

ANDERSON CHAGAS MAGALHÃES

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UMA MÁQUINA RECOLHEDORA
DE CAFÉ EM TERREIRO UTILIZANDO TRANSPORTE PNEUMÁTICO**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2003**

ANDERSON CHAGAS MAGALHÃES

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UMA MÁQUINA RECOLhedORA
DE CAFÉ EM TERREIRO UTILIZANDO TRANSPORTE PNEUMÁTICO**

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

APROVADA: 30 de maio de 2003.

Prof. Daniel Marçal de Queiroz
(Conselheiro)

Prof. Haroldo Carlos Fernandes

Prof. Ricardo Capúcio de Resende

Prof. Wellington Pereira Alencar
de Carvalho

Prof. Mauri Martins Teixeira
(Orientador)

À minha mãe Ephigênia Chagas Magalhães.

Ao meu pai Milton Ribeiro de Magalhães.

À minha avó Augusta Petronilha (*in memoriam*).

Ao meu sogro Sebastião Gomes.

À minha sogra Maria Aparecida Gomes (*in memoriam*).

À minha esposa Cláudia Silva Gomes Magalhães.

Ao meu filho Matheus Anderson Gomes Magalhães.

Aos meus irmãos e familiares.

Aos amigos.

AGRADECIMENTO

A Deus, por tudo.

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

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, unidade de Pato Branco - CEFET/PR, e aos professores do Curso de Agronomia, pelas sugestões, pelo apoio, pela colaboração e amizade.

Ao professor Mauri Martins Teixeira, pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação e amizade ao longo do curso.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial a Daniel Marçal de Queiroz, Haroldo Carlos Fernandes, Ricardo Capúcio de Resende e Sandra Maria Couto, pelas sugestões, pelo apoio e pela colaboração.

Aos colegas de curso, em especial a Cristiano Souza, Denílson Rodrigues, Ednilton Tavares, Elton Reis, Gilton Rodrigues, João Paulo Cunha, Luiz Henrique Souza e Ricardo Garcia, pela ajuda durante o curso, e aos demais colegas, pelas contribuições, pelo companheirismo, pela amizade e pelo bom convívio.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial a Danilo, pela ajuda no experimento de campo, e aos demais colegas, Galinari, Juvercino, Marcos, Marcelo do Carmo, Edna, Maria José, Lucimar,

Álvaro, Zé Mauro, Evaristo, Jurandir, Silas, José Raimundo, Maurílio, Wantuil e Geraldão, pela amizade, colaboração e pelo bom relacionamento.

Aos meus pais e irmãos, à minha esposa Cláudia e ao meu filho Matheus Anderson, pelo apoio, carinho, pela compreensão, pelas alegrias e pelo amor nos momentos de dificuldade.

Enfim, meus sinceros agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Não desanime!

Aprenda a começar e a recomeçar!

*Não se deixe arrastar pela indiferença:
se caiu, levante-se e recomece.*

Não desanime jamais!”

BIOGRAFIA

ANDERSON CHAGAS MAGALHÃES, filho de Milton Ribeiro de Magalhães e Ephigênia Chagas Magalhães, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, no dia 16 de fevereiro de 1969.

Em 1991, ingressou na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, no curso de Engenharia Agrícola, onde se graduou em setembro de 1996. Foi monitor da disciplina Equações Diferenciais Ordinárias e Parciais, no Departamento de Matemática, e bolsista de iniciação científica no Departamento de Engenharia Agrícola.

Em outubro de 1996, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, submetendo-se à defesa de tese em 5 de fevereiro de 1999.

Iniciou, em março de 1999, o curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, submetendo-se à defesa de tese em maio de 2003.

Durante o segundo ano de curso de Doutorado, foi admitido como Professor Substituto do Curso de Agronomia do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, unidade de Pato Branco – CEFET/PR, nas áreas de Mecanização Agrícola, Construções Rurais e Cálculo Diferencial e Integral I.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Diagnóstico da cafeicultura	4
2.2 Propriedades e características físicas dos frutos de café	5
2.3 A racionalização do trator agrícola	8
2.4 A utilização do computador como ferramenta no projeto de máquinas	9
2.4.1 Análise por elementos finitos pelo programa ANSYS 5.7	10
2.5 Mecanismos da máquina recolhedora	12
2.5.1 Sistema de transporte pneumático	12
2.5.2 Captador de fluxo de ar	13
2.5.3 Coletores gravitacionais	15
2.5.4 Duto e curvas	16
2.5.5 Potência requerida pelo sistema pneumático	16

3. MATERIAL E MÉTODO	23
3.1 Determinação das características e propriedades físicas dos frutos de café	23
3.1.1 Massa específica dos frutos de café	24
3.1.2 Ângulo de repouso dos frutos de café	25
3.1.3 Propriedades aerodinâmicas dos frutos de café	25
3.1.3.1 Coeficiente de arrasto e velocidade terminal	26
3.2 Desenvolvimento do modelo da máquina colhedora de café	27
3.2.1 Análise por elementos finitos da máquina colhedora ..	29
3.3 Projeto e construção da máquina colhedora utilizando-se técnicas de CAD	33
3.3.1 Construção da máquina colhedora de frutos de café ..	34
3.4 Matéria-prima usada na avaliação do desempenho da máquina	40
3.5 Avaliação da máquina colhedora	41
3.5.1 Avaliação do desempenho da máquina	41
3.5.1.1 Capacidade de recolhimento efetiva da máquina colhedora	45
3.5.1.2 Eficiência da máquina no recolhimento	45
3.5.1.3 Estimativa do consumo de energia	47
3.6 Curva característica do sistema de ventilação	48
3.7 Determinação da pressão estática na máquina colhedora	49
3.8 Análise estatística	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Características e propriedades físicas dos frutos de café	51
4.1.1 Dimensões dos frutos de café	51
4.1.2 Volume e massas específicas aparente e real dos frutos de café em coco	53
4.1.3 Propriedades aerodinâmicas dos frutos de café	54
4.2 Análise por elementos finitos do transporte pneumático da máquina colhedora	55
4.2.1 Análise por elementos finitos da pressão estática na máquina colhedora	59
4.3 Características e propriedades físicas dos frutos de café na avaliação	60
4.4 Curva característica do sistema de ventilação	60
4.5 Avaliação do desempenho da máquina colhedora	61
4.5.1 Potência requerida pelo sistema pneumático	61
4.5.2 Características técnicas da máquina colhedora	63
4.5.3 Capacidade operacional	63

4.5.3.1 Tempo médio de percurso da máquina recolhedora nas leiras	66
5. RESUMO E CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
Apêndice 1 Listagem do programa, escrita utilizando a APDL (ANSYS Parametric Design Language), que simula o sistema do transporte pneumático da máquina recolhedora	76
Apêndice 2 Sistema para Análises Estatísticas	89
Apêndice 3 Características e propriedades físicas dos frutos de café, para o projeto da máquina recolhedora	99

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Velocidade de captura (v_c) em relação à distância (d_c) do fruto de café na entrada do captador	13
2 Tipos de bocais: simples, sem flange (1); flange cônica (2); flange reta (3); e <i>Bell Mouth</i> (4)	14
3 Diagrama para o sistema de transporte pneumático (SRIVASTAVA et al., 1996)	18
4 Esquema do equipamento utilizado para determinar o ângulo de repouso dos frutos de café	25
5 Geometria da máquina recolhadora para análise de elemento finito, vista em perspectiva. Componentes principais: (a) duto de entrada dos frutos de café; (b) caixa do depósito dos frutos de café; e (c) duto de saída do fluxo de ar	30
6 Geometria da máquina recolhadora para análise de elemento finito, vista da lateral esquerda	30
7 Modelagem da malha de elementos da máquina recolhadora	31
8 Modelagem dos nós que define o gradiente da máquina recolhadora	32
9 Esquema das condições de contorno consideradas na modelagem	32
10 Fluxograma de execução do projeto	33
11 Vista frontal da máquina recolhadora de frutos de café. Componentes: (a) polia fixada à estrutura da máquina; (b) esticador de correia; e (c) ventilador centrífugo	35
12 Vista lateral direita da máquina recolhadora de frutos de café. Componentes: (a) caixa captadora; (b) alavanca que regula o fluxo de descarga do produto; (c) duto de entrada do produto; (d) caixa do depósito; (e) duto de entrada do fluxo de ar no ventilador; e (f) alavanca que ergue o duto	36

13 Detalhe da altura máxima e mínima da abertura de entrada do duto na caixa captadora	37
14 Vista lateral esquerda da máquina recolhadora de frutos de café	38
15 Vista superior da máquina recolhadora de frutos de café	39
16 Vista da parte posterior da máquina recolhadora de frutos de café. Componente: (a) tampa de descarga do produto	40
17 Lote de café enleirado no terreiro, para os testes com a máquina recolhadora	42
18 Máquina recolhadora no terreiro de café	42
19 Recolhimento das leiras de frutos de café pela máquina recolhadora no terreiro de café	43
20 Recolhimento das leiras de frutos de café pela máquina recolhadora no terreiro de café	43
21 Distribuição das leiras de frutos de café recolhidas pela máquina recolhadora, no terreiro	44
22 Esquema de ligação dos componentes dos sensores e do computador portátil. Componentes: (a) computador portátil; (b) chassi de suporte das placas do sistema de aquisição; (c) torquímetro; e (d) sensor tipo indutivo	46
23 Ponto de leitura da pressão estática na máquina recolhadora, vista em perspectiva	49
24 Vista frontal do perfil do vetor velocidade no captador do sistema de transporte pneumático da máquina recolhadora	56
25 Detalhe da chapa colocada no captador da máquina recolhadora	57
26 Vista lateral do perfil do vetor velocidade nos dutos e na caixa do depósito da máquina recolhadora	57
27 Vista geral da pressão de sucção nos dutos e na caixa do depósito da máquina recolhadora	58
28 Comparação entre pressões estáticas experimentais e as simuladas pelo programa ANSYS na máquina recolhadora	59
29 Curva característica do sistema de ventilação usado na máquina recolhadora	61
30 Potência requerida na TDP, em função da velocidade angular na TDP, para o acionamento da máquina recolhadora	62
31 Capacidade de recolhimento efetiva e quantidade de frutos de café nos lotes	68

LISTA DE QUADROS

	Página
1 Médias das dimensões dos eixos principais e ângulo de repouso dos frutos de café em coco da variedade Catuai vermelho, de acordo com o teor de água	52
2 Média da massa específica real determinada com base no volume e na massa de cada fruto, para diferentes teores de água	53
3 Massas específicas real e aparente para café em coco com diferentes teores de água	54
4 Valores médios das propriedades aerodinâmicas dos frutos de café em coco, em função do teor de água	55
5 Características físicas dos frutos de café em coco utilizado nos testes de avaliação de desempenho da máquina colhedora ...	60
6 Especificações técnicas da máquina colhedora	63
7 Capacidade operacional da máquina colhedora para cada lote na velocidade de trabalho de $0,7 \text{ km h}^{-1}$	63
8 Capacidade operacional da máquina colhedora para cada lote na velocidade de trabalho de $1,2 \text{ km h}^{-1}$	64
9 Porcentagem de frutos de café danificados, pela máquina colhedora, para a velocidade de trabalho de $0,7 \text{ km h}^{-1}$	66
10 Porcentagem de frutos de café danificados, pela máquina colhedora, para a velocidade de trabalho de $1,2 \text{ km h}^{-1}$	66
11 Tempo médio de percurso (s) nas leiras, considerando-se as duas velocidades de trabalho e quatro teores de água nos frutos de café em coco	67

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Estimativa da produção brasileira de café para a safra 2002/2003	5
2 Determinação dos coeficientes de eficiência para diferentes bocais, segundo PORTO (1996)	15
3 Especificações técnicas do trator Valtra, modelo BF75	34

LISTA DE SÍMBOLOS

a	= eixo maior (m)
A_p	= área projetada do fruto de café (m ²)
b	= eixo médio (m)
c	= eixo menor (m)
C	= coeficiente de arrasto (adimensional)
C_c	= consumo de combustível Diesel por frutos de café recolhidos (L kg ⁻¹)
C_D	= consumo específico de combustível Diesel (L Kw ⁻¹ h ⁻¹)
C_e	= consumo de energia por quilograma de frutos de café recolhidos (kWh kg ⁻¹)
C_r	= capacidade de recolhimento efetiva (kg h ⁻¹)
C_p	= calor específico
d	= dimensão radial do duto (m)
D	= diâmetro equivalente do duto (m)
d_c	= distância dos frutos de café até a entrada do captador (m)
d_e	= diâmetro equivalente dos frutos de café (m)
dL	= comprimento do duto de transporte (m)
e	= relação de espaço vazio (adimensional)
E_f	= eficiência da máquina no recolhimento dos frutos de café (%)
g	= aceleração gravitacional (m s ⁻²)

g_x, g_y e g_z	= componentes da aceleração da gravidade nas direções x, y e z, respectivamente
h_y	= altura dos frutos de café em repouso (cm)
K	= condutividade térmica
K_p	= coeficiente de perda em função da geometria do duto
L	= comprimento total do duto (m)
L_{eq}	= comprimento equivalente (m)
$L_{eqtotal}$	= comprimento equivalente total (m)
\dot{m}	= fluxo de massa dos frutos de café (kg s^{-1})
m_f	= massa do fruto de café (kg)
m_r	= massa dos frutos de café recolhidos pela máquina (kg)
m_t	= massa total dos frutos de café no terreiro (kg)
n	= rotação da TDP (rpm)
n_f	= número de frutos de café no volume total (adimensional)
N_R	= número de Reynolds (adimensional)
p	= pressão
p_d	= pressão dinâmica (mmca)
P_e	= potência específica (W.s kg^{-1})
P_m	= potência da TDP equivalente no motor (kW)
P_s	= potência mecânica requerida pelo sistema (W)
P_{TDP}	= potência requerida na TDP (kW)
Q	= vazão do ar ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
Q_c	= vazão de ar na entrada do captador ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
Q_V	= fonte volumétrica de calor
R	= raio de curvatura do duto (m)
s	= seção da área na entrada do captador (m^2)
t	= tempo
T	= temperatura
t_e	= tempo efetivo para o recolhimento (h)
t_r	= tempo de trabalho da máquina recolhedora (h)
T_q	= torque requerido na TDP (Nm)

T_x, T_y e T_z	= termos de perda viscosa, nas direções x, y e z, respectivamente
v_{ar}	= velocidade do ar ($m\ s^{-1}$)
v_c	= velocidade de captura na entrada do captador ($m\ s^{-1}$)
v_f	= velocidade dos frutos de café ($m\ s^{-1}$)
v_t	= velocidade terminal ($m\ s^{-1}$)
v_x, v_y e v_z	= componentes do vetor velocidade nas direções x, y e z, respectivamente
V_f	= volume do fruto de café (m^3)
V_s	= volume ocupado pelos frutos de café (m^3)
V_t	= volume total (m^3)
w_f	= peso do fruto de café (N)
x, y e z	= coordenadas cartesianas

GREGOS

α	= ângulo de repouso (graus)
ϕ	= esfericidade (adimensional)
ϕ_m	= razão entre os fluxos de massa dos frutos de café e a massa do ar (adimensional)
η	= viscosidade absoluta do ar ($N.s\ m^{-2}$)
η_b	= eficiência do ventilador
λ_L	= fator de resistência do ar (adimensional)
λ_s	= coeficiente de atrito dos frutos de café
μ_e	= viscosidade efetiva
ρ	= massa específica do ar ($kg\ m^{-3}$)
ρ_f	= massa específica do fruto de café ($kg\ m^{-3}$)
Δp	= perda de carga total do sistema pneumático (Pa)
Δp_a	= perda de carga devido à aceleração dos frutos de café no duto (Pa)
Δp_b	= perda de carga nas curvas do duto (Pa)
$\Delta p_{b,ar}$	= perda de carga do ar devido às curvas (Pa)

$\Delta p_{b, frutos}$	= perda de carga devido ao atrito dos frutos de café nas curvas (Pa)
Δp_c	= perda de carga nos acessórios (Pa)
Δp_f	= perda de carga devido ao levantamento vertical dos frutos de café (Pa)
Δp_L	= perda de carga na linha (Pa)
Δp_s	= perda de carga devido aos atritos dos frutos de café no duto (Pa)
Δz	= diferença de nível (m)

RESUMO

MAGALHÃES, Anderson Chagas, D.S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2003. **Desenvolvimento e avaliação de uma máquina recolhadora de café em terreiro utilizando transporte pneumático.** Orientador: Mauri Martins Teixeira. Conselheiros: Daniel Marçal de Queiroz e Delly Oliveira Filho.

Objetivou-se, neste trabalho, projetar e construir uma máquina para recolher os frutos de café no terreiro e avaliar o seu desempenho, utilizando-se café em coco, com quatro teores de água e duas velocidades de trabalho. O projeto da máquina recolhadora de frutos de café no terreiro foi realizado com base nas características e propriedades físicas do produto, determinadas experimentalmente. O princípio de funcionamento da máquina adotado foi o de sucção, por meio de um ventilador centrífugo, acionado pela tomada de potência (TDP) do trator. A matéria-prima utilizada nos testes para avaliação da máquina foi o café da variedade Catuaí. Para os testes, foram utilizados quatro lotes de frutos de café; o produto empregado nos testes foi colhido por derriça no pano, passado por lavadores e secado em terreiro de cimento. Os teores de água dos frutos de café dos lotes 1, 2, 3 e 4 foram, respectivamente, de 13,54; 19,94; 30,31; e 39,02% (b.u.). As velocidades de trabalho para os testes foram de 0,7 e 1,2 km h⁻¹. Instalou-se um experimento em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro teores de água dos frutos de café e duas velocidades de trabalho. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três

repetições. Ao avaliar a máquina recolhadora, foram determinados os seguintes parâmetros: capacidade de recolhimento efetiva (kg h^{-1}); eficiência de campo da máquina (%); eficiência no recolhimento (%); porcentagem de danos nos frutos de café, obtida com base na quantidade de frutos de café quebrados antes e após o uso da máquina recolhadora (% em peso); consumo de energia por quilograma de frutos de café recolhidos (kWh kg^{-1}); e consumo de combustível Diesel por frutos de café recolhidos (L kg^{-1}). Além disso, foram determinadas a potência requerida na TDP pela máquina recolhadora, a curva característica do sistema de ventilação e as propriedades físicas dos frutos de café dos testes. Com base em resultados, pode-se concluir que a máquina mostrou desempenho satisfatório e capacidade de recolhimento efetiva média de 2,35 e 3,83 t h^{-1} , com eficiência média de campo da máquina de 79,3 e 75,5%, porcentagem de dano médio nos frutos de café de 0,27 e 0,29%, consumo médio de energia de 0,0013 e 0,00075 kWh kg^{-1} de produto recolhido e consumos médios de combustível Diesel de 0,0016 e 0,0010 L kg^{-1} de produto recolhido, respectivamente, para as velocidades de trabalho de 0,7 e 1,2 km h^{-1} . A eficiência no recolhimento da máquina obteve o mesmo resultado médio de 99,89%, para as duas velocidades de trabalho.

ABSTRACT

MAGALHÃES, Anderson Chagas, D.S., Universidade Federal de Viçosa, May 2003. **Development and evaluation of a machine to pick up coffee fruits on the yard using pneumatic transportation.** Adviser: Mauri Martins Teixeira. Committee Members: Daniel Marçal de Queiroz and Delly Oliveira Filho.

The present work had as objective to design and to build a machine to pick up the coffee fruits on the yard and to evaluate its performance, being used coffee in coconut, for four moisture content and two working speeds. The design of the machine to pick up coffee fruits on the yard was based on the characteristics and physical properties of the product, determined experimentally. The working principle adopted for the machine uses vacuum created by a centrifugal fan powered by the power take off (PTO) of a tractor. The raw material used in the tests for the machine evaluation was coffee of the variety "Catuai". For the tests, four lots of coffee fruits were used; the product employed in the tests was harvested on the plant (cloth), washed and dried on cement flat open terraces. The moisture content of the coffee fruits of the lots 1, 2, 3 and 4 were, respectively, 13.54; 19.94; 30.31; and 39.02% (b.u.). The working speeds for the tests were 0.7 and 1.2 km h⁻¹. It was settled an experiment in factorial outline 4x2, being four moisture content of the coffee fruits and two working speeds. The experimental design was a randomized block with three repetitions. For the machine evaluation it was established the

following parameters: effective picking capacity (kg h^{-1}); field efficiency of the machine (%); efficiency in the picking operation (%); percentage of damages on the coffee fruits, based on the amount of coffee fruits broken before and after using the machine (% in weight); consumption of energy for kilogram of coffee fruits picked up (kWh kg^{-1}); and consumption of fuel Diesel for coffee fruits picked up (L kg^{-1}). Furthermore, the power required for the PTO, the characteristic curve of the ventilation system and the physical properties of coffee fruits were determined. According to the results, it can be concluded that the machine showed satisfactory performance and medium effective picking capacity of 2.35 and 3.83 t h^{-1} , with medium field efficiency of the machine of 79.3 and 75.5%, medium percentage of damages on the coffee fruits of 0.27 and 0.29%, medium consumption of energy of 0.0013 and 0.00075 kWh kg^{-1} of coffee fruits picked up and medium consumption of fuel Diesel of 0.0016 and 0.0010 L kg^{-1} of coffee fruits picked up, respectively, for the working speeds of 0.7 and 1.2 km h^{-1} . With regard to the efficiency in the picking operation of the machine, it was obtained the same medium result of 99.89% for the two working speeds.

1. INTRODUÇÃO

O preço do café varia muito mais em função da qualidade do que outros produtos agrícolas. Para se manter a boa qualidade do café, além dos aspectos agronômicos e de colheita, são necessários cuidados especiais durante o processo de secagem.

O processo de secagem tem a função de reduzir o teor de água até um nível seguro para armazenagem, de tal forma a prevenir quanto ao desenvolvimento de fungos e preservar as características organolépticas. No Brasil, geralmente, a secagem do café é feita em terreiros, em secadores mecânicos ou combinando a secagem em terreiros com o uso de secadores mecânicos. No primeiro caso, a secagem é realizada em camada com espessura inferior a 5 cm, em terreiro de concreto, de alvenaria ou até mesmo de chão batido.

Inicialmente, o café é transportado do lavador para o terreiro e nele distribuído. Utiliza-se, para isso, um carrinho com abertura no fundo, que permite ao operador regular a distribuição do produto sobre o terreiro. O café deve ser distribuído em camadas bem finas. Durante a secagem, o produto precisa ser revolvido freqüentemente, para se evitar a fermentação.

O processo de secagem ocorre desde o primeiro dia, porém o intervalo para que o processo de secagem de café no terreiro venha a atingir o teor de água entre 11 e 13% (b.u.) varia de 10 a 20 dias, dependendo das condições climáticas locais e da uniformidade de maturação dos frutos.

A principal vantagem deste método é a economia de energia, visto que, durante a secagem, só se utiliza a radiação solar e o potencial de secagem do ar ambiente. Além disso, os raios solares têm ação germicida e não são poluentes. Em contrapartida, no processo de secagem em terreiros, exigem-se extensas áreas, muita mão-de-obra e o produto pode ficar sujeito a condições ambientais inadequadas. Apesar desses riscos, pequenos e médios produtores utilizam intensivamente os terreiros como único processo na secagem do café.

Fazem parte do processo de secagem do produto as operações de distribuição, revolvimento, enleiramento e recolhimento. Geralmente, o café é recolhido e ensacado utilizando-se pá. O recolhimento do produto é um trabalho desgastante para o operador, pois requer resistência física e rapidez.

As razões de os terreiros serem amplamente usados são: é uma técnica bem conhecida pelos produtores e a maioria dos secadores mecânicos existentes no mercado não dispensa a pré-secagem do café. Esta pré-secagem é necessária porque o produto apresenta inicialmente elevado teor de água, o que dificulta a obtenção de um fluxo uniforme do produto no secador, além da dificuldade de transportá-lo durante o processo.

Para facilitar a secagem do café no terreiro, podem ser usadas máquinas capazes de realizar as operações de revolvimento e de recolhimento do produto durante o processo de secagem. O acionamento desta máquina pelo trator propiciaria mais rapidez na movimentação do café e melhor aproveitamento da energia solar e das correntes de ar, contribuindo para acelerar o processo de secagem. Além disso, permitiria reduzir o tempo de realização das operações, fator importante quando se tem condição climática adversa para a secagem.

A partir da determinação das características e propriedades aerodinâmicas dos frutos de café, é possível desenvolver máquinas eficientes para o transporte pneumático dos frutos de café. O desenvolvimento dessas máquinas pode facilitar o processo de transporte no terreiro e contribuir para a obtenção de um produto final de melhor qualidade. O sistema de transporte pneumático, desde que devidamente projetado, pode ser uma importante opção para o transporte do café no processo de secagem, sem causar danos ao produto.

Considerando a importância de uma máquina que faça o recolhimento do café por meio de transporte pneumático e a distribuição em terreiro de forma eficiente e de baixa demanda de potência para o seu acionamento, este trabalho teve como objetivos:

- Determinar as propriedades e as características aerodinâmicas dos frutos de café em diferentes teores de água.
- Desenvolver um modelo, usando elementos finitos, para determinar a dinâmica dos fluxos de ar da máquina recolhadora de café.
- Projetar e construir uma máquina para recolhimento dos frutos de café em terreiro, utilizando técnicas de CAD (Projeto Auxiliado por Computador).
- Avaliar o desempenho da máquina, utilizando café em coco com diferentes teores de água.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Diagnóstico da cafeicultura

De acordo com última estimativa de safra de 2002/2003, pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção brasileira de café foi da ordem de 47,2 milhões de sacas, o que corresponde a um volume 5% superior à estimativa anterior, conforme apresentado na Tabela 1. A safra mundial do ano/safra 2002/03, estimada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), foi de 125 milhões de sacas. Estimativa da Organização Internacional do Café (OIC, 2002) para a safra 2002/2003 aponta um recorde de produção mundial, com o Brasil respondendo por cerca de 37,8% e Colômbia e Vietnã por 9% cada um. Os três países juntos representam mais da metade da produção global (CONAB, 2002).

Minas Gerais produziu 24,6 milhões de sacas, que responde por cerca de 49,9% do parque cafeeiro nacional, seguido de Espírito Santo e São Paulo, que produziram, respectivamente, 9,0 e 5,8 milhões de sacas. Esses três estados respondem por mais de 80% da produção nacional (FAEMG, 2002).

Tabela 1 – Estimativa da produção brasileira de café para a safra 2002/2003

Região	Produção (Mil sacas beneficiadas)		
	Arábica	Robusta	Total
Minas Gerais	24.600	40	24.640
Espírito Santo	2.500	6.500	9.000
São Paulo	5.800	--	5.800
Paraná	2.340	--	2.340
Bahia	1.750	400	2.150
Rondônia	--	2.100	2.100
Mato Grosso	60	410	470
Pará	--	290	290
Rio de Janeiro	240	15	255
Outros	60	160	220
BRASIL	37.350	9.915	47.265

Fonte: CONAB (2002).

2.2 Propriedades e características físicas dos frutos de café

As operações de transporte, secagem e armazenagem dos frutos de café dependem do conhecimento das suas propriedades físicas. A adaptação de equipamentos e a melhoria de sua eficiência também estão diretamente relacionadas ao conhecimento dessas propriedades físicas (SILVA e LUCENA, 1995).

A forma irregular dos grãos agrícolas dificulta as determinações das propriedades físicas, como dimensões, volume, peso específico e área frontal, o que, na opinião de Mohsenin, citado por COUTO et al. (2000), muitas vezes pode ser contornado associando-se ao produto uma forma conhecida. O conhecimento das características físicas do grão, segundo SILVA e LUCENA (1995), é essencial no projeto, na construção e na operação dos equipamentos de limpeza, secagem e armazenagem dos produtos agrícolas.

Segundo SRIVASTAVA et al. (1996), o tamanho e a massa do fruto são os parâmetros mais importantes no recolhimento do produto, sendo o fluxo de ar intimamente influenciado pela massa. Para o desenvolvimento adequado da máquina recolhadora, é importante conhecer as características aerodinâmicas, como velocidade terminal e coeficiente de arrasto, dos produtos a serem recolhidos.

Para o recolhimento dos frutos de café, é fundamental que se conheça a sua velocidade terminal. De acordo com MOHSENIN (1978), uma partícula em queda livre, em um fluxo de ar ascendente, atingirá a velocidade terminal quando a força gravitacional (F_g), sendo $F_g = \text{peso} - \text{força de empuxo}$, se igualar à força de resistência de arraste (F_r). A velocidade terminal pode ser calculada pela equação (1).

$$m_f \cdot g \cdot \left[\frac{(\rho_f - \rho)}{\rho_f} \right] = \frac{1}{2} C \cdot A_p \cdot \rho \cdot v_t^2 \quad (1)$$

ou

$$v_t = \sqrt{\frac{2w_f \cdot (\rho_f - \rho)}{\rho_f \cdot \rho \cdot A_p \cdot C}} \quad (2)$$

em que

- v_t = velocidade terminal (m s^{-1});
- m_f = massa do fruto de café (kg);
- g = aceleração gravitacional (m s^{-2});
- w_f = peso do fruto de café (N);
- ρ_f = massa específica do fruto de café (kg m^{-3});
- ρ = massa específica do ar (kg m^{-3});
- C = coeficiente de arrasto (adimensional); e
- A_p = área projetada do fruto de café (m^2).

De acordo com DE BAERDEMAEKER e SEGERLIND (1974), a velocidade terminal de um produto pode ser determinada experimentalmente, colocando-se os materiais (frutos de café) para flutuar em uma corrente ascendente de ar. A velocidade necessária para o equilíbrio do material no fluxo de ar constante é igual à velocidade terminal do produto.

MAGALHÃES (1999) observou, experimentalmente, que, quando os frutos de café começam a girar, dá-se início ao movimento de subida, sendo eles impulsionados para uma região de menor velocidade; em outras palavras, a rotação causa maior arraste e menor velocidade terminal.

O arrasto de fricção, também conhecido como resistência superficial, é dominante em corpos cuja área superficial, paralela à direção do escoamento, é grande em comparação à normal (COUTO et al., 2000).

Estudos com esferas, discos e cilindros mostraram uma relação distinta entre o coeficiente de arrasto C da equação (2) e o número de Reynolds, equação (3), que variam com as formas geométricas das partículas.

$$N_R = \frac{v_t \cdot d_e \cdot \rho}{\eta} \quad (3)$$

em que

- N_R = número de Reynolds (adimensional);
- d_e = diâmetro equivalente dos frutos de café (m); e
- η = viscosidade absoluta do ar (N.s m⁻²).

Para um corpo arredondado, essa combinação entre o coeficiente de arrasto e o número de Reynolds ($C \cdot N_R^2$) pode ser determinada pela equação (4).

$$C \cdot N_R^2 = \frac{8 w_f \cdot \rho \cdot (\rho_f - \rho)}{\pi \cdot \eta^2 \cdot \rho_f} \quad (4)$$

Moysey, citado por COUTO et al. (2000), sugeriu que a esfericidade, o enrugamento da superfície e o 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 (MOHSEIN, 1978). O mesmo autor determinou o grau de esfericidade através da média geométrica dos três eixos mutuamente perpendiculares do sólido pelo maior eixo, como segue na equação (5).

$$\phi = \frac{\sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}}{a} \quad (5)$$

em que

- ϕ = esfericidade (adimensional);
- a = eixo maior (m);
- b = eixo médio (m); e
- c = eixo menor (m).

O acréscimo de elementos de rugosidade à superfície de um corpo pode suprimir oscilações locais na transição entre o escoamento laminar e o

turbulento na camada - limite. Essas oscilações podem conduzir a variações de arrasto e a flutuações aleatórias da sustentação (FOX e McDONALD, 1998).

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 deste para outros grãos agrícolas. À medida que o teor de água deste produto é reduzido, a rugosidade superficial aumenta (COUTO et al., 2000).

Na determinação da massa específica aparente utiliza-se, geralmente, uma balança de peso hectolítrico ou um picnômetro. A massa específica real dos frutos de café pode ser determinada pelo método do deslocamento de líquido ou do ar entre os frutos de café. De acordo com COUTO et al. (1999), a metodologia de complementação de volume (ou deslocamento do líquido) tem a vantagem de requerer equipamentos comuns de laboratório (balão volumétrico, balança, etc.).

2.3 A racionalização do trator agrícola

O trator agrícola é um veículo complexo, empregado para tracionar, carregar e acionar máquinas e implementos, por meio dos sistemas de aproveitamento de sua potência, que são: barra de tração, engate de três pontos (levante hidráulico) e tomada de potência (LILJEDAHL et al., 1989).

A vantagem de se conhecer o desempenho operacional de uma máquina agrícola consiste em poder empregar uma seleção racional. Essa mecanização racional, segundo MIALHE (1996), consiste em utilizar um sistema ou conjunto de máquinas, de forma técnica e economicamente organizada, na execução das operações exigidas pela produção agrícola. O emprego da mecanização racional permite obter o máximo de rendimento útil com um mínimo de dispêndio de energia, tempo e dinheiro, permitindo a eleição dos critérios racionais de escolha e manejo de máquinas e implementos agrícolas que irão executar as operações agrícolas em estudo.

O desempenho operacional, de acordo com MIALHE (1996), é o conjunto de informações de características operacionais, dinâmicas e de

manejo que representam uma medida do comportamento da maquinaria agrícola ao executar operações sob determinadas condições de trabalho.

Para avaliar o desempenho operacional do conjunto trator-colhedora de feijão, GARCIA (2002) desenvolveu um sistema de aquisição automática de dados, utilizando-se o programa LabVIEW versão 6i. A operação de aquisição automática de dados envolveu sensores para determinar o torque e a rotação na TDP, sendo eles: torquímetro modelo TQ501 – 10k da Omega, de capacidade de 1.130 Nm e 6.000 rpm; e sensor tipo indutivo modelo PS5 – 18GI50 – E da Sense, respectivamente. Foi utilizado ainda um computador portátil para aquisição, processamento e armazenamento de dados.

2.4 A utilização do computador como ferramenta no projeto de máquinas

Além da determinação das características físicas dos produtos, a modelagem matemática pode ser uma ferramenta importante no desenvolvimento de uma máquina agrícola. O aumento da velocidade e capacidade de processamento dos computadores e a necessidade de estudos de máquinas sofisticadas são os principais fatores que contribuíram para o desenvolvimento dessas técnicas de análise e projeto de máquinas (NORTON, 1992; KNIGHT, 1993).

A análise por elementos finitos consiste na divisão de um corpo, utilizando-se uma malha de elementos e funções aproximadas para descrever o comportamento das variáveis envolvidas no problema (ZHU et al., 1989; REDDY, 1993). Segundo SEGERLIND (1984), esta técnica é utilizada para análise de tensões e para problemas envolvendo transferência de calor, mecânica dos fluidos e outras aplicações. No desenvolvimento de máquinas agrícolas, a análise por elementos finitos pode ser aplicada na análise de mecânica dos fluidos, para o projeto do sistema de transporte pneumático (HUEBNER et al., 1995).

De acordo com Haghghi, citado por GARCIA (1998), o uso de computadores tem proporcionado o desenvolvimento de "protótipos virtuais", em que determinada máquina, ou sistema, é modelada usando-se um programa computacional, sendo o seu comportamento simulado sob diferentes condições de funcionamento, antes que ela entre em linha de produção. Assim,

são reduzidos também os custos, o tempo necessário para projetar máquinas e o número de protótipos a serem construídos e de testes experimentais a serem realizados. Dessa forma, poderão ser desenvolvidas máquinas tecnicamente mais eficientes e de menor custo, pois seu projeto pode ser otimizado (HAGHIGHI et al., 1990).

Com a finalidade de otimizar o peso dos braços de um mecanismo destinado à colheita de melões, EDAN et al. (1992) desenvolveram um procedimento para a análise e otimização, usando o método de elementos finitos.

GARCIA (1998) utilizou um modelo matemático com base em análise por elementos finitos, a fim de otimizar o projeto de um rotor de corte de uma colhedora de forragem. O modelo foi validado comparando-se seus resultados com uma solução analítica. O trabalho de otimização conduzido indicou que o volume do rotor poderia ser reduzido em 58,32%.

QUEIROZ et al. (1994) utilizaram um modelo matemático com base em análise por elementos finitos para otimizar o projeto de um mecanismo trilhador de arroz, que consistia num eixo cilíndrico de fluxo axial. O resultado da otimização mostrou que o rotor do mecanismo da trilha poderia ser construído com uma economia de 65% do material.

2.4.1 Análise por elementos finitos pelo programa ANSYS 5.7

O *software* ANSYS 5.7 é um programa para solução de problemas de engenharia pelo método dos elementos finitos com diversos recursos de geração de malha e definição de modelo na sua parte de pré-processamento. No que se refere à solução, o ANSYS provê recursos para diversos tipos de análise.

O perfil de pressão e a velocidade em problemas de escoamentos de fluidos em dutos são determinados de forma bastante eficaz quando se usa a técnica de elementos finitos assessorada pelo ANSYS, um programa computacional de análise em elementos finitos.

Os parâmetros de entrada para os programas computacionais desenvolvidos nesta área são, basicamente, a estrutura da máquina em condições reais, as propriedades do fluido, as condições de contorno em todas

as superfícies, abertas ou fechadas, do sistema e o tipo de análise a ser realizada. As condições de contorno nas superfícies abertas podem ser velocidades, pressões ou combinações desses parâmetros. Como resultado têm-se as distribuições de velocidade e de pressão nos nós provenientes da discretização do sistema (ANSYS, 2001).

Este *software* oferece ferramentas para analisar o fluxo de fluido em modelos bidimensionais e tridimensionais, por meio da opção do produto FLOTRAN CFD (Computacional Dinâmica Fluida), usando elementos de CFD FLUID141 e FLUID142, que correspondem, respectivamente, a elemento bidimensional e tridimensional (ANSYS, 2001).

O programa resolve problemas de fluxo de fluido (gases e líquidos) e as propriedades destes, que podem variar significativamente com a temperatura, pois esta é necessária para determinar no programa se ela tem efeito na densidade do fluido e na viscosidade e se a condutividade térmica é importante.

A análise dos resultados, por meio do programa, depende da localização dos gradientes e do seu refinamento. Se o programa estiver usando o modelo de turbulência, a região perto das paredes tem que ter uma malha muito mais densa (refinada), comparada à necessária para um problema de fluxo laminar. Se for muito grossa, a malha original pode não capturar efeitos significantes provocados por gradientes na solução (ANSYS, 2001). Em alguns casos, utiliza-se elemento de hexaedro para capturar detalhe em regiões de alto gradiente e elementos de tetraedro em regiões menos críticas.

Em uma análise de fluxo turbulento, a velocidade é alta e a viscosidade é bastante baixa para causar flutuações turbulentas (ANSYS, 2001). De acordo com o programa, fluxos laminar e turbulento são incompressíveis se a densidade for constante ou se o fluido consumir pouca energia, comprimindo o fluxo.

O programa ANSYS é dotado de um conjunto de macros, para realizar a otimização de projetos. Por meio desse conjunto de macros é possível projetar o sistema modelado, para que ele atenda às condições de trabalho e a um objetivo proposto, que pode ser o de apresentar o mínimo custo ou de ter o mínimo peso, ou qualquer outro definido pelo usuário do programa (GARCIA, 1998).

2.5 Mecanismos da máquina recolhedora

2.5.1 Sistema de transporte pneumático

Segundo MACINTYRE (1990), a função básica de um ventilador é mover determinada quantidade de ar por um sistema de ventilação a ele conectado. Assim, ele deve gerar uma pressão estática suficiente para vencer as perdas do sistema e uma pressão cinética para manter o ar em movimento. Quando em repouso, o ventilador centrífugo comporta-se como um vaso volumétrico contendo um dado volume de ar. Ao entrar em movimento, o ar nele contido é centrifugado, recebendo um incremento de energia, sendo o vazio criado no ventilador preenchido com novo ar, pela ação da pressão atmosférica, a uma velocidade suficiente para repor a quantidade descarregada. Quando em movimento, em uma dada rotação constante, o volume específico do ventilador é induzido e descarregado continuamente, sendo evidente que o volume total depende apenas da rotação do ventilador.

O transportador pneumático é utilizado para transportar diferentes tipos de materiais através da energia cinética do ar em dutos fechados. Ele é flexível, podendo ser usado para conduzir grãos em áreas de difícil alcance para outros transportadores mecânicos (SRIVASTAVA et al., 1996).

Os sistemas de transportes pneumáticos podem ser assim divididos: sistema de transporte com pressão negativa (sistema de sucção), sistema com pressão positiva e sistema combinado de pressões negativa e positiva. Conforme SRIVASTAVA et al. (1996), o sistema combinado é usado para succionar (pressão negativa) o material, e a pressão positiva, para transportar o material até seu destino.

Trabalhos utilizando o transportador pneumático exigem determinados conhecimentos, como: pressão, velocidade e quantidade de fluxo de ar necessário para o arraste dos grãos; a potência exigida; e as características físicas do material transportado, considerando-se que irão influenciar o desempenho do equipamento (SILVA et al., 1995).

2.5.2 Captador de fluxo de ar

O captador é uma peça ou dispositivo no qual, pela diferença de pressões entre o ar ambiente e o fluxo de ar nele existente, se estabelece um fluxo de ar para o seu interior. O fluxo de ar prossegue pelos dutos até o ventilador. É necessário que no interior do captador exista uma pressão negativa para que haja velocidade de escoamento (MACINTYRE, 1990).

Os frutos de café deverão ser induzidos a uma velocidade, denominada velocidade de captura, que irá depender da velocidade de deslocamento do fluxo de ar no sentido do captador; portanto, dependerá da velocidade inicial na entrada do captador e da velocidade no duto após captador.

A distância entre os frutos de café e o captador, as características e as propriedades dos frutos de café são parâmetros usados para se determinar a velocidade de captura (Figura 1).

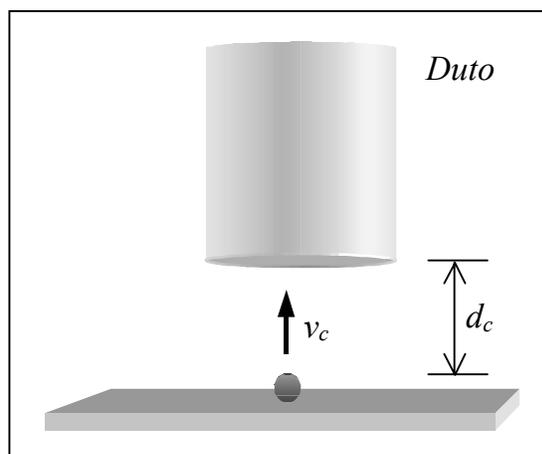


Figura 1 – Velocidade de captura (v_c) em relação à distância (d_c) do fruto de café na entrada do captador.

Uma vez definida a velocidade de captura (v_c) e sabendo-se a distância (d_c) do fruto de café até a entrada do captador com área de seção (s) conhecida, determina-se a vazão (Q_c) necessária à obtenção da velocidade de captação por meio da equação (6).

$$Q_c = (10 d_c^2 + s) \cdot v_c \quad (6)$$

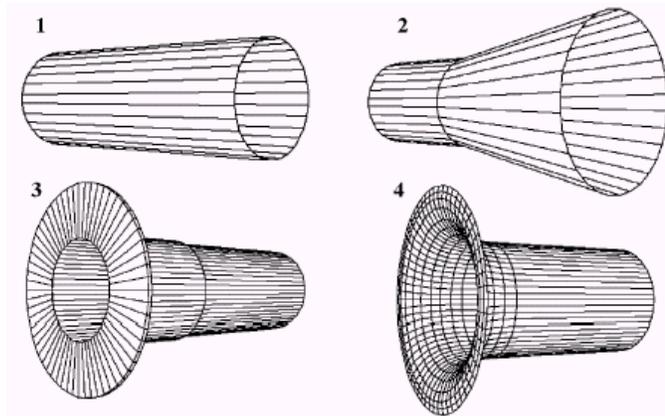
em que

- Q_c = vazão de ar na entrada do captador ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);
- d_c = distância dos frutos de café até a entrada do captador (m);
- s = seção da área na entrada do captador (m^2); e
- v_c = velocidade de captura na entrada do captador (m s^{-1}).

O fluxo de ar, ao se dirigir para o captador, vindo de todas as direções, produz uma série de linhas de igual velocidade de escoamento.

A velocidade de captura decresce com o aumento da distância do fruto em relação à entrada do captador (Figura 1). No caso de abertura de entrada circular sem flanges, há captação do ar que fica por trás desta entrada, o que é evitado se esta abertura possuir flanges ou abas laterais. Essa velocidade de captura, para abertura com flanges, é satisfatória quando a distância (d_c) for inferior a 12,5% do diâmetro do duto (MACINTYRE, 1990).

Na Figura 2 é indicada a escolha de um bocal dotado de flange, sendo a distribuição do fluxo de ar mais bem direcionada frontalmente que a do bocal não - flangeado, otimizando o aproveitamento do ar aspirado e atingindo igualmente os frutos de café no terreiro (PORTO, 1996).



Fonte: PORTO (1996).

Figura 2 – Tipos de bocais: simples, sem flange (1); flange cônica (2); flange reta (3); e *Bell Mouth* (4).

Na Figura 2 e na Tabela 2 são mostrados os tipos de bocais e respectivos coeficientes de eficiência. Estes coeficientes fornecem uma

quantificação direta de quanto o tipo de bocal é capaz de distribuir o fluxo aspirado e, portanto, da sua capacidade em diminuir a perda de carga na admissão. De acordo com PORTO (1996), é possível concluir que aberturas do tipo *Bell Mouth* ou cônica (com ângulo entre 30 e 60°) são as mais aconselháveis para as máquinas recolhedoras.

Tabela 2 – Determinação dos coeficientes de eficiência para diferentes bocais, segundo PORTO (1996)

Tipo de Bocal	Coefficiente de Eficiência
Simples	0,72
Flangeado	0,82
Cônico (30°)	0,96
Cônico (45°)	0,97
Cônico (60°)	0,96
Bell Mouth	0,98

2.5.3 Coletores gravitacionais

Trata-se de equipamentos em que as partículas são carregadas pelo fluxo de ar e a velocidade de transporte é substancialmente reduzida dentro da câmara, a fim de possibilitar a deposição das partículas nele (MACINTYRE, 1990).

Para recolhimento dos materiais no local de descarga do transporte podem se utilizar diversos equipamentos, como ciclones, filtros de limpeza por ar comprimido ou contra corrente, ou até mesmo descarga direta em silo ou depósito.

Os coletores de câmara gravitacional ou de sedimentação são os mais simples e de mais fácil operação (MACINTYRE, 1990). Consistem essencialmente de uma câmara, em geral metálica, de grandes dimensões em relação às do duto de transporte dos frutos de café, a fim de reduzir a velocidade de escoamento, permitindo a deposição dos frutos de café, como consequência da diferença de peso entre o ar e o fruto.

2.5.4 Duto e curvas

Um projeto adequado deverá prever o tipo de tubulação a ser utilizado, de acordo com o grau de abrasividade e corrosão possivelmente gerados pela composição dos materiais. Os levantamentos criteriosos dessas características poderão exigir do projeto a utilização de materiais resistentes, como aço inox ou até mesmo PVC. Os raios de curvatura deverão ser grandes, com a possibilidade de utilização de "chapas de desgaste", facilitando a sua substituição.

O diâmetro do duto não deve ser muito grande, pois a velocidade do fluxo decairia, fazendo com que os frutos de café venham a se acumular nos pontos mais baixos ou nas curvas mais fechadas. É indesejável, também, que o duto seja de diâmetro interno muito estreito, pois a sustentação de alta velocidade em um trecho sujeito a curvas representa elevada perda de carga (PORTO, 1996).

A perda de carga em curvas depende da relação entre o raio de curvatura e a dimensão radial do duto (R/d), da forma do duto (relação entre a dimensão axial e a dimensão radial), do ângulo de mudança de direção, das dimensões da curva e da velocidade do fluido (MACINTYRE, 1990). Segundo o mesmo autor, para minimizar a perda de carga nas curvas dos dutos, em projeto de transporte pneumático, a relação entre o raio de curvatura e o diâmetro do duto deve ser de cerca de 2,5 e o mínimo aceitável de 1.

2.5.5 Potência requerida pelo sistema pneumático

A potência requerida para o acionamento do sistema de transporte pneumático pode ser determinada de acordo com as características físicas dos frutos de café, o volume transportado e a energia necessária para o transporte pneumático.

Durante o transporte pneumático, segundo SRIVASTAVA et al. (1996), os grãos estão em suspensão e podem ser tratados como um agregado sólido em um espaço vazio. A relação de espaço vazio é definida pela equação (7).

$$e = \frac{V_t - V_s}{V_t} = 1 - \frac{V_s}{V_t} \quad (7)$$

em que

- e = relação de espaço vazio (adimensional);
- V_s = volume ocupado pelos frutos de café (m³); e
- V_t = volume total (m³).

O volume total ocupado pelos sólidos no duto é obtido pela soma do volume de cada fruto de café e pode ser expresso na equação (8).

$$V_s = n_f \cdot V_f = \frac{\dot{m}}{\rho_f \cdot v_f} dL \quad (8)$$

em que

- n_f = número de frutos de café no volume total (adimensional);
- V_f = volume do fruto de café (m³);
- \dot{m} = fluxo de massa dos frutos de café (kg s⁻¹);
- v_f = velocidade dos frutos de café (m s⁻¹); e
- dL = comprimento do duto de transporte (m).

A massa específica aparente dos frutos de café pode ser determinada pela equação (9).

$$\rho_f = \frac{\phi_m \cdot \rho \cdot v_{ar}}{v_f} \quad (9)$$

em que

- v_{ar} = velocidade do ar (m s⁻¹); e
- ϕ_m = razão entre os fluxos de massa dos frutos de café e a massa do ar (adimensional).

A razão entre os fluxos de massa dos frutos de café pode ser expressa pela equação (10).

$$\phi_m = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot Q} \quad (10)$$

em que

- Q = vazão do ar (m³ s⁻¹).

SRIVASTAVA et al. (1996) determinaram a seguinte equação empírica para calcular a velocidade dos frutos de café:

$$\frac{v_f}{v_{ar}} = 1 - 0,68 d_e^{0,92} \cdot \rho_f^{0,5} \cdot \rho^{-0,2} \cdot D^{0,54} \quad (11)$$

em que

D = Diâmetro equivalente do duto (m).

O projeto do sistema de transporte pneumático envolve a determinação da velocidade mínima de transporte dos frutos de café, a vazão do ar, a perda de carga total e a potência requerida pelo sistema.

A velocidade mínima para o transporte pneumático dos frutos de café pode ser obtida conforme mostrado na Figura 3. Essa velocidade está relacionada com a massa específica do produto e com o volume de ar por massa de produto transportado.

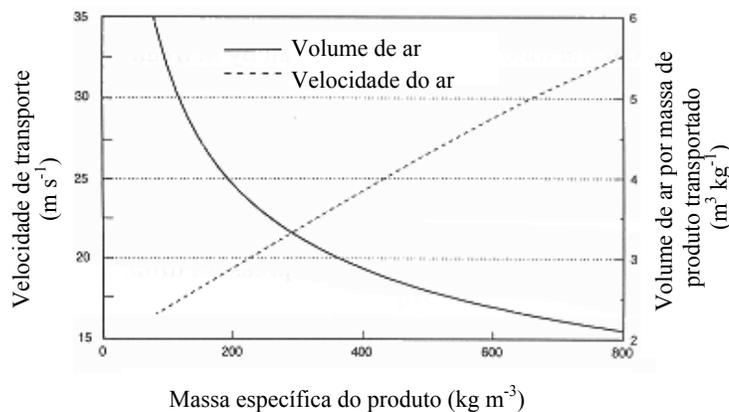


Figura 3 – Diagrama para o sistema de transporte pneumático (SRIVASTAVA et al., 1996).

A perda de carga total ou pressão total é a soma de todas as perdas de carga no sistema pneumático, como mostrado na equação (12).

$$\Delta p = \Delta p_L + \Delta p_a + \Delta p_s + \Delta p_f + \Delta p_b + \Delta p_c \quad (12)$$

em que

- Δp = perda de carga total do sistema pneumático (Pa);
- Δp_L = perda de carga na linha (Pa);
- Δp_a = perda de carga devido à aceleração dos frutos de café no duto (Pa);
- Δp_s = perda de carga devido ao atrito dos frutos de café no duto (Pa);
- Δp_f = perda de carga devido ao levantamento vertical dos frutos de café (Pa);
- Δp_b = perda de carga nas curvas do duto (Pa); e
- Δp_c = perda de carga nos acessórios (Pa).

Perda de carga na linha é a que ocorre devido ao fluxo de ar que flui pelos dutos e pode ser calculada pela equação (13).

$$\Delta p_L = \lambda_L \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_{ar}^2 \cdot \frac{L}{D} \quad (13)$$

em que

- λ_L = fator de resistência do ar (adimensional); e
- L = comprimento total do duto (m).

O fator de resistência do ar para o fluxo turbulento pode ser determinado pela equação (14).

$$\frac{\lambda_L}{4} = 0,0014 + 0,125 N_R^{-0,32} \quad (14)$$

Os frutos de café são introduzidos no fluxo de ar, onde são acelerados até atingir a velocidade (v_f), o que requer uma energia adicional. Essa perda de carga devido à aceleração dos frutos de café no duto pode ser calculada pela equação (15).

$$\Delta p_a = \phi m \cdot v_{ar} \cdot \rho \cdot v_f \quad (15)$$

A perda de carga devido à interação entre os frutos de café e as fricções na parede do duto pode ser determinada pela equação (16).

$$\Delta p_s = \phi m \cdot \lambda_s \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_{ar}^2 \cdot \frac{L}{D} \quad (16)$$

SRIVASTAVA et al. (1996) determinaram a equação (17) para o coeficiente de atrito dos frutos de café em relação ao diâmetro equivalente do duto.

$$\lambda_s = \frac{0,0285 \sqrt{g \cdot D}}{v_f} \quad (17)$$

A perda de carga devido ao levantamento vertical dos frutos de café representa a mudança da energia potencial para se erguer os frutos de café na altura desejada. A equação (18) é usada para calcular essa perda de carga em razão da diferença de nível.

$$\Delta p_f = \rho_f \cdot g \cdot \Delta z \quad (18)$$

em que

$$\Delta z = \text{diferença de nível (m)}.$$

Uma vez que os fluxos de ar e frutos de café passam por curvas, há perdas de energia devido à fricção do ar e dos frutos de café contra as paredes do duto. Os frutos de café, ao passarem por curvas, reduzem a velocidade, necessitando de uma energia adicional para acelerá-los novamente até a velocidade de transporte. A perda de carga em uma curva é calculada separadamente para o fluxo de ar e para os grãos. A perda de carga devido ao fluxo de ar é determinada considerando-se o comprimento equivalente para a curva, que produz a perda de carga em um duto reto, representando a perda de carga na curva.

A equação (19) é usada para determinar o comprimento equivalente.

$$L_{eq} = \frac{K_p \cdot D}{\lambda_L} \quad (19)$$

em que

$$K_p = \text{coeficiente de perda em função da geometria do duto}.$$

A soma dos comprimentos equivalentes para cada curva é utilizada para determinar a perda de carga do ar devido às curvas do duto.

$$\Delta p_{b,ar} = \frac{\Delta p_L}{L} \cdot L_{eqtotal} \quad (20)$$

em que

$$\begin{aligned} \Delta p_{b,ar} &= \text{perda de carga do ar devido às curvas (Pa); e} \\ L_{eqtotal} &= \text{comprimento equivalente total (m)}. \end{aligned}$$

A perda de carga devido ao atrito dos frutos de café nas curvas é assim calculada:

$$\frac{\Delta p_{b,frutos}}{\rho \cdot v_{ar}^2} = 0,245 \left(\frac{\dot{m}}{\rho \cdot v_{ar} \cdot D^2} \right)^{1,267} \cdot \left(\frac{R}{D} \right)^{-0,260} \quad (21)$$

em que

$$\begin{aligned} \Delta p_{b,frutos} &= \text{perda de carga devido ao atrito dos frutos de café nas} \\ &\quad \text{curvas (Pa); e} \\ R &= \text{raio de curvatura do duto (m)}. \end{aligned}$$

A partir da soma das perdas de cargas do ar e dos frutos de café nas curvas, é determinada a perda de carga nas curvas do duto:

$$\Delta p_b = \Delta p_{b,ar} + \Delta p_{b,frutos} \quad (22)$$

A perda de carga em acessórios Δp_c é estimada nos projetos de transporte pneumático. Nenhuma equação simplificada está disponível para calcular essa perda de carga. Frequentemente, fabricantes fornecem dados de perda de carga para diferentes acessórios.

A potência requerida depende da vazão do fluxo de ar transportado e da perda total de carga no sistema. A potência requerida pode ser calculada pela equação (23) para condições normais do ar. Correções devem ser feitas em caso de mudança de altitude, temperatura e umidade.

$$P_s = \frac{\Delta p \cdot Q}{\eta_b} \quad (23)$$

em que

$$\begin{aligned} P_s &= \text{potência mecânica requerida pelo sistema (W); e} \\ \eta_b &= \text{eficiência do ventilador.} \end{aligned}$$

A potência específica ou potência por unidade de taxa de fluxo de frutos de café pode ser calculada pela equação (24).

$$P_e = \frac{P_s}{\dot{m}} \quad (24)$$

em que

P_e = potência específica ($W.s \text{ kg}^{-1}$).

O desempenho do sistema depende dos fatores relacionados ao equipamento, ao material a ser transportado e às condições operacionais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Uma máquina recolhadora foi projetada e avaliada nos Laboratórios de Armazenamento e de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa.

O desenvolvimento e a construção da máquina recolhadora envolveram o levantamento das propriedades e características aerodinâmicas dos frutos de café, da vazão de ar necessária para o transporte pneumático e da taxa de alimentação da máquina. A partir dessas informações foi utilizado o programa ANSYS, versão 5.7, para a modelagem da máquina recolhadora. Após a modelagem ela foi construída e seu desempenho avaliado em condições de campo.

3.1 Determinação das características e propriedades físicas dos frutos de café

Foram conduzidos testes experimentais com o objetivo de determinar e caracterizar as propriedades físicas e aerodinâmicas do produto. Utilizaram-se frutos de café da espécie *Coffea arabica* L., da variedade Catuaí vermelho, proveniente da área experimental do Departamento de Fitopatologia da UFV. Para os testes experimentais, os frutos de café foram colhidos por derriça no pano e submetidos a um processo de separação dos frutos mais leves (bóia) e das impurezas por meio um lavador mecânico.

As características e propriedades físicas dos frutos de café determinadas foram: teor de água, ângulo de repouso, massa específica real, massa específica aparente, forma e tamanho, peso, esfericidade, coeficiente de arrasto, área projetada, volume e velocidade terminal.

Na determinação do teor de água nos frutos de café utilizou-se o método de estufa (BRASIL, 1992), numa temperatura de 105 °C, por 24 horas.

Após a determinação das propriedades físicas e aerodinâmicas, os frutos de café eram postos em terreiro de cimento e secados, para a obtenção de um novo teor. Essas propriedades foram determinadas analisando-se três diferentes teores de água dos frutos de café (41,07; 37,68; e 28,74%). Nessa faixa o café atinge o teor de água ideal ou meia seca, necessário para se iniciar a complementação do processo de secagem, em secadores mecânicos (SILVA e BERBERT, 1999). Para a máquina recolhadora essa faixa constitui o ponto crítico, devido ao elevado teor de água nos frutos de café, que aumenta a velocidade terminal dos frutos, quando comparado aos frutos de café seco (teor de água entre 11 e 13% b.u.).

3.1.1 Massa específica dos frutos de café

A massa específica real do fruto de café foi determinada pelo método de complementação de volume, utilizado por COUTO et al. (1999), usando-se como líquido, nas determinações, o tolueno (massa específica igual a 852 kg m⁻³).

Pesou-se uma amostra de 20 frutos de café escolhidos aleatoriamente. A seguir, utilizava-se uma proveta, onde eram adicionados 50 ml de tolueno. Após, colocavam-se os 20 frutos de café e fazia-se a leitura do volume final na proveta. Os volumes dos frutos de café eram obtidos pela diferença entre o volume final e o volume inicial. A massa específica real dos frutos de café foi, então, determinada pela relação entre a massa dos frutos de café e o volume.

A massa específica aparente dos frutos de café foi determinada utilizando-se a balança de peso hectolítrico, marca Dallemole, com capacidade do cilindro inferior de um litro.

3.1.2. Ângulo de repouso dos frutos de café

A determinação do ângulo de repouso dos frutos de café foi feita com cinco repetições, utilizando-se um protótipo que simula o estado natural de repouso de uma massa de frutos de café. O aparelho, cujo esquema é mostrado na Figura 4, consta de uma abertura na parte superior, por onde foram inseridos os frutos, e de um alçapão na parte inferior. Após ser totalmente preenchido, o alçapão foi aberto e o ângulo de repouso determinado, usando-se a seguinte equação:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{h_y}{16}\right) \quad (25)$$

em que

- α = ângulo de repouso (graus); e
- h_y = altura dos frutos de café em repouso (cm).

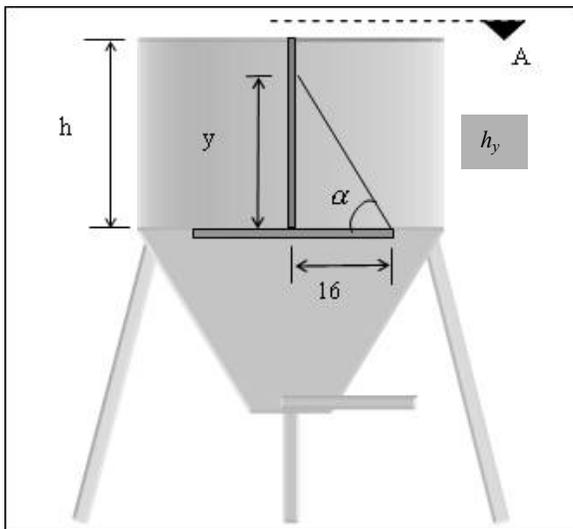


Figura 4 – Esquema do equipamento utilizado para determinar o ângulo de repouso dos frutos de café.

3.1.3 Propriedades aerodinâmicas dos frutos de café

O tamanho e a forma dos frutos de café foram determinados a partir das dimensões dos três eixos principais do fruto de café, conforme

COUTO et al. (2000). Para determinar as dimensões dos eixos principais dos frutos de café, foi utilizado um paquímetro, com divisão de unidade de 0,05 mm.

Em todas as características e propriedades físicas foram usadas cinco repetições para cada teor de água.

Em cada teste, 200 frutos de café, escolhidos aleatoriamente, após terem as dimensões dos três eixos principais determinadas, foram individualmente pesados em balança de precisão. Foram feitos três testes, totalizando 600 frutos de café.

Após estes testes, determinou-se a esfericidade, utilizando-se as dimensões dos três eixos principais, por meio da equação (5).

Considerando-se as dimensões dos frutos de café, o valor da área projetada foi determinado pela equação (26).

$$A_p = \frac{\pi}{4}(a \cdot c) \quad (26)$$

O volume dos frutos de café foi calculado de acordo com os três eixos principais, pela equação do volume de um elipsóide:

$$V_f = \frac{\pi}{6}(a \cdot b \cdot c) \quad (27)$$

3.1.3.1 Coeficiente de arrasto e velocidade terminal

O coeficiente de arrasto foi determinado utilizando-se a equação (1). Para calcular a velocidade terminal de um grão, foi necessário conhecer a relação entre o número de Reynolds e o produto do coeficiente de arrasto pelo quadrado do número de Reynolds. Essa relação foi obtida por MAGALHÃES (1999) ao se realizar uma análise de regressão dos dados apresentados por MOHSENIN (1978) para corpos arredondados, tendo sido obtida a equação (28).

$$N_R = 0,3127 \left(C \cdot N_R^2 \right)^{0,5863} \quad R^2 = 0,9934 \quad (28)$$

Para calcular a velocidade terminal, determinou-se primeiro o valor do produto do coeficiente de arrasto pelo quadrado do número de Reynolds, usando-se a equação (4); depois, obteve-se o valor do número de Reynolds, usando-se a equação (28); e, finalmente, determinou-se a velocidade terminal pela equação (3).

3.2 Desenvolvimento do modelo da máquina recolhadora de café

Utilizou-se, na determinação do comportamento dinâmico do fluido de ar na máquina recolhadora, um programa de computador de análise por elementos finitos (*Software ANSYS 5.7*). No desenvolvimento da máquina recolhadora de café, a análise por elementos finitos foi aplicada na análise mecânica dos fluidos de ar do sistema de transporte pneumático.

Para modelar a estrutura envolvendo o movimento de um fluido incompressível na condição de estado, foi utilizada a equação da conservação de massa (ANSYS, 2001), estabelecendo-se que:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot v_z)}{\partial z} = 0 \quad (29)$$

em que

- v_x, v_y e v_z = componentes do vetor velocidade nas direções x, y e z, respectivamente;
- ρ = massa específica do ar;
- x, y e z = coordenadas cartesianas; e
- t = tempo.

As equações de *momentum* serão usadas para gerar uma expressão para velocidade em termos de gradientes de pressão e empregadas na equação de conservação de massa após ter sido integrada por partes (ANSYS, 2001):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho \cdot v_x}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot v_x \cdot v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v_y \cdot v_x)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot v_z \cdot v_x)}{\partial z} = \rho \cdot g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + R_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) + T_x \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho \cdot v_y}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot v_x \cdot v_y)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v_y \cdot v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot v_z \cdot v_y)}{\partial z} = \rho \cdot g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + R_y + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) + T_y \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho \cdot v_z}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot v_x \cdot v_z)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v_y \cdot v_z)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot v_z \cdot v_z)}{\partial z} = \rho \cdot g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + R_z + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + T_z \end{aligned} \quad (32)$$

em que

- P = pressão;
- g_x , g_y e g_z = componentes da aceleração da gravidade nas direções x, y e z, respectivamente;
- μ_e = viscosidade efetiva; e
- T_x , T_y e T_z = termos de perda viscosa, nas direções x, y e z, respectivamente.

R_x , R_y e R_z representam quaisquer termos adicionais (fontes ou sorvedouros) nas direções x, y e z, respectivamente.

Os termos de perda viscosa, nas direções x, y e z, podem ser assim determinados:

$$T_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) \quad (33)$$

$$T_y = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) \quad (34)$$

$$T_z = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \quad (35)$$

bem como a equação da energia para fluidos incompressíveis:

$$\frac{\partial(\rho \cdot C_p \cdot T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot v_x \cdot C_p \cdot T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v_y \cdot C_p \cdot T)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot v_z \cdot C_p \cdot T)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_v \quad (36)$$

em que

- C_p = calor específico;
- T = temperatura;
- K = condutividade térmica; e
- Q_v = fonte volumétrica de calor.

Sendo o fluido incompressível, os termos T_x , T_y e T_z , nas equações (29), (30) e (31), podem ser desprezados. Considerando o escoamento isotérmico, a equação de energia também pode ser desprezada. O problema de escoamento de fluidos será então definido pelas leis de conservação de massa e de *momentum*.

3.2.1 Análise por elementos finitos da máquina recolhedora

Neste trabalho, o programa computacional ANSYS, versão 5.7, foi utilizado no desenvolvimento de um programa de análise do transporte pneumático do fluxo de ar em uma máquina recolhedora. A simulação da máquina recolhedora foi realizada somente com o fluxo de ar, sem a presença dos frutos de café no sistema de transporte pneumático.

A modelagem foi feita em estado permanente, admitindo regime do fluxo de ar turbulento. O método de solução usado na discretização do sistema foi o FLOTRAN, juntamente com o elemento tridimensional (FLUID142), proposto e contido na biblioteca do ANSYS 5.7. Foi construído um modelo para a estrutura da máquina, utilizando suas propriedades e condições de simetria. A listagem do programa deste modelo, escrita utilizando a APDL (ANSYS Parametric Design Language), é apresentada no Apêndice 1.

Foi analisada a estrutura da máquina recolhedora como um bloco, constituída de três partes: a) duto de entrada dos frutos de café; b) caixa do depósito dos frutos de café; e c) duto de saída do fluxo de ar. A geometria da máquina recolhedora utilizada no modelo é apresentada nas Figuras 5 e 6.

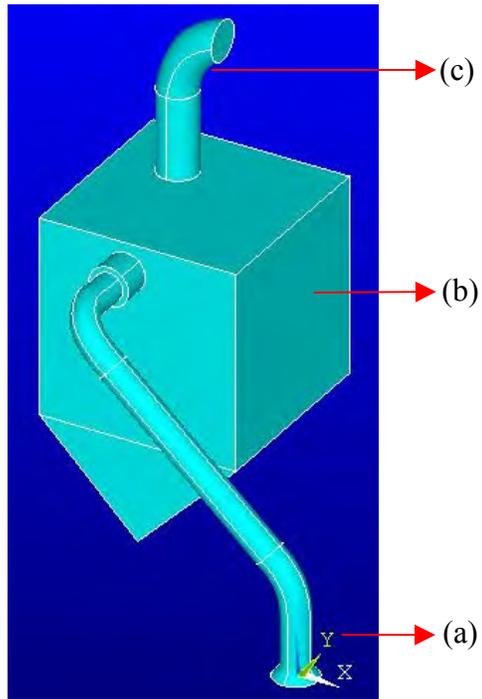


Figura 5 – Geometria da máquina colhedora para análise de elemento finito, vista em perspectiva. Componentes principais: (a) duto de entrada dos frutos de café; (b) caixa do depósito dos frutos de café; e (c) duto de saída do fluxo de ar.

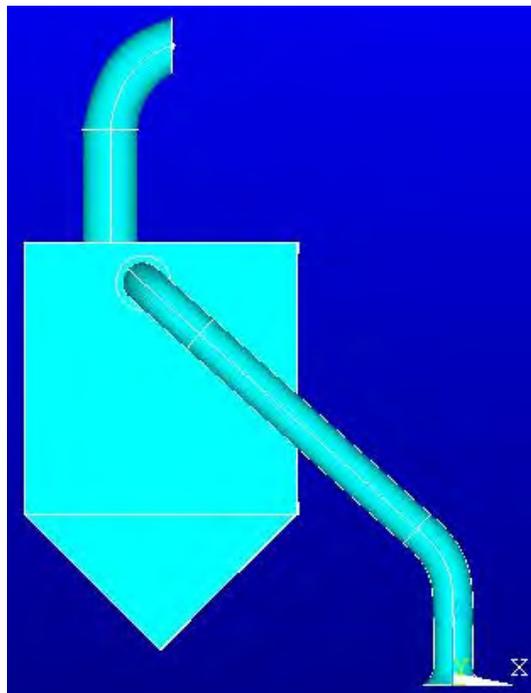


Figura 6 – Geometria da máquina colhedora para análise de elemento finito, vista da lateral esquerda.

Foi utilizado na modelagem da máquina o gerador automático de malhas do programa computacional ANSYS. A malha de elementos utilizada é apresentada na Figura 7.



Figura 7 – Modelagem da malha de elementos da máquina colhedora.

Na modelagem da máquina colhedora foi preestabelecido que o gradiente da malha de resolução de maior refinamento seria no duto de entrada (captador) dos frutos de café até a caixa gravitacional e no duto após a caixa gravitacional até o ventilador, com a finalidade de se obter uma resolução mais precisa.

A máquina colhedora foi dividida em 170.753 elementos do tipo FLUID142, resultando em um total de 32.415 nós ao final da discretização (Figura 8).

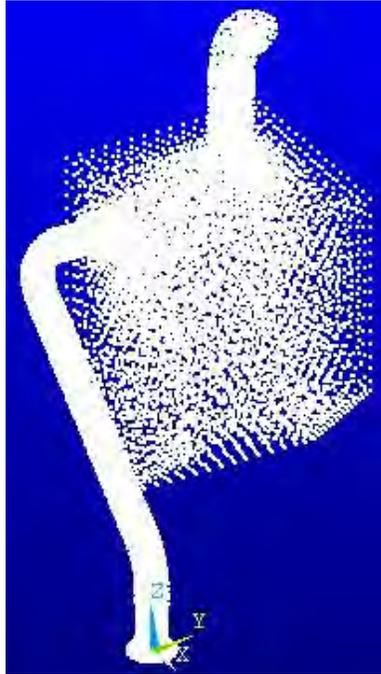


Figura 8 – Modelagem dos nós que define o gradiente da máquina recolhadora.

As condições de contorno utilizadas foram as seguintes: a) velocidades nulas nas paredes internas da máquina; b) velocidade do ar constante na saída do duto; e c) pressão igual a zero na área de entrada de ar (Figura 9).

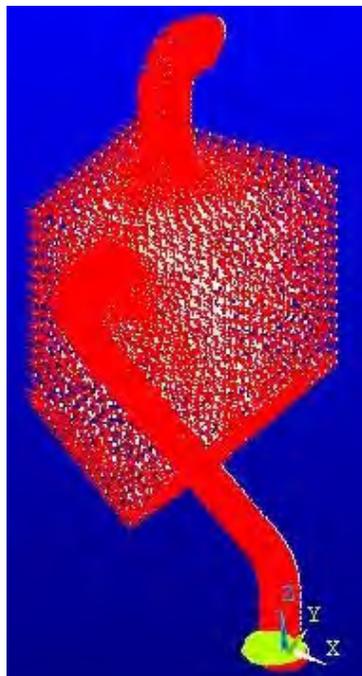


Figura 9 – Esquema das condições de contorno consideradas na modelagem.

3.3 Projeto e construção da máquina recolhadora utilizando-se técnicas de CAD

O projeto da máquina recolhadora de frutos de café foi desenvolvido com base nas características e propriedades aerodinâmicas do produto, de acordo com o fluxograma de recolhimento dos frutos de café (Figura 10).

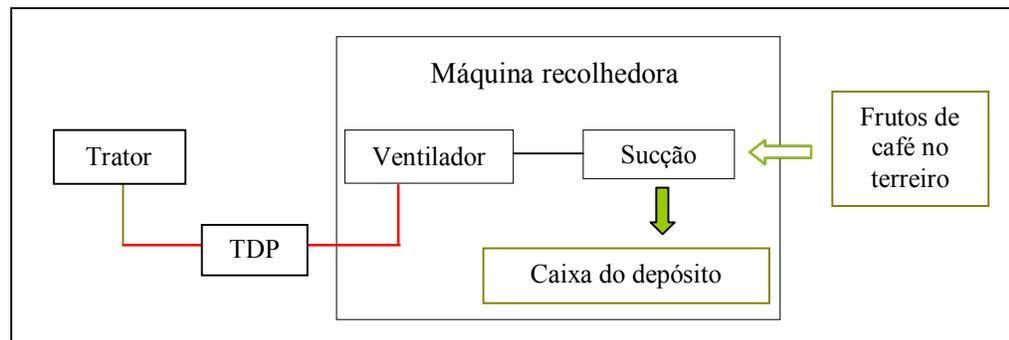


Figura 10 – Fluxograma de execução do projeto.

Os principais pontos considerados no projeto da máquina foram:

- a) eficiência no recolhimento, sem provocar danos ao produto;
- b) baixa potência para o acionamento da máquina;
- c) segurança na operação;
- d) manutenção e operação simples; e f) baixo custo.

O projeto do sistema de transporte pneumático envolveu a determinação da velocidade mínima de transporte dos frutos de café, a vazão do ar, a perda de carga total e a potência requerida pelo sistema. Os componentes necessários para um sistema de transporte pneumático podem ser agrupados em sistemas de alimentação, de ventilação, de descarga, juntas e tubulação.

O diâmetro do duto foi determinado considerando-se as características físicas dos grãos. A parede e as junções dos dutos eram lisas e as curvas do duto, longas, para minimizar danos aos frutos de café e perdas de carga no transporte.

O trator utilizado nos testes da máquina recolhadora foi da marca Valtra, modelo BF75. As especificações técnicas desse trator, de acordo com o catálogo do fabricante, são especificadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações técnicas do trator Valtra, modelo BF75

Especificações técnicas	
Potência máxima no motor (ISO 1585)	53,0 kW (72 cv) a 2.300 rpm
Torque máximo no motor (ISO 1585)	260 Nm (26,5 kgfm) a 1.400 rpm
Potência máxima na TDP	46,3 kW (63 cv) a 540 rpm
Força máxima do levante hidráulico (NBR 8566)	15,30 kN
Comprimento máximo	3.855,0 mm
Largura máxima com lastro	1.778,0 mm
Altura máxima	1.560,0 mm
Peso (massa) máximo com lastro	3.300,0 kg

3.3.1 Construção da máquina recolhadora de frutos de café

A estrutura da máquina recolhadora foi construída de perfis de aço carbono tipo cantoneira, de abas iguais de 50 mm e espessura de 5 mm. Os componentes da estrutura foram unidos por solda elétrica.

A máquina foi construída para ser acionada pela tomada de potência (TDP) do trator. O movimento da TDP foi transmitido por meio de uma árvore articulada (tipo cardã) à polia de três canais, perfil B, que foi fixada à estrutura da máquina por dois mancais (Figura 11).

A máquina recolhadora está apoiada sobre quatro rodas articuladas da marca Rinaldi e modelo 3.50 – 8 R/30, de acordo com a Figura 11.

O movimento rotacional da polia de três canais foi transmitido por correias trapezoidais ao eixo do rotor do ventilador. A relação de transmissão da polia ao eixo do ventilador foi de aproximadamente 1: 3,86.

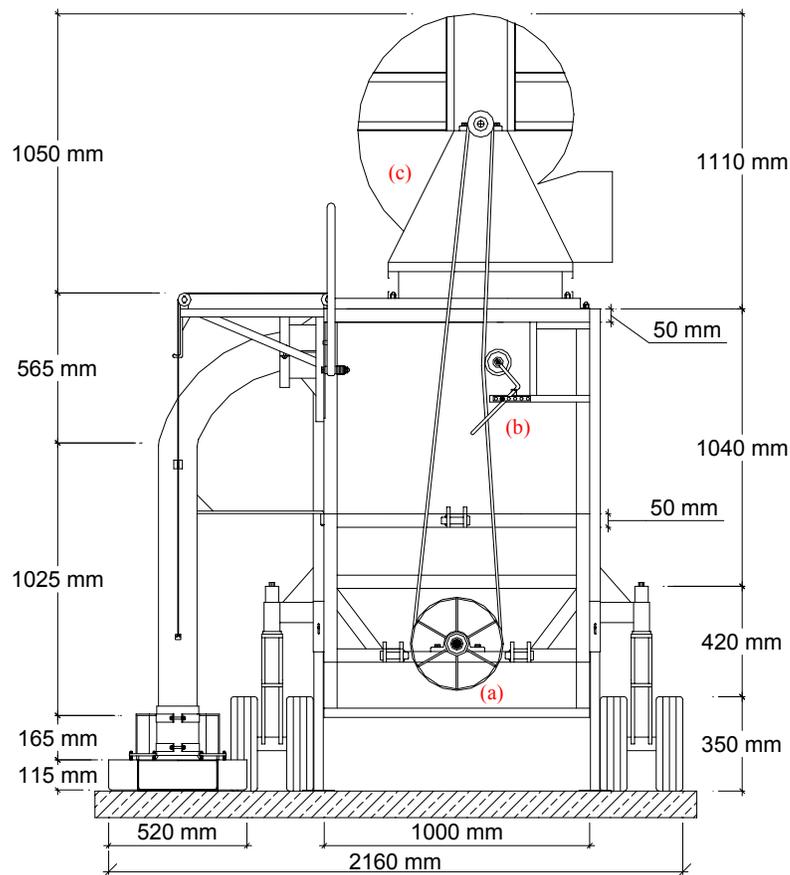


Figura 11 – Vista frontal da máquina recolhadora de frutos de café. Componentes: (a) polia fixada à estrutura da máquina; (b) esticador de correia; e (c) ventilador centrífugo.

A caixa do depósito dos frutos de café (Figuras 11 e 12) foi construída com chapa de 1,5 mm de espessura. A capacidade da caixa é de $1,0 \text{ m}^3$, sendo as bordas revestidas de perfis de aço carbono, tipo cantoneira, de abas iguais de 50 mm e espessura de 5 mm. A caixa do depósito funciona como uma caixa gravitacional, para o recolhimento do produto. Em sua parte superior, o ar é succionado pelo ventilador. A caixa foi fixada a uma estrutura de engate de três pontos, categoria II (NBR 8566).

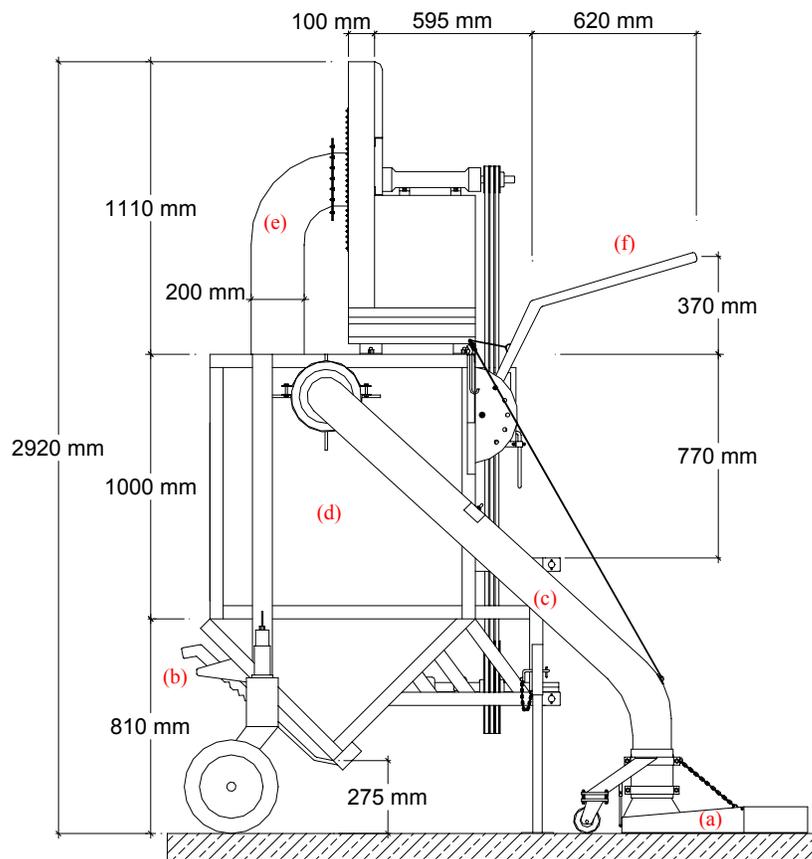


Figura 12 – Vista lateral direita da máquina recolhadora de frutos de café. Componentes: (a) caixa captadora; (b) alavanca que regula o fluxo de descarga do produto; (c) duto de entrada do produto; (d) caixa do depósito; (e) duto de entrada do fluxo de ar no ventilador; e (f) alavanca que ergue o duto.

Na parede lateral da caixa do depósito foi conectado um duto com a função de succionar os frutos de café do terreiro para dentro da máquina recolhadora, de 1.850 mm de comprimento e 145 mm de diâmetro (Figura 12). Este duto é erguido pelo operador por intermédio de uma alavanca a ele conectada por meio de um cabo de aço e fixada na extremidade da parede lateral da caixa do depósito.

Na extremidade inferior do duto foi conectado um captador tipo *Bell Mouth* (PORTO, 1996) para os frutos de café, com abertura de 220 mm de diâmetro, a qual é reduzida para 145 mm no duto. Essa abertura foi acoplada a uma caixa captadora dos frutos de café, no formato trapezoidal.

A abertura está apoiada sobre rodas e desloca sobre a superfície do terreiro a uma altura máxima de 75 mm e mínima de 40 mm por dentro da caixa captadora (Figura 13).

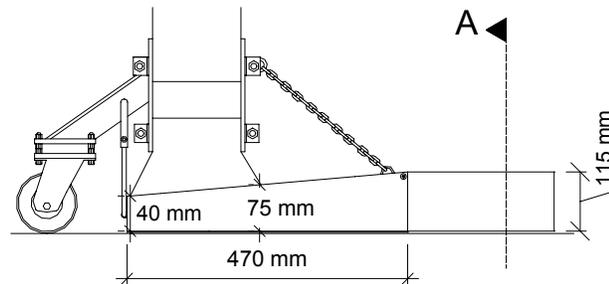


Figura 13 – Detalhe da altura máxima e mínima da abertura de entrada do duto na caixa captadora.

A largura e a altura na entrada da caixa captadora foram de 300 e 115 mm, respectivamente; o comprimento, de 470 mm; e a largura e a altura na parte traseira da caixa captadora, de 220 e 40 mm, conforme Figura 13.

Na entrada da caixa captadora foram fixadas, nas paredes laterais, duas chapas de 2,0 mm de espessura, com a função de aumentar a largura (520 mm) de entrada e direcionar os frutos de café para dentro do captador.

A caixa captadora está conectada ao duto da máquina por meio de mangote de borracha flexível (Figura 14).

Essa caixa está posicionada sobre a superfície do terreiro, a uma altura de 2 mm. A posição foi mantida por meio de duas rodas articuladas, localizadas atrás da caixa captadora. A estrutura de fixação das rodas tem a função de acoplar o duto à caixa captadora e sustentar o duto e a caixa (Figuras 13 e 14).

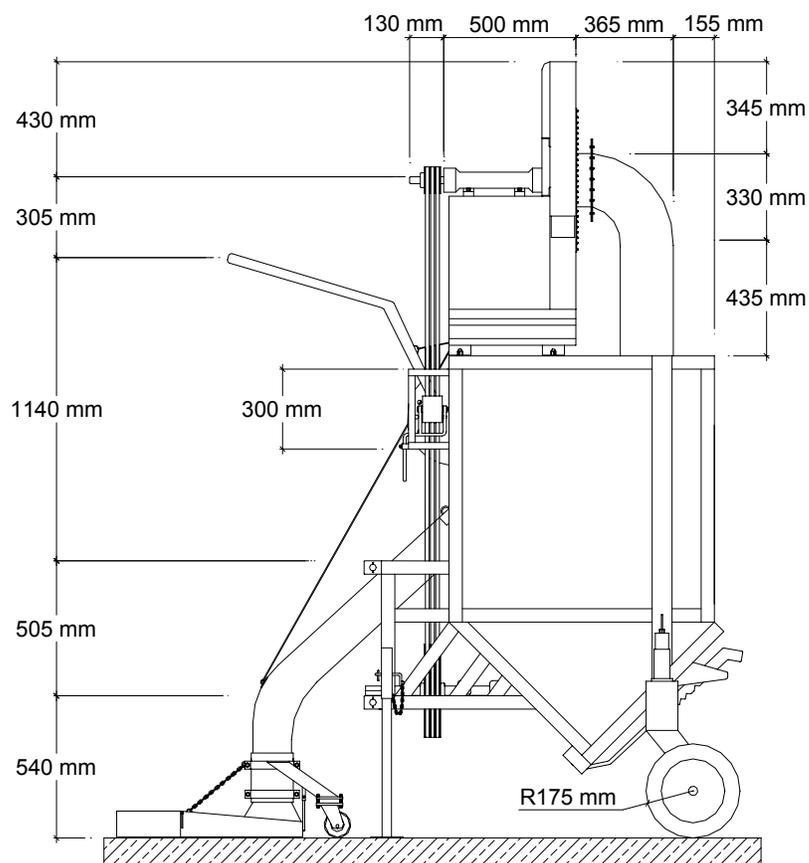


Figura 14 – Vista lateral esquerda da máquina recolhadora de frutos de café.

Na parte superior foi instalado o sistema de sucção da máquina, constituído de um ventilador centrífugo, conforme mostra a Figura 14. A vazão do ar do ventilador foi calculada com base nas propriedades aerodinâmicas dos frutos de café e por meio da simulação do programa ANSYS.

Na parte superior da caixa do depósito foi fixado um duto com diâmetro igual a 200 mm, que conecta a caixa do depósito ao ventilador, como apresentado nas Figuras 14 e 15.

As paredes laterais do ventilador foram construídas com chapa de 2,0 mm de espessura, e o envoltório, com chapa de 1,5 mm. O ventilador foi fixado por perfis de aço carbono, tipo cantoneira, de abas iguais de 25 mm e espessura de 2,5 mm.

O rotor do ventilador (500 mm de diâmetro e 60 mm de largura) foi dotado de 10 pás inclinadas, ângulo de 85 graus, e fixado à estrutura da máquina por meio de mancal de rolamento tipo eixo de serra.

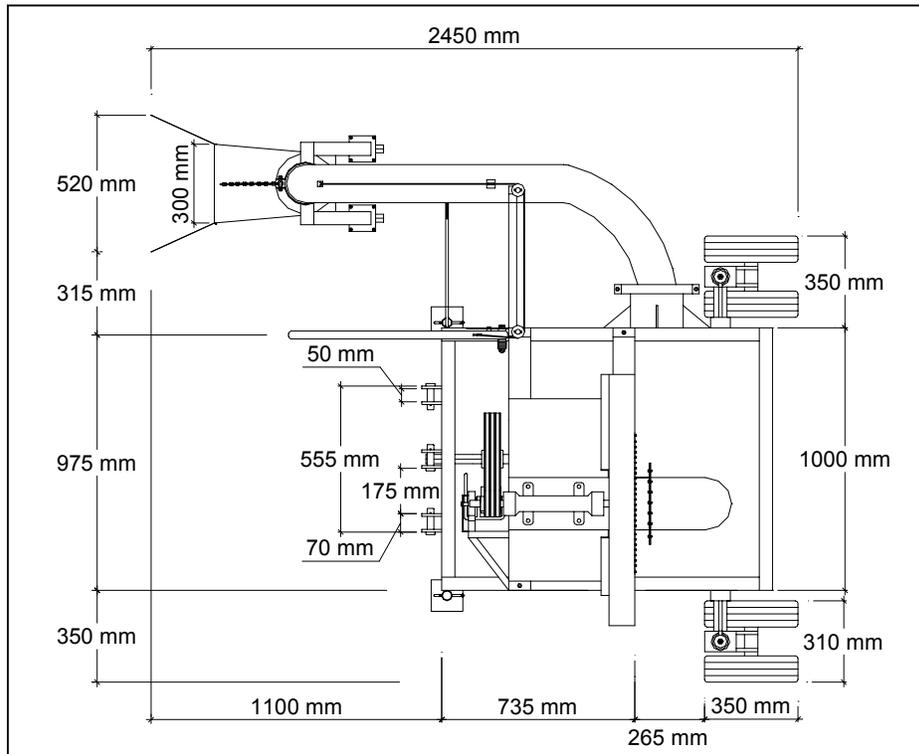


Figura 15 – Vista superior da máquina recolhadora de frutos de café.

Observou-se, na Figura 15, entre o duto e a caixa do depósito uma curva de 90° , que tem relação entre o raio de curvatura e o diâmetro do duto de 2,5. Essa relação minimiza a perda de carga, suaviza o transporte e impede o depósito dos frutos de café (PORTO, 1996). Após essa curva, o diâmetro do duto é ampliado para 200 mm, visando desacelerar o fluxo de ar na entrada da caixa do depósito (MACINTYRE, 1990).

Na parte inferior da caixa foi instalada uma tampa de 1.000 mm de comprimento e 184 mm de largura, de chapa de 2,0 mm de espessura, que funciona como alçapão. A tampa foi conectada a uma alavanca, que, acionada manualmente, regula o fluxo de descarga do produto (Figura 16).

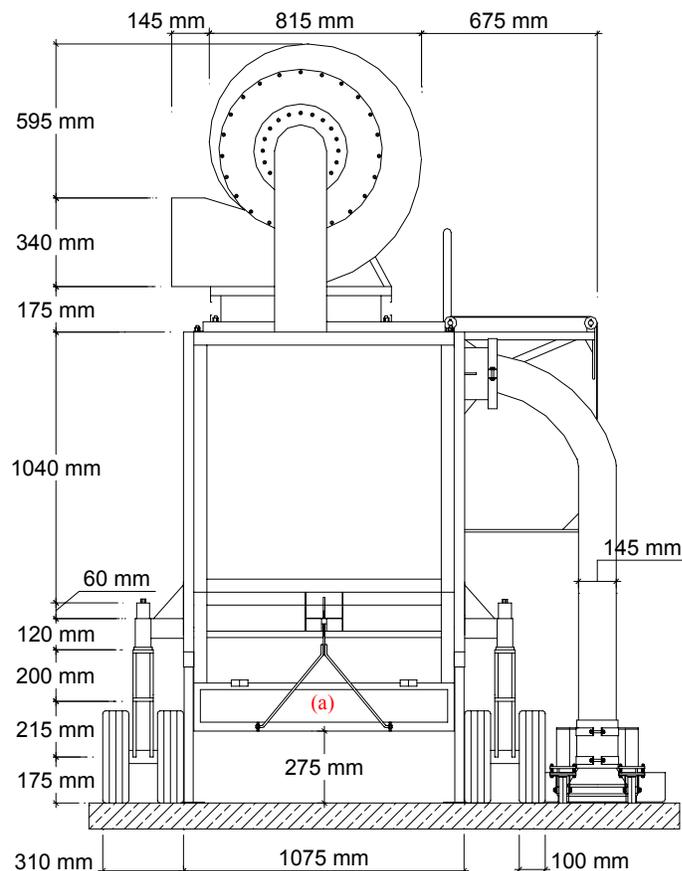


Figura 16 – Vista da parte posterior da máquina recolhadora de frutos de café.
Componente: (a) tampa de descarga do produto.

3.4 Matéria-prima usada na avaliação do desempenho da máquina

O café da variedade Catuaí foi a matéria-prima utilizada nos testes experimentais. O primeiro lote (L1) foi proveniente da área experimental do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa; o segundo lote (L2), da Fazenda Recua, no município de Paula Cândido/MG; e o terceiro (L3) e o quarto lote (L4), da Fazenda Silva Araújo, no município de Cajuri/MG.

As matérias-primas usadas nos testes foram colhidas por derrça no pano. A separação dos frutos de café das impurezas foi feita por meio de lavadores mecânicos; em seguida, eles foram secados em terreiro de cimento. Os teores de água dos frutos de café dos lotes 1, 2, 3 e 4 foram de 13,54; 19,94; 30,31; e 39,02% b.u., respectivamente.

3.5 Avaliação da máquina colhedora

Foram realizados ensaios preliminares com a finalidade de estabelecer as condições dos testes da máquina colhedora, de acordo com a velocidade de trabalho do conjunto máquina e trator, da área do terreiro de café e do teor de água contido nos frutos de café.

Após os ensaios preliminares, foram definidas as velocidades de trabalho de 0,7 e 1,2 km h⁻¹, que correspondem, respectivamente, à primeira e à segunda reduzidas no trator. A área para cada lote de café foi de 100 metros quadrados (25 metros de comprimento e 4 de largura) e os teores de água nos frutos de café foram de quatro para cada teste.

Os testes foram realizados em terreiro de cimento da usina de café do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. Foi feito um sorteio para determinar a ordem de trabalho nos lotes, a velocidade de trabalho e as repetições.

Cada lote foi utilizado em dois testes, ambos com três repetições; de cada uma destas foram retiradas, aleatoriamente, quatro amostras para determinação do teor de água. Também foram extraídas amostras para determinar a quantidade de frutos de café quebrados nos lotes, antes de utilizar a máquina colhedora. Em seguida, essas amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas de 2 kg e armazenadas em temperatura controlada, a 4 °C.

3.5.1 Avaliação do desempenho da máquina

Os lotes de café foram pesados, para cada teste, em uma balança de plataforma, marca Filizola, com capacidade de 20 toneladas e precisão de 2.000 gramas.

Para a avaliação do desempenho da máquina colhedora, distribuíram-se os lotes de café nas áreas, os quais, em seguida, foram homogeneizados manualmente e enleirados utilizando-se rodos (Figura 17).



Figura 17 – Lote de café enleirado no terreiro, para os testes com a máquina recolhadora.

Em seguida, ligava-se à TDP do trator e regulava-se a rotação e a velocidade de trabalho (ambas já definidas no ensaio preliminar). Somente depois de posicionar o trator e a máquina recolhadora e ao se movimentarem, iniciava-se a avaliação do seu desempenho. Conseqüentemente, o término da avaliação do desempenho da máquina recolhadora ficou definido com o fim das leiras dos frutos de café na área do teste e com a sua distribuição no terreiro (Figuras 18, 19, 20 e 21).



Figura 18 – Máquina recolhadora no terreiro de café.

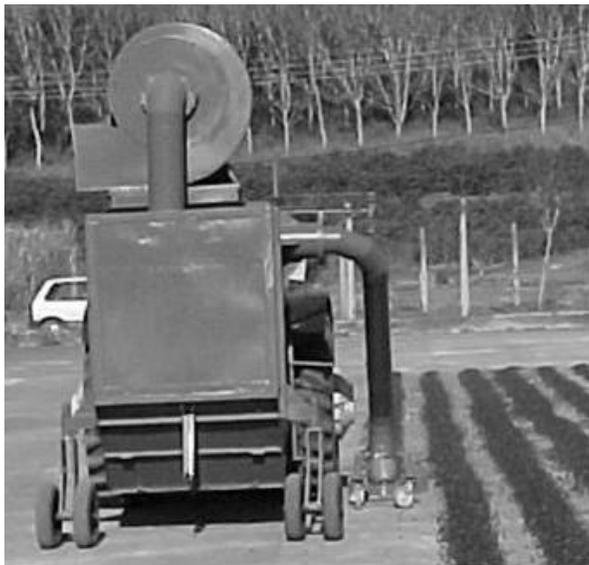


Figura 19 – Recolhimento das leiras de frutos de café pela máquina recolhadora no terreiro de café.



Figura 20 – Recolhimento das leiras de frutos de café pela máquina recolhadora no terreiro de café.



Figura 21 – Distribuição das leiras de frutos de café recolhidas pela máquina recolhadora, no terreiro.

Durante a operação, eram cronometrados o tempo de recolhimento para cada leira, o tempo de manobra e o tempo de distribuição do café recolhido, utilizando-se um cronômetro da marca Hanhart, com precisão de 0,10 segundos. Procedeu-se ainda às aferições das rotações do eixo do ventilador. Foi utilizado nessa operação um tacômetro digital da marca MICROTEST, modelo L 20, com capacidade de leitura de até 20.000 rpm e com precisão de 1 rpm.

Logo que ocorria o recolhimento e a distribuição dos frutos de café no terreiro pela máquina, eram retiradas amostras e acondicionadas em embalagens plásticas de 2 kg. Estas amostras foram utilizadas para determinar a quantidade de frutos de café quebrados nos lotes, após o uso da máquina recolhadora.

Essas informações quantitativas de frutos de café quebrados, antes e após a utilização da máquina recolhadora, foram utilizadas para determinar os danos mecânicos provocados por ela aos frutos de café.

3.5.1.1 Capacidade de recolhimento efetiva da máquina recolhedora

A capacidade de recolhimento efetiva da máquina recolhedora foi obtida dividindo-se a massa dos frutos de café recolhido pelo tempo de trabalho da máquina. Esse tempo de trabalho representa a somatória dos tempos de recolhimento das leiras, das manobras e das distribuições dos frutos de café no terreno.

$$C_r = \left(\frac{m_r}{t_r} \right) \quad (37)$$

em que

- C_r = capacidade de recolhimento efetiva (kg h^{-1});
- m_r = massa dos frutos de café recolhidos pela máquina (kg); e
- t_r = tempo de trabalho da máquina recolhedora (h).

A eficiência de campo da máquina recolhedora foi obtida dividindo-se a capacidade de recolhimento efetiva pela capacidade de recolhimento teórica.

A capacidade de recolhimento teórica foi determinada dividindo-se a massa dos frutos de café recolhido pelo tempo médio de recolhimento das leiras no terreno.

3.5.1.2 Eficiência da máquina no recolhimento

Após o recolhimento dos frutos de café, a área era varrida e os frutos de café não recolhidos eram pesados. Em seguida, com o percentual dos frutos de café não recolhidos na área em relação ao percentual total dos frutos de café, foi determinada a eficiência da máquina no recolhimento, conforme se observa na equação (38).

$$Ef = 100 \left(\frac{m_r}{m_t} \right) \quad (38)$$

em que

- Ef = eficiência da máquina no recolhimento dos frutos de café (%); e
- m_t = massa total dos frutos de café no terreno (kg).

A potência requerida pelo sistema de transporte pneumático na TDP foi obtida por meio de um sistema de aquisição automática de dados, implementado por GARCIA (2002), em que se determinou o torque e a rotação na TDP do trator (Figura 22).

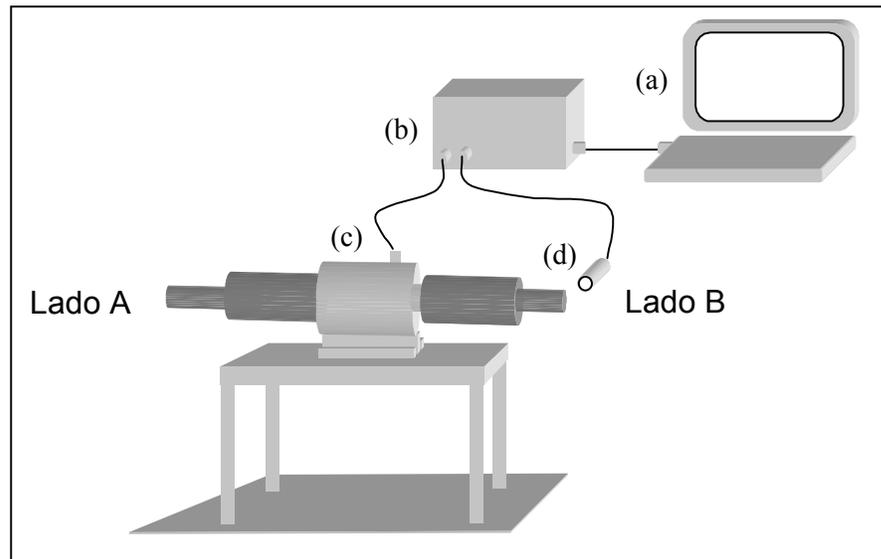


Figura 22 – Esquema de ligação dos componentes dos sensores e do computador portátil. Componentes: (a) computador portátil; (b) chassi de suporte das placas do sistema de aquisição; (c) torquímetro; e (d) sensor tipo indutivo.

O torquímetro foi montado sobre uma estrutura rígida, a qual foi fixada paralelamente ao piso de concreto, por meio de parafusos, na mesma altura dos eixos da TDP do trator e da polia da máquina recolhadora. Sendo que o torquímetro foi conectado, pelo lado “A”, por meio da árvore cardã, à TDP do trator e, pelo lado “B”, ao eixo da polia da máquina recolhadora. O sensor indutivo de proximidade foi montado próximo a uma peça metálica instalada no eixo da polia da máquina recolhadora. Os sinais gerados pelos sensores foram coletados e processados pelo sistema de aquisição automática de dados. Esses dados foram obtidos somente com o fluxo de ar, sem a presença dos frutos de café na máquina recolhadora. A potência requerida pelo sistema pneumático na TDP foi calculada a partir desses dados coletados, de acordo com a equação (39).

$$P_{TDP} = \frac{T_q \cdot n}{9549,05} \quad (39)$$

em que

$$\begin{aligned} P_{TDP} &= \text{potência requerida na TDP (kW);} \\ T_q &= \text{torque requerido na TDP (Nm); e} \\ n &= \text{rotação da TDP (rpm).} \end{aligned}$$

A potência requerida na TDP, obtida pela equação (39), foi comparada com a potência requerida para o acionamento do sistema de transporte pneumático calculado no item 2.5.5.

3.5.1.3 Estimativa do consumo de energia

Após a determinação da potência requerida na TDP, determinou-se, conforme ASAE STANDARDS D497.4 (2000), a potência da TDP equivalente no motor que, multiplicada pelo tempo efetivo de funcionamento, forneceu o consumo de energia. Este, dividido pela massa dos frutos de café recolhidos, resultou no consumo bruto de energia por quilograma de frutos de café. O consumo de energia foi determinado usando a equação (40).

$$C_e = \left(\frac{P_m \cdot t_e}{m_r} \right) \quad (40)$$

em que

$$\begin{aligned} C_e &= \text{consumo de energia por quilograma de frutos de café} \\ &\text{recolhidos (kWh kg}^{-1}\text{);} \\ P_m &= \text{potência da TDP equivalente no motor (kW); e} \\ t_e &= \text{tempo efetivo para o recolhimento (h).} \end{aligned}$$

Com a potência requerida na TDP para o acionamento da máquina recolhadora e a potência máxima na TDP fornecida pelo catálogo do fabricante, obteve-se uma relação que foi designada por X, conforme se observa na equação (41).

$$X = \frac{\text{Potência requerida na TDP}}{\text{Potência máxima na TDP}} \quad (41)$$

Com o valor de X , segundo ASAE EP496, citado na ASAE D497.4 (2000), o consumo específico de combustível Diesel foi estimado pela equação (42).

$$C_D = 2,64 X + 3,91 - 0,203 (738 X + 173)^{0,5} \quad (42)$$

em que

$$C_D = \text{consumo específico de combustível Diesel (L Kw}^{-1}\text{h}^{-1}\text{)}.$$

O consumo específico de combustível Diesel multiplicado pela potência requerida na TDP e dividido pela capacidade de recolhimento efetiva da máquina recolhadora resultou no consumo de combustível Diesel por quilograma de frutos de café recolhidos, usando-se a seguinte equação:

$$C_c = \frac{C_D \cdot P_{TDP}}{C_r} \quad (43)$$

em que

$$C_c = \text{consumo de combustível Diesel por frutos de café recolhidos (L kg}^{-1}\text{)}.$$

3.6 Curva característica do sistema de ventilação

A curva característica do sistema de ventilação foi determinada utilizando-se um duto construído em chapa de aço galvanizada e conectado à entrada de ar do ventilador, conforme a metodologia descrita por MACINTYRE (1990). A primeira leitura foi feita com a válvula cônica do duto totalmente fechada. Depois foram realizadas quatro variações do fluxo de ar e, na última leitura, com a válvula totalmente aberta.

Após as leituras das pressões de sucção totais e estáticas, a velocidade do ar foi determinada através da equação (44).

$$v_{ar} = 4,043 \sqrt{p_d} \quad (44)$$

em que

$$p_d = \text{pressão dinâmica (mmca)}.$$

Determinada a velocidade do fluxo de ar e a área da seção do duto do ventilador, calculou-se a vazão de ar do ventilador em metro cúbico por segundo.

3.7 Determinação da pressão estática na máquina recolhedora

Para a determinação da pressão estática nos dutos da máquina recolhedora foram feitos 10 furos nos dutos. Nestes furos foram fixados tubos de cobre de comprimento de 50 mm e diâmetros interno e externo de 7,76 e 9,54 mm, respectivamente, conforme apresentado na Figura 23. Esses furos foram feitos a partir do captador até a entrada do fluxo de ar no ventilador. A seguir, a pressão estática foi determinada utilizando-se um manômetro em “U”.

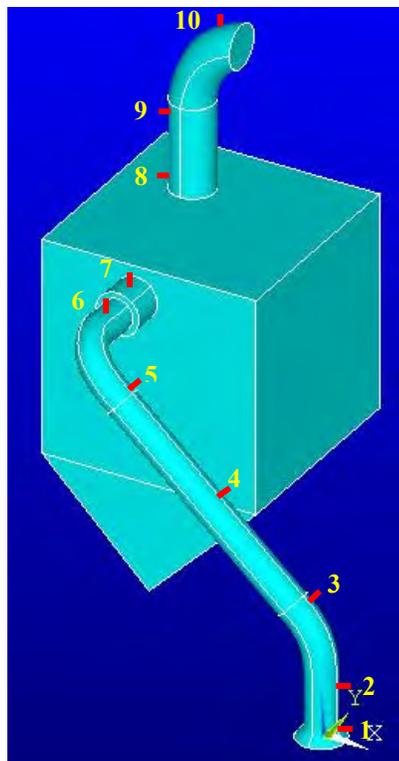


Figura 23 – Ponto de leitura da pressão estática na máquina recolhedora, vista em perspectiva.

3.8 Análise estatística

As características e propriedades físicas dos frutos de café foram analisadas, em função do teor de água, utilizando a análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5%.

Foi montado um experimento em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro teores de água dos frutos de café e duas velocidades de trabalho. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Duncan a 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A máquina recolhadora foi desenvolvida e construída para o recolhimento de café em coco, em terreiro. O seu desempenho foi avaliado utilizando-se café em coco com quatro teores de água e duas velocidades de trabalho.

4.1 Características e propriedades físicas dos frutos de café

A análise de variância realizada nas características e propriedades físicas dos frutos de café, provenientes de cada combinação entre teores de água e características físicas, mostrou que a interação entre teor de água e característica física foi significativa. Assim, procedeu-se ao desdobramento para a aplicação de testes de comparação de médias (teste de Duncan, a 5% de probabilidade). A análise de variância e o teste de comparação de médias são mostrados nos Apêndices 2a, 2b e 2c.

4.1.1 Dimensões dos frutos de café

No Quadro 1 são apresentados os valores médios das dimensões dos três eixos principais dos frutos de café, com suas respectivas massas, e do ângulo de repouso para os frutos de café com teores de água de 28,74; 37,68; e 41,07% (teor de água que corresponde à meia seca dos frutos de café).

Esses resultados foram determinados para as variedades de café Catuaí vermelho, sendo utilizados 200 frutos de café para cada teor de água. Esses dados são apresentados nos Apêndices 3a, 3b e 3c.

Quadro 1 – Médias das dimensões dos eixos principais e ângulo de repouso dos frutos de café em coco da variedade Catuaí vermelho, de acordo com o teor de água

Teor de água (% b.u.)	Dimensões médias dos eixos principais (cm)			Média do ângulo de repouso (graus)
	a	B	c	
41,07	1,305 A	1,044 A	0,933 A	42,68 A
37,68	1,296 A	1,022 B	0,894 B	41,79 A
28,74	1,287 A	1,001 C	0,887 B	39,89 B

A ocorrência de letras iguais maiúsculas na vertical significa igualdade estatística das médias, enquanto a presença de letras diferentes indica a existência de diferença significativa pelo teste de Duncan (5%).

Observa-se no Quadro 1 que não houve diferença com a redução do teor de água para as médias do eixo maior (a), que representa o comprimento do fruto de café. Entretanto, houve diferença nas médias dos eixos (b) e (c) com a redução do teor de água. As médias do eixo médio (b), que representa a largura do fruto, tiveram maior influência com a redução do teor de água. Já nas médias do eixo menor (c), que representa a espessura, houve diferença somente com a redução do teor de água de 41,07 para 37,68% (b.u.). Contudo, o eixo (c) não sofreu influência com a redução do teor de água de 37,68 para 28,74% (b.u.).

Analisando os dados relativos ao ângulo de repouso dos frutos de café, apresentados no Quadro 1, pode-se verificar que, à medida que o teor de água dos frutos de café foi reduzido, o ângulo de repouso dos frutos de café decresceu. Observa-se, no entanto, que houve diferença somente com a redução do teor de água de 37,68 para 28,74% (b.u.). Esse fato pode estar relacionado com os teores de água (41,07 e 37,68%) nos frutos de café, que exibiam na sua superfície um líquido viscoso e pegajoso. Na amostra com o teor de água de 28,74%, aparentemente não se observou presença deste líquido e a casca dos frutos de café apresentava maior endurecimento. Essa situação também foi verificada por COUTO et al. (1999), os quais afirmam que

o alto de teor de água nos frutos de café produzia na superfície do fruto um líquido pegajoso e viscoso e que o baixo teor de água acentuava a rugosidade e o endurecimento da casca do fruto de café.

O maior ângulo de repouso encontrado foi de 42,68°. Diante disso, a caixa gravitacional utilizada como depósito dos frutos de café foi projetada com ângulo de inclinação de 45° na parte inferior da caixa, onde foi instalada uma tampa que funciona como alçapão.

4.1.2 Volume e massas específicas aparente e real dos frutos de café em coco

No Quadro 2 são apresentados os valores dos volumes determinados por meio da equação (27), com base nos valores médios dos eixos principais de 200 frutos de café, e a massa específica real, determinada com base na massa e no volume de cada fruto de café, com diferentes teores de água.

Observa-se que houve diferença nas médias dos volumes dos frutos de café com a redução do teor de água de 41,07 para 37,68%. As médias das massas dos frutos de café variaram com a redução do teor de água. Já a massa específica real calculada foi influenciada pela redução do teor de água de 37,68 para 28,74% (b.u.).

Quadro 2 – Média da massa específica real determinada com base no volume e na massa de cada fruto, para diferentes teores de água

Teor de água (% b.u.)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Massa específica real calculada (g cm ⁻³)
41,07	0,674 A	0,654 A	0,977 A
37,68	0,632 B	0,592 B	0,969 A
28,74	0,608 B	0,487 C	0,834 B

A ocorrência de letras iguais maiúsculas na vertical significa igualdade estatística das médias, enquanto a presença de letras diferentes indica a existência de diferença significativa pelo teste de Duncan (5%).

No Quadro 3 são apresentados os valores médios das massas específicas real e aparente, determinados experimentalmente, utilizando-se cinco amostras para cada teor de água.

Pode-se observar que houve diferença nas médias das massas específicas real e aparente dos frutos de café com a redução do teor de água. Entretanto, apenas houve diferença nas médias da massa específica real quando o teor de água foi reduzido de 37,68 para 28,74%. A massa específica aparente sofreu maior influência com essa redução.

O resultado da massa específica aparente de 462,18 kg m⁻³ foi utilizado como limite mínimo para a determinação do volume da caixa do depósito da máquina. Portanto, optou-se por uma caixa com capacidade para 500 kg, que correspondia a um volume de aproximadamente 1 m³ de frutos de café.

Quadro 3 – Massas específicas real e aparente para café em coco com diferentes teores de água

Teor de água (% b.u.)	Média da massa específica real (g cm ⁻³)	Média da massa específica aparente (kg m ⁻³)
41,07	0,949 A	462,18 A
37,68	0,925 A	433,97 B
28,74	0,829 B	375,32 C

A ocorrência de letras iguais maiúsculas na vertical significa igualdade estatística das médias, enquanto a presença de letras diferentes indica a existência de diferença significativa pelo teste de Duncan (5%).

Pode-se verificar que as massas específicas reais determinadas experimentalmente e as calculadas demonstraram o mesmo comportamento nos dois resultados: ambas apresentaram diferenças quando o teor de água foi reduzido de 37,68 para 28,74%. Esse comportamento, provavelmente, pode ser devido à quantidade (duzentos) de frutos de café usados na amostra para determinar a massa específica real calculada.

4.1.3 Propriedades aerodinâmicas dos frutos de café

No Quadro 4 são apresentados os valores obtidos das propriedades aerodinâmicas dos frutos de café. A esfericidade, a área projetada e o coeficiente de arrasto dos frutos de café tiveram o mesmo comportamento, ou seja, diferenciaram quando o teor de água foi reduzido de 41,07 para 37,68%.

Analisando os dados apresentados no Quadro 4, pode-se verificar que a velocidade terminal decresce com o teor de água dos frutos de café e que as médias das velocidades terminais tiveram diferenças com a redução do teor de água nos frutos de café.

Quadro 4 – Valores médios das propriedades aerodinâmicas dos frutos de café em coco, em função do teor de água

Teor de água (% b.u.)	Esfericidade (adimensional)	Área projetada (cm ²)	Coefficiente de arrasto (adimensional)	Velocidade terminal calculada (m s ⁻¹)
41,07	0,830 A	0,959 A	1,259 A	15,45 A
37,68	0,816 B	0,914 B	1,326 B	14,94 B
28,74	0,813 B	0,900 B	1,341 B	13,47 C

A ocorrência de letras iguais maiúsculas na vertical significa igualdade estatística das médias, enquanto a presença de letras diferentes indica a existência de diferença significativa pelo teste de Duncan (5%).

Os valores obtidos experimentalmente da velocidade terminal dos frutos de café por MAGALHÃES (1999) variaram de 14,10 a 11,10 m s⁻¹ para a faixa de teor de água de 40,40 a 13,30% (b.u.); já a velocidade terminal calculada (Quadro 4) variou de 15,45 a 13,47 m s⁻¹ para a faixa de teor de água de 41,07 a 28,74% (b.u.). Logo, pode-se verificar que os resultados calculados estiveram próximos dos valores experimentais. A explicação para o fato de o valor calculado ser superior ao valor obtido experimentalmente pode estar associada às simplificações feitas na equação para determinação da velocidade terminal, por exemplo, a suposição de que os frutos de café não giram durante o processo.

A maior velocidade terminal encontrada foi de 15,45 m s⁻¹, no teor de água de 41,07% (Quadro 4). Esse valor foi utilizado como ponto inicial para modelagem da máquina recolhadora, por meio do programa ANSYS 5.7.

4.2 Análise por elementos finitos do transporte pneumático da máquina recolhadora

O resultado do perfil do vetor velocidade no captador do sistema de transporte pneumático da máquina recolhadora é apresentado na Figura 24.

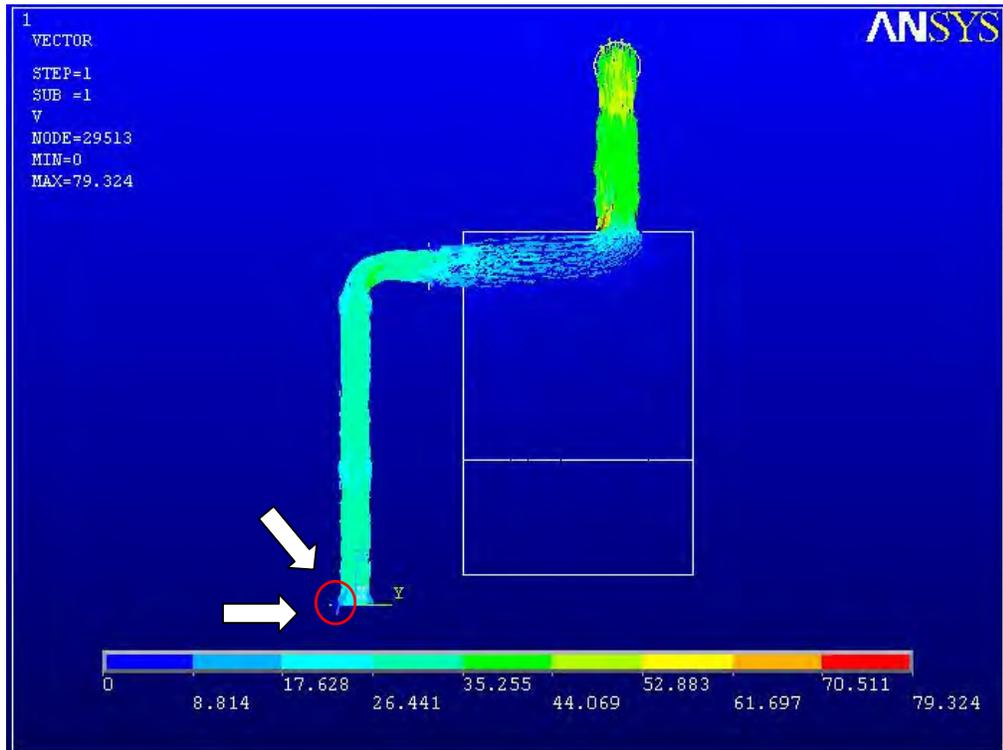


Figura 24 – Vista frontal do perfil do vetor velocidade no captador do sistema de transporte pneumático da máquina recolhadora.

Observou-se na Figura 24 que o perfil do vetor velocidade do sistema de transporte pneumático da máquina recolhadora apresentou na extremidade do duto captador, marcada por um círculo vermelho, valores que variaram de 0 a $8,81 \text{ m s}^{-1}$. Esse intervalo foi determinado pelo programa ANSYS como um ponto crítico, onde há uma redução do diâmetro de 220 para 145 mm. Esse intervalo foi inferior à menor velocidade terminal calculada dos frutos de café (Quadro 4), podendo dificultar o recolhimento dos frutos de café no terreiro. Para corrigir esse problema foi instalado no fundo do captador uma chapa de 2,0 mm de espessura, com a função de direcionar e encaminhar os frutos de café para dentro do duto (Figura 25), onde o perfil do vetor velocidade permanece entre $17,63$ a $26,44 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 24).

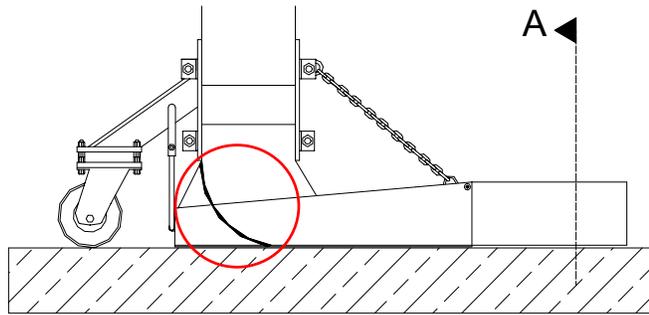


Figura 25 – Detalhe da chapa colocada no captador da máquina recolhadora.

Na Figura 26 são apresentados os perfis do vetor velocidade dentro dos dutos e da caixa do depósito dos frutos de café.

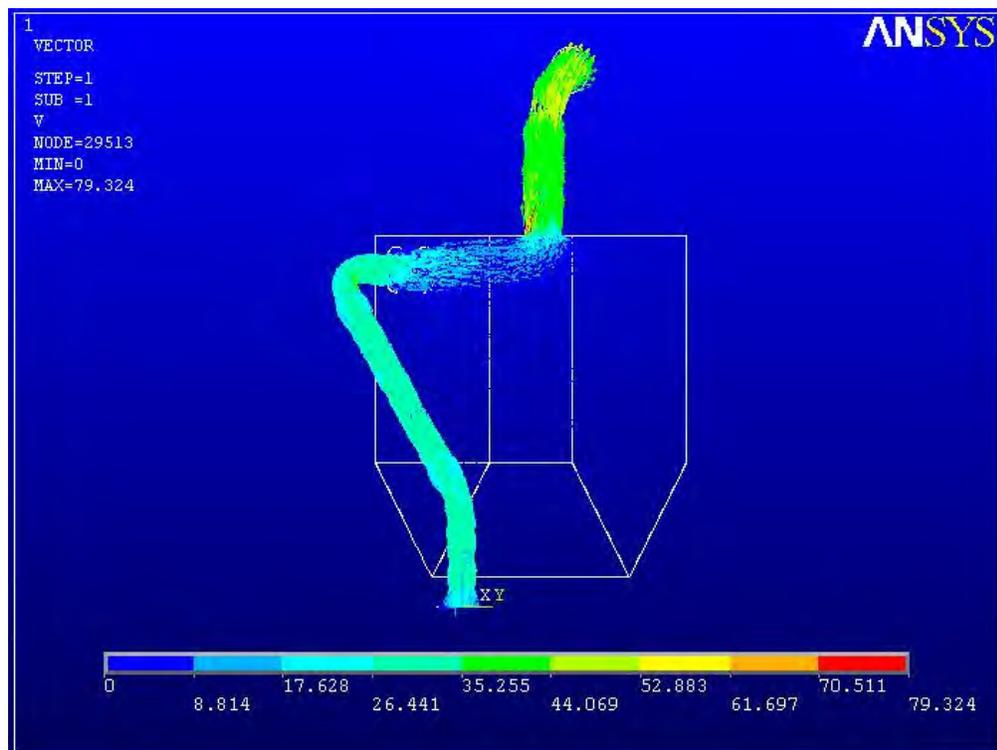


Figura 26 – Vista lateral do perfil do vetor velocidade nos dutos e na caixa do depósito da máquina recolhadora.

Na Figura 26, observa-se, no duto do captador até a caixa do depósito, que o perfil do vetor velocidade permanece em um intervalo de 26,44 a 35,26 m s^{-1} . Esse intervalo é superior à velocidade terminal máxima dos frutos de café, que foi de 15,45 m s^{-1} , com o teor de água de 41,07%,

conforme apresentado no Quadro 4. Segundo ROA et al. (1999), as velocidades mínimas do ar requerido para o transporte pneumático horizontal e vertical do café em coco recém - lavado são de 17,95 e 19,74 m s⁻¹, respectivamente, em dutos com diâmetros de 160 mm. Para diâmetros de 107,7 mm, as velocidades mínimas indicadas são de 11,89 e 13,17 m s⁻¹, para o transporte pneumático horizontal e vertical, respectivamente. Portanto, o perfil do vetor velocidade entre 26,44 e 35,26 m s⁻¹ aplicado foi suficiente no processo de transporte pneumático dos frutos de café no terreiro.

No interior do depósito da máquina recolhadora, houve redução do perfil do vetor velocidade para o intervalo de 8,81 a 17,63 m s⁻¹, devido à expansão da seção na entrada da caixa do depósito, ocorrendo com isso a desaceleração dos frutos de café e, conseqüentemente, o depósito no fundo da caixa. Observa-se, ainda, que o perfil do vetor velocidade após o depósito variou de 35,26 a 44,07 m s⁻¹.

Na Figura 27 é apresentada a pressão de sucção na máquina recolhadora.

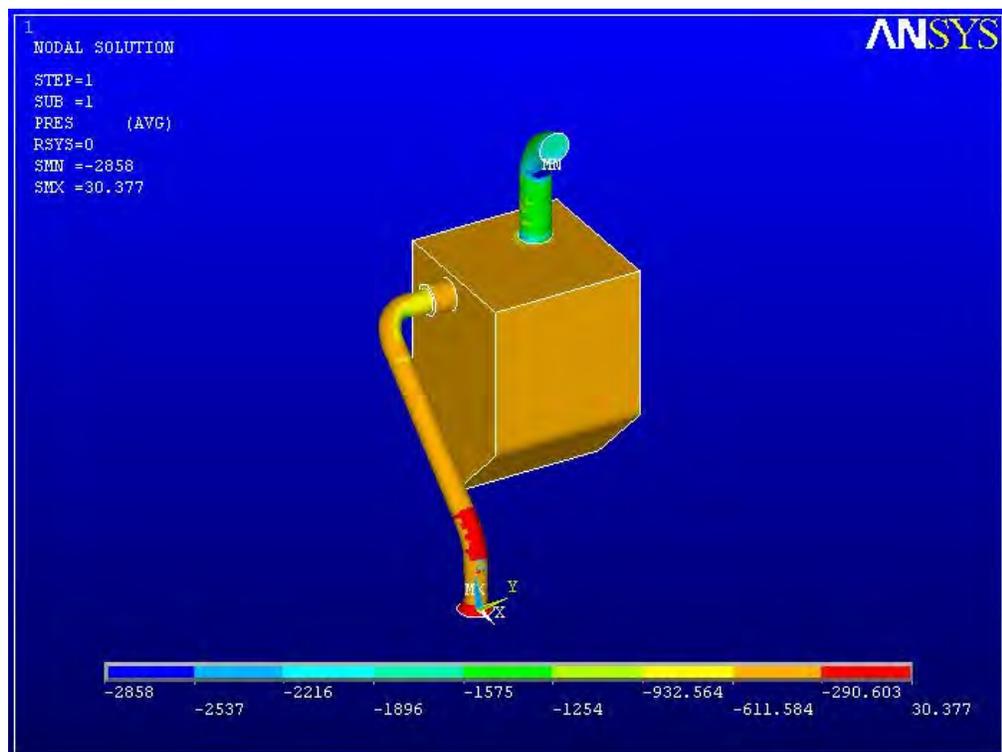


Figura 27 – Vista geral da pressão de sucção nos dutos e na caixa do depósito da máquina recolhadora.

Observa-se na Figura 27 aumento da pressão negativa (ou pressão de sucção) a partir da entrada do duto captador, que foi de zero (condição de contorno inicial), até o valor negativo de 2,22 kPa na saída do fluxo de ar no duto superior. A pressão de sucção variou de 0 a 0,93 kPa negativo, da entrada do duto captador até a caixa do depósito, devido à sucção do transporte pneumático dos frutos de café do terreiro.

4.2.1 Análise por elementos finitos da pressão estática na máquina colhedora

As pressões estáticas nos dutos da máquina colhedora foram determinadas com a finalidade de comparar esses valores obtidos experimentalmente com os resultados determinados pelo programa ANSYS (Figura 28).

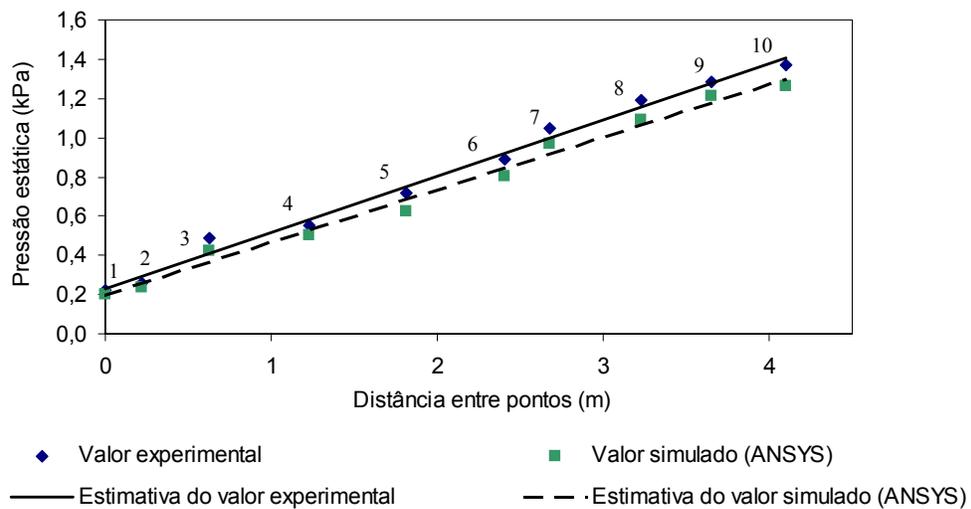


Figura 28 – Comparação entre pressões estáticas experimentais e as simuladas pelo programa ANSYS na máquina colhedora.

Pode-se observar na Figura 28 que os valores obtidos pelo programa ANSYS foram inferiores àqueles determinados experimentalmente. Isso pode ser devido à proximidade da condição de contorno nas paredes internas da máquina colhedora. O erro relativo médio envolvido nos valores simulados de pressão usando a técnica de elementos finitos (ANSYS) foi de 9,2%, sendo o menor valor de 6% e o maior de 14%.

4.3 Características e propriedades físicas dos frutos de café na avaliação

No Quadro 5 são apresentadas as características físicas do produto utilizado nos testes de avaliação de desempenho da máquina colhedora.

Quadro 5 – Características físicas dos frutos de café em coco utilizado nos testes de avaliação de desempenho da máquina colhedora

Características físicas dos frutos de café	Lote 1		Lote 2		Lote 3		Lote 4	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Teor de água (% b.u.)	13,54	0,30	19,94	1,17	30,31	0,40	39,02	0,71
Massa específica real (g cm ⁻³)	0,72	0,03	0,75	0,11	0,90	0,01	0,98	0,10
Massa específica aparente (kg m ⁻³)	351,0	3,81	390,8	2,31	409,7	2,83	455,9	2,83
Massa do fruto de café (g)	0,50	0,08	0,60	0,12	0,72	0,09	0,88	0,08

Pode-se observar no Quadro 5 que, com o decréscimo do teor de água dos frutos de café, as massas específicas real e aparente e a massa dos frutos de café são reduzidas.

4.4 Curva característica do sistema de ventilação

O levantamento da curva característica do sistema de ventilação foi feito com a finalidade de verificar se ele era adequado para a realização do processo de sucção dos frutos de café, por meio de uma velocidade mínima, necessária para o transporte pneumático dos frutos de café pela máquina colhedora.

Na Figura 29 encontra-se o gráfico da curva característica do ventilador de pressão total de sucção em função da vazão de ar para a rotação de 1.838 rpm, no eixo do ventilador. O sistema de ventilação tem a finalidade de verificar o comportamento da pressão de sucção quanto à velocidade do fluxo de ar do ventilador.

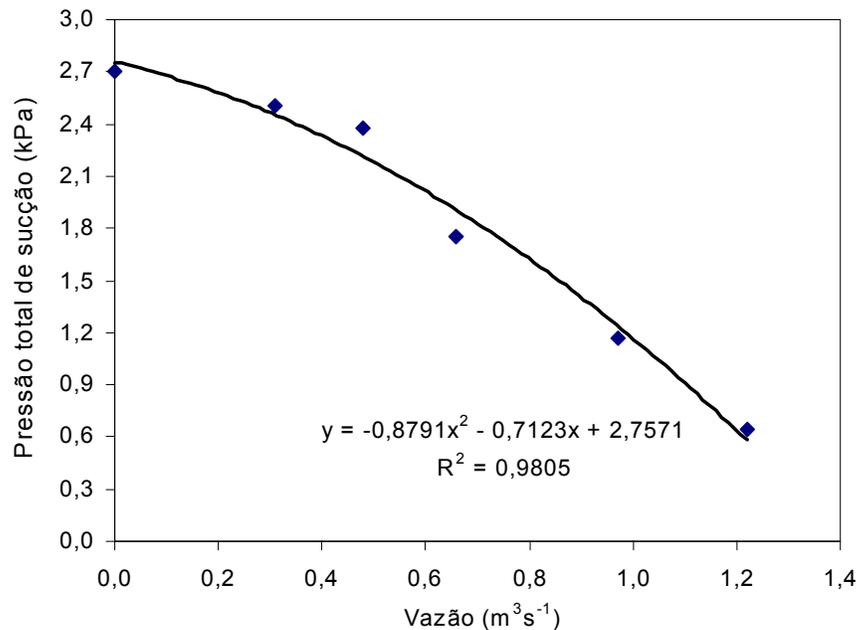


Figura 29 – Curva característica do sistema de ventilação usado na máquina colhedora.

A coluna pneumática do ventilador possui uma área de seção transversal circular de $0,0314 \text{ m}^2$. A máxima vazão de ar do ventilador obtida foi de $1,22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, equivalente a uma velocidade de entrada do ar no ventilador de $38,83 \text{ m s}^{-1}$, que é superior à velocidade mínima para o transporte pneumático do produto. A pressão de sucção média de $0,93 \text{ kPa}$, determinada pelo programa ANSYS no duto, equivale, no gráfico da Figura 29, à vazão de $1,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, da entrada do duto até o depósito, o que corresponde à velocidade de $33,44 \text{ m s}^{-1}$. Portanto, o fluxo de ar proporcionado pelo ventilador foi suficiente para o processo de sucção dos frutos de café no terreiro.

4.5 Avaliação do desempenho da máquina colhedora

4.5.1 Potência requerida pelo sistema pneumático

Na Figura 30 são apresentadas as variações da potência requerida na TDP em função das velocidades angulares na TDP. Esses valores foram obtidos pelo sistema de aquisição automática de dados. Para o acionamento da máquina colhedora foi estabelecida no projeto a velocidade angular de 540 rpm na TDP, que corresponde, no eixo do ventilador, a 2.084 rpm .

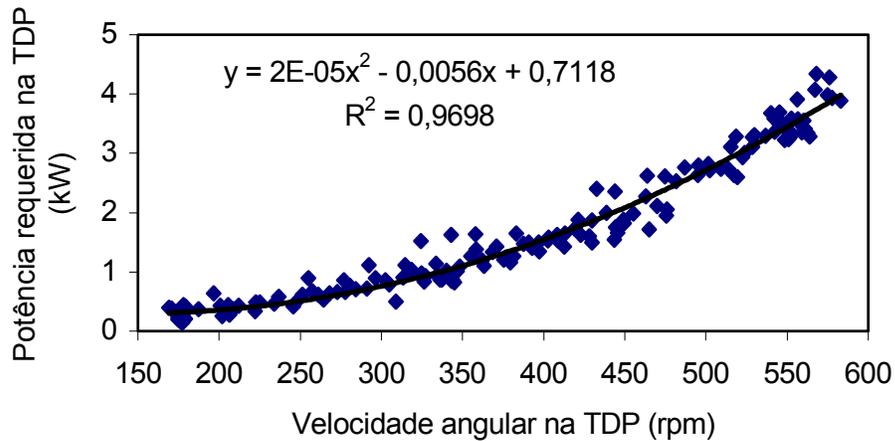


Figura 30 – Potência requerida na TDP, em função da velocidade angular na TDP, para o acionamento da máquina recolhadora.

A potência média requerida na TDP do trator para propiciar a velocidade angular de 540 rpm foi de 3,67 kW, e o torque, de 64,97 Nm. O maior valor de torque requerido na TDP registrado pelos sensores foi de 73,03 Nm, na velocidade angular de 568 rpm, resultando em uma potência requerida na TDP de 4,34 kW. O menor valor de torque registrado foi de 7,9 Nm, na velocidade angular de 178 rpm, obtendo-se a potência requerida na TDP de 0,15 kW.

A potência requerida no motor do trator foi determinada a partir da potência avaliada na TDP, utilizando-se uma eficiência de transmissão de potência do motor para a TDP de 0,87 (ASAE D497.4, 2000). Portanto, a potência exigida no motor do trator para acionar a máquina recolhadora foi de 4,22 kW. A potência requerida pelo sistema pneumático foi calculada utilizando-se a metodologia descrita no item 2.5.5, e o valor obtido foi de 1,61 kW. Utilizando-se a mesma eficiência de transmissão de potência do motor para a TDP, a potência calculada exigida no motor foi de 1,85 kW. Esse valor é bem inferior ao obtido experimentalmente, 4,22 kW, com uma diferença de 56,16%. Essa diferença pode ser explicada pelas simplificações feitas nas equações por exemplo, na determinação das perdas de cargas nas curvas, nos acessórios e nos atritos entre os frutos de café e as paredes.

Observou-se que os valores das potências requeridas na TDP, obtidos das velocidades angulares inferiores a 540 rpm, foram insuficientes para o recolhimento dos frutos de café no terreno.

4.5.2 Características técnicas da máquina colhedora

No Quadro 6 são apresentados os resultados das especificações técnicas da máquina colhedora.

Quadro 6 – Especificações técnicas da máquina colhedora

Especificações técnicas	
Peso total da máquina vazia	450 kg
Comprimento	2,45 m
Altura	2,92 m
Largura	2,16 m
Velocidade de trabalho	0,7 a 1,2 km h ⁻¹
Rotação de trabalho	540 rpm
Potência exigida pelo sistema de ventilação	4,22 kW

4.5.3 Capacidade operacional

Os resultados da capacidade de recolhimento efetiva, eficiência de campo da máquina, eficiência no recolhimento, do consumo de combustível Diesel por frutos de café recolhidos e do consumo de energia por quilograma de frutos de café recolhidos são apresentados nos Quadros 7 e 8.

Quadro 7 – Capacidade operacional da máquina colhedora para cada lote na velocidade de trabalho de 0,7 km h⁻¹

Parâmetros de avaliação	Lote 1		Lote 2		Lote 3		Lote 4	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Capacidade de recolhimento efetiva (t h ⁻¹)	2,52	0,01	2,28	0,01	2,23	0,01	2,38	0,01
Eficiência de campo da máquina (%)	77,50	0,31	78,70	0,40	79,50	0,21	81,40	0,20
Eficiência no recolhimento (%)	99,86	0,03	99,90	0,06	99,96	0,02	99,85	0,05
Consumo de combustível (mL kg ⁻¹)	1,52	0,006	1,68	0,009	1,72	0,005	1,61	0,004
Consumo de energia (Wh kg ⁻¹)	1,34	0,004	1,34	0,007	1,33	0,005	1,34	0,004

Quadro 8 – Capacidade operacional da máquina recolhadora para cada lote na velocidade de trabalho de 1,2 km h⁻¹

Parâmetros de avaliação	Lote 1		Lote 2		Lote 3		Lote 4	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Capacidade de recolhimento efetiva (t h ⁻¹)	4,20	0,03	3,73	0,02	3,60	0,02	3,80	0,04
Eficiência de campo da máquina (%)	75,50	0,45	75,40	0,42	75,1	0,32	75,9	0,81
Eficiência no recolhimento (%)	99,95	0,02	99,83	0,04	99,88	0,06	99,89	0,06
Consumo de combustível (mL kg ⁻¹)	0,91	0,006	1,02	0,006	1,06	0,005	1,01	0,011
Consumo de energia (Wh kg ⁻¹)	0,75	0,006	0,76	0,005	0,75	0,003	0,76	0,004

Nos testes realizados (Quadros 7 e 8), a máquina apresentou capacidade de recolhimento efetiva média de 2.352,5 kg h⁻¹ para a velocidade de 0,7 km h⁻¹ e 3.832,5 kg h⁻¹ para a velocidade de 1,2 km h⁻¹. Numa jornada diária de oito horas, a máquina desenvolvida tem capacidade de recolhimento de 18,82 e 30,66 t dia⁻¹ nas velocidades de trabalho de 0,7 e 1,2 km h⁻¹, respectivamente; portanto, essa máquina é capaz de atender a pequenos e médios produtores de café. O consumo médio de combustível foi de 0,0016 e 0,0010 L kg⁻¹ de café recolhido. Numa jornada de oito horas, o consumo foi de 30,1 e 30,7 litros, nas velocidades de trabalho de 0,7 e 1,2 km h⁻¹, respectivamente. O consumo médio de energia da máquina foi de 0,0013 e 0,00075 kWh kg⁻¹ de frutos de café recolhido, o que equivale a um consumo de 24,5 e 23,0 kW dia⁻¹ de trabalho, respectivamente, nas velocidades de trabalho de 0,7 e 1,2 km h⁻¹.

A eficiência de campo para máquinas agrícolas depende da velocidade de trabalho desenvolvida e do uso eficiente do tempo. A velocidade de trabalho pode ser limitada pela condição do solo, habilidade do operador, etc. (ASAE D497.4, 2000). A eficiência de campo para diversas operações agrícolas, segundo ASAE D497.4 (2000), pode ter variação média de 65 a 84% em um intervalo médio da velocidade de trabalho de 5,5 a 11,2 km h⁻¹. A eficiência de campo média da máquina recolhadora desenvolvida foi de 79,3 e 75,5% nas velocidades de trabalho de 0,7 e 1,2 km h⁻¹, respectivamente.

Comparando os resultados obtidos pela máquina recolhadora com os apresentados pela ASAE D497.4 (2000), verifica-se que a máquina desenvolvida neste trabalho apresentou eficiência de campo dentro da variação

média mencionada pela ASAE e ligeiramente superior à média, ou seja, 74,5% da variação. Os valores encontrados pela ASAE D497.4 (2000) podem servir como orientação com relação aos valores possíveis de ser obtidos nas diversas operações agrícolas.

A eficiência do recolhimento da máquina foi em média de 99,89%, para as duas velocidades de trabalho (Quadros 7 e 8). Um dos motivos desse excelente resultado se deve ao fato de o sistema de transporte pneumático da máquina recolhadora ter sido simulado por meio do programa ANSYS.

O resultado apresentado pela máquina recolhadora, com velocidade de trabalho de $1,2 \text{ km h}^{-1}$, foi considerado melhor, pois mostrou capacidade de recolhimento média superior em 63% à velocidade de trabalho de $0,7 \text{ km h}^{-1}$, mesmo obtendo com velocidade de trabalho de $0,7 \text{ km h}^{-1}$ uma eficiência de campo média superior. Os resultados da eficiência no recolhimento, do consumo de combustível Diesel por frutos de café recolhidos e do consumo de energia por quilograma de frutos de café recolhidos foram bem semelhantes entre as duas velocidades de trabalho.

Nos Quadros 9 e 10 são apresentados os valores das porcentagens (% em peso) de danos nos frutos de café antes e após a passagem pela máquina recolhadora, para as respectivas velocidades de trabalho. Os frutos de café foram considerados danificados pela presença de frutos quebrados nas amostras recolhidas antes e após os testes. Estes foram realizados nos lotes 1, 2, 3 e 4, que correspondem, respectivamente, a 1.160, 1.032, 1.000 e 1.044 quilos de frutos de café.

Quadro 9 – Porcentagem de frutos de café danificados, pela máquina recolhadora, para a velocidade de trabalho de 0,7 km h⁻¹

Parâmetros de avaliação	Lote 1		Lote 2		Lote 3		Lote 4	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Porcentagem de frutos danificados, antes dos testes (%)	0,03286	0,006	0,02710	0,005	0,02319	0,006	0,02949	0,004
Porcentagem de frutos danificados, após os testes (%)	0,03294	0,005	0,02719	0,004	0,02325	0,004	0,02956	0,004
Porcentagem de frutos danificados durante os testes (%)	0,27	0,005	0,34	0,005	0,26	0,006	0,23	0,004

Quadro 10 – Porcentagem de frutos de café quebrados, pela máquina recolhadora, para a velocidade de trabalho de 1,2 km h⁻¹

Parâmetros de avaliação	Lote 1		Lote 2		Lote 3		Lote 4	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Porcentagem de frutos danificados, antes dos testes (%)	0,03289	0,004	0,02720	0,006	0,02313	0,007	0,02903	0,007
Porcentagem de frutos danificados, após os testes (%)	0,03299	0,006	0,02729	0,005	0,02320	0,006	0,02911	0,006
Porcentagem de frutos danificados durante os testes (%)	0,29	0,005	0,32	0,006	0,28	0,006	0,27	0,006

Analisando os resultados dos Quadros 9 e 10, pode-se constatar que ocorreu acréscimo nas porcentagens de danos nos frutos de café após o uso da máquina recolhadora. No entanto, as porcentagens médias de danos provocados nos frutos foram de 0,27 e 0,29% para as velocidades de trabalho de 0,7 e 1,2 km h⁻¹, respectivamente.

4.5.3.1 Tempo médio de percurso da máquina recolhadora nas leiras

A análise de variância dos dados experimentais de tempos médios de percurso das leiras, provenientes de cada combinação entre teores de água e velocidades de trabalho, mostrou que a interação velocidade e teor de água foi

significativa. Assim, procedeu-se ao desdobramento para a aplicação de testes de comparação de médias (teste de Duncan, a 5% de probabilidade). No Quadro 10 são apresentados os tempos médios de percurso nas leiras dos frutos de café para cada tratamento.

Quadro 11 – Tempo médio de percurso (s) nas leiras, considerando-se as duas velocidades de trabalho e quatro teores de água nos frutos de café em coco

Lote	Teor de água (% b.u.)	Velocidade de trabalho	
		0,7 km h ⁻¹	1,2 km h ⁻¹
1	13,54	132,87 Aa	73,97 Bb
2	19,94	132,80 Aa	74,91 Ab
3	30,31	131,37 Ba	74,55 ABb
4	39,02	132,85 Aa	75,00 Ab

A ocorrência de letras iguais maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal significa igualdade estatística das médias, enquanto letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Duncan (5%).

Pode-se observar que os valores dos tempos médios, no tratamento com a velocidade de trabalho igual a 0,7 km h⁻¹, foram semelhantes nos lotes 1, 2 e 4. Apenas o lote 3 diferiu dos demais, obtendo-se média inferior. No tratamento com a velocidade de trabalho de 1,2 km h⁻¹, as médias dos lotes 2, 3 e 4 foram semelhantes estatisticamente. O lote 1 apresentou média inferior, não diferindo estatisticamente do lote 3.

Na Figura 31 são apresentadas a capacidade de recolhimento efetiva e a quantidade de frutos de café recolhidos pela máquina no terreiro.

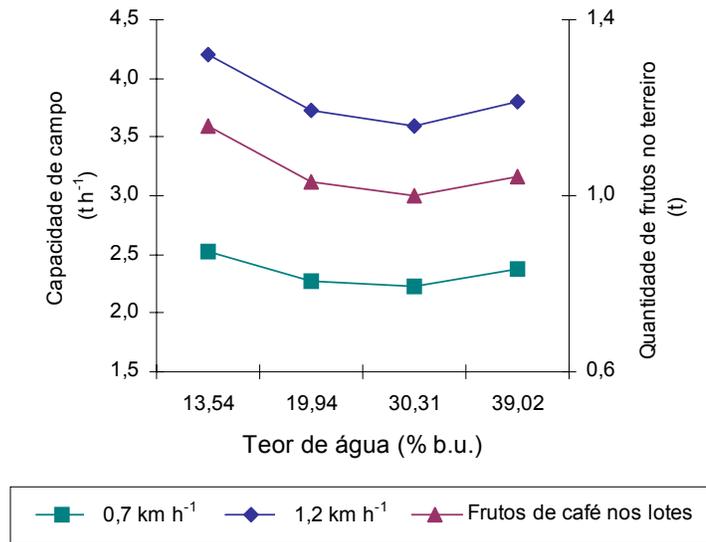


Figura 31 – Capacidade de recolhimento efetiva e quantidade de frutos de café nos lotes.

Pode-se verificar que na velocidade de trabalho de $0,7 \text{ km h}^{-1}$, nos lotes 1 e 3, foram observadas, respectivamente, as maiores e as menores médias de tempo de percurso das leiras (Quadro 11). No entanto, observa-se, na Figura 31, que esses lotes apresentaram, respectivamente, a capacidade de recolhimento efetiva média superior e inferior do teste, o que pode ser explicado pela influência da quantidade de frutos de café nos lotes. Para o teste com velocidade de trabalho de $1,2 \text{ km h}^{-1}$, verifica-se que o lote 4 apresentou a maior média de tempo nos testes e obteve, em virtude da quantidade de frutos de café no terreiro, capacidade de recolhimento efetiva média superior à dos lotes 2 e 3. O lote 1 correspondeu à menor média de tempo nos testes, onde foi obtida a maior capacidade de recolhimento efetiva, resultado que era esperado, em razão da maior quantidade de frutos de café no terreiro.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Objetivou-se, neste trabalho, desenvolver e construir uma máquina para recolher os frutos de café no terreiro e avaliar o seu desempenho, utilizando-se café em coco com quatro teores de água e duas velocidades de trabalho. O projeto da máquina recolhadora de frutos de café no terreiro foi realizado com base nas características e propriedades físicas do produto, em função do teor de água. Para determinar o comportamento dinâmico da máquina, foi utilizado um programa de computador para análise por elementos finitos (*Software ANSYS 5.7*). O princípio de funcionamento da máquina adotado foi de sucção, por meio de um ventilador centrífugo, acionado pela tomada de potência (TDP) do trator. A matéria-prima empregada nos testes para avaliação da máquina foi o café da variedade Catuaí. Foram utilizados quatro lotes de café. O produto usado nos testes foi colhido por derriça no pano, passado por lavadores e secado em terreiro de cimento. Os teores de água dos frutos de café dos lotes 1, 2, 3 e 4 foram, respectivamente, de 13,54; 19,94; 30,31; e 39,02% (b.u.). As velocidades de trabalho foram de 0,7 e 1,2 km h⁻¹. Instalou-se um experimento em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro teores de água dos frutos de café e duas velocidades de trabalho. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Ao avaliar a máquina recolhadora, foram determinados os seguintes parâmetros: capacidade de recolhimento efetiva (kg h⁻¹); eficiência

de campo da máquina (%); eficiência no recolhimento da máquina (%); porcentagem de danos nos frutos de café, obtida com base na quantidade de frutos de café quebrados antes e após o uso da máquina recolhadora (% em peso); consumo de energia por quilograma de frutos de café recolhidos (kWh kg^{-1}); e consumo de combustível Diesel por frutos de café recolhidos (L kg^{-1}). Além disso, foram determinadas a potência requerida na TDP pela máquina recolhadora, a curva característica do sistema de ventilação e as propriedades físicas dos frutos de café dos testes.

Com base nos resultados obtidos na determinação das características físicas e das propriedades aerodinâmicas dos frutos de café e nos testes de avaliação da máquina recolhadora, pode-se concluir que:

1. Os ângulos de repouso máximo e mínimo dos frutos de café foram de $42,68^\circ$ e de $39,89^\circ$, nos teores de água de 41,07 e 28,74%, respectivamente.
2. O comprimento, a largura e a espessura máxima para o fruto de café foram, respectivamente, de 13,05, 10,44 e 9,33 mm, no teor de água de 41,07%.
3. O comprimento, a largura e a espessura mínima para o fruto de café foram, respectivamente, de 12,87, 10,01 e 8,87 mm, no teor de água de 28,74%.
4. O volume máximo para o fruto de café foi de $0,67 \text{ cm}^3$, e o mínimo, de $0,61 \text{ cm}^3$, nos teores de água de 41,07 e 28,74%, respectivamente.
5. O valor máximo da velocidade terminal para os frutos de café foi de $15,45 \text{ m s}^{-1}$, no teor de água de 41,07%.
6. O valor mínimo da velocidade terminal para os frutos de café foi de $13,47 \text{ m s}^{-1}$, no teor de água de 28,74%.
7. A área projetada máxima para o fruto de café no teor de água de 41,07% foi de $0,959 \text{ cm}^2$, com o coeficiente de arrasto de 1,259.
8. A área projetada mínima para o fruto de café no teor de água de 28,74% foi de $0,900 \text{ cm}^2$, com o coeficiente de arrasto de 1,341.
9. A massa específica aparente máxima foi de $462,18 \text{ kg m}^{-3}$, e a mínima, de $375,32 \text{ kg m}^{-3}$, nos teores de água de 41,07 e 28,74%, respectivamente.

10. O erro relativo médio envolvido nos valores simulados de pressão usando a técnica de elementos finitos (ANSYS) foi de 9,2%, sendo o menor valor de 6% e o maior de 14%.
11. A máxima vazão de ar do ventilador foi de $1,22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, equivalendo a uma velocidade de entrada do ar de $38,83 \text{ m s}^{-1}$, que é superior à velocidade mínima necessária para o transporte pneumático do produto.
12. As capacidades de recolhimento efetivas médias foram de 2,35 e $3,83 \text{ t h}^{-1}$, as eficiências de recolhimento teóricas médias foram de 79,3 e 75,5% e as porcentagens de danos médios nos frutos de café foram de 0,27 e 0,29%, para velocidades de trabalho de 0,7 e $1,2 \text{ km h}^{-1}$, respectivamente.
13. A potência média requerida na TDP, para a velocidade angular de 540 rpm, foi de 3,67 kW, com torque de 64,97 Nm, e a potência exigida no motor do trator para acionar a máquina recolhadora foi de 4,22 kW.
14. Os consumos médios de energia por quilograma de frutos de café recolhidos foram de 0,0013 e $0,00075 \text{ kWh kg}^{-1}$, e os consumos médios de combustível Diesel por frutos de café recolhidos foram de 0,0016 e $0,0010 \text{ L kg}^{-1}$, para as velocidades de trabalho 0,7 e $1,2 \text{ km h}^{-1}$, respectivamente.
15. A eficiência do recolhimento da máquina foi de 99,89%, em média, para as duas velocidades de trabalho.
16. A máquina desenvolvida atendeu as necessidades propostas no trabalho para o recolhimento dos frutos de café em terreiro utilizando transporte pneumático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards D497.4**. St. Joseph, Michigan, p.349-357, 2000.

ANSYS 5.7. Fluid flow fundamental. In: **Ansy theory reference manual**. Houston, PA, EUA. Editor Peter Kohnke. ANSYS Inc, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal e Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MARA, 1992. 365p.

CONAB - **Ministério da Agricultura - Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/politica_agricola/SafraCafe/safraCafe.pdf> Acesso em: 15 de junho de 2002.

COUTO, S. M.; MAGALHÃES, A. C.; QUEIROZ, D. M.; ANDRADE, E. T. **Dimensões principais, massa e volume unitários, esfericidade e ângulo de repouso de frutos de café**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, PB. v. 2, n. 2, p. 39 – 56, 2000.

COUTO, S. M.; MAGALHÃES, A. C.; QUEIROZ, D. M.; BASTOS, I. T. **Massa específica aparente e real e porosidade de frutos de café em função do teor de água**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. v. 3, n. 1, p. 61 – 68, 1999.

DE BAERDEMAEKER, S., SEGERLIND, L. J. **Aerodynamic properties of strawberreis**. Transactions of the ASAE, v. 17, n. 2, p. 729 - 732, 1974.

EDAN, Y.; HAGHIGHI, K.; STROSHINE, R.; CARDENAS-WEBER, M. **Robot griper analysis: finite element modeling and optimization**. Applied Engineering in Agriculture, v. 8, nº 4. 563-570p, 1992.

FAEMG - **Federação da Agricultura do Estado de Minas Gerais**, Disponível em: <<http://www.observatoriosocial.org.br/download/cafe2.pdf>> Acesso em: 15 de junho de 2002.

FOX, R.W.; McDONALD, A.T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. LTC- Livros Técnicos e Científicos, 1998. 662p.

GARCIA, R. F. **Otimização do projeto de componentes de uma colhedora de forragem**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.

GARCIA, R. F. **Simulação do comportamento dinâmico de uma colhedora de feijão**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 86p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

HAGHIGHI, K.; SMITH, M. G.; KRUTZ, G. W. On board testing and shape optimization of engine mount bracket. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 6, nº 4. 382-389p, 1990.

HUEBNER, K. H., THORNTON, E. A., BYROM, T. G. **The finite element method for engineers**. New York, EUA: John Wiley & Sons, 1995. 627p.

KNIGHT, C. E. **The finite element method in mechanical design**. Boston, EUA: PWS-KENT, 1993. 326p.

LILJEDAHL, J. B.; TURNQUIST, P. K.; SMITH, D. W.; HOKI, M. **Tractors and their power units**. Fourth Edition. An AVI book. 1989. 463p.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Guanabara, 2ª edição, 1990. 403p.

MAGALHÃES, A. C. **Projeto, construção e avaliação de uma máquina de pré-limpeza de café**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 63p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.

MESQUITA, A. L. S., GUIMARÃES, F. A., NEFUSSI, N. **Engenharia de ventilação industrial**. São Paulo, SP: CETESB, ASCETESB, 1985. 442p.

MIALHE, L. G. **Máquina agrícola: ensaios & certificação**. Piracicaba, SP. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. 772p.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1978. 742p.

NORTON, R. L. **Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines**. New York, EUA: McGraw-Hill, 1992. 714p.

OIC - **Organização Internacional do Café**. Disponível em: <<http://www.observatoriosocial.org.br/download/cafe2.pdf>> Acesso em: 12 de agosto de 2002.

PINHEIRO, M. da C. **Propriedades físicas de frutos de soja UFV-1**. Viçosa, MG: UFV, 1975. 29p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1975.

PORTO, F. S. A. **Desenvolvimento de uma colhedora portátil de café por sucção aerodinâmica**. Guaratinguetá, SP: UNESP, 1996. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 1996.

QUEIROZ, D. M.; SADEGHI, F.; HAGHIGHI, K.; GIBSON, H. G. **Finite element analysis and optimization of a thresher design**. ASAE Paper nº 941541. Atlanta, GA. 1994.

REDDY, J. N. **An introduction to the finite element method**. New York, EUA: McGraw-Hill, 1993. 684p.

ROA M., G.; OLIVEROS T., C. E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C. A.; SANZ U., J. R.; DÁVILA A., M. T.; ÁLVAREZ H., J. R.; ZAMBRANO F., D. A.; PUERTA Q., G. I.; RODRÍGUEZ V., N. **Benefício ecológico Del café**. Chinchina (Colombia), CENICAFÉ, 1999. 300p.

SEGERLIND, L. J. **Applied finite element analysis**. New York, EUA: John Wiley & Sons, 1984. 427p.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. C. **Estudo dos métodos de secagem**. in: Pré-processamento de produtos agrícolas. Editado por Juarez de Sousa e Silva - Juiz de Fora, MG. Instituto Maria, 103-141p, 1995.

SILVA, J. S.; BERBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenagem de café**. Aprenda Fácil Editora, Viçosa/MG. 1999. 146p.

SILVA, J. S.; FILHO, A. F. L.; AFONSO, A. D. L. **Transporte de grãos**. in: Pré-processamento de produtos agrícolas. Editado por Juarez de Sousa e Silva. Juiz de Fora, MG. Instituto Maria, 285-319p, 1995.

SILVA, J. S.; LUCENA, E. M. P. **Estrutura, composição e propriedades das sementes**. in: Pré-processamento de produtos agrícolas. Editado por Juarez de Sousa e Silva - Juiz de Fora, MG. Instituto Maria, 23-32p, 1995.

SRIVASTAVA, K. A.; GOERING, E. C.; ROHRBACH, P. R. **Engineering principles of agricultural machines**. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1996. 601P.

ZHU, J.; HAGHIGHI, K.; KRUTZ, G. W.; SMITH, M. G. **Harmonic and modal analysis of a diesel engine chassis mount bracket – a finite element approach**. Applied Engineering in Agriculture, v. 5, nº 4. 467-474p, 1989.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Listagem do programa, escrita utilizando a APDL (ANSYS Parametric Design Language), que simula o sistema do transporte pneumático da máquina recolhedora

<pre> /TITLE,SISTEMA DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO ! /BATCH /COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418 /input,menust,tmp ",,,,,,,,,,,,,,1 /GRA,POWER /GST,ON /PLO,INFO,3 /COL,PBAK,ON,1,BLUE /NOPR KEYW,PR_SET,1 KEYW,PR_MULTI,0 KEYW,PR_CFD,1 /GO /COM, /COM,Preferences for GUI filtering have been set to display: /COM, FLOTTRAN CFD /PREP7 ET,1,FLUID142 ET,2,MESH200 KEYOPT,2,1,7 KEYOPT,2,2,1 CYL4,0,0,.11 wpoff,0,0,.027 CYL4,0,0,.086 wpoff,0,0,.027 CYL4,0,0,.0725 wpoff,0,0,.23 CYL4,0,0,.0725 wpoff,-.0244,0,.155 wprot,0,0,-24 CYL4,0,0,.0725 wpoff,-.0434,0,.1691 wprot,0,0,-24 CYL4,0,0,.0725 wpoff,0,0,1.073 CYL4,0,0,.0725 FLST,2,7,5,ORDE,2 FITEM,2,1 FITEM,2,-7 ADELE,P51X /PNUM,KP,0 /PNUM,LINE,1 /PNUM,AREA,0 /PNUM,VOLU,0 /PNUM,NODE,0 /PNUM,TABN,0 /PNUM,SVL,0 /NUMBER,0 FLST,2,6,4 FITEM,2,3 FITEM,2,7 FITEM,2,11 FITEM,2,15 FITEM,2,19 FITEM,2,23 ASKIN,P51X FLST,2,6,4 FITEM,2,4 FITEM,2,8 FITEM,2,12 FITEM,2,16 </pre>	<pre> ASEL,R,,P51X /COL,PBAK,ON,1,BLUE RESUME /PREP7 wpro,,,30.000000 wpro,,,30.000000 wpro,,,30.000000 wpro,,30.000000, wpro,,30.000000, wpro,,30.000000, wpro,,30.000000, wpro,,30.000000, wpro,,30.000000, wpro,,30.000000, wpofo,0,0,-.415 CYL4,0,0,1,,.5 ASBV,,26,,1 CYL4,0,0,1 ADELE,,21 FLST,2,2,4,ORDE,2 FITEM,2,70 FITEM,2,-71 LCOMB,P51X,,0 FLST,2,2,4,ORDE,2 FITEM,2,72 FITEM,2,-73 LCOMB,P51X,,0 FLST,2,2,4 FITEM,2,72 FITEM,2,94 ASKIN,P51X FLST,2,2,4 FITEM,2,70 FITEM,2,95 ASKIN,P51X SAVE wpofo,0,-.21,-.245 SAVE wpro,,,30.000000, wpofo,0,.21,.245 wpro,,,30.000000, wpro,,,30.000000, wpro,,,30.000000, wpro,,,30.000000, </pre>
--	---

FITEM,2,20	SAVE
FITEM,2,24	wpoff,0,.21,.245
ASKIN,P51X	CYL4,0,0,1,,.5
FLST,2,6,4	VDELE, 1,,1
FITEM,2,1	wpro,,30.000000,
FITEM,2,5	wpro,,-30.000000,
FITEM,2,9	wpro,,-30.000000,
FITEM,2,13	wpro,,-30.000000,
FITEM,2,17	wpro,,-30.000000,
FITEM,2,21	CYL4,0,0,1,,.5
ASKIN,P51X	LSTR, 54, 74
FLST,2,6,4	LSTR, 58, 60
FITEM,2,2	!* L2TAN,-71,99
FITEM,2,6	!* L2TAN,-98,73
FITEM,2,10	FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,14	FITEM,2,74
FITEM,2,18	FITEM,2,-75
FITEM,2,22	LCOMB,P51X, ,0
ASKIN,P51X	FLST,2,2,4,ORDE,2
FLST,2,2,4	FITEM,2,76
FITEM,2,21	FITEM,2,91
FITEM,2,25	LCOMB,P51X, ,0
ASKIN,P51X	FLST,2,2,4,ORDE,2
FLST,2,2,4	FITEM,2,74
FITEM,2,28	FITEM,2,-75
FITEM,2,24	LCOMB,P51X, ,0
ASKIN,P51X	FLST,2,2,4,ORDE,2
FLST,2,2,4	FITEM,2,76
FITEM,2,23	FITEM,2,91
FITEM,2,27	LCOMB,P51X, ,0
ASKIN,P51X	FLST,2,5,4
FLST,2,2,4	FITEM,2,75
FITEM,2,22	FITEM,2,74
FITEM,2,26	FITEM,2,103
ASKIN,P51X	FITEM,2,102
/PNUM,KP,0	FITEM,2,70
/PNUM,LINE,0	AL,P51X
/PNUM,AREA,0	FLST,2,2,4,ORDE,2
/PNUM,VOLU,0	FITEM,2,102
/PNUM,NODE,0	FITEM,2,-103
/PNUM,TABN,0	LDELE,P51X
/PNUM,SVAL,0	VDELE, 1,,1
/NUMBER,0	FLST,2,3,4,ORDE,3
SAVE	FITEM,2,100
FINISH	FITEM,2,-101
!/EXIT,ALL	FITEM,2,106
/BATCH	LDELE,P51X, ,1
/COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418	LDELE, 91,,1
/input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1	FLST,2,2,4,ORDE,2
/GRA,POWER	FITEM,2,75
/GST,ON	FITEM,2,107
/PLO,INFO,3	LDELE,P51X, ,1
/COL,PBAK,ON,1,BLUE	FLST,2,2,4,ORDE,2
RESUME	FITEM,2,74
SAVE	FITEM,2,76
/PREP7	LDELE,P51X, ,1
wpoff,0,0,.1034	FLST,2,2,4,ORDE,2
wprot,0,-30,0	FITEM,2,74
wpoff,0,0,-.1034	FITEM,2,76
wprot,0,30,0	LDELE,P51X, ,1
FINISH	wpro,,30.000000,
!/EXIT,NOSAV	wpro,,30.000000,
/BATCH	wpoff,0,-.21,-.245
/COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418	SAVE
/input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1	wpoff,0,.0604,0.17
/GRA,POWER	wprot,0,-30,0
/GST,ON	CYL4,0,0,1
	wpoff,0,.0716,.0556

<pre> /PLO,INFO,3 /COL,PBAK,ON,1,BLUE RESUME /REP7 wpoff,0,0,.1378 wprot,0,-30,0 CYL4,0,0,.0725 wpoff,0,0,.1034 wprot,0,-30,0 CYL4,0,0,.0725 wpoff,0,0,.1267 wprot,0,-30,0 CYL4,0,0,.0725 FLST,2,3,5,ORDE,2 FITEM,2,9 FITEM,2,-11 ADELE,P51X /PNUM,KP,0 /PNUM,LINE,1 /PNUM,AREA,0 /PNUM,VOLU,0 /PNUM,NODE,0 /PNUM,TABN,0 /PNUM,SVAL,0 /NUMBER,0 FLST,2,4,4 FITEM,2,27 FITEM,2,39 FITEM,2,43 FITEM,2,47 ASKIN,P51X FLST,2,4,4 FITEM,2,26 FITEM,2,38 FITEM,2,42 FITEM,2,46 ASKIN,P51X FLST,2,4,4 FITEM,2,25 FITEM,2,37 FITEM,2,41 FITEM,2,45 ASKIN,P51X /PNUM,KP,0 /PNUM,LINE,0 /PNUM,AREA,0 /PNUM,VOLU,0 /PNUM,NODE,0 /PNUM,TABN,0 /PNUM,SVAL,0 /NUMBER,0 FINISH !/EXIT,NOSAV /BATCH /COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418 /input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1 /GRA,POWER /GST,ON /PLO,INFO,3 /COL,PBAK,ON,1,BLUE RESUME /REP7 /REP,FAST wpoff,0,0,.1378 wprot,0,-30,0 CYL4,0,0,.0725 wpoff,0,0,.1034 </pre>	<pre> wprot,0,-30,0 wpoff,0,0.0716,-.0556 wprot,0,30,0 wpoff,0,-.0716,-.0556 wpoff,0,-.0716,-.0556 FINISH !/EXIT,NOSAV /BATCH /COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418 /input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1 /GRA,POWER /GST,ON /PLO,INFO,3 /COL,PBAK,ON,1,BLUE RESUME wpoff,0,.0146,.0923 wprot,0,-25,0 /REP7 CYL4,0,0,.1 wpoff,0,0,.0777 wprot,0,-17,0 CYL4,0,0,.1 wpoff,0,0,.0556 wprot,0,-22,0 CYL4,0,0,.1 wpoff,0,0,.241 wprot,0,-26,0 wpoff,0,-.241,0 wprot,0,26,0 wpoff,0,.241,0 wprot,0,-26,0 wpoff,0,0,-.241 wprot,0,26,0 FLST,2,3,5,ORDE,3 FITEM,2,25 FITEM,2,-26 FITEM,2,28 ADELE,P51X FLST,2,2,4,ORDE,2 FITEM,2,76 FITEM,2,91 LCOMB,P51X, ,0 FLST,2,2,4,ORDE,2 FITEM,2,96 FITEM,2,-97 LCOMB,P51X, ,0 FLST,2,2,4,ORDE,2 FITEM,2,100 FITEM,2,-101 LCOMB,P51X, ,0 FLST,2,2,4,ORDE,2 FITEM,2,74 FITEM,2,-75 LCOMB,P51X, ,0 FLST,2,2,4,ORDE,2 FITEM,2,92 FITEM,2,-93 LCOMB,P51X, ,0 FLST,2,2,4,ORDE,2 FITEM,2,98 FITEM,2,-99 LCOMB,P51X, ,0 FLST,2,4,4 FITEM,2,70 FITEM,2,76 FITEM,2,96 FITEM,2,100 </pre>
---	--

wprot,0,-30,0	ASKIN,P51X
CYL4,0,0,.0725	FLST,2,4,4
wpoff,0,0,.1067	FITEM,2,72
wprot,0,-30,0	FITEM,2,74
CYL4,0,0,.0725	FITEM,2,92
FLST,2,3,5,ORDE,2	FITEM,2,98
FITEM,2,9	ASKIN,P51X
FITEM,2,-11	KWPLAN,-1, 77
ADELE,P51X	wpoff,0,0,.1
/PNUM,KP,0	wpro,,,30.000000
/PNUM,LINE,1	wpro,,,30.000000
/PNUM,AREA,0	wpro,,,30.000000
/PNUM,VOLU,0	wpro,,,30.000000
/PNUM,NODE,0	wpro,,,30.000000
/PNUM,TABN,0	wpro,,,30.000000
/PNUM,SVAL,0	wpro,,,30.000000
/NUMBER,0	wpro,,,30.000000
FLST,2,4,4	wpro,,,30.000000
FITEM,2,26	wpro,,,30.000000
FITEM,2,38	wpro,,,30.000000
FITEM,2,42	CYL4,0,0,1,,,.054
FITEM,2,46	VDELE, 1,,1
ASKIN,P51X	wpro,,,30.000000
FLST,2,4,4	wpro,,30.000000,
FITEM,2,25	wpro,,30.000000,
FITEM,2,37	wpro,,30.000000,
FITEM,2,41	wpro,,30.000000,
FITEM,2,45	wpro,,30.000000,
ASKIN,P51X	wpro,,30.000000,
FLST,2,4,4	wpro,,30.000000,
FITEM,2,27	wpro,,30.000000,
FITEM,2,39	wpro,,30.000000,
FITEM,2,43	wpro,30.000000,,
FITEM,2,47	wpro,30.000000,,
ASKIN,P51X	wpro,30.000000,,
FLST,2,4,4	wpro,30.000000,,
FITEM,2,28	wpro,30.000000,,
FITEM,2,40	wpro,30.000000,,
FITEM,2,44	KDIST, 77, 75
FITEM,2,48	FINISH
ASKIN,P51X	! /EXIT,NOSAV
/PNUM,KP,0	/BATCH
/PNUM,LINE,0	/COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418
/PNUM,AREA,0	/input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1
/PNUM,VOLU,0	/GRA,POWER
/PNUM,NODE,0	/GST,ON
/PNUM,TABN,0	/PLO,INFO,3
/PNUM,SVAL,0	/COL,PBAK,ON,1,BLUE
/NUMBER,0	RESUME
wpoff,0,0,.0778	/PREP7
CYL4,0,0,.0725	wpoff,0,.0146,.0923
ADELE, 13	wprot,0,-25,0
ADELE, 11	CYL4,0,0,.1
ADELE, 12	wpoff,0,.0458,.0777
ADELE, 9	wprot,0,-17,0
ADELE, 10	CYL4,0,0,.1
LDELE, 50	wpoff,0,-.0458,0
LDELE, 52	ADELE, 26,,1
LDELE, 51	CYL4,0,0,.1
LDELE, 49	wpoff,0,0,.0556
FLST,2,5,4	wprot,0,-22,0
FITEM,2,28	CYL4,0,0,.1
FITEM,2,40	wpoff,0,0,.0241
FITEM,2,44	wprot,0,-26,0
FITEM,2,48	wpoff,0,0,.054
FITEM,2,56	CYL4,0,0,.1
ASKIN,P51X	FLST,2,4,5,ORDE,4

/PNUM,KP,0	FITEM,2,25
/PNUM,LINE,1	FITEM,2,-26
/PNUM,AREA,0	FITEM,2,28
/PNUM,VOLU,0	FITEM,2,30
/PNUM,NODE,0	ADELE,P51X
/PNUM,TABN,0	FLST,2,2,4,ORDE,2
/PNUM,SVAL,0	FITEM,2,74
/NUMBER,0	FITEM,2,-75
FLST,2,5,4	LCOMB,P51X, ,0
FITEM,2,27	FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,39	FITEM,2,76
FITEM,2,43	FITEM,2,91
FITEM,2,47	LCOMB,P51X, ,0
FITEM,2,55	FLST,2,2,4,ORDE,2
ASKIN,P51X	FITEM,2,96
FLST,2,5,4	FITEM,2,-97
FITEM,2,25	LCOMB,P51X, ,0
FITEM,2,37	FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,41	FITEM,2,92
FITEM,2,45	FITEM,2,-93
FITEM,2,53	LCOMB,P51X, ,0
ASKIN,P51X	FLST,2,2,4,ORDE,2
FLST,2,5,4	FITEM,2,100
FITEM,2,26	FITEM,2,-101
FITEM,2,38	LCOMB,P51X, ,0
FITEM,2,42	FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,46	FITEM,2,98
FITEM,2,54	FITEM,2,-99
ASKIN,P51X	LCOMB,P51X, ,0
/PNUM,KP,0	FLST,2,2,4,ORDE,2
/PNUM,LINE,0	FITEM,2,104
/PNUM,AREA,0	FITEM,2,-105
/PNUM,VOLU,0	LCOMB,P51X, ,0
/PNUM,NODE,0	FLST,2,2,4,ORDE,2
/PNUM,TABN,0	FITEM,2,102
/PNUM,SVAL,0	FITEM,2,-103
/NUMBER,0	LCOMB,P51X, ,0
SAVE	FLST,2,5,4
FINISH	FITEM,2,70
! /EXIT,ALL	FITEM,2,76
/BATCH	FITEM,2,96
/COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418	FITEM,2,100
/input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1	FITEM,2,104
/GRA,POWER	ASKIN,P51X
/GST,ON	FLST,2,5,4
/PLO,INFO,3	FITEM,2,72
/COL,PBAK,ON,1,BLUE	FITEM,2,74
RESUME	FITEM,2,92
/PREP7	FITEM,2,98
FLST,2,4,5,ORDE,2	FITEM,2,102
FITEM,2,9	ASKIN,P51X
FITEM,2,-12	FINISH
ADELE,P51X	! /EXIT,NOSAV
LDELE, 49	/BATCH
LDELE, 50	/COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418
LDELE, 51	/input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1
LDELE, 52	/GRA,POWER
FLST,3,4,4,ORDE,2	/GST,ON
FITEM,3,37	/PLO,INFO,3
FITEM,3,-40	/COL,PBAK,ON,1,BLUE
LGEN, ,P51X, , ,0,0,-.02, , ,1	RESUME
/PNUM,KP,0	/PREP7
/PNUM,LINE,1	wpoff,0,0,.1069
/PNUM,AREA,0	wprot,0,-25,0
/PNUM,VOLU,0	CYL4,0,0,.1
/PNUM,NODE,0	wpoff,0,0,.1235
/PNUM,TABN,0	wprot,0,-17,0

/PNUM,SVAL,0	CYL4,0,0,.1
/NUMBER,0	wpoff,0,0,.1272
FLST,2,5,4	wprot,0,-22,0
FITEM,2,25	CYL4,0,0,.1
FITEM,2,37	wpoff,0,0,.1020
FITEM,2,41	wprot,0,-26,0
FITEM,2,45	CYL4,0,0,.1
FITEM,2,53	FLST,2,4,5,ORDE,4
ASKIN,P51X	FITEM,2,25
FLST,2,5,4	FITEM,2,-26
FITEM,2,26	FITEM,2,28
FITEM,2,38	FITEM,2,30
FITEM,2,42	ADELE,P51X
FITEM,2,46	FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,54	FITEM,2,76
ASKIN,P51X	FITEM,2,91
FLST,2,5,4	LCOMB,P51X, ,0
FITEM,2,27	FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,39	FITEM,2,74
FITEM,2,43	FITEM,2,-75
FITEM,2,47	LCOMB,P51X, ,0
FITEM,2,55	FLST,2,2,4,ORDE,2
ASKIN,P51X	FITEM,2,96
FLST,2,5,4	FITEM,2,-97
FITEM,2,28	LCOMB,P51X, ,0
FITEM,2,40	FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,44	FITEM,2,92
FITEM,2,48	FITEM,2,-93
FITEM,2,56	LCOMB,P51X, ,0
ASKIN,P51X	FLST,2,2,4,ORDE,2
/PNUM,KP,0	FITEM,2,100
/PNUM,LINE,0	FITEM,2,-101
/PNUM,AREA,0	LCOMB,P51X, ,0
/PNUM,VOLU,0	FLST,2,2,4,ORDE,2
/PNUM,NODE,0	FITEM,2,98
/PNUM,TABN,0	FITEM,2,-99
/PNUM,SVAL,0	LCOMB,P51X, ,0
/NUMBER,0	FLST,2,2,4,ORDE,2
FLST,2,4,5,ORDE,2	FITEM,2,104
FITEM,2,9	FITEM,2,-105
FITEM,2,-12	LCOMB,P51X, ,0
ADELE,P51X	FLST,2,2,4,ORDE,2
FLST,2,3,4,ORDE,3	FITEM,2,102
FITEM,2,49	FITEM,2,-103
FITEM,2,51	LCOMB,P51X, ,0
FITEM,2,-52	FLST,2,5,4
LDELE,P51X	FITEM,2,70
LDELE, 50	FITEM,2,76
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,2,96
FITEM,3,37	FITEM,2,100
FITEM,3,-40	FITEM,2,104
LGEN, ,P51X, , ,0,0,0.01, , ,1	ASKIN,P51X
FLST,2,5,4	FLST,2,5,4
FITEM,2,28	FITEM,2,72
FITEM,2,40	FITEM,2,74
FITEM,2,44	FITEM,2,92
FITEM,2,48	FITEM,2,98
FITEM,2,56	FITEM,2,102
ASKIN,P51X	ASKIN,P51X
ADELE, 9	ADELE, 25
FLST,2,2,4,ORDE,2	ADELE, 26
FITEM,2,49	LDELE, 91
FITEM,2,-50	LDELE, 75
LDELE,P51X	FLST,3,8,4,ORDE,8
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,3,74
FITEM,3,37	FITEM,3,76
FITEM,3,-40	FITEM,3,92

LGEN, ,P51X, , ,0,0,0.005, , ,1	FITEM,3,96
FLST,2,5,4	FITEM,3,98
FITEM,2,28	FITEM,3,100
FITEM,2,40	FITEM,3,102
FITEM,2,44	FITEM,3,104
FITEM,2,48	LGEN, ,P51X, , ,0,0.05,0, , ,1
FITEM,2,56	FLST,3,8,4,ORDE,8
ASKIN,P51X	FITEM,3,74
ADELE, 9	FITEM,3,76
LDELE, 50	FITEM,3,92
LDELE, 49	FITEM,3,96
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,3,98
FITEM,3,37	FITEM,3,100
FITEM,3,-40	FITEM,3,102
LGEN, ,P51X, , ,0,0,-0.002, , ,1	FITEM,3,104
FLST,2,5,4	LGEN, ,P51X, , ,0,-0.05,0, , ,1
FITEM,2,28	FLST,3,8,4,ORDE,8
FITEM,2,40	FITEM,3,74
FITEM,2,44	FITEM,3,76
FITEM,2,48	FITEM,3,92
FITEM,2,56	FITEM,3,96
ASKIN,P51X	FITEM,3,98
ADELE, 9	FITEM,3,100
FLST,2,2,4,ORDE,2	FITEM,3,102
FITEM,2,49	FITEM,3,104
FITEM,2,-50	LGEN, ,P51X, , ,0,0,0.05, , ,1
LDELE,P51X	FLST,3,8,4,ORDE,8
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,3,74
FITEM,3,37	FITEM,3,76
FITEM,3,-40	FITEM,3,92
LGEN, ,P51X, , ,0,0,-0.002, , ,1	FITEM,3,96
FLST,2,5,4	FITEM,3,98
FITEM,2,28	FITEM,3,100
FITEM,2,40	FITEM,3,102
FITEM,2,44	FITEM,3,104
FITEM,2,48	LGEN, ,P51X, , ,0,0,-0.05, , ,1
FITEM,2,56	FLST,3,8,4,ORDE,8
ASKIN,P51X	FITEM,3,74
ADELE, 9	FITEM,3,76
FLST,2,2,4,ORDE,2	FITEM,3,92
FITEM,2,49	FITEM,3,96
FITEM,2,-50	FITEM,3,98
LDELE,P51X	FITEM,3,100
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,3,102
FITEM,3,37	FITEM,3,104
FITEM,3,-40	LGEN, ,P51X, , ,0,0,-0.01, , ,1
LGEN, ,P51X, , ,0,0,0.009, , ,1	FLST,3,8,4,ORDE,8
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,3,74
FITEM,3,37	FITEM,3,76
FITEM,3,-40	FITEM,3,92
LGEN, ,P51X, , ,0,0.002,0, , ,1	FITEM,3,96
FLST,2,5,4	FITEM,3,98
FITEM,2,28	FITEM,3,100
FITEM,2,40	FITEM,3,102
FITEM,2,44	FITEM,3,104
FITEM,2,48	LGEN, ,P51X, , ,0,0,-0.01, , ,1
FITEM,2,56	FLST,3,8,4,ORDE,8
ASKIN,P51X	FITEM,3,74
ADELE, 9	FITEM,3,76
FLST,2,2,4,ORDE,2	FITEM,3,92
FITEM,2,49	FITEM,3,96
FITEM,2,-50	FITEM,3,98
LDELE,P51X	FITEM,3,100
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,3,102
FITEM,3,37	FITEM,3,104
FITEM,3,-40	LGEN, ,P51X, , ,0,0,-0.01, , ,1
LGEN, ,P51X, , ,0,0.001,0, , ,1	FLST,3,8,4,ORDE,8

FLST,2,5,4	FITEM,3,74
FITEM,2,28	FITEM,3,76
FITEM,2,40	FITEM,3,92
FITEM,2,44	FITEM,3,96
FITEM,2,48	FITEM,3,98
FITEM,2,56	FITEM,3,100
ASKIN,P51X	FITEM,3,102
ADELE, 9	FITEM,3,104
FLST,2,2,4,ORDE,2	LGEN, ,P51X, , ,0,0,-0.02, , ,1
FITEM,2,49	FLST,3,8,4,ORDE,8
FITEM,2,-50	FITEM,3,74
LDELE,P51X	FITEM,3,76
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,3,92
FITEM,3,37	FITEM,3,96
FITEM,3,-40	FITEM,3,98
LGEN, ,P51X, , ,0,0.001,0, , ,1	FITEM,3,100
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,3,102
FITEM,3,37	FITEM,3,104
FITEM,3,-40	LGEN, ,P51X, , ,0,0,-0.05, , ,1
LGEN, ,P51X, , ,0,0.001,0, , ,1	FLST,2,2,4,ORDE,2
FLST,2,5,4	FITEM,2,74
FITEM,2,28	FITEM,2,76
FITEM,2,40	LDELE,P51X
FITEM,2,44	FLST,3,6,4,ORDE,6
FITEM,2,48	FITEM,3,92
FITEM,2,56	FITEM,3,96
ASKIN,P51X	FITEM,3,98
ADELE, 9	FITEM,3,100
FLST,2,2,4,ORDE,2	FITEM,3,102
FITEM,2,49	FITEM,3,104
FITEM,2,-50	LGEN, ,P51X, , ,0,0,0.05, , ,1
LDELE,P51X	FLST,2,4,4
FLST,3,4,4,ORDE,2	FITEM,2,70
FITEM,3,37	FITEM,2,96
FITEM,3,-40	FITEM,2,100
LGEN, ,P51X, , ,0,0.001,0, , ,1	FITEM,2,104
FLST,3,4,4,ORDE,2	ASKIN,P51X
FITEM,3,37	FLST,2,4,4
FITEM,3,-40	FITEM,2,72
LGEN, ,P51X, , ,0,0.001,0, , ,1	FITEM,2,92
FLST,2,5,4	FITEM,2,98
FITEM,2,28	FITEM,2,102
FITEM,2,40	ASKIN,P51X
FITEM,2,44	SAVE
FITEM,2,48	/PNUM,KP,0
FITEM,2,56	/PNUM,LINE,0
ASKIN,P51X	/PNUM,AREA,1
/PNUM,KP,0	/PNUM,VOLU,0
/PNUM,LINE,1	/PNUM,NODE,0
/PNUM,AREA,0	/PNUM,TABN,0
/PNUM,VOLU,0	/PNUM,SVAL,0
/PNUM,NODE,0	/NUMBER,0
/PNUM,TABN,0	WPSTYLE,,,,,,,,,0
/PNUM,SVAL,0	KPLOT
/NUMBER,0	/PNUM,KP,0
FLST,2,5,4	/PNUM,LINE,1
FITEM,2,25	/PNUM,AREA,0
FITEM,2,37	/PNUM,VOLU,0
FITEM,2,43	/PNUM,NODE,0
FITEM,2,47	/PNUM,TABN,0
FITEM,2,55	/PNUM,SVAL,0
ASKIN,P51X	/NUMBER,0
FLST,2,5,4	/PNUM,KP,0
FITEM,2,26	/PNUM,LINE,0
FITEM,2,38	/PNUM,AREA,0
FITEM,2,42	/PNUM,VOLU,0
FITEM,2,46	/PNUM,NODE,0

FITEM,2,54	/PNUM,TABN,0
ASKIN,P51X	/PNUM,SVAL,0
FLST,2,5,4	/NUMBER,0
FITEM,2,27	ESIZE,0,10,
FITEM,2,39	SMRT,6
FITEM,2,43	SMRT,5
FITEM,2,47	MSHAPE,0,2D
FITEM,2,55	MSHKEY,0
ASKIN,P51X	FLST,5,28,5,ORDE,3
FINISH	FITEM,5,1
/SOLU	FITEM,5,-27
FINISH	FITEM,5,29
/PREP7	CM,_Y,AREA
ADELE, 10	ASEL,,,P51X
FLST,2,3,5,ORDE,3	CM,_Y1,AREA
FITEM,2,9	CHKMSH,'AREA'
FITEM,2,11	CMSEL,S,_Y
FITEM,2,-12	SAVE
ADELE,P51X	/PREP7
FLST,2,2,4,ORDE,2	FLST,2,2,4
FITEM,2,52	FITEM,2,104
FITEM,2,57	FITEM,2,102
LDELE,P51X	AL,P51X
FLST,2,2,4,ORDE,2	FLST,2,4,4
FITEM,2,50	FITEM,2,2
FITEM,2,-51	FITEM,2,1
LDELE,P51X	FITEM,2,4
FLST,2,2,4,ORDE,2	FITEM,2,3
FITEM,2,49	AL,P51X
FITEM,2,58	FLST,2,30,5,ORDE,2
LDELE,P51X	FITEM,2,1
LDELE, 59	FITEM,2,-30
FLST,2,5,4	VA,P51X
FITEM,2,25	SMRT,4
FITEM,2,37	FLST,5,24,4,ORDE,2
FITEM,2,41	FITEM,5,1
FITEM,2,45	FITEM,5,-24
FITEM,2,53	CM,_Y,LINE
ASKIN,P51X	LSEL,,,P51X
FLST,2,5,4	CM,_Y1,LINE
FITEM,2,26	CMSEL,,_Y
FITEM,2,38	/UI,MESH,OFF
FITEM,2,42	FLST,5,16,4,ORDE,2
FITEM,2,46	FITEM,5,9
FITEM,2,54	FITEM,5,-24
ASKIN,P51X	CM,_Y,LINE
FLST,2,5,4	LSEL,,,P51X
FITEM,2,27	CM,_Y1,LINE
FITEM,2,39	CMSEL,,_Y
FITEM,2,43	LESIZE,_Y1,,25,,,,,1
FITEM,2,47	FLST,5,8,4,ORDE,2
FITEM,2,55	FITEM,5,1
ASKIN,P51X	FITEM,5,-8
FLST,2,5,4	CM,_Y,LINE
FITEM,2,28	LSEL,,,P51X
FITEM,2,40	CM,_Y1,LINE
FITEM,2,44	CMSEL,,_Y
FITEM,2,48	LESIZE,_Y1,,20,,,,,1
FITEM,2,56	FLST,5,4,4,ORDE,2
ASKIN,P51X	FITEM,5,29
/PNUM,KP,0	FITEM,5,-32
/PNUM,LINE,0	CM,_Y,LINE
/PNUM,AREA,0	LSEL,,,P51X
/PNUM,VOLU,0	CM,_Y1,LINE
/PNUM,NODE,0	CMSEL,,_Y
/PNUM,TABN,0	LESIZE,_Y1,,25,,,,,1
/PNUM,SVAL,0	FLST,5,4,4,ORDE,2

/NUMBER,0	FITEM,5,29
SAVE	FITEM,5,-32
FINISH	CM,_Y,LINE
! /EXIT,ALL	LSEL,, , ,P51X
/BATCH	CM,_Y1,LINE
/COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418	CMSEL,,_Y
/input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1	LESIZE,_Y1, , ,30, , , ,1
/GRA,POWER	FLST,5,4,4,ORDE,2
/GST,ON	FITEM,5,33
/PLO,INFO,3	FITEM,5,-36
/COL,PBAK,ON,1,BLUE	CM,_Y,LINE
RESUME	LSEL,, , ,P51X
/PREP7	CM,_Y1,LINE
CYL4,0,0,.0725, , , ,1	CMSEL,,_Y
wpoff,0,0,.1	LESIZE,_Y1, , ,8, , , ,1
CYL4,0,0,.1, , , ,2	FLST,5,28,4,ORDE,6
wpoff,0,0,.15	FITEM,5,25
wpro,15.000000,,	FITEM,5,-28
wpro,-15.000000,,	FITEM,5,37
wpro,-15.000000,,	FITEM,5,-56
wpro,-15.000000,,	FITEM,5,61
wpro,-15.000000,,	FITEM,5,-64
wpro,15.000000,,	CM,_Y,LINE
wpro,15.000000,,	LSEL,, , ,P51X
wpro,15.000000,,	CM,_Y1,LINE
wpro,-15.000000,,	CMSEL,,_Y
wpro,-15.000000,,	LESIZE,_Y1, , ,25, , , ,1
wpro,-15.000000,,	FLST,5,6,4,ORDE,4
wpoff,-.35,.0615,0	FITEM,5,57
wpoff,.35,-.0615,0	FITEM,5,-60
wpro,-1.000000,,	FITEM,5,89
wpro,1.000000,,	FITEM,5,-90
wpro,1.000000,,	CM,_Y,LINE
wpro,1.000000,,	LSEL,, , ,P51X
wpro,1.000000,,	CM,_Y1,LINE
wpoff,-.35,.0615,0	CMSEL,,_Y
BLOCK,-.5,.5,-.5,.5,0,1,	LESIZE,_Y1, , ,15, , , ,1
wpoff,.35,-.0615,0	FLST,5,17,4,ORDE,4
ASBV, 21, 2	FITEM,5,65
VDELE, 3	FITEM,5,-69
wpro,-1.000000,,	FITEM,5,77
wpro,-1.000000,,	FITEM,5,-88
wpro,15.000000,,	CM,_Y,LINE
wpro,15.000000,,	LSEL,, , ,P51X
wpro,15.000000,,	CM,_Y1,LINE
ADELE, 21	CMSEL,,_Y
ADELE, 22	LESIZE,_Y1, , ,15, , , ,1
wpoff,0,0,-.15	FLST,5,14,4,ORDE,9
wpoff,0,0,.15	FITEM,5,70
wpoff,0,0,-.15	FITEM,5,-75
wpoff,0,0,-.15	FITEM,5,92
wpoff,0,0,-.1	FITEM,5,94
VDELE, 1, , ,1	FITEM,5,-96
wpoff,0,0,.1	FITEM,5,98
CYL4,0,0,.0725, , , ,1	FITEM,5,100
ADELE, 12	FITEM,5,102
ADELE, 9	FITEM,5,104
ADELE, 10	CM,_Y,LINE
ADELE, 11	LSEL,, , ,P51X
FLST,2,2,4,ORDE,2	CM,_Y1,LINE
FITEM,2,50	CMSEL,,_Y
FITEM,2,-51	LESIZE,_Y1, , ,13, , , ,1
LDELE,P51X	MSHAPE,0,3D
FLST,2,2,4,ORDE,2	MSHKEY,1
FITEM,2,49	CM,_Y,VOLU
FITEM,2,52	VSEL, , , , 1
LDELE,P51X	CM,_Y1,VOLU

/PNUM,KP,0	CHKMSH,'VOLU'
/PNUM,LINE,1	CMSEL,S,_Y
/PNUM,AREA,0	VMESH,_Y1
/PNUM,VOLU,0	CMDELE,_Y
/PNUM,NODE,0	CMDELE,_Y1
/PNUM,TABN,0	CMDELE,_Y2
/PNUM,SVAL,0	MSHAPE,1,3D
/NUMBER,0	MSHKEY,0
FLST,2,6,4	CM,_Y,VOLU
FITEM,2,28	VSEL,, , , 1
FITEM,2,40	CM,_Y1,VOLU
FITEM,2,44	CHKMSH,'VOLU'
FITEM,2,48	CMSEL,S,_Y
FITEM,2,56	VMESH,_Y1
FITEM,2,61	CMDELE,_Y
ASKIN,P51X	CMDELE,_Y1
FLST,2,6,4	CMDELE,_Y2
FITEM,2,27	NPLOT
FITEM,2,39	/UI,MESH,OFF
FITEM,2,43	/SOLU
FITEM,2,47	FLST,5,1,5,ORDE,1
FITEM,2,55	FITEM,5,28
FITEM,2,62	CM,_Y,AREA
ASKIN,P51X	ASEL,R, , ,P51X
FLST,2,6,4	CM,_Y1,AREA
FITEM,2,26	CMSEL,S,_Y
FITEM,2,38	CMDELE,_Y
FITEM,2,42	DA,_Y1,VX,38.83,1
FITEM,2,46	DA,_Y1,VY,0,1
FITEM,2,54	DA,_Y1,VZ,0,1
FITEM,2,63	CMDELE,_Y1
ASKIN,P51X	FLST,5,28,5,ORDE,3
FLST,2,6,4	FITEM,5,1
FITEM,2,25	FITEM,5,-27
FITEM,2,37	FITEM,5,29
FITEM,2,41	CM,_Y,AREA
FITEM,2,45	CM,_Y1,AREA
FITEM,2,53	CMSEL,S,_Y
FITEM,2,64	CMDELE,_Y
ASKIN,P51X	DA,_Y1,VX,0,1
/PNUM,KP,0	DA,_Y1,VY,0,1
/PNUM,LINE,0	DA,_Y1,VZ,0,1
/PNUM,AREA,0	CMDELE,_Y1
/PNUM,VOLU,0	FLST,5,1,5,ORDE,1
/PNUM,NODE,0	FITEM,5,30
/PNUM,TABN,0	CM,_Y,AREA
/PNUM,SVAL,0	ASEL,R, , ,P51X
/NUMBER,0	CM,_Y1,AREA
WPSTYLE,,,,,,,,,0	CMSEL,S,_Y
FLST,2,2,4,ORDE,2	CMDELE,_Y
FITEM,2,57	/GO
FITEM,2,-58	DA,_Y1,PRES,0,1
LCOMB,P51X, ,0	CMDELE,_Y1
FLST,2,2,4,ORDE,2	FINISH
FITEM,2,59	/BATCH
FITEM,2,-60	/COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418
LCOMB,P51X, ,0	/input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1
FLST,2,2,4	/GRA,POWER
FITEM,2,57	/GST,ON
FITEM,2,89	/PLO,INFO,3
ASKIN,P51X	/SOLU
FLST,2,2,4	FLDATA1,SOLU,TRAN,0
FITEM,2,59	FLDATA1,SOLU,FLOW,1
FITEM,2,90	FLDATA1,SOLU,TEMP,0
ASKIN,P51X	FLDATA1,SOLU,TURB,1
SAVE	FLDATA1,SOLU,COMP,0
FINISH	FLDATA1,SOLU,VOF,0

<pre> ! /EXIT,ALL /BATCH /COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418 /input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1 /GRA,POWER /GST,ON /PLO,INFO,3 /COL,PBAK,ON,1,BLUE RESUME /PREP7 wpoff,0,0,.15 wpro,1.000000,, wpro,1.000000,, wpro,-15.000000,, wpro,-15.000000,, wpro,-15.000000,, wpoff,-.35,.0615,0 wpoff,-.5,0,0 wpoff,-.5,0,0 FLST,3,1,8 FITEM,3,-1.0773199799,0.471904910584,0.131628278914 K, ,P51X LSTR, 62, 46 LDELE, 65 KDIST, 63, 61 KDIST, 61, 46 KDIST, 46, 2 LSTR, 62, 46 LSTR, 46, 61 FLST,2,3,4 FITEM,2,77 FITEM,2,65 FITEM,2,66 AL,P51X wpoff,0,0,.1 wpoff,0,0,-.1 wpoff,0,0,1 FLST,3,1,8 FITEM,3,-1.0773199799,1.47190491058,0.131628278914 K, ,P51X LSTR, 68, 48 LSTR, 48, 65 ADELE, 25 LSTR, 48, 46 FLST,2,4,4 FITEM,2,88 FITEM,2,67 FITEM,2,69 FITEM,2,66 AL,P51X FLST,2,4,4 FITEM,2,65 FITEM,2,68 FITEM,2,85 FITEM,2,69 AL,P51X FLST,2,3,4 FITEM,2,84 FITEM,2,68 FITEM,2,67 AL,P51X FLST,2,4,4 FITEM,2,82 FITEM,2,81 FITEM,2,84 FITEM,2,83 AL,P51X </pre>	<pre> FLDATA1,SOLU,SFTS,0 FLDATA1,SOLU,IVSH,0 FLDATA1,SOLU,SWRL,0 FLDATA1,SOLU,SPEC,0 FLDATA1,SOLU,ALE,0 !* /COM,,Steady State Analysis,0 FLDATA2,ITER,EXEC,2400, FLDATA2,ITER,OVER,0, FLDATA2,ITER,APPE,0, FLDATA3,TERM,VX,0.01, FLDATA3,TERM,VY,0.01, FLDATA3,TERM,VZ,0.01, FLDATA3,TERM,PRES,1e-008, FLDATA3,TERM,TEMP,1e-008, FLDATA3,TERM,ENKE,0.01, FLDATA3,TERM,ENDS,0.01, FLDATA5,OUTP,SUMF,1200, !* FLDATA12,PROP,DENS,4 FLDATA13,VARY,DENS,0 FLDATA12,PROP,VISC,4 FLDATA13,VARY,VISC,0 FLDATA12,PROP,COND,4 FLDATA13,VARY,COND,0 FLDATA12,PROP,SPHT,4 FLDATA13,VARY,SPHT,0 !* FLDATA7,PROT,DENS,AIR-SI FLDATA8,NOMI,DENS,-1 FLDATA9,COF1,DENS,0 FLDATA10,COF2,DENS,0 FLDATA11,COF3,DENS,0 FLDATA7,PROT,VISC,AIR-SI FLDATA8,NOMI,VISC,-1 FLDATA9,COF1,VISC,0 FLDATA10,COF2,VISC,0 FLDATA11,COF3,VISC,0 FLDATA12,PROP,IVIS FLDATA7,PROT,COND,AIR-SI FLDATA8,NOMI,COND,-1 FLDATA9,COF1,COND,0 FLDATA10,COF2,COND,0 FLDATA11,COF3,COND,0 FLDATA7,PROT,SPHT,AIR-SI FLDATA8,NOMI,SPHT,-1 FLDATA9,COF1,SPHT,0 FLDATA10,COF2,SPHT,0 FLDATA11,COF3,SPHT,0 !* FLDATA26,STAB,MOME,1.000E-07, FLDATA26,STAB,PRES,1.000E-07, FLDATA26,STAB,TEMP,1.000E-07, FLDATA26,STAB,TURB,1.000E-07, FLDATA26,STAB,VISC,0, !* FLDATA34,MIR,MOME,0.01, FLDATA34,MIR,TEMP,0.01, FLDATA34,MIR,TURB,0.01, !* FLDATA25,RELX,VX,0.3, FLDATA25,RELX,VY,0.3, FLDATA25,RELX,VZ,0.3, FLDATA25,RELX,PRES,0.3, FLDATA25,RELX,TEMP,0.8, FLDATA25,RELX,ENKE,0.3, FLDATA25,RELX,ENDS,0.3, </pre>
---	--

<pre> SAVE wpoft,0,0,-1 wpoft,.5,0,0 wpoft,1,-.1835,.67 SAVE FINISH ! /EXIT,ALL /BATCH /COM,ANSYS RELEASE 5.7.1 UP20010418 /input,menust,tmp ,,,,,,,,,,,,,,1 /GRA,POWER /GST,ON /PLO,INFO,3 </pre>	<pre> !* FLDATA25,RELX,DENS,0.3, FLDATA25,RELX,SPHT,0.6, FLDATA25,RELX,VISC,0.3, FLDATA25,RELX,COND,0.3, FLDATA25,RELX,EVIS,0.3, FLDATA25,RELX,ECON,0.3, !* FLDATA18,METH,PRES,1 FLDATA19,TDMA,PRES,100, SOLVE FINISH </pre>
--	--

Apêndice 2a - Sistema para Análises Estatísticas

DESCRIÇÃO DO ARQUIVO

Tipo de Leitura - Microsoft Excel
 Observações Gravadas... 600
 Variáveis Totais..... 12
 Valores Perdidos..... 0

Variáveis	Mínimos	Máximos	Perdidos	Válidos
UMI (TEOR DE ÁGUA)	1.000000	3.000000	0	600
REP (REPETIÇÃO)	1.000000	200.0000	0	600
DIA (DIMENSÃO A)	1.010000	1.580000	0	600
DIB (DIMENSÃO B)	0.7300000	1.355000	0	600
DIC (DIMENSÃO C)	0.7000000	1.250000	0	600
PES (MASSA)	0.9000000E-01	1.290000	0	600
VOL (VOLUME)	0.2944678	1.266455	0	600
MES (MASSA. ESP. REAL CAL.)	0.2757375	2.078035	0	600
ESF (ESFERICIDADE)	0.7110761	0.9550601	0	600
CAR (COEF. DE ARRASTO)	0.6493068	1.839949	0	600
APR (ÁREA PROJETADA)	0.5881062	1.472622	0	600
VTC (VELOCIDADE TERM. CAL)	6.157544	21.03151	0	600

Procedimento = Análise para modelos lineares

Objetivo = Análise de variância

Dependentes = DIA DIB DIC PES VOL MES
 ESF CAR APR VTC

Independentes= UMI

Estatísticas Simples

Observações Perdidas = 0
 Observações Válidas = 600

Distribuição dos Dados

Efeito	Identificação	Dados
UMI	1	200
UMI	2	200
UMI	3	200

Nome	Média	Desvio
DIA	1.295842	0.1046530
DIB	1.022423	0.1019575
DIC	0.9046483	0.8117899E-01
PES	0.5778300	0.1693356
VOL	0.6380477	0.1522950
MES	0.9264450	0.2438313
ESF	0.8199339	0.3798923E-01
CAR	1.308722	0.1853875
APR	0.9247996	0.1411616
VTC	14.62003	2.088312

Determinante = 0.7500000E+00

M é d i a s E s t i m a d a s

Variável Dependente	Efeito	Classes	Obser	Médias	Constantes Estimadas	
DIA	Média		600	1.295842	1.295842	0.4269327E-02
DIA	UMI	1	200	1.287100	-0.8741667E-02	0.7394691E-02
DIA	UMI	2	200	1.295600	-0.2416667E-03	0.7394691E-02
DIA	UMI	3	200	1.304825	0.8983333E-02	0.7394691E-02
DIB	Média		600	1.022423	1.022423	0.4106552E-02
DIB	UMI	1	200	1.001245	-0.2117833E-01	0.7112757E-02
DIB	UMI	2	200	1.021650	-0.7733333E-03	0.7112757E-02
DIB	UMI	3	200	1.044375	0.2195167E-01	0.7112757E-02
DIC	Média		600	0.9046483	0.9046483	0.3214678E-02
DIC	UMI	1	200	0.8869450	-0.1770333E-01	0.5567986E-02
DIC	UMI	2	200	0.8940250	-0.1062333E-01	0.5567986E-02
DIC	UMI	3	200	0.9329750	0.2832667E-01	0.5567986E-02
PES	Média		600	0.5778300	0.5778300	0.6315486E-02
PES	UMI	1	200	0.4865000	-0.9133000E-01	0.1093874E-01
PES	UMI	2	200	0.5924000	0.1457000E-01	0.1093874E-01
PES	UMI	3	200	0.6545900	0.7676000E-01	0.1093874E-01
VOL	Média		600	0.6380477	0.6380477	0.6126257E-02
VOL	UMI	1	200	0.6080638	-0.2998398E-01	0.1061099E-01
VOL	UMI	2	200	0.6318414	-0.6206331E-02	0.1061099E-01
VOL	UMI	3	200	0.6742381	0.3619031E-01	0.1061099E-01
MES	Média		600	0.9264450	0.9264450	0.9602502E-02
MES	UMI	1	200	0.8337358	-0.9270919E-01	0.1663202E-01
MES	UMI	2	200	0.9691377	0.4269273E-01	0.1663202E-01
MES	UMI	3	200	0.9764615	0.5001646E-01	0.1663202E-01
ESF	Média		600	0.8199339	0.8199339	0.1524035E-02
ESF	UMI	1	200	0.8132665	-0.6667459E-02	0.2639705E-02
ESF	UMI	2	200	0.8163494	-0.3584524E-02	0.2639705E-02
ESF	UMI	3	200	0.8301859	0.1025198E-01	0.2639705E-02
CAR	Média		600	1.308722	1.308722	0.7437289E-02
CAR	UMI	1	200	1.341260	0.3253720E-01	0.1288176E-01
CAR	UMI	2	200	1.326215	0.1749248E-01	0.1288176E-01
CAR	UMI	3	200	1.258693	-0.5002968E-01	0.1288176E-01
APR	Média		600	0.9247996	0.9247996	0.5679530E-02
APR	UMI	1	200	0.9007396	-0.2406005E-01	0.9837234E-02
APR	UMI	2	200	0.9140324	-0.1076719E-01	0.9837234E-02
APR	UMI	3	200	0.9596269	0.3482724E-01	0.9837234E-02
VTC	Média		600	14.62003	14.62003	0.7811869E-01
VTC	UMI	1	200	13.46559	-1.154441	0.1353055
VTC	UMI	2	200	14.93976	0.3197287	0.1353055
VTC	UMI	3	200	15.45475	0.8347125	0.1353055

A n á l i s e d e V a r i â n c i a

DIA

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	0.3143508E-01	0.1571754E-01	1.437	0.23835
Resíduo	597	6.528965	0.1093629E-01		

Coeficiente de Variação = 8.070
DIB

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	0.1861991	0.9309955E-01	9.201	0.00004
Resíduo	597	6.040603	0.1011826E-01		

Coeficiente de Variação = 9.838

D U N C A N

Variável = DIB (0.1011826E-01)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	200	1.0444	A
2	200	1.0216	B
1	200	1.0012	C

DIC

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	0.2457327	0.1228663	19.816	0.00000
Resíduo	597	3.701694	0.6200493E-02		

Coeficiente de Variação = 8.704

D U N C A N

Variável = DIC (0.6200493E-02)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	200	0.9330	A
2	200	0.8940	B
1	200	0.8869	B

PES

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	2.889110	1.444555	60.363	0.00000
Resíduo	597	14.28694	0.2393122E-01		

Coeficiente de Variação = 26.772

D U N C A N

Variável = PES (0.2393122E-01)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	200	0.6546	A
2	200	0.5924	B
1	200	0.4865	C

VOL

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	0.4494592	0.2247296	9.980	0.00000
Resíduo	597	13.44361	0.2251862E-01		

Coeficiente de Variação = 23.519

D U N C A N

Variável = VOL (0.2251861E-01)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	200	0.6742	A
2	200	0.6318	B
1	200	0.6081	B

MES

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	2.583862	1.291931	23.352	0.00000
Resíduo	597	33.02892	0.5532482E-01		

Coeficiente de Variação = 25.389

D U N C A N

Variável = MES (0.5532483E-01)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	200	0.9765	A
2	200	0.9691	A
1	200	0.8337	B

ESF

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	0.3248140E-01	0.1624070E-01	11.654	0.00000
Resíduo	597	0.8319845	0.1393609E-02		

Coeficiente de Variação = 4.553

D U N C A N

Variável = ESF (0.1393609E-02)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	200	0.8302	A
2	200	0.8163	B
1	200	0.8133	B

CAR

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	0.7735250	0.3867625	11.654	0.00000
Resíduo	597	19.81321	0.3318796E-01		

Coeficiente de Variação = 13.920

D U N C A N

Variável = CAR (0.3318796E-01)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
1	200	1.3413	A
2	200	1.3262	A
3	200	1.2587	B

APR

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	0.3815510	0.1907755	9.857	0.00000
Resíduo	597	11.55448	0.1935423E-01		

Coeficiente de Variação = 15.043

D U N C A N

Variável = APR (0.1935423E-01)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	200	0.9596	A
2	200	0.9140	B
1	200	0.9007	B

VTC

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	426.3412	213.1706	58.219	0.00000
Resíduo	597	2185.926	3.661518		

Coefficiente de Variação = 13.088

D U N C A N

Variável = VTC (3.661518)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	200	15.4547	A
2	200	14.9398	B
1	200	13.4656	C

Apêndice 2b - Sistema para Análises Estatísticas

Procedimento = Análise para modelos lineares

Objetivo = Análise de variância

Dependentes = GRA MES PHE

Independentes= UMI

E s t a t í s t i c a s S i m p l e s

Observações Perdidas = 0

Observações Válidas = 12

D i s t r i b u i ç ã o d o s D a d o s

Efeito	Identificação	Dados
UMI	1	4
UMI	2	4
UMI	3	4

Nome	Média	Desvio
GRA (ÂNGULO DE REPOUSO)	41.45743	1.468915
MES (MASSA ESP. REAL)	0.9025487	0.6545139E-01
PHE (PESO HECTOLITRO)	423.8217	37.82424

Determinante = 0.7500000E+00

M é d i a s E s t i m a d a s

Variável Dependente	Efeito	Classes	Obser.	Médias	Constantes Estimadas	
GRA	Média		12	41.45743	41.45743	0.2653419
GRA	UMI	1	4	39.89830	-1.559125	0.4595856
GRA	UMI	2	4	41.79743	0.3400000	0.4595856
GRA	UMI	3	4	42.67655	1.219125	0.4595856
MES	Média		12	0.9025487	0.9025487	0.1073230E-01
MES	UMI	1	4	0.8284850	-0.7406361E-01	0.1858888E-01
MES	UMI	2	4	0.9247037	0.2215505E-01	0.1858888E-01
MES	UMI	3	4	0.9544572	0.5190856E-01	0.1858888E-01
PHE	Média		12	423.8217	423.8217	0.5078025
PHE	UMI	1	4	375.3150	-48.50667	0.8795398
PHE	UMI	2	4	433.9675	10.14583	0.8795398
PHE	UMI	3	4	462.1825	38.36083	0.8795398

Análise de Variância

GRA

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	16.13095	8.065473	9.546	0.00596
Resíduo	9	7.603882	0.8448758		

Coefficiente de Variação = 2.217

D U N C A N

Variável = GRA (0.8448758)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	4	42.6766	A
2	4	41.7974	A
1	4	39.8983	B

MES

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	0.3468305E-01	0.1734153E-01	12.546	0.00250
Resíduo	9	0.1243968E-01	0.1382186E-02		

Coefficiente de Variação = 4.119

D U N C A N

Variável = MES (0.1382186E-02)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	4	0.9545	A
2	4	0.9247	A
1	4	0.8285	B

PHE

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
UMI	2	15709.55	7854.776	2538.416	0.00000
Resíduo	9	27.84925	3.094361		

Coefficiente de Variação = 0.415

D U N C A N

Variável = PHE (3.094361)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
3	4	462.1825	A
2	4	433.9675	B
1	4	375.3150	C

Apêndice 2c - Sistema para Análises Estatísticas

DESCRIÇÃO DO ARQUIVO

Tipo de Leitura - Microsoft Excel
 Observações Gravadas... 24
 Variáveis Totais..... 4
 Valores Perdidos..... 0

Variáveis	Mínimos	Máximos	Perdidos	Válidos
UMI (TEOR DE ÁGUA)	1.000000	4.000000	0	24
VEL (VELOCIDADE)	1.000000	2.000000	0	24
REP (REPETIÇÃO)	1.000000	3.000000	0	24
TEM (TEMPO)	73.50000	133.6000	0	24

Procedimento = Arranjos Fatoriais

Objetivo = Análise de Variância para dados balanceados

Dependentes = TEM

Efeitos = REP VEL UMI

Valores Observados

UMI = 1 2 3 4

VEL = 1 2

REP = 1 2 3

TEM

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	23	20100.44			
Total de Redução	7	20097.01	2871.001	*****	0.0000
UMI	3	3.599633	1.199878	5.59	0.0081
VEL	1	20090.15	20090.15	*****	0.0000
VEL*UMI	3	3.256883	1.085628	5.05	0.0119
Resíduo	16	3.436267	0.2147667		

Número de Dados = 24

Média Geral = 103.54

Coef. de Variação = 0.44759

D U N C A N

Variável = TEM (0.2147667)

UMI	Dados	Médias	Comparações 5%
4	6	103.9250	A
2	6	103.8533	A
1	6	103.4167	A B
3	6	102.9583	B

D U N C A N

Variável = TEM (0.2147667)

Interação VEL xUMI Comparações 5%

UMI	1	2
1	132.87 A	73.97 B
2	132.80 A	74.91 B
3	131.37 A	74.55 B
4	132.85 A	75.00 B

D U N C A N

Variável = TEM (0.2147667)

Interação UMI xVEL Comparações 5%

VEL	1	2	3	4
1	132.87 A	132.80 A	131.37 B	132.85 A
2	73.97 B	74.91 A	74.55 AB	75.00 A

Apêndice 3a - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 41,07% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
1	1,320	1,265	1,020	1,100	0,892	1,233	0,905	0,895	1,057	19,271
2	1,290	1,035	0,910	0,520	0,636	0,817	0,827	1,273	0,922	13,837
3	1,420	0,995	0,890	0,523	0,658	0,794	0,760	1,601	0,993	13,589
4	1,335	1,065	0,950	0,640	0,707	0,905	0,828	1,269	0,996	15,093
5	1,360	1,170	0,940	0,750	0,783	0,958	0,841	1,206	1,004	15,991
6	1,210	1,025	0,920	0,730	0,597	1,222	0,864	1,096	0,874	17,314
7	1,280	1,120	1,105	0,780	0,829	0,940	0,911	0,866	1,111	16,200
8	1,340	1,000	0,895	0,510	0,628	0,812	0,793	1,441	0,942	13,680
9	1,340	1,050	0,910	0,560	0,670	0,835	0,810	1,355	0,958	14,167
10	1,355	1,070	0,950	0,890	0,721	1,234	0,821	1,303	1,011	18,180
11	1,445	1,150	1,085	1,050	0,944	1,112	0,842	1,200	1,231	18,369
12	1,210	1,085	0,775	0,440	0,533	0,826	0,831	1,254	0,737	13,220
13	1,290	1,100	0,995	0,840	0,739	1,136	0,870	1,066	1,008	17,521
14	1,285	1,040	0,965	0,750	0,675	1,111	0,847	1,176	0,974	16,868
15	1,400	1,100	0,995	0,700	0,802	0,872	0,823	1,291	1,094	15,246
16	1,360	1,070	1,020	0,880	0,777	1,132	0,839	1,217	1,090	17,666
17	1,280	1,100	0,850	0,610	0,627	0,973	0,829	1,262	0,855	15,220
18	1,285	1,000	0,865	0,510	0,582	0,876	0,806	1,376	0,873	14,050
19	1,265	0,905	0,840	0,640	0,504	1,271	0,780	1,502	0,835	16,801
20	1,300	1,030	0,910	0,510	0,638	0,799	0,822	1,301	0,929	13,659
21	1,400	1,030	0,940	0,810	0,710	1,141	0,791	1,452	1,034	17,228
22	1,200	0,980	0,905	0,480	0,557	0,861	0,851	1,158	0,853	13,845
23	1,250	1,040	0,970	0,590	0,660	0,894	0,864	1,092	0,952	14,787
24	1,250	0,950	0,900	0,560	0,560	1,001	0,818	1,319	0,884	15,083
25	1,400	1,075	0,980	0,720	0,772	0,932	0,813	1,342	1,078	15,681
26	1,320	1,070	0,940	0,640	0,695	0,921	0,833	1,247	0,975	15,184
27	1,375	1,065	0,960	0,710	0,736	0,965	0,815	1,334	1,037	15,805
28	1,415	1,195	1,130	1,120	1,000	1,119	0,877	1,030	1,256	18,771
29	1,240	0,870	0,785	0,490	0,443	1,105	0,763	1,587	0,765	14,936
30	1,300	1,015	0,940	0,730	0,649	1,124	0,826	1,277	0,960	16,781
31	1,340	1,000	0,910	0,550	0,638	0,861	0,797	1,419	0,958	14,234
32	1,320	0,870	0,810	0,460	0,487	0,944	0,740	1,701	0,840	13,887
33	1,370	1,065	1,020	0,580	0,779	0,744	0,833	1,243	1,098	13,811
34	1,295	0,995	0,920	0,540	0,621	0,870	0,817	1,322	0,936	14,257
35	1,240	0,980	0,890	0,470	0,566	0,830	0,828	1,270	0,867	13,565
36	1,300	0,800	0,760	0,860	0,414	2,078	0,711	1,839	0,776	21,032
37	1,220	0,935	0,845	0,570	0,505	1,129	0,810	1,359	0,810	15,749
38	1,450	1,030	0,900	0,760	0,704	1,080	0,761	1,596	1,025	16,547
39	1,415	1,150	1,110	0,970	0,946	1,026	0,861	1,110	1,234	17,558
40	1,275	1,060	0,900	0,570	0,637	0,895	0,837	1,224	0,901	14,603
41	1,200	0,830	0,765	0,560	0,399	1,404	0,761	1,596	0,721	16,732
42	1,425	1,130	0,970	0,600	0,818	0,734	0,814	1,337	1,086	13,808
43	1,180	0,945	0,870	0,580	0,508	1,142	0,839	1,216	0,806	15,937
44	1,220	1,110	0,850	0,550	0,603	0,913	0,859	1,118	0,814	14,548
45	1,300	1,060	0,855	0,490	0,617	0,794	0,812	1,345	0,873	13,446
46	1,270	0,980	0,930	0,510	0,606	0,842	0,827	1,276	0,928	13,917
47	1,250	0,900	0,875	0,660	0,515	1,281	0,796	1,426	0,859	17,022
48	1,445	1,000	0,930	0,590	0,704	0,838	0,764	1,583	1,055	14,282
49	1,210	0,970	0,910	0,640	0,559	1,144	0,845	1,187	0,865	16,365
50	1,500	1,245	1,130	1,240	1,105	1,122	0,855	1,137	1,331	19,232
51	1,370	1,045	0,890	0,550	0,667	0,824	0,791	1,448	0,958	13,996
52	1,480	1,335	1,135	1,110	1,174	0,945	0,884	0,994	1,319	17,678

Continua...

Apêndice 3a - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 41,07% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora (continua)

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
53	1,260	1,035	0,950	0,480	0,649	0,740	0,852	1,150	0,940	13,160
54	1,235	1,000	0,845	0,480	0,546	0,878	0,821	1,302	0,820	13,868
55	1,250	0,990	0,905	0,560	0,586	0,955	0,831	1,256	0,888	14,866
56	1,320	1,015	0,940	0,590	0,659	0,895	0,818	1,318	0,975	14,719
57	1,205	1,090	0,920	0,560	0,633	0,885	0,884	0,996	0,871	14,542
58	1,345	1,140	0,975	0,650	0,783	0,830	0,850	1,161	1,030	14,745
59	1,260	1,080	0,915	0,570	0,652	0,874	0,854	1,143	0,905	14,513
60	1,400	1,085	1,000	0,840	0,795	1,056	0,821	1,303	1,100	17,018
61	1,200	0,930	0,830	0,470	0,485	0,969	0,812	1,346	0,782	14,254
62	1,320	1,045	0,925	0,730	0,668	1,093	0,822	1,300	0,959	16,603
63	1,170	0,965	0,870	0,520	0,514	1,011	0,850	1,164	0,799	14,898
64	1,400	1,130	1,020	0,980	0,845	1,160	0,838	1,222	1,122	18,287
65	1,300	1,125	1,000	0,720	0,766	0,940	0,873	1,049	1,021	15,818
66	1,280	1,035	0,900	0,530	0,624	0,849	0,828	1,267	0,905	14,080
67	1,320	1,010	0,975	0,710	0,681	1,043	0,827	1,275	1,011	16,260
68	1,330	1,035	0,940	0,830	0,678	1,225	0,819	1,312	0,982	17,821
69	1,310	1,025	0,900	0,460	0,633	0,727	0,813	1,342	0,926	12,876
70	1,315	1,010	0,920	0,520	0,640	0,813	0,813	1,343	0,950	13,794
71	1,190	0,940	0,815	0,460	0,477	0,964	0,815	1,334	0,762	14,147
72	1,500	1,290	1,250	0,940	1,266	0,742	0,895	0,943	1,473	15,676
73	1,345	1,105	1,065	0,780	0,829	0,941	0,866	1,082	1,125	16,154
74	1,280	1,110	0,940	0,500	0,699	0,715	0,860	1,111	0,945	13,135
75	1,280	1,000	0,920	0,570	0,617	0,924	0,825	1,284	0,925	14,763
76	1,285	1,010	0,930	0,730	0,632	1,155	0,829	1,267	0,939	16,938
77	1,300	1,005	0,930	0,520	0,636	0,817	0,821	1,304	0,950	13,837
78	1,330	0,920	0,900	0,590	0,577	1,023	0,776	1,521	0,940	15,305
79	1,280	0,985	0,885	0,680	0,584	1,164	0,810	1,356	0,890	16,635
80	1,220	0,975	0,835	0,630	0,520	1,211	0,818	1,319	0,800	16,537
81	1,315	1,095	0,960	0,540	0,724	0,746	0,847	1,176	0,991	13,578
82	1,230	0,985	0,885	0,730	0,561	1,300	0,832	1,249	0,855	17,622
83	1,340	1,100	0,935	0,740	0,722	1,025	0,830	1,257	0,984	16,313
84	1,215	0,980	0,870	0,410	0,542	0,756	0,833	1,246	0,830	12,704
85	1,410	1,210	1,085	1,150	0,969	1,186	0,871	1,060	1,202	19,245
86	1,385	1,035	0,930	0,590	0,698	0,845	0,795	1,432	1,012	14,389
87	1,200	1,015	0,890	0,490	0,568	0,863	0,856	1,132	0,839	13,923
88	1,325	1,180	1,050	0,710	0,860	0,826	0,890	0,965	1,093	15,114
89	1,245	0,985	0,830	0,560	0,533	1,051	0,808	1,367	0,812	15,280
90	1,520	1,230	1,210	1,030	1,184	0,870	0,864	1,095	1,445	16,876
91	1,360	1,035	0,955	0,690	0,704	0,980	0,812	1,350	1,020	15,774
92	1,295	0,980	0,925	0,490	0,615	0,797	0,815	1,335	0,941	13,509
93	1,245	0,960	0,830	0,590	0,519	1,136	0,801	1,401	0,812	15,886
94	1,165	0,885	0,775	0,415	0,418	0,992	0,797	1,423	0,709	13,884
95	1,390	1,070	0,925	0,520	0,720	0,722	0,800	1,405	1,010	13,222
96	1,265	1,070	0,965	0,660	0,684	0,965	0,864	1,093	0,959	15,601
97	1,355	0,950	0,910	0,550	0,613	0,897	0,778	1,514	0,968	14,389
98	1,400	1,175	0,950	0,790	0,818	0,965	0,829	1,265	1,045	16,229
99	1,425	1,055	0,935	0,600	0,736	0,815	0,786	1,474	1,046	14,254
100	1,420	1,110	0,990	0,880	0,817	1,077	0,817	1,324	1,104	17,315
101	1,375	1,095	0,980	0,780	0,773	1,010	0,828	1,270	1,058	16,459
102	1,450	1,210	1,120	1,070	1,029	1,040	0,864	1,095	1,275	18,081
103	1,300	1,035	0,900	0,760	0,634	1,199	0,820	1,309	0,919	17,289
104	1,490	1,230	1,015	0,920	0,974	0,945	0,825	1,282	1,188	16,747

Continua...

Apêndice 3a - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 41,07% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora (Continua)

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
105	1,415	1,055	0,905	0,650	0,707	0,919	0,781	1,497	1,006	15,118
106	1,170	0,985	0,820	0,420	0,495	0,849	0,839	1,217	0,754	13,275
107	1,170	0,970	0,830	0,520	0,493	1,054	0,838	1,221	0,763	15,074
108	1,315	1,055	0,940	0,740	0,683	1,084	0,831	1,256	0,971	16,634
109	1,370	1,040	0,955	0,600	0,712	0,842	0,809	1,363	1,028	14,467
110	1,370	1,050	0,900	0,590	0,678	0,870	0,796	1,428	0,968	14,519
111	1,420	1,080	0,935	0,650	0,751	0,866	0,794	1,435	1,043	14,853
112	1,320	1,110	0,855	0,770	0,656	1,174	0,817	1,325	0,886	17,157
113	1,400	1,250	1,045	1,110	0,958	1,159	0,873	1,047	1,149	18,901
114	1,415	1,180	0,995	0,720	0,870	0,828	0,837	1,225	1,106	15,090
115	1,200	0,935	0,820	0,500	0,482	1,038	0,811	1,355	0,773	14,806
116	1,305	1,100	0,985	0,750	0,740	1,013	0,860	1,113	1,010	16,369
117	1,235	1,060	0,920	0,690	0,631	1,094	0,861	1,106	0,892	16,438
118	1,510	1,305	1,180	1,290	1,217	1,060	0,877	1,028	1,399	19,091
119	1,200	1,055	0,960	0,700	0,636	1,100	0,889	0,970	0,905	16,577
120	1,170	0,990	0,810	0,590	0,491	1,201	0,837	1,227	0,744	16,234
121	1,210	0,915	0,835	0,480	0,484	0,992	0,805	1,381	0,794	14,431
122	1,320	1,005	0,900	0,500	0,625	0,800	0,804	1,388	0,933	13,564
123	1,275	1,055	0,970	0,730	0,683	1,069	0,857	1,128	0,971	16,552
124	1,275	0,985	0,905	0,550	0,595	0,924	0,819	1,316	0,906	14,617
125	1,430	1,125	1,100	0,770	0,927	0,831	0,846	1,182	1,235	15,416
126	1,360	1,110	0,970	0,700	0,767	0,913	0,835	1,235	1,036	15,491
127	1,405	1,025	0,905	0,540	0,682	0,791	0,777	1,516	0,999	13,722
128	1,340	1,090	0,945	0,580	0,723	0,803	0,831	1,255	0,995	14,139
129	1,400	1,100	0,965	0,600	0,778	0,771	0,815	1,332	1,061	14,048
130	1,350	1,100	1,000	0,760	0,778	0,977	0,845	1,186	1,060	16,210
131	1,325	1,100	1,040	0,710	0,794	0,895	0,867	1,079	1,082	15,507
132	1,320	0,930	0,905	0,510	0,582	0,877	0,785	1,481	0,938	14,028
133	1,315	0,965	0,840	0,770	0,558	1,380	0,777	1,519	0,868	18,066
134	1,370	0,935	0,910	0,580	0,610	0,950	0,768	1,561	0,979	14,845
135	1,225	0,990	0,920	0,490	0,584	0,839	0,847	1,178	0,885	13,789
136	1,170	0,975	0,945	0,630	0,564	1,116	0,876	1,033	0,868	16,215
137	1,345	1,000	0,920	0,620	0,648	0,957	0,798	1,415	0,972	15,201
138	1,265	1,050	0,900	0,660	0,626	1,054	0,839	1,216	0,894	16,015
139	1,265	1,025	0,960	0,730	0,652	1,120	0,850	1,160	0,954	16,807
140	1,255	0,930	0,855	0,670	0,523	1,282	0,796	1,424	0,843	17,088
141	1,265	0,950	0,880	0,640	0,554	1,156	0,805	1,380	0,874	16,339
142	1,465	1,060	0,940	0,720	0,764	0,942	0,774	1,531	1,082	15,636
143	1,360	1,100	0,960	0,670	0,752	0,891	0,830	1,262	1,025	15,186
144	1,205	1,115	0,950	0,590	0,668	0,883	0,900	0,917	0,899	14,742
145	1,310	1,125	0,970	0,870	0,749	1,162	0,860	1,114	0,998	17,781
146	1,275	1,030	0,870	0,540	0,598	0,903	0,820	1,309	0,871	14,415
147	1,375	1,100	0,980	0,660	0,776	0,850	0,829	1,263	1,058	14,900
148	1,395	1,115	1,010	0,760	0,823	0,924	0,833	1,243	1,107	15,887
149	1,255	1,005	0,870	0,500	0,575	0,870	0,822	1,299	0,858	13,976
150	1,340	1,065	0,890	0,800	0,665	1,203	0,808	1,366	0,937	17,493
151	1,360	1,110	1,075	0,960	0,850	1,130	0,864	1,093	1,148	18,093
152	1,330	1,205	0,895	0,830	0,751	1,105	0,848	1,172	0,935	17,170
153	1,270	1,155	0,945	0,720	0,726	0,992	0,878	1,026	0,943	16,077
154	1,260	1,000	0,895	0,510	0,590	0,864	0,826	1,279	0,886	14,028
155	1,170	0,980	0,880	0,460	0,528	0,871	0,857	1,127	0,809	13,749
156	1,365	1,170	1,100	0,810	0,920	0,881	0,884	0,996	1,179	15,969

Continua...

Apêndice 3a - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 41,07% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora (Continua)

Leitura	<i>a</i> (cm)	<i>b</i> (cm)	<i>c</i> (cm)	<i>m_f</i> (g)	<i>V_f</i> (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	<i>C</i> Ad.	<i>A_p</i> (cm ²)	<i>v_t</i> (m s ⁻¹)
157	1,285	1,030	0,875	0,600	0,606	0,989	0,817	1,322	0,883	15,262
158	1,205	0,975	0,870	0,490	0,535	0,916	0,836	1,231	0,823	14,175
159	1,300	1,045	0,885	0,580	0,630	0,921	0,818	1,318	0,904	14,776
160	1,410	1,135	1,005	0,990	0,842	1,176	0,831	1,255	1,113	18,397
161	1,200	1,000	0,925	0,460	0,581	0,791	0,863	1,099	0,872	13,330
162	1,450	1,130	1,000	0,760	0,858	0,886	0,813	1,342	1,139	15,620
163	1,315	0,980	0,865	0,640	0,584	1,097	0,788	1,462	0,893	16,002
164	1,215	0,955	0,835	0,630	0,507	1,242	0,814	1,336	0,797	16,674
165	1,290	1,105	0,960	0,700	0,717	0,977	0,861	1,110	0,973	15,884
166	1,280	0,990	0,920	0,500	0,610	0,819	0,822	1,297	0,925	13,713
167	1,190	1,070	0,890	0,540	0,593	0,910	0,876	1,035	0,832	14,529
168	1,305	1,035	0,970	0,770	0,686	1,122	0,838	1,218	0,994	17,027
169	1,330	1,075	1,025	0,440	0,767	0,573	0,854	1,142	1,071	11,828
170	1,215	1,000	0,940	0,520	0,598	0,870	0,860	1,112	0,897	14,188
171	1,305	1,110	0,990	0,690	0,751	0,919	0,864	1,093	1,015	15,519
172	1,130	1,000	0,850	0,440	0,503	0,875	0,873	1,049	0,754	13,620
173	1,525	1,065	0,940	0,980	0,799	1,226	0,755	1,625	1,126	18,392
174	1,300	1,010	0,890	0,550	0,612	0,899	0,810	1,356	0,909	14,457
175	1,215	0,955	0,850	0,420	0,516	0,813	0,819	1,312	0,811	13,077
176	1,195	0,960	0,880	0,490	0,529	0,927	0,839	1,213	0,826	14,245
177	1,170	1,020	0,865	0,450	0,541	0,833	0,864	1,095	0,795	13,461
178	1,310	1,035	0,900	0,620	0,639	0,970	0,816	1,329	0,926	15,295
179	1,375	1,035	0,965	0,790	0,719	1,099	0,808	1,365	1,042	16,952
180	1,220	0,995	0,870	0,620	0,553	1,121	0,835	1,237	0,834	16,089
181	1,210	1,000	0,880	0,630	0,558	1,130	0,844	1,192	0,836	16,215
182	1,380	1,100	1,050	0,740	0,835	0,887	0,846	1,179	1,138	15,595
183	1,200	1,000	0,910	0,660	0,572	1,154	0,858	1,122	0,858	16,556
184	1,125	0,945	0,855	0,540	0,476	1,135	0,861	1,108	0,755	15,649
185	1,210	1,115	1,070	0,620	0,756	0,820	0,934	0,752	1,017	14,617
186	1,400	1,015	0,920	0,670	0,685	0,979	0,781	1,499	1,012	15,574
187	1,170	1,050	0,865	0,500	0,556	0,899	0,872	1,054	0,795	14,181
188	1,145	0,920	0,865	0,520	0,477	1,090	0,847	1,178	0,778	15,280
189	1,230	1,015	0,925	0,540	0,605	0,893	0,853	1,148	0,894	14,437
190	1,340	1,010	0,990	0,620	0,702	0,884	0,823	1,295	1,042	14,858
191	1,215	0,940	0,860	0,490	0,514	0,953	0,818	1,318	0,821	14,340
192	1,200	1,140	0,940	0,600	0,673	0,891	0,906	0,888	0,886	14,842
193	1,180	0,955	0,870	0,680	0,513	1,325	0,842	1,202	0,806	17,439
194	1,205	0,980	0,915	0,550	0,566	0,972	0,852	1,154	0,866	14,924
195	1,310	1,080	0,930	0,710	0,689	1,031	0,836	1,228	0,957	16,186
196	1,335	1,020	0,955	0,540	0,681	0,793	0,818	1,320	1,001	13,825
197	1,295	1,000	0,930	0,470	0,631	0,745	0,822	1,301	0,946	13,080
198	1,245	0,930	0,885	0,410	0,537	0,764	0,810	1,358	0,865	12,724
199	1,315	0,970	0,900	0,590	0,601	0,982	0,796	1,424	0,930	15,136
200	1,370	1,205	1,025	0,800	0,886	0,903	0,870	1,065	1,103	16,008
Leitura	<i>a</i> (cm)	<i>b</i> (cm)	<i>c</i> (cm)	<i>m_f</i> (g)	<i>V_f</i> (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	<i>C</i> Ad.	<i>A_p</i> (cm ²)	<i>v_t</i> (m s ⁻¹)
Média Total	1,305	1,044	0,933	0,655	0,674	0,977	0,830	1,2587	0,959	15,455
D. P.*	0,085	0,086	0,080	0,169	0,148	0,169	0,033	0,163	0,135	1,580

*Desvio-padrão

Apêndice 3b - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 37,68% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
1	1,160	0,900	0,885	0,380	0,484	0,785	0,840	1,213	0,806	12,646
2	1,350	1,075	0,835	0,710	0,634	1,119	0,790	1,456	0,885	16,485
3	1,060	0,765	0,765	0,300	0,325	0,924	0,805	1,384	0,637	12,520
4	1,375	1,115	0,835	0,530	0,670	0,791	0,790	1,456	0,902	13,613
5	1,200	0,835	0,835	0,510	0,438	1,164	0,785	1,478	0,787	15,424
6	1,265	0,870	0,815	0,500	0,470	1,065	0,762	1,590	0,810	14,831
7	1,265	0,935	0,780	0,600	0,483	1,242	0,770	1,555	0,775	16,340
8	1,275	0,930	0,815	0,460	0,506	0,909	0,775	1,526	0,816	13,795
9	1,345	1,055	0,900	0,470	0,669	0,703	0,807	1,374	0,951	12,782
10	1,370	1,100	0,885	0,560	0,698	0,802	0,803	1,389	0,952	13,934
11	1,360	1,145	1,145	0,700	0,934	0,750	0,892	0,959	1,223	14,597
12	1,270	1,295	1,085	1,120	0,934	1,199	0,955	0,649	1,082	19,235
13	1,340	0,900	0,860	0,410	0,543	0,755	0,755	1,624	0,905	12,560
14	1,170	0,750	0,720	0,550	0,331	1,663	0,733	1,731	0,662	17,530
15	1,335	1,050	0,860	0,540	0,631	0,856	0,797	1,420	0,902	14,103
16	1,135	0,840	0,790	0,620	0,394	1,572	0,802	1,398	0,704	17,955
17	1,200	0,730	0,725	0,400	0,333	1,203	0,716	1,814	0,683	14,460
18	1,415	1,125	0,930	0,880	0,775	1,135	0,805	1,379	1,034	17,565
19	1,255	1,030	0,955	0,630	0,646	0,975	0,855	1,139	0,941	15,463
20	1,430	1,115	0,930	0,960	0,776	1,236	0,797	1,419	1,045	18,458
21	1,325	1,150	0,855	0,550	0,682	0,806	0,824	1,287	0,890	13,891
22	1,180	0,760	0,740	0,500	0,347	1,439	0,739	1,703	0,686	16,328
23	1,210	1,165	0,900	0,490	0,664	0,738	0,895	0,944	0,855	13,198
24	1,075	0,785	0,725	0,550	0,320	1,717	0,790	1,456	0,612	17,903
25	1,295	1,090	0,900	0,580	0,665	0,872	0,836	1,229	0,915	14,528
26	1,440	1,050	0,885	0,830	0,701	1,185	0,765	1,576	1,001	17,451
27	1,210	1,045	0,930	0,650	0,616	1,056	0,872	1,053	0,884	16,021
28	1,300	1,090	0,930	0,590	0,690	0,855	0,843	1,194	0,950	14,519
29	1,170	1,000	0,900	0,420	0,551	0,762	0,870	1,067	0,827	12,863
30	1,215	0,890	0,750	0,550	0,425	1,295	0,768	1,564	0,716	16,208
31	1,415	1,000	0,915	0,590	0,678	0,870	0,770	1,551	1,017	14,476
32	1,220	1,045	0,970	0,600	0,648	0,927	0,880	1,017	0,929	15,049
33	1,430	0,990	0,955	0,460	0,708	0,650	0,773	1,537	1,073	12,340
34	1,175	0,890	0,765	0,530	0,419	1,265	0,790	1,455	0,706	15,999
35	1,400	1,155	0,955	0,830	0,809	1,027	0,826	1,281	1,050	16,778
36	1,050	0,775	0,750	0,530	0,320	1,659	0,808	1,368	0,619	17,586
37	1,340	0,945	0,790	0,480	0,524	0,916	0,746	1,668	0,831	13,891
38	1,215	0,950	0,830	0,490	0,502	0,977	0,811	1,351	0,792	14,436
39	1,395	1,070	0,840	0,670	0,657	1,021	0,773	1,538	0,920	15,716
40	1,360	1,130	0,960	0,840	0,772	1,087	0,837	1,225	1,025	17,191
41	1,320	1,065	0,920	0,740	0,677	1,093	0,825	1,282	0,954	16,660
42	1,315	1,085	0,870	0,410	0,650	0,631	0,817	1,322	0,899	11,905
43	1,415	1,070	0,900	0,640	0,713	0,897	0,783	1,487	1,000	14,937
44	1,240	0,975	0,850	0,530	0,538	0,985	0,814	1,339	0,828	14,770
45	1,385	1,125	0,965	0,850	0,787	1,080	0,827	1,273	1,050	17,186
46	1,225	0,900	0,850	0,590	0,491	1,202	0,799	1,412	0,818	16,207
47	1,060	0,955	0,775	0,410	0,411	0,998	0,870	1,064	0,645	13,959
48	1,175	0,910	0,885	0,770	0,495	1,554	0,836	1,233	0,817	18,979
49	1,195	1,030	0,920	0,520	0,593	0,877	0,872	1,054	0,863	14,233
50	1,285	1,030	0,900	0,430	0,624	0,689	0,825	1,284	0,908	12,453
51	1,240	1,000	0,870	0,590	0,565	1,045	0,827	1,274	0,847	15,502
52	1,430	1,150	0,970	0,880	0,835	1,054	0,817	1,323	1,089	17,168

Continua...

Apêndice 3b - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 37,68% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora (Continua)

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
53	1,115	0,785	0,715	0,560	0,328	1,709	0,767	1,566	0,626	17,885
54	1,440	1,045	0,900	0,560	0,709	0,790	0,768	1,561	1,018	13,810
55	1,305	0,860	0,795	0,430	0,467	0,920	0,738	1,710	0,815	13,529
56	1,240	1,095	0,940	0,600	0,668	0,898	0,875	1,041	0,915	14,865
57	1,400	1,150	0,955	0,720	0,805	0,894	0,824	1,287	1,050	15,456
58	1,435	1,180	0,930	0,920	0,825	1,116	0,811	1,354	1,048	17,647
59	1,315	1,025	0,905	0,590	0,639	0,924	0,813	1,345	0,935	14,856
60	1,250	0,980	0,895	0,400	0,574	0,697	0,825	1,284	0,879	12,280
61	1,305	1,095	0,875	0,640	0,655	0,978	0,826	1,281	0,897	15,439
62	1,300	1,120	0,900	0,620	0,686	0,904	0,842	1,202	0,919	14,948
63	1,435	1,150	0,950	1,050	0,821	1,279	0,810	1,359	1,071	19,124
64	1,450	1,175	1,000	0,930	0,892	1,043	0,824	1,290	1,139	17,366
65	1,370	1,130	0,900	0,770	0,730	1,055	0,815	1,332	0,968	16,576
66	1,385	1,060	0,915	0,560	0,703	0,796	0,797	1,422	0,995	13,913
67	1,365	1,030	0,865	0,540	0,637	0,848	0,782	1,494	0,927	14,038
68	1,345	0,965	0,895	0,530	0,608	0,871	0,782	1,496	0,945	14,124
69	1,095	0,895	0,835	0,420	0,428	0,980	0,854	1,141	0,718	13,982
70	1,170	0,835	0,825	0,510	0,422	1,208	0,795	1,428	0,758	15,642
71	1,280	1,060	0,935	0,480	0,664	0,723	0,846	1,183	0,940	13,040
72	1,265	0,800	0,785	0,450	0,416	1,082	0,732	1,737	0,780	14,432
73	1,330	0,920	0,870	0,560	0,557	1,005	0,768	1,564	0,909	14,986
74	1,295	1,040	0,960	0,800	0,677	1,182	0,841	1,205	0,976	17,493
75	1,210	1,070	0,965	0,480	0,654	0,734	0,890	0,966	0,917	13,160
76	1,170	0,830	0,765	0,430	0,389	1,105	0,774	1,532	0,703	14,485
77	1,440	1,355	1,075	1,190	1,098	1,084	0,889	0,972	1,216	18,797
78	1,380	1,100	0,965	0,660	0,767	0,860	0,823	1,294	1,046	14,943
79	1,445	1,000	0,955	0,610	0,723	0,844	0,770	1,550	1,084	14,457
80	1,360	1,110	0,930	0,770	0,735	1,047	0,823	1,292	0,993	16,575
81	1,195	0,810	0,770	0,400	0,390	1,025	0,759	1,607	0,723	13,833
82	1,155	0,945	0,825	0,500	0,471	1,060	0,836	1,230	0,748	14,958
83	1,190	1,045	0,890	0,670	0,579	1,156	0,869	1,068	0,832	16,623
84	1,060	0,875	0,815	0,550	0,396	1,390	0,859	1,116	0,679	16,827
85	1,300	1,000	0,835	0,600	0,568	1,056	0,791	1,452	0,853	15,531
86	1,180	1,000	0,815	0,550	0,504	1,092	0,836	1,228	0,755	15,448
87	1,260	1,010	0,940	0,410	0,626	0,655	0,842	1,199	0,930	12,128
88	1,350	0,975	0,835	0,700	0,575	1,216	0,764	1,580	0,885	16,867
89	1,230	1,075	0,930	0,430	0,644	0,668	0,871	1,059	0,898	12,375
90	1,400	1,100	0,970	0,820	0,782	1,048	0,817	1,325	1,067	16,851
91	1,090	0,875	0,825	0,460	0,412	1,117	0,847	1,177	0,706	14,934
92	1,380	1,050	0,885	0,510	0,671	0,760	0,787	1,468	0,959	13,349
93	1,205	0,975	0,880	0,430	0,541	0,794	0,839	1,215	0,833	13,085
94	1,370	0,990	0,885	0,410	0,628	0,652	0,776	1,524	0,952	11,997
95	1,430	1,035	0,900	0,450	0,697	0,645	0,769	1,555	1,011	12,218
96	1,215	0,805	0,750	0,410	0,384	1,067	0,742	1,688	0,716	14,060
97	1,110	0,800	0,755	0,520	0,351	1,481	0,788	1,462	0,658	16,803
98	1,230	1,025	0,870	0,630	0,574	1,097	0,838	1,218	0,840	16,033
99	1,295	1,075	0,900	0,570	0,656	0,869	0,832	1,248	0,915	14,446
100	1,300	1,010	0,875	0,470	0,602	0,781	0,806	1,378	0,893	13,245
101	1,160	0,980	0,835	0,410	0,497	0,825	0,847	1,176	0,761	13,089
102	1,240	0,910	0,865	0,450	0,511	0,881	0,800	1,406	0,842	13,640
103	1,345	1,200	1,040	0,720	0,879	0,819	0,884	0,998	1,099	15,110
104	1,350	0,995	0,965	0,400	0,679	0,589	0,808	1,369	1,023	11,591

Continua...

Apêndice 3b - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 37,68% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora (Continua)

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
105	1,415	1,075	0,925	0,590	0,737	0,801	0,792	1,445	1,028	14,114
106	1,385	1,015	0,925	0,470	0,681	0,690	0,788	1,464	1,006	12,685
107	1,220	0,800	0,740	0,520	0,378	1,375	0,735	1,721	0,709	16,224
108	1,330	1,295	0,955	0,580	0,861	0,673	0,888	0,979	0,998	13,327
109	1,415	1,215	0,935	0,810	0,842	0,962	0,828	1,270	1,039	16,284
110	1,400	1,215	0,905	0,830	0,806	1,030	0,825	1,285	0,995	16,730
111	1,200	1,000	0,915	0,510	0,575	0,887	0,860	1,115	0,862	14,208
112	1,410	1,100	0,900	0,630	0,731	0,862	0,793	1,442	0,997	14,690
113	1,310	1,035	0,950	0,620	0,674	0,919	0,831	1,257	0,977	15,062
114	1,205	1,130	0,975	0,820	0,695	1,180	0,912	0,859	0,923	17,667
115	1,300	1,015	0,910	0,480	0,629	0,763	0,818	1,320	0,929	13,242
116	1,215	1,020	0,870	0,490	0,565	0,868	0,844	1,191	0,830	13,923
117	1,395	1,065	0,910	0,680	0,708	0,961	0,793	1,442	0,997	15,547
118	1,395	1,175	1,115	0,780	0,957	0,815	0,876	1,033	1,222	15,407
119	1,085	0,890	0,825	0,760	0,417	1,822	0,854	1,141	0,703	19,979
120	1,370	1,070	0,960	0,570	0,737	0,774	0,818	1,318	1,033	13,893
121	1,400	1,235	1,110	0,840	1,005	0,836	0,888	0,978	1,221	15,833
122	1,280	1,080	0,940	0,580	0,680	0,852	0,853	1,150	0,945	14,461
123	1,395	1,080	0,925	0,660	0,730	0,904	0,801	1,403	1,013	15,141
124	1,135	0,960	0,875	0,460	0,499	0,921	0,867	1,078	0,780	14,027
125	1,440	1,000	0,955	0,710	0,720	0,986	0,772	1,541	1,080	15,828
126	1,385	1,195	1,070	0,970	0,927	1,046	0,874	1,047	1,164	17,679
127	1,365	1,140	0,945	0,640	0,770	0,831	0,833	1,245	1,013	14,654
128	1,305	1,090	0,895	0,490	0,667	0,735	0,831	1,257	0,917	13,138
129	1,260	0,895	0,800	0,500	0,472	1,058	0,767	1,568	0,792	14,806
130	1,330	0,905	0,860	0,420	0,542	0,775	0,761	1,598	0,898	12,760
131	1,225	1,125	0,995	0,830	0,718	1,156	0,907	0,884	0,957	17,607
132	1,280	1,065	0,900	0,520	0,642	0,809	0,836	1,229	0,905	13,794
133	1,300	1,130	0,900	0,610	0,692	0,881	0,844	1,190	0,919	14,762
134	1,125	0,855	0,735	0,580	0,370	1,567	0,792	1,446	0,649	17,584
135	1,300	0,990	0,900	0,440	0,606	0,725	0,808	1,368	0,919	12,721
136	1,170	0,960	0,870	0,530	0,512	1,036	0,848	1,171	0,799	15,091
137	1,435	1,050	0,925	0,670	0,730	0,918	0,778	1,511	1,043	15,231
138	1,355	1,100	0,995	0,850	0,777	1,095	0,842	1,203	1,059	17,310
139	1,255	1,000	0,900	0,430	0,591	0,727	0,830	1,260	0,887	12,690
140	1,405	1,000	0,900	0,550	0,662	0,831	0,770	1,554	0,993	13,997
141	1,445	1,195	1,040	0,870	0,940	0,925	0,841	1,205	1,180	16,449
142	1,260	0,810	0,745	0,390	0,398	0,980	0,724	1,775	0,737	13,435
143	1,190	0,930	0,870	0,430	0,504	0,853	0,830	1,261	0,813	13,392
144	1,315	1,050	0,940	0,400	0,680	0,589	0,830	1,262	0,971	11,609
145	1,390	1,040	0,900	0,600	0,681	0,881	0,785	1,477	0,983	14,619
146	1,360	1,025	0,905	0,610	0,661	0,923	0,795	1,433	0,967	14,942
147	1,340	0,920	0,865	0,590	0,558	1,057	0,762	1,589	0,910	15,428
148	1,170	0,890	0,835	0,450	0,455	0,988	0,816	1,329	0,767	14,207
149	1,270	1,000	0,935	0,610	0,622	0,981	0,834	1,241	0,933	15,339
150	1,180	0,935	0,860	0,710	0,497	1,429	0,833	1,246	0,797	18,067
151	1,395	1,190	1,005	0,650	0,874	0,744	0,850	1,161	1,101	14,210
152	1,495	1,100	1,010	0,820	0,870	0,943	0,792	1,444	1,186	16,219
153	1,325	1,050	0,965	0,550	0,703	0,782	0,833	1,247	1,004	13,849
154	1,580	1,080	0,960	0,680	0,858	0,793	0,746	1,669	1,191	14,471
155	1,175	1,000	0,860	0,690	0,529	1,304	0,854	1,142	0,794	17,414
156	1,180	0,820	0,800	0,750	0,405	1,850	0,778	1,513	0,741	19,825

Continua...

Apêndice 3b - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 37,68% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora (Continua)

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
157	1,400	1,040	0,875	0,470	0,667	0,705	0,774	1,531	0,962	12,724
158	1,335	1,200	0,980	0,850	0,822	1,034	0,871	1,062	1,028	16,990
159	1,235	1,025	0,900	0,670	0,597	1,123	0,846	1,183	0,873	16,438
160	1,255	1,025	0,930	0,430	0,626	0,686	0,846	1,182	0,917	12,472
161	1,120	0,930	0,805	0,690	0,439	1,572	0,842	1,201	0,708	18,514
162	1,345	1,150	0,965	0,880	0,782	1,126	0,850	1,164	1,019	17,615
163	1,385	1,070	0,955	0,610	0,741	0,823	0,811	1,354	1,039	14,414
164	1,210	1,015	0,885	0,570	0,569	1,002	0,850	1,163	0,841	15,191
165	1,425	1,050	0,980	0,450	0,768	0,586	0,797	1,419	1,097	11,899
166	1,410	1,100	0,960	0,900	0,780	1,154	0,810	1,358	1,063	17,798
167	1,500	1,145	0,980	0,700	0,881	0,794	0,793	1,440	1,155	14,699
168	1,325	1,090	0,940	0,690	0,711	0,971	0,836	1,232	0,978	15,751
169	1,285	0,995	0,870	0,610	0,582	1,047	0,806	1,375	0,878	15,607
170	1,170	1,075	0,880	0,530	0,580	0,915	0,884	0,996	0,809	14,486
171	1,290	1,035	0,820	0,560	0,573	0,977	0,799	1,411	0,831	14,867
172	1,165	1,090	0,870	0,690	0,578	1,193	0,887	0,980	0,796	16,912
173	1,355	1,190	1,010	0,810	0,853	0,950	0,868	1,073	1,075	16,329
174	1,455	1,120	0,925	0,750	0,789	0,950	0,788	1,464	1,057	15,854
175	1,400	1,265	1,100	0,590	1,020	0,578	0,892	0,957	1,210	12,798
176	1,395	1,180	1,020	0,560	0,879	0,637	0,852	1,152	1,118	13,001
177	1,450	1,075	0,990	0,560	0,808	0,693	0,797	1,421	1,127	13,298
178	1,050	0,920	0,790	0,400	0,400	1,001	0,870	1,063	0,651	13,908
179	1,325	1,025	0,875	0,530	0,622	0,852	0,799	1,409	0,911	14,036
180	1,450	1,190	0,965	0,450	0,872	0,516	0,817	1,321	1,099	11,402
181	1,045	0,900	0,810	0,450	0,399	1,128	0,874	1,045	0,665	14,930
182	1,225	0,835	0,770	0,450	0,412	1,091	0,754	1,631	0,741	14,534
183	1,500	1,140	1,000	0,550	0,895	0,614	0,797	1,420	1,178	12,705
184	1,290	1,000	0,920	0,650	0,621	1,046	0,821	1,305	0,932	15,896
185	1,435	1,075	0,850	0,490	0,687	0,714	0,763	1,588	0,958	12,864
186	1,300	1,000	0,880	0,510	0,599	0,851	0,805	1,384	0,898	13,917
187	1,435	1,275	1,055	0,580	1,011	0,574	0,868	1,076	1,189	12,670
188	1,275	1,130	0,880	0,760	0,664	1,145	0,849	1,167	0,881	17,026
189	1,350	1,040	0,970	0,500	0,713	0,701	0,821	1,303	1,028	13,017
190	1,335	1,045	0,980	0,520	0,716	0,726	0,831	1,253	1,028	13,320
191	1,230	0,870	0,830	0,530	0,465	1,140	0,782	1,496	0,802	15,452
192	1,290	1,090	0,920	0,450	0,677	0,664	0,845	1,188	0,932	12,459
193	1,145	0,855	0,810	0,400	0,415	0,963	0,808	1,365	0,728	13,660
194	1,195	0,880	0,850	0,500	0,468	1,068	0,806	1,376	0,798	14,958
195	1,330	0,985	0,835	0,400	0,573	0,698	0,775	1,529	0,872	12,182
196	1,165	0,840	0,790	0,480	0,405	1,186	0,788	1,466	0,723	15,285
197	1,420	1,055	0,920	0,540	0,722	0,748	0,784	1,486	1,026	13,478
198	1,300	0,960	0,815	0,450	0,533	0,845	0,774	1,535	0,832	13,374
199	1,440	1,125	0,905	0,450	0,768	0,586	0,789	1,460	1,024	11,847
200	1,200	0,975	0,815	0,480	0,499	0,961	0,820	1,307	0,768	14,286
Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
Média Total	1,296	1,022	0,894	0,592	0,632	0,969	0,816	1,326	0,914	14,943
D. P.*	0,108	0,119	0,081	0,155	0,160	0,248	0,041	0,201	0,142	1,833

*Desvio-padrão

Apêndice 3c - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 28,74% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
1	1,240	1,000	0,905	0,480	0,588	0,817	0,838	1,220	0,881	13,580
2	1,155	0,810	0,800	0,420	0,392	1,072	0,786	1,474	0,726	14,286
3	1,145	1,005	0,790	0,580	0,476	1,219	0,846	1,181	0,710	16,236
4	1,280	0,980	0,870	0,560	0,571	0,980	0,804	1,385	0,875	14,938
5	1,275	0,950	0,840	0,470	0,533	0,882	0,789	1,460	0,841	13,764
6	1,175	1,000	0,900	0,430	0,554	0,777	0,867	1,079	0,831	13,021
7	1,170	0,865	0,860	0,600	0,456	1,317	0,816	1,328	0,790	16,820
8	1,385	1,050	0,980	0,560	0,746	0,750	0,813	1,345	1,066	13,688
9	1,255	0,990	0,850	0,560	0,553	1,013	0,811	1,350	0,838	15,107
10	1,335	1,010	0,825	0,470	0,582	0,807	0,776	1,522	0,865	13,308
11	1,040	0,900	0,720	0,480	0,353	1,360	0,843	1,196	0,588	16,062
12	1,280	1,075	0,955	0,550	0,688	0,799	0,856	1,134	0,960	13,975
13	1,200	1,045	1,000	0,750	0,657	1,142	0,899	0,925	0,942	17,102
14	1,325	1,030	0,950	0,590	0,679	0,869	0,823	1,294	0,989	14,585
15	1,255	0,975	0,850	0,440	0,545	0,808	0,807	1,370	0,838	13,177
16	1,265	1,000	0,885	0,450	0,586	0,768	0,821	1,304	0,879	13,054
17	1,230	0,950	0,835	0,410	0,511	0,803	0,806	1,375	0,807	12,915
18	1,315	1,075	0,900	0,470	0,666	0,706	0,824	1,289	0,930	12,821
19	1,440	1,125	0,970	0,790	0,823	0,960	0,807	1,370	1,097	16,183
20	1,290	0,950	0,930	0,580	0,597	0,972	0,810	1,358	0,942	15,056
21	1,400	1,115	0,900	0,480	0,736	0,653	0,800	1,406	0,990	12,504
22	1,230	1,000	0,845	0,620	0,544	1,139	0,824	1,291	0,816	16,142
23	1,375	1,065	0,904	0,820	0,693	1,183	0,799	1,413	0,976	17,488
24	1,240	1,095	0,870	0,650	0,619	1,051	0,853	1,150	0,847	15,921
25	1,215	0,985	0,900	0,510	0,564	0,904	0,844	1,193	0,859	14,277
26	1,400	1,060	0,935	0,600	0,727	0,826	0,797	1,422	1,028	14,339
27	1,390	1,030	0,900	0,480	0,675	0,711	0,783	1,490	0,983	12,863
28	1,420	1,100	0,935	0,450	0,765	0,588	0,799	1,411	1,043	11,899
29	1,300	1,075	0,935	0,660	0,684	0,965	0,841	1,206	0,955	15,554
30	1,420	1,115	0,960	0,730	0,796	0,917	0,810	1,359	1,071	15,627
31	1,485	1,110	0,960	0,850	0,829	1,026	0,785	1,481	1,120	16,798
32	1,360	1,100	0,920	0,680	0,721	0,944	0,818	1,319	0,983	15,500
33	1,155	1,015	0,840	0,530	0,516	1,028	0,861	1,106	0,762	15,041
34	1,120	1,000	0,780	0,510	0,457	1,115	0,854	1,145	0,686	15,264
35	1,300	0,935	0,850	0,450	0,541	0,832	0,778	1,515	0,868	13,330
36	1,320	0,955	0,860	0,520	0,568	0,916	0,778	1,512	0,892	14,279
37	1,440	1,050	0,890	0,490	0,705	0,695	0,767	1,569	1,007	12,788
38	1,270	1,020	0,900	0,660	0,610	1,081	0,829	1,266	0,898	16,140
39	1,270	0,900	0,810	0,460	0,485	0,949	0,767	1,565	0,808	13,981
40	1,430	1,200	0,980	0,590	0,881	0,670	0,832	1,252	1,101	13,350
41	1,290	0,940	0,810	0,490	0,514	0,953	0,771	1,550	0,821	14,222
42	1,460	1,125	0,955	0,500	0,821	0,609	0,796	1,426	1,095	12,353
43	1,400	0,985	0,935	0,470	0,675	0,696	0,777	1,516	1,028	12,705
44	1,470	1,150	1,000	0,510	0,885	0,576	0,810	1,355	1,155	12,221
45	1,100	0,885	0,830	0,410	0,423	0,969	0,847	1,178	0,717	13,835
46	1,390	1,060	0,905	0,560	0,698	0,802	0,792	1,446	0,988	13,934
47	1,255	0,890	0,860	0,470	0,503	0,934	0,786	1,473	0,848	14,040
48	1,350	1,285	0,840	0,780	0,763	1,022	0,840	1,212	0,891	16,341
49	1,350	1,180	0,890	0,580	0,742	0,781	0,832	1,249	0,944	13,953
50	1,470	1,080	0,900	0,540	0,748	0,722	0,766	1,571	1,039	13,263
51	1,100	0,955	0,855	0,440	0,470	0,936	0,877	1,030	0,739	13,948
52	1,340	1,100	0,970	0,560	0,749	0,748	0,841	1,207	1,021	13,708

Continua...

Apêndice 3c - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 28,74% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora (Continua)

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
53	1,455	1,100	0,980	1,060	0,821	1,291	0,799	1,413	1,120	19,231
54	1,390	0,975	0,890	0,480	0,632	0,760	0,766	1,573	0,972	13,120
55	1,075	0,915	0,880	0,430	0,453	0,949	0,887	0,984	0,743	13,954
56	1,345	1,055	0,910	0,570	0,676	0,843	0,810	1,359	0,961	14,271
57	1,345	1,075	0,940	0,580	0,712	0,815	0,824	1,291	0,993	14,203
58	1,135	0,950	0,860	0,580	0,486	1,195	0,859	1,117	0,767	16,209
59	1,105	0,840	0,740	0,490	0,360	1,362	0,798	1,413	0,642	16,106
60	1,300	1,060	0,995	0,570	0,718	0,794	0,855	1,140	1,016	14,079
61	1,400	0,870	0,810	0,400	0,517	0,774	0,711	1,840	0,891	12,460
62	1,460	0,985	0,930	0,490	0,700	0,700	0,755	1,627	1,066	12,807
63	1,240	1,185	0,910	0,650	0,700	0,928	0,888	0,974	0,886	15,299
64	1,265	0,870	0,825	0,460	0,475	0,968	0,765	1,574	0,820	14,075
65	1,160	0,945	0,820	0,570	0,471	1,211	0,832	1,250	0,747	16,154
66	1,370	1,000	0,825	0,590	0,592	0,997	0,760	1,600	0,888	15,089
67	1,070	0,860	0,840	0,520	0,405	1,285	0,858	1,124	0,706	16,164
68	1,300	1,060	0,885	0,430	0,639	0,673	0,822	1,299	0,904	12,337
69	1,125	0,990	0,855	0,400	0,499	0,802	0,875	1,042	0,755	12,922
70	1,395	1,000	0,940	0,460	0,687	0,670	0,785	1,481	1,030	12,488
71	1,300	0,950	0,915	0,480	0,592	0,811	0,801	1,400	0,934	13,494
72	1,200	1,000	0,880	0,440	0,553	0,796	0,849	1,169	0,829	13,177
73	1,370	1,010	0,900	0,440	0,652	0,675	0,785	1,478	0,968	12,371
74	1,250	0,980	0,900	0,490	0,577	0,849	0,826	1,277	0,884	13,812
75	1,330	0,970	0,960	0,490	0,648	0,756	0,807	1,370	1,003	13,259
76	1,300	0,970	0,895	0,480	0,591	0,812	0,801	1,402	0,914	13,494
77	1,540	1,145	0,940	0,910	0,868	1,049	0,768	1,560	1,137	17,146
78	1,085	0,835	0,735	0,560	0,349	1,606	0,805	1,382	0,626	17,615
79	1,350	0,940	0,830	0,520	0,551	0,943	0,754	1,632	0,880	14,348
80	1,250	0,985	0,925	0,480	0,596	0,805	0,835	1,233	0,908	13,515
81	1,320	1,100	0,940	0,520	0,715	0,728	0,840	1,209	0,975	13,320
82	1,435	1,070	1,040	0,600	0,836	0,718	0,815	1,335	1,172	13,730
83	1,300	1,100	0,930	0,680	0,696	0,977	0,846	1,182	0,950	15,734
84	1,300	0,910	0,850	0,390	0,527	0,741	0,771	1,549	0,868	12,356
85	1,400	1,140	0,910	0,620	0,760	0,815	0,809	1,363	1,001	14,384
86	1,535	1,025	0,860	0,600	0,708	0,847	0,721	1,794	1,037	14,234
87	1,150	0,885	0,815	0,350	0,434	0,806	0,817	1,323	0,736	12,452
88	1,175	0,960	0,815	0,410	0,481	0,852	0,828	1,272	0,752	13,200
89	1,400	1,050	0,940	0,660	0,724	0,912	0,796	1,428	1,034	15,186
90	1,145	0,755	0,745	0,460	0,337	1,364	0,754	1,629	0,670	15,755
91	1,465	1,120	0,975	0,700	0,838	0,836	0,798	1,414	1,122	14,968
92	1,140	0,970	0,815	0,360	0,472	0,763	0,847	1,175	0,730	12,334
93	1,120	0,955	0,810	0,310	0,454	0,683	0,851	1,156	0,713	11,455
94	1,420	0,995	0,905	0,470	0,670	0,702	0,764	1,580	1,009	12,705
95	1,325	1,000	0,960	0,510	0,666	0,766	0,818	1,319	0,999	13,471
96	1,305	1,035	0,930	0,530	0,658	0,806	0,827	1,275	0,953	13,842
97	1,345	1,000	0,875	0,400	0,616	0,649	0,785	1,479	0,924	11,916
98	1,070	0,730	0,720	0,430	0,294	1,460	0,771	1,545	0,605	15,896
99	1,295	0,975	0,890	0,370	0,588	0,629	0,803	1,392	0,905	11,600
100	1,300	0,990	0,940	0,470	0,633	0,742	0,820	1,310	0,960	13,059
101	1,205	0,885	0,755	0,430	0,422	1,020	0,772	1,542	0,715	14,077
102	1,435	1,120	0,940	0,320	0,791	0,405	0,800	1,408	1,059	9,626
103	1,345	0,950	0,825	0,310	0,552	0,562	0,757	1,617	0,871	10,589
104	1,200	1,090	0,960	0,350	0,657	0,532	0,899	0,923	0,905	10,915

Continua...

Apêndice 3c - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 28,74% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora (Continua)

Leitura	a (cm)	b (cm)	c (cm)	m_f (g)	V_f (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	C Ad.	A_p (cm ²)	v_t (m s ⁻¹)
105	1,360	0,940	0,905	0,460	0,606	0,759	0,772	1,543	0,967	12,997
106	1,255	0,995	0,900	0,480	0,588	0,816	0,828	1,267	0,887	13,559
107	1,220	0,980	0,835	0,560	0,523	1,071	0,819	1,312	0,800	15,407
108	1,080	0,850	0,750	0,360	0,360	0,999	0,818	1,320	0,636	13,465
109	1,060	0,850	0,810	0,410	0,382	1,073	0,849	1,165	0,674	14,319
110	1,300	1,000	0,880	0,430	0,599	0,718	0,805	1,384	0,898	12,590
111	1,225	0,900	0,890	0,340	0,514	0,662	0,811	1,351	0,856	11,570
112	1,385	1,150	1,040	0,390	0,867	0,450	0,854	1,141	1,131	10,570
113	1,495	1,165	1,060	0,380	0,967	0,393	0,821	1,306	1,245	10,002
114	1,335	1,075	0,900	0,400	0,676	0,591	0,816	1,329	0,944	11,591
115	1,420	1,025	0,850	0,280	0,648	0,432	0,756	1,621	0,948	9,443
116	1,290	1,010	0,940	0,270	0,641	0,421	0,829	1,263	0,952	9,400
117	1,430	1,000	0,935	0,370	0,700	0,529	0,770	1,550	1,050	10,891
118	1,290	1,060	0,920	0,400	0,659	0,607	0,837	1,226	0,932	11,733
119	1,425	1,135	0,920	0,380	0,779	0,488	0,801	1,400	1,030	10,696
120	1,230	0,965	0,880	0,240	0,547	0,439	0,825	1,285	0,850	9,244
121	1,215	0,820	0,810	0,460	0,423	1,089	0,766	1,571	0,773	14,645
122	1,400	1,050	0,895	0,340	0,689	0,494	0,783	1,491	0,984	10,425
123	1,310	1,010	0,910	0,360	0,630	0,571	0,812	1,347	0,936	11,166
124	1,205	0,940	0,815	0,210	0,483	0,434	0,808	1,367	0,771	8,880
125	1,435	1,015	0,910	0,400	0,694	0,576	0,765	1,574	1,026	11,418
126	1,480	1,050	0,945	0,280	0,769	0,364	0,768	1,562	1,098	8,951
127	1,530	1,105	0,965	0,400	0,854	0,468	0,769	1,555	1,160	10,654
128	1,160	0,985	0,825	0,570	0,494	1,155	0,845	1,185	0,752	15,909
129	1,055	0,815	0,725	0,090	0,326	0,276	0,810	1,359	0,601	6,158
130	1,280	1,030	0,970	0,290	0,670	0,433	0,848	1,172	0,975	9,683
131	1,155	0,900	0,790	0,590	0,430	1,372	0,811	1,353	0,717	16,949
132	1,380	1,065	0,935	0,350	0,720	0,486	0,806	1,379	1,013	10,494
133	1,240	1,035	0,975	0,280	0,655	0,427	0,869	1,069	0,950	9,573
134	1,120	0,800	0,740	0,580	0,347	1,671	0,779	1,511	0,651	17,948
135	1,235	0,945	0,900	0,480	0,550	0,873	0,823	1,293	0,873	13,867
136	1,405	1,040	0,970	0,220	0,742	0,296	0,799	1,408	1,070	7,904
137	1,400	1,095	1,000	0,410	0,803	0,511	0,824	1,291	1,100	11,136
138	1,270	1,025	0,970	0,290	0,661	0,439	0,851	1,157	0,968	9,728
139	1,285	1,155	0,915	0,440	0,711	0,619	0,862	1,104	0,923	12,094
140	1,500	1,120	0,940	0,390	0,827	0,472	0,776	1,521	1,107	10,615
141	1,155	0,975	0,820	0,240	0,484	0,496	0,843	1,196	0,744	9,638
142	1,400	1,130	0,910	0,330	0,754	0,438	0,807	1,374	1,001	9,959
143	1,240	1,050	0,900	0,260	0,614	0,424	0,850	1,161	0,877	9,338
144	1,360	1,000	0,830	0,290	0,591	0,491	0,766	1,574	0,887	9,958
145	1,275	1,010	0,800	0,310	0,539	0,575	0,792	1,444	0,801	10,710
146	1,300	1,120	0,835	0,340	0,637	0,534	0,821	1,304	0,853	10,714
147	1,500	1,165	0,950	0,380	0,869	0,437	0,789	1,458	1,119	10,294
148	1,150	0,770	0,740	0,400	0,343	1,166	0,755	1,624	0,668	14,432
149	1,320	1,010	0,975	0,300	0,681	0,441	0,827	1,275	1,011	9,803
150	1,420	1,125	1,040	0,360	0,870	0,414	0,834	1,240	1,160	10,056
151	1,500	1,135	1,070	0,800	0,954	0,839	0,814	1,337	1,261	15,553
152	1,380	1,115	0,945	0,630	0,761	0,827	0,821	1,304	1,024	14,562
153	1,420	1,055	0,905	0,510	0,710	0,718	0,779	1,506	1,009	13,092
154	1,220	1,035	0,900	0,530	0,595	0,891	0,855	1,136	0,862	14,348
155	1,540	1,100	0,970	0,370	0,860	0,430	0,766	1,571	1,173	10,149
156	1,440	1,180	1,130	0,910	1,005	0,905	0,863	1,098	1,278	16,573

Continua...

Apêndice 3c - Características e propriedades físicas dos frutos de café, teor de água de 28,74% (b.u.), para o projeto da máquina colhedora (Continua)

Leitura	<i>a</i> (cm)	<i>b</i> (cm)	<i>c</i> (cm)	<i>m_f</i> (g)	<i>V_f</i> (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	<i>C</i> Ad.	<i>A_p</i> (cm ²)	<i>v_t</i> (m s ⁻¹)
157	1,370	1,095	0,915	0,590	0,719	0,821	0,811	1,351	0,985	14,261
158	1,435	1,075	0,945	0,600	0,763	0,786	0,790	1,454	1,065	14,089
159	1,160	0,860	0,765	0,370	0,400	0,926	0,788	1,466	0,697	13,166
160	1,390	0,975	0,895	0,520	0,635	0,819	0,767	1,566	0,977	13,731
161	1,360	1,080	1,000	0,360	0,769	0,468	0,836	1,231	1,068	10,482
162	1,140	0,860	0,805	0,220	0,413	0,532	0,811	1,354	0,721	9,633
163	1,310	0,960	0,885	0,440	0,583	0,755	0,791	1,449	0,911	12,863
164	1,270	1,000	0,860	0,470	0,572	0,822	0,811	1,353	0,858	13,478
165	1,435	1,115	1,000	0,520	0,838	0,621	0,815	1,333	1,127	12,605
166	1,330	0,935	0,865	0,460	0,563	0,817	0,770	1,551	0,904	13,309
167	1,325	0,935	0,835	0,450	0,542	0,831	0,763	1,585	0,869	13,287
168	1,280	1,050	0,870	0,550	0,612	0,898	0,823	1,293	0,875	14,457
169	1,075	0,860	0,755	0,360	0,365	0,985	0,825	1,283	0,637	13,415
170	1,200	1,015	0,940	0,520	0,599	0,867	0,872	1,056	0,886	14,188
171	1,240	0,800	0,750	0,640	0,390	1,643	0,731	1,744	0,730	18,128
172	1,150	0,900	0,865	0,450	0,469	0,960	0,838	1,220	0,781	14,109
173	1,220	0,950	0,860	0,610	0,522	1,169	0,819	1,314	0,824	16,226
174	1,385	1,000	0,895	0,350	0,649	0,539	0,776	1,525	0,974	10,815
175	1,295	1,080	0,940	0,540	0,688	0,784	0,846	1,182	0,956	13,804
176	1,240	0,910	0,800	0,380	0,473	0,804	0,779	1,507	0,779	12,624
177	1,200	1,000	0,910	0,450	0,572	0,787	0,858	1,122	0,858	13,223
178	1,300	1,035	0,945	0,550	0,666	0,826	0,833	1,243	0,965	14,103
179	1,200	1,000	0,725	0,400	0,456	0,878	0,796	1,428	0,683	13,122
180	1,010	0,860	0,995	0,360	0,453	0,796	0,943	0,708	0,789	12,593
181	1,195	0,900	0,780	0,620	0,439	1,412	0,789	1,459	0,732	17,267
182	1,125	0,980	0,905	0,670	0,522	1,282	0,888	0,975	0,800	17,259
183	1,230	0,910	0,840	0,380	0,492	0,772	0,796	1,423	0,811	12,497
184	1,205	0,950	0,735	0,660	0,441	1,498	0,783	1,487	0,696	17,819
185	1,170	0,945	0,890	0,580	0,515	1,126	0,850	1,161	0,818	15,884
186	1,120	0,985	0,910	0,540	0,526	1,027	0,894	0,947	0,800	15,181
187	1,250	1,000	0,850	0,630	0,556	1,132	0,816	1,326	0,834	16,162
188	1,200	0,980	0,805	0,350	0,496	0,706	0,818	1,317	0,759	11,888
189	1,150	0,915	0,905	0,340	0,499	0,682	0,856	1,135	0,817	11,746
190	1,195	0,915	0,865	0,390	0,495	0,788	0,821	1,301	0,812	12,710
191	1,300	1,060	0,895	0,540	0,646	0,836	0,825	1,284	0,914	14,060
192	1,325	1,060	0,865	0,470	0,636	0,739	0,805	1,380	0,900	12,979
193	1,280	1,000	0,875	0,740	0,586	1,262	0,811	1,351	0,880	17,453
194	1,130	0,900	0,990	0,690	0,527	1,309	0,887	0,982	0,879	17,501
195	1,195	0,844	0,700	0,570	0,370	1,542	0,745	1,674	0,657	17,253
196	1,210	0,985	0,880	0,390	0,549	0,710	0,840	1,212	0,836	12,296
197	1,240	1,000	0,950	0,520	0,617	0,843	0,852	1,154	0,925	14,032
198	1,120	0,995	0,960	0,440	0,560	0,785	0,913	0,854	0,844	13,198
199	1,255	0,915	0,820	0,450	0,493	0,913	0,781	1,499	0,808	13,755
200	1,115	0,910	0,810	0,670	0,430	1,557	0,840	1,210	0,709	18,326
Leitura	<i>a</i> (cm)	<i>b</i> (cm)	<i>c</i> (cm)	<i>m_f</i> (g)	<i>V_f</i> (cm ³)	ρ_f (g cm ⁻³)	ϕ Ad.	<i>C</i> Ad.	<i>A_p</i> (cm ²)	<i>v_t</i> (m s ⁻¹)
Média Total	1,287	1,001	0,887	0,487	0,608	0,834	0,813	1,341	0,901	13,466
D. P.*	0,118	0,094	0,075	0,139	0,141	0,275	0,037	0,181	0,140	2,268

*Desvio-padrão