

UNIOESTE
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
NÍVEL MESTRADO

LUCIANI FATIMA LOPES DIAS

AVALIAÇÃO DE ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE GRÃOS
DE CAFÉ (*Coffea arabica*) ORGÂNICO E CONVENCIONAL

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

NOVEMBRO 2007

LUCIANI FATIMA LOPES DIAS

**AVALIAÇÃO DE ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE GRÃOS
DE CAFÉ (*Coffea arabica*) ORGÂNICO E CONVENCIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Nível Mestrado, para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: PROF. DR. ALESSANDO TORRES
CAMPOS

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. ELCIO SILVERIO
KLOSOWSKI

MARECHAL CÂNDIDO RONDON
NOVEMBRO/2007

À Deus, por ter me dado forças nos momentos mais difíceis e aquele sem o qual nada faz sentido.

À minha família pelo apoio e incentivo.

Ao meu namorado Yuri, pelo seu carinho ajuda e sobretudo pela tolerância.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon, em especial à coordenação do Curso de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade que me foi dada para realizar o curso

Ao orientador, Professor Dr. Alessandro Torres Campos, por seu empenho, sabedoria e dedicação, que tornou possível a realização deste trabalho.

Ao co-orientador, Professor Elcio Silvério Klosowski, pela essencial colaboração.

À equipe da EMATER da cidade de Jesuítas pelo auxílio na obtenção das amostras de café.

A banca pelo auxílio e disposição.

Aos colegas de turma pelo companheirismo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS	13
2.2 CAFÉS ESPECIAIS – CAFÉ ORGÂNICO	15
2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS	17
2.3.1 FORMA E TAMANHO	17
2.3.2 MASSA ESPECÍFICA REAL, APARENTE E POROSIDADE	19
2.3.3 VELOCIDADE TERMINAL	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 DETERMINAÇÃO DA CIRCULARIDADE E ESFERICIDADE	24
3.2 MASSA ESPECÍFICA E POROSIDADE	27
3.2.1 MASSA ESPECÍFICA APARENTE	27
3.2.2 MASSA ESPECÍFICA REAL	27
3.2.3 POROSIDADE	28
3.3 VELOCIDADE TERMINAL	28
4 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 ESFERICIDADE E CIRCULARIDADE	31
5.2 MASSA ESPECÍFICA REAL E APARENTE	34
5.3 POROSIDADE	36
5.4 VELOCIDADE TERMINAL	37
5.5 CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ESTUDADAS	38
6 CONCLUSÕES	40
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 Desenho esquemático de um fruto de café considerado como um esferóide tri-axial oblato e suas dimensões características.....26
- FIGURA 2 Sistema para determinação da velocidade terminal.....29

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Médias das esfericidades em função do método e variedade	32
TABELA 2 – Médias das esfericidades em função do método e sistema	32
TABELA 3 – Dimensões médias dos eixos (“a” “b” e “c”) ortogonais dos grãos de café coco.....	33
TABELA 4 – Esfericidades (E1 , E2 e E3), determinadas pelas Equações “3”, “6” e “7” respectivamente	34
TABELA 5 - Valores médios de circularidade expressos em porcentagem calculados de uma amostra de 100 grãos de café nas variedades Catuaí e Iapar, orgânicos e convencionais	35
TABELA 6 - Massas específicas, aparente e real, para amostra de café de diferentes variedades e tratamentos culturais.....	35
TABELA 7 – Massa específica real média para frutos de café no estágio coco.....	37
TABELA 8 - Porosidade para amostras de café de diferentes variedades e tratamentos culturais	38
TABELA 9 – Valores médios de velocidade terminal para frutos de café no estágio coco.....	38
TABELA 10 – Correlações entre as variedades estudadas	39

RESUMO

O café é um dos principais itens de exportação juntamente, com o açúcar e o algodão. A agricultura orgânica tornou-se um mercado em expansão, com grandes perspectivas para o produtor. O café orgânico é um produto diferenciado, de maior valor agregado, cujo mercado tem crescido e se fortalecido ao longo dos anos. Apesar do café ser uma cultura antiga, estudos sobre suas propriedades físicas são limitados e dispersos. O conhecimento das características físicas dos produtos colhidos no Brasil é essencial para o projeto, construção e operação de equipamentos de limpeza, secagem, classificação, armazenagem e industrialização, bem como para a adaptação de equipamentos já existentes visando ao maior rendimento e racionalização de uso de energia. Desta forma, este trabalho teve como objetivo determinar algumas propriedades físicas de grãos de café orgânico e convencional. Foram determinadas a esfericidade e circularidade, massa específica granular, porosidade e velocidade terminal. O trabalho foi conduzido nos laboratórios da UNIOESTE - Cascavel-PR. Foram utilizados grãos de café (*Coffea arabica*, L.) orgânico e convencional no estágio coco, obtidos junto à Emater. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que a medida dos eixos ortogonais não apresentou diferença significativa, quando comparadas as variedades e os tipos de tratamentos. Frutos de café nos tipos orgânico e convencional e a variedade, não apresentaram diferença nas determinações de circularidade. Os valores de massa específica aparente e real encontrados foram semelhantes aos descritos por outros autores, no entanto, comparando-se o café orgânico com o convencional, não houve diferença de valores. A variedade Catuaí tratamento orgânico, apresentou maior valor médio de porosidade, contudo não observou-se diferença significativa entre café orgânico e convencional nas duas variedades analisadas. Os tratamentos orgânicos apresentaram, nas determinações de velocidade terminal, valores cerca de 9% superiores aos convencionais.

Palavras – Chave: café, propriedades físicas, orgânico.

ABSTRACT

The coffee is one of the main item of exportation together, with the sugar and the cotton. Organic agriculture became a market in expansion, with great perspectives for the producer. The organic coffee is a differentiated product, of bigger added value, whose market has grown and if fortified throughout the years. Although the coffee to be an old culture, studies on its physical properties are limited and dispersed. The knowledge of the physical characteristics of the products harvested in Brazil is essential for the project, construction and operation of cleanness equipment, drying, classification, storage and industrialization, as well as for the existing equipment adaptation already aiming at to the biggest income and rationalization of energy use. In such a way, this work had as objective to determine some physical properties of grains of organic and conventional coffee. Sphericity and circularity, granular specific mass, porosity and terminal speed had been determined. The work was lead in the laboratories of the UNIOESTE -Cascavel. They had been used supreme of organic and conventional coffee (*Coffea arabica*, L.) in the stadium coconut, gotten next to the Emater. From the gotten results, it can be concluded that the measure of the ortogonals axles did not present significant difference, when comparative the varieties and the types of treatments. Fruits of coffee in the types organic and conventional and the variety, had not presented difference in the circularity determination. The found values of apparent and real specific mass had been similar to the described ones for other authors, however, comparing the organic coffee with the conventional, it did not have difference of values. The Catuaí variety organic treatment, presented greater average value of porosity, however significant difference between organic and conventional coffee in the two analyzed varieties was not observed. The organic treatments had presented, in the determination of terminal speed, values about 9% superiors to the conventionals.

Keywords: coffee, physical properties, organic.

INTRODUÇÃO

A indústria cafeeira no Brasil assumiu grande importância comercial no final da década de 90, com a alta dos preços, causada pela crise instaurada na colônia francesa do Haiti, grande produtor da época. Assim, o café (*Coffea arabica* L.) tornou-se um dos principais itens de exportação juntamente com o açúcar e o algodão (Furtado, 1991).

O café é um dos principais produtos de exportação do Brasil, porém tem perdido espaço no mercado mundial. Mesmo assim, o café é o segundo produto na pauta das exportações agrícolas brasileiras, gerando, em média, US\$ 2,7 bilhões por ano, sendo também uma excelente fonte de receita tributária para cerca de 1700 municípios produtores (Afonso Junior, 2001).

Segundo dados da CONAB (2006), a estimativa para área cultivada de café em todo o Brasil, na safra 2005/2006 é de 2.198,3 mil ha, com produção total de café beneficiado no País de 32,46 milhões de sacas. O resultado representa uma redução de 16,1% ou 6,21 milhões de sacas inferiores aos 38,67 milhões produzidas na safra anterior.

No entanto, o Brasil pouco participa do mercado mundial de cafés especiais. Dos 3,4 milhões de sacas de café especial importados pelos Estados Unidos, em 1998, apenas 5% procederam do Brasil, comparado com 32% da Colômbia, principal fornecedor. No Brasil, o mercado de cafés especiais representa 1,5% do total de 12 milhões de sacas de café consumidos por ano, apresentando uma atraente oportunidade de investimento (Agriannual, 2001).

A procura por alimentos saudáveis, isentos de resíduos e demais contaminantes químicos capazes de colocar em risco a saúde humana e a conservação do meio ambiente é uma realidade em todo o mundo. Por isso, a agricultura orgânica tornou-se um mercado em expansão, com grandes

perspectivas para o produtor. O café orgânico é um produto diferenciado, de maior valor agregado, cujo mercado tem crescido e se fortalecido ao longo dos anos (Caixeta, 2000). O cultivo sem o uso de agrotóxicos, além de preservar o solo, a biodiversidade da lavoura e poupar a saúde dos trabalhadores, também é uma alternativa para fugir da competição internacional do mercado de café *commodity*, sem diferenciação ou marca que ainda compõe o grosso do produto nacional.

De acordo com Ormond (2002), durante o ano de 2001 o BNDES realizou um estudo junto às principais certificadoras que atuam no País, e o levantamento indicou a existência de 7.063 produtores certificados ou em processo de certificação no Brasil, em uma área de 269.718 ha, sendo 5,93% desses, produtores de café legitimamente orgânico (419 produtores), envolvendo uma área plantada de 13.005 ha (4,82% do total). O mercado de produtos orgânicos no Brasil foi estimado pelo BNDS, em 2002, na faixa de US\$ 220 milhões a US\$ 300 milhões.

A produtividade e a qualidade de grãos agrícolas são altamente dependentes, além da eficiência no uso de insumos e na aplicação dos tratamentos culturais, dos processos de colheita. O avanço tecnológico tem exigido e vem permitindo a implementação de técnicas e de projetos de equipamentos, mais adequados e de menores custos, para a execução mais rápida de determinadas tarefas (Magalhães et al., 2000).

Segundo Afonso Junior (2001) as informações concernentes ao tamanho, volume, porosidade e massa específica, dentre outras características físicas dos produtos agrícolas, são consideradas de grande importância para estudos envolvendo transferência de calor e massa e movimentação de ar em massas granulares. Juntamente com o teor de umidade, a massa específica, a porosidade e o volume são parâmetros utilizados para determinar as condições de secagem e armazenagem de produtos agrícolas e, conseqüentemente, possibilitar a predição de perdas de qualidade do material até o momento de sua comercialização.

As características e propriedades físicas de materiais têm sido usadas diretamente em diferentes setores. Mbuvi et al. (1989), na investigação de novas metodologias para a separação de sementes de soja sadias das infecionadas por fungos e vírus, estudaram a viabilidade de se usar algumas

das características físicas da semente, como parâmetro diferenciador. Verificaram que, para alguns tipos de infecção, o volume e o peso das sementes sem danos foram, significativamente, maiores do que aqueles para sementes danificadas. A massa específica, a forma e a área superficial dos grãos foram menos afetadas.

O conhecimento das características físicas dos produtos colhidos no Brasil é importante para o projeto, construção e operação de equipamentos de limpeza, secagem, classificação, armazenagem e industrialização, bem como para a adaptação de equipamentos já existentes visando ao maior rendimento e racionalização de uso de energia (Lucena & Silva, 1995).

Apesar do café ser uma cultura antiga, valores das propriedades físicas são limitados e dispersos, e sendo o café orgânico um produto relativamente novo no mercado, os valores de suas propriedades físicas ainda são desconhecidas. Então, visando obter dados que possam ser utilizados no projeto de máquinas de pré-processamento e beneficiamento de produtos agrícolas, este trabalho tem como objetivo geral determinar e comparar as propriedades físicas de forma e tamanho, massa específica real e aparente, porosidade e velocidade terminal de frutos de café no estágio coco, orgânico e convencional, nas variedades Catuaí e Iapar. E como objetivos específicos pretende-se determinar a esfericidade dos frutos de café em coco utilizando-se de três métodos distintos, determinar qual dos métodos utilizados nas determinações de esfericidade é o mais recomendado e comparar se há diferença significativa nas propriedades físicas estudadas em relação ao sistema de cultivo e variedade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Café – características botânicas.

O cafeeiro pertence ao grupo das plantas Fanerógamas, Angiospermas, subclasse Dicotiledônea, ordem Rubiales, família das Rubiáceas, tribo Coffeae, subtribo Coffeinae e gênero *Coffea*. É uma planta de porte arbustivo ou arbóreo, de caule lenhoso, lignificado, reto e quase cilíndrico. Os ramos são dimórficos, sendo o seu dimorfismo relacionado à direção dos ramos ortotrópicos, que formam as hastes ou troncos. Os ramos laterais, produtivos, saem dessas hastes, crescem na horizontal e são chamados ramos plagiotrópicos. Estes dão origem a ramos terciários, formando o “palmetamento”, uma característica desejada, já que aumenta a área produtiva da planta (Joly, 1993).

Sobre o caule da planta podem crescer novos ramos ortotrópicos, os chamados ramos ladrões, oriundos, principalmente, da quebra da dominância apical (meristemática), decorrente de eliminação do ponteiro do cafeeiro, seja por poda ou por ataque de insetos, doenças, etc. Além disso, sempre que a haste fica mais exposta ao sol (por cinturamento da planta) ou, então, sofre efeito de machucaduras (chuva de granizo, cortes por ferramentas), ocorre maior formação de ‘ladrões’, exigindo desbrotas corretivas (CIC, 2007).

As plantas do cafeeiro são opostas, inteiras, coriáceas e persistentes (na maioria das espécies), tendo coloração verde mais escura e brilhante na parte superior do limbo e mais clara e opaca, com nervuras salientes, na parte inferior (Joly, 1993).

Nos ramos laterais e nas axilas da folhas são formadas as gemas florais, que dão origem à floração e à refrutificação. As flores são normalmente brancas, podendo ser amareladas e rosa-claro (como em algumas seleções de *C.canephora*); são tubulosas, com a parte livre da corola dividida em um número variável de lóbulos e apresentando cinco pétalas em *C.arabica*. As flores hermafroditas crescem em glomérulos (rosetas) e abrem-se de 8 a 10 dias após

chuva ou irrigação, tendo duração efêmera (3 a 4 dias) (CIC, 2007).

O fruto do café é uma drupa, normalmente com duas sementes, que são planoconvexas (sementes chatas), desde que não haja abortamento de um lóculo, formando-se, nesse caso, sementes arredondadas, chamadas de moca (Joly, 1993).

O café arábica é uma planta de clima tropical úmido e temperaturas amenas, encontrando no Brasil extensas áreas favoráveis a seu cultivo. As temperaturas médias anuais do ar mais favoráveis ao cultivo do café arábica são as que ocorrem entre 18 e 22°C, estando a ideal entre 19 e 21°C, desde que sejam regiões livres ou pouco sujeita a geadas. As regiões que possuem temperatura média anual inferior a 18°C e superior a 23°C são consideradas inaptas para o café arábica. Temperaturas mais altas promovem formação de botões florais e estimulam o crescimento dos frutos. Entretanto, estimulam também, a proliferação de pragas e aumenta o risco de infecções que podem comprometer a qualidade da bebida (Camargo, 1985).

O cafeeiro reage positivamente a um período de seca que, entretanto, não deve durar mais do que 3 meses. A quantidade de chuva ideal para o desenvolvimento da cultura fica na faixa de 1500 a 1900 mm anuais, bem distribuídos. Uma distribuição muito irregular de chuva causa floração desuniforme e maturação desigual dos frutos (Embrapa Agrobiologia, 2006)

O cafeeiro é uma planta adaptada ao sombreamento parcial. Utiliza apenas cerca de 1% da energia luminosa fotossinteticamente ativa. Quando a temperatura na superfície da folha passa de 34°C, a taxa de assimilação de CO₂ cai a praticamente zero, fazendo com que a atividade fotossintética de uma planta sombreada passe a ser até mais alta do que a de uma planta totalmente exposta ao sol (Embrapa Agrobiologia, 2006).

A natureza fisiológica da bienalidade da produção do cafeeiro pode ser explicada pela concorrência entre as funções vegetativas e reprodutivas. Nos anos de grande produção, o crescimento dos frutos absorve a maior parte da atividade metabólica da planta, reduzindo o desenvolvimento vegetativo. Como, no cafeeiro arábica, o fruto se desenvolve nas partes novas dos ramos do ano anterior, há, conseqüentemente, produção menor. O crescimento dos ramos novos depende da quantidade de frutos em desenvolvimento, e o volume de produção é proporcional ao vigor vegetativo, ao número de nós e gemas florais formadas na estação vegetativa anterior (Camargo, 1985).

2.2 Cafés especiais – Café orgânico

O café é uma cultura com grande incidência de pragas e doenças fazendo com que a utilização de produtos químicos, seja em larga escala. Atualmente a população mundial vem se preocupando com questões ambientais e com os prejuízos causados à saúde devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos e por isso estão preferindo produtos mais saudáveis (Silva et al., 2005).

O café orgânico é cultivado sob as regras da agricultura orgânica, que tem como objetivo o fortalecimento dos processos biológicos, por meio de diversificação de culturas, fertilização com adubos orgânicos e controle biológico de pragas. Esse conceito apresenta fortes características de preservação ambiental, mas também considera aspectos econômicos e sociais da produção agrícola (Souza et al., 2000).

O sistema de produção de café orgânico vem surgindo como uma alternativa tecnológica e economicamente rentável, que visa eliminar os impactos ambientais provocados pelo uso irracional dos recursos naturais e pela adoção de tecnologias que agridem o meio ambiente. A produção de café legitimamente orgânico é um sistema alternativo que se fundamenta em três princípios básicos da agricultura orgânica: a não utilização de agrotóxicos, a busca do equilíbrio solo/planta através do manejo racional do solo e a valorização social do trabalhador rural. O conceito de "orgânico" baseia-se no manejo de sistemas agropecuários de modo similar à vida de um organismo, respeitando o potencial produtivo da propriedade agrícola. Nesses sistemas ou "organismos agrícolas", a produção vegetal e animal, a exploração dos recursos naturais e principalmente o homem evoluem de forma totalmente integrada (Theodoro, 2001).

Também conhecido como café ecológico, é geralmente cultivado em sistemas de produção sombreado. Estudos realizados por Harkaly et al. (1997), com produtores orgânicos de Minas Gerais mostram sistemas de produção de café consorciados com milho e feijão, com uso intensivo de mão-de-obra. Os autores demonstram a viabilidade técnica e econômica dos cultivos orgânicos em relação aos convencionais. A colocação do produto num mercado diferenciado, no entanto, é apontado como o principal componente de sua viabilidade econômica.

Embora o preço obtido na comercialização seja maior, o sistema de produção de café orgânico emprega maiores quantidades de mão-de-obra e insumos orgânicos. Esses insumos possuem diferentes composições, como biofertilizantes,

que funcionam como fertiprotetores, as caldas bordalesa, viçosa e sulfo-cálcica como fitoprotetores, compostos orgânicos, rochas moídas e/ou parcialmente solubilizadas, cinzas, tortas e farinhas, sendo utilizados de formas diversas pelos produtores, interferindo nas propriedades do solo (Theodoro et al., 2001).

Na atualidade, o maior insumo para a produção orgânica no mercado mundial ainda continua sendo a informação. Por outro lado, se a informação é importante, a falta dela é um dos grandes entraves. Segundo Altieri (2002), um dos grandes obstáculos à agricultura orgânica é a falta de comunicação por parte dos produtores, bem como o desconhecimento por parte dos consumidores sobre os benefícios socioambientais da produção orgânica.

Os sistemas orgânicos de produção de café criaram um nicho de mercado muito peculiar de cafés especiais, o dos cafés orgânicos. Esse segmento de mercado é o que mais cresce no mundo. O marketing relacionado com produtos orgânicos é feito por todos os grupos ambientalistas do mundo. A produção brasileira de café orgânico ainda é relativamente limitada e basicamente direcionada ao mercado externo (Leite & Silva, 2000).

Os preços alcançados no mercado internacional pelo café produzido em sistemas orgânicos tem despertado o interesse dos países produtores de café, sendo este, atualmente, um dos produtos orgânicos mais importantes exportados pelos países em desenvolvimento, com destaque para a América Latina. O Brasil é um dos principais produtores mundiais, ao lado de países como México e Guatemala, além de Costa Rica, Peru, Nicarágua e El Salvador. Também produzem café orgânico Papua- Nova Guiné, Indonésia, Índia, Uganda e Tanzânia (Saes et al., 2001; Theodoro, 2001).

O café é a segunda maior *commodity* agrícola, e os cafés especiais, entre eles o orgânico, são os únicos produtos que estão em crescimento expressivo em todos os principais países consumidores mundiais, sendo uma ótima oportunidade competitiva para o Brasil de melhorar sua imagem de cafés de qualidade no mercado internacional (Caixeta, 2000).

2.3 Propriedades físicas

2.3.1 Forma e tamanho

O conhecimento das propriedades físicas de produtos agrícolas é de fundamental importância para uma correta conservação e para o dimensionamento e operação de equipamentos para as principais operações pós-colheita de produtos agrícolas. A fim de minimizar os custos de produção para maior competitividade e melhoria da qualidade do produto processado, a determinação e o conhecimento do comportamento das propriedades físicas dos frutos e grãos do café são os principais fatores a contribuir para o adequado desenvolvimento de processos e simulações, que visem aperfeiçoar o sistema produtivo dessa cultura (Afonso Junior, 2001).

O tamanho e a forma são características específicas de cada produto, definidas geneticamente, que podem ser influenciadas pelo ambiente durante e após o período de sua formação e que influencia as demais propriedades físicas do produto. Esses dados são utilizados para o dimensionamento do tamanho e da forma dos frutos e das peneiras em equipamentos destinados à separação e classificação (Silva & Corrêa, 2000).

De acordo com Bala & Woods (1984), Ratti (1994) e Sokhansanj & Lang (1996), mudanças das características dimensionais dos produtos, devido à sua desidratação, são relatadas como as primeiras causas das alterações de forma e tamanho, massa específica real e aparente e velocidade terminal de produtos agrícolas.

Ratti (1994) e Zogzas et al. (1994) observaram que a contração volumétrica de produtos vegetais durante a secagem não é função exclusiva do teor de água mas, também, dependentes das condições do processo e da geometria do produto.

Segundo Mohesenin (1978) as características físicas de forma e de tamanho têm grande importância em problemas de distribuição de estresse no material durante operações de carregamento, separação eletrostática de grãos e sementes, em avaliações de cor e reflectância luminosa e, fundamentalmente, no desenvolvimento de maquinário de classificação e separação por tamanho.

Os grãos e frutos, de modo geral, não apresentam um formato geométrico perfeitamente definido, tornando necessário para a solução de problemas relacionados à sua geometria, assumir para o produto uma forma conhecida, o que acarreta em aproximações e possíveis erros. Agrawal et al. (1972) observaram que, para maioria dos produtos agrícolas, muitas dessas soluções são obtidas assumindo-se, as formas geométricas de um esferóide ou elipsóide composto por três dimensões características, que são os eixos maior, médio e menor.

Soares (1986), empregou para soja as aproximações de um esferóide e elipsóide, para estimar o volume de grãos na faixa de teor de umidade de 10,7% a 23, 7% e verificou, para ambas aproximações, há uma tendência de superestimar os resultados, quando comparados com valores de volumes determinados pelo método de complementação de volume. Em média os resultados obtidos pelas aproximações apresentaram erros próximos a 1,2%.

Forma e tamanho são inseparáveis em um objeto e ambos são necessários para se descrever satisfatoriamente este objeto. Dentro das propriedades físicas forma e tamanho, os principais parâmetros a serem definidos são a circularidade e a esfericidade (Lucena & Silva, 1995).

Moyse et al. (1985) sugeriram que a esfericidade, enrugamento da superfície e tamanho da partícula contribuem para variações na taxa de escoamento de materiais granulares. O grau de esfericidade de um corpo usado para descrever sua forma pode ser estimado pela razão entre o diâmetro de uma esfera, com o mesmo volume do corpo, e o diâmetro da menor esfera circunscrita no corpo ou, em geral, a maior dimensão do objeto (Mohsenin, 1978).

Segundo Towner (1987), citado por Resende et al.(2005), as bases teóricas para o conhecimento do processo de contração volumétrica envolvem complexas leis mecânicas e de deformação de materiais. No entanto, muitos pesquisadores utilizam aproximações e modelos empíricos, na tentativa de melhor representarem este complicado fenômeno em produtos de natureza biológica (Afonso Júnior et al., 2000; Resende et al., 2005).

2.3.2 Massa específica real, aparente e porosidade

Durante o processo de armazenagem de grãos, uma massa de ar é, geralmente, forçada a passar pelo produto agrícola; o ar, encontrando resistência do produto granular à sua passagem, escoar pelos espaços intergranulares. A resistência ao escoamento de ar, oferecida por uma massa de grãos, é conhecida, freqüentemente, como perda de pressão, ou perda de carga ou, ainda, pressão estática a ser vencida. A resistência ao fluxo de ar em sistemas de secagem e aeração depende de diversos fatores, como: intensidade do fluxo de ar, altura da camada de grãos, presença de impurezas no produto, tamanho, forma, teor de umidade e distribuição dos grãos na massa granular e rugosidade do produto. O método de enchimento da coluna de grãos, a sua compactação e a direção do fluxo de ar influenciam, também, na resistência de um produto à passagem de um fluxo de ar. Nesses sistemas, as chapas perfuradas, os dutos perfurados e as tubulações, são responsáveis por um aumento da queda de pressão (Calderwood, 1973; Haque et al., 1978; Jayas, 1987; Brooker et al., 1992).

Quando se trata dos principais parâmetros envolvidos na quantificação da resistência que uma massa de grãos impõe ao escoamento de ar, tem-se três propriedades físicas de grande importância, que são porosidade, massa específica real e aparente que, em geral, são funções do teor de umidade do produto e da presença de impurezas na amostra (Silva et al., 2006).

A massa específica aparente ou densidade granular pode ser definida como a razão entre a massa e o volume de determinada quantidade de produto, incluindo os espaços intergranulares. A aplicação do conhecimento de massa específica aparente se dá em comercialização, dimensionamento de silos, secadores, depósitos e sistemas de transportes, podendo ser utilizada para determinar teores de umidade e danos causados por insetos e pragas nos grãos armazenados (Silva & Corrêa, 2000).

Segundo Srivastava et al.(1993), o tamanho e a massa são as características mais importantes relacionadas à limpeza de um produto, sendo o fluxo de ar intermitente influenciado pela massa. Este processo baseia-se em possíveis diferenças nos valores entre as massas específicas dos grãos de café, nos diferentes estádios de maturação, e dos materiais estranhos; se as diferenças forem significativas, haverá a possibilidade real de se executar tal separação.

A porosidade é a relação entre o volume ocupado pelo ar existente na massa granular e o volume total ocupado por esta massa. Tem grande influência sobre a pressão de um fluxo de ar que atravessa a massa de grãos (Silva & Corrêa, 2000).

A fração de espaços vazios de uma massa de grãos, ou porosidade, pode ser determinada pelos métodos direto e indireto. Segundo Mohsenin (1986), pelo método direto a porosidade é obtida acrescentando-se um volume de líquido conhecido e necessário para complementação dos espaços vazios da massa granular. No método indireto, a porosidade pode ser determinada pelo uso de picnômetros, ou então, baseado em relações matemáticas que envolvem as massas específicas real ou aparente (Ruffato et al., 1999; Couto et al., 1999).

Ainda segundo Couto et al. (1999), para boa qualidade do café, este precisa passar por cuidados especiais nos processos de secagem e armazenagem, além dos aspectos agrônômicos e de colheita, em que a massa específica e a porosidade da massa são parâmetros relevantes, tanto para comercialização do produto quanto para um dimensionamento eficiente de silos, secadores, depósitos, sistema de transporte e projetos de máquinas beneficiadoras.

Alterações de características físicas como tamanho, volume, massas específicas real e a aparente e porosidade, em função do teor de umidade e outros fatores, durante e depois da secagem, tem sido adequadamente investigado por diversos autores para vários produtos. De modo geral, observa-se que essas propriedades físicas, para maioria dos produtos agrícolas, diminuem com aumento do teor de umidade, enquanto a porosidade da massa granular aumenta (Chung & Converse, 1971; Benedetti, 1987; Jayas et al., 1989; McMinn & Magee, 1997; Afonso Júnior & Corrêa, 2000).

2.3.3 Velocidade terminal

A partir do momento em que um corpo em queda livre a uma velocidade constante, a força do campo gravitacional é anulada, em termos, pelo efeito resultante da força de arraste, ou seja, sua aceleração é nula. Esta velocidade atingida é denominada velocidade terminal e é influenciada pela massa específica, pelo tamanho e pela forma do produto (Silva & Corrêa, 2000).

Para o desenvolvimento de máquinas em que se utiliza um fluxo de ar para separar os grãos das impurezas, o conhecimento da velocidade terminal de todas as partículas que compõem uma mistura de produto e impurezas, tais como palha, sementes silvestres e folhas, é essencial (Mohsenin, 1978). Esta propriedade determina a velocidade a ser imposta ao ar, para que este não arraste os grãos durante sua passagem.

Segundo Couto et al. (2003) a determinação experimental da velocidade terminal de um corpo é, freqüentemente, realizada de duas maneiras: (a) determinando a velocidade necessária para que o corpo flutue em um fluxo de ar ascendente e (b) por meio da medição do deslocamento, em função do tempo, de uma partícula em queda livre no ar, cuja equação de movimento é:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg - Fr \quad (1)$$

m= massa do corpo, kg;

x= deslocamento da partícula, m;

g= aceleração da gravidade, ms⁻²;

Fr- força resistente, N.

A solução da Equação 11, quando o corpo atinge a velocidade terminal (Vt) é:

$$X = \frac{Vt}{g} \ln \left[\cosh \left(\frac{gt}{vt} \right) \right] \quad (2)$$

x = deslocamento da partícula, m;

Vt = velocidade terminal;

g = aceleração da gravidade, ms⁻²;

ln = logarítmo neperiano;

t = tempo;

Segundo Couto et al. (2004), a velocidade terminal de frutos de café pode ser obtida através de simulações usando-se a técnica dos elementos finitos; para tal,

são necessários apenas dois parâmetros, o peso do produto e suas dimensões principais.

Os fatores que afetam os valores da velocidade terminal de frutos de café não são, ainda, bem conhecidos, e podem ser diferentes daqueles que influenciam outros tipos de grãos. Ressalta-se, por exemplo, que o comportamento da rugosidade da superfície de frutos de café difere visivelmente daquele para outros grãos agrícolas. À medida que o teor de umidade deste produto é reduzida, a rugosidade superficial aumenta (Couto et al., 2003).

O conhecimento da velocidade terminal de um produto e da força de arrasto em partículas colocadas em fluidos em movimento é sempre necessário em muitas aplicações em engenharia, tais como transporte pneumático e hidráulico de um produto e processos de separação e classificação de materiais. Determinações experimentais da velocidade terminal de vários tipos de grãos e sementes foram realizadas no passado e, atualmente, ainda continuam sendo o objetivo de vários pesquisadores (Couto et al., 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido nos laboratórios de Botânica e Fisiologia vegetal do Centro de Ciências Biológicas da UNIOESTE- Cascavel-Pr. Foram utilizados grãos de café (*Coffea arabica* L.) nas variedades Catuaí e Iapar tanto orgânico quanto convencional, cultivados no município de Jesuítas, localizado na região oeste do Estado do Paraná, a 24° 18' latitude sul e 53°19' longitude oeste e altitude de 460 metros acima do nível do mar.

Os frutos de café foram doados por produtores locais com o apoio da Emater. As variedades Catuaí e Iapar orgânicos são provenientes de um único produtor e é cultivado no sistema de produção sombreado, da mesma forma as variedades Catuaí e Iapar cultivadas no sistema de produção convencional, são provenientes de um único produtor.

O café foi colhido manualmente no estágio cereja, com teor inicial de umidade em torno de 50%. Em seguida, foi submetido ao processo de secagem em terreiro por 20 dias, até atingir o estágio de coco. A secagem foi homogênea para as variedades e sistemas de plantio estudados. Após a secagem, as amostras foram acondicionadas em embalagens de papel e armazenadas em câmara fria a uma temperatura de 5°C, a fim de manter as características do produto até a realização do experimento.

Durante o processo de colheita foram eliminados os frutos imaturos, deteriorados ou danificados, sendo em seguida o produto submetido à lavagem, com o intuito de se obter um material homogêneo, livre de impurezas e de melhor qualidade.

O teor de umidade inicial dos grãos foi determinado pelo método padrão da estufa, 103 ±3 °C, durante 24 h, com três repetições, de acordo com as regras para análise de sementes (Brasil, 1992). Sendo utilizada uma estufa de secagem e esterilização mecânica, modelo 320 – SE.

Avaliou-se as propriedades físicas de circularidade e esfericidade, massa específica aparente e real, porosidade e velocidade terminal.

3.1 Determinação de Circularidade e esfericidade

Para determinar a circularidade, que indica o quanto se aproxima a área da projeção do material com a área de um círculo, e esfericidade, ou seja, o grau de aproximação da forma do produto com a esfera, foram utilizados métodos propostos por Mohsenin (1978).

Para a esfericidade foram utilizados três métodos distintos de acordo com as seguintes expressões:

$$E_1 = \frac{d_e}{d_{ec}} \quad (3)$$

Sendo:

E_1 - esfericidade;

d_e - o diâmetro de uma esfera de mesmo volume do objeto, (mm);

d_{ec} - o diâmetro da menor esfera circunscrita ou o maior diâmetro do objeto (mm).

Esta equação para esfericidade expressa a forma característica do sólido em relação ao de uma esfera de mesmo volume.

Assumindo que o volume de um sólido é igual ao volume de um elipsóide triaxial com os interceptos “c”, “e”, “l” e que o diâmetro de uma esfera circunscrita é o maior interceptor do elipsóide, o grau de esfericidade também pode ser expresso como segue (Mohsenin, 1978):

$$E_2 = (\text{Volume do sólido} / \text{Volume da esfera circunscrita})^{1/3} \quad (4)$$

$$E_2 = \left[\frac{(\pi/6).c.e.l}{(\pi/6).c^3} \right]^{1/3} = \left(\frac{e.l}{c^2} \right) \quad (5)$$

$$E_2 = \frac{\text{Diametromédiogeométrico}}{\text{Maiordiametro}} = \left(\frac{c \cdot e \cdot l}{c} \right)^{1/3} \quad (6)$$

Sendo:

E_2 - a esfericidade;

c - o maior intercepto (comprimento do produto, em mm);

e - o maior intercepto normal a "c" (espessura do produto, em mm);

l - o maior intercepto normal a "c" e "e" (largura do produto, em mm).

Os interceptos ("c", "e" e "l") não precisam necessariamente se cruzarem em um ponto comum.

Finalmente, a terceira definição para esfericidade foi dada por (Dutta et al., (1988); Mohsenin, (1978); Oje & Ugbor, (1991); Mbuvi et al., (1989)):

$$E_3 = \frac{d_i}{d_c} \quad (7)$$

Em que:

E_3 - a esfericidade;

d_i - o diâmetro do maior círculo inscrito ao produto;

d_c - o diâmetro de menor círculo circunscrito ao produto.

Para medição do volume do grão foi utilizado o processo de submersão em óleo vegetal, medindo-se a variação de volume. O diâmetro da esfera correspondente (d_e) foi determinado a partir de:

$$d_e = 2 * \left(\frac{3}{4} * \pi * v \right)^{1/3} \quad (8)$$

sendo "v" o volume deslocado em óleo. O diâmetro da menor esfera circunscrita (d_c), foi obtido da medição do maior diâmetro do objeto (Mohsenin, 1978). As medidas dos interceptos "a" (comprimento), "e" (espessura) e "b" (largura) foram obtidas através de paquímetro, assumindo-se a forma de um esferóide tri-axial oblato para o fruto do café (Figura 1).

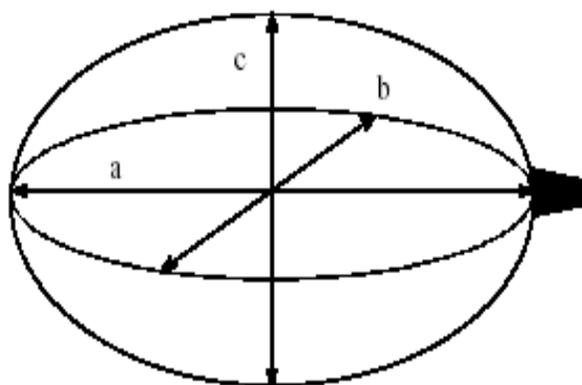


Figura 1: Desenho esquemático de um fruto de café considerado como um esferóide tri-axial oblato e suas dimensões características.

Para os valores de “di” foram utilizadas as mesmas medidas obtidas para “e”(espessura) que coincidem com diâmetro do maior círculo inscrito. Analogamente, os valores de “dc” serão os mesmos de “a” (comprimento), que coincidem com o diâmetro do menor círculo circunscrito.

Para o cálculo da circularidade tem-se a seguinte equação:

$$C = \frac{A_p}{A_c} \quad (9)$$

C - circularidade, adimensional;

A_p - área projetada do fruto na posição de repouso, mm^2 ;

A_c - área do menor círculo circunscrito, mm^2 ;

A área projetada do grão foi obtida mediante utilização de um retroprojektor, com um papel fixado em parede lisa (Oje & Ugbor, 1991), traçando-se o seu contorno, mantendo-se uma escala de 1:4,5. Para a determinação da área do menor círculo circunscrito (A_c), foi traçado um círculo contornando a área projetada descrita anteriormente.

A forma dos frutos do cafeeiro foi analisada pela esfericidade e circularidade, que foram calculadas a partir da determinação dos eixos ortogonais de 100 frutos de cada tipo e variedade de café empregando-se as equações 3, 6, 7, 8 e 9 .

3.2 Massa específica e porosidade

3.2.1 Massa específica aparente

A massa específica dos grãos de café foi determinada usando-se a metodologia de complementação de volume para qual é utilizado o óleo vegetal, já que apresenta pequena absorção pela amostra (Moreira et al., 1985).

A massa específica real de um produto é obtida pela equação:

$$Ma = \frac{m}{v} \quad (10)$$

em que: Ma - a massa específica aparente (g.cm^{-3});

m - massa de grãos (g);

v - volume dos grãos (cm^3).

Conforme Couto et al.(1999), na determinação da massa específica aparente, foram utilizadas provetas de 50,0 mL (0,5 mL) e 20 grãos em cada determinação. Para determinação da massa específica aparente das amostras de grãos de café, foi utilizada uma balança de peso hectolítrico, da marca Dellamore, com capacidade para um litro. A determinação da massa específica aparente foi realizada em cinco repetições para cada sistema de produção e variedade de café.

3.2.2 Massa Específica Real

Conforme Couto et al., (1999), a massa específica real do fruto de café coco foi determinada medindo-se a massa unitária e calculando-se a razão entre esta e o volume de cada fruto com 50 repetições para cada tratamento, utilizando a equação:

$$Mer = \frac{Mp}{Vp} \quad (11)$$

Mer = massa específica real ou unitária do produto, kg.m^{-3} ;

Mp = massa unitária do produto, kg;

Vp = volume unitário do produto, m^3 .

3.2.3 Porosidade

Segundo Couto et al., (1999), com o intuito de evitar a incorrência em erros na utilização do picnômetro para determinação da porosidade dos frutos de café, devido à entrada de ar para ocupação dos espaços vazios criados durante o processo de secagem no interior dos frutos, devido a contração heterogênea dos diversos constituintes do produto, e conhecendo-se a massa específica real (ρ_U) e aparente (ρ_{AP}), a porosidade (P) de um volume de grãos foi calculada pela equação:

$$P = 1 - \left(\frac{\rho_{AP}}{\rho_U} \right) \quad (12)$$

3.3 Velocidade Terminal

Para a determinação da velocidade terminal dos grãos de café, foi seguido processo descrito por Couto et al. (2003), o qual faz uso de um dispositivo constituído de um ventilador centrífugo acoplado a um tubo de acrílico transparente (0,093 m de diâmetro interno e 2,0 m de comprimento) como esquematizado na Figura 2. A amostra de 1 frutos de café, depois de ser acomodada em um compartimento telado posicionado a 1,0 m da extremidade inferior do tubo de acrílico, foi submetida a um fluxo de ar crescente, até que ocorresse o início de flutuação dos grãos. A velocidade do ar, nesta condição, foi determinada por meio de um anemômetro de pás rotativas da marca Instrutherm AD – 155, e considerada a velocidade terminal do produto.

Este equipamento foi montado especificamente para o desenvolvimento deste trabalho.

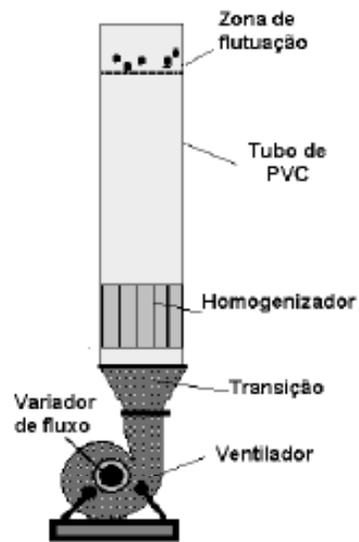


Figura 2: Sistema para determinação da velocidade terminal

4 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Para análise dos resultados foi utilizado o sistema computacional SAS (Statistical Analysis System, 1997). O delineamento estatístico utilizado foi o delineamento inteiramente ao acaso no esquema fatorial e o teste de Tukey para teste de médias.

Para análise dos dados de esfericidade foi utilizado esquema fatorial 3x2x2, onde se tem 3 métodos, 2 variedades e 2 sistemas de cultivo, para circularidade, massa específica real e aparente, porosidade e velocidade terminal utilizou-se de esquema fatorial 2x2, onde tem-se 2 variedades e 2 sistemas de cultivo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação das propriedades físicas foram realizadas com os frutos do café no estágio coco. Os teores de umidade para a variedade Catuaí orgânico foi de 12,9%, Catuaí convencional de 13,2%, para a variedade lapar orgânico foi de 12,8% e lapar convencional de 13,4%.

5.1 Esfericidade e Circularidade

Pode-se observar na Tabela 1 os valores das médias da esfericidade determinada por três métodos distintos, E1 que corresponde a Equação 3, E2 que corresponde a Equação 6 e E3 que corresponde a Equação 7, em função das variedades estudadas, e na Tabela 2 tem-se os valores das médias das esfericidades em função do sistema de produção.

Tabela 1 – Médias das esfericidades em função do método e variedade

Método	Variedade	
	Catuaí	lapar
E1	0,3341 B	0,3253 B
E2	0,7150 A	0,7157 A
E3	0,7030 A	0,7163 A

Tabela 2– Médias das esfericidades em função do método e sistema

Método	Sistema	
	Convencional	Orgânico
E1	0,3317 B	0,3277 B
E2	0,7075 A	0,7232 A
E3	0,7153 A	0,7040 A

Os métodos para cálculo de esfericidade diferiram estatisticamente ao nível de 1% de significância. O método E1, no qual foi empregado a Equação 3, sempre resultou nos menores valores para esfericidade quando comparado aos métodos E2 e E3 em que se utilizou as Equações 6 e 7, respectivamente.

Para variedade, sistema de cultivo e interação entre método de cálculo da esfericidade e variedade não foi observada diferença estatística significativa.

Na Tabela 3 podem ser observados os valores das dimensões médias dos eixos ortogonais e na Tabela 4 a esfericidade para grãos de café no estágio coco determinada por três métodos.

Tabela 3 – Dimensões médias dos eixos (“a”, “b” e “c”) ortogonais dos grãos de café coco,

Variedade	Eixos ortogonais (mm)		
	a	b	c
Catuaí orgânico	7,80	5,18	4,00
Catuaí convencional	7,52	5,46	3,94
lapar orgânico	7,70	5,60	4,30
lapar convencional	8,00	5,60	3,80

Em trabalho realizado por Corrêa et al. (2002), utilizando café Catuaí com teor de umidade de 12%, verificou-se os seguintes valores para os eixos ortogonais: comprimento (a) igual a 12,90 mm, largura (b) igual a 10,16 mm e espessura (c) igual a 9,09 mm.

Também Magalhães (2000), trabalhando com café na variedade Catuaí com teor de umidade de 12,6%, obteve valores dos eixos ortogonais comprimento, largura e espessura iguais a 12,27 mm, 9,26 mm e 8,73mm respectivamente.

Em trabalho realizado por Penha et al. (2007), verifica-se que o comprimento, a largura e a espessura dos grãos de café tenderam a serem diretamente proporcionais ao teor de água. O fenômeno pode ser explicado pelas modificações estruturais associadas às alterações celulares do produto, quando o mesmo é submetido ao processo de umedecimento, apresentando assim as mesmas características da maioria dos produtos agrícolas.

Tabela 4 - Esfericidades (**E1**, **E2** e **E3**), em porcentagem, determinadas pelas Equações “3”, “6” e “7” respectivamente e seus desvio-padrão

	Catuaí orgânico	Catuaí convencional	lapar orgânico	lapar convencional
E1	33,0	33,9	32,6	32,5
DP	2,9	4,5	2,4	4,5
E2	70,6	72,4	74,1	69,1
DP	5,5	6,0	6,8	5,7
E3	68,0	73,0	73,0	70,0
DP	9,0	11,0	9,9	10,0

Nota-se que a esfericidade apresentou valores diferentes para as três Equações utilizadas, sendo que as Equações 6 e 7 tendem a fornecer maiores valores de esfericidade, enquanto a Equação 3 tende a oferecer menores valores, tanto para café orgânico quanto para o café convencional nas duas variedades estudadas. Contudo, utilizando-se a Equação 3 obteve-se menores desvios, no entanto, os valores obtidos com a utilização das Equações 6 e 7 foram muito semelhantes, sugerindo-se então, que seriam os melhores métodos para a determinação da esfericidade.

Corrêa et al. (2002), em estudos feitos com café na variedade Catuaí, com teor de umidade de 12%, observaram que o valor de esfericidade, utilizando a equação 7, foi de 82,18%.

Também Magalhães (2000), trabalhando com café na variedade Catuaí, com teor de umidade de 12,6%, utilizou a equação 6 e verificou valor de esfericidade igual a 81,6%.

Os valores médios de circularidade expressos em porcentagem para as variedades e sistemas de plantio avaliados, encontram-se na Tabela 5. A variedade lapar cultivada em sistema orgânico apresentou 71% de circularidade, já o lapar em sistema convencional apresentou 70% de circularidade. Para a variedade Catuaí no sistema orgânico o valor da circularidade obtido foi de 72% e Catuaí no sistema convencional apresentou 71% de circularidade.

O menor valor de desvio padrão observado foi para a variedade lapar orgânico. Pode-se observar que os valores médios não variaram muito em função da variedade e do sistema de produção.

Tabela 5 – Valores médios de circularidade expressos em porcentagem calculados de uma amostra de 100 grãos de café nas variedades Catuaí e lapar, orgânicos e convencionais.

Variedades	Circularidade (%)	
	Média	desvio-padrão
Catuaí orgânico	72	9,0
Catuaí convencional	71	9,0
lapar orgânico	71	6,7
lapar convencional	70	8,0

Também, segundo trabalho de Corrêa et al. (2002), com café na variedade Catuaí, com teor de umidade de 12%, foi determinado valor de circularidade utilizando-se da Equação 9, de 78,76%.

5.2 Massa específica real e aparente

Na Tabela 6 foi apresentado o resumo geral dos valores médios da massa específicas real e aparente, determinados para amostras de café Catuaí convencional e orgânico e lapar convencional e orgânico, no estágio coco.

Tabela 6 – Massas específicas, aparente e real observadas, para amostras de café de diferentes variedades e tratamentos culturais.

Variedade	Massa específica			
	Real (kg m^{-3})		Aparente (kg m^{-3})	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio Padrão
lapar Orgânico	983	1,5	745,1	2,6
lapar Convencional	1036	1,8	717,5	2,7
Catuaí Orgânico	1502	1,2	807,7	8,2
Catuaí convencional	1132	2,5	749,2	2,9

Observa-se que a massa específica real do café na variedade lapar tratamento orgânico, apresentou menor valor médio, igual a 983 kg m^{-3} e o maior

valor médio foi observado para o café variedade Catuaí orgânico, igual a 1502 kg m^{-3} o qual também apresentou maior valor médio de massa específica aparente, sendo igual a $807,7 \text{ kg m}^{-3}$. Já o menor valor médio de massa específica aparente foi observado para a variedade lapar, tratamento convencional (Tabela 6).

Não foi observada diferença estatisticamente significativa da massa específica aparente de grãos de café no estádio coco tanto para variedade como para sistema de produção e nem na interação variedades e sistemas de produção.

Ao nível de 1% de probabilidade verificou-se que existe diferença estatística significativa entre os sistemas de produção e na interação variedade e sistema de produção quando se avaliou a massa específica real dos frutos de café no estádio coco.

Couto et al. (1999), observaram que a massa específica real do café Catuaí, com teor de umidade de 13,3% foi de 729 kg m^{-3} e que a massa específica aparente teve valor de $393,6 \text{ kg m}^{-3}$. Observaram também que a variação foi de 0,565 a $1,124 \text{ g cm}^{-3}$, é menor que a observada para a maioria dos grãos agrícolas. Já a massa específica aparente do café, que variou de 391,3 a $606,6 \text{ kg m}^{-3}$, é menor que a apresentada pela maioria dos grãos agrícolas, sendo comparável à da aveia.

Silva et al. (2006) obtiveram valores para a massa específica aparente que variaram de 353,1 a $456,0 \text{ kg m}^{-3}$, para café coco na variedade Catuaí. A massa específica real do café coco oscilou de 724,7 a $930,9 \text{ kg m}^{-3}$.

Na Tabela 7 são apresentados valores médios de massa específica real. Para o cultivo em sistema orgânico não houve diferença estatística significativa quando foram comparadas as variedades Catuaí e lapar quanto aos valores médios de massa específica real. Em sistema de cultivo convencional observou-se diferença estatística significativa entre as duas variedades, em que o maior valor foi atribuído a variedade Catuaí com $1036,4 \text{ kg m}^{-3}$.

Quando se compara o sistema de cultivo para a mesma variedade, constata-se que para a variedade lapar não houve diferença estatística significativa para massa específica real entre sistema orgânico e convencional de cultivo. No entanto, esta diferença ocorre para a variedade Catuaí, em que a massa específica real foi maior em sistema orgânico, cujo valor foi de $1132,0 \text{ kg m}^{-3}$, quando comparada ao sistema convencional.

Tabela 7 – Massa específica real média estimadas para frutos de café no estágio coco

Sistema	Variedade	
	Catuai	Iapar
Orgânico	1132,0 A b	1301,9 A a
Convencional	1036,4 A a	983,1 B a

Segundo Afonso Junior (2001), os valores de massa específica real e aparente tendem a uma variação menor para baixos teores de umidade; o que se explica pelo fato da casca e do pergaminho desses cafés se contraírem de modo diferenciado do grão, sendo que o grão sofre mudanças volumétricas mais acentuadas que a casca e, ou, o pergaminho que o envolve, de tal forma que os valores de massa específica, tanto a real quanto a aparente, sofrem uma variação reduzida em função da pequena mudança do volume do conjunto casca-pergaminho-grão. Isto faz com que o comportamento dessas propriedades físicas apresente-se de maneira diferente que a apresentada pela maioria dos grãos agrícolas, cujos valores tendem a aumentar com o decréscimo do teor de umidade do produto (Moshenin, 1986; Brooker et al., 1992).

A variação das propriedades físicas, massa específica real e aparente dos frutos e grãos de café, em função do teor de umidade, apresenta tendência diferente daquela observada para a maioria dos grãos agrícolas. Já a porosidade da massa do café e o volume do produto apresentam comportamento semelhante ao apresentado por diversos grãos, durante o processo de redução de umidade. O volume e as massas específicas real e aparente do café, das diferentes formas de preparo analisadas, aumentam com a elevação do teor de umidade do produto, enquanto a porosidade cresce com o aumento do teor de umidade dos frutos e grãos de café, até um valor máximo, passando em seguir a decrescer (Afonso Junior, 2001).

5.3 Porosidade

Os valores de porosidade determinados para grãos de café, variaram de 24% a 38%, sendo que a porosidade de 24% foi determinada para café lapar orgânico, 31% para lapar convencional, 38% para Catuaí orgânico e 34% para Catuaí convencional (Tabela 8). Estes valores encontram-se na mesma faixa de valores de porosidade observada para a maioria dos grãos.

Em trabalho realizado por Couto et al (1999), com café da variedade Catuaí, com teor de umidade de 13,3%, obtiveram valor de 46% de porosidade. Para Silva et al. (2006), as porosidades do café em coco, também da variedade Catuaí variaram de 47,5 a 51,9%.

Tabela 8 – Porosidade para amostras de café de diferentes variedades e tratamentos culturais.

Variedades	Porosidade (%)	
	Média	Desvio Padrão
lapar orgânico	24	5,1
lapar convencional	31	5,3
Catuaí orgânico	38	6,5
Catuaí convencional	34	5,7

5.4 Velocidade terminal

Para velocidade terminal dos grãos de café no estádio coco houve diferença estatística significativa ao nível de 1% de probabilidade quando se compara as variedades e os sistemas de produção, mas não houve diferença para a interação variedade x sistema de cultivo.

Na Tabela 9 encontram-se os valores médios de velocidade terminal para as variedades quanto para os sistemas de cultivo.

Tabela 9 – Valores médios de velocidade terminal para frutos de café no estádio coco

Variedade	Velocidade terminal média
Catuaí	9,8 B
lapar	10,5166 A
Sistema	

Convencional	9,45 B
Orgânico	10,8666 A

Os valores médios de velocidade terminal foram maiores para a variedade lapar e para cultivo em sistema orgânico, que foram de 10,5 e 10,9 m s⁻¹, respectivamente.

Segundo trabalho de Couto et al. (2003), determinando velocidade terminal com frutos de café da variedade Catuaí, com teor de umidade de 13,3%, obtiveram valor de 11,1 m s⁻¹, empregando mesma metodologia.

Para Teixeira et al. (2003), os valores médios das velocidades terminais, de grãos de milho, obtidos experimentalmente, ficaram em torno de 8,25 e 8,92 e os calculados foram 7,83 e 8,89 ms⁻¹. Segundo os autores, isto ocorreu, principalmente, devido ao método empregado em sua determinação, pois em razão da forma irregular dos grãos, sempre há uma tendência à rotação das partículas, acarretando a obtenção de valores superestimados.

5.5 Correlações entre as variáveis estudadas

Na Tabela 10 encontram-se as correlações entre as propriedades físicas circularidade, massa específica aparente, massa específica real e velocidade terminal.

A circularidade apresentou correlação positiva com a massa específica real e com a velocidade terminal.

Analisando-se em relação à massa específica real e velocidade terminal, como a aproximação do fruto do café de um esferóide a massa específica real sofre diminuição, aumenta a rugosidade superficial e conseqüentemente afeta os valores de velocidade terminal.

Segundo Corrêa et al. (2002) a circularidade do fruto diminui com a perda de água dos mesmos, indicando ser a geometria de um esferóide oblato mais adequada para representar a forma do fruto do café mais seco. E de acordo com Couto et al. (2003), o comportamento da rugosidade da superfície de frutos de café difere visivelmente daquele para outros grãos agrícolas. À medida que o teor de

umidade deste produto é reduzido, a rugosidade superficial aumenta. O que afeta diretamente a velocidade terminal.

Tabela 10 – Correlações entre as variáveis estudadas.

	CIR	MA	Mer	V. TERMINAL
CIR	1,000	0,1087	0,980	0,7871
MA	0,1087	1,000	0,2793	0,2686
Mer	0,9808	0,2793	1,000	0,8561
V. TERMINAL	0,7871	0,2686	0,8561	1,000

CIR – circularidade

MA – massa específica aparente

Mer – massa específica real

V. TERMINAL – velocidade terminal

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A medida dos eixos ortogonais (a, b e c) não apresentou diferença significativa, quando comparadas as variedades e os tipos de tratamentos.
- Nas determinações da esfericidade, utilizando-se a Equação 3 obteve-se menores desvios, no entanto recomenda-se a utilização tanto da Equação 6 como da equação 7, pois os valores encontrados com a sua utilização foram muito semelhantes para as variedades e sistemas de cultivo estudados.
- O tipo de tratamento (orgânico e convencional) e a variedade, não implicaram em diferença nas determinações de circularidade.
- Os valores de massa específica aparente e real encontrados foram semelhantes aos descritos por outros autores, no entanto, comparando-se o café orgânico com o convencional, não houve diferença de valores.
- A variedade Catuaí tratamento orgânico, apresentou maior valor médio de porosidade, contudo não observou-se diferença significativa entre café orgânico e convencional nas duas variedades analisadas.
- Os tratamentos orgânicos apresentaram, nas determinações de velocidade terminal, valores cerca de 9% superiores aos convencionais.
- Houve correlação principalmente entre a circularidade e massa específica real e velocidade terminal.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JUNIOR, P. C, **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 400p. (Tese de Doutorado).

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Análise da redução de volume de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) durante o processo de secagem. In: VILELLA, F. (ed.) **Avances en ingeniería agrícola.** Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, 2000. 686p.

AGRAWAL, K.K.; CLARY, B.L.; SCHROEDER, E.W. Mathematical models of peanut pod geometry. **ASAE**, St. Joseph, 1972, 30p. (Paper nº 72-315).

AGRIANUAL 2001. **Anuário da agricultura brasileira.** São Paulo: FNP Consultoria & comércio Ltda., 2001. 545p.

ALTIERI, M. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba. Ed. Agropecuária, 2002.

BALA, B.K.; WOODS, J.L. Simulation of deep bed malt drying. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v.30, n.3, p.235-244, 1984.

BENEDETTI, B.C. **Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos.** Campinas: UNICAMP, 1987. 125p. (Tese de Mestrado).

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes.** Brasília: DNDV/CLAV, 1992. 365p.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HAAL, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. New York: AVI. 1992. 450p.

CALDERWOOD, D. L. Resistance to airflow of rough, brown and milled rice. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.16, n.3, p.525-527, 532, 1973.

CAMARGO, A.P. Características das geadas excepcionalmente severas de julho de 1975. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3., 1975, Curitiba. *Resumos...* Curitiba: PROCAFÉ. 1975. p.250-252.

CAIXETA, I. F. A produção de café orgânico: alternativa para o desenvolvimento sustentado - o exemplo do sul de Minas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café:**

produtividade, qualidade e sustentabilidade. Viçosa: UFV, Dep. de Fitopatologia, 2000. p. 323-330.

CHUNG, D.S.; CONVERSE, H.H. Effect of moisture content on some physical properties of grains. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.14, n.3, p.612-614, 1971.

CIC. Centro da inteligência do café. Extraído de www.cicbr.org.br em 18/09/2007.

CONAB. Indicadores da agropecuária. Extraído de www.conab.gov.br em 28/01/2006.

CORRÊA, P.C. et al., Variação das dimensões características a da forma dos frutos de café durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.466-470,2002.

COUTO, S. M., et al. Determinação da força de arrasto e da velocidade terminal de frutos de café pela técnica de elementos finitos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.274-283,2004.

COUTO, S. M., et al. Parâmetros relevantes na determinação da velocidade terminal de frutos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.141- 148,2003.

COUTO, S. M., et al. Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.61-68,1999.

DUTTA, S. K., NEMA, V.K, BHARDWAJ, R.K. Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research*,v.39,n.4, p.259-268, 1988.

EMBRAPA AGROBIOLOGIA. Sistema de produção, 2. Versão eletrônica. Extraído de www.embrapa.gov.br em 20/01/2006.

FURTADO, C. **Formação Econômica do Brasil**, 24. ed. – São Paulo: Editora Nacional, 1991, 228p.

HAQUE, E.; FOSTER, G. H.; CHUNG D. S. Static pressure drop across a be of corn mixed with fines. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.21, n.5, p.997-1000, 1978.

HARKALY, A .H.;CARMO, M. S.; MAGALHÃES, M. M.; PIMENTA, S. Os contornos econômicos do café orgânico brasileiro. **Agricultura biodinâmica**, Primavera, ano14, n.79, p.6-14, 1997.

JAYAS, D.S.; SOKHANSANJ, S.; WHITE, N.D.G. Bulk density and porosity of two canola species. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.32, n.2, p.291-294, 1989.

JOLY, A. B., **Botânica, introdução à taxonomia vegetal**. Companhia Editora Nacional, 11ª ed. p. 777, 1993, São Paulo – SP.

LEITE, C. A. M.; SILVA, O. M. A demanda de cafés especiais. In: *Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade*. Viçosa: UFV, 2000. p. 51- 73. 274-294.

LUCENA, E. M. P.; SILVA, J. S. Estrutura, composição e propriedades das sementes. In: SILVA, J. S., *Pré- Processamento de produtos agrícolas*, Juiz de Fora, MG, Instituto Maria, p.23-32, 1995.

MAGALHÃES, A .C. Dimensões principais, massa e volume unitários, esfericidade e ângulo de repouso de frutos de café. **Revista brasileira de produtos agroindustriais**. Campina Grande, v.2, n.2, p.39-56, 2000

MBUVI, S.W., LITCHFIELD, J.B., SINCLAIR, J.B. Physical properties of soybean seeds damaged by fungi and a virus. **Transaction of the ASAE**, v.8,n.6, p.2093-6, 1989.

MCMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Physical characteristics of dehydrated potatoes – part I. **Journal of Food Engineering**, London, v.33, n.1-2, p.37-48, 1997.

MOHSENIN, N. N. *Physical properties of plant and animal materials*. 2 ed. New York, Gordon and Breach Science Publisher, 1978.742 p.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

MOREIRA, S. M. C.; CHAVES, M. A .; OLIVEIRA, L. M. Comparação da eficiência de líquidos na determinação da massa específica aparente de grãos agrícolas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.9,n.1e2, p.22-24,1984/85.

MOYSE, E.B.; LAMBERT, E.W.; WANG, Z. Flow rates of grains and oilseeds through orifices. **ASAE Paper 85-3530**, St. Joseph, MI, ASAE. 1985.

OJE, K., UGBOR, E.C. Some physical properties oilbean seed. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.50, n.4, p.305-13, 1991.

ORMOND, J. G. P.; PAULO, S. R. L. de; FAVERAT FILHO, P.; ROCHA, L. T.M. da, Agricultura orgânica: quando o passado é futuro. **BNDS Setorial**, Rio de Janeiro, n.15, p.3-34, 2002.

PENHA, W. F. da, et al.. Propriedades físicas dos grãos de quinoa (*Cheopodium quinoa* Willd). In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007, Bonito. MS.

RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, London, v.23, n.1, p.91-105, 1994.

RESENDE, O.; CORREA, P. C.; GONELI, A . L. D.; CECON, P. R. Forma , tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris*) durante secagem. **Revista brasileira de produtos agro industriais**, Campina Grande, v.7, n.1, p.12-24, 2005.

RUFFATO, S.; CORRÊA, P.C.; MARTINS, J.H.; MANTOVANI, B.H.M.; SILVA, J.N. Influência do processo de secagem sobre a massa específica aparente, massa

específica unitária e porosidade de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.45-48, 1999.

SAES, M. S. M.; SOUZA, M. C. M. de; OTAM, M. N. A Diferenciação por qualidade: o caso dos cafés especiais no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 39., 2001, Recife. **Competitividade & globalização: impactos regionais e locais**. Recife: Sober, 2001. CD-ROM.

SILVA, A. F.; MINIM, V. P.R.; RIBEIRO, M.M. Análise sensorial de diferentes marcas comerciais de café (*coffea arábica*) orgânico. **Ciências agrotécnicas**, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1224-1230, nov/dez; 2005.

SILVA, D. J. P da et al., Resistência de café em coco e despulpado ao fluxo de ar. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.10, n. 1, p. 168-174, 2006.

SILVA, J. S. & CORRÊA, P. C., Estrutura, composição e propriedades dos grãos In: SILVA, J. S., *Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*, Viçosa, MG, p.21-37, 2000.

SOARES, J.B. Curvas de secagem em camada fina e propriedades físicas de soja (*Glicine max L.*). Viçosa: UFV, 1986. 91p. Dissertação Mestrado

SOKHANSANJ, S.; LANG, W. Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v.63, n.2, p.129-136, 1996.

SOUZA, M. C. M.; SAES, M. S. M.; OTANI, M. N. Pequenos produtores e o segmento de cafés especiais no Brasil: uma abordagem preliminar.

SRIVASTAVA, A.K.; GOERING, C.E.; ROHRBACH, R.P. **Engineering principles of agricultural machines**. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1993. 601p.

TEIXEIRA, M. M.; MARTYN, P. J.; HARA, T.; CUNHA, J. P. A. R. da. Propriedades físicas e aerodinâmicas aplicadas ao projeto de máquinas de limpeza para grãos de milho. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.11, n.1-4, Jan/Dez., 2003.

THEODORO, V. C.de A. et al., Avaliação do estado nutricional de agroecossistemas de café orgânico no estado de Minas Gerais. **Ciências Agrotecnicas**, Lavras. V.27, n.6, p.1222-1230, nov/dez. 2003.

THEODORO, V. C. de A. **Caracterização de sistemas de produção de café orgânico, em conversão e convencional**. 2001. 214 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B.; KOURIS, D.M. Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. **Drying Technology**, New York, v.12, n.7, p.1653-1666, 1994.