradiente de 8% (b.u.). Em relação à coloração do produto nos diferentes manejos de secagem, a secagem com inversão resultou em produtos mais claros. Para a análise microbiológica, foram encontrados fungos dos gêneros *Cladosporium*, *Fusarium* e *Aspergillus*, dentre outros. Sendo que a média da incidência destes fungos foi maior nas amostras da secagem convencional que na secagem de camada fixa com inversão do fluxo do ar.

**Palavras-chave:** Inversão do fluxo de ar; Qualidade; Secadores industriais.

### **Abstract**

The drying of coffee by means of fixed layer dryers has been widely used by Brazilian coffee growers. However, high gradients of water content formed in these dryers are frequently reported, as well as the presence of microorganisms. The present work was developed with the purpose of monitoring the performance of these dryers and their effect on the final quality of the product, comparing to an adaptation made in conventional fixed layer dryers. During drying, the following characteristics were monitored at various points in the drying chamber: temperature of drying air, intergranular air, exhaust air, and ambient air; relative humidity of the drying air, the ambient air, and the exhaust air and the water content of the product at different points and heights in the drying chamber (0.12; 0.36 and 0.60 m). Among the dry product evaluations, color analysis and microbiological analysis were performed. According to the results obtained, drying with inversion of the airflow resulted in a water content gradient of 0.4% (b.u.), while conventional drying caused a gradient of 8% (b.u.). Regarding the color of the product in the different drying managements, drying with airflow inversion resulted in lighter products. For the microbiological analysis, fungi of the genera *Cladosporium*, *Fusarium*, and *Aspergillus* were found, among others. The average incidence of these fungi was higher in conventional drying samples than in fixed layer drying with inversion of airflow.

**Keywords:** Airflow inversion; Quality; Industrial dryers.

## Resumen

El secado del café por medio de secadores de capa fija ha sido ampliamente utilizado por los cafeteros brasileños. Sin embargo, con frecuencia se informan altos gradientes de contenido de agua formados en estos secadores, así como la aparición de microorganismos en la masa de café. El presente trabajo fue desarrollado con el propósito de monitorear el desempeño de estos secadores y su efecto en la calidad final del producto, en comparación con una adaptación realizada en secadores convencionales de capa fija. Durante el secado, se monitorizaron las siguientes características en varios puntos de la cámara de secado: temperatura del aire de secado, aire intergranular, aire de escape y aire ambiente; humedad relativa del aire de secado, el aire ambiente y el aire de escape y el contenido de agua del producto en diferentes puntos y alturas en la cámara de secado (0.12; 0.36 y 0.60 m). Entre las evaluaciones de productos secos, se realizaron análisis de color y análisis microbiológicos. De acuerdo con los resultados obtenidos, el secado con inversión del flujo de aire resultó en un gradiente de contenido de agua de 0.4% (b.u.), mientras que el secado convencional causó un gradiente de 8% (b.u.). En cuanto al color del producto en las diferentes gestiones de secado, el secado con inversión dio como resultado productos más ligeros. Para el análisis microbiológico, se encontraron hongos de los géneros *Cladosporium*, *Fusarium* y *Aspergillus*, entre otros. La incidencia promedio de estos hongos fue mayor en las muestras de secado convencionales que en el secado de capa fija con inversión del flujo de aire.

**Palabras clave:** Inversión del flujo del aire; Cualidades; Secadores industriales

## 1. Introdução

No Brasil, o café é um dos poucos *commodities* que varia seu preço de acordo com a qualidade. Ao longo de sua cadeia de produção, o café está passível de diversas variações sejam elas fenológicas ou climáticas, as quais interferem em suas propriedades físicas, sensoriais e de segurança (Conceição et al., 2017).

Os frutos do cafeeiro são colhidos com elevados teores de água o que propicia o desenvolvimento de fungos na superfície do produto, elevação da taxa de respiração, aumento da temperatura na massa e pode provocar posterior fermentação (Waters et al., 2017).

Dentre os graus de maturação dos frutos do cafeeiro, os imaturos são os mais susceptíveis à danos térmicos devido a temperatura do ar de secagem (Andrade et al., 2019).

Após a colheita, estes frutos podem ser processados por via úmida ou por via seca, sendo que no Brasil o tipo de processamento mais empregado nos frutos do cafeeiro é o

processamento por via seca. Neste tipo de processamento todo o fruto é submetido ao processo de secagem sem remoção do exocarpo. Isto implica em uma exposição mais prolongada ao ar de secagem do que o despulpado, para ser seco. Assim, a polpa açucarada oferece um habitat ideal para o desenvolvimento microbiológico.

A seguir, após terem sido processados, estes frutos podem ser secados em terreiros ou secadores mecânicos. A secagem em terreiros pode ser problemática, já que possibilita alta variabilidade do resultado de acordo com oscilações climáticas (Meza 2015). De forma a contornar esta situação, diversos cafeicultores optam por utilizar secadores mecânicos na secagem do café. Recentemente, observou-se que a secagem em camada espessa tem sido amplamente utilizada por cafeicultores.

Em alguns casos a secagem em camada fixa funciona adequadamente, em outros pode trazer problema à qualidade do café. Por este motivo torna-se necessário estudar estes secadores industriais.

Tendo em vista que a utilização da secagem estática com inversão do sentido do fluxo de ar já é empregada em outros países do mundo como forma de redução do teor de água nas camadas (Janjai, 2011; Tuan et al., 2015; Jia et al., 2016), não existem estudos que comprovem em escala real como ocorre esse gradiente na massa de frutos de café com um metro de altura da coluna de secagem.

Desta forma, observando opções de adaptação para melhoria da secagem realizada em secadores de camada fixa em escala real, o presente trabalho visa estudar o perfil de temperatura no secador e quantificar o teor de água e incidência microbiológica de fungos saprófitos nos frutos de café verde secados em secador de camada fixa convencional e com inversão do sentido do fluxo do ar.

## 2. Metodologia

Foi realizada uma pesquisa em campo como considera Pereira et al. (2018) e portanto sujeita a muitas variáveis nem sempre controláveis.

As etapas de colheita, processamento e secagem dos frutos de *Coffea arabica* L., foram realizadas no município de São Sebastião do Paraíso, estado de Minas Gerais, localizado em -20°57'8" de latitude Sul e -47°9'5" de longitude oeste, durante o mês de junho na safra de 2019.

Ao longo do processo de secagem, foram coletadas amostras dos frutos, as quais foram analisadas na própria fazenda. Ao término do processo de secagem, foram coletadas

outras amostras da matéria-prima seca, provenientes de cada teste realizado em pontos pré-determinados no secador. Estas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, no Departamento de Engenharia Agrícola e à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, em Lavras.

### ***O Estudo Experimental***

A secagem dos frutos de café se procedeu como apresentado a seguir. Os frutos do cafeeiro, após terem sido lavados foram dispostos na câmara de secagem onde ocorreu a secagem, tendo permanecida a matéria-prima estática durante todo o processo.

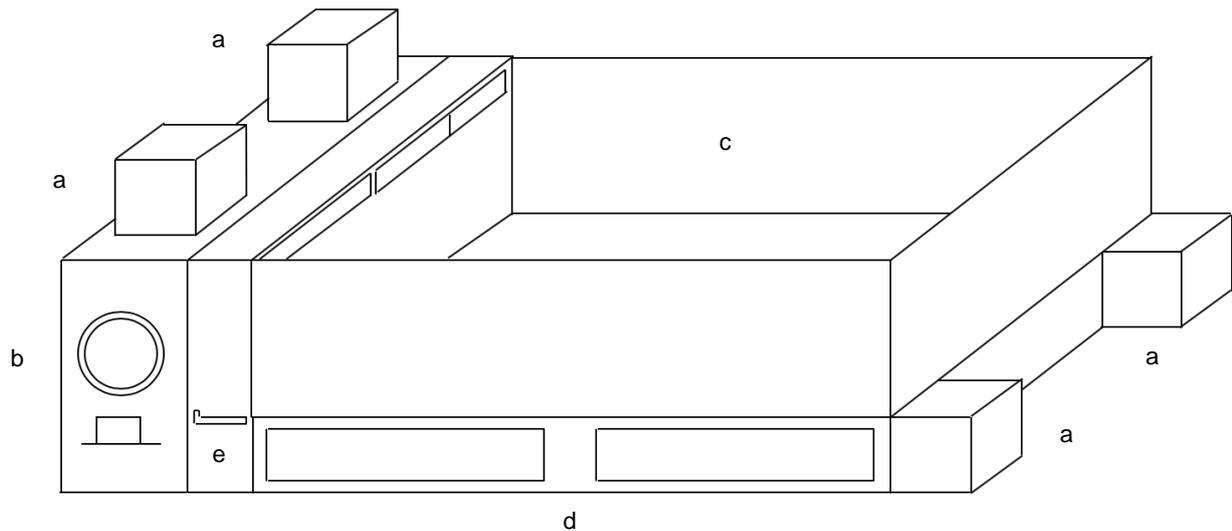
A câmara de secagem possui volume de 15.000 L, tendo sido necessário um tempo considerável para preenchimento com os frutos de café. O carregamento ocorreu de forma gradual tendo sido utilizado uma carreta basculante de 5 m<sup>3</sup>. Foi necessário cerca de doze horas para que a câmara fosse preenchida completamente. Neste período que antecede a secagem, os ventiladores laterais à câmara ficaram acionados de modo a promover aeração na massa de frutos.

Após a câmara ter sido carregada com 15.000L de café, deu-se início às secagens convencionais e com inversão do sentido do fluxo de ar. Estas secagens foram conduzidas até que a camada inferior da massa alcançasse teor de água adequado ao armazenamento.

Devido ao fato deste experimento ser conduzido em um secador industrial, foram utilizados vários pontos para coleta de dados. Informações acerca do secador são descritas à seguir.

O secador foi construído em chapas de aço, o qual é apresentado na Figura 01.

**Figura 01** – Desenho esquemático do secador.



Legenda: (a) ventiladores; (b) fornalha; (c) câmara de secagem; (d) plenum; (e) inversor do fluxo de ar de secagem.

Fonte: Autores.

A – Ventiladores – possui um total de quatro ventiladores, sendo dois acima da fornalha e mais dois destinados à aeração do café durante o preenchimento da câmara. Cada ventilador possui potência de 3 cv e rotação de 1720 rpm.

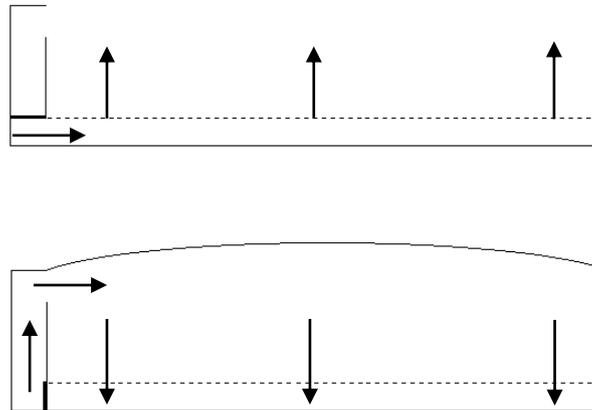
B – Fornalha de fogo indireto – é constituída de um trocador de calor composto por dutos que promovem o aquecimento do ar ambiente. Fazem parte da fornalha um cinzeiro, responsável por coletar os resíduos sólidos provenientes da queima de combustível e uma chaminé, que é responsável por escoar os resíduos gasosos para a atmosfera um ponto distante da massa de frutos, evitando contaminação.

C – Câmaras de secagem – construída com chapas metálicas. Possui piso perfurado com perfuração oblonga de 37% e área de 15 m<sup>2</sup> (5 m x 3 m). A coluna de frutos, que permanece acima do piso perfurado, tem espessura inicial de 1,0 m, perfazendo, desta forma, um volume de 15 m<sup>3</sup>.

D – Câmara “plenum” – possui dois *plenums* para a câmara de secagem que se caracterizam por um espaço vazio, com a finalidade de distribuir o fluxo de ar e pressão estática na câmara de secagem. Tem base retangular de (5,0 m x 3,0 m) e altura de 0,50 m. O volume de cada *plenum* é de 7,5 m<sup>3</sup>. No início do processo de secagem, o ar percorre a massa de frutos no sentido ascendente, ou seja, o ar passa pela fornalha onde é aquecido e é direcionado para o *plenum* inferior e em seguida para a câmara de secagem. Após o período de 12 h, o sentido do

fluxo de ar é invertido, percorrendo a camada de frutos no sentido descendente, partindo do plenum superior, conforme a Figura 02.

**Figura 02** – Ilustração do *plenum* trabalhando em sentido (a) ascendente e (b) descendente.



Fonte: Autores.

F – Moega para combustível – o secador utiliza como combustível tanto lenha quanto casca de café. O sistema de alimentação de palha é composto por uma moega e um alimentador com rosca sem fim, movimentado por um motor de 1,0 cv e rotação de 1710 rpm.

### ***Pré-Testes***

O período de inversão do sentido do fluxo de ar foi definido após terem sido realizados pré-testes no secador. Para a definição do período de inversão do fluxo de ar adequado, foram realizadas análises de teor de água dos frutos nas camadas durante processos de secagem com diferentes períodos de inversão.

Este teor de água utilizado no pré-teste foi coletado em diversos pontos no secador em três camadas: fundo, meio e superfície. Estas camadas possuem altura de 0,12, 0,36 e 0,66 m de distância do *plenum* inferior, respectivamente. As amostras foram coletadas em intervalos de seis horas durante todos o processos de secagem, construindo assim perfis de teor de água ao longo do tempo.

A determinação dos teores de água dos pré-testes foi realizada de acordo com a Regra para Análise de Sementes (Brasil, 2009) pelo método direto, em estufa com circulação forçada de ar, a  $105\pm 3$  °C durante 24 horas.

Os frutos do cafeeiro utilizados nos pré-testes possuíam teor de água inicial de 1,6 e 1,0 b.s. Tendo sido necessário um período de secagem de 92 e 75 h, respectivamente. A secagem conduzida com períodos de inversão do fluxo de ar em intervalos de 12 horas foi denominada de Pré-Teste 01 (PT01), enquanto que a secagem conduzida com inversão do fluxo de ar no sentido ascendente por 18 h dia<sup>-1</sup> e descendente por 6 h dia<sup>-1</sup> foi denominada de Pré-Teste 02 (PT02) (Tabela 01).

**Tabela 01** – Descrição dos tratamentos realizados.

Pré-Testes	Teor de água Inicial (% b.s.)	Período sentido ascendente (% dia <sup>-1</sup> )	Período sentido descendente (% dia <sup>-1</sup> )	Tempo de Secagem (h)
PT01	1,60	50	50	92
PT02	1,00	75	25	74,5

Fonte: Autores.

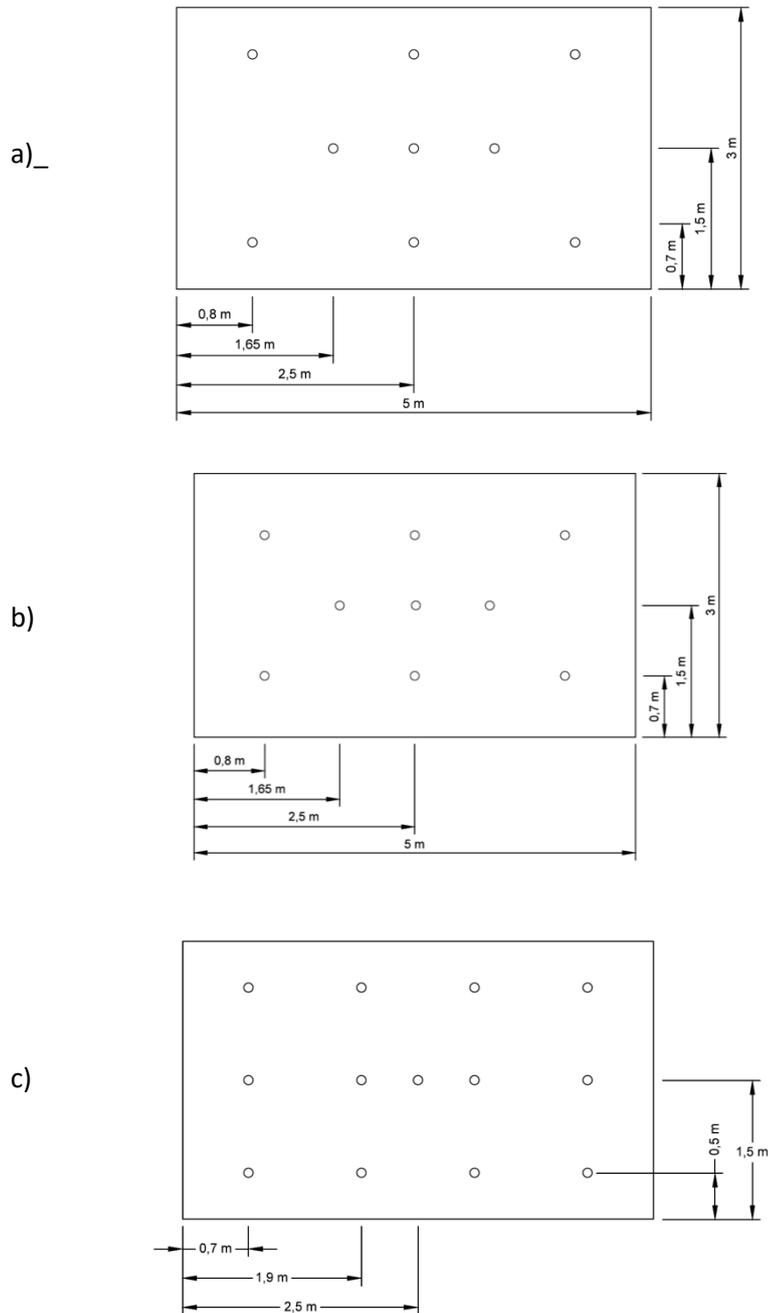
A definição do melhor período para inversão do fluxo de ar ocorreu através da comparação dos gradientes de teor de água formados ao final do processo de secagem e também pela facilitação do manejo do secador.

### *Teor de Água*

Para obtenção do teor de água foram coletadas amostras dos frutos de café, intervaladas em períodos de seis horas, ao longo do processo de secagem. Para a coleta das amostras foi utilizado calador com septos, possibilitando a coleta em diferentes alturas na massa de frutos (0,12; 0,36 e 0,60 m).

Na Figura 03(a) é apresentada a distribuição dos pontos na câmara de secagem por vista superior.

**Figura 03** – Vista superior da câmara de secagem com demarcação (a) dos pontos de coleta do teor de água, (b) pontos de coleta para análise microbiológica e cor e (c) pontos de coleta de temperatura.



Fonte: Autores.

Vale ressaltar que os pontos amostrais foram distanciados em 0,10 m dos pontos de coleta de temperatura para que não fossem danificados os termopares durante os processos de secagem.

A determinação do teor de água das amostras foi realizada em estufa com circulação forçada de ar, a  $105 \pm 3$  °C durante 24 horas (Brasil, 2009).

Com a finalidade de se auxiliar a verificação do término do processo de secagem, os teores de água das camadas foram medidos por meio de processo indireto utilizando um equipamento que se baseia na averiguação da capacitância elétrica das amostras.

### ***Análise da Cor***

As amostras para a análise quantitativa de cor foram coletadas após a finalização dos processos de secagem e encaminhadas ao Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, tendo sido utilizados grãos beneficiados da amostra de trabalho completa.

As amostras de trabalho foram coletadas conforme pontos apresentados na Figura 03(b), para as alturas na camada de 0,12, 0,36 e 0,60 m, para cada secagem realizada. Após coletadas, estas foram armazenadas em embalagens de polietileno, em temperatura ambiente. Posteriormente, foram beneficiadas e se procedeu a verificação qualitativa de cor através do sistema CIELAB.

Nesse sistema,  $a^*$  varia entre o verde ( $- a^*$ ) e o vermelho ( $+ a^*$ ),  $b^*$  entre o azul ( $- b^*$ ) e o amarelo ( $+ b^*$ ) e  $L^*$  é a luminosidade que varia entre 0% - preto e 100% branco.

### ***Análise da Temperatura***

A medição das temperaturas na câmara de secagem foi realizada através de termopares tipo T inseridos na massa de frutos. Através de central de aquisição de dados, as temperaturas foram coletadas pelos termopares a cada 15 minutos.

A distribuição dos termopares foi realizada conforme a Figura 03(c), que apresenta a vista superior da câmara de secagem. As alturas para instalação destes termopares foram de 0,03; 0,33 e 0,66 m, na massa de frutos.

Ademais, através da utilização de *dataloggers*, foram coletadas informações do ar ambiente, ar de secagem e ar de exaustão. Tais *dataloggers* foram configurados para coletar informações acerca do processo de secagem em intervalos de 15 minutos.

Foram utilizados dois desses aparelhos *dataloggers* para a coleta de umidade relativa e temperatura do ar ambiente, dispostos próximos aos ventiladores do secador. Já para o ar de secagem e o ar de exaustão, foram instalados no *plenum* e na superfície da massa, quatorze *dataloggers*; sendo sete dispostos no *plenum* e sete dispostos na massa de frutos.

### ***Análise dos microrganismos***

As amostras foram coletadas logo após o término de cada processo de secagem. Para a realização das coletas foi utilizado calador com septos nas alturas de 0,12, 0,36 e 0,60 m, tendo sido coletada cerca de 500g cada amostra, armazenadas em embalagens de polietileno, devidamente identificadas. Após a coleta, as amostras foram levadas à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, no Centro Tecnológico do Sul de Minas em Lavras.

A Figura 03 (b) apresenta a vista superior da câmara de secagem, onde os “o” apontam os locais onde foram coletadas as amostras no secador. Amostras dos frutos de café foram retiradas aleatoriamente das embalagens de polietileno. O experimento foi realizado em duas repetições sendo que cada placa de Petri continha 25 frutos de café.

O plaqueamento para a obtenção dos principais gêneros fúngicos ocorridos nos frutos de café foi realizado através do método de Blotter Test. Para o plaqueamento foram utilizadas placas de Petri de 12,5 cm de diâmetro contendo duas folhas de papel germinal previamente esterilizado. O papel germinal foi umedecido com 10 mL de água destilada e esterilizada.

Após disponibilizar os frutos nas placas de Petri, as amostras foram incubadas em estufa do tipo Biochemistry Oxygen Demand (BOD) à temperatura de 25 °C, durante sete dias, com fotofase de 12 horas. Passado o período de incubação foi realizada a contagem dos principais gêneros fúngicos provenientes das amostras.

Após ter sido realizado o plaquemanto nos frutos, procedeu-se a realização do plaqueamento em grãos de café beneficiados. Os frutos utilizados no beneficiamento, foram aqueles restantes das amostras anteriores. Todas as amostras foram beneficiadas e armazenadas em uma embalagem de papel kraft e uma embalagem hermética de polietileno. A análise dos grãos foi realizada utilizando-se da mesma metodologia para os frutos de café, acima descrita.

### ***Estatística***

Foi realizada a análise estatística descritiva dos dados. Por meio do software SciDAVis<sup>®</sup> foram construídos os gráficos *boxplot*.

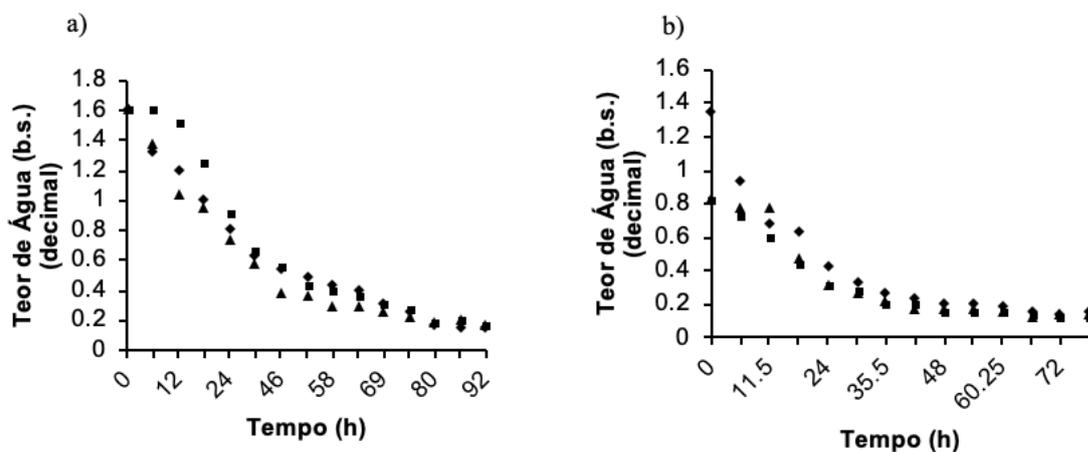
O fator qualitativo posição da camada no secador (fundo, meio e superfície) foi analisado por meio do software Sisvar<sup>®</sup> por comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Ferreira, 2014).

### 3. Resultados

#### *Definição do período de inversão do sentido do fluxo de ar*

O período de inversão do sentido do fluxo de ar de secagem foi definido a partir de pré-testes realizados em safra anterior conforme as curvas de secagem apresentadas na Figura 04.

**Figura 04** – Teor de água ao longo do período de secagem nas diferentes camadas do secador, durante a secagem dos pré-testes (a) PT01 e (b) PT02.



Legenda: ◆ Fundo    ■ Meio    ▲ Superfície

Por meio desta figura (Figura 04), se observa que os dois períodos de inversão testados apresentaram gradientes de teor de água formados insignificativos. Para os pré-testes com inversão do fluxo de ar no intervalo 12h e com sentido ascendente por  $18 \text{ h dia}^{-1}$  e descendente por  $6 \text{ h dia}^{-1}$ , os gradientes formados ao final dos processos de secagem foram de 0,027 e 0,03 b.s, respectivamente.

Para fazer a inversão do fluxo de ar é necessário mão-de-obra para a colocação ou retirada da capota sobre a câmara de secagem. Logo, a decisão em se escolher o período de inversão do fluxo de ar no intervalo de doze horas se baseia tanto no gradiente de teor de água formado quanto na facilidade operacional do secador.

Devido ao fato de que realizar a inversão no intervalo de doze horas facilita a viabilização operacional do equipamento, comparado à secagem com inversão de 18/6h, além de não comprometer a homogeneização do teor de água final do produto, optou-se por utilizar a periodicidade de inversão do fluxo de ar no intervalo de doze horas nos testes adiante.

### ***Teor de água***

Na Tabela 02 são apresentados os valores do teor de água inicial e final em diferentes camadas nas secagens realizadas, bem como seus períodos de secagem. Como se pode observar, o teor de água médio inicial dos frutos foi de 68% b.u. Os processos de secagem levaram cerca de quatro dias para se finalizarem.

O teor de água dos frutos de café secados no secador convencional e com inversão do fluxo do ar de secagem varia de acordo com a posição dentro da câmara de secagem, conforme os resultados apresentados. Ao analisar o teor de água de um secador rotativo para secagem de café, outros autores verificaram que havia diferença significativa do teor de água nas diferentes seções do secador para uma mesma distância radial do plenum (Reinato et al., 2012). Considerando que esta secagem foi realizada em camada fixa, se espera que o teor de água seja o mesmo para cada camada. Entretanto, selecionando-se diferentes pontos para análise nas mesmas camadas, observa-se que estes valores se diferenciam.

Os resultados do teor de água final da secagem com inversão do fluxo de ar proporcionaram teores de água similares em diferentes pontos e na mesma camada. Porém, o tratamento de secagem de camada fixa convencional, amplamente empregado no Brasil, proporcionou diferenças significativas do teor de água nas camadas e também nas posições da mesma camada. Conforme apresentado nos resultados, o teor de água nas camadas do meio e da superfície, além de não se igualarem a camada inferior, apresentaram valores médios mais elevados na seção que mais se distancia da fornalha. Isto pode ter ocorrido pois o fluxo de ar na zona próxima a fornalha era maior que na zona distante da fornalha.

As Figura 05 e 06 apresentam os teores de água de seis seções dentro da câmara do secador, ao longo processo de secagem com e sem inversão, respectivamente. Por meio da Figura 05 pode-se observar que independente da altura da camada no secador, o gradiente de teor de água final é inferior é de 0,35% (b.u.). Para as seções 01, 02 e 03, as médias do gradiente dos teores de água entre as diferentes alturas na camada são de 0,57, 0,11 e 0,91% (b.u.). Enquanto para a secagem convencional, estes gradientes são respectivamente de 1,93, 4,71 e 5,94% (b.u.).

**Tabela 02** – Período para secagem convencional e com inversão do fluxo de ar; teores de água inicial e final distinguidos entre as camadas do fundo, meio e superfície para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar; análise estatística da cor para cada camada das secagens convencional e com inversão do fluxo de ar e análise microbiológica da seção *Circumdati* e dos gêneros *Cladosporium* e *Fusarium* para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar.

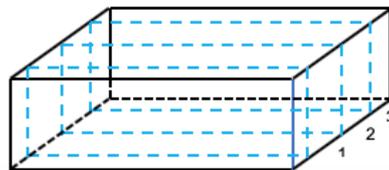
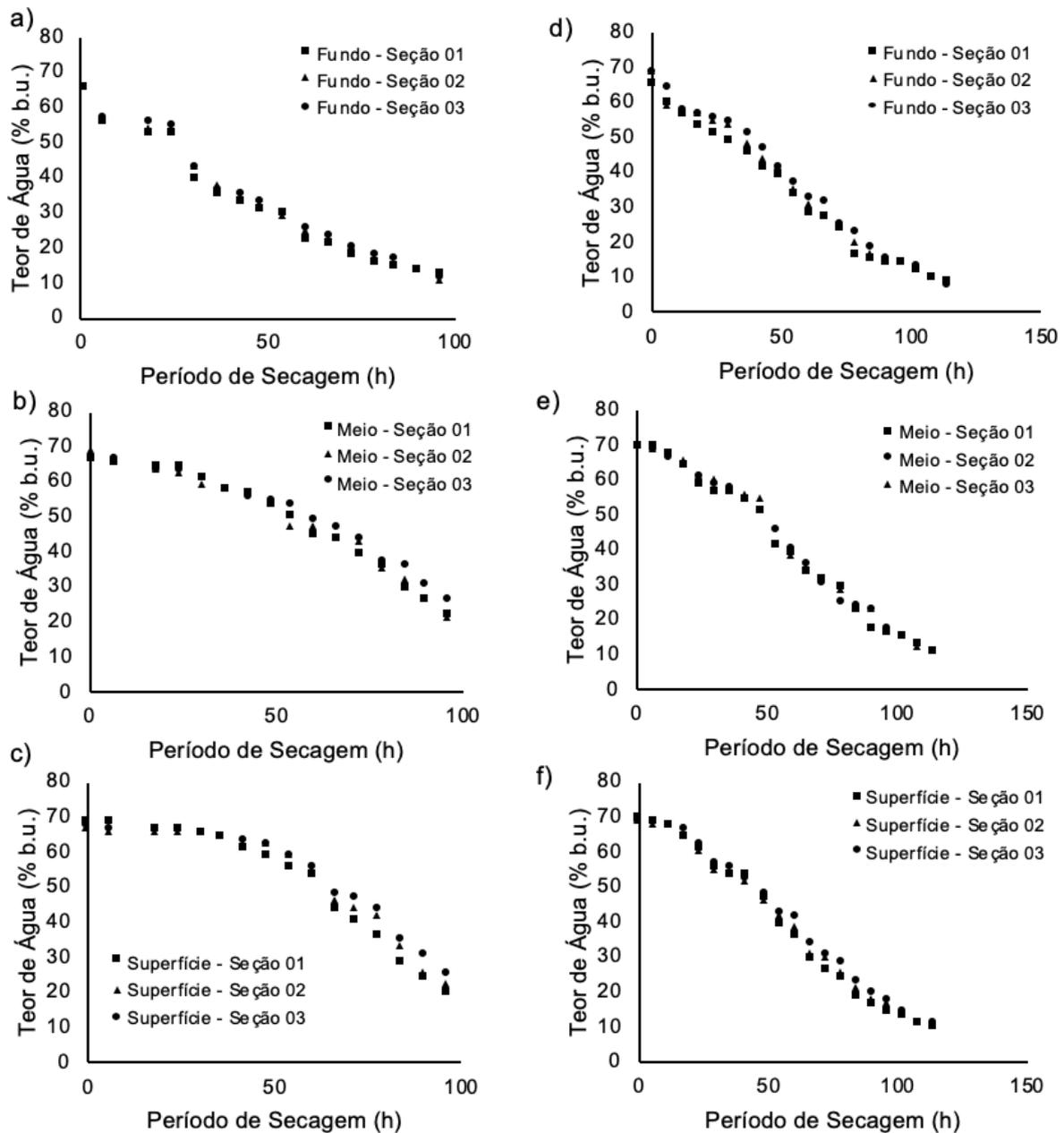
Secagem	Período (h)	Camada	MCI (% w.b.)	MCF (% w.b.)	Análise da cor			Análise microbiológica					
					L*	a*	b*	<i>S. Circumdati</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Fusarium</i>			
Convencional	96	Fundo	66,85	12,29	40,38 <sup>Aa</sup>	1,36 <sup>Aa</sup>	12,89 <sup>ns</sup>	38,51±4,28	1,12±1,35	12,51±2,25	27,08 <sup>b</sup>	87,70 <sup>b</sup>	93,18 <sup>b</sup>
		Meio	67,87	23,69	38,18 <sup>Bb</sup>	1,36 <sup>Aa</sup>	12,43 <sup>ns</sup>						
		Superfície	68,50	23,47	36,76 <sup>Bb</sup>	2,18 <sup>Bb</sup>	12,27 <sup>ns</sup>						
Com Inversão	114	Fundo	67,78	11,08	39,93 <sup>Aa</sup>	1,19 <sup>Aa</sup>	12,75 <sup>ns</sup>	40,44±3,51	0,17±1,27	12,79±1,74	22,00 <sup>a</sup>	69,90 <sup>a</sup>	78,30 <sup>a</sup>
		Meio	69,78	11,30	40,32 <sup>Aa</sup>	0,93 <sup>Aa</sup>	12,60 <sup>ns</sup>						
		Superfície	69,12	11,47	41,06 <sup>Aa</sup>	1,06 <sup>Aa</sup>	12,98 <sup>ns</sup>						

Letras minúsculas e maiúsculas diferem-se entre si entre as secagens e entre as camadas analisadas, respectivamente. <sup>ns</sup> não significativo pelo método de Tukey à 5% de significância.

Fonte: Autores.

Por meio da Tabela 02 pode-se observar que a secagem de café natural em secagem convencional foi menor que na secagem com inversão. Isso deve-se ao fato de que na secagem convencional as camadas do meio e da superfície não atingiram o teor de água necessário para armazenamento, tendo sido interrompida com antecedência para evitar perda dos grãos localizados na camada inferior, que já apresentavam teor de água adequado para o fim da secagem. Além disso, a secagem convencional apresentou grãos significativamente mais escuros que os da secagem com a adaptação da inversão do fluxo de ar. E por fim, a presença de fungos relacionados à baixa qualidade de café foi encontrado em quantidade significativamente menor na secagem com inversão do fluxo de ar.

**Figura 05** – Teor de água ao longo do período de secagem nas seções 01, 02 e 03 do secador, durante as secagens convencional (a, b, c) e com inversão do fluxo de ar (d, e, f).

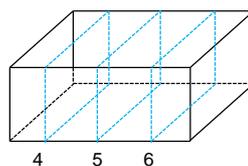
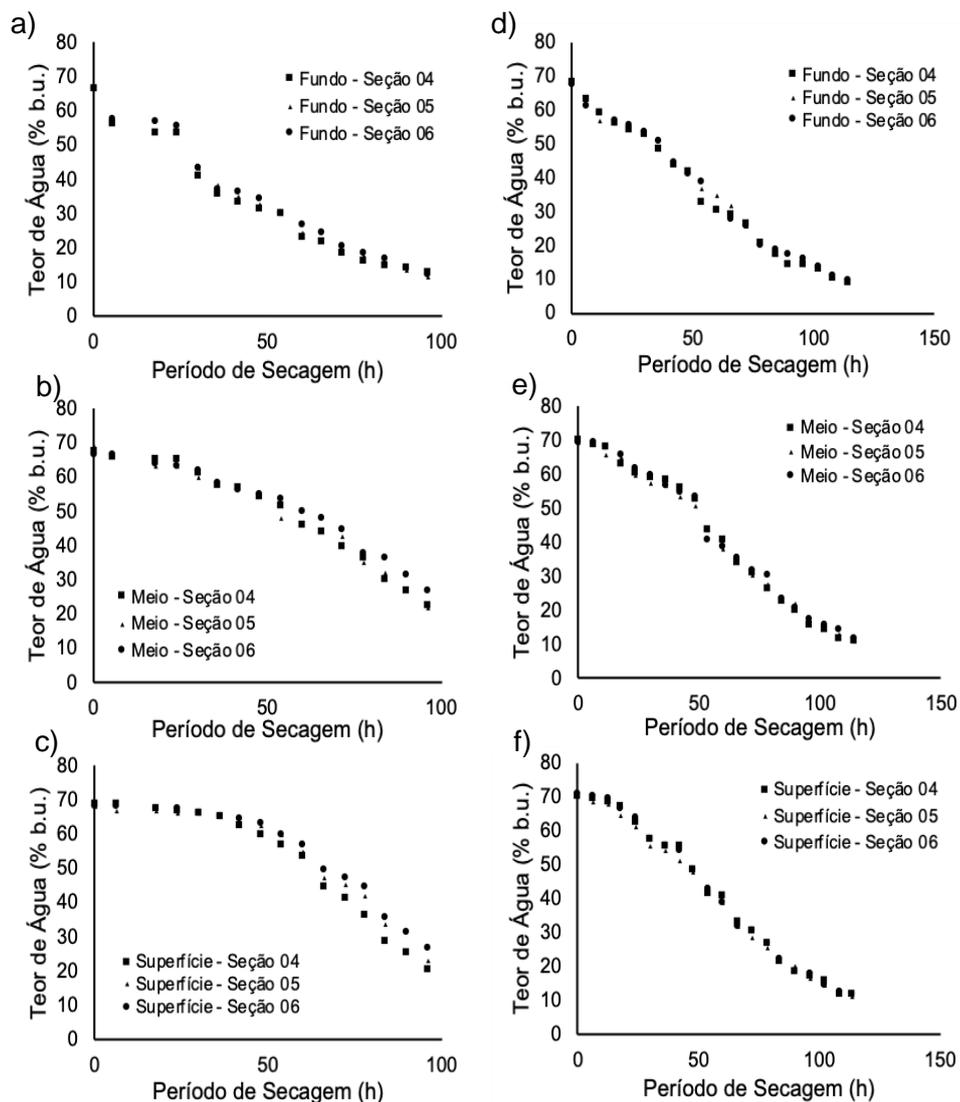


Fonte: Autores.

Nas Figuras 05 e 06 são apresentadas as curvas de teor de água dos processos de secagem convencional e com inversão do sentido do fluxo de ar, respectivamente, para as

diferentes camadas. Pôde ser observado que as médias dos teores de água nas camadas do fundo, meio e superfície são de 11,12; 11,47 e 11,29 % (b.u.), para a secagem com inversão do sentido do fluxo do ar (Figura 5). Já, ao se observar o teor de água final nas camadas do fundo, meio e superfície para secagem convencional, esses valores são de 12,29; 23,69 e 23,47 % (b.u.) (Figura 6).

**Figura 06** – Teor de água ao longo do período de secagem nas seções 04, 05 e 06 do secador, durante as secagens convencional (a, b, c) e com inversão do fluxo de ar (d, e, f).



Fonte: Autores.

Mediante os resultados observados neste trabalho, a secagem convencional de frutos verdes do cafeeiro secados em camada fixa com 1,0 m de altura inicial ocasionaram em diferenças no teor de água médio final da secagem. Ainda, a adaptação realizada na secagem convencional com o intuito de minimizar os gradientes de teor de água formados na câmara de secagem funcionou adequadamente. Outros meios de adaptação para secagem em camada fixa de café foram estudados, conforme relatado na literatura.

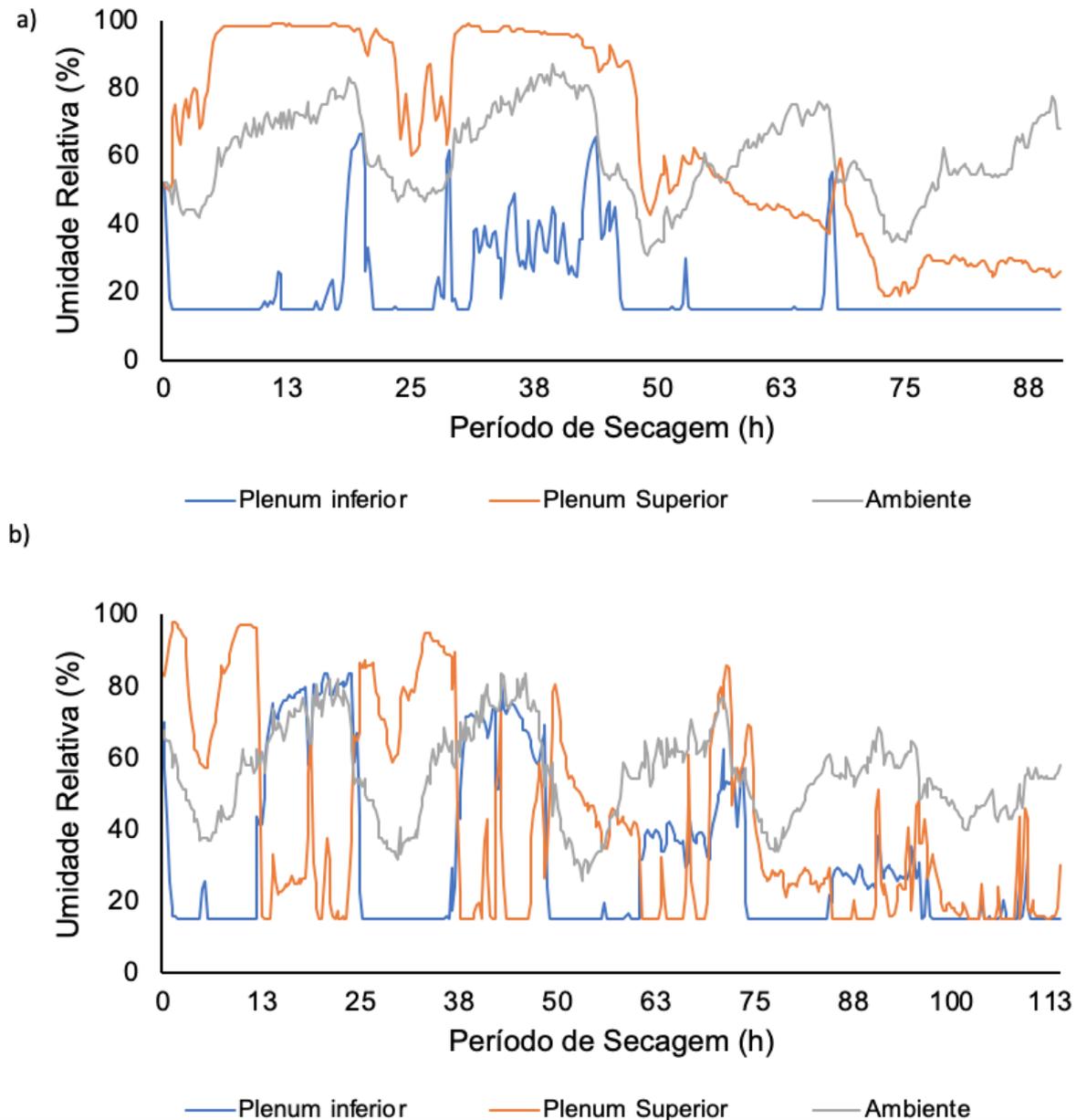
Outros autores testaram o revolvimento mecânico em secador de camada fixa para secagem de café, comparando com secagem de camada fixa convencional (Campos et al., 1999). Foi encontrado que, ao final do processo de secagem convencional, havia uma diferença de 4,2 % b.u. do teor de água entre as camadas superior e inferior. Os resultados obtidos pelos outros autores corroboram com os observados neste trabalho no que se refere à minimização do gradiente de teor de água entre as camadas, formada ao final da secagem. O autor encontrou um gradiente de 0,7 % b.u. quando revolia a massa de café em determinados períodos. Enquanto os valores do teor de água dos frutos por meio da secagem de camada fixa com inversão do sentido do fluxo do ar, obtido neste trabalho, foi de 0,4 % b.u.

Através destes valores obtidos, pode ser identificado que a secagem convencional, ou seja, aquela onde não ocorre inversão do sentido do fluxo do ar de secagem, acarreta uma desuniformidade do teor de água final dos frutos. As camadas do meio e da superfície apresentaram valores médios elevados quando comparado à camada inferior. Desta forma, a secagem com inversão do fluxo de ar diminuiu este gradiente de teor de água final formado entre as camadas, o qual pode prejudicar a qualidade do produto final. Isto implica que o período de inversão do fluxo de ar de secagem periódico utilizado contribuiu positivamente para igualar o teor de água dos frutos de café ao longo da camada.

### ***Temperatura e umidade relativa do ar***

Na Figura 07 são apresentados os valores médios de umidade relativa do ar ambiente do ar de secagem e do ar de exaustão para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar. Como se era esperado, se observa variações cíclicas da umidade relativa do ar ao longo do processo de secagem, apresentando umidades relativas superiores durante a noite e inferiores durante o dia.

**Figura 07** – Umidades relativas do ar de exaustão, do ar de secagem e do ar ambiente para os processos de secagem (a) convencional e (b) com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Autores.

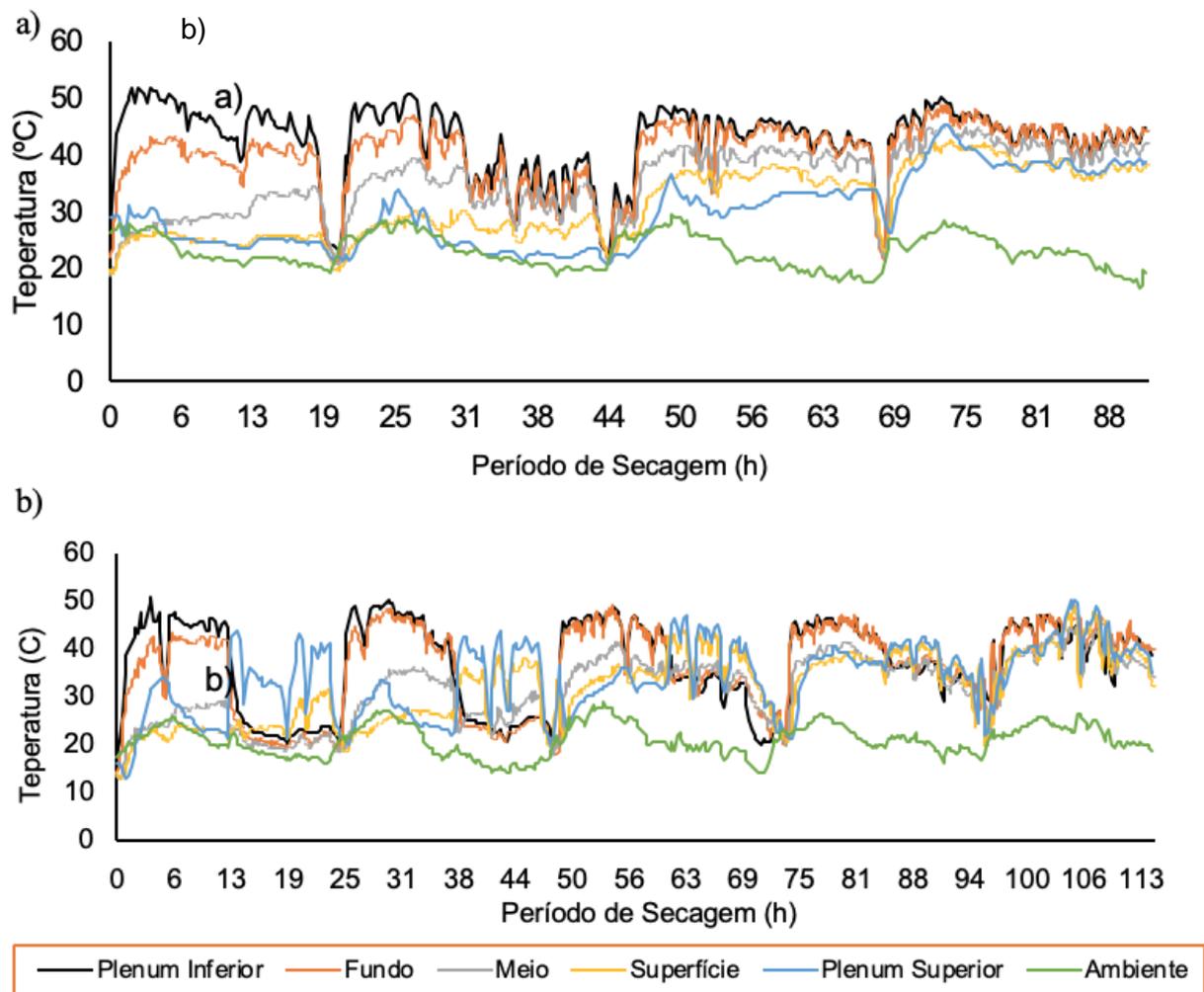
A umidade relativa do ar de exaustão e do ar de secagem ao final do processo de secagem tendem a se igualar. Entretanto, como para a secagem convencional foi encerrada quando as camadas do meio e superior ainda apresentavam elevado teor de água, há uma diferença de umidade relativa para este caso, comparado à secagem com inversão do fluxo de ar que foi retirada com teor de água médio de 11,5% (b.u.).

No início dos processos de secagem, o ar de exaustão apresenta elevada umidade relativa tendo em vista que neste período os frutos se encontram com elevado teor de água e

que a taxa de remoção de água no café é elevada (Resende et al., 2009). A umidade relativa do ar de exaustão tende a diminuir naturalmente com o tempo já que ocorre a diminuição do teor de água da matéria-prima, devido ao processo de secagem (Figura 07).

Na Figura 08 são apresentadas as curvas de temperatura obtidas experimentalmente para as secagens com e sem inversão.

**Figura 08** – Curvas das temperaturas para as secagens (a) convencional e (b) com inversão do fluxo de ar, em diferentes posições na câmara de secagem.



Fonte: Autores.

Observa-se através da Figura 08, que ao longo do processo de secagem com inversão há uma tendência em igualar as temperaturas entre as camadas. Nas primeiras 12 horas de secagem é verificado que o gradiente médio das temperaturas entre as camadas é de 16 °C, enquanto que nas últimas 12 horas, este gradiente médio não ultrapassa 4 °C.

Ademais, o gradiente de temperatura formado entre as camadas da secagem com inversão é menor que 5 °C, após 12 horas, mantendo-se inferior a esta temperatura até o final do processo de secagem. Entretanto, para a secagem sem inversão do sentido do fluxo de ar, este gradiente de temperatura torna-se inferior à 5 °C, apenas depois de 72 h.

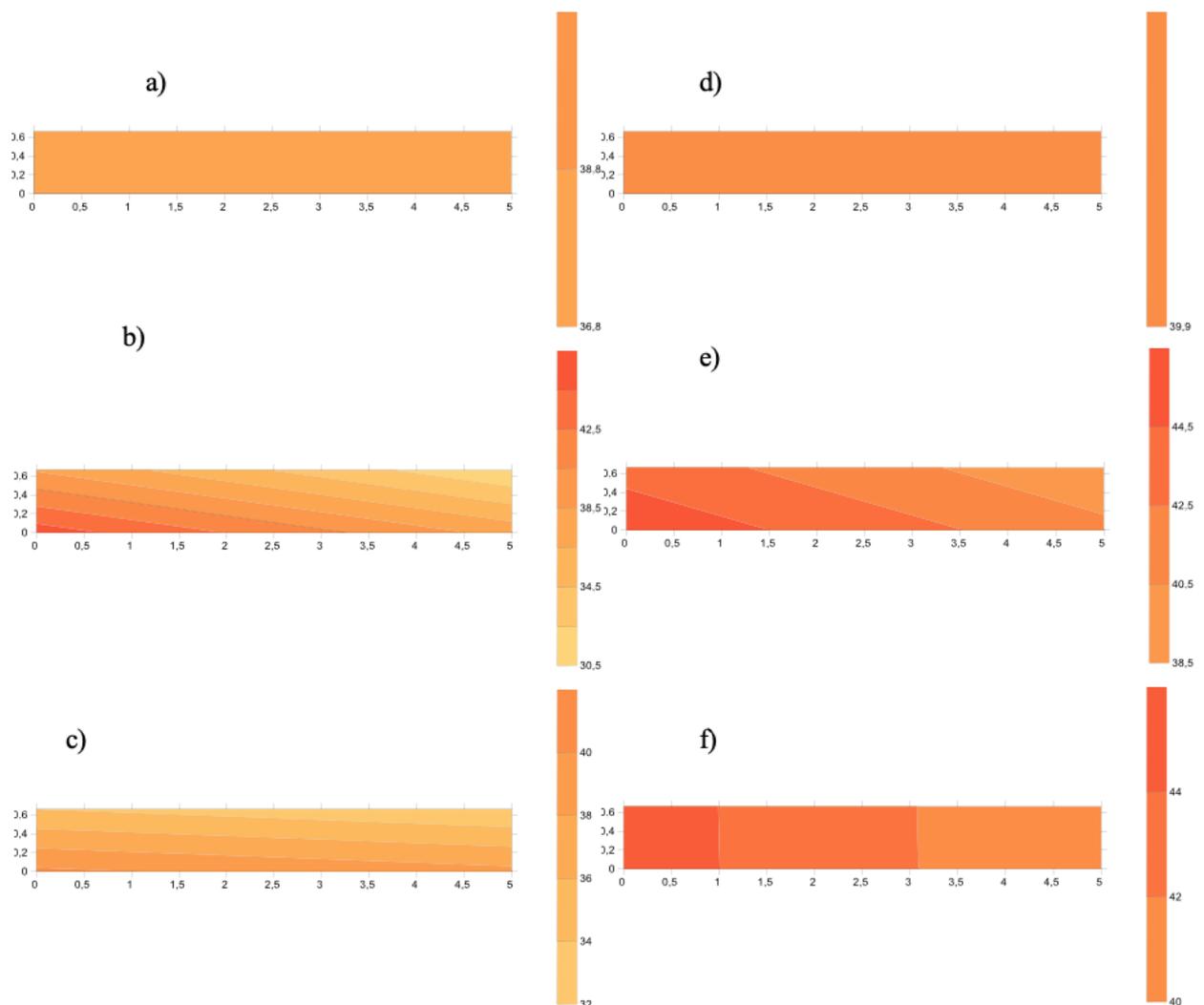
Da mesma forma como encontrado por outros autores para secagem de café natural, ao se promover a inversão do sentido do fluxo do ar de secagem a intervalos regulares de tempo, observa-se que as temperaturas na câmara de secagem apresentam comportamento cíclico, caracterizado pela alternância entre valores altos e baixos, sendo que tal comportamento não é observado na secagem convencional, sem inversão do sentido do fluxo do ar de secagem (Berbert, 1994).

Ao longo da secagem sem inversão do sentido do fluxo de ar, se observa que a camada superior alcança temperaturas superiores à 35 °C após dois dias decorridos. Enquanto que na camada inferior da câmara de secagem, o ar intergranular alcança a mesma temperatura, uma hora após o início do processo. Isto implica em temperaturas mais elevadas nas camadas inferiores por um período maior de tempo, ocasionando no gradiente de teor de água formado entre as camadas.

A temperatura da massa na câmara de secagem de café natural em secador mecânico de fluxo cruzado foi coletada por outro autor (Vieira, 1994). O autor verificou que neste secador a temperatura da massa de café leva cerca de 12 horas para atingir temperatura constante de secagem. De acordo com os resultados obtidos, a secagem com inversão do fluxo de ar na camada inferior leva três horas para atingir a temperatura ideal de secagem.

Na Figura 09 são apresentados os mapeamentos da distribuição de temperatura da secagem convencional e com inversão do fluxo de ar das seções (01, 02 e 03), no instante final de cada secagem, ou seja 96 e 114h, para as secagens convencionais e com inversão, respectivamente.

**Figura 09** – Mapeamento das temperaturas das seções 01, 02 e 03, no período de 96h após o início da secagem, para a secagem (a, b, c) convencional e no período de 114h (d, e, f) com inversão do fluxo de ar.



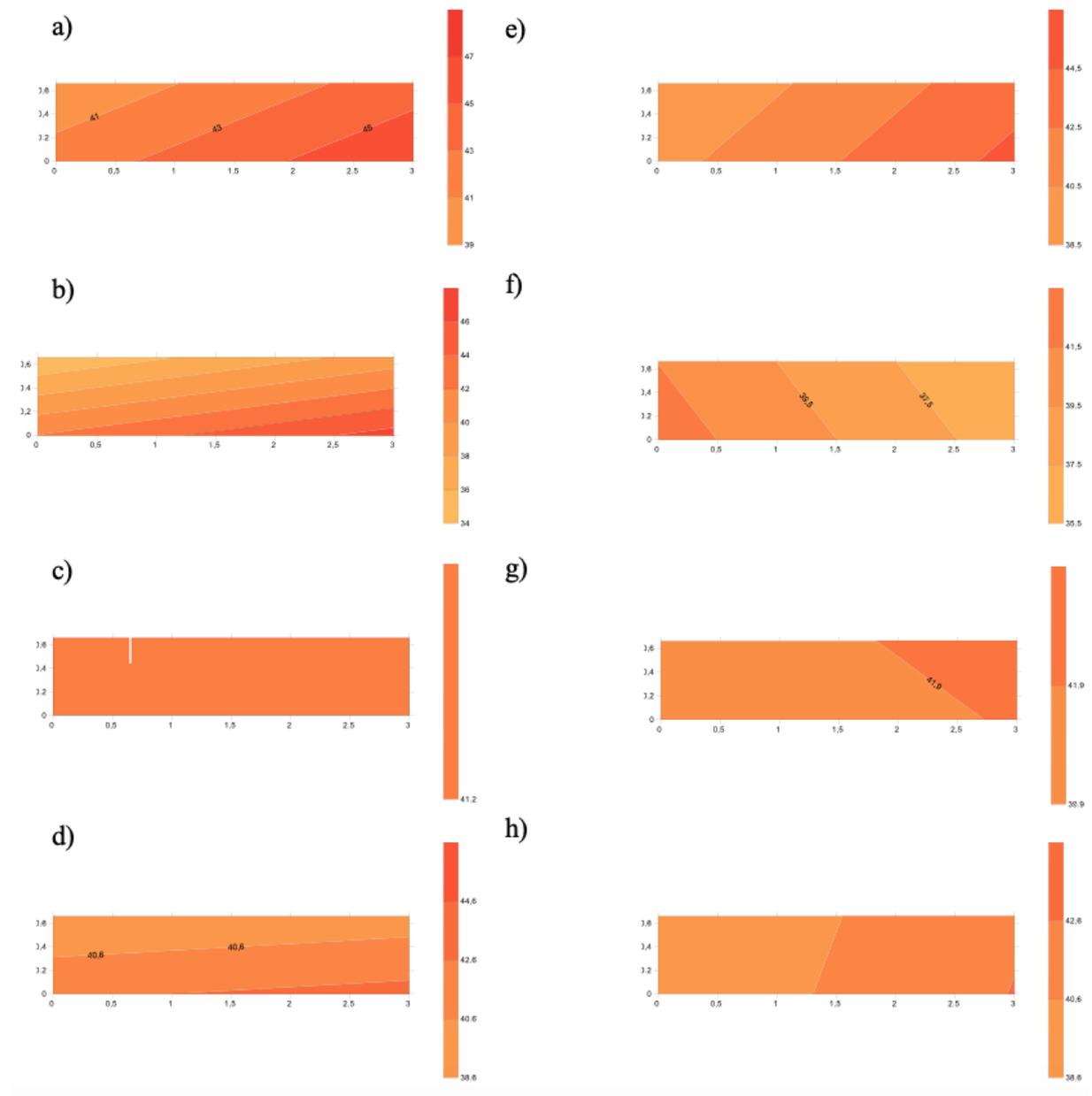
Fonte: Autores.

Na Figura 10 são apresentados mapeamentos da distribuição de temperatura da secagem convencional e da secagem com inversão do fluxo de ar em diferentes seções (04, 05, 06 e 07), nos instantes 96 e 114h, respectivamente.

A câmara de secagem possui volume de 15.000 L. Este volume está susceptível à eventuais variações de temperatura ao longo do processo de secagem. De acordo com os dados apresentados nas figuras de mapeamento, a temperatura do ar intergranular nas diferentes posições dentro da câmara de secagem no final do processo variavam entre a camada superior e inferior em 2,3 °C para a secagem com inversão e em 5,2 °C para secagem convencional. Esta diferença de temperaturas entre as camadas no final da secagem implica

que o produto nas camadas superiores fica susceptível a temperaturas menores que os das camadas inferiores.

**Figura 10** – Mapeamento das temperaturas das seções 04, 05, 06 e 07, período de 96h após o início da secagem, para a secagem (a, b, c, d) convencional e no período de 114h com inversão do fluxo de ar (e, f, g, h).



Fonte: Autores.

Outro ponto para discussão está na desestabilização das temperaturas do ar no plenum. De acordo com outros autores, tais variações ocorrem como consequência da inconsistência

de fornecimentos de lenha na fomalha, provocando picos de temperatura ao longo da secagem, nos momentos em que ocorria uma nova carga de lenha (Reinato et al., 2002). Ou seja, os picos de temperatura apresentados na Figura 08 está relacionado a temperatura da fomalha que, neste caso, aumentava devido à sua alimentação.

Por meio dos resultados apresentados se observa que as seções mais próximas da fomalha apresentavam temperaturas ligeiramente mais elevadas que as das seções mais distantes, para ambos os processos de secagem. Entretanto, esta variação de temperatura na mesma camada não incorreu em maiores diferenças de teor de água.

Além disso, pode-se observar através das Figuras 10 as quais contém os mapas de temperatura no final da secagem, que para a secagem com inversão do sentido do fluxo de ar, as seções mais próximas da fomalha (seções 04, 05 e 06) apresentavam melhor homogeneidade de temperatura do que a seção mais distante da fomalha (seção 07).

As temperaturas coletadas na massa de café no final da secagem são apresentadas nas Figura 09 e 10. Como pode-se observar nestas figuras, há diferença de temperatura no final da secagem tanto para o tratamento convencional quanto para o tratamento com a inversão do fluxo de ar. Porém, verifica-se que independente da seção analisada, os gradientes de temperatura formados entre as camadas superiores e inferiores são sempre maiores na secagem convencional do que na secagem com inversão do fluxo de ar. Isto ocorre pois apesar de ter sido encerrada a secagem, o teor de água nas camadas do meio e a superfície da secagem convencional ainda apresentavam teores de água superiores à camada do fundo. Pela Figura 09, verifica-se ainda que a zona em que apresenta maior variação é na seção do meio e mais distante da fomalha.

### ***Avaliação da cor***

A avaliação de cada atributo do Sistema CIELAB nas camadas da câmara de secagem, nas diferentes secagens, foi realizada separadamente conforme descrito a seguir. Na Tabela 02 são apresentados os valores das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para cada manejo do secador. Se observa que a média das coordenadas  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$  foi maior para a secagem com inversão do fluxo de ar do que para a secagem convencional. Entretanto, vale enfatizar que os valores foram muito próximos e para melhor compreensão, procedeu-se a análise por camadas para cada processo de secagem.

Observa-se através da Tabela 02, que houve diferença significativa para os diferentes manejos de secagem, para a altura na camada da câmara de secagem, assim como para a

interação (s x c), indicando que a variação do valor da coordenada L\* depende da interação entre o manejo de secagem e a altura na camada onde se localiza na câmara dentro do secador. Desta forma, procedeu-se o desdobramento da interação para estudar o comportamento do parâmetro L\* dentro de cada fator, conforme descrito na Tabela 02.

A coordenada L, relacionada à luminosidade dos grãos, corresponde a produtos mais ou menos claros e sua escala varia de 0 até 100, correspondendo ao preto e ao branco, respectivamente. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 02, as médias da luminosidade mais baixas foram encontradas nas camadas do meio e superior da secagem convencional. Isto se deve ao fato de que estas camadas continham um maior teor de água no momento da leitura (23,69 e 23,47 % b.u.).

De modo geral, as amostras da secagem com inversão do fluxo de ar as quais apresentaram valores médios maiores, ou seja, menor escurecimento, também apresentaram melhor uniformidade no processo de secagem.

O resumo dos resultados da análise de variância da coordenada a\* em função da camada e da secagem realizada, encontra-se na Tabela 02. Através da Tabela 02, observa-se ter havido diferença significativa para os manejos de secagem, para a altura na camada da câmara de secagem, assim como para a interação (s x t), indicando que a variação do valor da coordenada cromática a\* depende da interação entre o manejo de secagem e a altura na camada onde se localiza na câmara dentro do secador. Desta forma, procedeu-se o desdobramento da interação para estudar o comportamento de a\* dentro de cada fator, conforme descrito na Tabela 02.

Ao analisar o valor da coordenada a\*, deve-se levar em consideração que valores próximos de zero ou negativos tendem à cor verde nos grãos, enquanto que valores crescentes tendem à coloração vermelha, a qual é indesejável para os grãos de café (Corrêa et al., 2002). De acordo com as leituras realizadas da coordenada a\* por camadas, as quais são apresentadas na Tabela 02. Os valores médios desta coordenada se mantém constantes entre as camadas da secagem com inversão do fluxo de ar. Por outro lado, se observa uma tendência em aumentar seu valor de acordo com a altura da camada para a secagem convencional.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 02, os valores encontrados na coordenada cromática b\*, independentemente da camada para cada processo de secagem, foram próximos, variando entre 12,21 e 13,02. Observa-se que não houve diferença significativa tanto para o manejo de secagem quanto para a posição no secador. Desta forma, nenhum dos fatores provocou redução da coordenada cromática b, o que indicaria

distanciamento da coloração indesejável (amarelo) e maior aproximação da coloração desejável (azul).

### **Análise microbiológica**

Observou-se nas amostras analisadas a presença dos gêneros fúngicos *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp. (seção *Nigri* e seção *Circumdati*). Estes microrganismos são comumente encontrados nos frutos de café e relatados na literatura (Carvalho et al., 1989; Chalfoun et al., 2006).

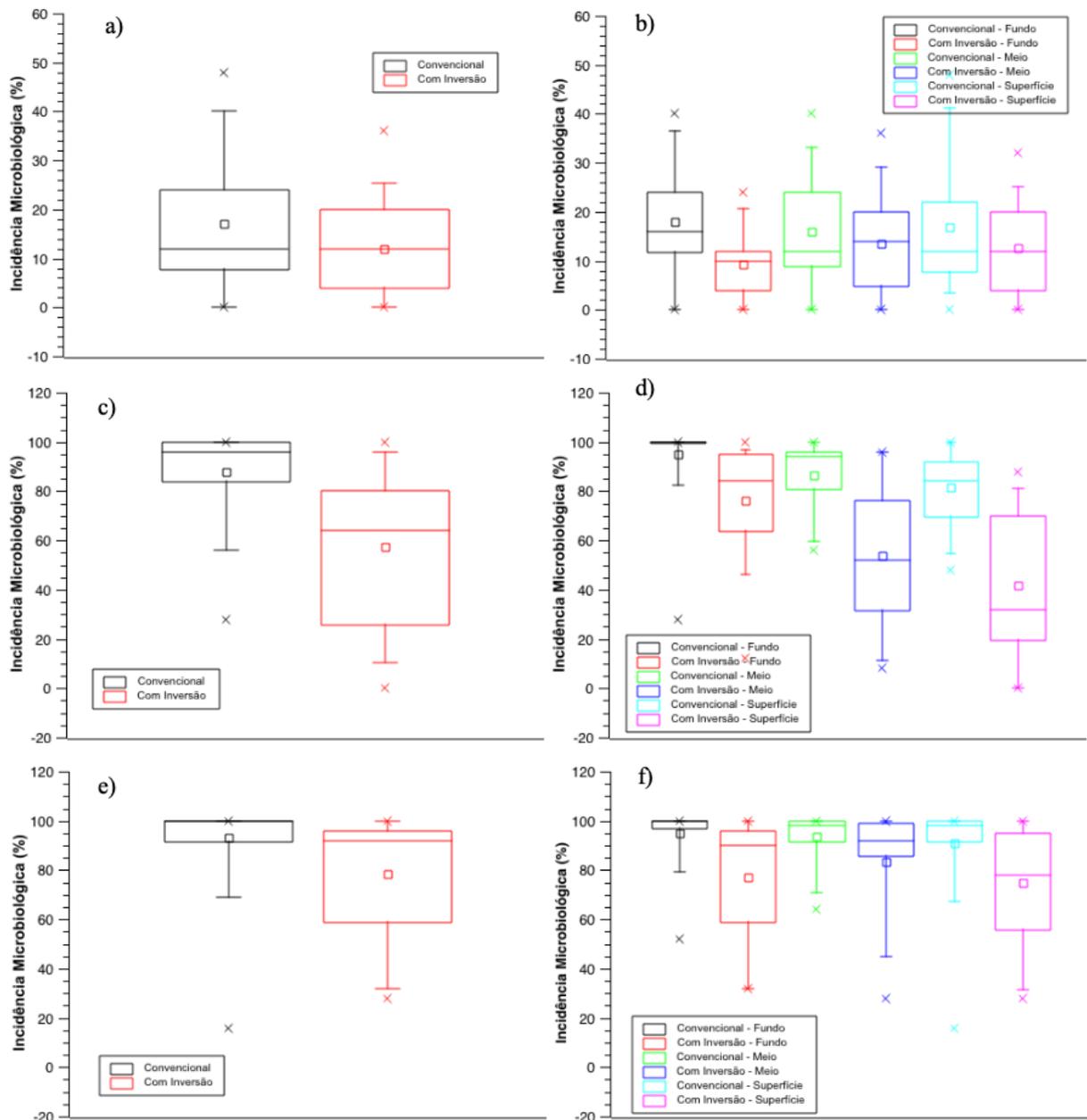
Por meio da Figura 11, se apresenta os resultados obtidos da incidência da seção *Circumdati* para as secagens com e sem inversão do sentido do fluxo do ar. Nesta figura, se verifica que a média da incidência em amostras coletadas na secagem com inversão foi de 22% e nas amostras de secagem convencional foi de 30,4%. Tendo em vista que as temperaturas do ar intergranular foram monitoradas constantemente, se observa que a camada superior na secagem com inversão do fluxo permaneceu 45% do período de secagem em temperaturas neste intervalo, enquanto as temperaturas que compreendem o mesmo intervalo, na secagem convencional, foram de 53% do período de secagem.

O gênero *Aspergillus*, em especial a seção *Circumdati*, é relatado na literatura como potencial produtor de micotoxina (Hashimoto et al., 2015; Perrone; Gallo, 2017; Taniwaki et al. 2018). A produção de ocratoxina por espécies da seção *Circumdati* foi relatada por outros autores sendo que a produção destes metabólitos secundários foi maior no intervalo de temperatura de 22 e 32 °C (Oliveira et al., 2018).

Se observa na Figura 11 a incidência da seção *Circumdati* do gênero *Aspergillus* para diferentes camadas do secador. Nela, se verifica que os valores médios da incidência de fungos da seção *Circumdati* é menor nas secagens com inversão do fluxo de ar que na secagem convencional, tanto no fundo, quanto no meio ou na superfície da massa de frutos.

No que se refere à frutos do cafeeiro, o gênero *Cladosporium* é responsável por exercer duas funções: antagonismo à outros gêneros e aceleração do processo de secagem (Pereira, 2002). Na Figura 11, são apresentadas as médias da incidência do gênero *Cladosporium* para as secagens com e sem inversão do sentido do fluxo do ar de secagem. As médias da incidência do gênero *Cladosporium* foram de  $69,9 \pm 21,4$  e de  $81,3 \pm 14,2\%$  para as secagens com e sem inversão do sentido do fluxo de ar, respectivamente.

**Figura 11** – Incidência dos gêneros (a,b) *Aspergillus*, (c,d) *Cladosporium* e (e,f) *Fusarium* observadas nos frutos de café para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Autores.

O gênero *Cladosporium* é correlatado na literatura à cafés de melhor qualidade (Chalfoun et al., 2007). Foi identificado por outros autores que cafés classificados como bebida mole possuem maior incidência deste gênero, comparado à bebidas de qualidade inferior (Alves 1996). Isto ocorre pois o gênero *Cladosporium* é antagônico ao crescimento de gêneros cujos desenvolvimentos causam malefícios à qualidade do produto. Ou seja, sem sua presença, os frutos se tornam susceptíveis ao crescimento de outros microrganismos

prejudiciais à qualidade do café (Torres et al., 2017). Ademais, este gênero é conhecido por ser um bom produtor de pectinases que degradam a mucilagem e aceleram o processo de secagem (Abdel-Sater et al., 2016).

O gênero *Fusarium* também foi amplamente encontrado nas amostras obtidas em ambos os processos de secagem, convencional ou com inversão. A incidência do gênero *Fusarium* nas amostras de secagem convencional e com inversão do fluxo de ar foram respectivamente de  $93,2 \pm 14,4\%$  e de  $78,3 \pm 23,2\%$ . Este gênero fúngico também foi isolado por outros autores (Suárez-Quiroz et al., 2004) na secagem de cafés verdes realizado em secador mecânico.

Considerando-se que os resultados relativos as condições de secagem segundo as camadas e os efeitos diretos exercidos por essas condições sobre o desenvolvimento dos microrganismos optou-se por analisar os resultados dentro dessas camadas separadamente (Figura 11).

Fungos do gênero *Cladosporium* incidem naturalmente nos frutos de café que passam de maduros nas plantas (*overripe*). Este fungo, conforme diversos autores relatam na literatura, se relaciona positivamente com cafés de bebida superior (Meirelles, 1990; Favarin et al., 2004). Apesar do tratamento com a inversão do fluxo de ar ter apresentado menor incidência deste gênero nos frutos do cafeeiro, isto não implica no fato de que o tratamento com inversão do fluxo de ar seja menos adequado para a secagem. Isto ocorreu pois este gênero requer características do meio com maior quantidade de água para seu desenvolvimento.

Observa-se pela Tabela 02 que somente a variável tipo de secagem apresentou efeito significativo sobre a porcentagem da ocorrência da Seção *Circumdati* nas amostras, não havendo influência da posição na camada do secador. Na Tabela 02 são apresentados os valores médios da ocorrência percentual dos fungos da Seção *Circumdati* e dos gêneros *Cladosporium* spp. e *Fusarium* spp. para a secagem em camada fixa de café natural com e sem inversão periódica do sentido do fluxo do ar de secagem.

#### **4. Considerações Finais**

A secagem com inversão do fluxo de ar secou os frutos de café mais uniformemente que a secagem de camada fixa convencional;

Para a secagem com inversão do fluxo de ar, a temperatura do ar intergranular na massa de frutos foi mais uniforme que na secagem convencional;

Os grãos oriundos dos frutos de café obtidos pela secagem convencional apresentaram coloração mais escura que os grãos obtidos pela secagem com inversão do fluxo de ar;

A secagem de camada fixa convencional apresentou maior média da incidência dos gêneros *Fusarium* e *Cladosporium*, bem como da espécie *Circumdati*, o que infere em menor qualidade dos grãos secados pelo método convencional.

## Referências

Abdel-Sater, M. A., Hussein, N. A., Fetyan, N. A. H., & Gad, S. M. (2016) Biodiversity of mycobiota associated with some rotted vegetables with special reference to their cellulolytic and pectinolytic abilities. *Journal of Basic Applied Mycology*, 7, 1-8.

Alves, E. (1996) *População fúngica associada ao café (Coffea arabica L.) beneficiado e às fases pré e pós-colheita: relação com a bebida e local de cultivo*. M.Sc. Thesis, Federal University of Lavras, MG/Brazil.

Andrade, E. T., Lemos, I. A., Dias, C. A., Rios, P. A., & Borém, F. M. (2019) Mathematical modelling and immediate and latent quality of natural immature coffee under different drying conditions. *Engenharia Agrícola*, 39(5), 630-638. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n5p630-638/2019.

Berbert, P. A., Queiroz, D. M., Silva, J. S., & Pinheiro Filho, J. B. (1994) Drying of coffee (*Coffea arabica* L.) in a fixed bed with a simulated periodic airflow reversal. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59(3), 195-202. DOI: 10.1006/jaer.1994.1077.

Brasil (2009) *Regra para Análises de Sementes*. MAPA/ACS: Brasília, Brasil.

Campos, A. T., Melo, E. C., & Silva, J. S. E. (1999) Projeto, construção e análise de um protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.) com sistema de revolvimento mecânico. *Engenharia na Agricultura*, 7(2), 88-105.

Carvalho, V. D., Chalfoun, S. M., & Chagas, R. (1989) Relação entre classificação de café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. *Congresso Brasileiro De Pesquisas Cafeeiras*, Maringá, Brasil.

Chalfoun S. M., Cunha, R. L., Carvalho, V. L., & Nogueira, D. A. (2007) Seletividade de fungicidas cúpricos e sistêmicos sobre o fungo *Cladosporium cladosporioides* em cafeeiro. *Summa Phytopathology*, 33(1), 93-95.

Chalfoun, S. M., & Batista, L. R. (2006) Incidência de Ocratoxina A em diferentes frações de grãos de café (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, 1, 28-35.

Conceição, J. C. P. R., Ellery Junior, R. G. D., & Conceição, P. H. Z. D. (2017) Cadeia agroindustrial do café no Brasil: Uma análise do período recente. *Radar*, 53, 25-29.

Corrêa, P. C., Afonso Júnior, P. C., Pinto, F. A. C., & Oliveira, T. T. (2002) Efeito da temperatura de secagem na cor dos grãos de café pré-processado por “via seca” e “via úmida”. *Revista Brasileira de Armazenamento*, 5, 22-27.

Favarin, J. L., Villela, A. L. G., Moraes, M. H. D., Chamma, H. M. C. P, Costa, J. D., & Dourado-Neto, D. (2004) Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetidos a diferentes manejos pós-colheita. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(2), 187-192.

Ferreira, D. F. (2014) Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2), 109-112. DOI: 10.1590/S1413-70542014000200001.

Hashimoto, R., Nakagawa, H., Onji, Y., Asano, K., Yokoyama, K., & Takahashi, H. (2015) Mycotoxin contamination of Vietnamese coffee beans caused by *Aspergillus* sections *Nigri* and *Circumdati*. *マイコトキシン*, 65(1), p. 1-6. DOI: 10.2520/myco.65.1.

Janjai, S. (2011) Experimental and simulated performances of a batch-type longan dryer with air flow reversal using biomass burner as a heat source. *Drying Technology*, 29(12), 1439-1451. DOI: 10.1080/07373937.2011.587925.

Jia, C., Wang, L., Guo W., & Liu C. (2016) Effect of swing temperature and alternating airflow on drying uniformity in deep-bed wheat drying. *Applied Thermal Engineering*, 106, 774-783. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.06.056.

Meirelles, A. M. A. (1990) *Ocorrência e controle da microflora associada aos frutos de café (Coffea arabica L.) provenientes de diferentes localidades do estado de Minas Gerais*. M.Sc. Thesis, Federal University of Lavras, MG/Brazil.

Meza, L. E. R. (2015) Adaptive capacity of small-scale coffee farmers to climate change impacts in the Soconusco region of Chiapas, Mexico. *Climate and Development*, 7(2), 100-109. DOI: 10.1080/17565529.2014.900472.

Oliveira, P. D., Biaggioni, M. A. M., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., & Damasceno, M. O. V. (2018) Quality of natural and pulped coffee as a function of temperature changes during mechanical drying. *Coffee Science*, 13(4), 415-425.

Pereira, R. T. G. (2002) *Influência de Cladosporium cladosporioides na qualidade da bebida do café*. M.Sc. Thesis, Federal University of Lavras, MG/Brazil.

Pereira, A.S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em:  
[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1). Acesso em: 26 Abril 2020.

Perrone G., Gallo, A. (2017) *Aspergillus* species and their associated mycotoxins. *Mycotoxigenic Fungi*, 33-49. DOI: 10.1007/978-1-4939-6707-0\_3.

Reinato, C. H., Borém, F. M., Cirillo, M. A., & Oliveira, E. C. (2012) Qualidade do café secado em terreiros com diferentes pavimentações e espessuras de camada. *Coffee Science*, 7(2), 223-237.

Reinato, C. H., Borém, F. M., Vilela, E. R., Carvalho, F. M., & Meireles, E. P. (2002) Consumo de energia e custo de secagem de café cereja em propriedades agrícolas do sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 6(1), 112-116. DOI: 10.1590/S1415-43662002000100020.

Resende, O., Arcanjo, R. V., Siqueira, V. C., & Rodrigues, S. (2009) Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. *Acta Scientiarum Agronomy*, 31(2), 189-196. DOI: 10.1590/S1807-86212009000200001.

Suárez-Quiroz, M., González-Rios, O., Barel, M., Guyot, B., Schorr-Galindo, S., & Guiraud, J. P. (2004) Study of ochratoxin A-producing strains in coffee processing. *International Journal of Food Science & Technology*, 39(5), 501-507. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.00810.x

Taniwaki, M. H., Pitt, J. I., & Magan, N. (2018) *Aspergillus* species and mycotoxins: occurrence and importance in major food commodities. *Current Opinion in Food Science*, 23, 38-43. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.05.008.

Torres, D. E., Rojas-Martínez, R. I., Zavaleta-Mejía, E., Guevara-Fefer, P., Márquez-Gurmán, G. J., & Pérez-Martínez, C. (2017) *Cladosporium cladosporioides* and *Cladosporium pseudocladosporioides* as potential new fungal antagonists of *Puccinia horiana* Henn., the causal agent of chrysanthemum white rust. *PloS one*, 12(1), e0170782. DOI: 10.1371/journal.pone.0170782

Tuan, T. V., Vinh, L. Q., & Xuan, N. G. (2015) Research on cassava drying, application and promotion of the reversible airflow flatbed dryers for sliced cassava. *Journal of Food Science and Engineering*, 5, 150-158. DOI: 10.17265/2159-5828/2015.03.007.

Vieira, G. (1994) *Secagem intermitente de café (Coffea arábica L.) em secadores de fluxo cruzado e em secador experimental de camada fixa*. M.Sc. Thesis, Federal University of Lavras, MG/Brazil.

Waters, D. M., Arendt, E. K., & Moroni, A. V. (2017) Overview on the mechanisms of coffee germination and fermentation and their significance for coffee and coffee beverage quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 259-274. DOI: 10.1080/10408398.2014.902804.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Filipe da Silva de Oliveira – 30%

Ednilton Tavares de Andrade – 25%

Kátia Soares Moreira – 15%

Sára Maria Chalfoun – 15%

Flávio Meira Borém – 15%