



FILIPE DA SILVA DE OLIVEIRA

**PERFIL DE TEMPERATURA E TEOR DE ÁGUA E RISCOS
MICROBIOLÓGICOS DA SECAGEM DE CAFÉ NATURAL
EM CAMADA FIXA COM E SEM INVERSÃO DO FLUXO
DE AR**

**LAVRAS – MG
2019**

FILIPE DA SILVA DE OLIVEIRA

**PERFIL DE TEMPERATURA E TEOR DE ÁGUA E RISCOS
MICROBIOLÓGICOS DA SECAGEM DE CAFÉ NATURAL EM CAMADA FIXA
COM E SEM INVERSÃO DO FLUXO DE AR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade
Orientador

Prof. Dr. Flávio Meira Borém
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

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

Oliveira, Filipe da Silva de.

Perfil de temperatura e teor de água e riscos microbiológicos da
secagem de café natural em camada fixa com e sem inversão do
fluxo de ar / Filipe da Silva de Oliveira. - 2019.

79 p. : il.

Orientador(a): Ednilton Tavares de Andrade.

Coorientador(a): Flávio Meira Borém.

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

Bibliografia.

1. Qualidade. 2. Secador caixa. 3. Camada-fixa. I. Andrade,
Ednilton Tavares de. II. Borém, Flávio Meira. III. Título.

FILIFE DA SILVA DE OLIVEIRA

**PERFIL DE TEMPERATURA E TEOR DE ÁGUA E RISCOS
MICROBIOLÓGICOS DA SECAGEM DE CAFÉ NATURAL EM CAMADA FIXA
COM E SEM INVERSÃO DO FLUXO DE AR**

**TEMPERATURE AND MOISTURE CONTENT PROFILES AND
MICROBIOLOGICAL HAZARDS OF NATURAL COFFEE DRYING IN FIXED
LAYER WITH AND WITHOUT AIR INVERSION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 08 de agosto de 2019.
Dr. Ednilton Tavares de Andrade UFLA
Dr. Flávio Meira Borém UFLA
Dra. Cláudia Mendes dos Santos UFLA

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade
Orientador

Prof. Dr. Flávio Meira Borém
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmão por existirem e sempre me apoiarem;
À minha namorada Jéssica pelo amor, pela compreensão e pelos conselhos ;
Ao professor Ednilton pela orientação e por todo apoio durante o mestrado;
Ao professor Flávio pela coorientação;
À Dr^a. Sára e à Vicentina pelo acolhimento, pelas sugestões e pelo apoio;
Ao professor Roney pelas sugestões e pela disponibilidade;
Ao professor Gonsaga pela solicitude;
Ao senhor Walter e colaboradores da fazenda pelo auxílio durante o experimento;
À Kátia pela ajuda na coleta dos dados;
Aos companheiros de laboratório;
Aos funcionários do DEA;
Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq);
À UFLA.

RESUMO

A secagem de café por meio de secadores de camada fixa tem sido amplamente utilizada por cafeicultores brasileiros. Entretanto, frequentemente se são relatados elevados gradientes de teor de água formados nestes secadores, bem como o aparecimento de microrganismos na massa de café. Tendo em vista a necessidade de uma adaptação a estes secadores convencionais, foi monitorada a secagem de café natural utilizando-se inversão do sentido do fluxo do ar de secagem periódica, de modo a minimizar estes problemas comumente encontrados. 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. A etapa experimental consistiu de análises feitas durante e após o término do processo de secagem, que iniciou com altura de um metro de camada de café (15.000 L). 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 alturas na câmara de secagem (0,12; 0,36 e 0,60 m). Dentre as avaliações do produto seco, foram realizadas: análise de cor, porcentagem de defeito preto-verde 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 que 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. Já para análise do defeito preto-verde, se observou maior incidência de defeito na camada inferior da secagem convencional que na secagem com inversão do fluxo de ar. Para a análise microbiológica, foram encontrados fungos dos gêneros *Cladosporium* e *Fusarium* e da seção *Circumdati*, 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 de secagem.

ABSTRACT

Coffee drying through fixed layer dryers has been widely used by Brazilian coffee growers. However, high water content gradients formed in these dryers are often reported, as well as the appearance of microorganisms in the coffee mass. In view of the need for adaptation to these conventional dryers, natural coffee drying was monitored using periodic drying airflow reversal to minimize these commonly encountered problems. The present work was developed in order to monitor the performance of these dryers and their effect on the quality of the final product, comparing to an adaptation made in conventional fixed layer dryers. The experimental stage consisted of analyzes made during and after the drying process, which began with one meter of coffee layer (15,000 L). 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 drying air, ambient air, and exhaust air and water content of the product at different heights in the drying chamber (0,12; 0,36 e 0,60 m). Among the dry product evaluations, color analysis, percentage of black-green defect and microbiological analysis were performed. According to the results obtained, air flow reversal drying resulted in a moisture content gradient of 0.4% (w.b.), whereas conventional drying caused a gradient of 8% (w.b.). Regarding the color of the product in the different drying managements, air flow reversion resulted in lighter products. For the black-green defect analysis, it was observed a higher incidence of defect in the lower layer of conventional drying than in drying with air flow reversal. For microbiological analysis, were found fungi of genera *Cladosporium* and *Fusarium* and section *Circumdati*, among others. The average incidence of these fungi was higher in conventional drying than in airflow reversal drying.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Grau de maturação do café e sua relação com a secagem	11
2.2	O processamento do café e sua relação com a secagem e com a incidência microbiológica.....	12
2.3	Secagem do café.....	13
2.3.1	Métodos de secagem de café.....	13
2.4	Mensuração de Cor em Café.....	16
2.5	Secador de Camada fixa para secagem de café	17
2.6	Microbiota no Processamento de café	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Descrições da matéria-prima.....	23
3.2	O secador utilizado	25
3.3	Pré-Testes.....	27
3.4	Secagem	28
3.4.1	Teor de água	28
3.4.2	Temperaturas.....	30
3.4.3	Mapeamento de temperatura e de teor de água.....	31
3.4.4	Análise microbiológica	33
3.4.5	Análise de cor.....	35
3.5	Estatística	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1	Definição do período de inversão do sentido do fluxo de ar	37
4.2	Teor de água.....	39
4.3	Temperatura e umidade relativa do ar	45
4.4	Avaliação da cor	56
4.5	Análise microbiológica.....	60
5	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS.....	70
	ANEXOS	78

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.

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. 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. Após a colheita, estes frutos podem ser processados por via úmida ou por via seca.

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.

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. 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, não existem estudos que comprovem em escala real como ocorre esse gradiente na massa de frutos de café com um metro de altura.

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 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Grau de maturação do café e sua relação com a secagem

O processo de maturação do café se inicia com o aumento da atividade respiratória e com a síntese de etileno, acompanhado do metabolismo de açúcares e ácidos, degradação da clorofila e a síntese de pigmentos responsáveis pela mudança de coloração da casca, que passa de verde à coloração vermelho cereja ou amarela, além do decrescimento de adstringências e a síntese de compostos voláteis como aldeídos, ésteres, cetonas e álcoois, que caracterizam o aroma do fruto maduro (CASTRO et al., 2005; CORRÊA et al., 2015).

O café por apresentar mais de uma floração, proporciona numa mesma planta, frutos em diferentes fases de maturação, sendo assim importante efetuar sua colheita no momento em que a maioria destes frutos se encontrarem no ponto ideal de maturação que é o estágio cereja. Freire e Miguel (1985), ao trabalharem com cafés em vários estádios de maturação, como verde granado, verde cana, cereja, passa e seco, demonstraram que a máxima qualidade do fruto se dá no estágio cereja, ponto ideal de colheita.

Assim, o café colhido precocemente com grande percentual de verde ocasiona em prejuízos no tipo e na bebida, além de ser mais sensível à temperatura durante o processo de secagem (ISQUIERDO et al., 2010; SILVA et al., 2019, ANDRADE et al., 2019).

Ao estudar a influência do estágio de maturação dos grãos de café na quantidade de defeitos, Pimenta (1995) verificou diferença significativa na classificação do café nos diferentes estádios de maturação dos frutos. Os frutos colhidos no estágio de maturação verde apresentaram um número maior de defeitos que os demais estádios de maturação estudados (verde, verde cana, cereja, seco/passa).

Os frutos verdes do cafeeiro são mais sensíveis ao processo de secagem, sendo mais acometidos por danos térmicos. Rios (2019) estudou diferentes temperaturas do ar de secagem em frutos de café verde, tendo concluído que temperaturas mais baixas inferem em menor quantidade de defeito do tipo preto-verde.

Partindo do conhecimento dos efeitos desses diferentes estádios de maturação no mesmo período na planta, devido à multiplicidade de floradas ocorridas na cafeicultura brasileira (RENA; MAESTRI, 1986), para se obter frutos verdes em quantidades elevadas faz-se necessário, para o caso de colheita mecanizada, a lavagem em lavadores hidráulicos destes frutos para que sejam separados os frutos verdes e cereja dos frutos mais secos (OLIVEROS-TASCÓN; SANZ-URIBE, 2011).

2.2 O processamento do café e sua relação com a secagem e com a incidência microbiológica

Diferentemente da maioria dos produtos agrícolas produzidos no Brasil, o café é um dos poucos que possui seu preço baseado em parâmetros qualitativos. Para obtenção de um café de boa qualidade é necessário o emprego de técnicas adequadas, desde o plantio até o beneficiamento, o que envolve diversas operações unitárias (SAES; ESCUDEIRO; DA SILVA, 2006)

Após os frutos terem sido colhidos do cafeeiro, eles são processados. Este processamento pode ser realizado de duas formas, por via seca e por via úmida. Na forma de preparo por via seca, o fruto é seco na sua forma integral (com casca), enquanto que na forma de preparo por via úmida, o café é despulpado ou descascado.

A maioria do café produzido no Brasil é processado por via seca. Os frutos podem ser secados diretamente da forma que veio da lavoura, denominado café da roça ou, então, pode passar por uma operação de pré-limpeza, por exaustão, abanação e peneiramento para a retirada de folhas, paus, torrões e pedras, antes de se começar o processo de secagem.

Ademais, pode optar-se pela operação de lavagem em separadores hidráulicos, o que separa os materiais presentes pelas suas densidades. Ou seja, além de retirar possíveis impurezas não retiradas completamente na processo de pré-limpeza, separa também o café boia, que tem menor densidade em relação à água, das fases de maturação verde/cereja, de maior densidade (BORÉM, 2008).

Desta forma, considera-se como café natural se, neste ponto do processamento, ele seguir para a secagem em terreiro ou em secador mecânico até a secagem utilizada para armazenamento e comercialização.

As operações unitárias que ocorrem na pós-colheita do café interferem diretamente na qualidade do produto. Pimenta, Vilela e Carvalho (1999), analisaram

a incidência microbiológica nos frutos e grãos do café em diferentes tempos à espera de secagem, após a colheita. Os autores armazenaram amostras de frutos de café em sacos de polietileno em temperatura ambiente ao longo de sete dias, em seguida, secaram as amostras em terreiro sob o mesmo tratamento. Os autores verificaram que os gêneros *Fusarium* e *Aspergillus* aumentaram sua infecção de forma gradativa ao longo do tempo de espera.

Reinato et al. (2007) verificaram os aspectos sanitários do café submetidos a diferentes processamentos. Foram testados quatro tipos de café (roça, cereja, boia e cereja descascado), três tipos de terreiros e duas espessuras de camadas da secagem. Os autores concluíram que a secagem do café cereja em camada grossa independente do tipo de terreiro, proporcionou ocorrência de fungos da seção *Nigri*, *Circumdati* e *Eurotium*.

2.3 Secagem do café

Para que se obtenha café de boa qualidade, uma das fases em que se merece cuidado é a secagem, pois se esta for mal executada irá depreciar de forma significativa o produto obtido. Assim, a secagem de café é conduzida por secagem natural, em terreiros ou em secadores mecânicos.

Ao comparar o café com outros grãos, observa-se que o teor de água inicial no processo de secagem é maior, o que dificulta o processo devido à facilidade de deterioração (ARAÚJO et al., 2017; SIQUEIRA et al., 2017).

De acordo com o Donzeles et al. (2008), os seguintes pontos devem ser observados para a secagem de café, independente do processo de secagem: evitar fermentação indesejável, evitar excesso de temperatura, secar os grãos no menor tempo possível até 18-20% de teor de água e procurar obter um produto uniforme quanto a cor após o benefício.

2.3.1 Métodos de secagem de café

De acordo com Reis, Cunha e Carvalho (2011), os métodos de secagem de produtos agrícolas são: secagem natural, secagem em terreiros e secagem com altas temperaturas.

A secagem natural é aquela que ocorre de forma natural quando o produto atinge seu ponto de maturação fisiológica, mas ainda está na planta, sendo que o

aquecimento se dá a partir da incidência direta da radiação solar e da movimentação do ar, pela ação natural do vento.

A secagem em terreiros é aquela em que ocorre quando o produto já foi retirado da planta e se dá quando o produto úmido é exposto ao sol em superfícies planas podendo ser revolvido manualmente. Há na literatura diversos tipos de terreiros utilizados na secagem de produtos agrícolas, como terreiros de terra, terreiros de concreto, terreiros de lama asfáltica, terreiros suspensos, estufas e outros (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2007).

A secagem em terreiro é o método mais utilizado no Brasil para secagem de café. Porém este método além de estar sujeito a perdas pela ação de agentes biológicos e condições meteorológicas adversas, requer tempo de secagem maior que o requerido pela secagem por secadores mecânicos. Este tempo torna-se de extrema importância para acompanhar a colheita e evitar a deterioração do produto úmido (PIMENTA; VILELA, 2005).

Ademais, diversos fatores podem ocasionar em diferenças significativas na qualidade do café secado em terreiro, como por exemplo: o tipo de terreiro (de terra; de concreto; de lama asfáltica); a espessura da camada e o processamento da matéria-prima. Assim, diversos autores buscam estudar como ocorre a variação da qualidade do café secados em terreiros, como apresentado a seguir.

Borém et al. (2008) verificaram a qualidade do café natural e despulpado comparando a secagem em terreiro com a secagem à altas temperaturas (40 °C e 60 °C). Os autores puderam concluir que o tempo para a secagem é afetado pelos diferentes tipos de processamento, sendo que a temperatura de 60 °C influenciou negativamente a qualidade do café, comparado à secagem em terreiro.

Araújo e Franco Júnior (2017) estudaram a influência dos diferentes tipos de terreiro para a secagem de café na qualidade da bebida nos processos de via seca e via úmida. Os tipos de terreiros avaliados pelos autores foram terreiro de concreto, terreiro de pano de polietileno e terreiro de terra. Foi verificado que as notas da análise sensorial para terreiro de terra se diferiram significativamente tanto para os cafés naturais quanto para os desmucilados.

Reinato et al. (2012) estudou diferentes espessuras de camadas para secagem de café em terreiros de lama asfáltica, de concreto e de terra. Foi concluído pelo autor que os cafés submetidos a espessuras de camada grossa diferenciam-se dos cafés secados em camada fina, sendo que a condução de camada grossa durante a

secagem foi um dos principais fatores para a perda da qualidade do café. Além disso, observou que cafés descascados secados em camada fina em terreiro de lama asfáltica e de concreto não se diferem de modo significativo sensorialmente.

Além disso, utiliza-se amplamente a secagem com altas temperaturas. Considera-se secagem com altas temperaturas os métodos de secagem que empregam ar forçado com temperatura superior a 10 °C em relação à do ambiente, sendo que neste método são empregados temperaturas e fluxos de ar elevados, resultando em menor tempo de secagem (SILVA et al., 2011).

Este método de secagem pode ser realizado em diversos tipos de secadores, como por exemplo, secadores horizontais (SILVA et al., 2014; FIROUZI; ALIZADEH; HAGHTALAB, 2016), secadores verticais (SMITH, 2015; LI; CAO; MENG, 2017). e secadores de camada fixa (CORADI; LEMES, 2018; SILVA; SOUZA; BARROZO, 2018).

Considerando os diferentes tipos de secadores mecânicos de café, há relatado na literatura que diversos autores estudam a qualidade do café secado e a eficiência dos secadores, conforme variação de parâmetros como a temperatura e o fluxo do ar de secagem e o processamento da matéria-prima.

Alves et al. (2017) avaliaram a correlação entre um grupo de variáveis fisiológicas e um grupo de variáveis de cinética de secagem em camada fixa em função do tipo de processamento da matéria-prima, da temperatura e do fluxo do ar de secagem. Foi observado que o café via seca é mais sensível à secagem mecânica com ar aquecido do que o processado via úmida; o fluxo do ar de secagem não interfere na qualidade fisiológica tanto do café despulpado quanto do natural; e a elevação da temperatura de 40 para 45 °C resultou em queda da qualidade fisiológica apenas para o café despulpado.

Oliveira et al. (2018) compararam a qualidade de cafés secados em terreiros e em secadores mecânicos para café natural e despulpado. Foi verificado pelos autores que para a secagem de café natural tanto em terreiro quanto em secador mecânico na temperatura de 35 inicial e 40 °C final não houve diferença, porém o tempo de secagem total dobrou para a secagem em terreiro.

Assim, pode-se observar que a secagem artificial em altas temperaturas, se bem empregada não apresenta diferença sensorial significativa quando comparado a secagem em terreiros. Além disso, diminui consideravelmente o tempo de secagem além de proporcionar uma seca com coloração dos grãos uniformes.

2.4 Mensuração da Cor em Café

A mensuração da cor e aparência dos produtos agrícolas é empregada de forma a auxiliar, conjuntamente a outras análises, na identificação da qualidade de produtos agrícolas (4, 5). Esta quantificação da cor pode ser feita através da colorimetria, que é a ciência usada para quantificar e descrever numericamente as percepções humanas da cor e especificar pequenas diferenças de cor que um observador pode perceber (WYSZECKI, 1982).

A descrição da cor pode ser realizada por diferentes métodos que vão desde uma simples comparação visual, conforme utilizado na Sistema Oficial Brasileira de Classificação do Café (COB) à utilização de sofisticados instrumentos como colorímetros e espectrofotômetros (MACDOUGALL, 2002).

Por um consenso geral, as especificações de padrões de observação para uso em colorimetria são providas pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação). Atualmente a CIE recomenda a utilização do Espaço de Cor CIE $L^* a^* b^*$ de 1976 (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981). Nesse sistema são usados três parâmetros para a descrição da cor: L^* , a^* e b^* . O parâmetro a^* varia entre o verde ($- a^*$) e o vermelho ($+ a^*$), o parâmetro b^* varia entre o azul ($- b^*$) e o amarelo ($+ b^*$), enquanto que a coordenada L^* que é a luminosidade, varia entre 0 (preto) e 100 (branco).

No que se refere à grãos de café, a mensuração da cor pode inferir consideravelmente acerca da sua qualidade. Alterações na cor do grãos de café como: grãos esbranquiçados, manchados, escuros ou de coloração desuniforme são indícios da ocorrência de qualidade inferior (DELIZA et al., 2005; MORAIS et al., 2007).

A presença de água nos grãos de café incorre em diminuídos valores do parâmetro L^* , o que indica grãos mais escuros. Ademais, a coloração ideal para comercialização é a verde-azulada, o que é caracterizado por valores das coordenadas cromáticas a e b reduzidas e que se distancia da coloração indesejável vermelho-amarelo (CORRÊA et al., 2002).

Um dos processos pós-colheita que mais interferem na variação da cor dos grãos é a secagem. Este processo quando conduzido inadequadamente ocasiona na formação de grãos preto-verde ou manchados (AMEYU, 2017; MESQUITA, 2016).

2.5 Secador de Camada fixa para secagem de café

A secagem em camada fixa é comumente utilizada para secagem de produtos agrícolas em todo o mundo. De acordo com Brooker, Bakker-Arkema e Hall (1992), no secador de camada fixa, o ar de secagem movimentava-se da camada inferior para a superfície da massa de grãos. A troca de umidade entre o ar e o grão ocorre numa região denominada zona de secagem.

Durante a secagem, os grãos não ficam dispostos às mesmas condições de secagem, com temperaturas e umidades relativas do ar diferentes ao longo da camada de produto (DAS; CHAKRAVERTY, 2003), implicando na formação de gradientes de teores de água ao final do processo de secagem nas diferentes alturas da camada. Ibrahim et al. (2013) verificaram para a secagem de arroz com altura da camada de 0,92 m, que após o processo de secagem a camada inferior e camada superior tinham um gradiente de 4,7% b.u..

Souza et al. (2015) analisaram a transferência de calor e massa para a secagem de grãos de soja em secador de camada fixa, já que presume-se que há heterogeneidade do processo ao longo da camada em função das características de secagem. Os autores verificaram que, de fato, houve desuniformidade do teor de água do produto ao longo da profundidade na camada. Como descrito por eles, ao secar as sementes, a frente de secagem se move ao longo da cama de produto, assim, aqueles próximos a entrada do ar de secagem se aquecem mais rápido do que aqueles nas camadas superiores, formando um gradiente de teor de água ao longo da camada.

De modo a reduzir o gradiente de teor de água formado ao longo da profundidade na massa de produto, foram desenvolvidos métodos como o revolvimento da massa e a inversão do sentido do fluxo do ar de secagem.

Um secador protótipo de camada fixa com revolvimento da matéria-prima, foi construído por Campos (1998) e testado por Grandi (1999). Foi estudado diferentes períodos de revolvimento da massa de grãos (2, 3, 4, 5 e 6 h) sendo que o tratamento em que foi apresentado o menor gradiente de teor de água foi o revolvimento a cada duas horas.

Greco, Campos e Klosowski (2010) estudaram a eficiência energética na secagem de café em camada fixa, empregando-se diferentes combinações de tempo de revolvimento. Os autores utilizaram temperatura do ar de secagem de 75 °C, tendo observado que a eficiência energética média entre os tratamentos foi de

12,3 MJ kg⁻¹, não havendo diferença significativa. Entretanto recomenda-se, para este modelo, revolvimento da massa a cada três horas.

A inversão do sentido do fluxo do ar de secagem visando diminuir este gradiente ocorre através da passagem de ar pela massa de produto no sentido ascendente. Em seguida, o sentido do ar é invertido, passando pela massa no sentido descendente. Neste método, o caminhamento da frente de secagem se dá a partir do plenum e avança no sentido ascendente pela massa de produto. Porém, a mudança no sentido do fluxo de ar implica no caminhamento de uma outra frente de secagem no sentido oposto.

Assim, com o caminhamento de duas frentes de secagem formadas, em sentidos opostos, se minimiza o gradiente de teor de água formado na massa (LÓPEZ et al., 2008), olho de dragão (TIPPAYAWONG et al., 2008), trigo (JIA et al., 2016) e arroz (TADO et al., 2015; HUNG et al., 2018). Esta adaptação na secagem de camada fixa de café evita super secagem na base da câmara de secagem e também pouca secagem na superfície da massa.

Jia et al. (2016) estudaram a variação do teor de água de grãos de trigo variando o sentido do fluxo de ar ao longo do processo de secagem em camada espessa (0,6 m). Os autores observaram aumento da uniformidade do teor de água nas camadas de forma significativa quando usada a alternância do sentido do fluxo do ar de secagem.

Ibrahim et al. (2013) compararam a variação do teor de água em secagem de camada fixa convencional com a secagem de camada fixa com inversão do sentido do fluxo do ar de secagem. Os autores secaram arroz em camada de um metro de altura, verificando que o gradiente de teor de água formado entre a camada superior e inferior dos grãos foi de 4,7 e 1,2% b.u. para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar, respectivamente.

Em busca do entendimento do melhor manejo para a secagem de produtos agrícolas em camada fixa com inversão do sentido do fluxo de ar, diversos autores têm estudado fatores como fluxo do ar de secagem, temperatura e período de inversão do sentido do fluxo do ar de secagem com o intuito de obter o produto final mais homogêneo e com melhor qualidade.

Neste contexto, Davila, Chen e Welch (1983) estudaram o efeito da variação dos parâmetros de secagem no teor de água final dos grãos nas diferentes profundidades de camada de arroz. Ao testar diferentes temperaturas do ar de

secagem, os autores puderam verificar que quanto menor fosse essa temperatura, menor era o coeficiente de variação do teor de água final do produto. Além disso, evidenciaram que quanto maior a temperatura maior deve ser o fluxo do ar de secagem para manter o teor de água final do produto homogêneo.

Sabbah e outros colaborados (1979) investigaram a variação do fluxo do ar de secagem em secagem de camada fixa com inversão do sentido do fluxo para a secagem de soja. Foi verificado que para a mesma temperatura há diminuição da porcentagem de germinação com a diminuição do fluxo do ar de secagem, tanto para a secagem de camada fixa com inversão quanto para a secagem sem inversão.

Com o intuito de se estudar a inversão do sentido do fluxo do ar de secagem em frutos e grãos de café, foram construídos secadores protótipos que fazem esta inversão.

Oliveros-Tascón e Pinheiro-Filho (1985) estudaram a secagem de café natural em camada fixa de 0,40 m com e sem inversão do sentido do fluxo do ar de secagem, em um secador protótipo. Para tanto, os autores testaram diferentes fluxos de ar, temperaturas (50 e 60 °C) e períodos de inversão (7, 9 e 12 h). Puderam verificar que dentre as temperaturas do ar de secagem utilizadas, quanto menor ela fosse, maior poderia ser o intervalo entre as inversões do sentido do fluxo de ar. Para tais análises, os autores realizaram a modelagem matemática em camadas espessas, conforme Thompson (1968).

Berbert et al. (1994) compararam a secagem de café em camada fixa convencional com a secagem com inversões periódicas do sentido do fluxo do ar de secagem. Os autores aplicaram diferentes períodos de inversão (3 e 6 horas) e temperaturas do ar de secagem (50 e 70 °C) na uniformidade do teor de água final obtido por cada secagem. Foi verificado que com o aumento da temperatura, o gradiente de teor de água formado entre as camadas diminuía e que para a secagem de 50 °C, tanto a secagem com inversão do sentido do fluxo do ar de secagem a cada três horas quanto à cada seis horas, obtinham resultados satisfatórios quanto a homogeneidade do teor de água do produto final.

Campos (1998) comparou a secagem com e sem revolvimento da massa de café despulpado, tendo sido pré-secado em terreiro, para um secador protótipo construído por ele. Foi verificado que a secagem sem inversão do sentido do fluxo houve um gradiente de teor de água formado de 2,2% b.u. enquanto que a secagem

com inversão periódica este gradiente foi de 0,7% b.u, ao longo de uma camada de 1,0 m.

Porém, um problema que comumente ocorre em secagem de café em secador comercial de camada fixa é o crescimento de fungos saprófitos, que pode acometer a qualidade do produto a ser secado.

2.6 Microbiota no Processamento de café

Tendo em vista que a qualidade do café é determinada comercialmente por características físicas, sensoriais e de segurança dos grãos e da bebida, o desenvolvimento microbiológico nos grãos de café pode comprometer tanto seu aspecto visual quanto gosto e aroma (CARVALHO, CHAGAS, SOUZA, 1997).

Segundo Scussel (2002), os fungos podem contaminar e se desenvolver nos grãos no campo, durante a colheita e na armazenagem. Os fatores que favorecem esse desenvolvimento são classificados em três categorias: físicos, químicos e biológicos. Estes fatores estão relacionados com as condições do próprio produto e com as do ambiente que o envolve. Os fatores mais importantes dentre eles são: teor de água do produto, umidade relativa e temperatura do ar, gênero do fungo contaminante e competição microbiana.

O fruto do cafeeiro, principalmente quando maduro, é constituído por compostos que são excelentes meios de cultura para o crescimento de bactérias, fungos filamentosos e leveduras (AMORIM; SILVA, 1968). É sabido que a qualidade da bebida do café está associada a diversos fatores, dentre eles, a composição química do grão e os processos de pós-colheita (CARVALHO; CHALFOUN, 1985).

O crescimento fúngico e a formação de micotoxinas dependem do efeito de variáveis como pH, atividade de água, temperatura, atmosfera, umidade relativa, composição e tempo. Porém os dois fatores que mais influenciam no crescimento e na esporulação são a atividade de água e a temperatura (PASSAMANI et al., 2014).

Um dos primeiros casos na literatura sobre a influência de microrganismos na qualidade da bebida do café foi realizado por Camargo (1936) que concluiu que o gosto ruim do café estava associado à população microbiana durante o período de secagem. Partindo do princípio que os fungos são responsáveis pela origem dos cafés duros, Krug (1940) analisou sementes de café obtidas a partir de café cereja, seco no

pé e seco no chão. O autor encontrou ocorrências de 0, 15 e 21% para o café cereja, seco no pé e seco no chão.

Além disso, há relatos na literatura que relacionam o tipo de colheita com a população fúngica (LACERDA et al., 1985; TEIXEIRA, 1995) sugerindo que o café de varrição deva ser separado do café de derriça no pano, pois este geralmente apresenta uma pior qualidade devido à grande possibilidade de ocorrer fermentações indesejáveis.

Durante a secagem em terreiros, a qualidade final do produto é fortemente influenciada pelas condições atmosféricas (LACERDA et al., 1985). Dependendo destas condições pode haver colonização por grupos de microrganismos que utilizam os frutos como substrato para seu desenvolvimento (CARVALHO; CHALFOUN; CHAGAS, 1989).

O manejo do café nos terreiros e suas diferentes pavimentações também influenciam na ocorrência microbiológica dos do café (TSEGAYE et al., 2014). Reinato (2006) avaliou a ocorrência de fungos em cafés bóia, cereja, roça e cereja descascado submetidos à secagem natural em terreiros com três diferentes pavimentações e duas distintas camadas de secagem. Foi constatado pelo autor que a secagem em terreiros conduzida em camada grossa proporciona menor ocorrência de fungos do gênero *Cladosporium* e maior ocorrência de fungos do gênero *Fusarium*, *Eurotium* e *Aspergillus*.

Há na literatura uma gama de gêneros fúngicos relatados na massa de café após o processo de secagem, dentre eles, *Alternaria* (SILVA et al., 2000), *Aspergillus* (CULLIAO; BARCELO, 2015; DJOSSOU et al., 2015), *Cladosporium* (PIMENTA; VILELA, 2003), *Colletotrichum* (SCHMIDT et al., 2010), *Fusarium* (NASSANIT; SATAYAWUT, 2015), *Penicillium* (URBANO et al., 2001) Dentre os gêneros acima citados, em diferentes locais do planeta se observou a presença de *Aspergillus*, *Cladosporium* e *Fusarium* em cafés secos.

Dentre os gêneros fúngicos conhecidos, o *Aspergillus* é um dos mais antigos, tendo sido identificado por Micheli em 1729 (BENNET, 2010). No ecossistema, este gênero está presente em diversos substratos convivendo em consórcio com organismos de diferentes reinos (SHAW, 1992).

No café, Iamanaka e outros colaboradores (2014) verificaram que amostras que continham maior quantidade de fungos do gênero *Aspergillus* receberam atributos negativos na análise sensorial da bebida.

O gênero *Cladosporium* também se desenvolve naturalmente nos frutos do cafeeiro. Há relatos na literatura que relacionam este gênero positivamente com a qualidade do café (PEREIRA, 2002; CHALFOUN et al., 2007).

O gênero *Fusarium*, por sua vez, está relacionado com café de qualidade inferior. Carvalho e outros colaboradores (1989) estudaram a relação entre fungos e características sensoriais na bebida do café tendo encontrado que café de qualidade superior apresenta maior infecção de fungos do gênero *Fusarium* e que bebidas de qualidade superior apresentavam menor quantidade deste fungo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

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.

3.1 Descrições da matéria-prima

As etapas de colheita e pós-colheita acompanharam o fluxo normal de trabalho da Fazenda Nossa Senhora Aparecida, que forneceu todo o café necessário para a realização desta dissertação. Os frutos do cafeeiro utilizados foram da espécie *Coffea arabica* L., do cultivar Catuaí 99 (TABELA 01).

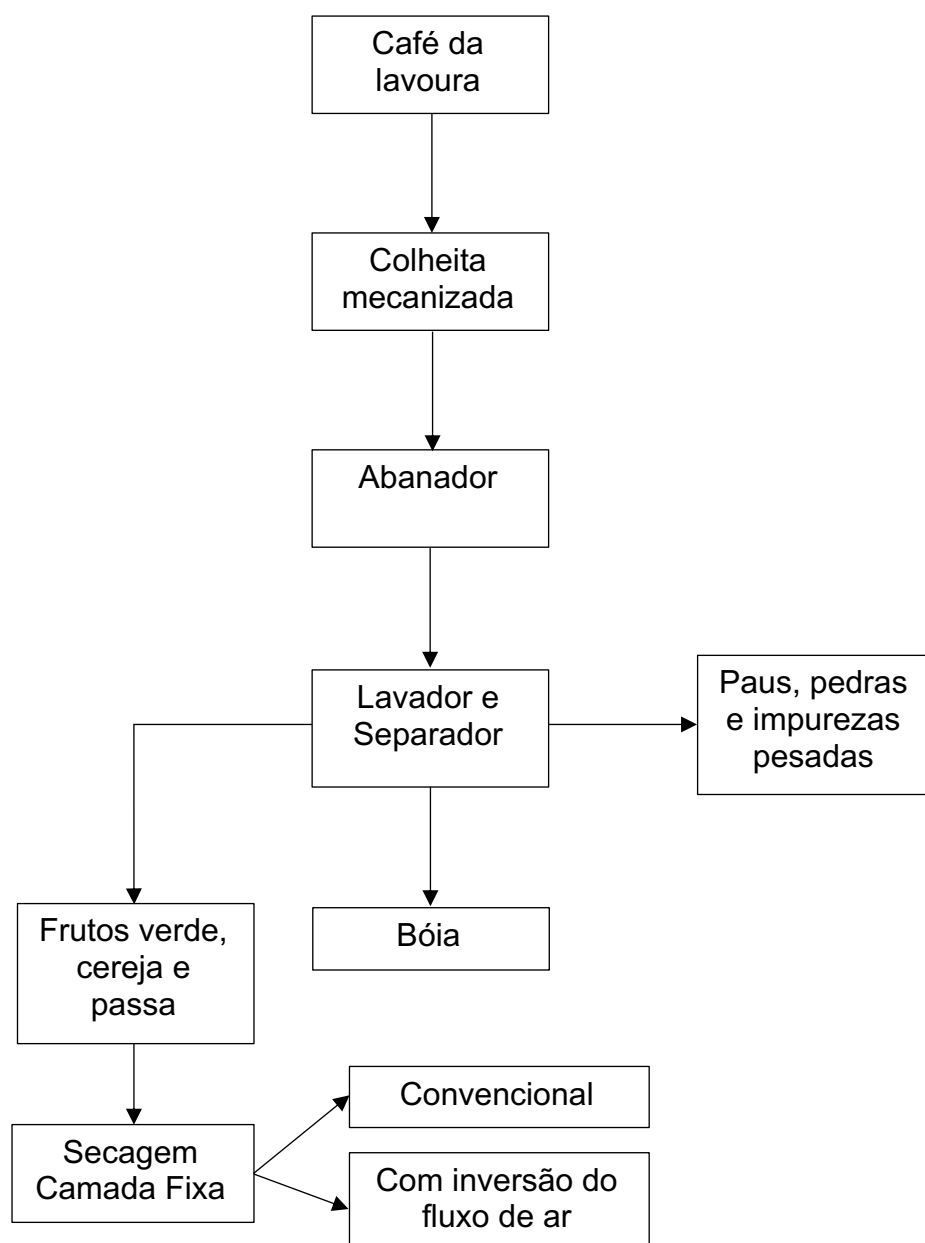
Tabela 01 – Grau de maturação e variedade dos frutos utilizados para cada secagem.

Secagem	Variedade	Grau de Maturação (%)				
		Verde	Verde Cana	Cereja	Passa	Bóia
Com Inversão	Catuaí 99	65	10	20	4	1
Sem Inversão	Catuaí 99	50	5	20	23	2

Fonte: Do autor (2019).

Os frutos foram colhidos com o uso de colhedora mecânica. Em seguida, foram levados ao abanador, ao lavador e separador. Assim, pôde-se retirar paus, pedras, impurezas pesadas e frutos bóia. Os frutos verde, cereja e passa foram encaminhados para os processos de secagem em secador mecânico de camada fixa convencional e com inversão periódica do fluxo do ar de secagem, conforme descrito na Figura 01.

Figura 01 – Fluxo do processamento e secagem dos frutos de café utilizados no experimento.

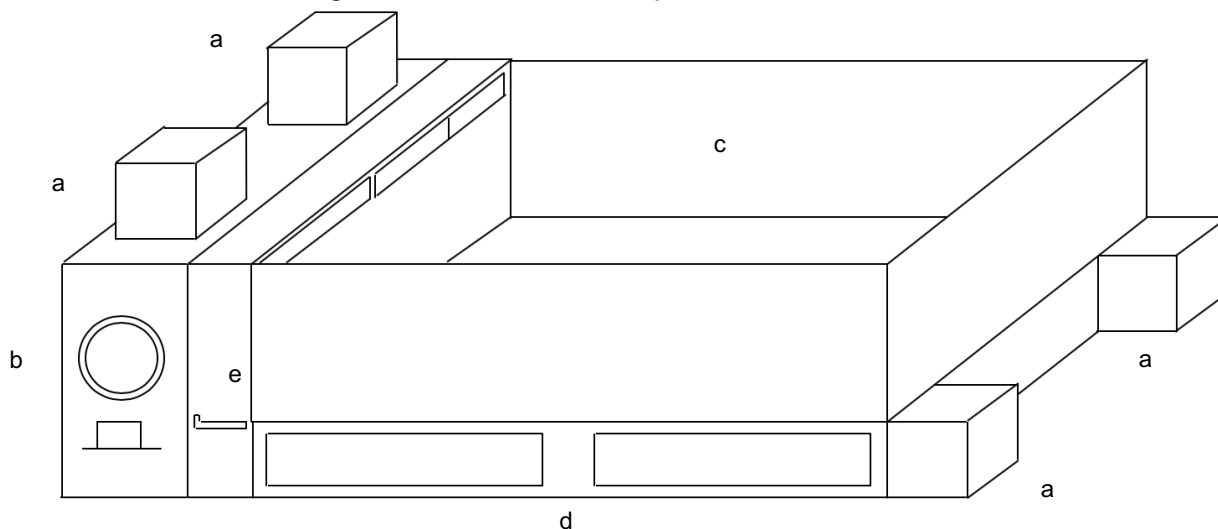


Fonte: Do autor (2019).

3.2 O secador utilizado

O secador foi construído em chapas de aço, tendo duas câmaras de secagem, o qual é apresentado na Figura 02.

Figura 02 – Desenho esquemático do secador.



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

Fonte: Do autor (2019).

Basicamente, o secador é constituído pelas seguintes partes:

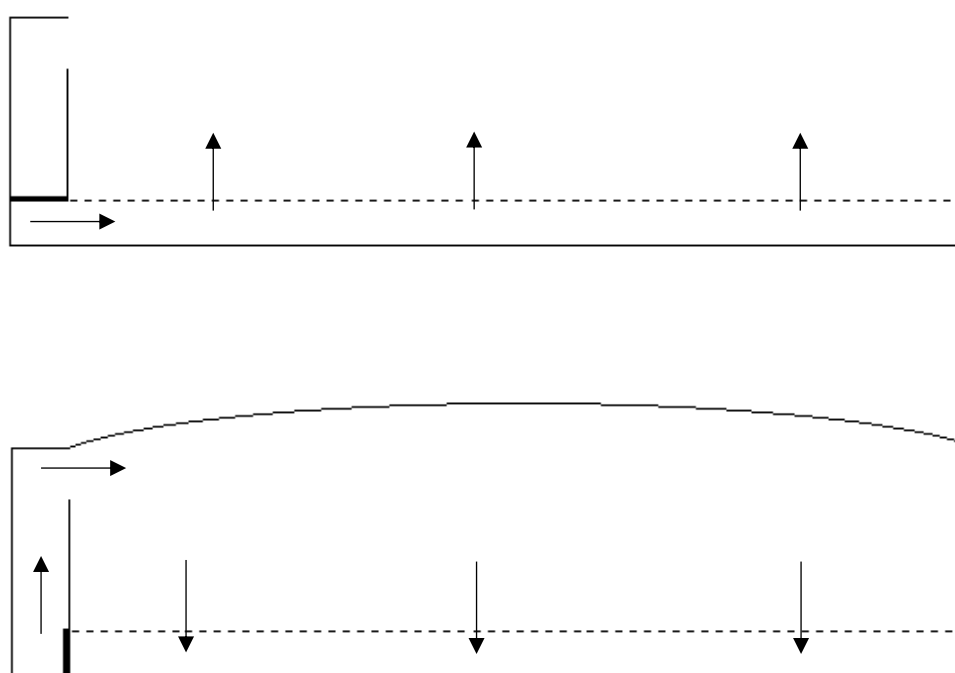
A – Ventiladores – possui um total de quatro ventiladores, sendo dois acima da fornalha e mais dois para cada câmara de secagem. Cada ventilador possui potência de 3 cv e rotação de 1720 rpm.

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 – possui duas câmaras, construídas com chapas metálicas, sendo que o ar de secagem pode ser direcionado apenas para uma câmara por vez. Durante todo o experimento foi utilizada apenas uma das câmaras. Possui piso perfurado com perfuração oblonga de 37% e área de 15 m² (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 m³.

D – Câmara “plenum” – possui dois plenums para cada 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 m³. 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 03.

Figura 03 – Ilustração do plenum trabalhando em sentido (a) ascendente e (b) descendente.



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.

3.3 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 ± 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 PT01, enquanto que a secagem conduzida com inversão do fluxo de ar no sentido ascendente por 18 h dia⁻¹ e descendente por 6 h dia⁻¹ (TABELA 02).

Tabela 02 – Descrição dos tratamentos realizados.

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

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.

3.4 Secagem

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 m³. 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.

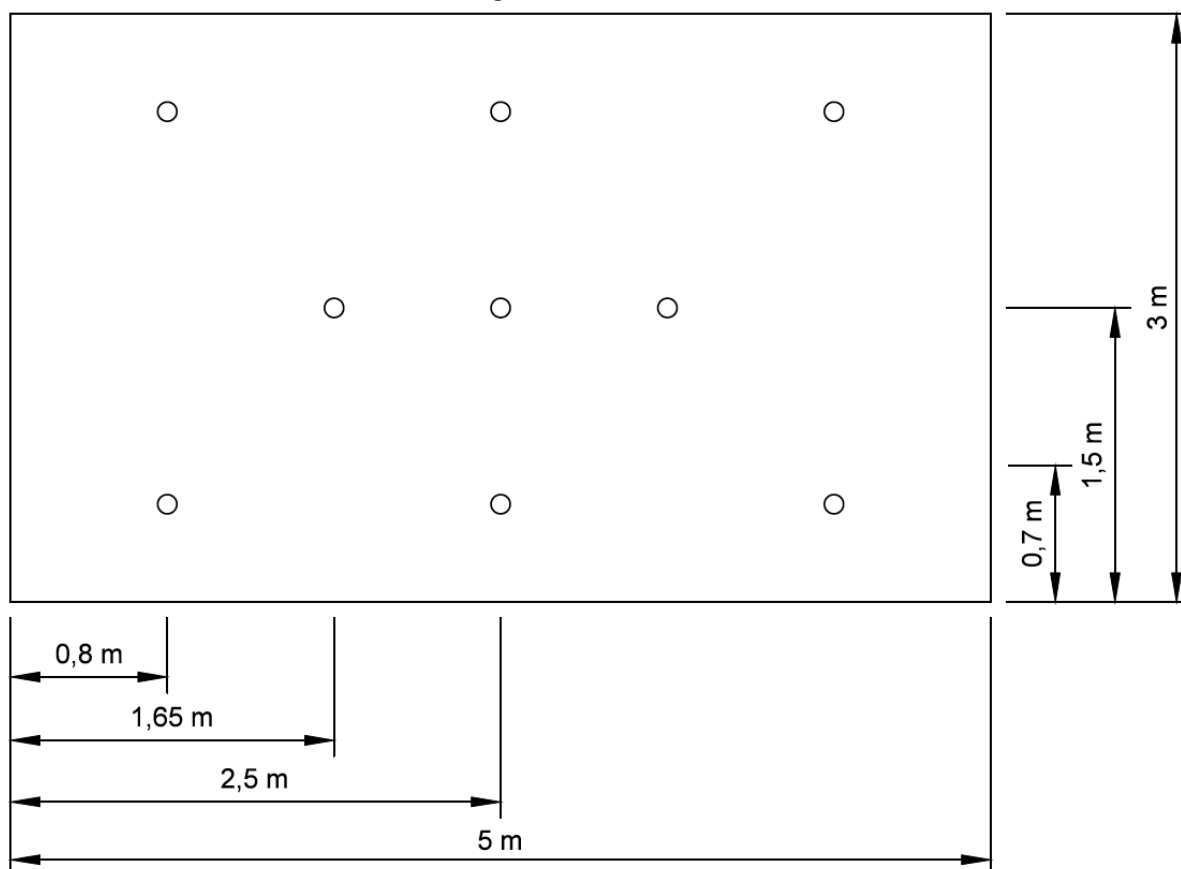
Após a câmara ter sido carregada com 15.000L de café, deu-se início às secagens convencional e com inversão do sentido do fluxo de ar. Estas secagens foram conduzidas até que a camada inferior da massa alcançasse teor de água adequado ao armazenamento.

Devido ao fato deste experimento ser conduzido em um secador industrial, foram utilizados vários pontos para coleta de dados. Os dados coletados foram teor de água e temperatura, conforme descrito nos itens a seguir.

3.4.1 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 04 é apresentada a distribuição dos pontos na câmara de secagem por vista superior.

Figura 04 – Vista superior da câmara de secagem com demarcação (o) dos pontos de coleta do teor de água.



Fonte: Do autor (2019).

Vale ressaltar que a disposição dos 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 de acordo com a Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), pelo método direto, em estufa com circulação forçada de ar, a 105 ± 3 °C durante 24 horas.

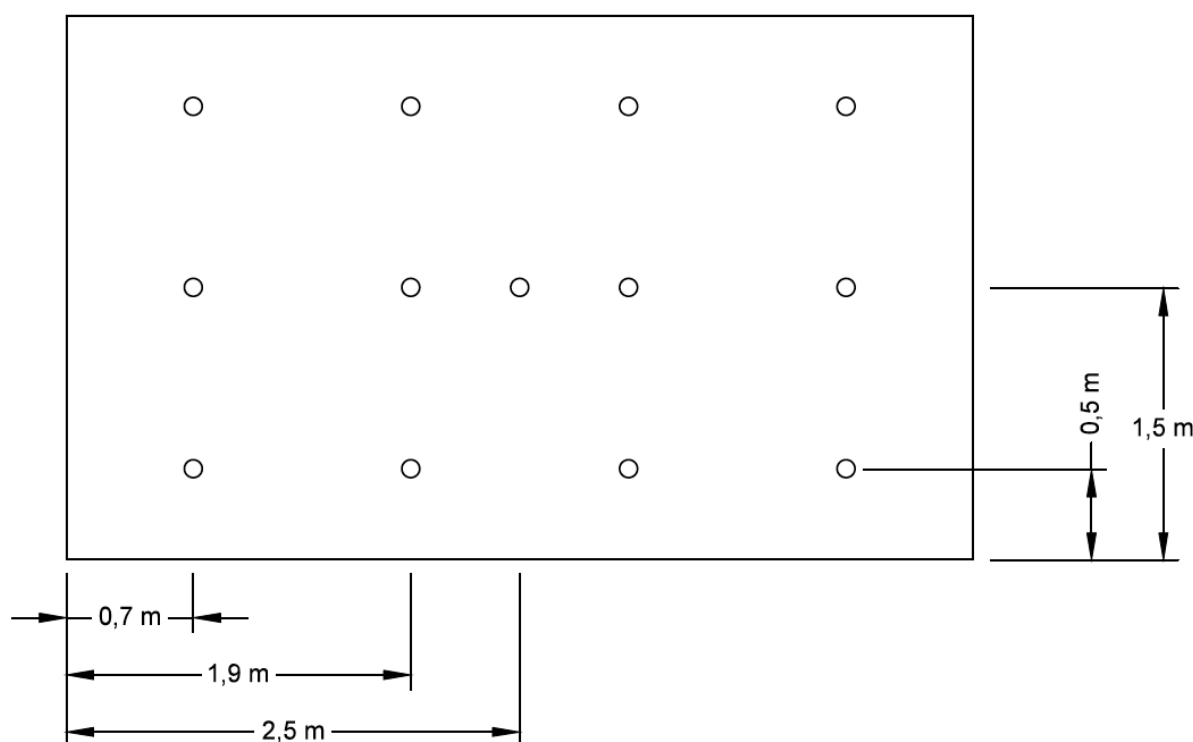
Com a finalidade de se auxiliar a verificação do término do processo de secagem, os teores de água das camadas foram medidos por meio de processo indireto utilizando um equipamento que se baseia na averiguação da capacitância elétrica das amostras.

3.4.2 Temperaturas

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 disposta conforme a Figura 05, 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.

Figura 05 – Vista superior da câmara de secagem com demarcação (o) dos pontos onde foram instalados os termopares.



Fonte: Do autor (2019).

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

Foram utilizados dois 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.

3.4.3 Mapeamento de temperatura e de teor de água

Perfis de temperatura e de teor de água dos frutos de café em diferentes posições e profundidades no secador foram feitos através do software SURFER (Version 14, Golden Software Inc., Golden, Colorado). Para montagem desses perfis, foram utilizadas as médias das temperaturas e teores de água em cada período de inversão do sentido do fluxo do ar de secagem.

Para obtenção da variação da temperatura do ar de secagem ao longo do comprimento e da largura do secador em diferentes pontos, foram utilizados os valores médios de temperatura, conforme a Figura 06. Na Figura 06.a é apresentado o corte perpendicular à largura do secador, enquanto que na Figura 06.b se apresenta o corte perpendicular ao comprimento do secador.

Já para a obtenção do perfil de teor de água do produto na câmara de secagem, foram utilizados os valores médios de teor de água coletados nos pontos conforme apresentado na Figura 07. Do mesmo modo, como no perfil de variação da temperatura do ar intergranular, na Figura 07.a é apresentado o corte perpendicular à largura do secador, enquanto que na Figura 07.b se apresenta o corte perpendicular ao comprimento do secado

Figura 06 – Vista superior da câmara de secagem, demarcando pontos de coleta de temperatura dor ar intergranular.

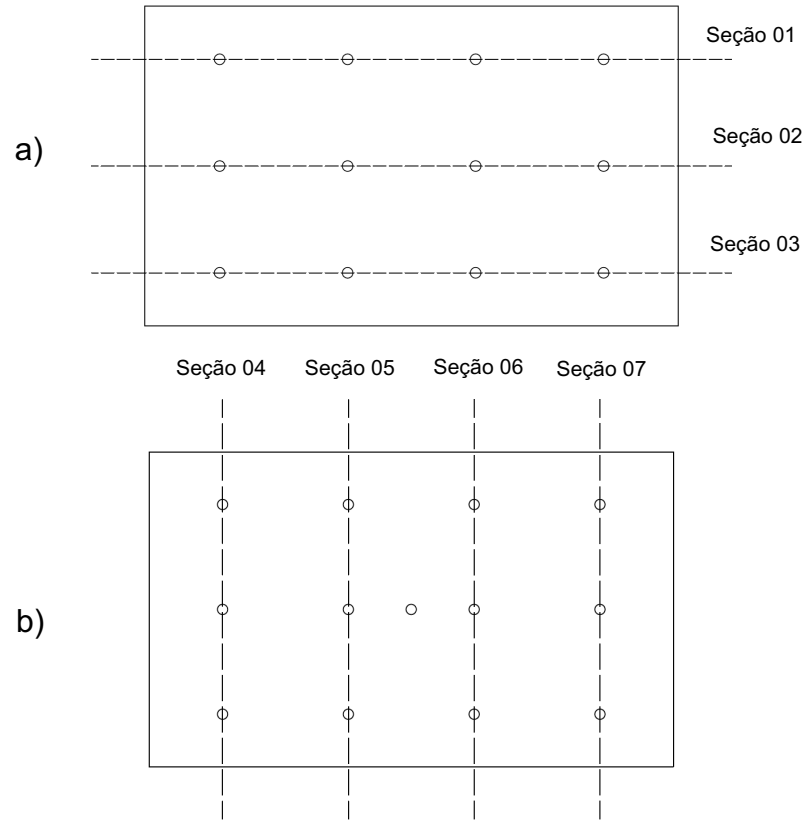
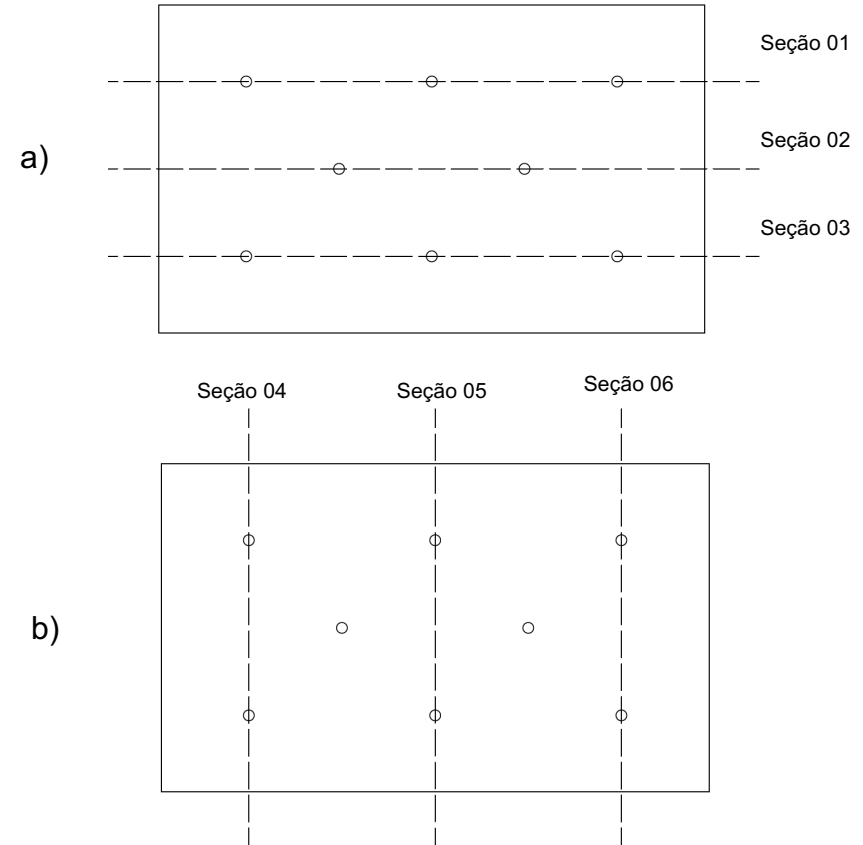


Figura 07 – Vista superior da câmara de secagem, demarcando pontos de coleta do teor de água.



Legenda: (---) indica seções realizadas para análise da temperatura obtida pelos termopares; (o) demarca posições onde foram instalados os termopar

Como se observa na Figura 06, o secador foi dividido em sete seções de forma a se verificar prováveis desbalanços de temperatura no secador, em diferentes localizações dentro da câmara de secagem. Estas seções serão doravante denominadas de Seção 01, Seção 02, Seção 03, Seção 04, Seção 05, Seção 06, Seção 07, conforme dispostas na Figura 07.

Para a apresentação dos perfis de teor de água foram utilizados seis seções no secador. Estas seções são denominadas neste trabalho como Seção 01, Seção 02, Seção 03, Seção 04, Seção 05 e Seção 06, conforme apresentado na Figura 07.

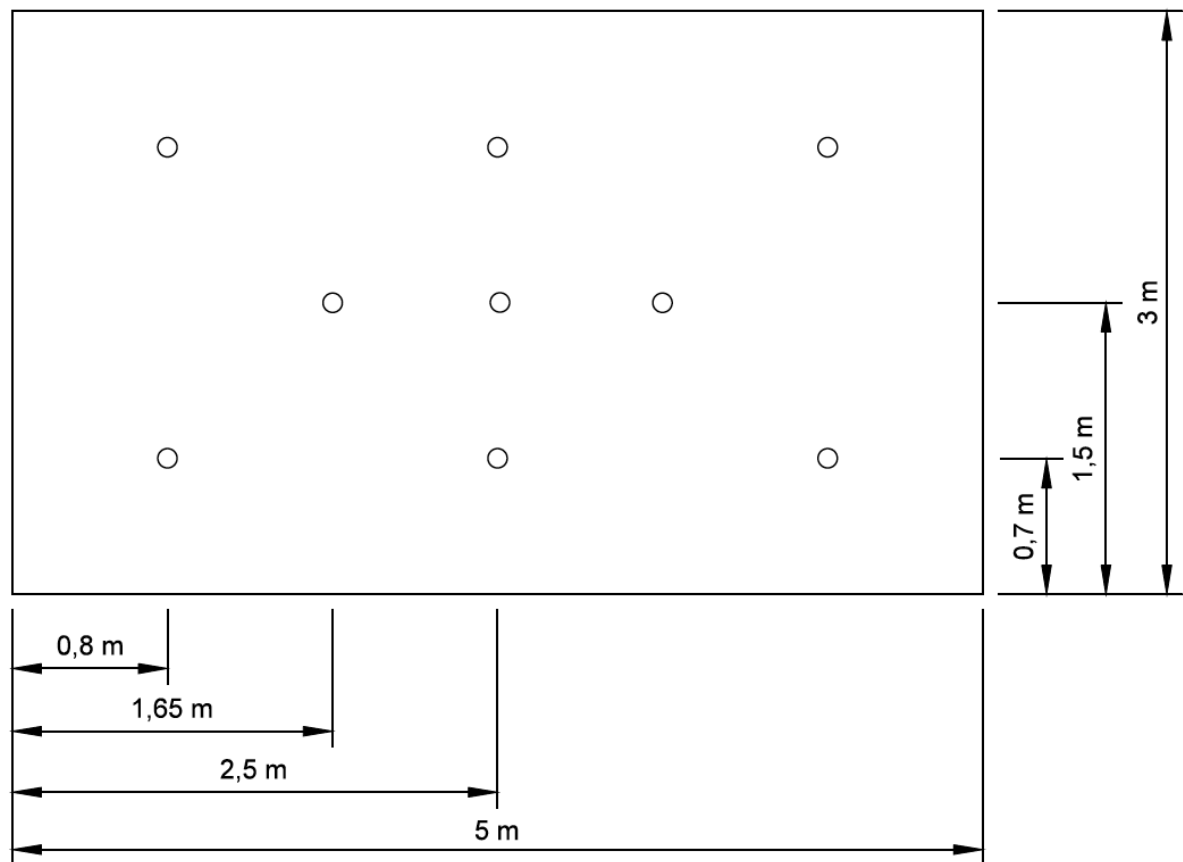
Para a montagem dos mapas de temperatura intergranular no secador (no software) o método de interpolação utilizado foi o polinomial, tendo sido usados 100 nós na direção x (comprimento do secador) e 24 nós na direção y (altura da camada do secador), para o corte perpendicular à largura do secador. Já para o corte perpendicular ao comprimento do secador, através do mesmo método de interpolação, utilizou-se 100 nós na direção x (largura do secador) e 48 nós na direção y (altura da camada do secador).

3.4.4 Análise microbiológica

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 08 apresenta a vista superior da câmara de secagem, onde os “o” apontam os locais onde foram coletadas as amostras no secador.

Figura 08 – Vista superior da câmara de secagem apontando pontos para coleta da análise microbiológica.



Fonte: Do autor (2019).

Amostras dos frutos de café foram retiradas aleatoriamente das embalagens de polietileno, tendo sido utilizadas duas repetições para cada amostra. 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.

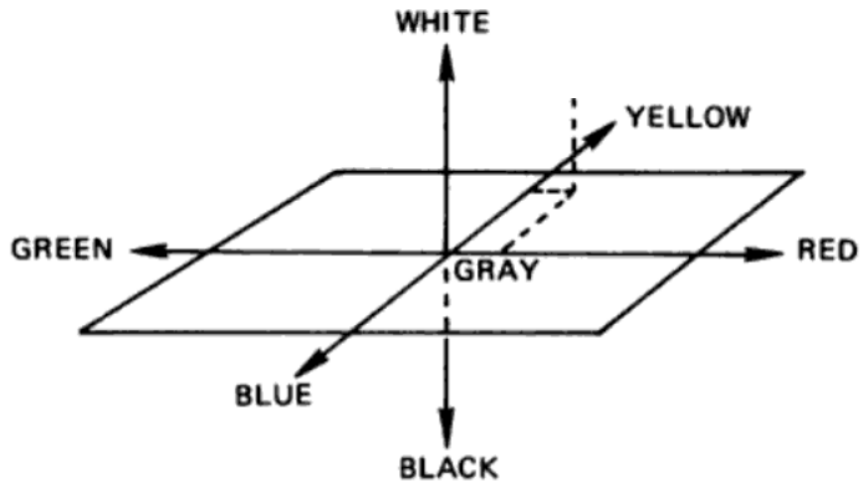
3.4.5 Análise de cor

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 06, 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, encaminhadas à Universidade Federal de Lavras, 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 (AVENA-BUSTILOS et al., 1993; BERGUER-SCHUNN, 1994), conforme apresentado na Figura 09.

Figura 09 – Significado geométrico das coordenadas do espaço CIELAB.



Fonte: HUNTER; HAROLD (1987).

3.5 Estatística

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

O fator qualitativo posição da camada no secador (fundo, meio e superfície) foi analisado por meio do software Sisvar® por comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (FERREIRA et al., 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Definição do período de inversão do sentido do fluxo de ar

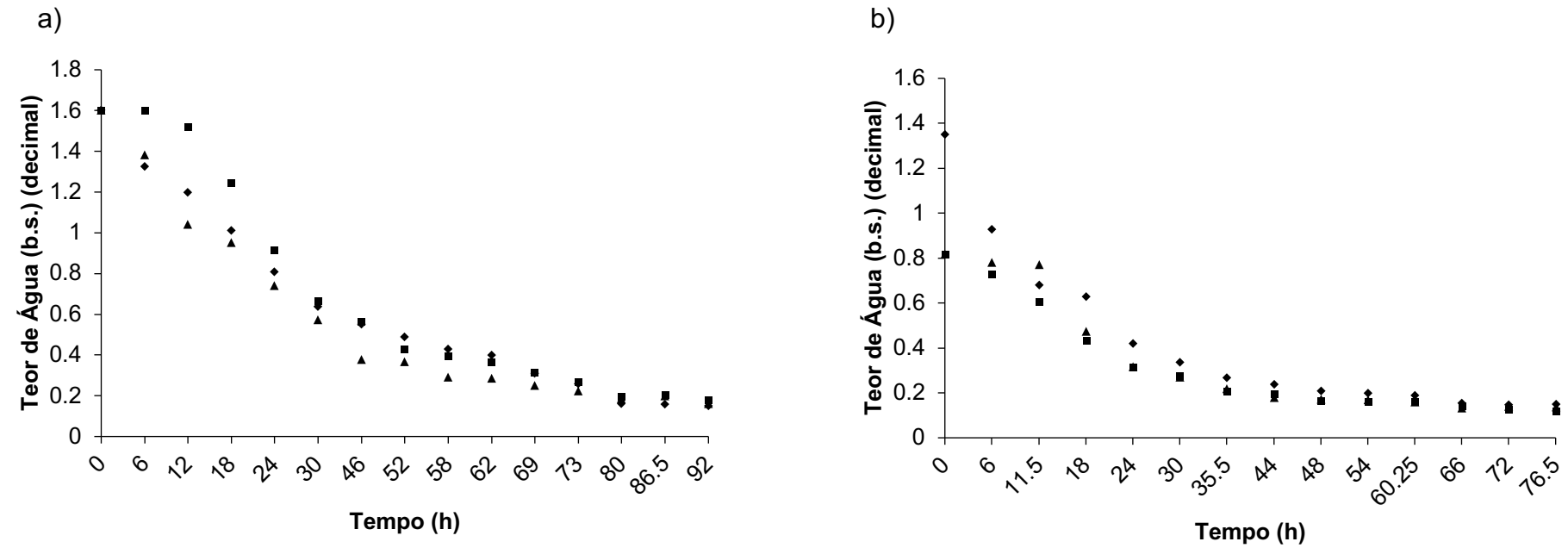
O período de inversão do sentido do fluxo de ar de secagem foi definido a partir de pré-testes realizados na safra anterior conforme as curvas de secagem apresentadas na Figura 10.

Por meio desta figura (Figura 10), 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 12/12h e 18/6h, os gradientes formados ao final dos processos de secagem foram de 0,027 e 0,03 b.s.

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. Ou seja, 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.

Portanto, 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.

Figura 10 – 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

Fonte: Do autor (2018).

4.2 Teor de água

Na Tabela 03 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.

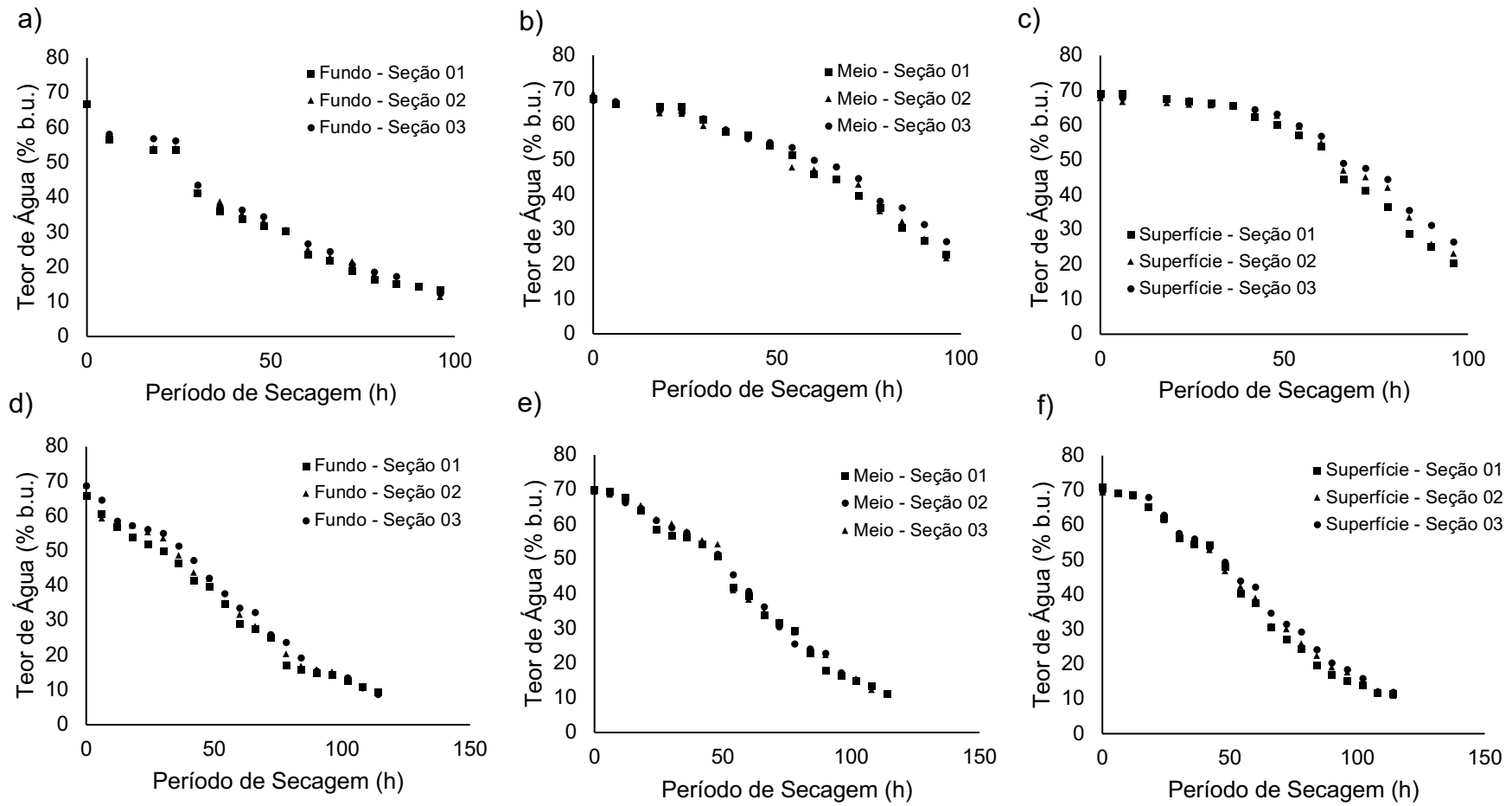
Tabela 03 – Descrição dos teores de água inicial e final e período de secagem para cada manejo.

Secagem	Camada	Teor de Água Inicial (% b.u.)	Teor de Água Final (% b.u.)	Período de Secagem (h)
Convencional	Fundo	66,85	12,29	96
	Meio	67,87	23,69	
	Superfície	68,50	23,47	
Com Inversão	Fundo	67,78	11,08	114
	Meio	69,78	11,30	
	Superfície	69,12	11,47	

Fonte: Do autor (2019).

As Figura 11 e 12 apresentam os teores de água de seis seções dentro da câmara do secador, ao longo processo de secagem com e sem inversão, respectivamente.

Figura 11 – Teor de água ao longo do período de secagem nas seções 01, 02 e 03 do secador, durante as secagens convencionais (a, b, c) e com inversão do fluxo de ar (d, e, f).



Fonte: Do autor (2019).

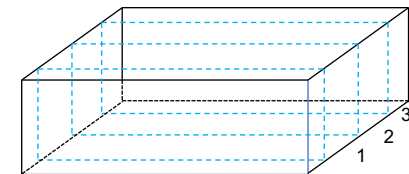
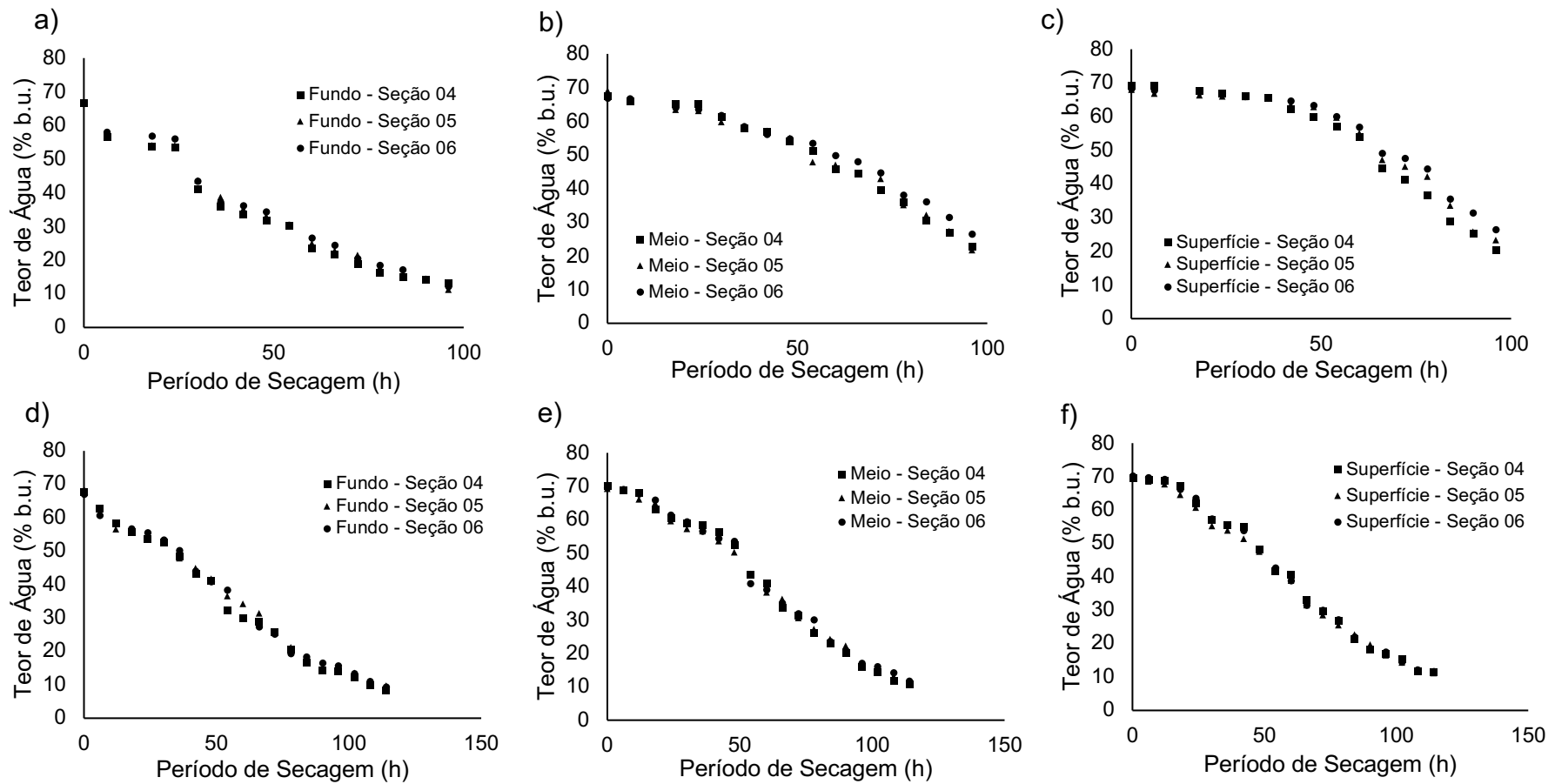
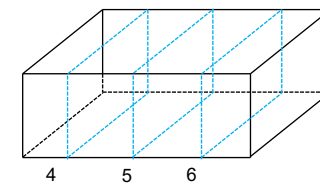


Figura 12 – Teor de água ao longo do período de secagem nas seções 04, 05 e 06 do secador, durante as secagens convencional (a, b, c) e com inversão do fluxo de ar (d, e, f).



Fonte: Do autor (2019).



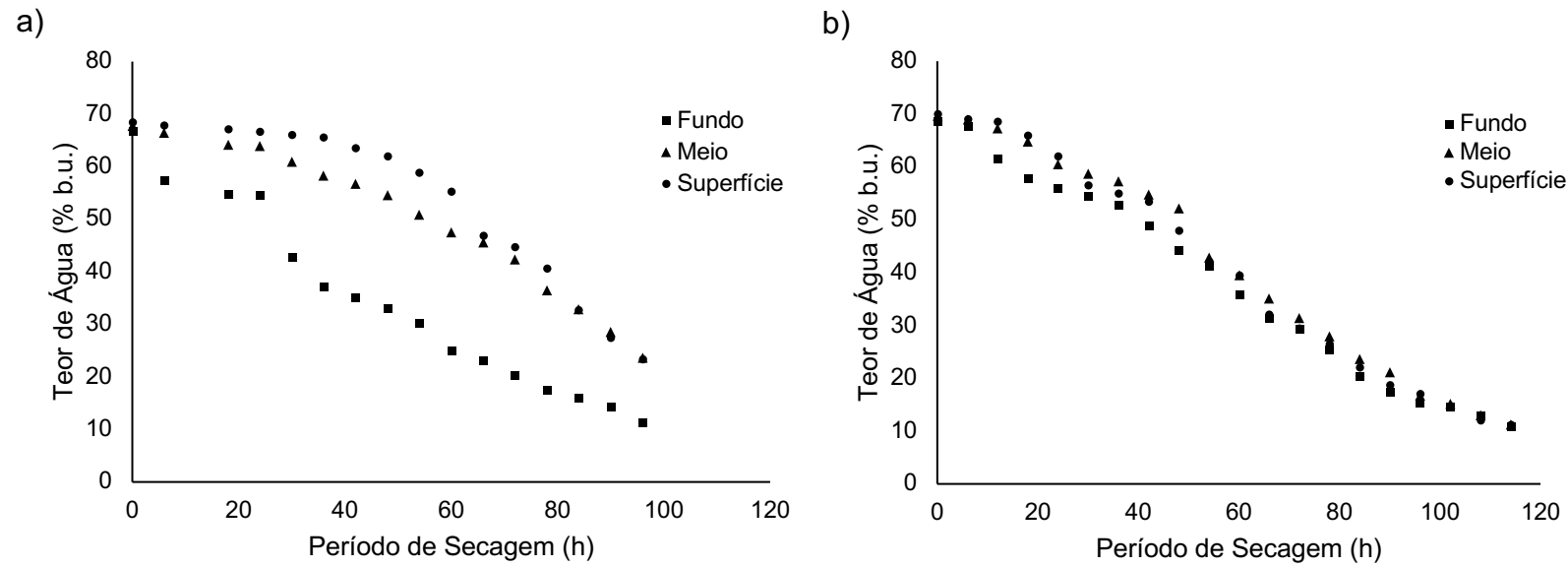
Por meio da Figura 11 pode-se observar que independente da altura da camada no secador, o gradiente de teor de água final é inferior é de 0,35% (b.u.). Para as seções 01, 02 e 03, as médias do gradiente dos teores de água entre as diferentes alturas na camada são de 0,57, 0,11 e 0,91% (b.u.). Enquanto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

Reinato (2006) verificou que para o secador rotativo, havia diferença significativa do teor de água nas diferentes seções do secador para uma mesma distância radial do plenum.

Outra observação importante nas Figuras 11 e 12 são relacionadas ao tempo em que os frutos permaneceram, durante os processos de secagem, com teor de água superior à 20%. Por meio destas figuras é possível verificar que para a secagem com inversão do fluxo de ar, o período para que os frutos atinjam teores de água inferiores à 20% é de cerca de 80 horas. Enquanto isso, para a secagem convencional a camada inferior atinge teor de água inferior à 20% com 80 horas, entretanto, as camadas do meio levam 96 horas para atingir um teor de água mais seguro e estão susceptíveis por uma maior período de tempo ao desenvolvimento de fungos e à síntese de ocratoxina A (CHALFOUN; BATISTA, 2006).

Foram feitos gráficos do teor de água em função das camadas. Na Figura 13 são apresentadas as curvas de teor de água dos processos de secagem com e sem inversão do sentido do fluxo de ar, respectivamente, para as diferentes camadas.

Figura 13 – Teor de água ao longo do período de secagem nas diferentes camadas do secador, durante a secagem (a) convencional e (b) com inversão do fluxo de ar.



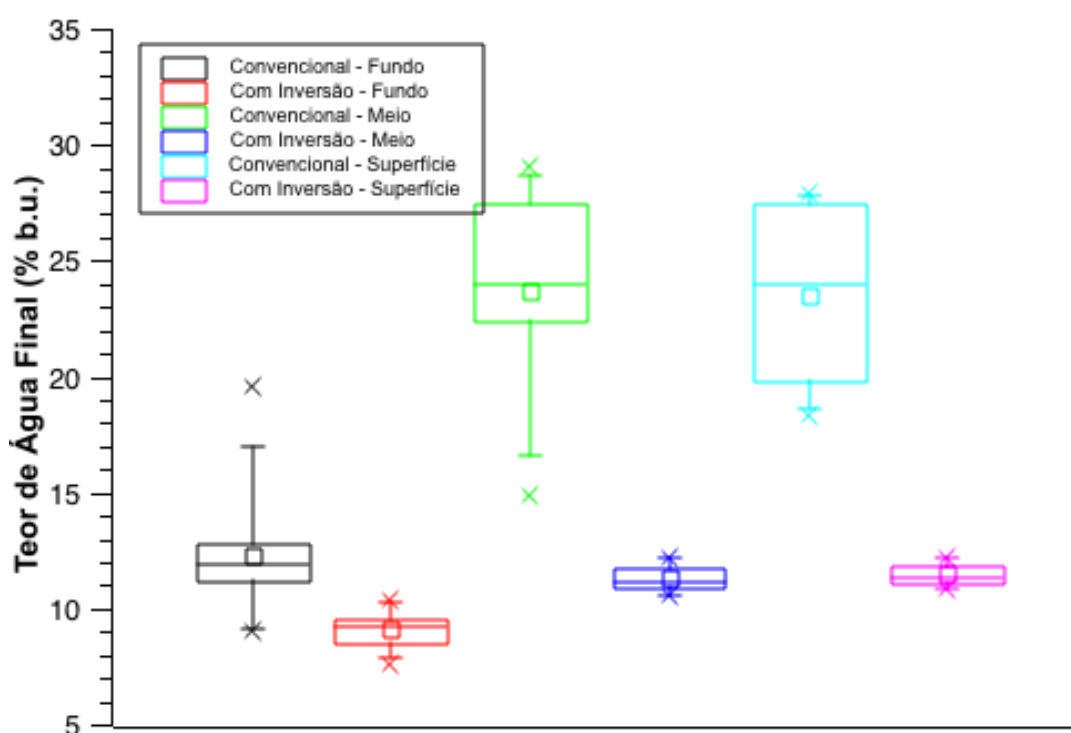
Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 14 são apresentados os valores referentes ao teor de água final de cada secagem para cada camada. Nesta figura se observa que as médias do 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. 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.).

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.

Figura 14 – Valores obtidos do teor de água final coletados de diferentes camadas e diferentes manejos do secador.



Fonte: Do autor (2019).

Campos (1998) testou revolvimento mecânico em secador de camada fixa para secagem de café, comparando com secagem de camada fixa convencional. O autor encontrou 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 por Campos (1998) 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 que 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.

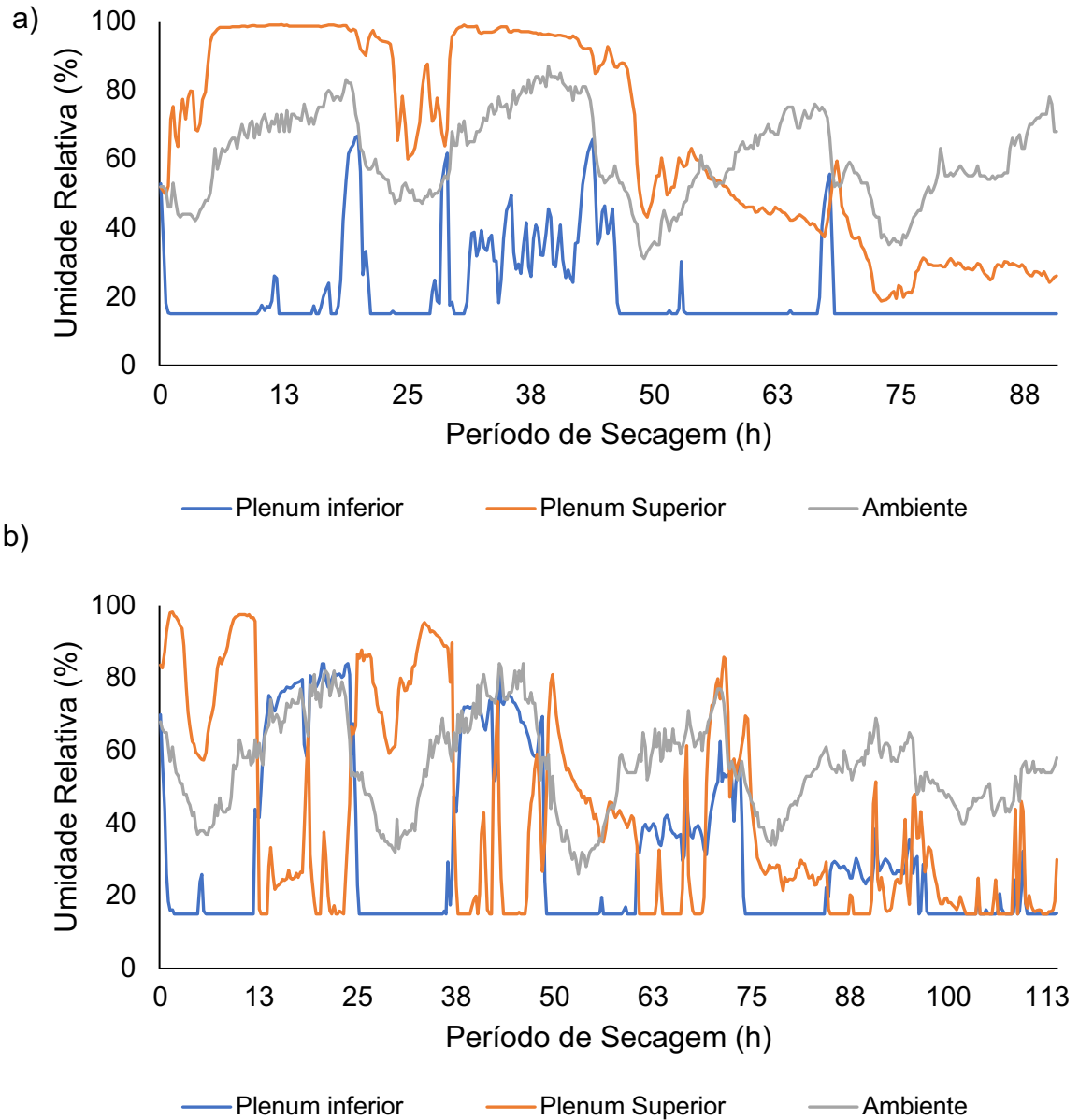
4.3 Temperatura e umidade relativa do ar

Na Figura 15 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.

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 quando contém teores de água altos (RESENDE et al., 2009). A umidade relativa do ar de exaustão tende a diminuir com o tempo já que ocorre a diminuição do teor de água da matéria-prima, devido ao processo de secagem.

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 a secagem 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.).

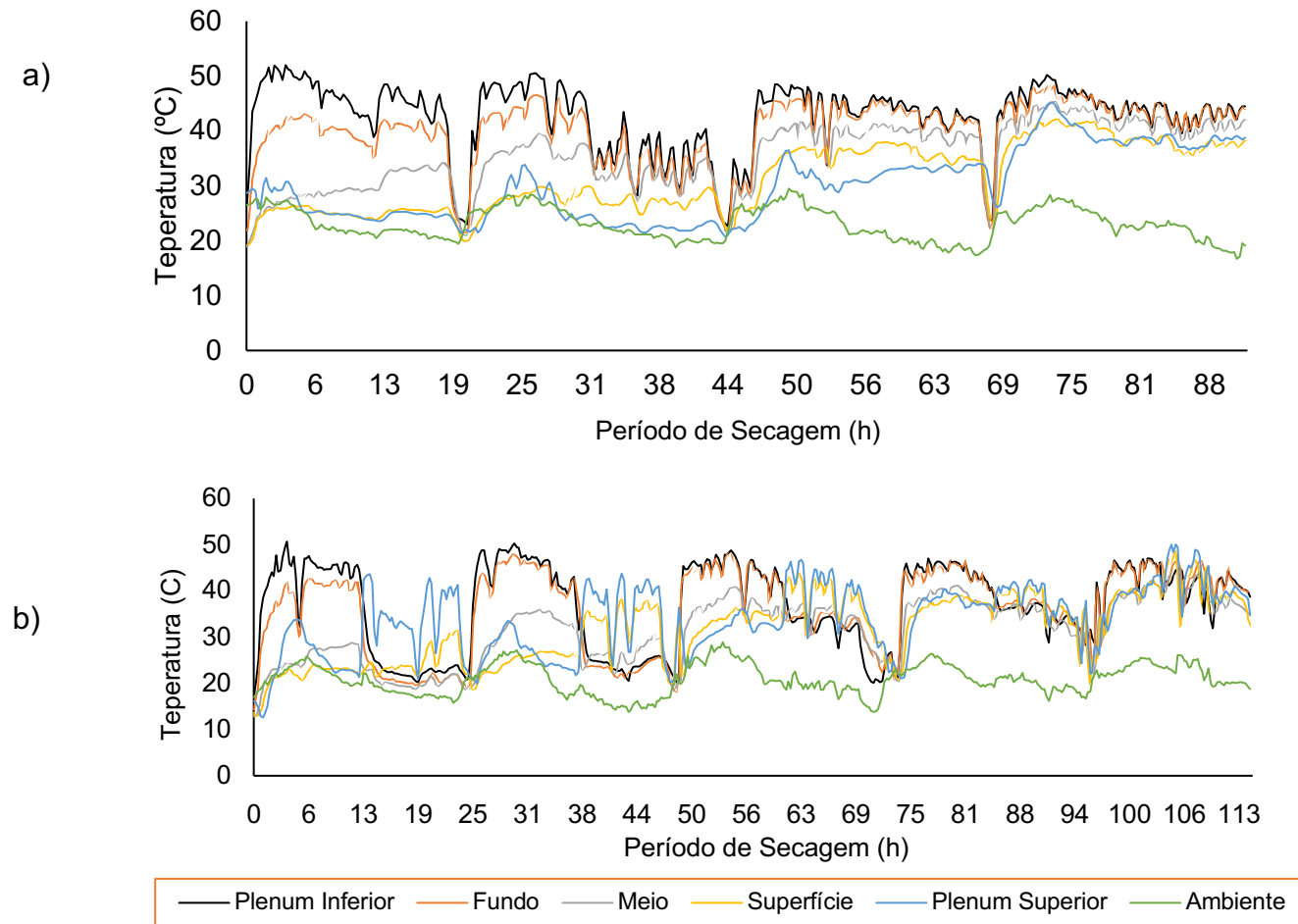
Figura 15 – Umidades relativas do ar de exaustão, do ar de secagem e do ar ambiente para os processos de secagem (a) convencional e (b) com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 16 são apresentadas as curvas de temperatura obtidas experimentalmente para as secagens com e sem inversão.

Figura 16 – Curvas das temperaturas para as secagens (a) convencional e (b) com inversão do fluxo de ar, em diferentes posições na câmara de secagem.



Fonte: Do autor (2019).

Da mesma forma como encontrado por Berbert (1994) 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.

Observa-se através da Figura 16, 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.

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.

Vieira (1994) coletou temperatura da massa na câmara de secagem de café natural em secador mecânico de fluxo cruzado. 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.

Outro ponto para discussão está na desestabilização das temperaturas do ar no plenum. De acordo com Reinato et al. (2002), tais variações ocorrem como consequência da inconsistência de fornecimentos de lenha na fornalha, provocando picos de temperatura ao longo da secagem, nos momentos em que ocorria uma nova carga de lenha. Ou seja, os picos de temperatura apresentados na Figura 16 está

relacionado a temperatura da fornalha que, neste caso, aumentava devido à sua alimentação.

Nas Figuras 17, 18 e 19 são apresentados os mapeamentos da distribuição de temperatura da secagem convencional e com inversão do fluxo de ar das seções (01, 02 e 03), nos instantes 6h, 42/60h e 96/114h, respectivamente.

Nas Figuras 20, 21 e 22 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 6h, 42/60h e 96/114h, respectivamente.

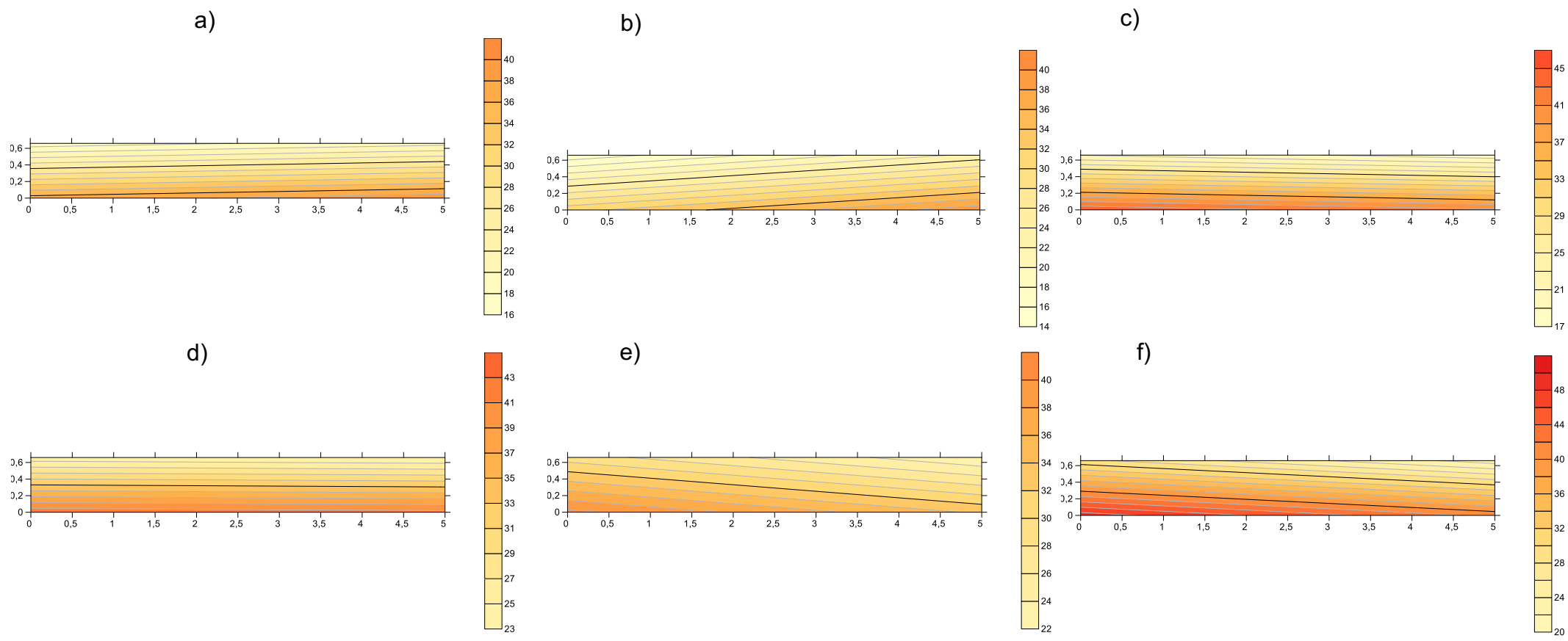
A câmara de secagem possui volume de 15.000 L. Este volume está susceptível à eventuais variações de temperatura ao longo do processo de secagem.

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.

Por meio dos resultados apresentados se observa que as seções mais próximas da fornalha 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 20, 21 e 22, 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 fornalha (seções 04, 05 e 06) apresentavam melhor homogeneidade de temperatura do que a seção mais distante da fornalha (seção 07).

Figura 17 – Mapeamento das temperaturas das seções 01, 02 e 03, no período de 6h após o início da secagem, para as secagens (a, b, c) convencional e (d, e, f) com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

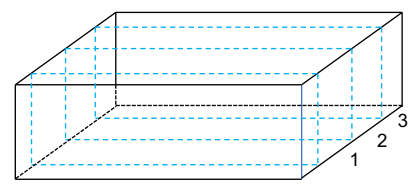
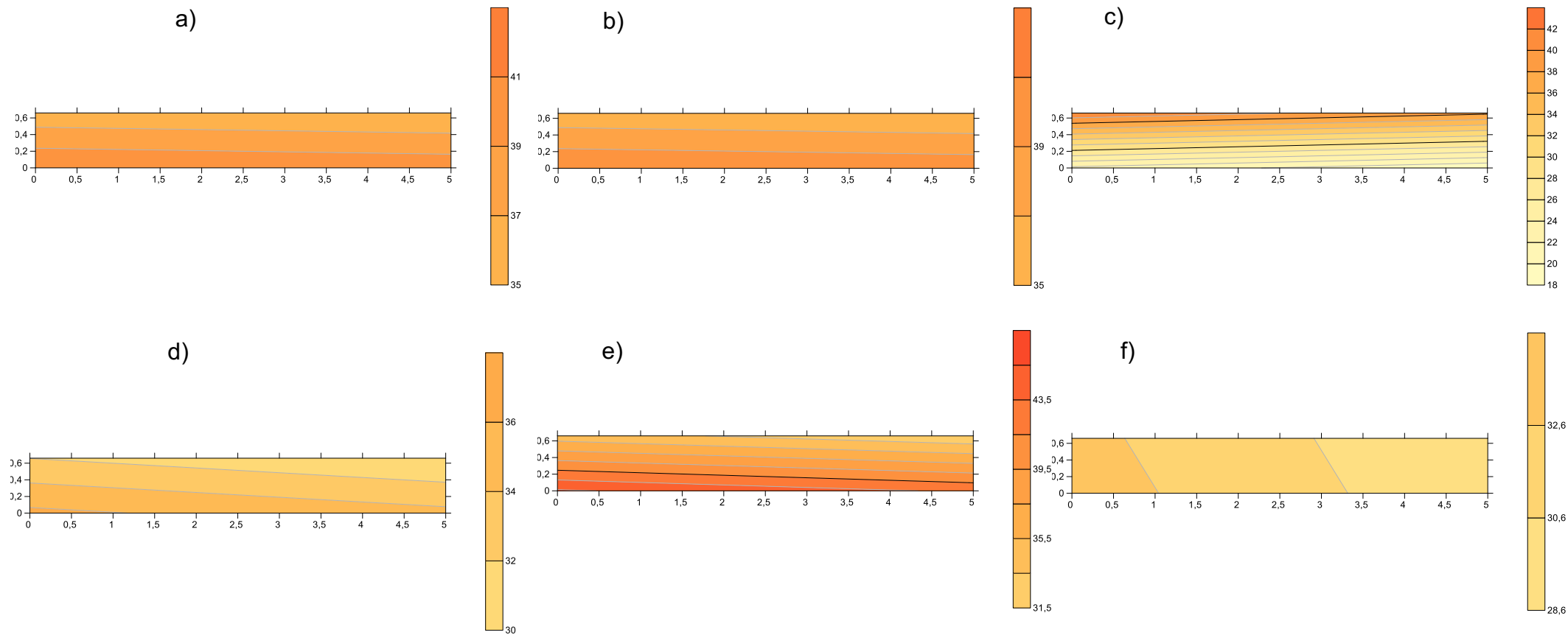


Figura 19 – Mapeamento das temperaturas das seções 01, 02 e 03, no período de 42h após o início da secagem, para a secagem (a, b, c) convencional e no período de 60h (d, e, f) com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

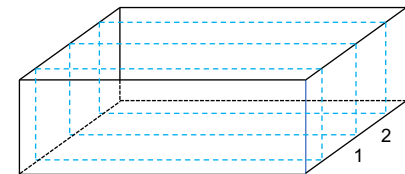
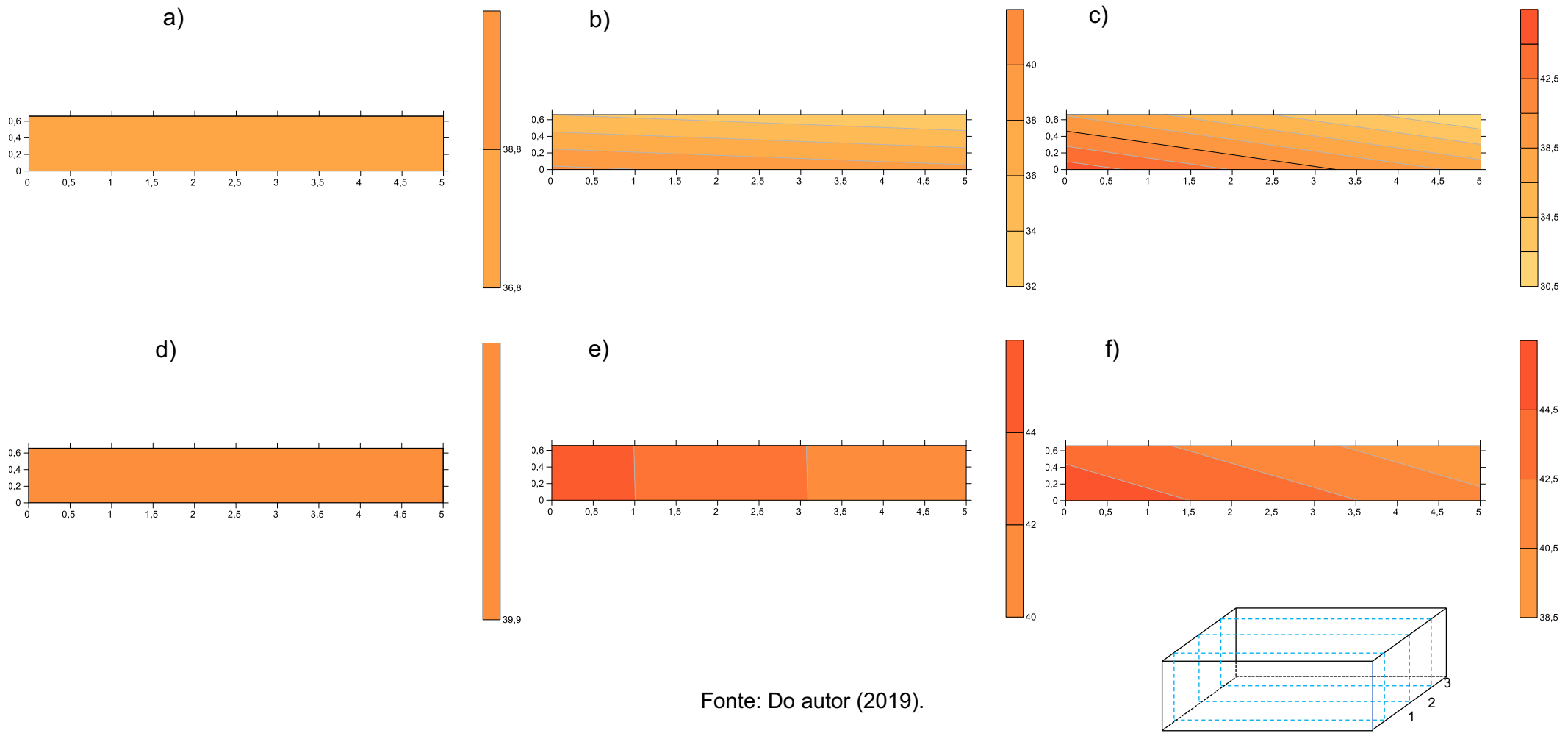
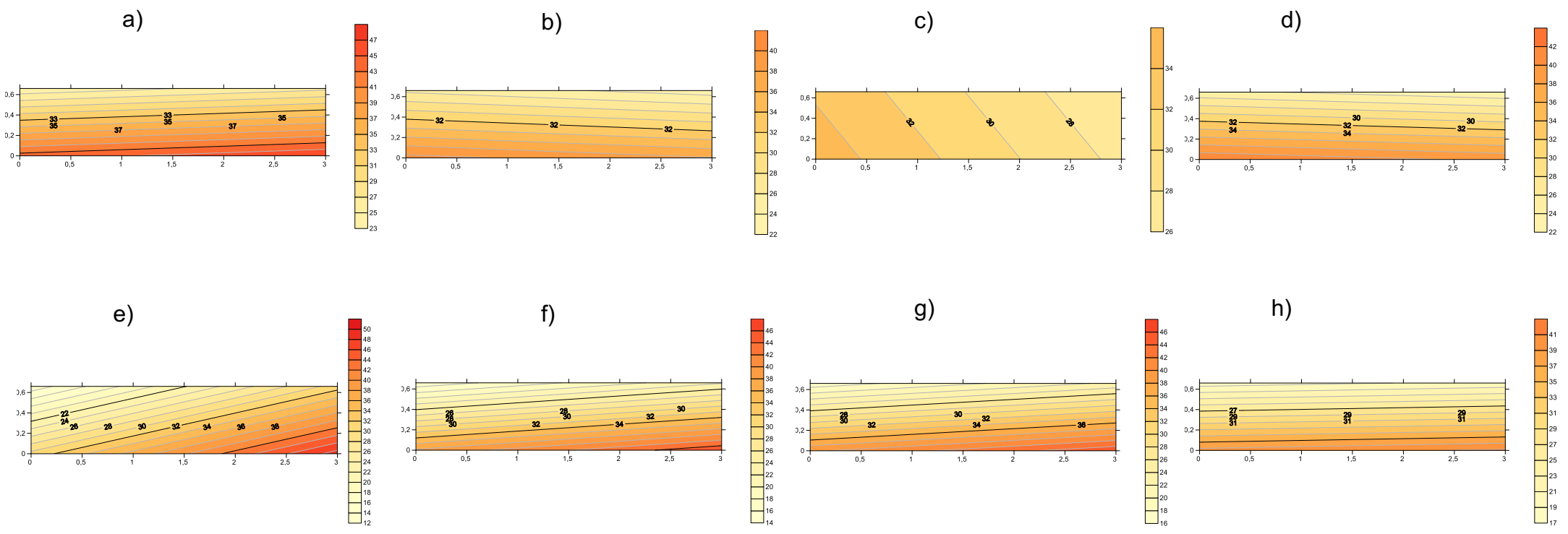


Figura 18 – Mapeamento das temperaturas das seções 01, 02 e 03, no período de 96h após o início da secagem, para a secagem (a, b, c) convencional e no período de 114h (d, e, f) com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 20 – Mapeamento das temperaturas das seções 04, 05, 06 e 07, no período de 6h após o início das secagens (a, b, c, d) convencional e (e, f, g, h) com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

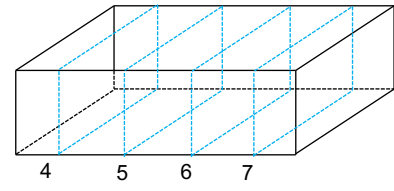
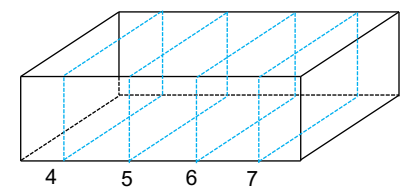
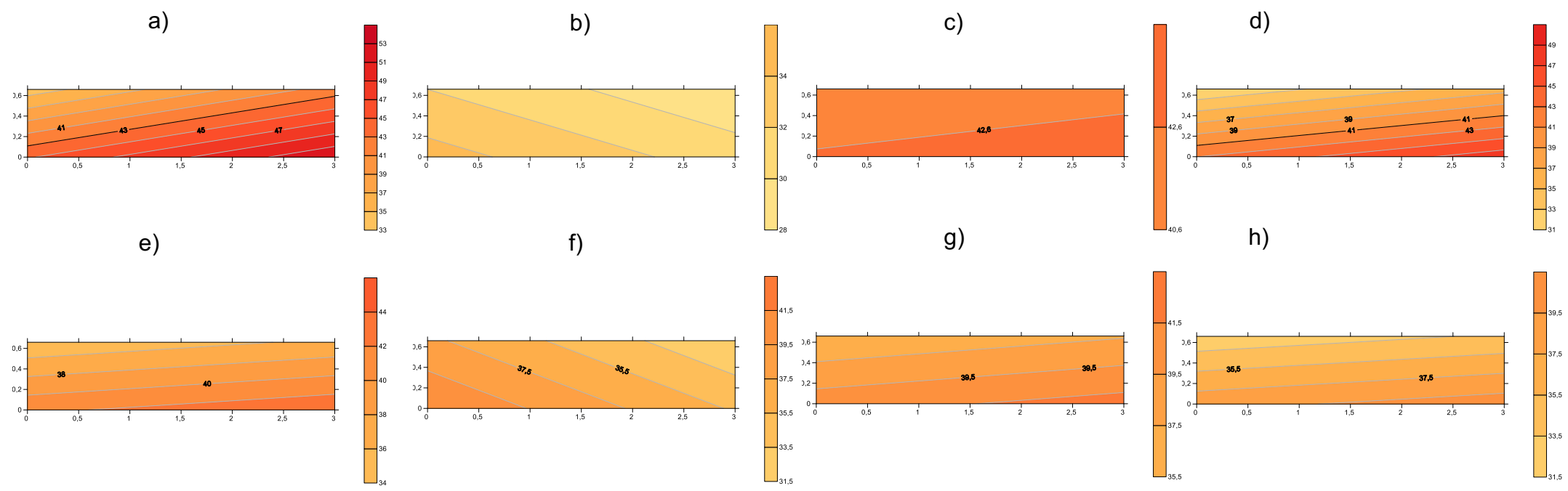
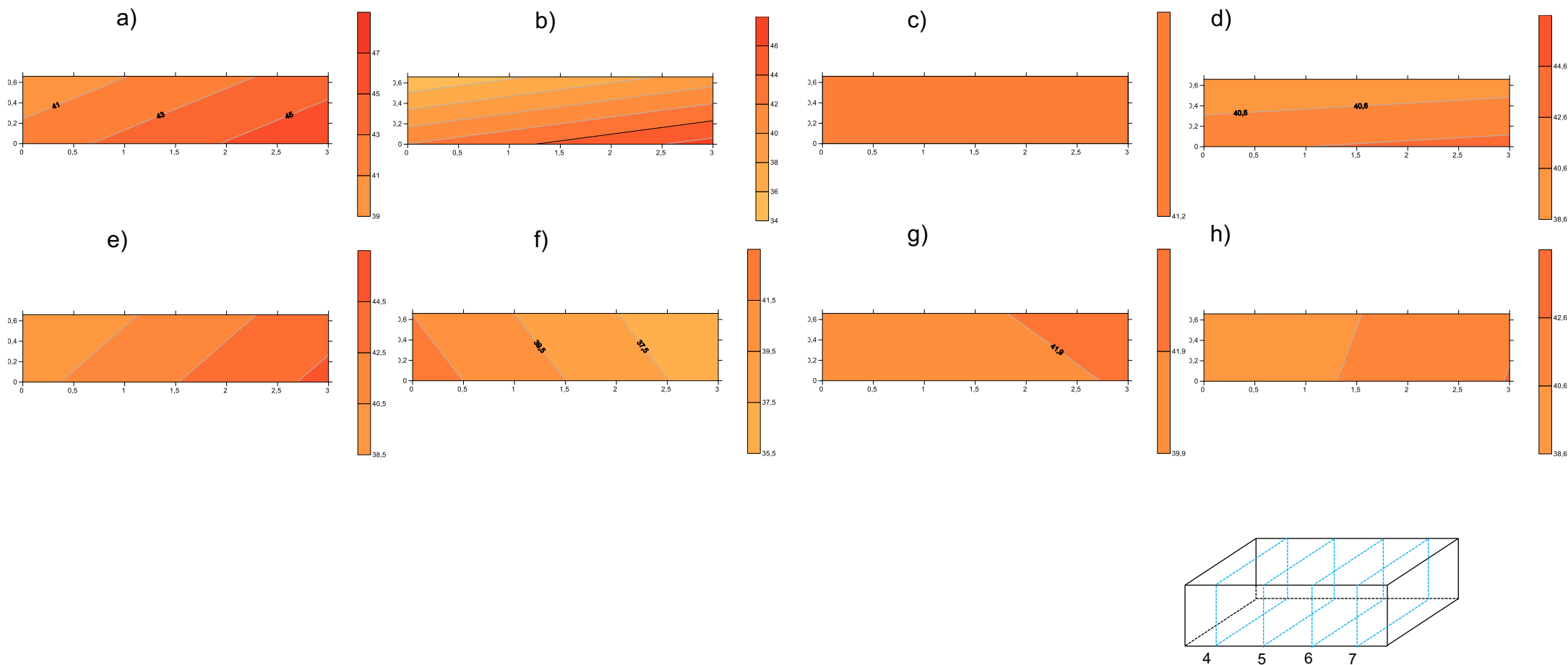


Figura 21 – Mapeamento das temperaturas das seções 04, 05, 06 e 07, período de 60h após o início da secagem, para a secagem (a, b, c) convencional e no período de 42h (d, e, f) com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 22 – Mapeamento das temperaturas das seções 04, 05, 06 e 07, 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: Do autor (2019).

4.4 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 04 são apresentados os valores das coordenadas L^* , a^* e b^* para cada manejo do secador.

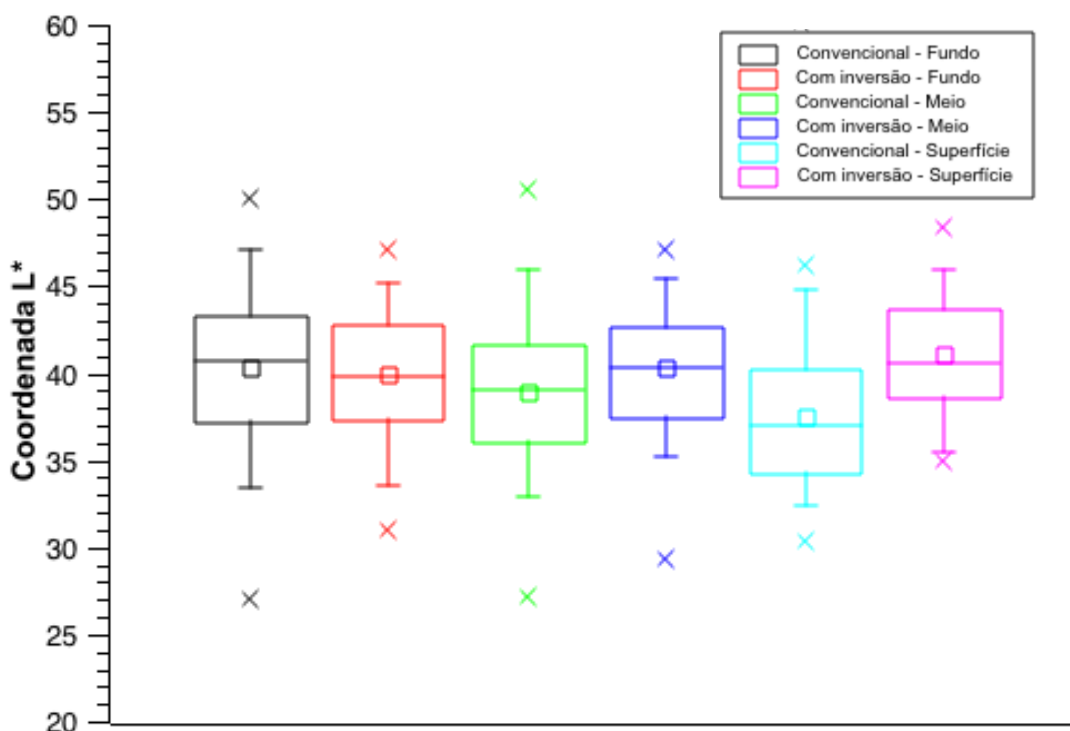
Tabela 04 – Valores obtidos da coordenada L^* , a^* e b^* para os grãos de café beneficiados, através das secagens com e sem inversão.

Coordenada	Secagem	Média	Desvio Padrão
a^*	Convencional	1,12	1,35
	Com inversão	0,17	1,27
b^*	Convencional	12,51	2,25
	Com inversão	12,79	1,74
L^*	Convencional	38,51	4,28
	Com inversão	40,44	3,51

Fonte: Do autor (2019).

Pela Figura 23 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. Nas Figuras 23, 24 e 25 são apresentados os valores obtidos das coordenadas L^* , a^* e b^* , respectivamente, para os grãos de café beneficiados, coletados de diferentes camadas e manejos do secador.

Figura 23.– Valores obtidos da coordenada L*, para os grãos de café beneficiados, coletados de diferentes camadas e diferentes manejos do secador.



Fonte: Do autor (2019).

O resumo dos resultados da análise de variância da coordenada L* em função da camada e da secagem realizada, encontra-se na Tabela 05 em anexo. Observa-se através da Tabela 05, 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 06.

Tabela 06– Valores médios da coordenada L* dos grãos de café após secagem em diferentes camadas e diferentes manejos do secador.

Secagem	Camada Inferior	Camada do Meio	Camada Superior
Convencional	40,38 ^{Aa}	38,18 ^{Bb}	36,76 ^{Bb}
Com Inversão	39,93 ^{Aa}	40,32 ^{Aa}	41,06 ^{Aa}

Legenda: Letras minúsculas nas linhas e letras maiúsculas nas colunas diferem-se entre si pelo Método de Tukey à 5% de significância.

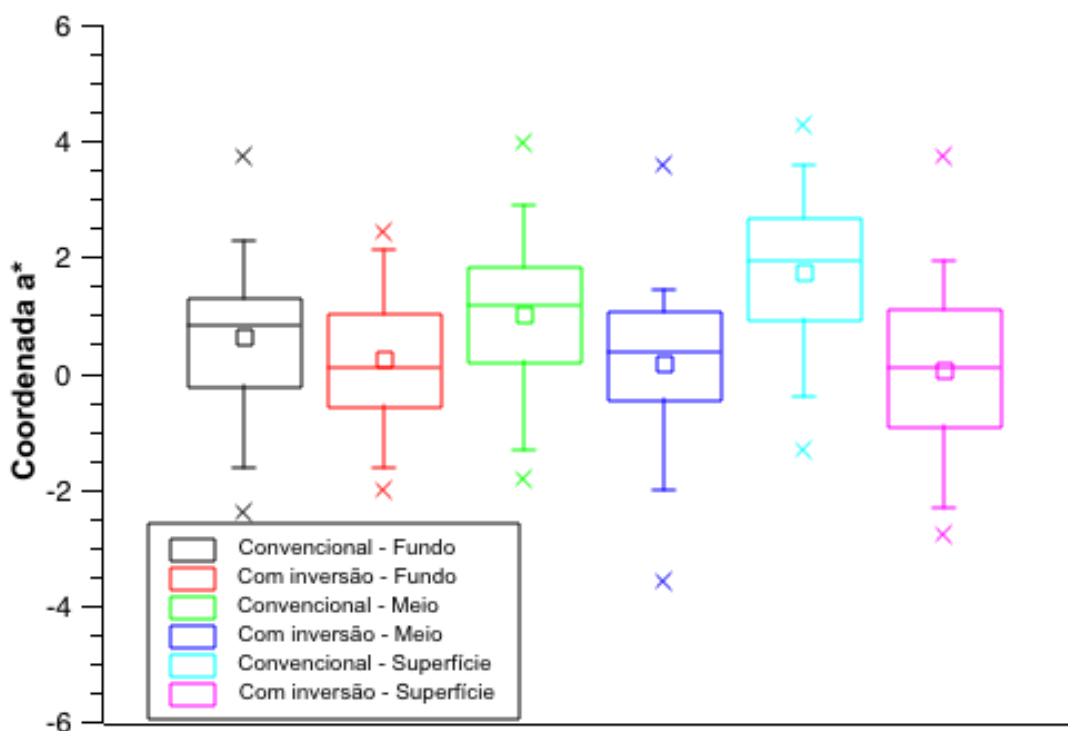
Fonte: Do autor (2019).

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 Figura 23, 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.

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; AFONSO JÚNIOR; PINTO, 2002). De acordo com as leituras realizadas da coordenada a* por camadas, as quais são apresentadas na Figura 24, os valores médios desta coordenada se mantêm 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.

Figura 24 – Valores obtidos da coordenada a*, para os grãos de café beneficiados, coletados de diferentes camadas e diferentes manejos do secador.



Fonte: Do autor (2019).

O resumo dos resultados da análise de variância da coordenada a* em função da camada e da secagem realizada, encontra-se na Tabela 07 em anexo. Através da Tabela 07, 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 08.

Tabela 08 – Valores médios da coordenada a* dos grãos de café após secagem em diferentes camadas e diferentes manejos do secador.

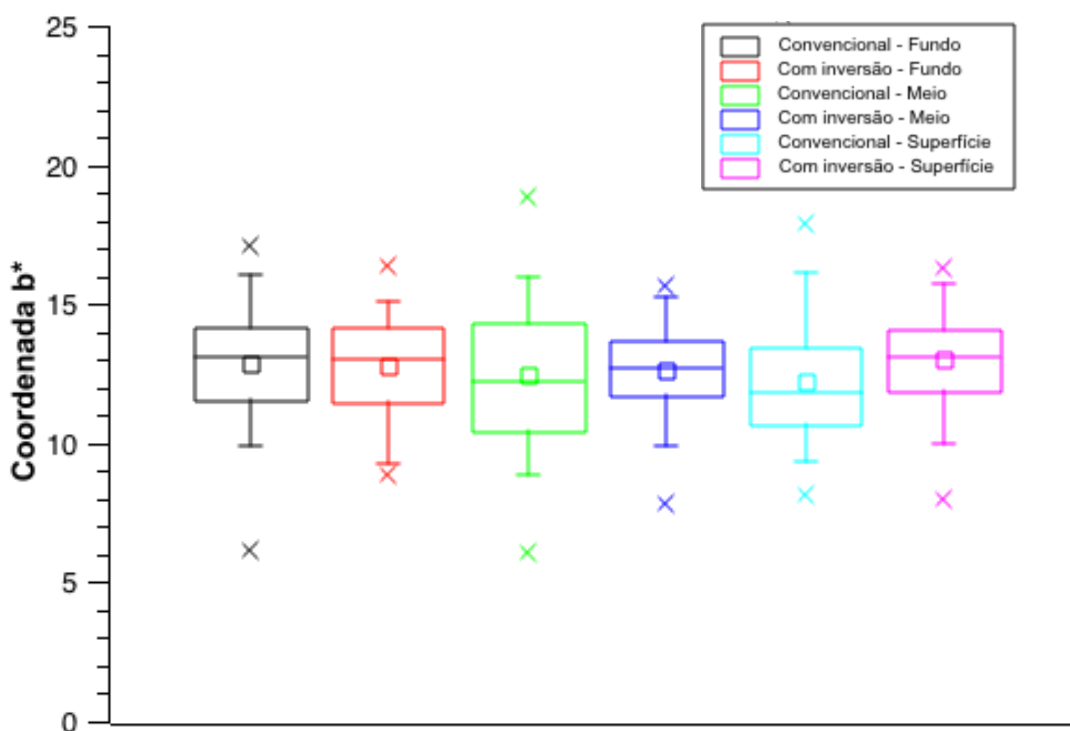
Secagem	Camada Inferior	Camada do Meio	Camada Superior
Convencional	1,36 ^{Aa}	1,36 ^{Aa}	2,18 ^{Bb}
Com Inversão	1,19 ^{Aa}	0,93 ^{Aa}	1,06 ^{Aa}

Legenda: Letras minúsculas nas linhas e letras maiúsculas nas colunas diferem-se entre si pelo Método de Tukey à 5% de significância.

Fonte: Do autor (2019).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 25, os valores encontrados na coordenada cromática b^* , independentemente da camada para cada processo de secagem, foram próximos, variando entre 12,21 e 13,02.

Figura 25 – Valores obtidos da coordenada b^* , para os grãos de café beneficiados, coletados de diferentes camadas e diferentes manejos do secador.



Fonte: Do autor (2019).

O resumo dos resultados da análise de variância da coordenada b^* em função da camada e da secagem realizada, encontra-se na Tabela 09. 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).

4.5 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

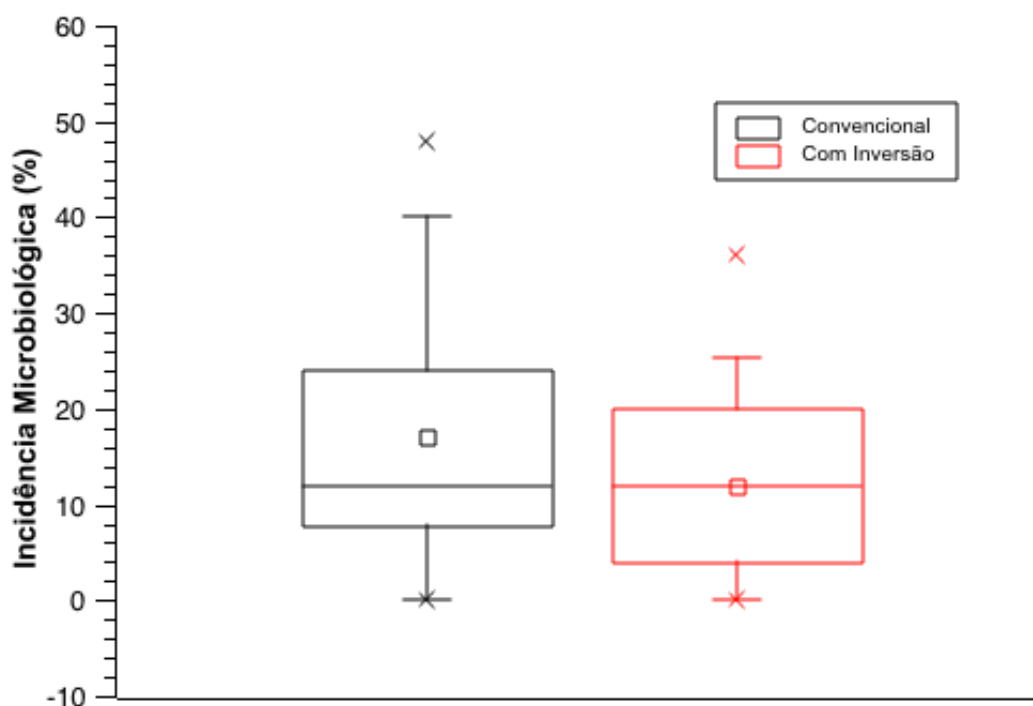
café e relatados na literatura (KRUG, 1940; BITANCOURT, 1957; MISLIVEC; BRUCE; GIBSON, 1983; CARVALHO; CHALFOUN; CHAGAS, 1989; CHALFOUN et al. 1992).

Por meio da Figura 26, 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%.

O gênero *Aspergillus*, em especial a seção *Circumdati*, é relatado na literatura como potencial produtor de micotoxina (HASHIMOTO et al., 2015; PERRONE; GALLO, 2016; TANIWAKI et al., 2018). A produção de ocratoxina por espécies da seção *Circumdati* foi relatada por Oliveira et al. (2018), sendo que a produção destes metabólitos secundários foi maior no intervalo de temperatura de 22 e 32 °C.

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 que as temperaturas que compreendem o mesmo intervalo, na secagem convencional, foram de 53% do período de secagem.

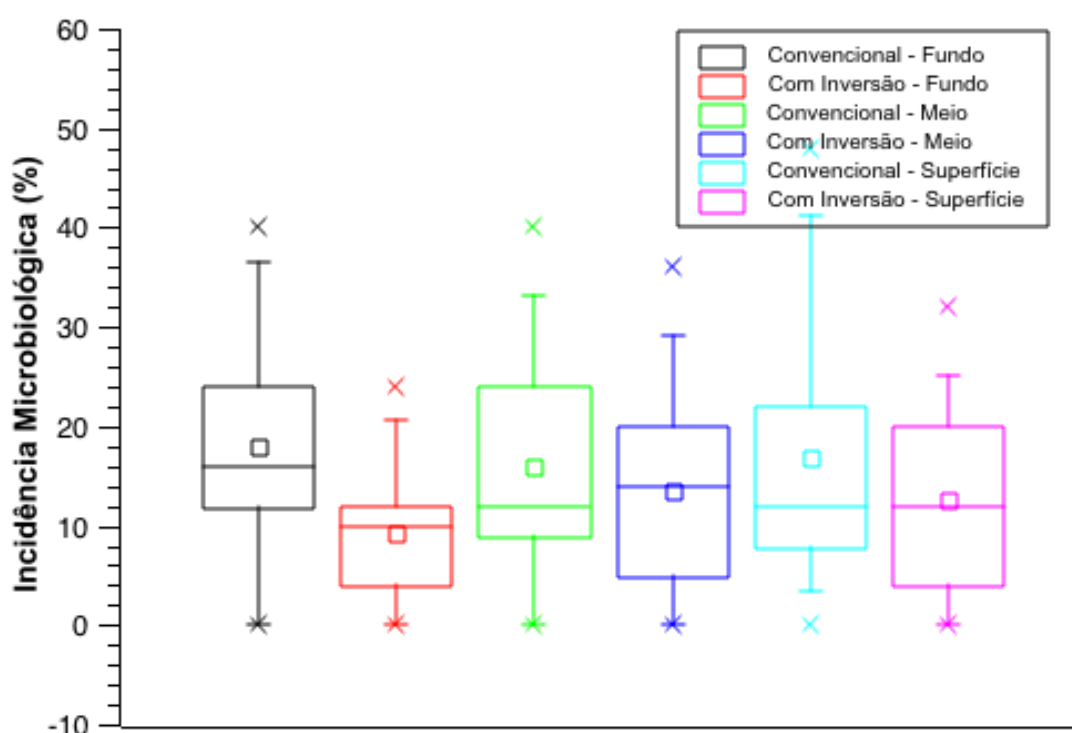
Figura 26 – Incidência da seção *Circumdati* observada nos frutos para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

Por meio da Figura 27, se observa a incidência da seção *Circumdati* 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.

Figura 27 – Incidência da seção *Circumdati* observada nos frutos para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar.

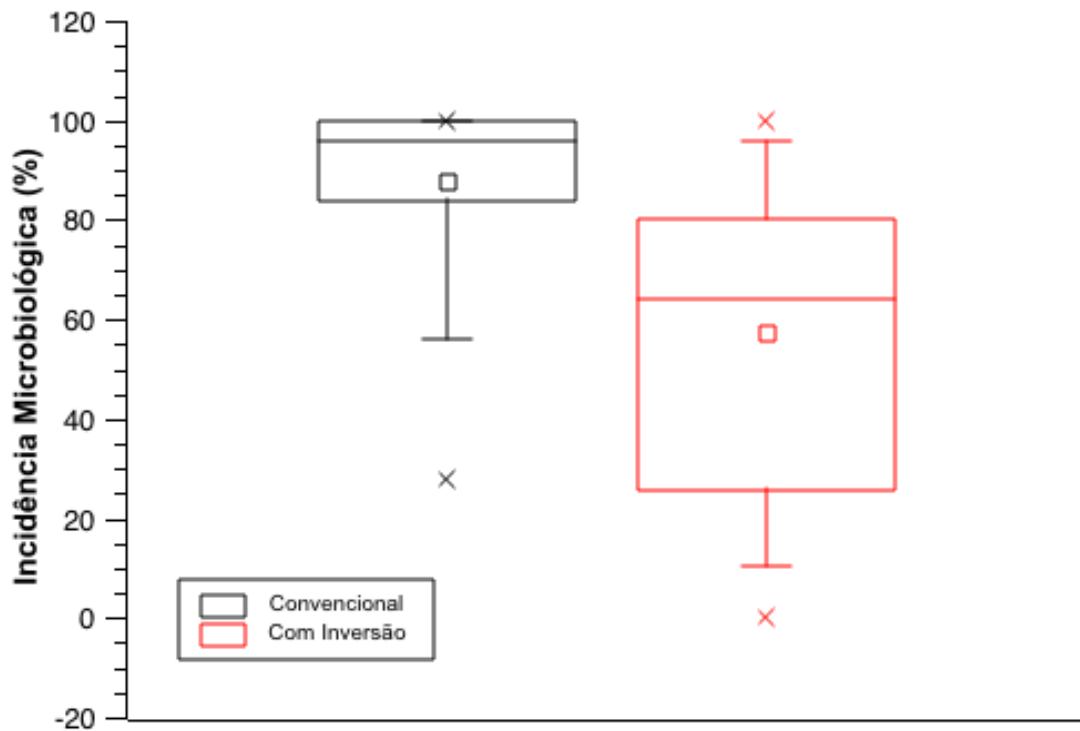


Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 28, 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.

O gênero *Cladosporium* é correlatado na literatura à cafés de melhor qualidade. Alves (1996) identificou que cafés classificados como bebida mole possuem maior incidência deste gênero, comparado à bebidas de qualidade inferior.

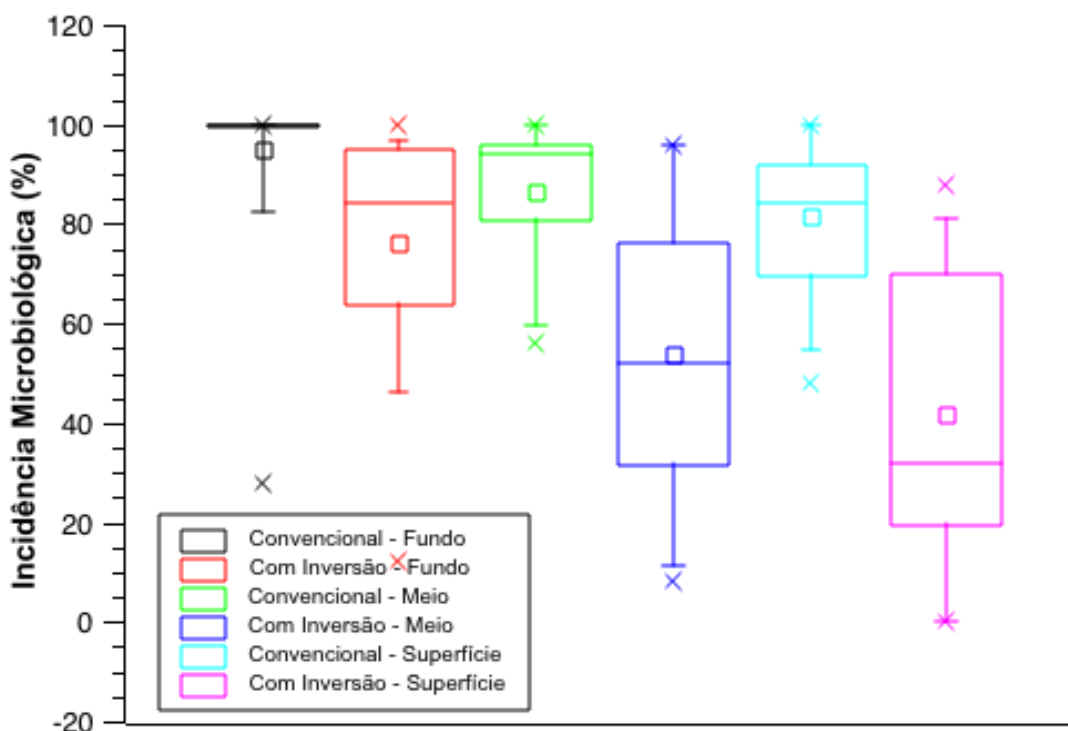
Figura 28 – Incidência do gênero *Cladosporium* observada nos frutos para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

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 29).

Figura 29 – Incidência do gênero *Cladosporium* observada nos frutos para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

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.

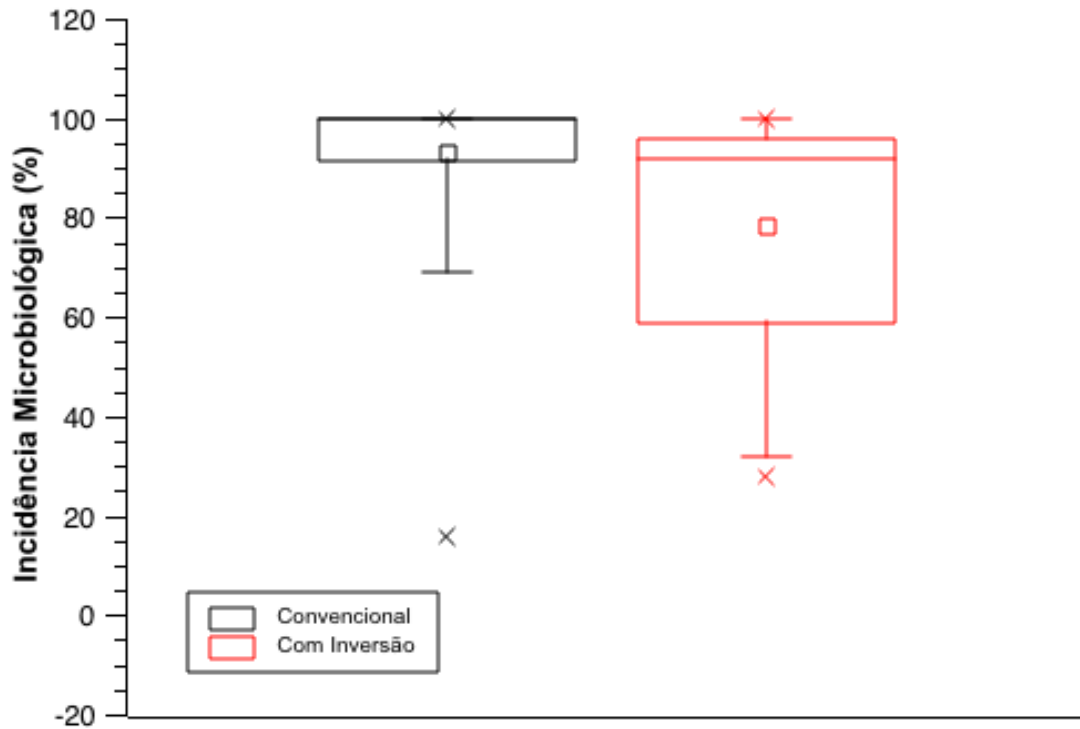
Fungos do gênero *Cladosporium* incidem naturalmente nos frutos de café que passam de maduros nas plantas (overripe). Dessa forma justifica-se que o mesmo não tenha se desenvolvido suficientemente para exercer sua atividade antagônica. Isto implica no fato de que sem sua presença, os frutos se tornam susceptíveis ao crescimento de outros microrganismos prejudiciais à qualidade do café (BASTOS et al., 2013). Ademais, este gênero é conhecido por ser um bom produtor de pectinases que degradam a mucilagem e aceleram o processo de secagem.

O gênero *Fusarium* também foi amplamente encontrado nas amostras obtidas em ambos os processos de secagem, convencional ou com inversão. Desta forma, na Figura 30 é apresentada a incidência do gênero *Fusarium* observada para as secagens com e sem inversão do sentido do fluxo do ar de secagem.

A incidência do gênero *Fusarium* nas amostras de secagem convencional e com inversão do fluxo de ar foram respectivamente de $78,3 \pm 23,2\%$ e de $93,2 \pm$

14,4%. Este gênero fúngico também foi isolado por Suárez-Quiroz (2004) na secagem de cafés verdes realizado em secador mecânico.

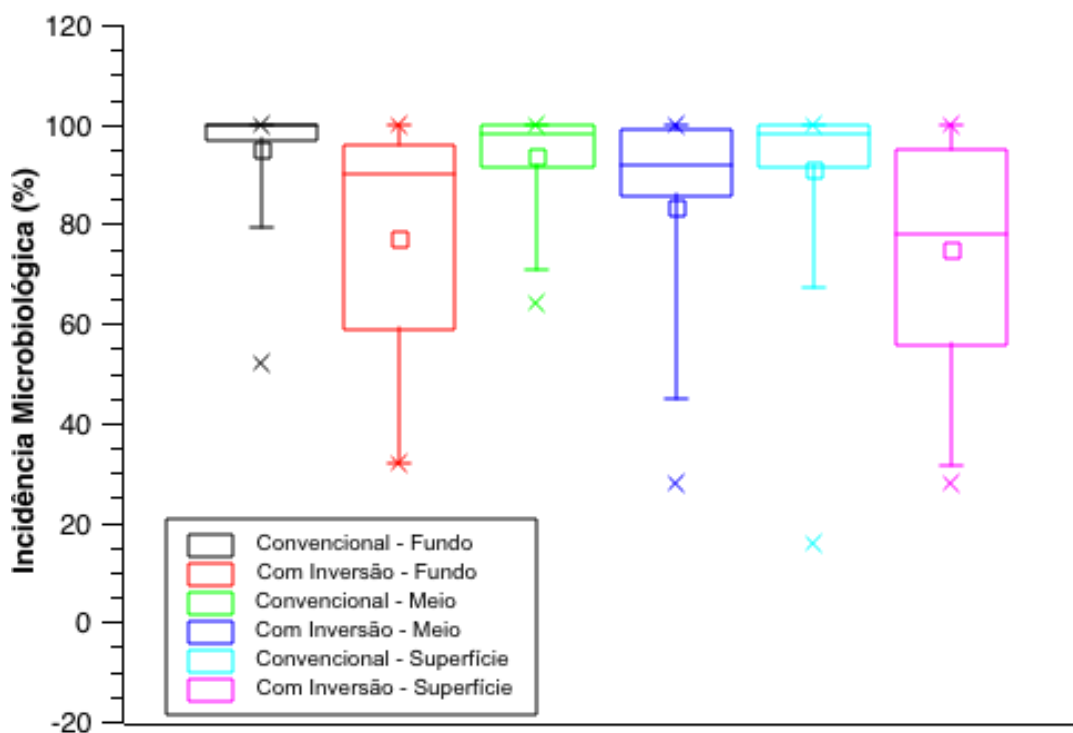
Figura 30 – Incidência do gênero *Fusarium* observada nos frutos para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

Por meio da Figura 31, se observa a incidência do gênero *Fusarium* para diferentes camadas do secador. Nela, se verifica que os valores médios da incidência dos fungos deste gênero foram maiores e com menores desvios padrões para todas as secagens realizadas (fundo, meio e superfície). Este fungo, conforme diversos autores relatam na literatura, se relaciona positivamente com cafés de bebida inferior (MEIRELLES, 1990; ALVES, 1996; FAVARIN et al., 2004).

Figura 31 – Incidência do gênero *Fusarium* observada nos frutos para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 10 é apresentado o resumo da análise de variância da porcentagem de ocorrência do gênero *Cladosporium* spp. para as diferentes camadas e tipos de secagem.

O resumo da análise de variância da porcentagem a Seção *Circumdati* em função da camada e do tipo de secagem encontra-se na Tabela 11, em anexo. Observa-se pela Tabela 11 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.

O resumo da análise de variância da porcentagem de ocorrência do gênero *Fusarium* em função da camada e do tipo de secagem encontra-se na Tabela 12, em anexo.

Na Tabela 13 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.

Tabela 13 – Valores médios da ocorrência microbiológica nos frutos para cada tipo de secagem.

Secagem	<i>S. Circumdati</i>	<i>Cladosporium</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp.
Convencional	27,08 ^b	87,70 ^b	93,18 ^b
Com Inversão	22,00 ^a	69,90 ^a	78,30 ^a

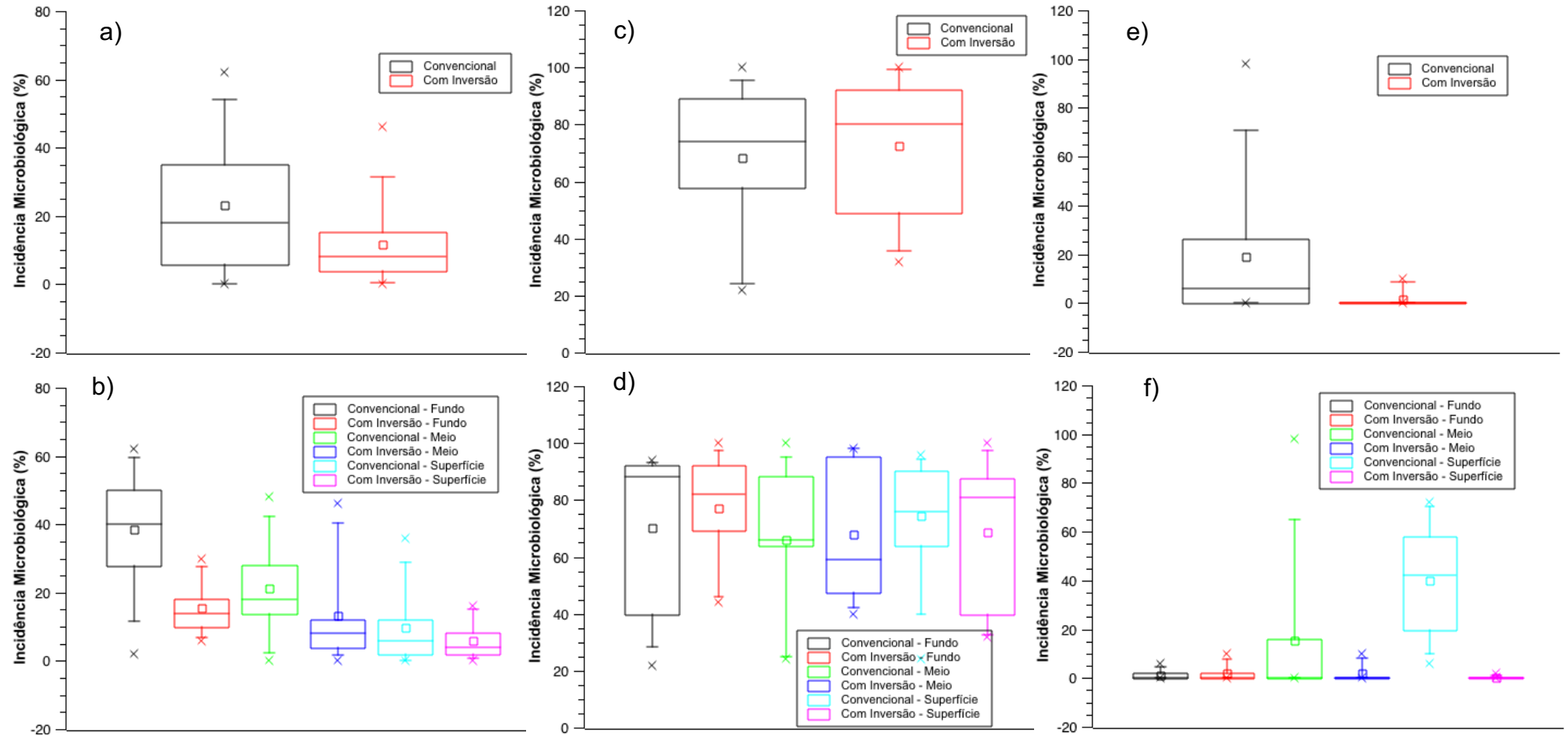
Legenda: As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Após ter sido analisada a incidência microbiológica nos frutos, foi analisada também a incidência microbiológica nos grãos beneficiados mediante as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar (FIGURA 32). Foi observado que os gêneros fúngicos que mais se desenvolveram nos grãos foram o *Cladosporium*, o *Fusarium* e o *Penicillium*.

A incidência de *Cladosporium*, o *Fusarium* e o *Penicillium* nas secagens convencional e com inversão do fluxo de ar foram de 23,11 e 11,55%; 68,42 e 72,52% e 18,81 e 1,26%. Isto indica que a secagem com inversão do sentido do fluxo de ar apresentou menores incidências microbiológicas, com exceção do gênero *Fusarium* onde sua incidência foi 4% maior que na secagem convencional.

Figura 32 – Incidência dos gêneros (a,b) *Cladosporium*, (c,d) *Fusarium* e (e,f) *Penicillium* observadas nos grãos beneficiados para as secagens convencional e com inversão do fluxo de ar.



Fonte: Do autor (2019).

5 CONCLUSÕES

- 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;
- A secagem convencional apresentou coloração mais escura que a 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*.

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. S. et al. Grau de maturação de cultivares de café de porte baixo em região de clima quente. **Coffee Science**, v. 8, n. 2, p. 238-247, 2013.
- ALVES, E. **População fúngica associada ao café (*Coffea arabica* L.) beneficiado e às fases pré e pós-colheita: relação com a bebida e local de cultivo**. Lavras: UFLA, 1996. 56 p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia).
- AMEYU M. A. Influence of harvesting and postharvest processing methods on the quality of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) in Eastern Ethiopia. **ISABB Journal of Food and Agricultural Sciences**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2017.
- AMORIM, H. V.; SILVA, O .M. Relationship between the polyfonoloxidase activity of coffee beans and quality of the beverage. **Nature**, v. 219, n. 5152, p. 381-382, 1968.
- ANDRADE E. T. et al. Modelagem matemática e qualidade imediata e latente do café natural imaturo em diferentes condições de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 3.
- ARAÚJO, W. S.; FRANCO JÚNIOR, K. S. Avaliação da qualidade sensorial do café submetido a diferentes processamentos e secagem. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA. 2017. **Anais...** Ponta Grossa, UEPG, 2017.
- AVENA-BUSTILLOS et al. Optimization of edible coating on minimally processed carrots using response surface methodology. **Transaction of the ASAE**, v.36, n.3, p.801- 05, 1993.
- BASTOS, S. C. et al. Pectinases from a new strain of *Cladosporium cladosporioides* (Fres.) De Vries isolated from coffee bean. **World Journal of Agriculral Sciences**, v. 9, p. 167-172, 2013.
- BENNETT J. W. An overview of the genus *Aspergillus*. In: MACHIDA, M.; GOMI, K., Eds. **Aspergillus: Molecular Biology and Genomics**. Poole: Caister Academic Press, p. 1-16, 2010.
- BERBERT, P. A. et al. Drying of coffee (*Coffea arabica* L.) in a fixed bed with a simulated periodic airflow reversal. **Journal of agricultural engineering research**, v. 59, n. 3, p. 195-202, 1994.
- BERGER-SCHUNN, A. **Practical color measurement**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 192p.
- BILLMEYER, F. W.; SALTZMAN, M. **Principles of color technology**. John Wiley & Sons: New York; 1981, 240 p.
- BITANCOURT, A. A. As fermentações e podridões da cereja de café. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, v. 32, n. 1, p. 7-14, 1957.

BORÉM, F. M. et al. Quality of natural and washed coffee after drying on ground and with high temperature. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, 2008.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. de. Secagem do café. In: _____, F. M. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, p. 205-240, 2008.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grain and oilseeds**. New York: The AVI Publishing, 1992. 450 p.

CAMARGO, R. **Cultura cafeeira**: visando qualidade. São Paulo, s. ed. 1936. 141 p.

CAMPOS, A.T. **Desenvolvimento e análise de protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.), com sistema de revolvimento mecânico**. 1998. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CAMPOS, A.T. et al. 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**, Viçosa, v. 7, n.2, p. 88-105, 1999.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. D.; SOUZA, S. D. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, v. 187, p. 5-20, 1997.

CARVALHO, V. D.; CHALFOUN, S. M. Aspectos qualitativos do café. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 126, p. 79-92, 1985.

CARVALHO, V. D.; CHALFOUN, S. M.; CHAGAS, de R. Relação entre classificação de café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 15, 1989, Maringá. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC, p. 25-26.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; PERES, L.E.P. **Manual de fisiologia vegetal**: teoria e prática. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2005. 650 p.

CHALFOUN S. M. et al. Seletividade de fungicidas cúpricos e sistêmicos sobre o fungo *Cladosporium cladosporioides* em cafeeiro. **Summa Phytopathol**, v.33, n. 1, p. 93-95, 2007.

CHALFOUN, S.; CARVALHO, V.; AZEVEDO, P.; CARVALHO, V. Efeito de tratamentos com fungicidas aplicados na fase pré-colheita, sobre a qualidade do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 18, 1992, Araxá. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC, p. 25-26.

CORADI, P. C.; LEMES, A. F. C. Validation of an experimental prototype of thick-layer fixed bed dryer and determination of the quality of the dried soybean grains. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, 2018.

CORRÊA, P. C. et al.; Efeito da temperatura de secagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n. 5, p. 22-27, 2002. Edição Especial Café.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; PINTO, F. A. C. Efeito da temperatura de secagem na cor dos grãos de café pré-processado por “via seca” e “via úmida”. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 5, p. 22-27, 2002.

CORRÊA, P.C; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M; TRETO, P. C.; ALVES E.A. Propriedades físicas e químicas interferentes na pós-colheita do café. In: MARCOLAN, A.L; ESPINDULA, M.C.(Org.) **Café na Amazônia**. Brasília, DF : Embrapa, 2015. p. 400-424.

CULLIAO A. G.; BARCELO J. M. Fungal and mycotoxin contamination of coffee beans in Benguet province, Philippines. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 32, n. 2, p. 250-260, 2015.

DAS, S. K.; CHAKRAVERTY, A. Grain drying systems. In: CHAKRAVERTY, Amalendu; MUJUMDAR, Arun S.; RAMASWAMY, Hosahalli S. (Ed.). **Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea, and spices**. CRC Press, p. 139-182, 2003.

DAVILA, Sergio I.; CHEN, L. H.; WELCH, G. B. Simulation model for reversing direction airflow drying of rough rice. **Transactions of the ASAE**, v. 26, n. 6, p. 1842-1848, 1983.

DELIZA, R. et al. Efeito do PVA na preferência da bebida de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Londrina, PR. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2005, 4p.

DJOSSOU O. et al. Fungal population, including Ochratoxin A producing *Aspergillus* section *Nigri* strains from Ivory Coast coffee bean. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 26, p. 2576-2589, 2015.

DONZELES, S. M. L. et al. Técnicas para processamento de café e inovações tecnológicas acessíveis para produção de café com qualidade. Belo Horizonte: **Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais**, 2008. (Boletim técnico nº 83).

FAVARIN, J. L. et al. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetidos a diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 187-192, 2004.

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

FIROUZI, S.; ALIZADEH, M. R.; HAGHTALAB, D. Energy consumption and rice milling quality upon drying paddy with a newly-designed horizontal rotary dryer. **Energy**, v. 119, p. 629-636, 2017.

FREIRE, A. C.; MIGUEL, A. C. Rendimento e qualidade do café colhido nos diversos estádios de maturação em Varginha-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, Caxambu, 1985. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1985.

GRANDI, A. M. D. **Avaliação da eficiência de secagem de café (*Coffea arabica* L.), em secador de camada fixa vertical com revolvimento mecânico.** 1999. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

GRECO, M.; CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S. Variação de diferentes tempos de revolvimento em secador de camada fixa para café. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 577-583, 2010.

HASHIMOTO, R. et al. "Mycotoxin contamination of Vietnamese coffee beans caused by *Aspergillus* sections *Nigri* and *Circumdati*." **マイコトキシン**, v. 65, n. 1, p. 1-6, 2015.

HUNG, N. V. et al. Development and verification of a simulation model for paddy drying with different flatbed dryers. **Plant Production Science**, v.22, n. 1, p. 119-130, 2018.

HUNTER, R. S.; HAROLD, R. W. **The measurement of appearance.** New York: John Wiley & Sons, 1987.

IAMANAKA B. T. et al. Reprint of "The mycobiota of coffee beans and its influence on the coffee beverage". **Food research international**, v. 61, p. 33-38, 2014.

IBRAHIM, M. N. et al. Effects of airflow reversal in fixed-bed drying of rough rice on head rice yield and drying performance. **Transactions of the ASABE**, v. 56, n. 4, p. 1485-1493, 2013.

ISQUIERDO, E. P., et al. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio de frutos imaturos de café arábica processados por via seca e via umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 36, Guarapari, 2010. **Resumos...** Rio de Janeiro, 2010. p. 274-296.

JIA, C. et al. Effect of swing temperature and alternating airflow on drying uniformity in deep-bed wheat drying. **Applied Thermal Engineering**, v. 106, p. 774-783, 2016.

KRUG, H. P. Cafés duros. **Revista do Instituto do Café**, v.25,p.636- 638,1941.

LACERDA, L. A. O. et al. Influência dos sistema de colheita e preparo, na qualidade do café, nas diferentes regiões cafeeiras do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, Caxambu, 1985. **Resumos...** Rio de Janeiro, 1985. p. 210-214.

LI, S. et al. Grain dryer temperature field analysis. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 231, n. 1, p. 1-9, 2017.

LÓPEZ, I. I. et al. Mathematical modeling and simulation of batch drying of foods in fixed beds with airflow reversal. **Journal of food engineering**, v. 89, n. 3, p. 310-318, 2008.

MACDOUGALL, D. B. **Colour in food**: improving quality, New York: CRC Press. 2002, 366 p.

MEIRELLES, A. M. A. **Ocorrência e controle da microflora associada aos frutos de café (*Coffea arabica* L.) provenientes de diferentes localidades do estado de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 1990. 71 p. (Dissertação – Mestrado em Fitotecnia).

MESQUITA, C. D. et al. **Manual do café: Colheita e preparo (*Coffea arabica* L.)**. Belo Horizonte: EMATER-MG. 2016.

MISLIVEC, P. B.; BRUCE, V. R.; GIBSON, R. Incidence of toxigenic and other molds in green coffee beans. **Journal of Food Protection**, v. 46, n. 11, p. 969-973, 1983.
MORAIS et al., 2007

NASANIT R.; SATAYAWUT K. Microbiological study during coffee fermentation of *Coffea arabica* var. chiangmai 80 in Thailand. **Kasetsart J Nat Sci.**, v. 49, p. 32-41, 2015.

OLIVEIRA, G. et al. Influence of temperature and water activity on Ochratoxin A production by *Aspergillus* strain in coffee south of Minas Gerais/Brazil. **LWT**, v. 102, p. 1-7, 2019.

OLIVEIRA, P. D. et al. Quality of natural and pulped coffee as a function of temperature changes during mechanical drying. **Coffee Science**, v. 13, n. 4, p. 415-425, 2018.

Oliveros-Tascón CE, Sanz-Urbe JR. Ingeniería y café en Colombia. **Revista de Ingeniería**, v. 33, p. 99-114, 2011.

OLIVEROS, C. E.; PINHEIRO FILHO, J. B. Simulación de secado de café en capa fija con inversión del sentido de flujo del aire. **CENICAFE**, v. 36, n. 1, p. 3-21, 1985.

PASSAMANI, F. R. et al. Effect of temperature, water activity, and pH on growth and production of ochratoxin A by *Aspergillus niger* and *Aspergillus carbonarius* from Brazilian grapes. **Journal of food protection**, v. 77, n. 11, p. 1947-1952, 2014.

PEREIRA, R. T. G. **Influência de *Cladosporium cladosporioides* na qualidade da bebida do café**. Lavras: UFLA, 2002. 71 p. (Dissertação – Mestrado em Fitopatologia).

PERRONE G.; GALLO, A. *Aspergillus* species and their associated mycotoxins. **Mycotoxigenic Fungi**, p. 33-49, 2017.

PIMENTA C. J.; VILELA E. R. Composição microbiana e ocratoxina A no café (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes tempos de espera antes da secagem. **Ciência e agrotecnologia**, v. 27, n. 6, p. 1315-1320, 2003.

PIMENTA C. J.; VILELA E. R. Efeito do tipo e época de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. 2005. **Anais...** Brasília, Embrapa Café, 2005.

PIMENTA, C. J.; VILELA, T. C. Efeito de diferentes porcentagens de grãos brocados no rendimento e atividade da polifenoloxidase em café (*Coffea arabica* L.) da região de Três Pontas, MG. **Revista da Universidade de Alfenas**, v. 5, p. 179-184, 1999.

PIMENTA, C. J. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de frutos colhidos em quatro estádios de maturação**. Lavras: UFLA, 1995. 94 p. (Dissertação – Mestrado em Ciência dos Alimentos).

REINATO, C. H. et al. Qualidade do café secado em terreiros com diferentes pavimentações e espessuras de camada. **Coffee Science**, v. 7, n. 2, p. 223-237, 2012.

REINATO, C. H. et al. Consumo de energia e custo de secagem de café cereja em propriedades agrícolas do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 6, n.1, p.112-116, 2002.

REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da; CARVALHO, G. R. (Ed.). **Café arábica da pós-colheita ao consumo**. Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2011. v. 2. 734 p.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 126, p. 26-40, 1985.

RESENDE, O. et al. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 189-196, 2009.

RIOS, P. A. **Origem de defeito preto-verde na secagem artificial de cafés imaturos para diferentes condições de temperatura de bulbo seco e temperatura de ponto de orvalho**. Lavras: UFLA, 2019. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Agrícola).

SABBAH, M. A. et al. Simulation studies of reversed-direction air-flow drying method for soybean seed in a fixed bed. **Transactions of the ASAE**, v. 22, n. 5, p. 1162-1166, 1979.

SAES, M. S.; ESCUDEIRO, F. H.; SILVA, C. L. Estratégia de diferenciação no mercado brasileiro de café. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios-RBGN**, v. 8, n. 21, p. 24-32, 2006.

SCHMIDT, H. et al. Utilization of AFLP markers for PCR-based identification of *Aspergillus carbonarius* and indication of its presence in green coffee samples. **Journal of Applied Microbiology**, v. 97, n. 5, p. 899-909, 2004.

SCUSSEL, V.M. Fungos em grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. (ed). **Armazenagem de grãos**. Campinas : IBG, 2002. p.675-804.

SHAW, P. J. Fungi, fungivores and fungal food webs. In: CARROL, G. C.; WICKLOW, D.T. (eds.) **The fungal community: its organisation and role in the ecosystem**. pp. 295–310.

SILVA, C. F. et al. Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. **International journal of food microbiology**, v. 6, n. 2, p. 251-60, 2000.

SILVA, T.V. et al. Prediction of black, immature and sour defective beans in coffee blends by using Laser - Induced Breakdown Spectroscopy. **Food chemistry**, v. 278, p. 223-227, 2019.

SILVA, D. I. S.; SOUZA, G. F. M. V.; BARROZO, M. A. S. Heat and mass transfer of fruit residues in a fixed bed dryer: Modeling and product quality. **Drying Technology**, p. 1-7, 2018.

SILVA, J. D. S. et al. **Infraestrutura Mínima para Produção de Café com Qualidade - A Opção para a Cafeicultura Familiar**. Viçosa: *Aprenda Fácil*, 2011. 64 p.

Silva, J. D. S. et al. Secador rotativo intermitente: projeto, construção e uso. **Comunicado Técnico Embrapa**, n. 5, 2014. 15 p.

SIQUEIRA, V. C. et al. Drying of hulled naturally processed coffee with high moisture content and its impacts on quality. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 31, p. 2903-2911, 2016.

SMITH, S. G. **Tower grain dryer**. U.S. Patent n. 9,062,915, 23 jun. 2015.

SOUZA, G. F. M. V. et al. Simultaneous heat and mass transfer in a fixed bed dryer. **Applied Thermal Engineering**, v. 90, p. 38-44, 2015.

SUÁREZ-QUIROZ, M. et al. Study of ochratoxin A-producing strains in coffee processing. **International journal of food science & technology**, v. 39, n. 5, p. 501-507, 2004.

TADO, C. J. M. et al. Development and promotion of the reversible airflow flatbed dryer in the Philippines. **Annals of Tropical Research**, v. 37, n. 1, p. 97-109, 2015.

TANIWAKI, M. H.; PITT, J. I.; MAGAN, N. *Aspergillus* species and mycotoxins: occurrence and importance in major food commodities. **Current Opinion in Food Science**, v. 23, p. 38-43, 2018.

TEIXEIRA, A. A. Como preparar um bom café. **Revista Illycaffé**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 3-5, 1995.

TIPPAYAWONG, N.; TANTAKITTI, C.; THAVORNUN, S. Energy efficiency improvements in longan drying practice. **Energy**, v. 33, n. 7, p. 1137-1143, 2008.

TSEGAYE, B. et al. The Influence of sun drying methods and layer thickness on the quality of lowland Arabica coffee varieties at Gomma I, Southwestern Ethiopia. **Research Journal of Agriculture and Environmental Management**, v. 3, n. 11, p. 547-554, 2014.

URBANO, G. R. et al. Occurrence of ochratoxin A – producing fungi in raw Brazilian coffee. **Journal of food protection**, v. 8, p. 1226-1230, 2001.

VIEIRA, G. **Secagem intermitente de café (*Coffea arabica* L.) em secadores de fluxo cruzado e em secador experimental de camada fixa**. Lavras: UFLA, 1994. 107 p. (Dissertação – Mestrado em Ciencia dos Alimentos).

WYSZECKI, G.; STILES, W. S. **Color science**. New York: John Wiley & Sons; 1982, 248 p.

ANEXOS

Tabela 05 – Resumo da análise de variância dos valores obtidos da coordenada L*, para os grãos de café beneficiados, coletados de diferentes camadas e diferentes manejos do secador.

F.V.	G.L.	Q.M.	F
Secagem (s)	1	295,8377	20,890*
Camada (c)	2	377,439	2,665*
s x c	2	154,5446	10,913*
Erro	313	14,1616	
Total	318		

CV = 9,53%

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 07 – Resumo da análise de variância dos valores obtidos da coordenada a*, para os grãos de café beneficiados, coletados de diferentes camadas e diferentes manejos do secador.

FV	GL	QM	F
Secagem (s)	1	14,6412	20,310*
Camada (c)	2	5,1291	7,115*
s x c	2	2,4784	3,433*
Erro	313	0,7209	
Total	318		

CV = 60,69%

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 09 – Resumo da análise de variância dos valores obtidos da coordenada b*, para os grãos de café beneficiados, coletados de diferentes camadas e diferentes manejos do secador.

FV	GL	QM	F
Secagem (s)	1	6,4452	1,658
Camada (c)	2	2,7024	0,695
s x c	2	2,3859	0,614
Erro	313	3,8885	
Total	318		

CV = 15,60%

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 10 – Resumo da análise de variância da porcentagem do gênero *Cladosporium* spp. em função da camada e do tipo de secagem.

F.V.	G.L.	Q.M.	F
Secagem (s)	1	7484,4550	24,055*
Camada (c)	2	1771,5600	5,694*
s x c	2	564,4738	1,814 ^{n.s.}
Erro	90	311,1423	
Total	95		
CV = 22,07%			

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 11 – Resumo da análise de variância da porcentagem da Seção *Circumdati* em função da camada e do tipo de secagem.

F.V.	G.L.	Q.M.	F
Secagem (s)	1	291,3712	4,411*
Camada (c)	2	40,7555	0,617 ^{n.s.}
s x c	2	43,0781	0,652 ^{n.s.}
Erro	90	66,0545	
Total	95		
CV = 32,68%			

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 12 – Resumo da análise de variância da porcentagem do gênero *Fusarium* em função da camada e do tipo de secagem.

F.V.	G.L.	Q.M.	F
Secagem (s)	1	5985,3333	15,749*
Camada (c)	2	268,5926	0,707 ^{n.s.}
s x c	2	144,4444	0,380 ^{n.s.}
Erro	90	380,0523	
Total	95		
CV = 22,74%			

Fonte: Do autor (2019).