

BRUNA LOURENÇO NOGUEIRA

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO CAFÉ
(*Coffea arabica* L.) NATURAL E DESCASCADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009**

BRUNA LOURENÇO NOGUEIRA

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO CAFÉ
(*Coffea arabica* L.) NATURAL E DESCASCADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título *Magister Scientiae*.

Aprovada: 27 de julho de 2009.

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho
(Co-Orientador)

Prof^a Lêda Rita D'Antonino Faroni

Prof. Jadir Nogueira da Silva

Dr. Sérgio Maurício Lopes Donzeles

Prof. Paulo Cesar Corrêa
(Orientador)

A Deus,

Aos meus pais, Ailton e Janete,

Aos meus irmãos, Matheus e Júnior.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida, meu refúgio e fortaleza.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Ao Prof. Paulo Cesar Corrêa, pela orientação, ensinamentos e amizade.

Ao Prof. Paulo Roberto Cecon, pela valiosa contribuição nas análises estatísticas e sugestões apresentadas.

Ao Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho, pela amizade, auxílio e sugestões.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos transmitidos ao longo do mestrado.

Aos amigos da Pós-Graduação pelo apoio e conhecimentos compartilhados.

Aos funcionários e amigos do Centreinar, em especial ao Prof. Tetuo Hara, pelos ensinamentos.

Aos amigos do Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação da Qualidade de Produtos Agrícolas, em especial aos amigos Ana Paula, Silvia, Gabriel, Fernando, Fábria, Aline e Fernanda, pela agradável convivência e apoio na condução deste trabalho.

Aos meus queridos pais, Ailton e Janete, pelo amor, apoio, e por não medirem esforços pra que eu chegasse até aqui.

Aos meus irmãos, Matheus e Júnior, pelo carinho e incentivo.

Ao Alex, pelo companheirismo e apoio incondicional.

Às amigas de república, Mari, Aline e Quel, por serem minha segunda família aqui.

Aos amados amigos e irmãos da Igreja Cristã Maranata de Viçosa e Muriaé, pelo cuidado, carinho e orações.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que essa importante etapa da minha vida se concretizasse.

BIOGRAFIA

BRUNA LOURENÇO NOGUEIRA, filha de Ailton Antunes Nogueira e Janete Lourenço Nogueira, nasceu em Muriaé, Minas Gerais, em 25 de março de 1983.

Em abril de 2002, iniciou o curso de Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, graduando-se em agosto de 2007. No período de setembro de 2004 a setembro de 2005, foi bolsista do programa CAPES-BRAFITEC para a realização de um ano de estudos na École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires – Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, França.

Em agosto de 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2009.

SUMÁRIO

NOMENCLATURA	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
CAPÍTULO 1. Influência do teor de água e do estágio de maturação na taxa respiratória do café (<i>Coffea arabica</i> L.)	10
1.1. INTRODUÇÃO	10
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	12
1.2.1. Matéria- prima	12
1.2.2. Secagem	13
1.2.3. Determinação da taxa respiratória	13
1.2.4. Perda de matéria seca	14
1.2.5. Análise estatística	14
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
1.3.1. Taxa respiratória e perda de matéria seca do café em diferentes estágios de maturação	15
1.3.2. Taxa respiratória e perda de matéria seca do café cereja natural e descascado	19
1.4. CONCLUSÕES	23
1.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
CAPÍTULO 2. Influência do período de armazenamento na taxa respiratória e perdas quantitativas e qualitativas do café (<i>Coffea arabica</i> L.) submetido a diferentes processamentos pós-colheita	26

2.1. INTRODUÇÃO	26
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	28
2.2.1. Teor de água	29
2.2.2. Detecção de fungos	29
2.2.3. Integridade das membranas celulares.....	29
2.2.4. Determinação da taxa respiratória.....	30
2.2.5. Perda de matéria seca	31
2.2.6. Massa específica aparente	31
2.2.7. Determinação dos índices de cor.....	31
2.2.8. Determinação do pH	32
2.2.9. Análise estatística.....	32
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
2.3.1. Teor de água	33
2.3.2. Monitoramento do desenvolvimento de fungos	35
2.3.3 Integridade das membranas celulares.....	37
2.3.4. Taxa respiratória.....	40
2.3.4.1. Taxa respiratória do café natural e descascado durante o armazenamento	40
2.3.4.2. Taxa respiratória do café beneficiado durante o armazenamento	43
2.3.5. Perda de matéria seca	44
2.3.5.1. Perda de matéria seca do café natural e descascado durante o armazenamento ..	44
2.3.5.2. Perda de matéria seca do café beneficiado durante o armazenamento	47
2.3.6. Massa específica aparente	49
2.3.7. Determinação dos índices de cor.....	51
2.3.7.1. Evolução da coordenada L	51
2.3.7.2. Evolução da coordenada a	54
2.3.7.3. Evolução da coordenada b	56
2.3.7.4. Evolução dos índices cromáticos hue e CCI.....	57
2.3.8. Determinação do potencial hidrogênionico - pH	61
2.4. CONCLUSÕES	64
2.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
APÊNDICE	69

NOMENCLATURA

- PL*: café descascado secado em estufa a 40 °C;
- PT*: café descascado secado em terreiro;
- CL*: café natural secado em estufa a 40 °C;
- CT*: café natural secado em terreiro;
- b.u.*: base úmida;
- b.s.*: base seca;
- U*: teor de água, % (b.u.);
- TR*: taxa respiratória, $\text{mg}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{ms}}^{-1} \text{h}^{-1}$;
- TA*: tempo de armazenamento, dias;
- G*: consumo de matéria seca, $\text{g}_{\text{ms}} \text{kg}_{\text{ms}}^{-1} \text{dia}^{-1}$;
- T_{0,5%}*: tempo de armazenamento antes do consumo de 0,5 % da matéria seca, dias;
- PMS*: porcentagem de perda de matéria seca, %;
- m*: massa de matéria seca de mil grãos;
- CE*: condutividade elétrica, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$;
- ρ*: massa específica, kg m^{-3} ;
- L*: coordenada L da cor dos grãos;
- a*: coordenada a da cor dos grãos;
- b*: coordenada b da cor dos grãos;
- °h*: ângulo de cor hue;
- CCI*: índice cromático arbitrário;
- CV*: coeficiente de variação, %.

Subscritos

ms: matéria seca;

ap: aparente;

t: dado instante de tempo.

RESUMO

NOGUEIRA, Bruna Lourenço, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2009.
Características físicas, químicas e biológicas do café (*Coffea arabica* L.) natural e descascado. Orientador: Paulo Cesar Corrêa, Co-Orientadores: Adílio Flauzino de Lacerda Filho e Paulo Roberto Cecon.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência do teor de água, estágio de maturação e período de armazenamento na taxa respiratória e perda de matéria seca do café (*Coffea arabica* L.). Na primeira parte do experimento, foram utilizados frutos do cafeeiro, variedade Catuaí Vermelho, colhidos em diferentes estádios de maturação (verde, verdoengo e cereja), secados em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C até atingirem os teores de água desejados, que variaram de 55 a 12 % (b.u.) Uma parte dos frutos, no estágio de maturação cereja, foi descascada manualmente e secada até teores de água que variaram de 30 a 12 % (b.u.) As amostras foram pesadas e acondicionadas em frascos de vidro e a taxa respiratória mensurada, por meio da determinação da quantidade de dióxido de carbono produzido por hora, a 25 °C, em respirômetro marca *Sable Systems International*. De posse dos valores de produção de CO₂, o consumo de matéria seca foi determinado por estequiometria a partir da equação da respiração ($C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2835kJ$). Para a segunda parte deste trabalho, amostras de café no estágio cereja, natural e descascado, foram secadas em estufa a 40 °C e em terreiro de cimento até atingirem o teor de água de 11 % (b.u.). As amostras foram homogeneizadas, embaladas em sacos de juta e mantidas em condições ambiente. No início do armazenamento e em intervalos regulares de 45 dias, durante seis meses, foram realizadas as análises de determinação da taxa respiratória, perda de matéria seca (por estequiometria e pela

metodologia da massa de mil grãos), teor de água, massa específica aparente, detecção de fungos, condutividade elétrica, cor e pH. A partir dos resultados obtidos observou-se, para todas as amostras, incremento da taxa respiratória e da perda de matéria seca em função do aumento do teor de água do café. Para os teores de água acima de 15 % (b.u.) este aumento foi ainda mais pronunciado. No café verde observaram-se os maiores valores de produção de CO₂, seguido pelos cafés nos estádios verdoengo e cereja, respectivamente. A partir da técnica de identidade de modelos, concluiu-se não haver diferença entre os modelos utilizados para descrever a evolução da taxa respiratória do café natural e descascado, podendo ser utilizada uma única equação para representá-la. Com relação ao armazenamento, os teores de água dos grãos mantiveram-se dentro da faixa aceitável para uma armazenagem segura (entre 11 e 13 % (b.u.)). A infecção por fungos foi considerada baixa durante todo o período avaliado. Houve aumento na taxa respiratória e na perda de matéria seca do café com o prolongamento do tempo de armazenagem, mais acentuado para o café natural. Os valores de perda de matéria seca, calculados a partir da taxa respiratória, foram inferiores aos observados durante o armazenamento. De modo geral, o café descascado apresentou as melhores características de qualidade (menores valores de condutividade elétrica, pH, perda da coloração verde, perda de massa seca), relacionadas à menor taxa respiratória. Não foram observadas diferenças na taxa respiratória e perda de matéria seca quanto ao método de secagem empregado. Houve variação no comportamento das outras características avaliadas em relação ao método de secagem, não permitindo a escolha de uma delas como a que proporcionasse um produto de qualidade superior.

ABSTRACT

NOGUEIRA, Bruna Lourenço, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, July, 2009.
Physical, chemistry and biological characteristics of natural and dehulled coffee (*Coffea arabica* L.). Adviser: Paulo Cesar Corrêa, Co-Advisers: Adílio Flauzino de Lacerda Filho and Paulo Roberto Cecon.

The aim of this work was to evaluate the influence of moisture content, maturity stage and storage period over the respiration rate and dry matter loss of coffee (*Coffea arabica* L.). In the first stage of the experiment, coffee fruits were utilized, variety “Catuaí Vermelho”, harvested in different maturity stages (green, “verdoengo” and cherry), dried in a forced air circulation chamber at 40 °C until the desired moisture contents, which varied between 55 to 12 % (w.b.). A portion of the fruits, in the cherry stage, were manually dehulled and dried until moisture content range from 30 to 12 % (w.b.). The samples were weighed and conditioned in glass jars and the respiration rate was measured, through the determination of the carbon dioxide quantity produced in an hour, at 25 °C, in a respirometer brand *Sable Systems International*. The values of CO₂ production were used to determine the consumption of dry matter through stoichiometry of the respiration equation ($C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2835 \text{ kJ}$). On the second part of this work, coffee samples in cherry stage, fruit and dehulled, were dried in an oven at 40 °C and in cement yard until moisture content of 11 % (w.b.). The samples were homogenized, packed in jute sacks and kept under environmental conditions. At the beginning of storage and regular intervals of 45 days, during six months, analysis of the respiration rate, dry matter loss (through stoichiometry and weight of a thousand grains methodology), moisture content, bulk density, fungi detection, electrical conductivity, color and pH were made. Through the

obtained results, all samples had an increment in the respiration rate and dry matter loss in function of the moisture content. To moisture contents above 15 % (w.b.), this increase was more pronounced. The green coffee presented the highest values of CO₂ production, followed by “verdoengo” and cherry coffee, respectively. By means of the model identity technique, it was concluded that the models to describe the respiration rate evolution of coffee fruit and dehulled did not differ among each other, being able to use a single equation to represent this trend. Regarding the storage, moisture contents of grain was maintained among the acceptable range of a secure storage (between 11 to 13 % (w.b.)). The fungi infection was considered low during the evaluated period. An increase of the respiration rate and dry matter loss of coffee occurred with the increase of the storage time, being more accentuated in the natural coffee. Values of dry matter loss calculated through the respiration rate were inferior than the observed values during storage. In general, dehulled coffee presented the best quality characteristics (lower values of electrical conductivity, green color loss and dry matter loss, higher values of pH and bulk density), related to the lower respiration rate. It wasn't observed differences in the respiration rate and dry matter loss regarding to the drying method employed. There were variations at the behavior of the remaining evaluated characteristics relating to the drying method, not allowing the choice of one of them to proportionate a product with superior quality.

INTRODUÇÃO GERAL

O café é um dos produtos agrícolas brasileiros mais importantes no mercado internacional. O Brasil é o maior produtor e exportador deste produto. Em 2007, a produção nacional foi de 33,7 milhões de sacas, correspondendo a 29,15 % da produção mundial, tendo exportado 28 milhões (MAPA, 2008). De acordo com levantamentos realizados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2009), a safra de 2008 foi estimada em 45,99 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, superior à safra anterior em 27,5 %. A produção do café arábica representa 77,2 % da produção do país, tendo como maior produtor o Estado de Minas Gerais com 66,4 %.

Tendo em vista a sazonalidade da sua produção e o consumo ao longo de todo o ano e em diferentes localidades, o armazenamento do café passa a ser uma etapa importante sob o aspecto de comercialização.

O principal objetivo da armazenagem de grãos é propiciar meios de manutenção, durante o período de estocagem, das características biológicas, químicas e físicas que os mesmos possuíam imediatamente após a colheita.

As perdas pós-colheita possuem significativa importância para o abastecimento alimentar mundial e podem representar entre 5 % e 10 % da produção global de grãos de cereais e sementes oleaginosas, conforme Richard-Molard, citado por Tripples (1995). Enquanto as maiores perdas resultam de infestações por insetos-praga, microrganismos, roedores e pássaros, uma pequena, mas importante parte do total de perdas resulta da respiração dos grãos e conseqüente deterioração gradual da viabilidade, da qualidade nutritiva e das propriedades para o seu uso final, durante a armazenagem (POMERANZ, 1992).

O armazenamento do café sob condições inadequadas é considerado um dos principais fatores determinantes de perdas qualitativas e quantitativas (COELHO et al., 2001). A perda de matéria seca, associada à atividade respiratória dos grãos, pode estar intimamente relacionada à sua perda qualitativa.

A respiração é um processo que continua mesmo após os grãos terem sido colhidos. Esse fenômeno é necessário para que o grão se mantenha vivo. Em grãos armazenados, o processo respiratório deve ser mantido em nível tão baixo quanto possível para que haja melhor conservação quantitativa e qualitativa.

Stiles & Leach, citados por Sorour & Uchino (2004), verificaram que, em condições aeróbicas, os carboidratos foram o principal grupo de compostos utilizados na respiração. Gorduras e proteínas são utilizadas somente quando esses não estão mais disponíveis.

De acordo com a equação da combustão completa da glicose, a produção de 14,67 g de CO₂ por kg de matéria seca dos grãos é equivalente a 1 % da perda de matéria seca. A taxa respiratória e, por conseguinte, a produção de água, aumenta o teor de água do grão e, juntamente com o calor produzido, favorece o desenvolvimento de fungos e a deterioração do produto (PRONYK et al., 2004). Desta forma, a produção de CO₂ apresenta um potencial para ser utilizado como indicador dos níveis de microflora e deterioração presente nos grãos.

Métodos tradicionalmente usados para determinar a deterioração e a armazenabilidade dos produtos agrícolas, tais como contaminação visível, microflora presente, germinação, pH e condutividade elétrica, mostram os níveis de danos somente depois dessas alterações terem ocorrido e, muitas vezes, requerem longo tempo para a sua identificação. Com isso, a capacidade de se predizer a taxa de deterioração, bem como o tempo de armazenamento permitido até que um determinado nível de degradação seja atingido, é de extrema importância na gestão de sistemas de secagem e armazenamento de grãos.

Karunakaran et al. (2001) avaliaram a taxa de deterioração de trigo, por meio da determinação de sua capacidade de germinação, obtendo uma equação para predizê-la a partir dos valores de teor de água e da taxa respiratória do grão.

Pronyk et al. (2004) estudaram a produção de dióxido de carbono em canola com diferentes teores de água (10, 12 e 14 % (b.u.)) e armazenada sob dois regimes de temperatura (25 a 30 e 30 a 35 °C). Os ensaios foram realizados até que a germinação atingisse níveis de aproximadamente 85 %. No entanto, devido ao longo tempo requerido

para a realização dos testes, os valores finais de germinação foram, na maioria das vezes, inferiores a 85 %. A partir dos valores de produção de CO₂ e dados de temperatura e teor de água, os autores obtiveram uma equação para predição da germinação. As taxas de produção de CO₂, logo que a germinação se tornou inferior a 95 %, foram: 500 mg kg⁻¹ matéria seca dia⁻¹ a 14 % (b.u.); 192 mg kg⁻¹ matéria seca dia⁻¹ a 12 % (b.u.) e 185 mg kg⁻¹ matéria seca dia⁻¹ a 10 % (b.u.), para a canola armazenada entre 30 e 35 °C, a produção foi de 290 mg kg⁻¹ matéria seca dia⁻¹ a 14 % (b.u.) e 172 mg kg⁻¹ matéria seca dia⁻¹ a 12 % (b.u.) para a faixa de temperatura entre 25 e 30 °C. Essas taxas de produção de CO₂ foram consideradas como as máximas para a conservação da canola sob as condições descritas.

Embora outros fatores possam exercer influência sobre a conservação dos grãos, o teor de água é o elemento que comanda a qualidade do produto armazenado. Sob índices de alto teor de água, isto é, superiores a 13-14 % (b.u.), a respiração é aumentada rapidamente na maioria dos cereais e, em conseqüência, ocorre a deterioração do produto. Para se obter o armazenamento seguro, deve-se ter em vista que o principal fator reside no baixo teor de água. Grãos com alto teor de água constituem um meio ideal para o desenvolvimento de microrganismos, insetos-praga e ácaros (BROOKER et al., 1992).

Grãos e sementes, secos e com baixo nível de danificação mecânica, apresentam condições de estabilidade e baixa taxa respiratória durante a armazenagem. No entanto, o processo respiratório pode ser acelerado pela própria reação do grão, uma vez que o aumento do teor de água induz ao aumento das taxas respiratória e metabólica dos fungos, presentes na superfície e no interior destes grãos, além da energia liberada, na forma de calor, que proporciona aumento da temperatura da massa do produto (TRIPPLES, 1995).

Bailey (1940) estudou a atividade respiratória de vários grãos (trigo, milho, arroz, cevada, centeio, sorgo, aveia) com diversos teores de água e verificou que com, aproximadamente, 15 % (b.u.), os grãos passaram para uma fase de grande atividade respiratória.

Trabalhando com trigo, Karunakaran et al. (2001) verificaram que o aumento no teor de água de 12,7 para 19,0 % (b.u.) provocou um incremento na taxa de produção de CO₂ de 23 para 463 mg CO₂ kg⁻¹ matéria seca dia⁻¹. Esses autores observaram que as taxas respiratórias do trigo com 15 e 16 % (b.u.) armazenado a 25 °C permaneceram constantes por aproximadamente 45 dias, tendo um ligeiro decréscimo depois desse período, enquanto que para os teores de água de 17, 18 e 19 % (b.u.) houve aumento linear com o tempo.

Saul & Steele (1966) e Steele et al. (1969) estudaram o efeito do teor de água, temperatura e danos mecânicos na deterioração de grãos de milho por meio da produção de dióxido de carbono e concluíram que a perda de matéria seca de 0,5 % afetou negativamente a qualidade dos grãos.

Gupta et al. (1999) estudaram as relações entre a perda de matéria seca e a qualidade dos grãos de milho com diferentes teores de água e de danos mecânicos. Para tanto, os grãos permaneceram armazenados até que a perda de matéria seca atingisse os níveis desejados (0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1 %). Os autores verificaram que o produto com 18 % (b.u.) pode ter perda de matéria seca superior a 1 %, para grãos isentos de danos mecânicos, e, ainda, ser considerado de qualidade aceitável. Elevando-se o teor de água para 22 % (b.u.), com o mesmo nível de dano mecânico, a perda de matéria seca não pode ser maior que 0,25 %, para um produto final com padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

Ainda com relação à adoção de 0,5 % como sendo o máximo permissível de perda de matéria seca, pesquisas mais recentes foram desenvolvidas no sentido de se encontrar um valor aceitável. Uma dessas pesquisas foi desenvolvida por Ng et al. (1998), que estudaram o efeito de danos mecânicos na armazenabilidade de milho, determinado pela produção de CO₂ e perda de matéria seca causadas por fungos. Esses autores verificaram que o máximo permissível de perda de matéria seca para grãos de milho colhidos mecanicamente (25 a 35 % de danos mecânicos) deve ser de, aproximadamente, 0,35 %, portanto menor que o valor usualmente aceitável, que é de 0,5 %.

Trabalhando com soja com teores de água de 18, 22 e 26 % (b.u.), armazenada a 15, 20, 25 e 30 °C, Sorour & Uchino (2004) verificaram que o maior tempo necessário para se atingir a perda de matéria seca de 0,5 % (1.132 horas) ocorreu para o teor de água e temperatura mais baixos (18 % (b.u.) e 15 °C), enquanto que o menor tempo de armazenamento permitido (170 horas) foi para as amostras armazenadas com o teor de água de 26 % (b.u.) a 30 °C. Os autores observaram que, com um incremento no teor de água de 18 para 26 % (b.u.), a taxa de perda de matéria seca aumentou em 197,3; 281,0; 395,4 e 414,0 % para as temperaturas de 15, 20, 25 e 30 °C, respectivamente, além de um aumento na taxa de crescimento de microrganismos com a elevação do teor de água e da temperatura de armazenamento.

A principal função da secagem é reduzir grande parte da água contida nos frutos do cafeeiro e garantir condições seguras de armazenamento por longo tempo. Durante a secagem do café, os teores de água são reduzidos de 60 % (b.u.) para valores próximos de

11,5 % (b.u.), reduzindo-se, assim, riscos com respiração, oxidação, fermentações e desenvolvimento de fungos e bactérias.

A secagem artificial em terreiro é, ainda, o método predominante no Brasil, tendo, no seu uso exclusivo, a desvantagem de colocar em risco a qualidade final do produto, caso as condições de clima não sejam favoráveis (ocorrência de chuvas, elevada umidade relativa do ar), facilitando o desenvolvimento de microrganismos que podem ser responsáveis pela ocorrência de fermentações indesejáveis (REINATO et al., 2002). Como a secagem se processa mais lentamente, o produto fica úmido por mais tempo, aumentando o período no qual os microrganismos podem se desenvolver (PIMENTA & VILLELA, 2001).

Palacin et al. (2005) avaliaram a qualidade do café secado em terreiro convencional de cimento, em comparação com a secagem combinada, com pré-secagem em secador de leito fixo (terreiro “híbrido”), completado com a secagem em silo secador, com ar natural. Observou-se, ao final da secagem, que o café secado no sistema combinado teve maiores valores de massa específica e padrão de qualidade superior, baseado nos testes de classificação de bebida e peneiras. Estes resultados se devem, possivelmente, ao menor tempo de secagem e melhor distribuição de ar, que garantiram a uniformidade da secagem e independência das variações climáticas.

Pode-se não perceber, momentaneamente, os prejuízos causados pela operação de secagem, mas, quando o produto é armazenado durante um determinado intervalo de tempo, esses se revelam, acelerando o decréscimo da qualidade do produto (AFONSO JÚNIOR, 2001; GODINHO et al., 2000; NOBRE, 2005). O café armazenado em sua forma natural, entretanto, encontra-se protegido pela casca, podendo ser conservado por mais tempo (GODINHO et al., 2000).

A presença de fungos, além dos riscos de contaminar os grãos com micotoxinas, pode alterar a qualidade do produto, uma vez que o amplo potencial enzimático dos fungos favorece a transformação, em nutrientes, da matéria orgânica do substrato, alterando a composição química do café (BATISTA et al., 2003). Tais alterações vêm sendo estudadas, principalmente, pela análise dos parâmetros físico-químicos, dentre eles a acidez, a atividade da polifenoxidase, o índice de coloração e a condutividade elétrica (GODINHO et al. 2000; PIMENTA & VILLELA, 2001; ARÊDES, 2002).

Tanto a respiração do grão quanto a dos fungos presentes contribuem para a perda de matéria seca. Geralmente, a contribuição promovida por fungos é pequena no início do

período de armazenamento, mas como estes se desenvolvem, esta perda aumenta a uma taxa dependente do teor de água, temperatura, nível de danificação mecânica, quantidade e espécies de fungos presentes.

A produção de CO₂, causada pela respiração e presença ou não de fungos, foi estudada por Seitz et al. (1982). Os autores trabalharam com milho com alto teor de água, aproximadamente 25 % (b.u.), e verificaram que a taxa respiratória, aos nove dias de armazenamento, atingiu seu maior valor, que foi de 45 e 75 mg de CO₂ kg⁻¹ matéria seca h⁻¹, para grãos não inoculados e inoculados com fungos, respectivamente.

Em outro trabalho, Al-Yahya et al. (1993) estudaram o efeito do tratamento com fungicida em milho com alto teor de água (22 % (b.u.)) armazenado a 26 °C. As amostras tratadas necessitaram de intervalos de tempo superiores às que não tratadas em 124 e 114 %, para atingirem 0,5 e 1,0 % de perda de matéria seca, respectivamente.

Diante da importância do café para a economia brasileira e considerando que seu preço é baseado em parâmetros qualitativos, percebe-se a necessidade da realização de pesquisas nessa área, objetivando a quantificação dessas perdas e relacionando-as com as alterações na qualidade do produto. Os trabalhos publicados, relativos à redução de massa e qualidade dos produtos agrícolas durante o armazenamento, foram, em sua maioria, conduzidos em países de clima frio, havendo, portanto, a necessidade de estudos para as condições brasileiras.

A identificação e a quantificação das perdas que ocorrem no armazenamento de grãos produzirão informações importantes para a tomada de decisão e a implementação de políticas visando a minimização das mesmas. Considerando os grandes volumes de café produzidos no país, cada um por cento de perdas corresponderia a enormes prejuízos para a economia.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar as perdas quantitativas e qualitativas do café (*Coffea arabica* L), por meio do estudo da sua atividade respiratória e de suas propriedades físicas e químicas, durante o armazenamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 384 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

AL-YAHYA, S.A.; BERN, C.J.; MISRA, M.K.; BAILEY, T.B. Carbon dioxide evolution of fungicide-treated high-moisture corn. **Transaction of the ASAE**, v. 36, n. 5, p. 1417-1422, 1993.

ARÊDES, E.M. **Avaliação das perdas de matéria seca e de qualidade do café (*Coffea arabica* L.) beneficiado e armazenado em importantes municípios produtores da Zona da Mata Mineira e em Alegre-ES**. 2002. 39 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BAILEY, C.H. Respiration of cereal grains and flaxseed. **Plant Physiology**, v. 15, p. 257-274, 1940.

BATISTA, L.R.; CHALFOUN, S. M.; PRADO, G.; SCHWAN, R.F.; WHEALS, A.E. Toxigenic fungi associated with processed (green) coffee beans (*Coffea arabica* L.). **International Journal of Food Microbiology**, v. 85, p. 293-300, 2003.

BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.

COELHO, K.F.; PEREIRA, R.G.F.A.; VILELLA, E.R. Qualidade do café beneficiado em função do tempo de armazenamento e de diferentes tipos de embalagens. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 2, p. 22-27, 2001.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3_levantamento_2008.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2009.

GODINHO, R. P.; VILELA, E. R.; OLIVEIRA, G. A.; CHAGAS, S. J. R. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 1, p. 38-42, 2000.

GUPTA, P.; WILCKE, W.F.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A. Effect of dry matter loss on corn quality. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 15, n. 5, p. 501-507, 1999.

KARUNAKARAN, C.; MUIR, W.E.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; ABRAMSON, D. Safe storage of high moisture wheat. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, p. 303-312, 2001.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Informe estatístico do café 2006/2007**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 29 out. 2008.

NG, H.F.; WILCKE, W.F.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A.; LANG, J.P. Mechanical damage and corn storability. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n. 4, p. 1095-1100, 1998.

NOBRE, G.W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PALACIN, J.J.F.; LACERDA FILHO, A.F.; MELO, E.C.; SILVA, J. S.; DONZELES, S. M. Boas práticas para produzir café com qualidade. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2005, Londrina, PR. **Anais**. Brasília, DF: Embrapa - Café, 2005. 5 p.

PIMENTA, C.J.; VILELLA, E.R. Qualidade do café (*Coffea arabica* L.), lavado e submetido a diferentes tempos de amontoa no terreiro. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café n. 2, p. 3-10, 2001.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional, and nutritive changes during storage. In: SAUER, D.B. (Ed.). **Storage of cereal grains and their products**. 4. ed. St. Paul: American Association Cereal Chemistry, 1992. p. 55-118.

PRONYK, C.; MUIR, W.E.; WHITE, N.D.G.; ABRAMSON, D. Carbon dioxide production and deterioration of stored canola. **Canadian Biosystems Engineering**, v. 46, p. 325-333, 2004.

REINATO, C.H.R.; BORÉM, F.M.; VILELA, E.V.; CARVALHO, F.M.; MEIRELES, E. P. Consumo de energia e custo de secagem de café cereja em propriedades agrícolas do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 112-116, 2002.

SAUL, R.A.; STEELE, J.R. Why damaged shelled corn costs more to dry. **Agricultural Engineering**, v. 47, n. 6, p. 326-329, 1966.

SEITZ, L.M.; SAUER, D.B.; MOHR, H. E.; ALDIS, D. F. Fungal growth and dry matter loss during bin storage of high-moisture corn. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 9-14, 1982.

SOROUR, H.; UCHINO, T. Effect of changing temperature on the deterioration of soya beans. **Biosystems Engineering**, v. 87, n. 4, p. 453-462, 2004.

STEELE, J.L.; SAUL, R.A.; HUKILL, W.V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. **Transactions of the ASAE**, v. 12, n. 5, p. 685-689, 1969.

TRIPPLES, K.H. Quality and nutritional changes in stored grain. In: JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. (Ed.) **Storage-grain ecosystems**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 325-351.

CAPÍTULO 1

Influência do teor de água e do estágio de maturação na taxa respiratória do café (Coffea arabica L.)

1.1. INTRODUÇÃO

Após a colheita, para que se mantenham vivos, os frutos continuam a respirar, ficando sujeitos a contínuas transformações. Entre as alterações que se observam nos grãos armazenados, as mais importantes são aquelas que envolvem a respiração dos grãos úmidos.

A respiração celular é um fenômeno que consiste basicamente na liberação de energia química acumulada nas moléculas de diversas substâncias orgânicas como carboidratos e lipídeos. Nesse processo, verifica-se a oxidação (aeróbica ou anaeróbica) de compostos orgânicos de alto teor energético e a consequente formação de substâncias de menor conteúdo energético como gás carbônico e água (MARCOS FILHO, 2005).

A produção de dióxido de carbono pode ser convertida em perda de matéria seca dos grãos e, neste propósito, a respiração é considerada aeróbia, com a completa oxidação dos carboidratos em dióxido de carbono e água. Stiles & Leach, citados por Sorour & Uchino (2004), verificaram que, em condições aeróbicas, os carboidratos foram o principal

grupo de compostos utilizados na respiração. De acordo com a equação de combustão da glicose, um típico carboidrato, a produção de 14,7 g de CO₂ kg⁻¹ matéria seca dos grãos é equivalente a 1 % da perda de matéria seca nos grãos.

Diversos fatores podem influenciar a taxa respiratória dos grãos durante o armazenamento, como o teor de água durante a colheita, a danificação mecânica, o teor inicial de água para o armazenamento, a temperatura dos grãos e as condições climáticas (THOMPSON, 1972). No entanto, segundo Fleurat-Lessard (2002), a atividade de água do grão e, ou semente, juntamente com a temperatura, são os dois principais fatores que afetam a taxa de produção de CO₂.

Com alto teor de água, a respiração é aumentada rapidamente e, em consequência, ocorre a deterioração e maior perda de matéria seca do produto. Em grãos armazenados, o processo respiratório deve ser mantido em nível tão baixo quanto possível para que haja melhor conservação quantitativa e qualitativa.

Os elevados teores de água favorecem a taxa metabólica dos fungos presentes na superfície e no interior dos grãos. Seitz et al. (1982), trabalhando com milho com alto teor de água, relataram que a maior taxa respiratória está associada à maior presença de fungos. Em outro trabalho, Al-Yahya et al. (1993) estudaram o efeito do tratamento com fungicida em milho com teor de água de 22 % (b.u.), armazenado a 26 °C, e observaram que, para atingir 0,5 % de perda de matéria seca, foram necessários 260 dias para o milho não tratado e 330 dias para o milho tratado.

A principal função da secagem é reduzir grande parte da água contida nos frutos, garantindo condições seguras de armazenamento por longos períodos. Durante a secagem do café, os teores de água são reduzidos de 60 % (b.u.) para valores próximos de 11 % (b.u.), minimizando-se, assim, a taxa respiratória e os riscos de oxidação, fermentações e desenvolvimento de fungos e bactérias.

Existe certa dúvida sobre a continuação do amadurecimento dos frutos do cafeeiro depois da colheita. Pereira et al. (2005) estudaram a produção de etileno durante a maturação dos frutos e observaram rápido crescimento da produção em frutos verde-cana, após o final da formação do endosperma, com decréscimo nos frutos cereja, indicando haver uma fase de natureza climatérica na maturação.

Segundo Awad (1993), frutos climatéricos têm um aumento rápido e significativo da taxa respiratória durante a maturação. Puschmann (1975) estudou a respiração de fatias de pericarpo dos frutos de café, desde o estádio verde, com o fruto completamente formado,

ao maduro, e observou nos primeiros estádios que a respiração foi relativamente baixa, seguida de uma depressão e após uma ascensão na curva. O autor concluiu que os dados obtidos não indicaram um climatério por não observarem uma queda após a ascensão, característica deste tipo de frutos, sugerindo para uma posterior determinação a utilização do fruto intacto.

De acordo com Carvalho & Chalfoun (1985), durante a maturação dos frutos, principalmente na etapa de amadurecimento, em que as mudanças metabólicas são mais aceleradas, ocorrem alterações importantes nas características físicas e na composição química dos grãos. Pimenta (1995), avaliando cafés de diferentes estádios de maturação, concluiu que existe influência desta variável sobre a qualidade dos grãos, com o estágio cereja tendo as melhores características.

Considerando a importância do café para a economia nacional e a inexistência de registros na literatura que mensurem sua atividade respiratória, e consequente perda de matéria seca, objetivou-se com este trabalho:

- Verificar a influência do teor de água e do estágio de maturação dos frutos do cafeeiro na produção de CO₂;
- Comparar a atividade respiratória do café, no estágio cereja, natural e descascado;
- Quantificar a perda de matéria seca do café, ao longo do tempo, por meio da equação de respiração.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar) pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa (MG).

1.2.1. Matéria- prima

Foram utilizados frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), variedade Catuaí Vermelho, colhidos manualmente nos estádios de maturação verde, verdoengo e cereja, provenientes de uma fazenda localizada no município de Viçosa – MG.

Depois da colheita, as amostras foram conduzidas ao laboratório, onde foram eliminados os frutos deteriorados ou danificados, com o intuito de se obter um material homogêneo e de melhor qualidade. Uma parte dos frutos, no estádio cereja, foi descascada manualmente.

O teor inicial de água do café foi determinado pelo método da estufa, a 105 ± 3 °C, durante 24 horas, conforme as orientações contidas em Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

1.2.2. Secagem

Os cafês natural e descascado foram colocados em bandejas de alumínio com fundo perfurado e levadas à estufa com circulação forçada de ar, regulada a 40 °C, para a secagem até os teores de água desejados, que variaram entre 60 e 11 % (b.u.) para o café natural e 30 e 11 % (b.u.) para o café descascado. O monitoramento do teor de água durante a secagem foi realizado pelo método gravimétrico (perda de massa) utilizando uma balança analítica com resolução de 0,001 g.

Ao obterem os teores de água propostos, os cafês foram retirados da estufa e mantidos em condições ambientes até esfriarem completamente. Em seguida, foram acondicionados em sacos de papel, e estes em sacos de polietileno, e armazenados em câmara fria a 5 °C, a fim de se manter as características do produto.

1.2.3. Determinação da taxa respiratória

A taxa respiratória foi mensurada, por meio da determinação da quantidade de dióxido de carbono produzido por hora, a 25 °C, em respirômetro do tipo TR3C equipado com um analisador de CO₂ (*Sable Systems International*, Las Vegas, EUA).

Os cafês foram retirados da câmara fria e deixados expostos à temperatura ambiente por aproximadamente 12 horas, visando atingir o equilíbrio térmico. Em seguida, foram pesados e devidamente acondicionados em frascos de vidro, conectados a um sistema completamente fechado, onde o CO₂ produzido pelas amostras ($\mu\text{mL}_{\text{CO}_2} \text{h}^{-1}$) é varrido por um fluxo de ar isento de CO₂ e mensurado por um leitor infravermelho de CO₂ conectado ao sistema. Os testes foram realizados com quatro repetições de aproximadamente 25 g de produto por amostra. Os resultados obtidos foram convertidos para $\text{mg}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{ms}}^{-1} \text{h}^{-1}$.

1.2.4. Perda de matéria seca

Com os resultados da produção de CO₂, o consumo de matéria seca dos grãos devido à respiração foi determinado por estequiometria a partir da Equação 1.1, que apresenta a combustão completa de um típico carboidrato, a glicose.



Segundo Steele et al. (1969) esta é uma simplificação do processo de respiração total, mas permite computar a perda de matéria seca aproximada com razoável segurança.

De acordo com esta equação, para cada 180 g de matéria seca (C₆H₁₂O₆) consumida há produção de 264 g de CO₂, 108 g de H₂O e 2835 kJ de calor, considerando a completa oxidação dos carboidratos durante a respiração aeróbica.

Assim, o consumo de matéria seca (G) foi calculado de acordo com a Equação 1.2:

$$G = 0,0164 \times \text{TR} \quad (1.2)$$

em que:

G: consumo de matéria seca, g_{ms} kg_{ms}⁻¹ dia⁻¹;

TR: produção de CO₂, mg_{CO₂} kg_{ms}⁻¹ h⁻¹.

Para a determinação do máximo tempo de armazenamento antes que 0,5 % da matéria seca seja consumida foi utilizada a Equação 1.3:

$$T_{0,5\%} = \frac{305,56}{\text{TR}} \quad (1.3)$$

em que:

T_{0,5%}: tempo de armazenamento antes da perda de 0,5 % de matéria seca, dias.

1.2.5. Análise estatística

O experimento foi realizado em um esquema fatorial 3x8 (três estádios de maturação e oito teores de água), no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de regressão e os modelos escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão pelo teste t, adotando um nível de 5 % de probabilidade, no coeficiente de determinação (R²) e nos fenômenos em estudo.

Depois da seleção do modelo para a representação da taxa respiratória do café em função do teor de água, promoveu-se o teste da hipótese de igualdade dos modelos

utilizando a técnica de identidade de modelos descrita por Regazzi (2003), que permite analisar a equivalência entre os modelos utilizados, objetivando o ajuste de apenas uma equação para a descrição do fenômeno.

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1. Taxa respiratória e perda de matéria seca do café em diferentes estádios de maturação

Na Figura 1.1 e Tabela 1A do Apêndice apresenta-se a evolução da produção de CO₂ dos frutos do cafeeiro nos estádios de maturação verde, verdoengo e cereja, em função do teor de água.

Em todas as amostras observou-se incremento na taxa respiratória em função do aumento do teor de água do café. Segundo diversos autores (AMORIM & TEIXEIRA, 1975; LACERDA FILHO, 1986; SILVA et al., 1998), o processo de secagem do café reduz a taxa respiratória do produto. A desidratação promove a inativação de macromoléculas e organelas, levando as sementes ao estado quiescente, caracterizado por um baixíssimo nível de atividade metabólica (POPINIGIS, 1985).

Comportamento semelhante foi obtido em diversos trabalhos. Karunakaran et al. (2001) verificaram que o aumento no teor de água de 12,7 para 19,0 % (b.u.), em trigo, provocou um incremento na taxa de produção de CO₂ de 0,96 para 19,29 mg CO₂ kg⁻¹ matéria seca h⁻¹. Em estudos realizados com sementes de canola, White et al. (1982) encontraram valores da taxa respiratória, após sete dias de armazenamento a 20 °C, de 110, 205, 312, 435 e 574 mg CO₂ kg⁻¹ semente, para os teores de água de 10, 12, 14, 16 e 18 % (b.u.), respectivamente.

Outra explicação para as maiores taxas de produção de CO₂ observadas neste trabalho seria o maior desenvolvimento de microrganismos, uma vez que elevados teores de água favorecem a taxa metabólica dos fungos presentes na superfície e no interior dos grãos. Segundo Milner et al., Hummel et al., Fernandez et al. e Muir et al., citados por Fleurat-Lessard (2002), os microrganismos são a maior causa de produção de CO₂ e perda de matéria seca em cereais armazenados.

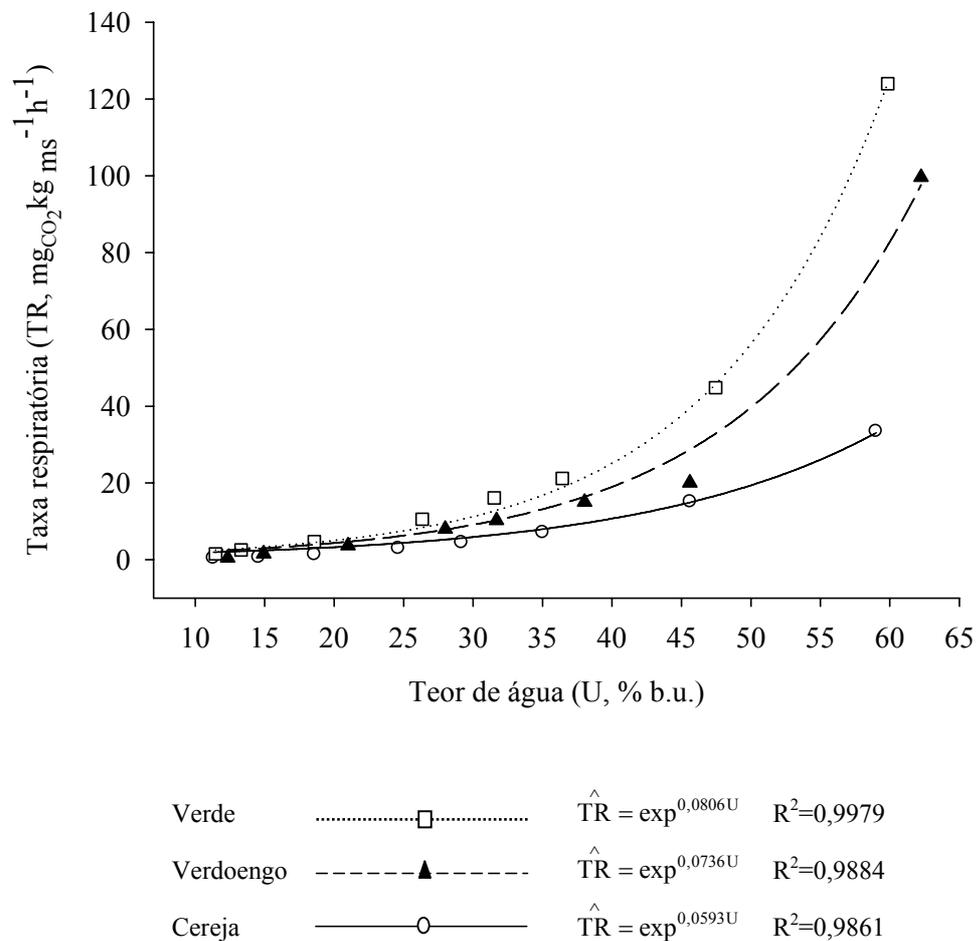


Figura 1.1. Taxa respiratória dos frutos de café em diferentes estádios de maturação em função do teor de água.

Com base nos resultados obtidos (Figura 1.1) e considerando as condições em que o experimento foi desenvolvido, concluiu-se que, a partir da técnica de identidade de modelos, não é possível a utilização de modelo único para representar a evolução da taxa respiratória dos frutos de café nos diferentes estádios de maturação. Desta forma, verifica-se que o café verde produziu mais CO_2 , seguido pelos cafés nos estádios verdoengo e cereja, respectivamente. Estas diferenças tornam-se mais evidentes para maiores teores de água.

Os resultados obtidos no presente trabalho não permitem concluir a respeito da respiração climatérica dos frutos do cafeeiro, uma vez que não foi avaliado o processo de amadurecimento dos frutos, mas também não descartam essa possibilidade. A maior taxa

respiratória observada nos frutos verdes, possivelmente, deve-se ao fato destes não terem atingido a maturidade fisiológica e estarem em fase de crescimento, caracterizada por intensa divisão celular e atividade respiratória. A maior taxa do fruto verdeoengo, em relação ao cereja, pode ser uma característica da ascensão climatérica, uma vez que o fruto durante a maturação aumenta a taxa respiratória, culminando com a sua diminuição no fruto já maduro.

Na Figura 1.2 apresentam-se os valores referentes ao consumo de matéria seca, calculados a partir da taxa respiratória do café, em função do teor de água. Verifica-se que as perdas de matéria seca foram maiores nos frutos com maior teor de água.

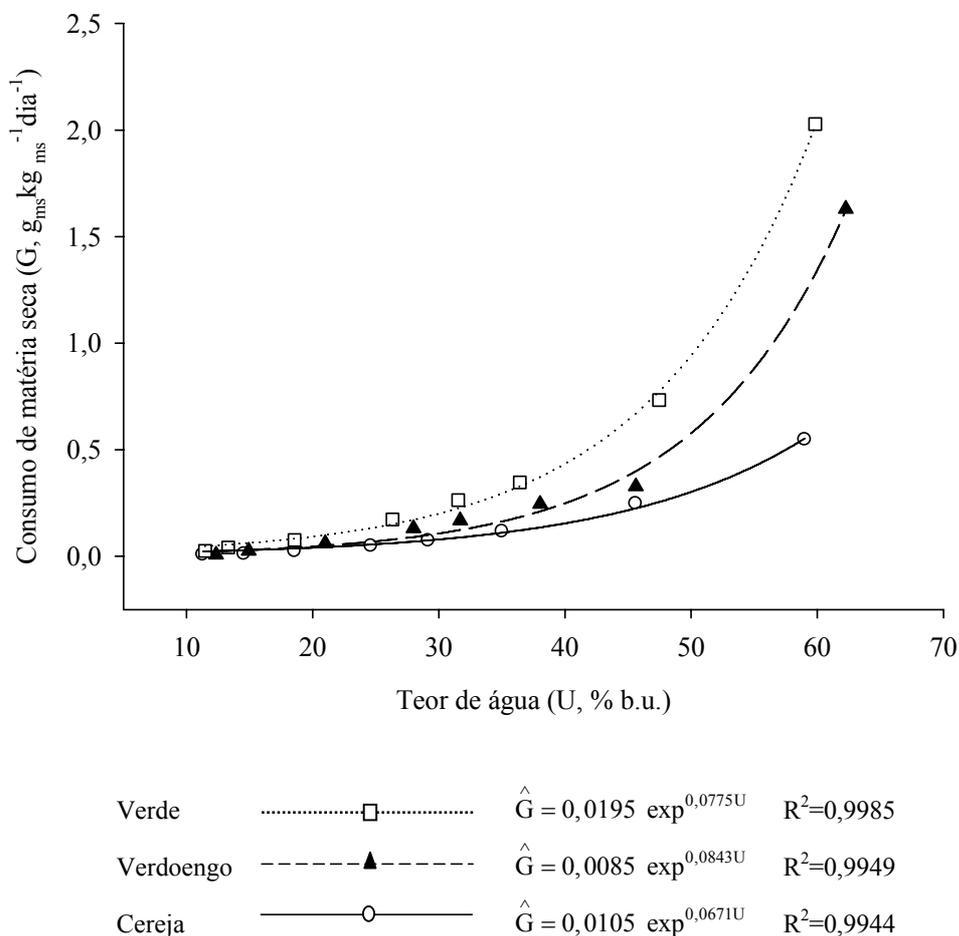


Figura 1.2. Consumo de matéria seca calculado dos frutos de café em diferentes estádios de maturação em função do teor de água.

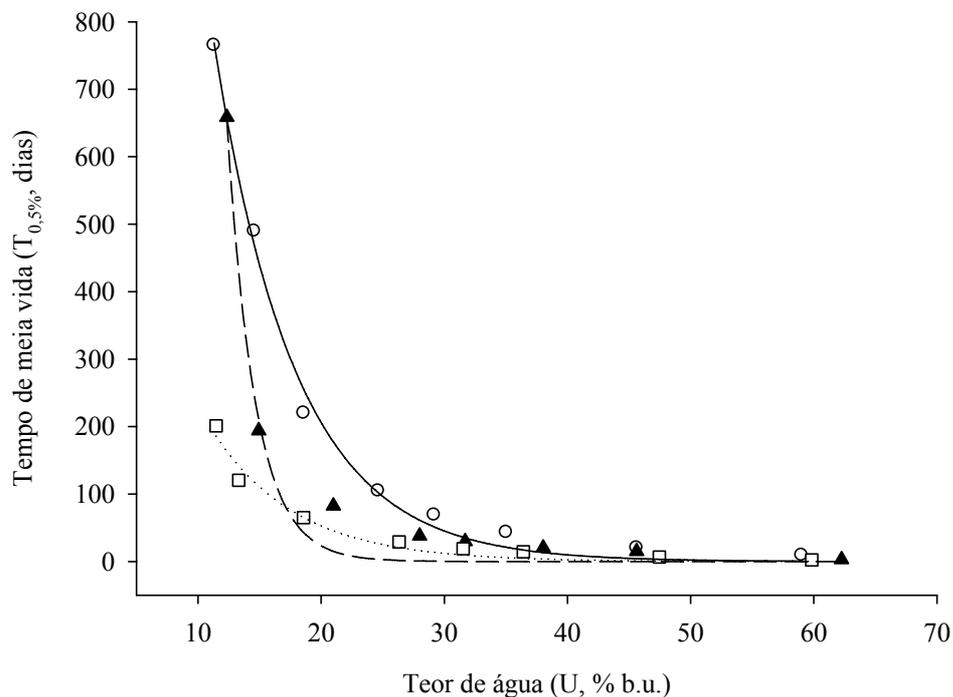
Thompson (1972), trabalhando com grãos de milho em diferentes teores de água (20, 22, 23, 24, 25, 26 e 28 % (b.u.)), observou que o aumento no teor de água implicava em incremento na perda da matéria seca e, Wilcke et al. (1998), também verificaram aumento na perda de matéria seca com a elevação do teor inicial de água dos grãos.

Além do consumo de matéria seca devido à respiração dos grãos, há a degradação causada por fungos, principalmente para maiores teores de água, cujo amplo potencial enzimático favorece a transformação, em nutrientes, da matéria orgânica do substrato, alterando, também, a qualidade do produto (BATISTA et al., 2001; PIMENTA & VILELLA, 2001).

O menor rendimento final dos grãos de café verde observado por Pimenta et al. (2000), associado às maiores perdas de matéria seca do café neste estágio de maturação observadas neste trabalho, tornam a utilização do estágio cereja um fator decisivo para se obter maior rendimento de produção, além de influenciar positivamente a qualidade do produto.

Na Figura 1.3 apresentam-se os valores calculados do tempo necessário para a perda de 0,5 % de matéria seca, a partir da taxa respiratória, em função do teor de água. Observa-se redução deste tempo com o aumento do teor de água.

Usualmente o café é armazenado com teor de água 11 % (b.u.) Pela Figura 1.3 observa-se que, nesta condição, o produto poderia ficar armazenado por aproximadamente 800 dias, no estágio cereja, antes que 0,5 % de matéria seca fosse consumida. Para o fruto verde, este valor é reduzido para 200 dias.



Verde□.....	$\hat{T}_{0,5\%} = 1012,7068 \exp^{-0,1477U}$	$R^2=0,9717$
Verdoengo	-----▲-----	$\hat{T}_{0,5\%} = 142945,29 \exp^{-0,4367U}$	$R^2=0,9774$
Cereja	———○———	$\hat{T}_{0,5\%} = 4260,3030 \exp^{-0,1515U}$	$R^2=0,9946$

Figura 1.3. Tempo máximo de armazenamento calculado antes do consumo de 0,5 % da matéria seca dos frutos de café em diferentes estádios de maturação em função do teor de água.

1.3.2. Taxa respiratória e perda de matéria seca do café cereja natural e descascado

Na Figura 1.4 e Tabela 2A do Apêndice estão apresentados os valores de produção de CO₂ observados para o café no estágio de maturação cereja natural e descascado, em função do teor de água.

Como verificado anteriormente para os diferentes estádios de maturação do café, observam-se incrementos na taxa respiratória com o aumento do teor de água. Para os teores de água de até 15 % (b.u.), aproximadamente, este aumento ocorreu em menor taxa, ao contrário do que se observou nas amostras mais úmidas. Este fato deve-se à fase de grande atividade respiratória que é influenciada pelo teor de água dos grãos, como afirmou

Popinigis (1985), e está de acordo com os estudos realizados por Bailey (1940) para grãos de trigo, milho, arroz, cevada, centeio, sorgo, aveia, o qual verificou que para o teor de água de, aproximadamente, 15 % (b.u.), os grãos passaram para uma fase de grande atividade respiratória.

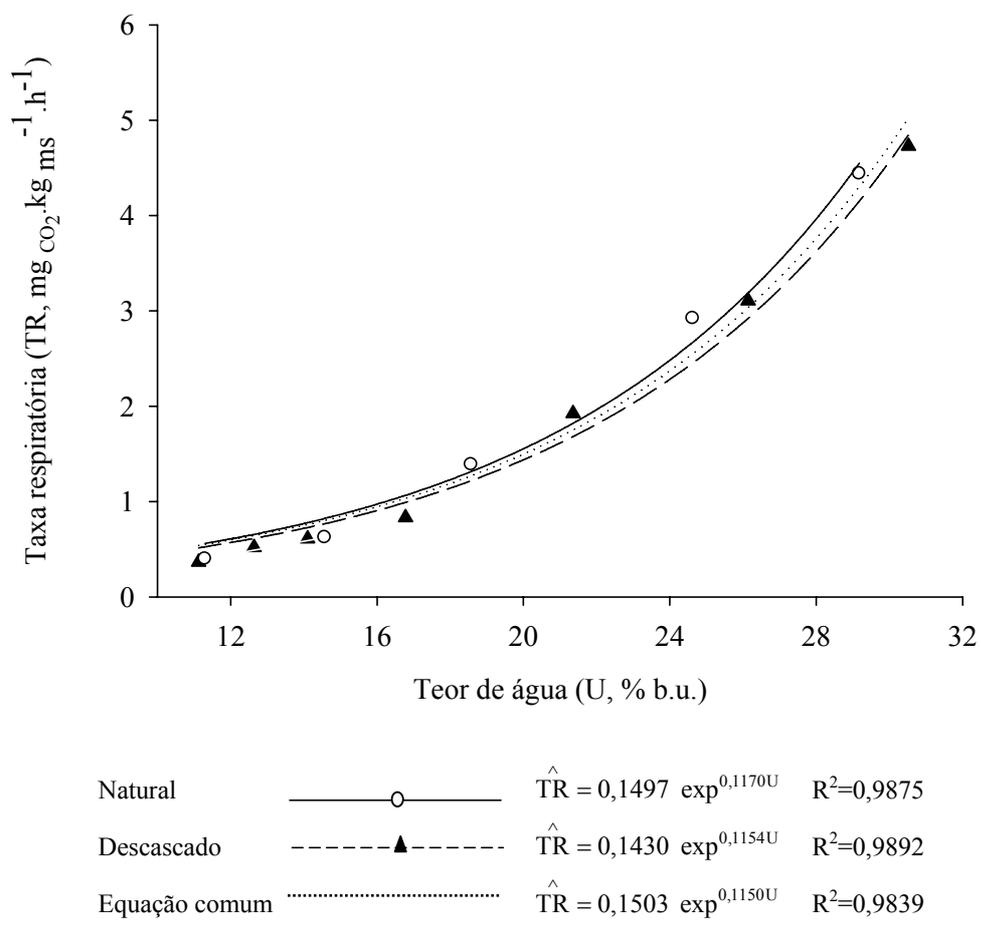


Figura 1.4. Taxa respiratória do café cereja natural e descascado em função do teor de água.

Alves et al. (2003), trabalhando com café beneficiado, obtiveram valores médios de produção de CO₂ de, aproximadamente, 1,5 mg CO₂ kg⁻¹ matéria seca dia⁻¹ (0,06 mg CO₂ kg⁻¹ matéria seca h⁻¹) durante 90 dias de armazenamento, com os teores de água do café variando de 10,8 a 12,1 % (b.u.). Observa-se, no presente trabalho, valores superiores a este (Tabela 2A) para a mesma faixa de teor de água, possivelmente, devido à presença de

microrganismos que estariam se desenvolvendo na casca e na polpa do café, e assim, contribuindo para as maiores taxas apresentadas.

Observando-se a Figura 1.4. e considerando as condições em que o experimento foi desenvolvido, concluiu-se, por meio da técnica de identidade de modelos, que não houve diferença entre os modelos utilizados para descrever o comportamento da taxa respiratória do café natural e descascado, podendo ser utilizada apenas uma equação para representar esta evolução na faixa de teor de água estudada. Estes resultados sugerem não haver diferença nas perdas de matéria seca por respiração durante o armazenamento do café na sua forma natural ou descascado, devido à similaridade de suas taxas respiratórias.

Nas Figuras 1.5 e 1.6 estão apresentados os valores do consumo de matéria seca e do tempo necessário para a perda de 0,5 % de matéria seca, respectivamente, calculados a partir da taxa respiratória, em função do teor de água. Como não houve diferença na taxa respiratória do café natural e descascado, foi ajustado apenas um modelo para representar estas evoluções.

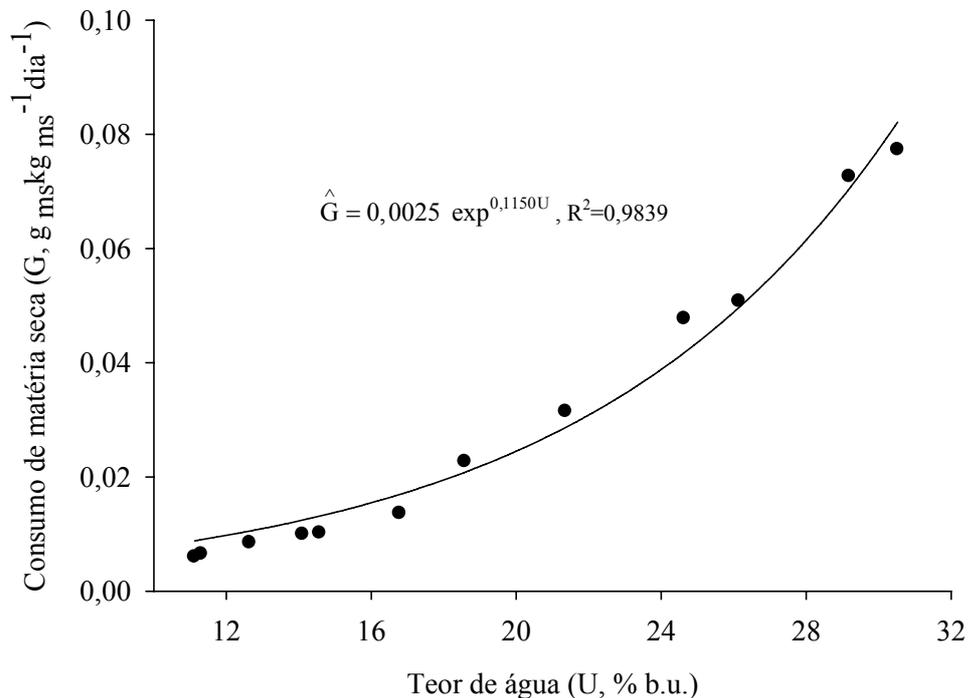


Figura 1.5. Consumo de matéria seca do café cereja natural e descascado, calculado a partir da taxa respiratória, em função do teor de água.

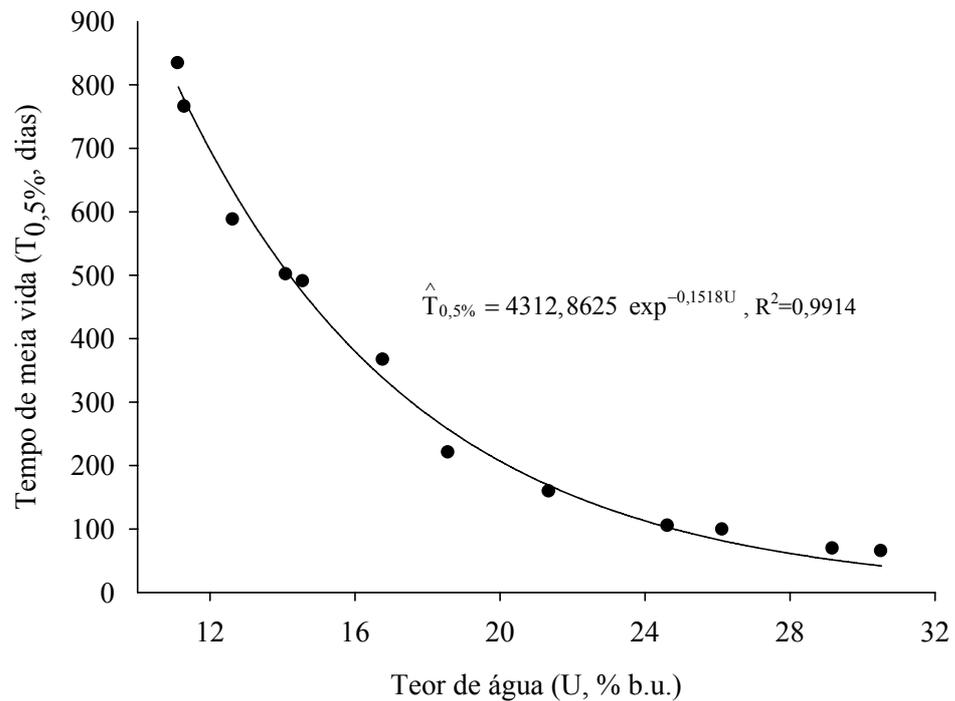


Figura 1.6. Tempo máximo de armazenamento antes do consumo de 0,5 % da matéria seca do café cereja natural e descascado, calculado a partir da taxa respiratória, em função do teor de água.

Com estes resultados confirma-se a importância da utilização de baixos teores de água do café para que se tenha o armazenamento seguro, que, além de minimizar as perdas de matéria seca por respiração, atuarão no controle do desenvolvimento de microrganismos, prejudiciais à qualidade do produto.

Para o teor de água de 18 % (b.u.), o tempo necessário para que ocorra esta perda seria de, aproximadamente, 280 dias, mais elevado que o observado por Sorour & Uchino (2004), trabalhando com soja à mesma temperatura, aproximadamente 34 dias, e os 32,5 dias obtidos por Gupta et al. (1999) para milho a 18 % (b.u.), a 20 °C, indicando que a deterioração do café é mais lenta com este teor de água.

Usualmente o café é armazenado com teor de água próximo de 11 % (b.u.), dentro da faixa considerada aceitável para a armazenagem segura. Pela Figura 1.6 observa-se, ainda, que nesta condição o produto poderia ficar armazenado por, aproximadamente, 812 dias antes que 0,5 % de matéria seca fosse consumida. No entanto, outros parâmetros devem ser considerados para o armazenamento do café. Apesar da baixa taxa respiratória e

condições de estabilidade observadas no produto seco, o processo respiratório pode ser acelerado pela própria reação do grão, que produz água e calor (Equação 1.1), induzindo o aumento da taxa respiratória e metabólica dos fungos presentes na superfície dos grãos, e que os colonizam internamente (TRIPPLES, 1995), levando a uma rápida deterioração do produto.

1.4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foram realizados os experimentos, conclui-se que:

- Houve incremento da taxa respiratória e da perda de matéria seca do café em função do aumento do teor de água;
- Observaram-se maiores taxas respiratórias no café verde, seguido dos cafés nos estádios verdoengo e cereja, respectivamente;
- Com o recurso da técnica de identidade de modelos, não observou-se diferença entre os modelos utilizados para descrever a evolução da taxa respiratória do café natural e descascado, podendo ser utilizada apenas uma equação para representá-la.

1.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W.M.; FARONI, L.R.D.; CORRÊA, P.C.; PARIZZI, F.C.; PIMENTEL, M.A.G. Influência do Pré-Processamento e do Período de Armazenamento na Perda de Matéria Seca em Café Beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 7, p. 122-127, 2003.

AL-YAHYA, S.A.; BERN, C.J.; MISRA, M.K.; BAILEY, T.B. Carbon dioxide evolution of fungicide-treated high-moisture corn. **Transaction of the ASAE**, v. 36, n. 5, p. 1417-1422, 1993.

AMORIM, H.V.; TEIXEIRA, A.A. Transformações bioquímicas, químicas e físicas do grão de café verde e a qualidade da bebida. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 3, 1975, Curitiba. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1975. p. 21.

- AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 114 p.
- BAILEY, C.H. Respiration of cereal grains and flaxseed. **Plant Physiology**, v. 15, p. 257-274, 1940.
- BATISTA, L.R.; CHALFOUN, S.M.; PRADO, G. Identificação de espécies toxigênicas de *Aspergillus* associadas aos grãos de café armazenados. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 3, p. 11-16, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para Análises de Sementes**. Brasília, DF, 1992. 365 p.
- CARVALHO, V.D.; CHALFOUN, S.M. Aspectos qualitativos do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 79-92, 1985.
- FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v. 38, p. 191-218, 2002.
- GUPTA, P.; WILCKE, W.F.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A. Effect of dry matter loss on corn quality. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 15, n. 5, p. 501-507, 1999.
- KARUNAKARAN, C.; MUIR, W.E.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; ABRAMSON, D. Safe storage of high moisture wheat. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, p. 303-312, 2001.
- LACERDA FILHO, A.F. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. 1986. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. FEALQ, Piracicaba, 2005. 495 p.
- PEREIRA, L.F.P.; GALVÃO, R.M.; KOBAYASHI, A.K.; CAÇÃO, S.M.B.; VIEIRA, L.G.E. Ethylene production and ACC oxidase gene expression during fruit ripening of *Coffea arabica* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, p. 283-289, 2005.
- PIMENTA, C.J. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de frutos em quatro estádios de maturação**. 1995. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência os Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- PIMENTA, C.J.; COSTA, L.; CHAGAS, S.J. de R. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e compostos fenólicos em café (*Coffea arabica* L.), colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 1, p. 23-30, 2000.
- PIMENTA, C.J.; VILELLA, E.R. Qualidade do café (*Coffea arabica* L.), lavado e submetido a diferentes tempos de amontoa no terreiro. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café n. 2, p. 3-10, 2001.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da Semente**. Segunda Edição, Brasília, DF, 1985. 290 p.

PUSCHMANN, R. **Características bioquímicas do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação**. 1975. 35 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, v. 50, n. 287, p. 9-26, 2003.

SEITZ, L.M.; SAUER, D.B.; MOHR, H. E.; ALDIS, D. F. Fungal growth and dry matter loss during bin storage of high-moisture corn. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 9-14, 1982.

SILVA, C.G.; CORRÊA, P.C.; MARTINS, J.H. Qualidade da bebida do café (*Coffea arabica* L.) em função da proporção de frutos verdes e da temperatura do ar de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 23, n. 1, p. 45-48, 1998.

SOROUR, H.; UCHINO, T. Effect of changing temperature on the deterioration of soya beans. **Biosystems Engineering**, v. 87, n. 4, p. 453-462, 2004.

STEELE, J.L.; SAUL, R.A.; HUKILL, W.V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. **Transactions of the ASAE**, v. 12, n. 5, p. 685-689, 1969.

THOMPSON, T.L. Temporary storage of high-moisture shelled corn using continuous aeration. **Transactions of the ASAE**, v. 15, n. 2, p. 333-337, 1972.

TRIPPLES, K.H. Quality and nutritional changes in stored grain. In: JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. (Ed.) **Storage-grain ecosystems**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 325-351.

WHITE, N.D.G.; SINHA, R.N.; MUIR, W.E. Intergranular carbon dioxide as an indicator of deterioration in stored rapeseed. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 24, n. 1, p. 43-49, 1982.

WILCKE, W.F.; GUPTA, P.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A. Effect of changing temperature on deterioration of shelled corn. **Transactions of the ASAE**, v. 43, n. 5, p. 1195-1201, 1998.

CAPÍTULO 2

Influência do período de armazenamento na taxa respiratória e perdas quantitativas e qualitativas do café (Coffea arabica L.) submetido a diferentes processamentos pós-colheita

2.1. INTRODUÇÃO

A respiração dos grãos e da microflora durante o armazenamento é um fator determinante para a deterioração do produto armazenado, pois parte da matéria seca comercializável é consumida durante este processo (MUIR & WHITE, 2001).

A perda de massa causada pela respiração dos grãos é pequena quando comparada à causada por insetos-praga, fungos e bactérias presentes na massa de grãos, no entanto, não deixa de ser de grande importância, principalmente para as unidades armazenadoras (BROOKER et al., 1992).

De acordo com Pimenta et al. (2000), os polissacarídeos presentes nos grãos de café, advindos da degradação do amido, podem ser metabolizados e produzir o dióxido de carbono. Tal fato pode levar à perda de peso no armazenamento e à produção de alguns ácidos prejudiciais à qualidade do produto.

A principal função da secagem é reduzir grande parte da água contida, garantindo condições seguras de armazenamento por longo tempo. Grãos e sementes, secos e com baixo nível de danificação mecânica, têm condições de estabilidade e baixa taxa respiratória durante a armazenagem.

A secagem artificial do café em terreiro, método, ainda, predominante no Brasil, acontece de forma lenta e exige maior tempo de exposição dos frutos aos raios solares, sendo um dos possíveis fatores para a indução da contaminação e desenvolvimento de microrganismos (PIMENTA & VILELLA, 2001).

Dos microrganismos que colonizam os produtos agrícolas, os fungos são os mais tolerantes a baixas disponibilidades de água e são, conseqüentemente, importantes causas de deterioração (SAUER, 1992). Em geral, sob condições ótimas de temperatura (26 a 30 °C), as atividades de água superiores a 0,80 são altamente favoráveis à sobrevivência e ao desenvolvimento desses microrganismos (CHRISTENSEN & KAUFMANN, 1974).

Tanto a respiração do grão quanto a dos fungos presentes contribuem para a perda de matéria seca. Geralmente, a contribuição promovida por fungos é pequena no início do período de armazenamento, mas como estes se desenvolvem, esta perda aumenta a uma taxa dependente do teor de água, temperatura, nível de danificação mecânica, quantidade e espécies de fungos presentes.

A presença de fungos nos grãos de café pode alterar a qualidade do produto, uma vez que seu amplo potencial enzimático favorece a transformação, em nutrientes, da matéria orgânica do substrato, alterando a composição química do café. Tais alterações vêm sendo estudadas, principalmente, pela análise dos parâmetros físico-químicos, dentre eles a acidez, a atividade da polifenoxidase, os compostos fenólicos, o índice de coloração e a condutividade elétrica (GODINHO et al. 2000; PIMENTA & VILELLA, 2001; ARÊDES, 2002).

Diante da importância do café para a economia brasileira e considerando que seu preço é baseado em parâmetros qualitativos, percebe-se a necessidade da realização de pesquisas objetivando a quantificação das perdas que ocorrem durante o armazenamento e relacionando-as com as alterações na qualidade do produto. Desta forma, objetivou-se com este trabalho:

- Verificar a influência do método de secagem e do período de armazenamento na taxa respiratória do café (*Coffea arabica* L.) natural e descascado;

- Avaliar as perdas quantitativas e qualitativas durante o armazenamento;
- Comparar os resultados de perda de matéria seca obtidos durante o armazenamento com aqueles estimados por meio da equação de respiração.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar) pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa (MG).

As amostras de café (*Coffea arabica* L.), variedade Catuaí Vermelho, foram obtidas na Unidade Piloto de Processamento Coletivo de Café Cereja, parceria entre a Prefeitura Municipal de Viçosa/Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente, a Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Fitotecnia, a empresa italiana Illycaffè, a Fundação Arthur Bernardes, a Associação Regional de Cafeicultores (ARCA) e o Centro de Excelência do Café das Matas de Minas.

Os frutos, provenientes de uma fazenda da região de Viçosa, foram colhidos manualmente por derriça no pano e, no mesmo dia da colheita, transportados para a Unidade de Processamento, sendo processados em um equipamento denominado “Lavador-Separador de Café” marca Pinhalense, modelo LSC-20.

As amostras foram coletadas na saída do lavador separador para os trabalhos com café natural e do descascador para os trabalhos com o café descascado. A seguir, foram conduzidas ao laboratório, onde foram retirados os grãos verdes e passas presentes no café natural, a fim de se utilizar neste experimento somente amostras no estágio de maturação cereja, uma vez que a operação de descascamento seleciona cafés neste estágio de maturação.

As amostras foram secadas em estufa com circulação forçada de ar, a 40 °C, e em terreiro, até que os teores de água fossem de 15 % (b.u.) para o café natural e 12 % (b.u.) para o café descascado. O monitoramento da secagem foi realizado pelo método gravimétrico (perda de massa) utilizando uma balança analítica com resolução de 0,001 g.

Ao atingirem os teores de água desejados, as amostras foram homogeneizadas, embaladas em sacos de juta com capacidade para 60 kg e mantidas em condições ambiente. No início do armazenamento e em intervalos regulares de 45 dias, durante seis meses, foram realizadas as análises físicas e químicas, conforme metodologia descrita a seguir.

As condições do ambiente de armazenamento (temperatura e umidade relativa do ar) foram monitoradas durante o período de armazenamento.

2.2.1. Teor de água

As determinações do teor de água do café foram feitas empregando-se o método da estufa, a 105 ± 3 °C durante 24 horas, conforme recomendado em Regras Para análise de Sementes (Brasil, 1992).

2.2.2. Detecção de fungos

As análises de detecção e identificação de fungos foram realizadas no Laboratório de Clínica de Doenças de Plantas, pertencente ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, utilizando-se o método de plaqueamento em caixas gerbox, com papel tipo Blotter umedecido com água destilada e esterilizada. Os grãos, desinfetados superficialmente, por imersão em solução de hipoclorito de sódio a 2 %, durante um minuto, foram plaqueados e incubados a 25 °C durante sete dias (DHINGRA & SINCLAIR, 1995). Utilizando-se um microscópio estereoscópico, os grãos infectados foram contados e os resultados expressos em porcentagem.

2.2.3. Integridade das membranas celulares

Os níveis de danos nas paredes celulares do café foram avaliados pelo extravasamento de solutos celulares conforme metodologia descrita por Prete (1992). Uma amostra de 50 grãos de café foi pesada e, em seguida, imersa em 75 mL de água deionizada (no interior de copos plásticos com 180 mL de capacidade) e colocada em uma câmara do tipo BOD, a 25 °C, durante 24 horas. Após este período, foi medida a condutividade elétrica da solução de embebição, por meio de um condutivímetro (Digimed DM3) calibrado com solução KCl (cloreto de potássio), padrão de condutividade $1,412 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Foram realizadas cinco repetições por tratamento. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$.

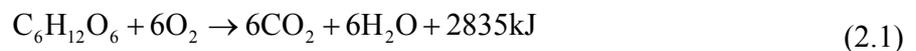
2.2.4. Determinação da taxa respiratória

A taxa respiratória foi mensurada, por meio da determinação da quantidade de dióxido de carbono produzido por hora, a 25 °C, em respirômetro do tipo TR3C equipado com um analisador de CO₂ (*Sable Systems International*, Las Vegas, EUA).

Amostras dos cafés natural e descascado, e dos grãos, após o beneficiamento, foram pesadas e acondicionadas em frascos de vidro, conectados a um sistema completamente fechado, onde o CO₂ produzido pelas amostras ($\mu\text{mL}_{\text{CO}_2}\text{h}^{-1}$) é varrido por um fluxo de ar isento de CO₂ e mensurado por um leitor infravermelho de CO₂ conectado ao sistema.

Os testes foram realizados com quatro repetições de aproximadamente 25 g de produto por amostra. Os resultados obtidos foram convertidos para $\text{mg}_{\text{CO}_2}\text{kg}_{\text{ms}}^{-1}\text{h}^{-1}$.

De posse dos valores da produção de CO₂, o consumo de matéria seca foi determinado por estequiometria a partir da Equação 2.1, que expressa a combustão completa de um típico carboidrato, a glicose.



Segundo Steele et al. (1969) esta é uma simplificação do processo de respiração total, mas permite computar a perda de matéria seca aproximada com razoável segurança.

De acordo com esta equação, para cada 180 g de matéria seca (C₆H₁₂O₆) consumida há produção de 264 g de CO₂, 108 g de H₂O e 2835 kJ de calor, considerando uma completa oxidação dos carboidratos durante a respiração aeróbica.

Assim, o consumo de matéria seca (G) foi calculado de acordo com a Equação 2.2:

$$G = 0,00164 \times \text{TR} \quad (2.2)$$

em que:

G: consumo de matéria seca, % dia⁻¹;

TR: produção de CO₂, $\text{mg}_{\text{CO}_2}\text{kg}_{\text{ms}}^{-1}\text{h}^{-1}$.

2.2.5. Perda de matéria seca

A fim de quantificar a perda de matéria seca dos cafês natural e descascado e do café beneficiado, durante o armazenamento, foi utilizada a metodologia da massa de 1000 grãos. A porcentagem de perda de matéria seca foi calculada pela Equação 2.3.

$$PMS = \frac{m_{t-1} - m_t}{m_{t-1}} \times 100 \quad (2.3)$$

em que:

PMS: porcentagem de perda de matéria seca;

m_{t-1} : massa de matéria seca de mil grãos da amostra no tempo t-1;

m_t : massa de matéria seca de mil grãos da amostra no tempo t.

2.2.6. Massa específica aparente

A massa específica aparente (ρ_{ap}) do café beneficiado, obtida em kg m^{-3} , foi determinada utilizando-se uma balança analítica, um dispositivo modelo GEHAKA e um recipiente com capacidade de um litro, em cinco repetições para cada tratamento.

2.2.7. Determinação dos índices de cor

A quantificação da cor dos grãos de café foi realizada com auxílio de um colorímetro tristímulo, com leitura direta de reflectância das coordenadas L (luminosidade), a (tonalidades vermelha ou verde) e b (tonalidades amarela ou azul), empregando a escala Hunter-Lab (Figura 2.1) e utilizando o iluminante $10^\circ/D_{60}$.

A partir dos valores de L , a e b , calcularam-se o ângulo de tonalidade hue (Equação 2.4) e o índice cromático arbitrário CCI (Equação 2.5). Este índice foi escolhido porque potencializa a mudança da coordenada a , podendo melhor caracterizar a mudança da cor dos grãos do verde para amarelo.

$$^\circ h = \text{actg} \frac{b}{a} \quad (2.4)$$

$$CCI = \frac{1000 \times a}{b \times L} \quad (2.5)$$

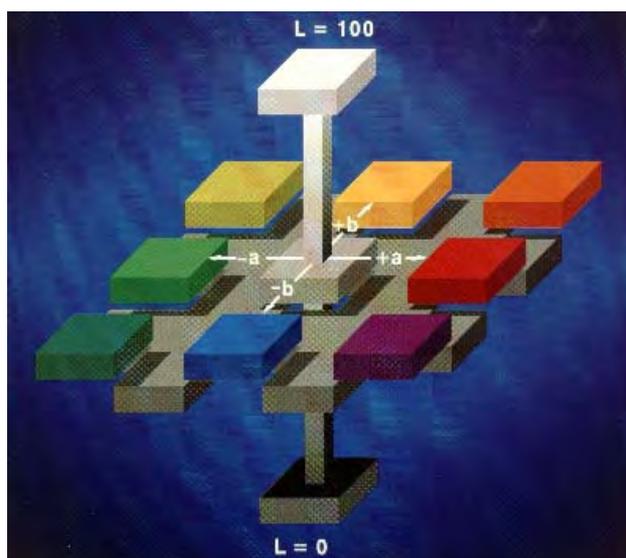


Figura 2.1. Sólido de Hunter.

2.2.8. Determinação do pH

O pH do grão foi determinado de acordo com a técnica adaptada, descrita pela AOAC (1995). Três amostras de 5 g de café, de cada tratamento, foram moídas, peneiradas em peneira de 20 mesh e colocadas em um erlenmeyer com 37,5 mL de álcool etílico 80 %. A solução permaneceu no erlenmeyer por 16 horas, sofrendo revolvimentos ocasionais. Posteriormente, foi filtrada em papel Whatman nº 1. O pH do extrato filtrado foi medido utilizando-se um peagômetro digital, marca Phtek modelo PHS-3B.

2.2.9. Análise estatística

O experimento foi realizado em um esquema de parcelas subdivididas, apresentando nas parcelas um fatorial 2x2 (dois tipos de café e dois métodos de secagem) e nas subparcelas o tempo de armazenamento (0, 45, 90, 135 e 180 dias), no delineamento inteiramente casualizado, com o número de repetições variando de acordo com o teste empregado. Os dados experimentais foram interpretados por meio de análise de variância e regressão.

Entre os tratamentos (tipos de café e métodos de secagem), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando o nível de 5 % de probabilidade, utilizando-se o programa SAEG[®]. Para a comparação do tempo de armazenamento, as médias foram

submetidas à análise de regressão utilizando-se o software SigmaPlot®. Os modelos foram escolhidos baseados no coeficiente de determinação (R^2) e nos fenômenos em estudo.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Teor de água

A colheita dos frutos de café foi realizada em agosto de 2008. Na Tabela 2.1 estão apresentados os valores médios quinzenais de temperatura e umidade relativa do ar ambiente durante o armazenamento.

Tabela 2.1. Médias de temperatura e umidade relativa do ar durante o armazenamento.

Tempo (dias)	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)
0	23,0	68,0
15	24,0	69,5
30	23,5	68,2
45	22,0	69,0
60	22,3	70,7
75	23,5	71,5
90	24,9	72,0
105	25,1	72,5
120	28,0	74,5
135	27,8	75,3
150	29,9	70,5
165	29,2	70,0
180	29,5	71,0

Observa-se na Figura 2.2 aumento no teor de água dos grãos de café após os 90 dias de armazenamento, correspondente aos meses de dezembro a fevereiro, período do ano em que se observaram elevadas temperaturas e umidades relativas. Como todo material higroscópico, o grão de café tem a propriedade de ceder ou adsorver água, tendendo a

manter uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e a umidade relativa do ar ambiente.

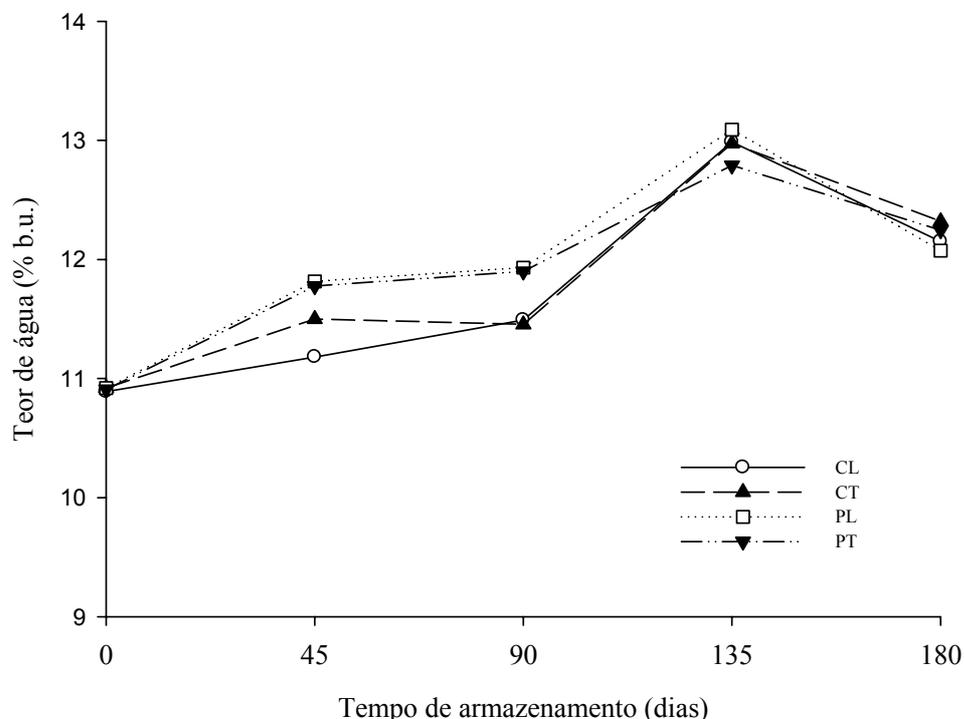


Figura 2.2. Teores de água dos grãos de café, submetido a diferentes métodos de secagem, observados durante o armazenamento. (CL: café natural secado em estufa, a 40 °C; CT: café natural secado em terreiro; PL: café descascado secado em estufa, a 40 °C; PT: café descascado secado em terreiro).

Verifica-se que os teores de água de todas as amostras contêm umidade compatível com a faixa aceitável para a armazenagem segura, isto é, entre 11 e 13 % (b.u.), aproximadamente (VILELA, 1997).

Na Figura 2.3 observam-se os teores de água do café natural e descascado, que, também, apresentaram uma maior adsorção de água após o terceiro mês de armazenamento.

Quando comparados os teores de água do café, antes e após o beneficiamento, observam-se valores mais elevados para os grãos. Afonso Júnior (2001), trabalhando com cafés, no estágio cereja, nas formas natural, descascado, despulpado e beneficiado, verificou que maiores valores de umidade de equilíbrio eram observados nos produtos que possuíam maior proteção, sugerindo a existência de comportamentos higroscópicos distintos entre os constituintes do produto (casca, pergaminho e grão). Outra explicação

possível sugerida pelo autor para o acréscimo pronunciado de umidade dos cafés natural, descascado e despoldado, expostos em ambiente com umidades relativas mais elevadas, seria o desenvolvimento de fungos, devido à água retida pelos micélios desses microrganismos.

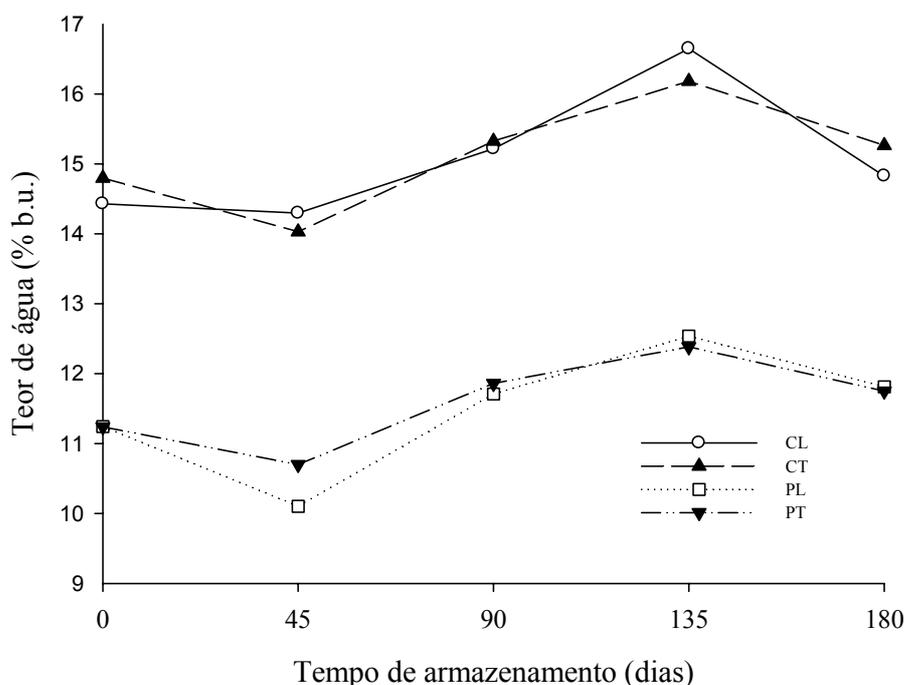


Figura 2.3. Teores de água dos cafés, natural e descascado, submetido a diferentes métodos de secagem, observados durante o armazenamento.

2.3.2. Monitoramento do desenvolvimento de fungos

Na Tabela 2.2 estão apresentadas as porcentagens médias de ocorrência de fungos nos grãos de café beneficiado, observadas durante o armazenamento. Verifica-se a predominância de fungos do gênero *Aspergillus*, sendo identificadas as espécies *A. restrictus*, *A. glaucus*, *A. ochraceus*, *A. terreus* e *A. flavus*.

Além da produção de micotoxinas, a presença de microrganismos nos grãos de café acarreta outros danos. Alguns são capazes de produzir enzimas que agem sobre os componentes químicos da mucilagem, principalmente sobre os açúcares, fermentando-os e produzindo álcool. Esse é desdobrado em ácido acético, láctico, propiônico e butírico e outros ácidos carboxílicos superiores. Ao se iniciar a produção de ácido butírico, começa a haver prejuízo na qualidade do café. Quando a fermentação é prolongada, os

microrganismos produzem outros compostos responsáveis pelos sabores indesejáveis (CARVALHO & CHALFOUN, 1985).

De modo geral, a incidência de fungos observada no café durante o armazenamento foi considerada baixa. Os cuidados adotados na execução deste estudo, os quais incluíram o descarte dos cafés bóia, deteriorados ou danificados e a adequada manipulação do produto nos terreiros, além das condições climáticas altamente favoráveis durante a secagem, permitem explicar os baixos índices de contaminação observados.

Tabela 2.2. Percentuais de grãos colonizados por fungos em café, submetidos a diferentes procedimentos pós-colheita, durante o armazenamento.

Amostra	Espécies	Análise Fúngica (% de grãos com respectiva espécie fúngica)				
		Tempo de armazenamento (dias)				
		0	45	90	135	180
CL	<i>A. restrictus</i>	-	-	-	-	-
	<i>A. glaucus</i>	-	-	-	-	2%
	<i>A. ochraceus</i>	-	-	-	-	-
	<i>A. terreus</i>	-	-	-	3%	-
	<i>A. flavus</i>	-	-	-	-	1%
CT	<i>A. restrictus</i>	2%	-	-	-	-
	<i>A. glaucus</i>	4%	2%	-	-	-
	<i>A. ochraceus</i>	1%	1%	-	-	-
	<i>A. terreus</i>	-	-	-	1%	2%
	<i>A. flavus</i>	-	-	-	-	-
PL	<i>A. restrictus</i>	2%	1%	-	-	-
	<i>A. glaucus</i>	2%	1%	2%	2%	-
	<i>A. ochraceus</i>	-	-	-	-	-
	<i>A. terreus</i>	4%	-	-	-	-
	<i>A. flavus</i>	-	-	-	-	-
PT	<i>A. restrictus</i>	2%	1%	-	-	-
	<i>A. glaucus</i>	2%	-	-	-	1%
	<i>A. ochraceus</i>	-	-	-	-	-
	<i>A. terreus</i>	-	-	1%	1%	-
	<i>A. flavus</i>	-	-	-	-	-

No café natural, secado em terreiro, observou-se maiores níveis de contaminação nos primeiros 45 dias de armazenamento, diferente da amostra secada a 40 °C, em estufa, que não apresentou incidência de fungos no mesmo período. Aos 90 dias não foi detectada contaminação em ambas as amostras. A partir dos 135 dias de armazenamento foi

identificada a contaminação, possivelmente devido ao aumento do teor de água dos grãos nesse período, possibilitando a germinação dos esporos e o desenvolvimento dos fungos.

No período entre 0 e 45 dias de armazenamento, foi identificado o fungo *A. ochraceus* no café natural, secado em terreiro, espécie capaz de produzir a ocratoxina A, micotoxina nefrotóxica e carcinogênica em humanos. No entanto, a infecção não persistiu durante o armazenamento. Também foi identificada a espécie *A. flavus*, produtora de aflatoxina, ao final do armazenamento do café natural, secado em estufa. No entanto, a atividade de água mínima para que o *A. flavus* se desenvolva e produza aflatoxina é 0,82, o que corresponde ao teor de água de, aproximadamente, 18,4 % (b.u.) (SILVA et al., 2008), superior aos teores de água observados neste trabalho.

No café descascado, secado em estufa, observou-se maior percentual de contaminação no início do armazenamento. A espécie *A. glaucus* persistiu por 135 dias de armazenamento. Esta é uma das espécies de *Aspergillus* mais xerofílicas, porém causam menor dano em grãos do que aquelas espécies que requerem um teor de água relativamente alto (MYCOCK & BERJAK, 1995).

Vários autores relatam que a secagem artificial em terreiro é um dos fatores de risco para a qualidade do produto, uma vez que há lentidão no processo, expondo a camada do pericarpo a maiores teores de água, o que induz a contaminação e o desenvolvimento de microrganismos (GIRANDA, 1998; PIMENTA & VILLELA, 2001; CORRÊA et al., 2002). No entanto, comparando-se o café descascado secado em estufa com aquele secado em terreiro, observa-se que ambos tiveram baixos níveis de contaminação durante o armazenamento, sendo que, para a amostra secada em estufa, o percentual total foi ligeiramente superior. Resultado semelhante foi observado para o café natural aos 135 e 180 dias de armazenamento.

Os cuidados dispensados durante o manejo do café no terreiro (secagem imediatamente depois da colheita, em terreiro de cimento, adequando-se a espessura da camada à redução de umidade), bem como as condições climáticas favoráveis, como citado anteriormente, justificam os resultados obtidos neste estudo.

2.3.3 Integridade das membranas celulares

Observou-se, para todos os tratamentos, aumento dos valores da condutividade elétrica durante o armazenamento (Figura 2.4). Vários autores concluíram que, com o

prolongamento da armazenagem, ocorre maior deterioração das membranas celulares e, por consequência, aumento significativo das quantidades de íons lixiviados e da condutividade elétrica (GODINHO et al., 2000; AFONSO JÚNIOR, 2001; COELHO et al., 2001; NOBRE, 2005).

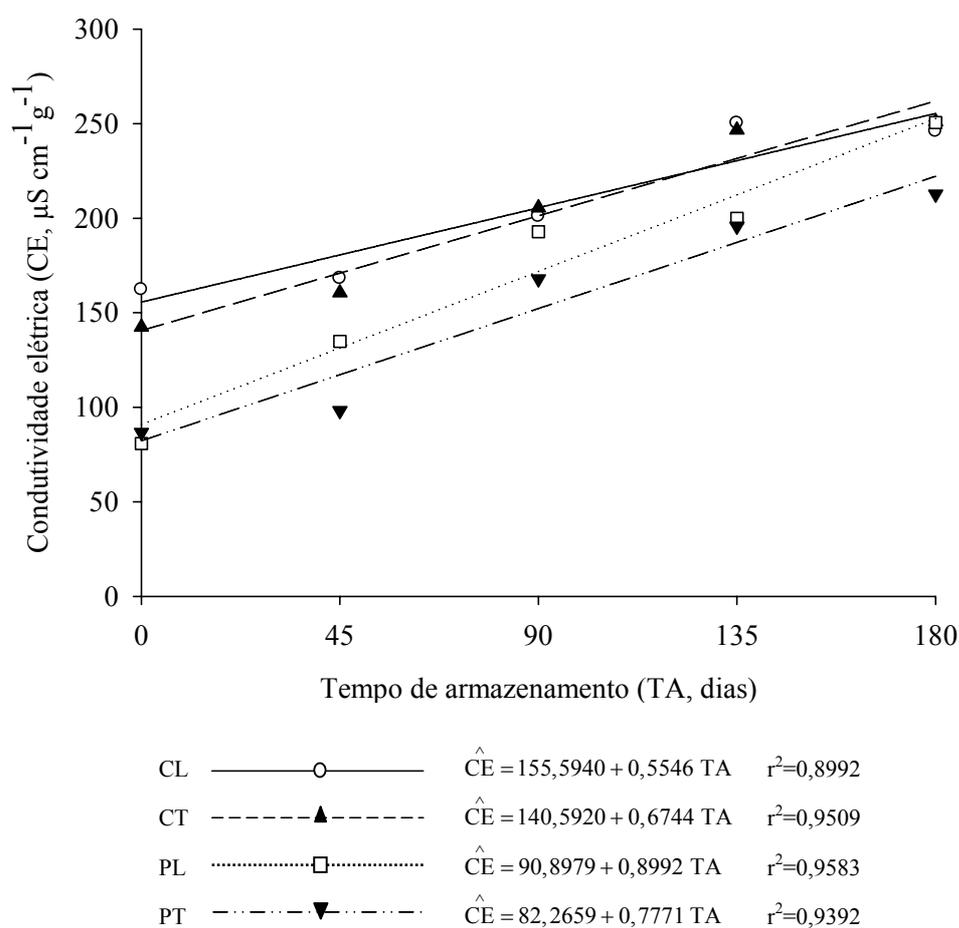


Figura 2.4. Condutividade elétrica dos grãos do café armazenados na sua forma natural e descascado, submetido a diferentes métodos de secagem, durante o armazenamento.

Segundo Prete (1992) e Amorim (1978), a degeneração das membranas celulares e a subsequente perda do controle de permeabilidade das mesmas é um dos principais fatores que caracterizam a deterioração do grão de café.

Diversos trabalhos foram publicados confirmando o aumento da lixiviação de potássio e da condutividade elétrica em cafés de pior qualidade (PRETE, 1992; PIMENTA, 1995; PIMENTA et al.; 1997; PRETE & ABRAHÃO, 2000; GOULART et al.; 2007).

Apesar das amostras secadas em coco (café natural) terem apresentado maiores valores iniciais de condutividade elétrica, observa-se maior perda da permeabilidade da membrana celular, durante o armazenamento, nas amostras de café descascadas, o que pode ser evidenciado observando-se o coeficiente angular das curvas de regressão contidas na Figura 2.4.

De acordo com Amorim (1978), a perda da seletividade das membranas celulares em grãos de café, normalmente, está associada a fatores ambientais inadequados como alta umidade e temperaturas elevadas, o que pode justificar os valores superiores de condutividade obtidos nos últimos períodos de armazenamento.

Apesar do aumento mais acentuado da permeabilidade celular, os valores de condutividade elétrica do café descascado, durante o armazenamento, foram inferiores aos do secado na sua forma natural, exceto aos 90 e 180 dias para o café secado em estufa (Tabela 2.3). A operação de descascamento, portanto, não deve ter contribuído para alterar a integridade das membranas celulares. Os maiores valores de condutividade elétrica do café natural podem ser resultantes de alterações nas membranas celulares, em função do maior tempo de secagem dos frutos, aumentando a possibilidade de fermentação, resultando em um produto com qualidade inferior.

Rodrigues (2009) observou maior perda de permeabilidade da membrana celular para o café natural secado a 40 °C em relação ao café descascado secado a mesma temperatura. Resultados semelhantes foram observados por Lima et al. (2008), que obtiveram maiores valores de condutividade elétrica para o café natural em relação ao descascado e ao despulpado.

Muitos trabalhos encontrados na literatura associam o processamento à qualidade. Cafés descascados, despulpados e desmucilados apresentaram características superiores de bebida em relação ao café natural (AFONSO JÚNIOR et al., 2004; MALTA et al., 2003; CORTEZ, 1997).

Nas amostras de café natural secado em estufa, no início do armazenamento, observou-se maior perda de permeabilidade celular em relação àquele secado em terreiro. A partir dos 45 dias de armazenamento, não houve diferença significativa entre os métodos de secagem. No café descascado, a secagem em terreiro propiciou menores valores de condutividade elétrica, exceto aos 0 e 135 dias de armazenamento, em que não foram observadas diferenças significativas entre os métodos de secagem.

Tabela 2.3. Valores médios de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) dos grãos de café armazenados na sua forma natural e descascados, secados em estufa a 40 °C e em terreiro.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
0	Natural	162,16 A a	142,46 A b
	Descascado	80,83 B a	86,63 B a
45	Natural	168,20 A a	160,55 A a
	Descascado	134,87 B a	98,14 B b
90	Natural	201,00 A a	205,59 A a
	Descascado	190,70 A a	167,84 B b
135	Natural	250,27 A a	246,73 A a
	Descascado	199,95 B a	195,75 B a
180	Natural	243,05 A a	251,12 A a
	Descascado	250,61 A a	212,68 B b

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. (CV(%)=3,42)

Resultados semelhantes foram observados por Borém et al. (2008), que obtiveram maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio para o café, natural e despulpado, secado a 40 °C em relação ao secado em terreiro. Os maiores valores de condutividade elétrica ocorreram, possivelmente, em função de maiores taxas de secagem causarem maior degradação das membranas celulares e pela exposição contínua à temperatura do ar de secagem a 40 °C em relação à secagem em terreiro.

2.3.4. Taxa respiratória

2.3.4.1. Taxa respiratória do café natural e descascado durante o armazenamento

Na Figura 2.5 estão apresentados os valores de produção de CO₂ dos cafés descascado e natural, durante o armazenamento. Devido a problemas técnicos com o respirômetro, não foi possível fazer a leitura nos primeiros 45 dias de armazenamento.

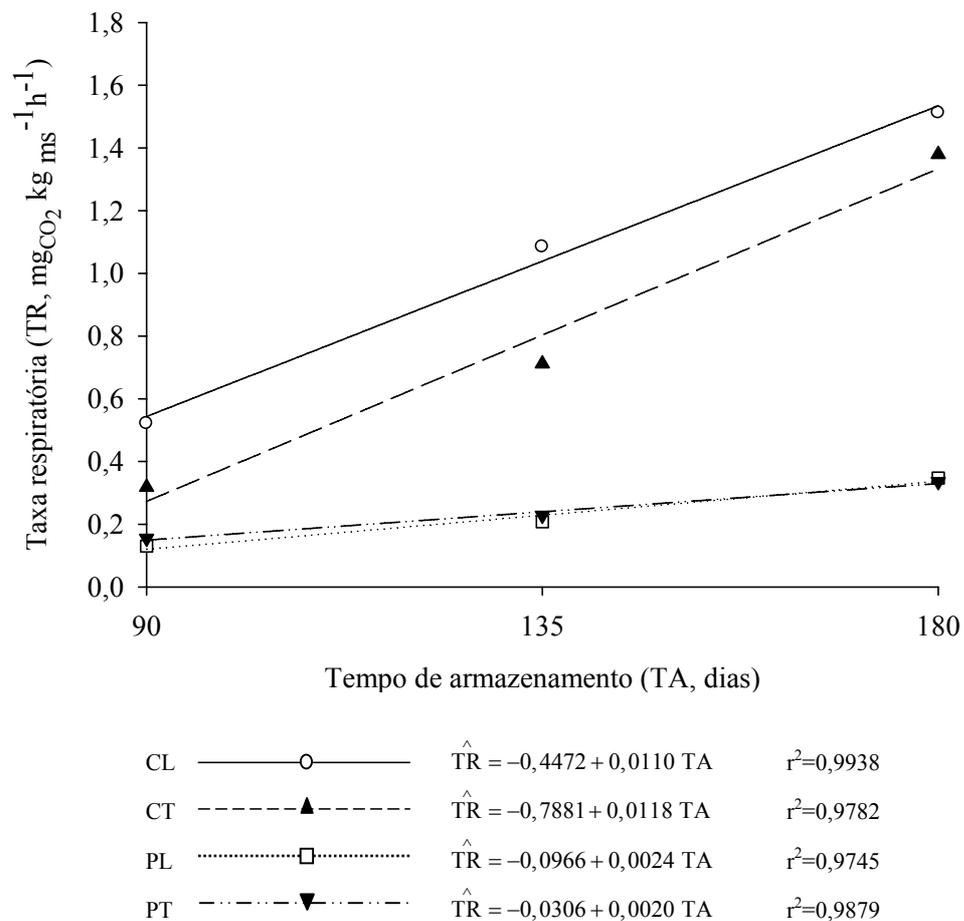


Figura 2.5. Taxa respiratória dos cafés natural e descascado, submetidos à secagem em terreiro e em estufa, a 40 °C, durante o armazenamento.

Observou-se aumento da taxa respiratória durante o armazenamento, principalmente para o café natural, que apresentou maior produção de CO_2 que o café descascado durante todo o período avaliado (Tabela 2.4).

No Capítulo 1 deste trabalho, a partir do teste de identidade de modelos, não foram observadas diferenças entre a taxa respiratória do café, no estágio de maturação cereja, descascado e natural, com diferentes teores de água, possibilitando a utilização de apenas um modelo para descrever o fenômeno. Desta forma, as maiores taxas respiratórias do café natural podem ser devido aos maiores teores de água observados durante o armazenamento, uma vez que há relação direta entre essas duas variáveis.

Tabela 2.4. Valores médios da taxa respiratória ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ matéria seca h}^{-1}$) do café natural e descascado, secados em estufa a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e em terreiro, durante o armazenamento.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa ($40 \text{ }^\circ\text{C}$)	Terreiro
90	Natural	0,5210 A a	0,3185 A a
	Descascado	0,1303 B a	0,1553 B a
135	Natural	1,0842 A a	0,7118 A b
	Descascado	0,2083 B a	0,2282 B a
180	Natural	1,5117 A a	1,3793 A a
	Descascado	0,3470 B a	0,3355 B a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($\text{CV}(\%)=18,87$).

Segundo Popinigis (1985), a desidratação promove a inativação de macromoléculas e organelas, levando as sementes ao estado quiescente, caracterizado por um baixíssimo nível de atividade metabólica. As experiências realizadas por Bailey (1940) com diversos grãos (trigo, milho, arroz, cevada, centeio, sorgo e aveia) põem em evidência o incremento da atividade respiratória em função do aumento do teor de água.

No entanto, o tempo de armazenamento também parece ter contribuído para este incremento, uma vez que, com o aumento do mesmo, observou-se maior diferenciação na taxa respiratória dos dois tipos de cafés estudados, o que pode ser evidenciado analisando-se o coeficiente angular das curvas de regressão do café natural (Figura 2.5).

Resultado análogo foi observado para a condutividade elétrica, em que o café descascado, também, apresentou melhor qualidade. Segundo Popinigis (1985), quanto menor a restrição das membranas à troca de gases, maior será a atividade respiratória, uma vez que o oxigênio poderá difundir-se livremente para o tecido que está respirando. Com o aumento da deterioração do produto devido ao aumento da taxa respiratória e, conseqüentemente, maior perda de matéria seca, espera-se que a integridade e a organização das membranas celulares também estejam comprometidas.

Não houve diferença significativa entre os valores médios da produção de CO_2 quanto ao método de secagem empregado, com exceção do tempo de 135 dias para o café natural (Tabela 2.4).

2.3.4.2. Taxa respiratória do café beneficiado durante o armazenamento

Como nos cafés natural e descascado, também, no café beneficiado observou-se aumento na taxa respiratória dos grãos, com o prolongamento do tempo de armazenagem (Figura 2.6).

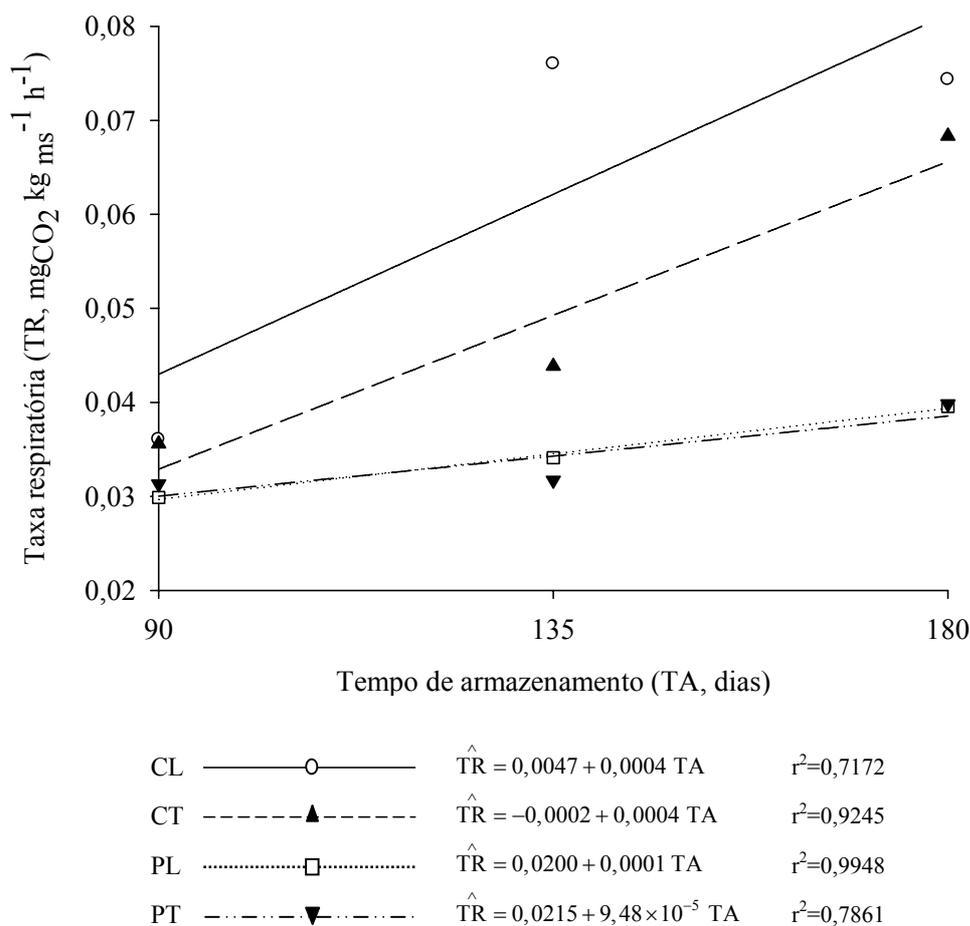


Figura 2.6. Variação da taxa respiratória do café beneficiado armazenado descascado e na sua forma natural, secados em terreiro e em estufa a 40 °C.

Verificou-se, ainda, que a taxa respiratória dos grãos foi muito baixa, podendo ser explicada pelo seu baixo teor de água (11 a 13 % (b.u.)). Resultados semelhantes foram observados por Alves et al. (2003), trabalhando com café beneficiado, que obtiveram valores médios de produção de CO₂ de, aproximadamente, 1,5 mg CO₂ kg⁻¹ matéria seca dia⁻¹ (0,06 mg CO₂ kg⁻¹ matéria seca h⁻¹) durante 90 dias de armazenagem.

Observaram-se no café natural, valores médios de produção de CO₂ superiores aos do café descascado a partir de 135 dias de armazenamento (Tabela 2.5). Como os teores de água dos cafés (Figura 2.2) foram semelhantes e a contaminação por fungos (Tabela 2.2) foi considerada baixa, o prolongamento do período de armazenamento pode ter contribuído para as maiores taxas.

Como para os valores da taxa respiratória do café antes do beneficiamento, não foi possível fazer a distinção entre os métodos de secagem utilizados, uma vez que não houve diferença significativa entre os valores médios da produção de CO₂, com exceção do café natural aos 135 dias de armazenamento.

Tabela 2.5. Valores médios da taxa respiratória (mg CO₂ kg⁻¹ matéria seca h⁻¹) dos grãos de café armazenados descascados e na sua forma natural, secados em terreiro e em estufa a 40 °C.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
90	Natural	0,0360 A a	0,0356 A a
	Descascado	0,0299A a	0,0313 A a
135	Natural	0,0760 A a	0,0439 A b
	Descascado	0,0341 B a	0,0317 B a
180	Natural	0,0743 A a	0,0683 A a
	Descascado	0,0396 B a	0,0398 B a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV(%)=14,29).

2.3.5. Perda de matéria seca

2.3.5.1. Perda de matéria seca do café natural e descascado durante o armazenamento

Na Figura 2.7 estão apresentados os valores médios da perda de matéria seca do café natural e descascado, durante o armazenamento. Observaram-se perdas mais acentuadas ao final do tempo de armazenagem para todos os tratamentos. Nos trabalhos realizados por Saul & Steele (1966), Steele et al. (1969), Thompson (1972) e Wilcke et al. (1998) demonstrou-se que a taxa de perda de matéria seca é aumentada à medida que se aumenta o tempo de armazenamento.

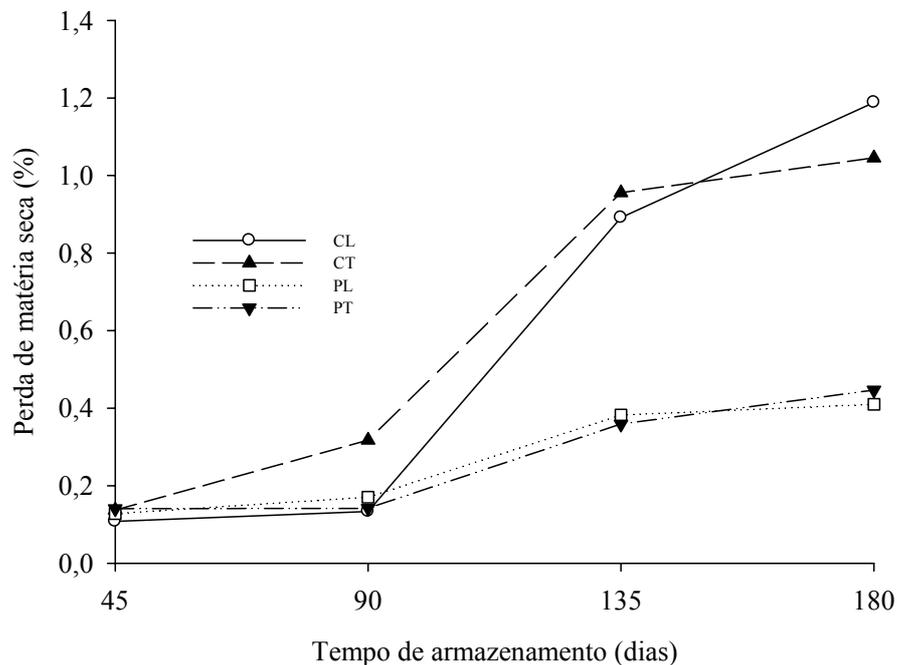


Figura 2.7. Perda de matéria seca do café natural e descascado, submetido à secagem em terreiro e em estufa a 40 °C, durante o armazenamento.

Segundo Thompson (1972), o histórico da cultura, o teor inicial de água dos grãos e a interação entre temperatura de armazenagem e umidade relativa do ambiente podem influenciar a taxa respiratória e, dessa forma, a perda de matéria seca do produto durante o armazenamento.

Portanto, com base nos resultados obtidos sugere-se que o alto valor de umidade relativa do ambiente e, conseqüentemente, do teor de água do produto, tenham contribuído para o aumento significativo da taxa respiratória (Figura 2.5) e maior perda da matéria seca durante os períodos finais do armazenamento, uma vez que a degradação de constituintes dos grãos, durante a respiração, pode levar à perda de massa do produto (PRETE, 1992).

Com exceção do café natural aos 90 e 180 dias de armazenagem, não foram observadas diferenças na perda de matéria seca quanto ao método de secagem empregado (Tabela 2.6). Quanto ao tipo de café, observou-se que, com o prolongamento da armazenagem, o café natural apresentou os maiores valores de perda de massa seca. Resultado semelhante foi observado no estudo da taxa respiratória e da condutividade elétrica. Segundo Prete (1992), o maior nível de deterioração do café, confirmado pelo

elevado valor da condutividade elétrica, contribui para o aumento da taxa respiratória e, conseqüentemente, para a perda quantitativa.

Tabela 2.6. Valores médios de perda de matéria seca do café natural e descascado, submetido à secagem em terreiro e em estufa a 40 °C, durante o armazenamento.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
45	Natural	0,1080 A a	0,1373 A a
	Descascado	0,1284 A a	0,1410 A a
90	Natural	0,1339 A b	0,3175 A a
	Descascado	0,1705 A a	0,1416 B a
135	Natural	0,8913 A a	0,9557 A a
	Descascado	0,3825 B a	0,3591 B a
180	Natural	1,1883 A a	1,0454 A b
	Descascado	0,4099 B a	0,4469 B a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV%=11,79).

Apresentam-se na Figura 2.8 os resultados do cálculo da perda de matéria seca, a partir da taxa respiratória, do café descascado e natural, durante o armazenamento.

Observou-se que os valores calculados foram inferiores aos obtidos pela metodologia da massa de 1000 grãos, no entanto, em ambos verificou-se aumento da perda de massa ao longo do tempo.

Apesar da baixa infecção por fungos durante o armazenamento (Tabela 2.2), o teste foi realizado somente no café beneficiado. Como os teores de água das amostras descascada e natural foram maiores que os dos grãos beneficiados, principalmente no final do armazenamento, possivelmente induziram ao aumento da taxa metabólica dos fungos presentes na casca, na polpa e na superfície destes grãos, contribuindo para a maior degradação da matéria seca do café.

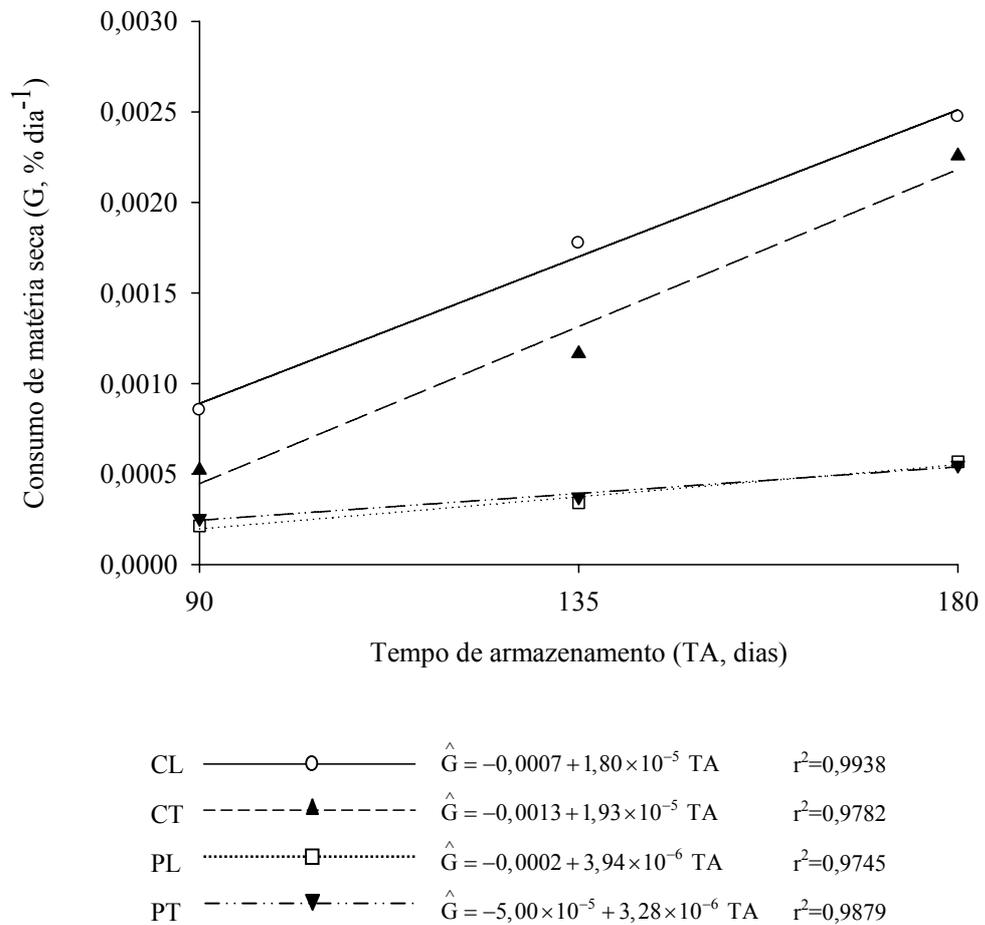


Figura 2.8. Consumo da matéria seca do café natural e descascado, durante o armazenamento, calculado a partir da equação de respiração, submetido à secagem em terreiro e em estufa a 40 °C.

2.3.5.2. Perda de matéria seca do café beneficiado durante o armazenamento

Apresenta-se, na Figura 2.9, a variação da perda de matéria seca dos grãos de café durante o armazenamento. Observou-se que, exceto para o café descascado secado em terreiro, a perda de massa foi mais elevada aos 135 e 180 dias de armazenagem, sendo mais pronunciada para o café natural.

Com o decorrer do tempo de armazenagem, a perda de matéria seca do café beneficiado armazenado na sua forma natural foi se diferenciando da perda do café descascado, apresentando valores progressivamente maiores. Com relação ao método de

secagem, exceto para o café natural aos 90 e 180 dias de armazenamento, não houve diferença significativa entre os valores obtidos (Tabela 2.7).

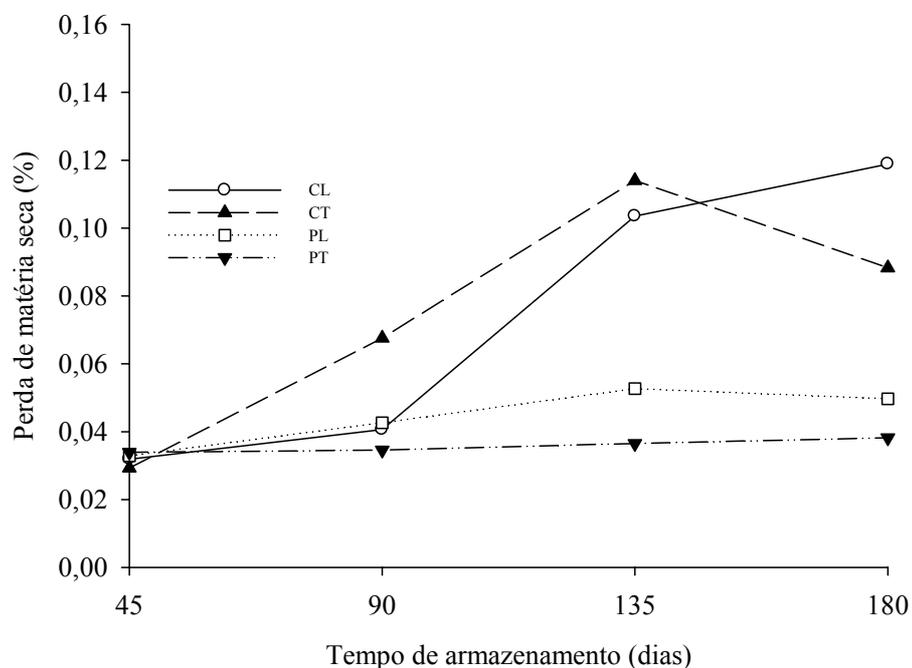


Figura 2.9. Perda de matéria seca (%) dos grãos de café armazenados descascados e na sua forma natural, submetidos à secagem em terreiro e em estufa a 40 °C.

Tabela 2.7. Valores médios de perda de matéria seca (%) dos grãos de café armazenados descascados e na sua forma natural, secados em terreiro e em estufa a 40 °C.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
45	Natural	0,0319 A a	0,0293 A a
	Descascado	0,0329 A a	0,0339 A a
90	Natural	0,0406 A b	0,0676 A a
	Descascado	0,0426 A a	0,0346 B a
135	Natural	0,1035 A a	0,1140 A a
	Descascado	0,0527 B a	0,0365 B a
180	Natural	0,1189 A a	0,0883 A b
	Descascado	0,0497 B a	0,0382 B a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV%=16,24).

Na Figura 2.10 estão apresentados os valores de perda de matéria seca do café beneficiado, calculados a partir da equação de respiração. Embora esses valores sejam inferiores aos reais observados, em ambos verificaram-se incrementos durante a armazenagem, mais pronunciados para o café natural. A operação de beneficiamento, possivelmente, contribuiu para os maiores valores de perda de matéria seca obtidos, devido ao atrito sofrido pelos grãos durante o descascamento.

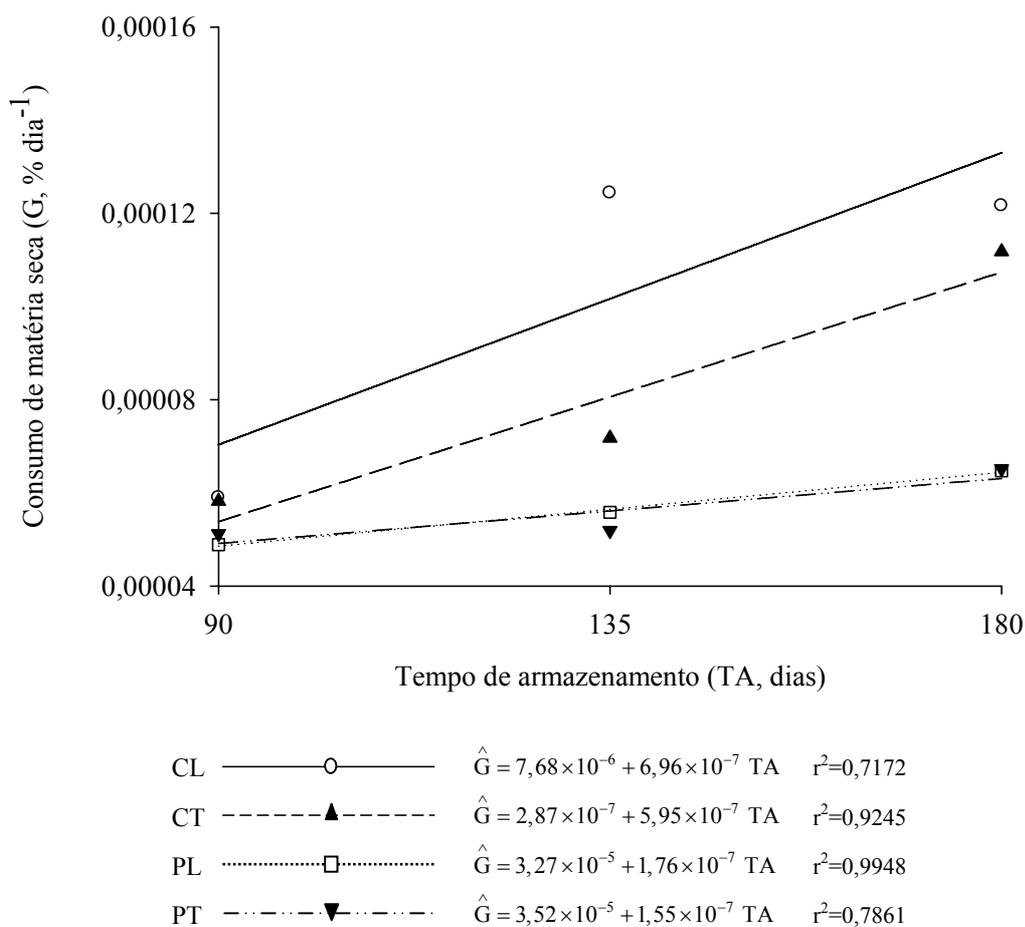


Figura 2.10. Consumo da matéria seca dos grãos de café armazenados descascados e na sua forma natural, calculado a partir da equação de respiração, submetidos à secagem em terreiro e em estufa a 40 °C.

2.3.6. Massa específica aparente

A massa específica aparente de grãos agrícolas aumenta, geralmente, com a diminuição do teor de água do produto. Esse comportamento pode ser observado

comparando-se a Figura 2.11 à Figura 2.2, a partir dos 135 dias de armazenamento observa-se um aumento mais acentuado do teor de água do café beneficiado e consequente decréscimo dos valores de massa específica.

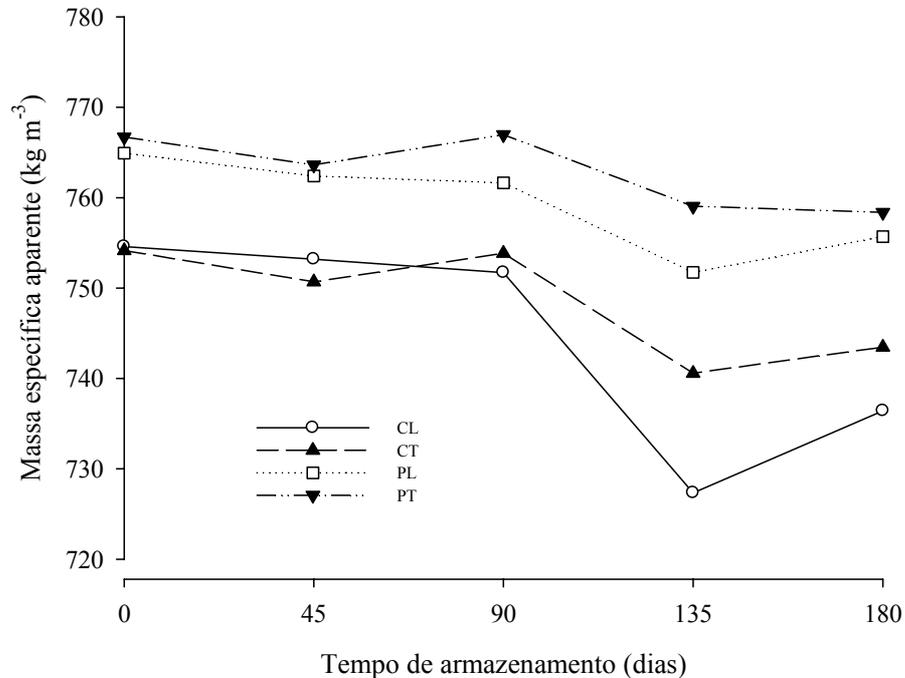


Figura 2.11. Variação da massa específica aparente dos cafés beneficiados, durante o armazenamento, armazenados descascados e na sua forma natural, submetidos a diferentes métodos de secagem.

Observa-se na Tabela 2.8 que a massa específica dos grãos de café descascado foi superior, durante todo o período de armazenamento, à do café natural. Rodrigues (2009) obteve maiores valores de massa específica aparente do café beneficiado para o produto descascado secado a 40 °C e 50 °C, em relação ao café natural secado às mesmas temperaturas. Portanto, a etapa de retirada da casca dos frutos de café parece ter contribuído positivamente para a qualidade do produto.

Com relação ao método de secagem, aos 0, 45 e 90 dias para o café natural e 0, 45 e 180 dias para o café descascado, não houve diferença significativa desta variável nos resultados obtidos. Nos demais períodos avaliados, a secagem em terreiro apresentou os maiores valores de massa específica.

Tabela 2.8. Valores médios da massa específica aparente dos grãos de café armazenados descascados e na sua forma natural, secados em estufa a 40 °C e em terreiro.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
0	Natural	754,59 B a	754,15 B a
	Descascado	764,93 A a	766,70 A a
45	Natural	753,19 B a	750,68 B a
	Descascado	762,40 A a	763,62 A a
90	Natural	751,71 B a	753,85 B a
	Descascado	761,63 A b	766,98 A a
135	Natural	727,34 B b	740,57 B a
	Descascado	750,75 A b	759,04 A a
180	Natural	736,42 B b	743,46 B a
	Descascado	755,69 A a	758,37 A a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV(%)=0,14).

2.3.7. Determinação dos índices de cor

2.3.7.1. Evolução da coordenada L

Observou-se aumento da luminosidade, medida pela coordenada *L*, da cor dos grãos de café, caracterizando um branqueamento das amostras, mais pronunciado a partir dos 90 dias de armazenamento (Figura 2.12).

Segundo Wilboux & Hahn (1966) e Menchú (1967), o branqueamento do café tem início quando os grãos atingem o teor de água de 12 % (b.u.). Além disso, Godinho et al. (2000), analisando as alterações ocorridas na coloração e na composição química dos cafés natural e beneficiado, observaram que, dentre os fatores que afetam sua estabilidade e qualidade no armazenamento, está, além da temperatura, a umidade relativa do ar. Nesse sentido, Vilela et al. (2000) estudaram o efeito dessas variáveis no branqueamento de grãos de café beneficiado e verificaram que a perda de cor acentuou-se à medida que as condições de umidade relativa e temperatura do ar ambiente aumentavam.

Assim, pode-se verificar que os teores de água e níveis de temperatura e umidade relativa mais elevados, observados após os três meses de armazenamento (Figuras 2.1 e 2.2), possivelmente estão relacionados aos maiores valores da coordenada L durante este período.

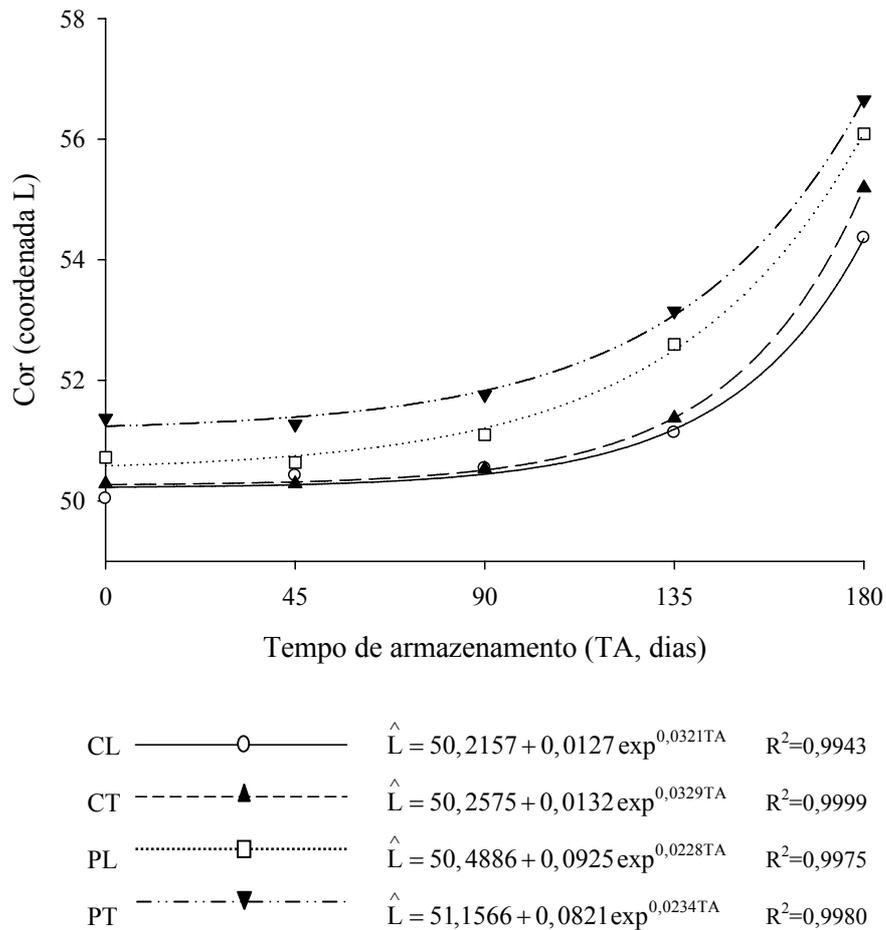


Figura 2.12. Evolução da coordenada L da cor dos grãos de café submetidos a diferentes procedimentos pós-colheita ao longo do armazenamento.

Não houve influência do método de secagem nos valores deste índice de cor (Tabela 2.9), possivelmente devido à pequena diferença entre as temperaturas utilizadas. Resultados semelhantes foram observados por Coradi (2006) que, trabalhando com café natural e despulpado, não obteve diferenças significativas nos valores de luminosidade observados após a secagem em terreiro e a 40 °C.

Tabela 2.9. Valores médios da coordenada *L*, observados durante o armazenamento, da cor dos grãos de café armazenados descascados e na sua forma natural, secados em estufa a 40 °C e em terreiro.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
0	Natural	50,04 A a	50,29 A a
	Descascado	50,72 A a	51,37 A a
45	Natural	50,42 A a	50,29 A a
	Descascado	50,64 A a	51,27 A a
90	Natural	50,54 A a	50,53 B a
	Descascado	51,10 A a	51,76 A a
135	Natural	51,13 B a	51,38 B a
	Descascado	52,60 A a	53,15 A a
180	Natural	54,36 B a	55,19 B a
	Descascado	56,09 A a	56,65 A a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV(%)=1,45).

Quanto ao tipo de café utilizado, observou-se, no início do armazenamento, não haver diferença significativa dos valores da coordenada *L*. No entanto, a partir dos 90 dias, para a secagem em terreiro, e 135 dias, para a secagem em estufa a 40 °C, o café descascado apresentou maiores valores para esta coordenada. Isso sugere que a casca, presente no café natural, contribuiu para sua proteção, reduzindo os possíveis efeitos ambientais sobre a luminância do produto armazenado.

Resultados semelhantes foram observados por outros autores. Afonso Júnior & Corrêa (2003) obtiveram, durante o armazenamento, valores da coordenada *L* mais relevantes para o produto descascado em relação ao café natural. Godinho et al. (2000) estudaram as variações na cor e na composição química do café natural, verificando o efeito protetor da casca e do pergaminho sobre o grão, conservando melhor a estrutura e a cor do produto durante o período de armazenagem.

2.3.7.2. Evolução da coordenada *a*

Observa-se na Figura 2.13 incremento dos valores da coordenada *a* da cor dos grãos de café, caracterizando a perda da cor verde durante o período de armazenamento, principalmente para o café natural, cujas retas de regressão apresentaram maiores coeficientes angulares.

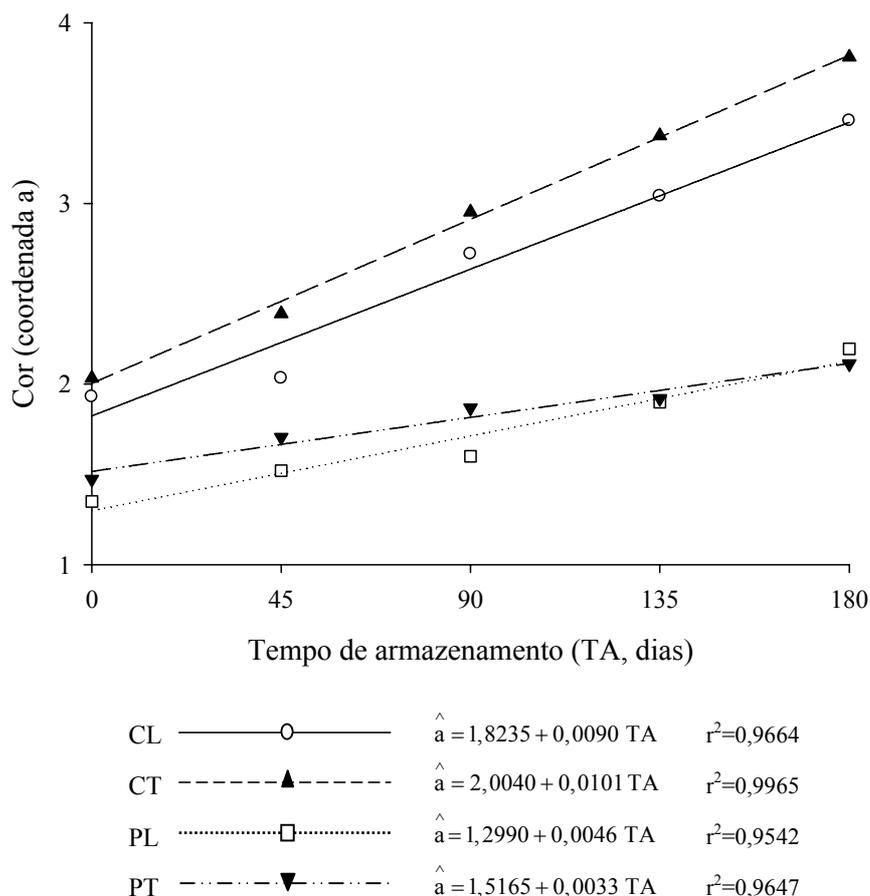


Figura 2.13. Evolução da coordenada *a* da cor dos grãos de café, submetidos a diferentes procedimentos pós-colheita, durante o armazenamento.

Verificou-se que, independente do método de secagem, os grãos do café armazenado descascado apresentaram maior intensidade da cor verde ($< a$), característica do produto de melhor qualidade (BACCHI, 1962), quando comparados ao produto armazenado na sua forma natural (Tabela 2.10). O mesmo comportamento foi observado por Afonso Júnior & Corrêa (2003) trabalhando com café pré-processado por via seca e via úmida, secados a 40 °C.

Exceto aos 90 dias de armazenamento, não foram observadas diferenças significativas dos valores da coordenada *a* no café descascado relativamente ao método de secagem. Entretanto, observou-se no café natural, a partir dos 45 dias de armazenamento, maior intensidade da cor verde quando secado em estufa a 40 °C (Tabela 2.10).

Tabela 2.10. Valores médios da coordenada *a* da cor dos grãos de café, armazenados descascados e na sua forma natural, secados em estufa a 40 °C e em terreiro, durante o armazenamento.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
0	Natural	1,93 A a	2,03 A a
	Descascado	1,35 B a	1,47 B a
45	Natural	2,03 A b	2,39 A a
	Descascado	1,52 B a	1,71 B a
90	Natural	2,72 A b	2,95 A a
	Descascado	1,60 B b	1,87 B a
135	Natural	3,04 A b	3,38 A a
	Descascado	1,90 B a	1,92 B a
180	Natural	3,46 A b	3,81 A a
	Descascado	2,20 B a	2,11 B a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV(%)=4,42).

Corrêa et al. (2002), trabalhando com cafês pré-processados por via seca e via úmida, observaram que a secagem com ar a 30 °C, resultou em valores das coordenadas cromáticas *a* e *b*, do produto pré-processado por via seca, negativamente discrepantes daqueles obtidos nos testes com as temperaturas de 40 a 60 °C. Como a secagem com ar a 30 °C e em terreiro processam-se de forma lenta, é provável que as características de qualidade do café sejam afetadas, devido à possibilidade de ocorrência de transformações bioquímicas nos grãos, fundamentalmente, de natureza enzimática, que acarretariam mudanças nas características colorimétricas do produto.

2.3.7.3. Evolução da coordenada b

Observa-se na Figura 2.14 aumento dos valores da coordenada b da cor dos grãos de café durante o armazenamento, caracterizando um afastamento da coloração azul ($> b$).

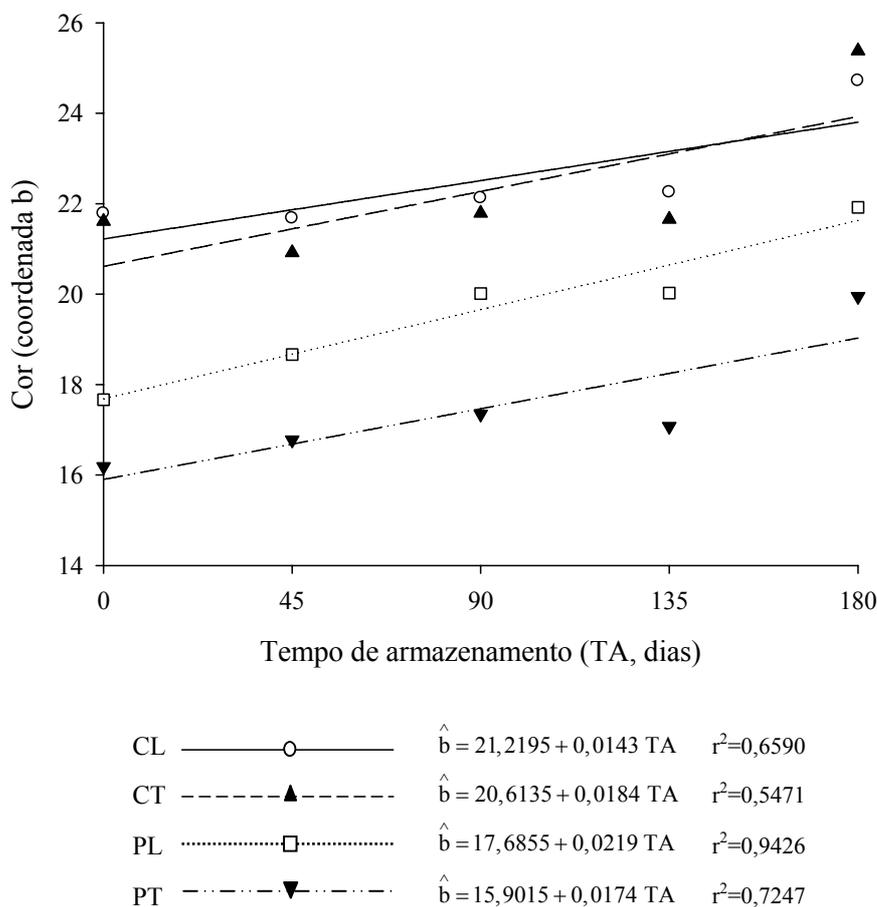


Figura 2.14. Evolução da coordenada b da cor dos grãos de café, submetidos a diferentes procedimentos pós-colheita, durante o armazenamento.

Resultados similares foram obtidos por Afonso Júnior (2001) e Rodrigues (2009). O incremento dos índices a e b com o tempo de armazenamento caracterizam a perda da cor verde-azulada dos grãos e, conseqüentemente, a redução da qualidade.

Como observado para a coordenada a , o café armazenado descascado apresentou maior intensidade da coloração azul ($< b$), característica do produto de melhor qualidade, quando comparado com o café natural (Tabela 2.11). Coradi (2006) observou maiores valores de coordenada b (cor mais amarelada) para o café natural em comparação ao

produto despulpado. Afonso Júnior & Corrêa (2003) observaram maior intensidade das cores verde e azul nos grãos de café pré-processados por via úmida, quando comparados aos pré-processados por via seca.

Diferentemente do observado para o índice *a*, a secagem em terreiro, com exceção dos tempos 0, 90 e 180 dias para o café natural, apresentou menores valores da coordenada *b*, caracterizando maior preservação da qualidade do produto. Segundo Francis (1980), *a* e *b* não são variáveis independentes e dificilmente poderão ser interpretadas separadamente.

Tabela 2.11. Valores médios da coordenada *b* da cor dos grãos de café, armazenados descascados e na sua forma natural, secados em estufa a 40 °C e em terreiro, durante o armazenamento.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
0	Natural	21,78 A a	21,61 A a
	Descascado	17,67 B a	16,19 B b
45	Natural	21,68 A a	20,92 A b
	Descascado	18,67 B a	16,78 B b
90	Natural	22,13 A a	21,79 A a
	Descascado	20,01 B a	17,35 B b
135	Natural	22,25 A a	21,66 A b
	Descascado	20,03 B a	17,07 B b
180	Natural	24,72 A b	25,38 A a
	Descascado	21,92 B a	19,95 B b

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV(%)=1,33).

2.3.7.4. Evolução dos índices cromáticos hue e CCI

Na Figura 2.15 apresentam-se os valores do ângulo de cor hue das amostras, durante o armazenamento. Este índice de cor assume valor zero para a cor vermelha, 90° para amarela, 180° para verde e 270° para azul. Embora os valores obtidos neste estudo (Figura 2.15 e Tabela 2.12) pertençam ao quadrante vermelho-amarelo do sistema de cor CIELab, quanto maiores forem, mais próximos estarão das condições consideradas ideais (quadrante verde-azul). Valores similares do ângulo de cor hue foram obtidos por Corrêa et al. (2002).

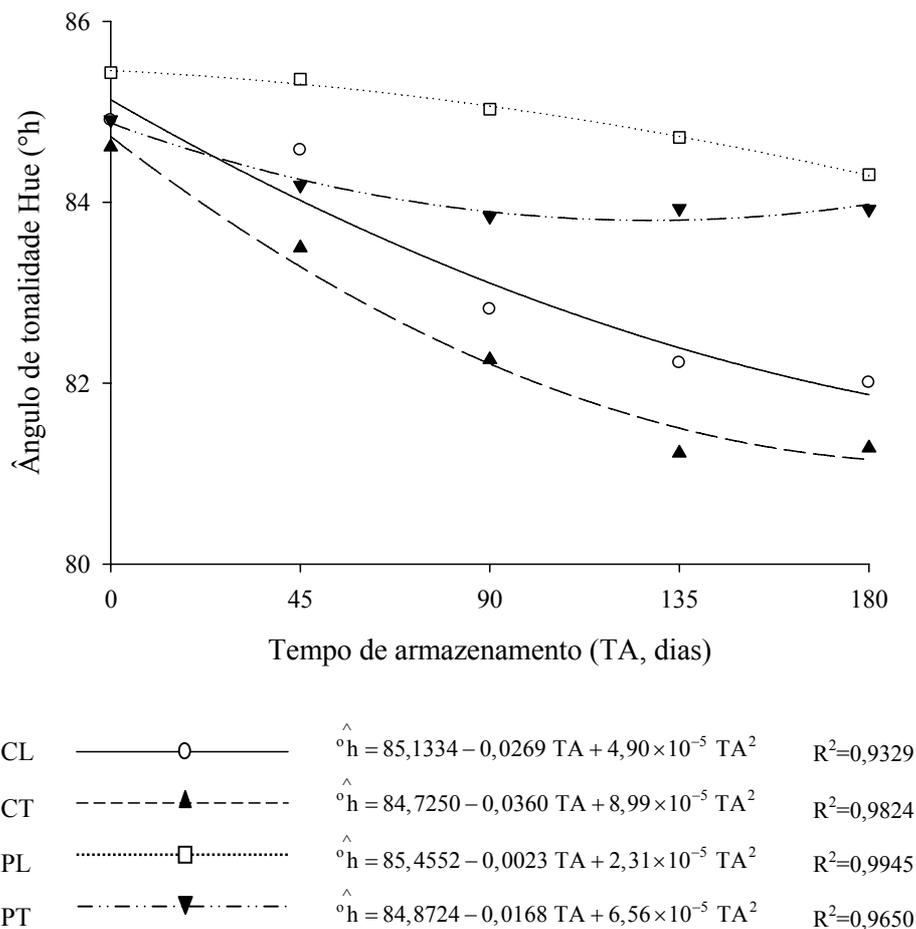


Figura 2.15. Evolução do ângulo de tonalidade Hue dos grãos de café, submetidos a diferentes procedimentos pós-colheita, durante o armazenamento.

Por meio dos resultados apresentados na Figura 2.15, observa-se que os cafés armazenados descascados mantiveram a coloração inicial dos grãos durante o armazenamento. O café natural apresentou maior perda de cor durante o período estudado. Além disso, exceto para o tempo 0 das amostras secadas em terreiro, no café descascado observaram-se os maiores valores do ângulo hue, caracterizando um produto de melhor qualidade (Tabela 2.12). Resultados semelhantes foram observados por Corrêa et al. (2002), que obtiveram maiores valores do índice colorimétrico hue para o café descascado comparativamente ao café pré-processado por via seca.

Tabela 2.12. Valores médios do ângulo de tonalidade hue dos grãos de café, armazenados descascados e na sua forma natural, secados a 40 °C e em terreiro, durante o armazenamento.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
0	Natural	84,91 B a	84,61 A a
	Descascado	85,43 A a	84,91 A b
45	Natural	84,57 B a	83,50 B b
	Descascado	85,36 A a	84,19 A b
90	Natural	82,82 B a	82,26 B b
	Descascado	85,03 A a	83,84 A b
135	Natural	82,22 B a	81,23 B b
	Descascado	84,71 A a	83,93 A b
180	Natural	82,00 B a	81,28 B b
	Descascado	84,30 A a	83,92 A a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV(%)=0,23).

Comparando-se os métodos de secagem, a realizada em estufa a 40 °C, resultou em cafés com melhor qualidade (maiores valores do ângulo hue, com exceção dos tempos 0 para o café natural e 180 dias para o café descascado).

O índice colorimétrico CCI foi escolhido porque potencializa a mudança da coordenada *a*, podendo melhor caracterizar a mudança de cor do verde para o amarelo. Exceto para o café descascado, secado em terreiro, observou-se aumento nos valores deste índice de cor durante o armazenamento, caracterizando a perda da cor verde dos grãos (Figura 2.16).

Quanto aos métodos de processamento e secagem (Tabela 2.13), o café descascado e a secagem em estufa a 40 °C, respectivamente, resultaram em produtos com melhores características de qualidade (menores valores do índice CCI e, portanto, maiores intensidades da coloração verde).

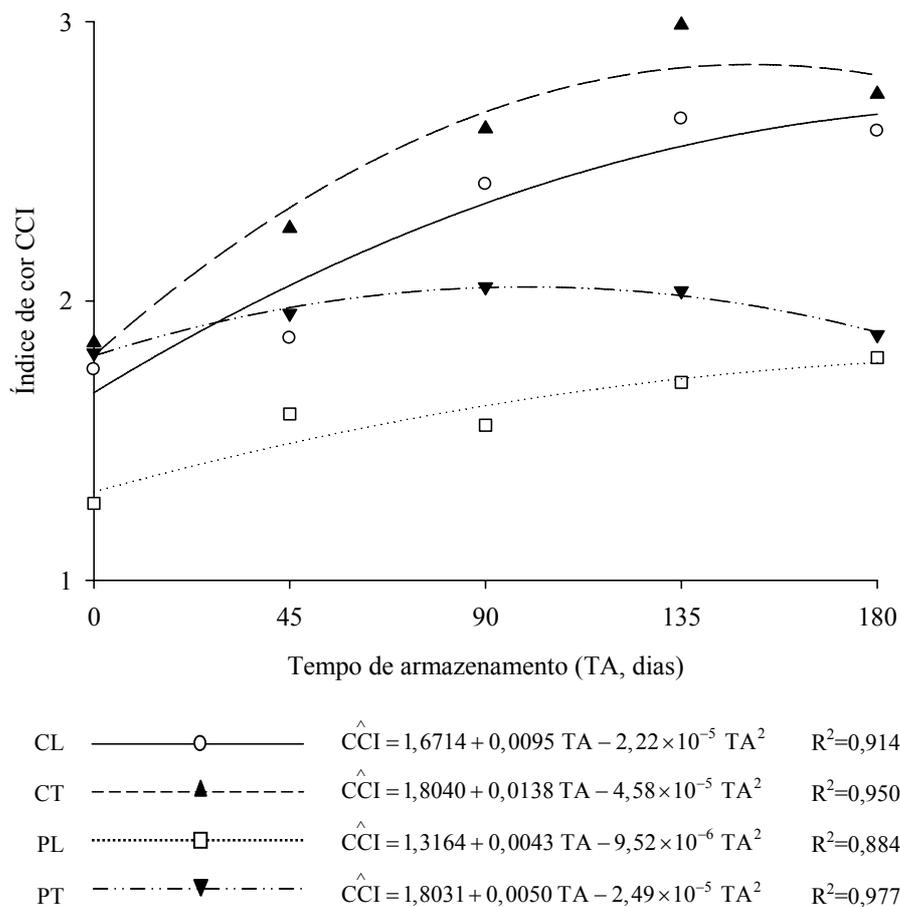


Figura 2.16. Variações do índice de cor CCI dos grãos de café, submetidos a diferentes procedimentos pós-colheita, durante o armazenamento.

O café, durante o armazenamento, tende a perder sua coloração verde-azulada, aproximando-se do amarelo. Observa-se que o estudo deste índice apresentou resultados semelhantes aos obtidos pelo estudo do ângulo hue, indicando que este também pode ser utilizado, eficientemente, para avaliar a variação cor dos grãos de café, em comparação à utilização das coordenadas *a* e *b*, isoladamente.

Tabela 2.13. Valores médios do índice colorimétrico CCI dos grãos de café, armazenados descascados e na sua forma natural, secados a 40 °C e em terreiro, durante o armazenamento.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
0	Natural	1,7544 A a	1,8507 A a
	Descascado	1,2753 B b	1,8132 A a
45	Natural	1,8666 A b	2,2600 A a
	Descascado	1,5953 B b	1,9552 B a
90	Natural	2,4180 A b	2,6169 A a
	Descascado	1,5553 B b	2,0504 B a
135	Natural	2,6515 A b	2,9886 A a
	Descascado	1,7088 B b	2,0360 B a
180	Natural	2,6079 A b	2,7408 A a
	Descascado	1,7971 B a	1,8787 B a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV(%)=2,24).

2.3.8. Determinação do potencial hidrogênionico - pH

Na Figura 2.17 observa-se aumento da acidez do café, caracterizado pela diminuição dos valores de pH, durante o armazenamento. Segundo Carvalho et al. (1994), a acidez dos grãos de café beneficiado tem relação inversa com a sua qualidade. Mamani (2007) observou que bebidas de alta qualidade originam-se de grãos com acidez titulável e concentração de ácidos clorogênicos reduzidas, colhidos no estágio maduro de desenvolvimento.

No início do armazenamento (tempos 0 e 45 dias para a secagem em estufa, a 40 °C, e tempo 0 para a secagem em terreiro), o café natural apresentou maiores valores de pH (Tabela 2.14). No entanto, com o decorrer da armazenagem, observou-se intensa acidificação desse produto, resultante de menores valores de pH, em relação ao café descascado Este resultado pode, também, ser verificado na Figura 2.17, por meio dos valores dos coeficientes angulares das curvas de regressão, superiores para o café natural.

Frutos no estágio de maturação cereja apresentam teores elevados de açúcares na mucilagem, os quais podem sofrer fermentações, resultando na produção de etanol, ácido

acético, ácido butírico, ácido láctico e outros ácidos carboxílicos, prejudicando a qualidade do produto. Como a operação de descascamento não remove a mucilagem dos grãos, tanto o café natural como o café descascado estão sujeitos à acidificação.

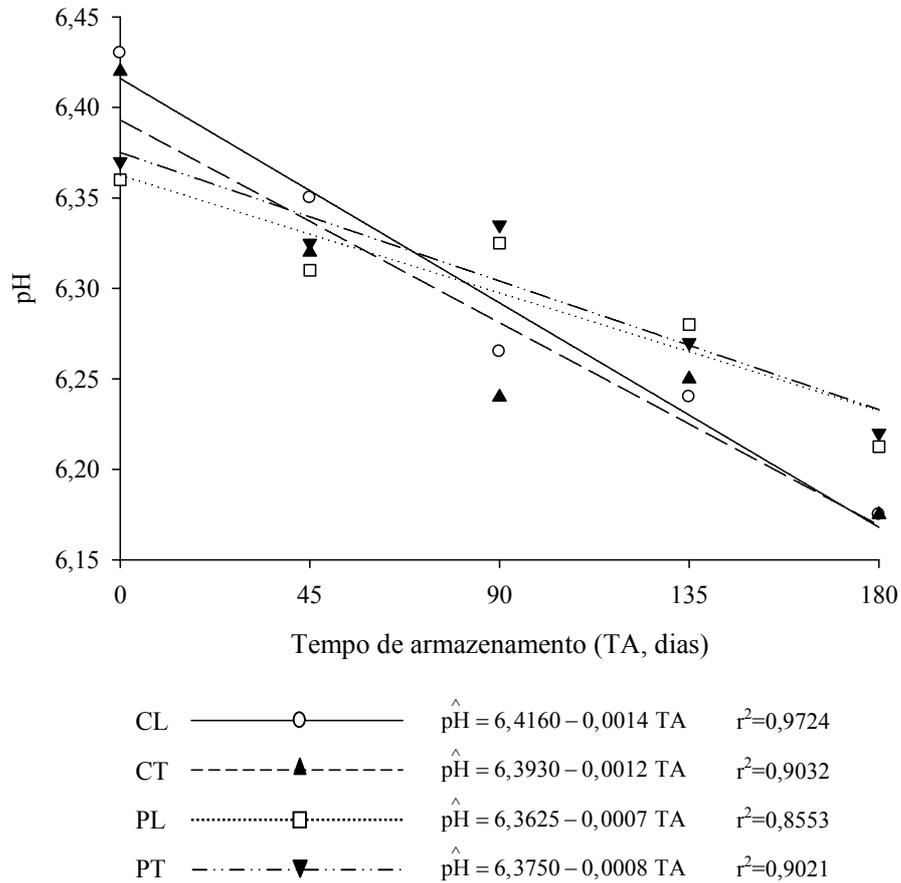


Figura 2.17. Variações do pH do café natural e descascado, submetido a diferentes métodos de secagem, durante o armazenamento.

No entanto, durante o armazenamento, possivelmente, a deficiência em açúcar nos cafés descascados reduziu a acidificação dos grãos, ao passo que, a presença da casca e da polpa no café natural contribuiu para a continuidade dos processos fermentativos. Leite (1991) observou o efeito do despulpamento do café cereja e concluiu que a retirada da mucilagem foi a principal responsável pela redução da acidez nos grãos, uma vez que impossibilitou a acidificação do produto por ácidos provenientes da fermentação da polpa e da mucilagem.

Tabela 2.14. Valores médios de pH dos grãos de café, armazenados descascados e na sua forma natural, secados em estufa a 40 °C e em terreiro, durante o armazenamento.

TEMPO (dias)	CAFÉ	SECAGEM	
		Estufa (40 °C)	Terreiro
0	Natural	6,43 A a	6,42 A a
	Descascado	6,36 B a	6,37 B a
45	Natural	6,35 A a	6,32 A a
	Descascado	6,31 B a	6,33 A a
90	Natural	6,27 B a	6,24 B a
	Descascado	6,33 A a	6,34 A a
135	Natural	6,24 B a	6,25 A a
	Descascado	6,28 A a	6,27 A a
180	Natural	6,18 B a	6,18 B a
	Descascado	6,21 A a	6,22 A a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV(%)=0,21).

Rodrigues (2009) observou que a maior proporção de ácidos carboxílicos ocorreu no período em que houve incremento no teor de água dos grãos, favorecendo o desenvolvimento de microrganismos e fermentações indesejadas. Segundo Carvalho et al. (1997), cafés de bebida ruins, devido à presença de microrganismos, são produzidos em locais com alta umidade relativa e altas temperaturas. Rodrigues (2009) observou, ainda, que apesar do aumento do teor de água ter ocorrido em todas as amostras, comparando-se a secagem a 40 e a 50 °C, a deficiência de açúcar no café descascado contribuiu para reduzir a produção de ácido carboxílico em relação ao café natural.

Da mesma forma, observou-se neste trabalho que a variação nos valores de pH e, conseqüentemente, a acidez foi mais significativa para o café natural a partir dos 90 dias de armazenamento (Tabela 2.14), período em que se iniciava o incremento dos teores de água dos grãos (Figura 2.2).

Como mencionado anteriormente, durante todo o período estudado, o café natural apresentou valores de condutividade elétrica superiores ao café descascado. Este fato também pode estar relacionado aos menores valores de pH observados para o café natural

durante grande parte do experimento, uma vez que a desestruturação das membranas celulares potencializa as reações de oxidação afetando a qualidade do café.

Quanto ao método de secagem, não houve diferença significativa entre os valores médios de pH dos dois tratamentos estudados, possivelmente devido às baixas temperaturas utilizadas.

Os valores de pH obtidos neste estudo estão próximos aos encontrados por Mendonça et al. (2005), que avaliaram diferentes cultivares de cafés provenientes de São Sebastião do Paraíso e encontraram valores de pH entre 6,39 e 6,62.

2.4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foram realizados os experimentos, conclui-se que:

- A armazenagem do café natural propiciou aumento na taxa respiratória e maior perda de matéria seca em comparação ao café descascado;
- A taxa respiratória não se mostrou um bom referencial para o cálculo da perda de matéria seca;
- O café descascado teve melhores características de qualidade (menores valores de condutividade elétrica, perda da cor verde, perda de massa seca, maiores valores de massa específica aparente e pH);
- De modo geral, o método de secagem não influenciou a taxa respiratória, a perda de matéria seca, pH e a coordenada *L* da cor, durante a armazenagem;
- Houve variação das outras características de qualidade avaliadas quanto ao método de secagem;
- A partir do estudo dos índices cromáticos hue e CCI, o café descascado e a secagem em estufa a 40 °C resultaram em produtos com melhores características de qualidade.

2.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P.C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 384 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 6, p. 1268-1276, 2003.

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; SILVA, F.S. Contribuição das etapas de pré-processamento para a qualidade do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 8, p. 46-53, 2004.

ALVES, W.M.; FARONI, L.R.D.; CORRÊA, P.C.; PARIZZI, F.C.; PIMENTEL, M.A.G. Influência do Pré-Processamento e do Período de Armazenamento na Perda de Matéria Seca em Café Beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 7, p. 122-127, 2003.

AMORIM, H.V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração da qualidade**. 1978. 136p. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16.ed. Washington. 1995. 684 p.

ARÊDES, E.M. **Avaliação das perdas de matéria seca e de qualidade do café (*Coffea arabica* L.) beneficiado e armazenado em importantes municípios produtores da Zona da Mata Mineira e em Alegre-ES**. 2002. 39 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

BACCHI, O. O branqueamento dos grãos de café. **Bragantia**, v. 21, n. 28, p. 467-484, 1962.

BAILEY, C.H. Respiration of cereal grains and flaxseed. **Plant Physiology**, v. 15, p. 257-274, 1940.

BORÉM, F.M.; CORADI, P.C.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J.A. Qualidade do café natural e despolpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1609-1615, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para Análises de Sementes**. Brasília, DF, 1992. 365 p.

BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.R.; CHALFOUN, S.M.; BOTREL, N.; JUSTE JÚNIOR, E.S.G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 449-454, 1994.

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.R.; SOUZA, S.M.C. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 5-20, 1997.

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

CHRISTENSEN, C.M.; KAUFMANN, H.H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C.M. Storage of cereal grain and their products. St Paul: **American Association of Cereal Chemists**, p. 159-192, 1974.

COELHO, K.F.; PEREIRA, R.G.F.A.; VILELLA, E.R. Qualidade do café beneficiado em função do tempo de armazenamento e de diferentes tipos de embalagens. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 2, p. 22-27, 2001.

CORADI, P.C. **Alterações na qualidade do café cereja natural e despoldado submetidos a diferentes condições de secagem e armazenamento**. Lavras, 2006. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CORRÊA, P.C.; AFONSO JÚNIOR, P.C.; PINTO, F.A.C.; OLIVEIRA, T.T. Efeito da Temperatura de secagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”, **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial café, v. 23, n. 5, p. 22-27, 2002.

CORTEZ, J.G. Aptidão climática para qualidade da bebida nas principais regiões cafeeiras de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 21-26, 1997.

DHINGRA, O.D.; SINCLAIR, J. B. **Basic Plant Pathology Methods**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1995. 434 p.

FRANCIS, F.J. Color quality evaluation of horticultural crops. **HortScience**, v.15, p. 58-59, 1980.

GIRANDA, R. N. **Aspectos qualitativos de cafés (*Coffea arabica*, L.) submetidos a diferentes processos de secagem**. 1998. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GODINHO, R. P.; VILELA, E. R.; OLIVEIRA, G. A.; CHAGAS, S. J. R. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 1, p. 38-42, 2000.

GOULART, P.F.P.; ALVES, D.J.; CASTRO, E.M.; FRIES, D.D.; MAGALHÃES, M.M.; MELO, H.C. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 662-666. 2007.

LEITE, I.P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. 1991. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

LIMA, M.V.; VIEIRA, H.D.; MARTINS, M.L.L.; PEREIRA, S.M.F. Preparo do café despulpado, cereja descascado e natural na região sudoeste da Bahia. **Revista Ceres**, v. 55, n. 2, p. 124-130, 2008.

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

MAMANI, M.Y.R. **Acidez do café e a qualidade da bebida**. 2007. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

MENCHÚ, E.F. La determinación de la calidade del café: características, color y aspecto. **Agricultura de las Americas**, v. 16, n. 5, p. 18-21, 1967.

MENDONÇA, L.M.V.L.; PEREIRA, R.G.F.A.; MENDES, A.N.G. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 239-243, 2005.

MYCOCK, D.J.; BERJAK, P. The implications of seed associated mycoflora during storage. In: KIGEL, J.; GALILI, G. (ed.). **Seeds development and germination**. New York: Marcel Decker, 1995. p. 747-766.

MUIR, W.E., WHITE, N.D.G. Microorganisms in stored grain. In: MUIR, W.E. (ed.) **Grain Preservation Biosystems**. Manitoba, 2001. p. 28-42.

NOBRE, G.W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

PIMENTA, C.J.; CHAGAS, S.J.R.; COSTA, L. Polifenoloxidase, lixiviação de potássio e qualidade de bebida do café colhido em quatro estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 2, p.171-177. 1997.

PIMENTA, C.J.; COSTA, L.; CHAGAS, S.J. de R. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e compostos fenólicos em café (*Coffea arabica* L.), colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 1, p. 23-30, 2000.

PIMENTA, C.J.; VILELLA, E.R. Qualidade do café (*Coffea arabica* L.), lavado e submetido a diferentes tempos de amontoa no terreiro. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 2, p. 3-10, 2001.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da Semente**. Segunda Edição, Brasília, DF, 1985. 290p.

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

PRETE, C.E.C.; ABRAHÃO, J.T.M. Condutividade elétrica do exsudado de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida. In: III Seminário Internacional sobre Biotecnologia na Agroindústria Cafeeira, 2000, Londrina, PR. Anais do 3º SIBAC. Londrina, PR: IAPAR, 1999. v. 1. p. 463-471.

RODRIGUES, A.P.L. **Avaliação dos constituintes voláteis do café submetido a diferentes tratamentos pós-colheita pela análise de suas características físicas, químicas e sensoriais**. Viçosa, 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SAUER, D.B. **Storage of cereal grains and their products**. St Paul: American Association of Cereal Chemists, 1992. 615 p.

SAUL, R.A.; STEELE, J.R. Why damaged shelled corn costs more to dry. **Agricultural Engineering**, v. 47, n. 6, p. 326-329, 1966.

SILVA, C.F.; BATISTA, L.R.; SCHWAN, R.F. Incidence and distribution of filamentous fungi during fermentation, drying and storage of coffee (*Coffea arabica* L.) beans. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 39, n. 3, p. 521-526, 2008.

STEELE, J.L.; SAUL, R.A.; HUKILL, W.V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. **Transactions of the ASAE**, v. 12, n. 5, p. 685-689, 1969.

THOMPSON, T.L. Temporary storage of high-moisture shelled corn using continuous aeration. **Transactions of the ASAE**, v. 15, n. 2, p. 333-337, 1972.

VILELA, E.R. Secagem e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 55-63, 1997.

VILELA, E.R.; CHANDRA, P.K.; OLIVEIRA, G.A. Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 1, p. 31-37, 2000.

WILBAUX, R.; HAHN, D. Contribution a l'étude des phénomènes intervenant au cours de la conservation du café vert. **Café Cacao Thé**, Paris, v. 10, n. 4, p. 342-367, 1966.

WILCKE, W.F.; GUPTA, P.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A. Effect of changing temperature on deterioration of shelled corn. **Transactions of the ASAE**, v. 43, n. 5, p. 1195-1201, 1998.

APÊNDICE

APÊNDICE

Tabela 1A. Taxa respiratória (TR) dos frutos de café em diferentes estádios de maturação em função do teor de água (U).

ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO					
CEREJA		VERDOENGO		VERDE	
U (% b.u.)	TR (mg _{CO₂} kg _{ms} ⁻¹ h ⁻¹)	U (% b.u.)	TR (mg _{CO₂} kg _{ms} ⁻¹ h ⁻¹)	U (% b.u.)	TR (mg _{CO₂} kg _{ms} ⁻¹ h ⁻¹)
11,30	0,40	12,33	0,46	11,46	1,52
14,57	0,62	14,93	1,57	13,30	2,54
18,58	1,39	20,99	3,70	18,56	4,69
24,63	2,92	28,00	8,02	26,33	10,56
29,18	4,44	31,68	10,27	31,52	16,09
35,03	7,08	38,03	15,03	36,42	21,18
45,63	15,08	45,61	20,04	47,46	44,79
59,02	33,44	62,25	99,64	59,84	123,99

Tabela 2A. Taxa respiratória (TR) dos cafés, no estágio de maturação cereja, natural e descascado em função do teor de água (U).

CAFÉ			
DESCASCADO		NATURAL	
U (% b.u.)	TR ($\text{mg}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{ms}}^{-1} \text{h}^{-1}$)	U (% b.u.)	TR ($\text{mg}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{ms}}^{-1} \text{h}^{-1}$)
11,12	0,37	11,30	0,40
12,64	0,52	14,57	0,62
14,10	0,61	18,58	1,39
16,78	0,83	24,63	2,92
21,36	1,92	29,18	4,44
26,14	3,11		
30,52	4,73		
11,12	0,37		