
PROPRIEDADES FÍSICAS DA MASSA GRANULAR DOS CAFÉS EM FUNÇÃO DO TEOR DE ÁGUA DOS GRÃOS

Reni Saath¹;

Karina Coradi Tonon²;

Luis Henrique Limoni³;

Golbery Rudolf Oliveira Rodrigueiro⁴;

Josiane Turato da Silva Pereira⁵

RESUMO

O conhecimento das características físicas dos grãos é necessário para o dimensionamento de máquinas e equipamentos de pós-colheita e beneficiamento industrial. Dessa forma, este trabalho visou o estudo das propriedades físicas dos grãos de café (*Coffea arabica*) a diferentes teores de água. Para o presente estudo, foram utilizados cafés em coco, em pergaminho e beneficiado grãos crus das cultivares IAC 81 e IAC 144. Foram determinadas as dimensões e esfericidade do produto, a massa unitária, massa específica real (volume unitário), massa específica

¹Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá - Paraná; rsaath@uem.br

²Discente do Curso de Agronomia – Faculdades Integradas de Bauru (FIB) Rua: José Santiago, quadra: 15- Bauru- SP, CEP: 17056-120- karina@zootecnista.com.br

³Discente do Curso de Agronomia – Faculdades Integradas de Bauru (FIB) Rua: José Santiago, quadra: 15- Bauru- SP, CEP: 17056-120 - luislimoni@hotmail.com.br

⁴Discente do Curso de Agronomia – Faculdades Integradas de Bauru (FIB) Rua: José Santiago, quadra: 15- Bauru- SP, CEP: 17056-120- golberyoliveira@terra.com.br

⁵Discente do Curso de Agronomia – Faculdades Integradas de Bauru (FIB) Rua: José Santiago, quadra: 15- Bauru- SP, CEP: 17056-120 - josi_tsp@yahoo.com.br

aparente dos cafés, porosidade intergranular e ângulo de repouso dos grãos. O aumento do teor de água dos cafés resultou em um aumento da massa específica aparente do café em coco, enquanto que no café em pergaminho esse aumento ocorreu em menor proporção e no beneficiado grãos crus não houve diferença entre os valores médios. Para ambas cultivares o comprimento, a largura e a espessura dos cafés aumenta com o aumento do teor de água e a esfericidade se mantém constante; a redução do teor de água influencia as propriedades físicas dos cafés em coco e em pergaminho, proporcionando a diminuição da massa e volume unitários, da massa específica aparente e do ângulo de repouso e, o aumento da porosidade dos grãos, com umidade superior a 20% (bu); no café beneficiado as variáveis não sofreram alterações.

Palavras-Chave: Ângulo de repouso. Porosidade. Massa específica dos grãos.

Physical properties of the granular mass of coffee as a function of the water content of the grains.

ABSTRACT

The knowledge of the physical characteristics of the grains is necessary for the design of machinery and equipment. Thus, this work aimed to study the physical properties of coffee beans (*Coffea arabica*) in different water contents. For the present study, we used coffee beans, parchment and processed raw cultivars IAC 81 and IAC 144 grains. The size and sphericity of the product, bulk density, specific mass (unit volume), density of cafes, intergranular porosity and angle of repose of the grains were determined. The increased water content of coffees resulted in an increase of the bulk density of the coffee beans, while the parchment coffee this increase occurred in smaller proportions and raw grains benefited no difference between the mean values. For both cultivars the length, width and thickness of coffee increases with increasing water content and sphericity remains constant, the reduction of the water content affects the physical properties of coffee beans on parchment and providing a reduction of mass and unit volume, the bulk density and angle of repose and increasing porosity of the grains, with humidity of 20% (wb), processed coffee in the variables did not change.

Key Words: Angle of repose. Porosity. Density of grains.

1. INTRODUÇÃO

Se a otimização de sistemas de secagem requer o conhecimento das relações de transferência de calor e de massa, juntamente com a descrição de fenômenos a elas associados, é necessário o conhecimento e caracterização das principais propriedades físicas (ângulo de repouso, massa específica, porosidade e o teor de água) dos grãos.

A diminuição da quantidade de água dos grãos reduz a atividade biológica (TAVEIRA et al., 2012) e as mudanças físico-químicas que ocorrem durante o armazenamento (SILVA; CORRÊA, 2010; SAATH et al., 2012). Embora outros fatores devam ser considerados, massa específica, porosidade, ângulo de repouso, tamanho e forma dos grãos, também são influenciadas pelo teor de água do produto (AMIN et al., 2004; ANDRADE et al., 2006; BARYEH, 2004; CORREA et al., 2004; MATA et al., 2002; RESENDE et al., 2008; RIBEIRO et al., 2005), e são variáveis de grande importância para estudos envolvendo transferência de calor e massa de movimentação de ar em massas granulares, isto porque a variação dessas influenciam as propriedades térmicas (ANDRADE et al., 2006), bem como, a taxa de secagem do produto (ISQUIERDO et al., 2009).

Nos processos pós-colheita, a porosidade da massa de grãos é um dos principais parâmetros envolvidos na resistência ao escoamento de ar que, segundo Correa et al. (2006), Oliveira et al. (2010), Silva et al. (2003) e Taveira et al. (2012), depende de fatores como distribuição de grãos, presença de impurezas, massa específica, teor de água, entre outros. Assim, dados desta natureza são primordiais, tanto à automação e otimização de equipamentos, quanto redução de custo às operações.

Neste contexto, visando embasamento eficaz às decisões nos processos pós-colheita, este trabalho teve como objetivo determinar algumas propriedades físicas dos frutos e grãos de café das cultivares IAC 81 e IAC 144, em função do teor de água.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um experimento no Laboratório de Tecnologia de Pós-colheita do Centro de Café 'Alcides Carvalho' - IAC, Campinas - SP, para determinar algumas propriedades físicas de frutos e grãos de café *Coffea arabica* L. em função do seu teor de água, a saber: dimensões (largura e espessura) e esfericidade, volume unitário (massa específica real), massa específica aparente, porosidade intergranular e ângulo de repouso. Foram utilizados cafés em coco ou café natural (frutos intactos), cafés

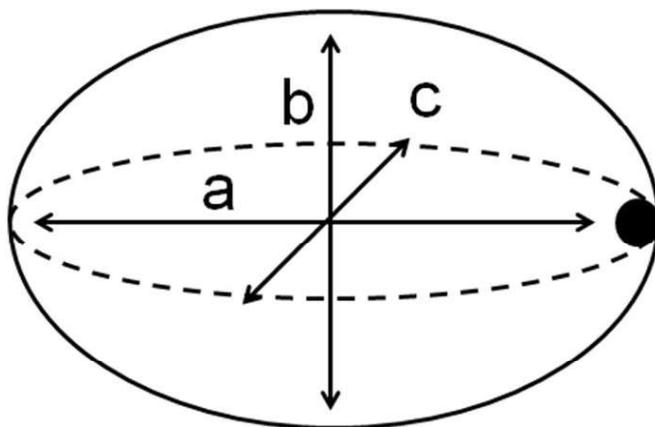
em pergaminho e café beneficiado (grãos crus) das cultivares IAC 81 e IAC 144, provenientes do campo experimental da Fazenda Santa Eliza – IAC, totalizando seis amostras de trabalho.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, seguindo um esquema fatorial e os testes foram conduzidos em dez repetições. O teor de água dos cafés foi determinado pelo método padrão de estufa 105°C (± 1) segundo metodologia ISO 6673:2003. Um total de 50 frutos/grãos foi retirado aleatoriamente de cada amostra de trabalho para a realização das avaliações.

Na determinação das dimensões principais do produto, os três semieixos, mutuamente perpendiculares, foram medidos por meio de um paquímetro, e a esfericidade de cada fruto determinada conforme descrito por Mohsenin (1986); a massa unitária dos cafés foi determinada usando-se uma balança semi-analítica (0,001g). Para determinação do volume unitário (a massa específica real) seguiu-se a metodologia de complementação de volume (MOREIRA et al., 1985), utilizando-se provetas de 50 mL (0,05 mL) e, como líquido de complementação de volume, o tolueno; já para a determinação da massa específica aparente dos cafés, utilizou-se uma balança de peso hectolítrico, com capacidade para um litro; adotando-se porosidade intergranular dos grãos de cada amostra foi calculada a partir dos valores da massa específica aparente e massa específica real (COUTO et al., 1999).

Os ângulos de repouso das amostras de café foram determinados utilizando um recipiente de fundo de madeira e as paredes de vidro, na forma de um paralelepípedo, dotado de uma porta lateral deslizante, sendo os procedimentos realizados conforme método descrito por Silva e Corrêa (2010): Cada amostra de café, acomodada em um vasilhame de plástico foi despejada em uma única vez no recipiente. A borda do vasilhame era sempre apoiada na parte superior do recipiente, para garantir uma mesma altura de queda dos cafés. Após o preenchimento do recipiente com café, até uma altura definida, abria-se a porta lateral e, o ângulo de repouso, era determinado (Figura 1). Todas as variáveis avaliadas foram realizadas em dez repetições.

Figura 1. Desenho esquemático do fruto de café, considerado esferoide, com suas dimensões características (a - maior eixo do fruto; b - eixo médio do fruto; c - menor eixo do fruto).



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância verificaram-se diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as principais dimensões das amostras de café, exceto o café beneficiado, que para todos os grãos avaliados, entre comprimento (a) e largura (b) não se observou diferenças (Figura 1). Entretanto, para a variável esfericidade que é determinada a partir do comprimento, largura e espessura do material, observaram-se diferenças significativas nos cafés em coco para ambas as cultivares, e nos cafés em pergaminho, para a cultivar IAC 81 com alto teor de água. Na medida em que o teor de água reduz o café mantém a condição de elipsoide pelo fato de suas dimensões (comprimento, largura e espessura) não ter seu percentual alterado em função da variação do teor de água dos cafés. A variação de tamanho nos três eixos foi observado também nos ensaios com soja por Guedes et al. (2011), Polat et al. (2006), Ribeiro et al. (2005) e Tavakoli et al. (2009), porém, relatam uma maior alteração no comprimento em relação a largura dos grãos, assim, alterando-os de elipsoide para esferoide com a perda de água durante a secagem.

Pelos resultados (Tabelas 1, 2 e 3), observa-se que nos três tipos de café ocorreu variação para a massa específica aparente em função do teor de água, sendo possível verificar que à medida que a umidade nos grãos dos cafés foi reduzida, a massa específica aparente também diminuiu. Verificou-se que a redução do teor de água dos grãos teve maior influência sobre a massa específica do café em coco (Tabela 1) e, embora em menor proporção, do café em pergaminho (Tabela 2). Já o café

beneficiado (Tabela 3) não apresentou alteração nessa variável devido à elevação da umidade nos grãos.

Tabela 1. Dimensões principais (a, b e c), esfericidade (ϵ), massa ($M\mu$) e volume ($V\mu$) unitários, massa específica ($\rho\epsilon$), porosidade (ρ) e ângulo de repouso (α) do café em coco, das cultivares IAC81 e IAC144, a diferentes teores de água (TA).

TA (%bu)	Dimensão principal (cm)						ϵ (%)	$M\mu$ (g)	$V\mu$ (cm ³)	$\rho\epsilon$ (g cm ⁻³)	ρ (%)		α (°)					
	a		b		c													
	Média	DP	Média	DP	Média	DP												
Cultivar IAC 81 - Café em Coco																		
67,95	1,504	A 0,09	1,294	B 0,11	1,248	B 0,11	89,43	a 2,8	1,552	a 0,04	1,415	a 0,03	0,665	a 0,02	46,98	b 0,09	40,23	b 1,08
60,14	1,485	A 0,10	1,242	B 0,06	1,154	C 0,06	86,68	a 2,1	1,232	b 0,01	1,242	b 0,09	0,584	a 0,03	47,01	b 0,13	44,45	b 1,69
46,9	1,429	A 0,04	1,123	B 0,07	1,012	B 0,04	82,21	b 2,5	0,953	c 0,02	0,955	c 0,02	0,469	b 0,03	49,13	a 0,11	53,19	a 1,33
29,3	1,378	A 0,05	1,034	B 0,07	0,959	C 0,06	80,52	b 2,1	0,750	d 0,03	0,842	c 0,04	0,421	b 0,02	49,99	a 0,10	41,29	b 0,78
18,96	1,347	A 0,08	1,041	B 0,03	0,922	C 0,02	80,50	b 2,9	0,596	e 0,03	0,763	d 0,06	0,378	c 0,02	49,51	a 0,11	40,09	c 0,72
15,12	1,341	A 0,03	1,039	B 0,02	0,918	C 0,02	80,49	b 3,1	0,589	e 0,02	0,761	d 0,03	0,376	c 0,04	49,45	a 0,12	38,53	c 0,62
11,51	1,338	A 0,02	1,038	B 0,01	0,916	C 0,02	80,49	b 2,8	0,586	e 0,02	0,759	d 0,02	0,373	c 0,02	49,08	a 0,08	36,58	c 0,55
Cultivar IAC 144 - Café em Coco																		
68,04	1,532	A 0,12	1,393	B 0,11	1,334	B 0,09	92,56	a 2,9	1,686	a 0,06	1,500	a 0,05	0,690	a 0,02	46,01	b 0,11	41,67	a 0,67
59,99	1,476	A 0,11	1,239	B 0,05	1,114	C 0,09	86,09	a 2,3	1,218	b 0,01	1,147	b 0,08	0,536	b 0,03	46,75	b 0,09	42,07	a 0,48
46,4	1,393	A 0,10	1,075	B 0,07	0,988	C 0,09	83,98	b 2,9	0,779	c 0,10	0,859	c 0,09	0,404	c 0,03	47,02	b 0,08	39,34	b 0,99
29,8	1,355	A 0,12	1,089	B 0,15	0,962	C 0,08	83,71	b 3,3	0,728	c 0,02	0,880	c 0,02	0,439	c 0,02	49,86	a 0,12	38,79	b 0,65
19,3	1,346	A 0,10	1,088	B 0,07	0,955	C 0,06	83,27	b 2,6	0,599	d 0,05	0,763	c 0,06	0,374	d 0,02	48,99	a 0,11	36,71	c 0,79
15,23	1,334	A 0,09	1,088	B 0,06	0,954	C 0,04	83,07	b 2,6	0,598	d 0,09	0,762	c 0,04	0,372	d 0,04	48,88	a 0,08	36,70	c 0,36
11,29	1,332	A 0,06	1,087	B 0,05	0,954	C 0,04	83,02	b 2,1	0,597	d 0,06	0,762	c 0,02	0,359	d 0,02	47,06	a 0,08	36,69	c 0,12

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas linhas, e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 2. Dimensões principais (a, b e c), esfericidade (ϵ), massa ($M\mu$) e volume ($V\mu$) unitários, massa específica ($\rho\epsilon$), porosidade (ρ) e ângulo de repouso (α) do café em pergaminho, das cultivares IAC81 e IAC144, a diferentes teores de água (TA).

TA (%bu)	Dimensão principal (cm)						ϵ (%)	$M\mu$ (g)	$V\mu$ (cm ³)	$\rho\epsilon$ (g cm ⁻³)	ρ (%)		α (°)					
	a		b		c													
	Média	DP	Média	DP	Média	DP												
Cultivar IAC 81 - Café em Pergaminho																		
45,96	1,301	A 0,04	0,999	B 0,03	1,025	B 0,04	71,01	a 0,99	0,586	a 0,01	0,792	a 0,02	0,44	a 0,02	55,45	b 0,09	35,68	a 0,07
32,99	1,299	A 0,05	0,999	B 0,04	1,023	B 0,04	71,21	a 1,01	0,566	a 0,01	0,732	a 0,03	0,44	a 0,02	59,45	a 0,09	35,68	a 0,07
25,96	1,229	A 0,05	0,998	B 0,04	1,003	B 0,04	66,21	b 1,02	0,461	b 0,01	0,659	b 0,03	0,40	b 0,02	60,78	a 0,09	35,68	a 0,07
23,02	1,223	A 0,04	0,989	B 0,03	0,986	B 0,03	66,15	b 0,99	0,459	b 0,02	0,657	b 0,02	0,40	b 0,02	60,99	a 0,1	35,56	a 0,04
20,65	1,194	A 0,02	0,988	B 0,05	0,986	B 0,03	65,95	b 0,89	0,452	b 0,03	0,648	b 0,02	0,39	b 0,01	60,56	a 0,07	35,25	a 0,01
17,88	1,179	A 0,03	0,988	B 0,04	0,985	B 0,02	65,71	b 0,85	0,449	b 0,02	0,644	b 0,02	0,39	b 0,01	60,12	a 0,07	34,82	a 0,02
14,39	1,178	A 0,02	0,986	B 0,01	0,986	B 0,02	65,69	b 0,84	0,448	b 0,01	0,642	b 0,02	0,38	b 0,01	59,89	a 0,09	34,16	b 0,03
11,52	1,175	A 0,01	0,986	B 0,01	0,984	B 0,02	65,69	b 0,66	0,448	b 0,01	0,644	b 0,01	0,38	b 0,01	59,25	a 0,05	33,92	b 0,02
Cultivar IAC 144 - Café em Pergaminho																		
46,01	1,317	A 0,03	1,021	B 0,02	1,009	B 0,02	72,08	a 1,01	0,609	a 0,03	0,794	a 0,02	0,43	a 0,02	54,76	b 0,12	34,20	a 0,07
33,09	1,319	A 0,03	1,019	B 0,02	1,009	B 0,02	72,11	a 0,72	0,589	a 0,03	0,732	a 0,03	0,43	a 0,02	58,76	a 0,12	34,20	a 0,04
26,01	1,249	A 0,03	1,009	B 0,02	1,006	B 0,02	72,01	a 0,65	0,429	b 0,03	0,665	b 0,03	0,39	a 0,02	59,06	a 0,12	34,10	a 0,01
22,91	1,211	A 0,03	1,002	B 0,02	0,999	B 0,02	71,89	a 0,75	0,421	b 0,02	0,657	b 0,02	0,39	b 0,02	59,79	a 0,10	33,99	a 0,02
20,36	1,201	A 0,02	0,996	B 0,02	0,994	B 0,01	71,28	a 0,82	0,419	b 0,01	0,648	b 0,02	0,38	b 0,01	59,06	a 0,09	33,98	a 0,03
18,01	1,192	A 0,02	0,992	B 0,02	0,991	B 0,01	71,19	a 0,84	0,416	b 0,02	0,644	b 0,02	0,38	b 0,01	58,32	a 0,05	33,99	a 0,01
14,59	1,189	A 0,01	0,991	B 0,01	0,989	B 0,01	71,18	a 0,56	0,409	b 0,01	0,636	b 0,02	0,37	b 0,01	58,09	a 0,09	33,72	b 0,02
11,45	1,188	A 0,01	0,991	B 0,01	0,990	B 0,02	71,19	a 0,46	0,406	b 0,01	0,644	b 0,01	0,37	b 0,01	57,35	a 0,08	33,69	b 0,06

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas linhas, e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Dimensões principais (a, b e c), esfericidade (ϵ), massa ($M\mu$) e volume ($V\mu$) unitários, massa específica ($\rho\epsilon$), porosidade (ρ) e ângulo de repouso (α) do café beneficiado grão cru, das cultivares IAC81 e IAC144, a diferentes teores de água (TA).

TA (%bu)	Dimensão principal (cm)						ϵ (%)	$M\mu$ (g)	$V\mu$ (cm ³)	$\rho\epsilon$ (g cm ⁻³)	ρ (%)	α (°)						
	a		b		c													
	Média	DP	Média	DP	Média	DP												
Cultivar IAC 81 - Café Beneficiado																		
15,51	0,88	A 0,23	0,724	A 0,24	0,369	B 0,24	70,02	a 0,09	0,675	a 0,09	0,921	b 0,02	0,337	a 0,02	36,55	a 0,09	26,86	a 0,06
12,93	0,85	A 0,32	0,705	A 0,17	0,321	B 0,17	70,19	a 0,07	0,675	a 0,13	0,956	a 0,01	0,349	a 0,02	36,54	a 0,09	26,69	a 0,05
11,53	0,78	A 0,38	0,676	A 0,29	0,343	B 0,29	70,15	a 0,06	0,673	a 0,11	0,942	a 0,01	0,344	a 0,02	36,53	a 0,06	26,66	a 0,08
10,11	0,80	A 0,23	0,678	A 0,25	0,321	B 0,25	69,99	a 0,06	0,673	a 0,10	0,936	a 0,01	0,342	a 0,02	36,53	a 0,07	26,65	a 0,04
Cultivar IAC 144 - Café Beneficiado																		
16,45	0,926	A 0,24	0,717	B 0,19	0,355	B 0,09	70,28	a 0,07	0,677	a 0,12	0,919	a 0,02	0,336	a 0,02	36,55	a 0,09	26,79	a 0,07
12,88	0,941	A 0,33	0,711	B 0,16	0,381	B 0,07	70,29	a 0,06	0,676	a 0,13	0,926	a 0,01	0,338	a 0,02	36,54	a 0,05	26,72	a 0,08
11,49	0,91	A 0,21	0,791	B 0,19	0,418	B 0,06	70,28	a 0,06	0,675	a 0,05	0,928	a 0,01	0,339	a 0,02	36,53	a 0,09	26,69	a 0,05
10,08	0,851	A 0,24	0,808	B 0,24	0,372	B 0,06	70,19	a 0,04	0,671	a 0,06	0,922	a 0,01	0,337	a 0,02	36,53	a 0,06	26,68	a 0,05

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas linhas, e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Como a massa específica aparente é uma relação entre a massa do produto e o volume ocupado por este, verificou-se que a perda de água dos cafés em coco promoveu considerável redução nos valores da massa e volumes unitários do produto, resultando numa redução da massa específica aparente sem, no entanto, ocorrer grandes variações nos valores da porosidade desses cafés (Tabela 1). Essas observações, também foram constatadas para o café em pergaminho (Tabela 2). Entretanto, pelos dados pode-se observar que para o café beneficiado não houve diferenças entre os valores médios das propriedades físicas avaliadas (Tabela 3) em função da elevação do teor de água.

Silva e Corrêa (2010), Ribeiro et al. (2001) e Couto et al. (1999), que trabalharam com frutos de café (verde, cereja e boia) a diferentes teores de água e, Corrêa et al. (2004) com milheto, alpiste e painço, verificaram redução da massa específica dos grãos devido à perda de umidade desses durante a secagem. Essa constatação confirmou-se neste trabalho, já que se observou tendência de redução da massa específica aparente dos cafés com o decréscimo do teor de água dos grãos, em ambas as cultivares, tanto para os cafés em coco como em pergaminho (Tabelas 1 e 2). Possivelmente, pela desidratação dos frutos de café intactos reduziram-se os espaços intergranulares, modificando as suas dimensões, pois devido à evaporação da água, pericarpo e endosperma se contraem, sugerindo diminuição do volume do grão, bem como do volume da massa granular alterando a massa específica aparente do café em coco, uma vez que casca e pergaminho se encontram aderidos ao endosperma de café com baixo teor de água. Já, no café em pergaminho a menor variação sugere

que com a redução teor de água o endosperma se contrai e diminui de tamanho sem ocorrer alteração significativa no pergaminho. Com esse fenômeno apenas o grão tem seu volume reduzido forçando sua liberação e permanecendo solto dentro do pergaminho.

Considerando a porosidade, à medida que o teor de água dos grãos foi reduzido houve aumentos nos espaços intergranulares, observando-se uma variação significativa (Tabelas 1, 2 e 3), sendo os maiores valores, em porcentagem, verificados para os cafés em pergaminho. Como a porosidade representa a relação entre o volume de espaços vazios e o volume total da massa de grãos, para os cafés em pergaminho (Tabela 2), o resultado revela que em média o ar ocupa de 55% a 60% do espaço dentro do secador; nos cafés em coco (Tabela 1) 45% a 50%; no café beneficiado grãos crus, o valor de 36% de porosidade manteve constância com a variação do teor de água (Tabela 3). Importante destacar, que a variação do teor de água não inferiu significativamente nos valores da porosidade dos cafés, exceto nas amostras do café em coco (Tabela 1) com teor da água acima de 50% (base úmida) e do café em pergaminho (Tabela 2) com umidade superior a 45%. Para estes cafés, houve aumento no valor médio da porosidade (Tabelas 1 e 2) à medida que o teor de água nos grãos reduziu. Nota-se que os valores médios desta variável nas amostras crescem em função da redução do teor de água dos grãos até determinado nível e, então, decresce; exceção se faz ao café beneficiado grãos crus (Tabela 3), em ambas as cultivares, devido à elevação do teor de água dos grãos de 10 a 16,5% (bu), a porosidade manteve-se estável.

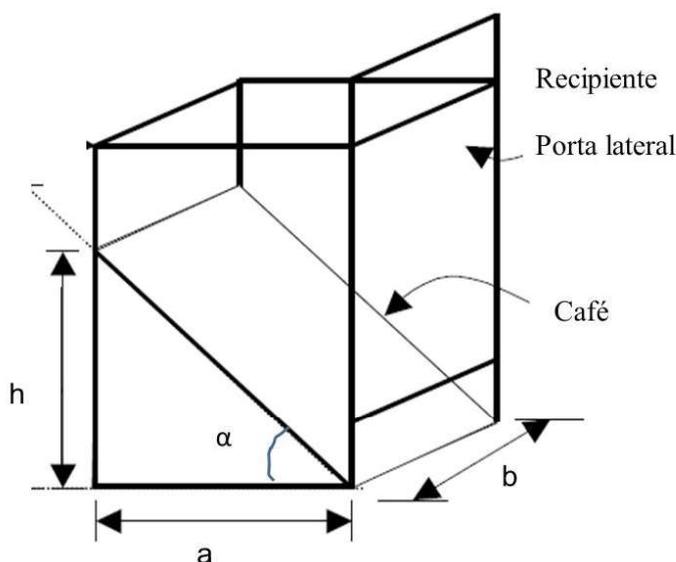
Mohsenin (1986) sugere que a porosidade influencia na pressão de fluxo de ar na passagem pelos grãos, inferindo no dimensionamento dos ventiladores, tanto dos sistemas de secagem e de aeração, quanto na utilização adequada da potência dos motores; necessários às operações de manutenção e conservação da qualidade do produto (ANDRADE et al., 2003; CORRÊA et al., 2006). Por exemplo, por meio da secagem o excesso de água do grão é removido até limites adequados (ANDRADE et al., 2006; CORRÊA et al., 2003; ISQUIERDO et al., 2009), minimizando alterações metabólicas e danos pela ação de insetos e fungos (OLIVEIRA et al., 2010), principalmente, durante o armazenamento (DEVILLA et al., 2005; SAATH et al., 2012). Isto porque, devido à utilização do oxigênio presente no espaço intergranular, a massa porosa de grãos tem relação intrínseca com a respiração de grãos, além disso, (AMIN et al., 2004; ANDRADE et al., 2006; BARYEH, 2004; CORREA et al., 2004; RESENDE et al., 2008; RIBEIRO et al., 2005) as propriedades físicas influenciam na condutividade térmica, através da troca de calor entre as massas dos grãos.

Cabe destacar que a porosidade, também, depende do arranjo e do grau de limpeza da massa de grãos. Os menores valores da porosidade observados para o café beneficiado (Tabela 3) se deve ao fato de que partículas menores podem ocupar espaços intergranulares, e proporcionar maior pressão estática. De acordo com Correa et al. (2001) e Santos et al. (2013) quanto maior a resistência que a massa de grãos oferece à passagem do ar, maior será a potência necessária para os ventiladores, aumentando custos na aeração. Para Devilla, et al. (2005), Isquierdo et al. (2009) e Polat et al. (2006) problemas com a distribuição do ar em uma massa de grãos armazenados pode provocar o desenvolvimento de fungos em áreas onde a velocidade do ar é baixa e, ocasionar secagem excessiva dos grãos em áreas com alta velocidade do ar. Este efeito negativo, também, pode ser atribuído às alterações das principais dimensões dos grãos; Guedes et al. (2011) verificaram variações na esfericidade e circularidade dos grãos de soja em função do teor de água.

O ângulo interfere no preenchimento do volume de um silo, assim, quanto menor o ângulo de talude, maior será o volume de café que pode ser armazenado em uma tulha. Da mesma forma, o nivelamento da massa de café no secador evita caminhos preferenciais na passagem do ar, e conseqüentemente durante o processo da redução do teor de água dos grãos ocorre uma secagem mais homogênea e eficaz (ANDRADE et al., 2003; SILVA; CORREA, 2010). Para o ângulo de repouso (Figura 2), os resultados obtidos revelam que existe uma tendência de acréscimo dos valores com o aumento do teor de água, tanto nos cafés da cultivar IAC 81, quanto nos da cultivar IAC 144, exceto para o café beneficiado (Tabelas 1, 2 e 3). Nos dados observou-se que o café em coco apresenta o maior ângulo de repouso (Tabela 1), também, pode-se verificar que o efeito do teor de água chegou a representar um aumento de até 5% nesta grandeza (Tabela 1). Já no café em pergaminho até 1,5% (Tabela 2) e no café beneficiado grãos crus a variação foi até 0,2%. Este aumento para ambas cultivares com o incremento do teor de água deve-se, possivelmente, ao fato de que produtos com maior teor de água apresentam uma maior força de coesão entre as partículas ou componentes individuais que compõem a massa, tendendo a agregar estas partículas, aumentando a rugosidade de sua superfície, assim, impõem uma maior resistência ao deslizamento, elevando o ângulo de repouso do talude formado pela massa. Essa hipótese colabora com os resultados obtidos, visto que, tanto café em pergaminho, quanto café beneficiado grãos crus, apresentaram pequena variação e valores inferiores para o ângulo de repouso devido à elevação do teor de água dos cafés, quando comparado com o café em coco (Tabela 1). Para o café em pergaminho, a redução de massa ocorre sem alterar o volume dessa massa

(Tabela 2), isto se deve ao fato de o pergaminho, película que envolve o grão de café, não diminuir de tamanho, ou seja, somente o grão sofre mudanças volumétricas mais acentuadas, deixando um espaço vazio entre o grão e pergaminho. A variação do ângulo de repouso em função a perda de água nos grãos, verificada para o café em pergaminho corrobora com as variações relatadas por Silva et al. (2006b).

Figura 2. Esquema do dispositivo usado na determinação do ângulo de repouso



Segundo Andrade et al. (2003); Alencar et al., (2009), Guedes et al. (2011), Kaleemullah e Gunasekar (2002), Mata et al. (2002), Silva et al. (2006b) e Santos et al. (2012) as propriedades físicas dos produtos agrícolas variam de acordo com a mudança do seu teor de água. Por sua vez, Correa et al. (2004), Isquierdo et al. (2009), Mata et al. (2002), Oliveira et al. (2010), Ribeiro et al. (2005), Silva et al. (2006a) e Tavakoli et al. (2009) destacam a importância do conhecimento das modificações do grão com a perda de água durante a secagem, tanto do ponto de vista de eficiência, quanto redução de custo às operações do sistema e à manutenção da qualidade do produto. Pois, em cultivares de arroz, que a porosidade da massa de grãos sofre influência do beneficiamento (SILVA et al., 2003). Este efeito pode alterar a atividade metabólica dos grãos e, por consequência (TAVEIRA et al., 2012) reduzir a sua qualidade.

De modo geral, para as variáveis avaliadas, nas amostras dos cafés em coco e em pergaminho as modificações no material foram confirmadas (Tabelas 1 e 2); já que o café beneficiado não apresentou variação com a elevação da umidade, e cafés em coco e em pergaminho com a umidade dos grãos inferior a 20% (b.u.)

não evidenciaram alterações nas características físicas avaliadas (Tabelas 1, 2 e 3), o resultado sugere, independente do tipo de café, que o teor de água dos grãos de café até 20% (bu), não tem efeito sobre as variáveis avaliadas.

Assim, considerando a importância das propriedades físicas para um correto controle do fluxo de ar nos processos pós-colheita, as informações catalogadas neste estudo podem servir de subsídio à operação eficaz dos sistemas de secagem, armazenamento e equipamentos de beneficiamento, limpeza, classificação e manutenção da qualidade dos lotes de café.

4. CONCLUSÕES

O comprimento, a largura e a espessura dos cafés aumentam com o aumento do teor de água e a esfericidade se mantém constante;

A redução do teor de água influencia as propriedades físicas dos cafés em coco e em pergaminho, proporcionando a diminuição da massa e volume unitários, da massa específica aparente e do ângulo de repouso e, o aumento da porosidade dos grãos, com umidade superior a 20% (bu);

A variação da umidade não afetou as propriedades físicas do café beneficiado grãos crus.

5. REFERÊNCIAS

AMIN, M.N.; HOSSAIN, M.A; ROY, K.C. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering*, v.64, n.1, p.83-87, 2004.

ANDRADE, E. T.; BORÉM, F.M.; HARDOIM, P.R.. Cinética de secagem do café cereja, boia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v. 7, p. 37-43, 2003.

Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. *Engevista*, v. 8, n. 2, p. 83-95, dezembro 2006

DEVILLA, I.A., COUTO, S.M., QUEIROZ, D.M. Distribuição do fluxo de ar em silos com sistema de aeração: análise por elementos finitos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.2, 2005.

BARYEH, E.A. Physical properties of millet. *Journal of Food Engineering*, v.51, n.1, p.39-46, 2004.

CORRÊA, P.C.; AFONSO JÚNIOR, P.C.; SILVA, F.S.; RIBEIRO, D.M. Qualidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) durante o armazenamento em condições diversas. *Revista Brasileira de Armazenamento*, n 7, p. 137-147, 2003. Especial Café.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, M. D., D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M., Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10 n.3, 2006.

CORRÊA, P. C.; ANDRADE, E. T. DE.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Propriedades térmicas da massa granular de milheto, alpiste e painço: determinação e modelagem. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.6, n.1, p.39-45, 2004.

COUTO, S. M., MAGALHÃES, C. A.; QUEIROZ, M. D., BASTOS, T. I.; Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 3, n. 1, p. 61-68, 1999.

GUEDES, M.A.; MATA, M.E.R.M.C.; DUARTE, M.E.M.; FARIAS, P.A. Caracterização física de grãos de soja utilizando-se processamento digital de imagens. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.13, n.3, p.279-294, 2011.

ISQUIERDO, E.P.; BORÉM, F.M.; Oliveira, P.D.; TAVEIRA, J.H.S; LOURES, F.A.; DIAS, E.C. Taxa de redução de água e tempo de secagem do café cereja desmucilado submetido ao parcelamento da secagem. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v 11, p 37-44, 2009. Especial Café

ISO INTERNATIONAL STANDARD. Green coffee: determination of loss in mass at 105°C: ISO 6673:2003. Geneva, Switzerland, 2003.

MATA, M.E.R.M.C.; DUARTE, M.E. MARTINS. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 4, n.1, p. 79-93, 2002.

KALEEMULLAH, S.; GUNASEKAR, J. J. Moisture dependent physical properties of are canut kernels. *Biosystems Engineering*, v.82, n.2, 331-338, 2002.

MOHSENIN, N.N. *Physical properties of plant and animal materials*. 2^aed. New York: Gordon and breach science. Cap. 2-3. 1986. 734p.

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*, v.9/10, n.1/2, p.22-24, 1985.

OLIVEIRA, L. da C.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C.; MAZUTTI, S.; AOSANI, E.; ROCHA, J. C. da. Efeito da temperatura de secagem na qualidade de grãos de aveia branca. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 2, p. 313-319, 2010.

POLAT, R.; ATAY, U.; SAGLAM, C. Some physical and aerodynamic properties of soybean. *Journal of Agronomy*, v.5, n.1, p.74-78, 2006.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; RIBEIRO, D.M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. *Ciência e Agrotecnologia*, v 32, n 1, p 225-230, 2008.

RIBEIRO, D.M.; CORRÊA, P.C.; RODRIGUES, D.H.; GONELI, A.L.D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.25, n.3, p.611-617, 2005.

SAATH, R.; BIAGGIONI, M.A.M.; BORÉM, F.M.; BROETTO, F.; FORTUNATO, V.A. Alterações na composição química e sensorial de café (*Coffea arabica* L.) nos processos pós-colheita. *Energia na Agricultura*, Botucatu, SP, v 27, n 2, abr./jun., 2012, p 96-112. 2012

SANTOS, C.C.; CANEPPELE, C.; BONFIM-SILVA, E.M.; CORDOVA, N.R.M. Massa específica e porosidade de grãos pelo método de complementação de líquidos. *Enciclopédia Biosfera*, centro científico conhecer, Goiânia, v 8, n 15; p 1178-1184, 2012.

SILVA, J. S.; CORRÊA, P. C. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: SILVA, J.S. *Secagem e Armazenamento de produtos agrícolas*. Juiz de Fora: Instituto Maria, 2010, p. 21-37.

SILVA, F.S.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; RIBEIRO, R.M.; AFONSO JÚNIOR, P.C. Efeito do beneficiamento nas propriedades físicas e mecânicas dos grãos de arroz de distintas variedades. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.5, n.1, p.33-41, 2003.

SILVA, D.J. P.; COUTO, S.M.; PEIXOTO, A.B.; SANTOS, A.E. O.; VIEIRA, S.M.J. 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. 2006a

SILVA, F.S.; CORRÊA, P.C.; CALIL-JÚNIOR, C.; GOMES, F.C. Ângulo de repouso, atrito interno e efetivo dos grãos de café com pergaminho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.8, n.1, p.17-23, 2006. 2006b

TAVAKOLI, H.; RAJABIPOUR, A.; MOHTHASEBI, S.S. Moisture-dependent some engineering properties of soybean grains. *Agricultural Engineering International: the CIGR. Ejournal*, Manuscript 1110, Vol. XI. 2009.

TAVEIRA, J.H.S., ROSA, S.D.V.F.; BORÉM, F.M.; GIOMO, G.S.; SAATH, R. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v 47, n 10, p1511-1517, 2012.