DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UMA ABANADORA MECÂNICA DE CAFÉ

OSVALDO COAN

Dr. Eng.º ROSALVO TIAGO RUFFINO
Orientador

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
BIBLIOTECA
- U.S.P. -

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos - USP, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Mecânica.

DEDALUS - Acervo - EESC
31100036663

SÃO CARLOS
Estado de São Paulo - Brasil
- 1981 -

À memória do meu pai,

DEDICO

À minha mãe, irmãos, esposa
e filhos,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradecemos:

- Ao Prof. Dr. Engº Rosalvo Tiago Ruffino, pela orientação segura, sugestões e colaboração, durante o desenvolvimento deste trabalho;

- Aos Profs. Drs. Antonio Francisco Ortolani e David Ariovaldo Banzatto, pelas sugestões e colaboração prestadas;

- Aos colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da FCAVJ-UNESP, pela colaboração, estímulo e ambiente de trabalho propiciado;

- Aos funcionários do Laboratório de Máquinas - Ferramentas do Departamento de Engenharia Mecânica da EESC-USP e, da Oficina Mecânica da FCAVJ-UNESP, pela colaboração na construção dos componentes do protótipo;

- Às desenhistas Silvia e Bety da Secção de Desenho, do Departamento de Engenharia Rural, da FCAVJ-UNESP, pelos serviços prestados durante as fases de projeto e construção;

- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida;

- Finalmente, à todos que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho.

ÍNDICE

Página

1. INTRODUÇÃO..... 1

2. REVISÃO DE LITERATURA..... 5

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO..... 18

4. MATERIAL E MÉTODOS DOS ENSAIOS DO DESEMPENHO..... 25

4.1. Protótipo..... 25

4.2. Trator agrícola..... 26

4.3. Produto agrícola..... 26

4.3.1. Sistema de colheita..... 26

4.3.2. Amostragem..... 28

4.3.3. Umidade..... 30

4.4. Ensaios preliminares..... 30

4.4.1. Ensaios de campo..... 30

4.4.2. Ensaio do ventilador..... 35

4.5. Ensaios finais..... 37

4.5.1. Modificações e adaptações..... 37

4.5.2. Procedimento dos ensaios do desempenho... 38

4.6. Delineamento experimental..... 40

4.7. Outros materiais e utensílios..... 41

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 42

5.1. Ensaios de campo..... 42

5.2. Ensaio do ventilador..... 44

5.3. Ensaios finais..... 47

Página

5.3.1. Determinação da capacidade da abanação... 47

5.3.2. Determinação do rendimento da abanação... 50

5.3.3. Determinação da quantidade de ramos secos junto ao café abanado..... 53

5.3.4. Determinação da quantidade de torrões (g) obtida junto ao café abanado..... 56

5.3.5. Determinação das perdas de café em coco na saída do ventilador..... 59

5.3.6. Determinação das perdas de café em grãos na bica de terra..... 62

6. CONCLUSÕES..... 66

7. RESUMO..... 68

8. SUMMARY..... 70

9. LITERATURA CITADA..... 72

10. APÊNDICE..... 75

LISTA DE QUADROS

QUADRO Página

2.1 - Distribuição percentual das áreas, segundo as superfícies das plantações..... 12

4.1 - Valores de (n) em função da área de passagem do ar..... 36

5.1 - Relação de rotação dos principais componentes do protótipo, em rpm..... 43

5.2 - Valores das leituras de H (mm) no manômetro, apresentados para cada área de secção do condutor de ar do ventilador e rotação ensaiada..... 44

5.3 - Velodicade do ar (m/s) calculada a partir dos dados do Quadro 5.2..... 45

5.4 - Tempo (s) necessário para abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura". Umidade média = 31,0%..... 48

5.5 - Peso de café abanado (g), referente ao volume de 20 litros do produto agrícola "in natura". Umidade média = 31,0%..... 51

5.6 - Quantidade de ramos secos (g), coletada na bica de ensaque. Volume de abastecimento = 20 litros. Umidade média = 31,0%..... 54

5.7 - Quantidade de torrões)g) coletada na bica de ensaque. Volume de abastecimento = 20 litros. Umidade média = 31,0%..... 57

5.8 - Quantidade de café (g) eliminada pelo ventilador. Volume de abastecimento = 20 litros. Umidade média = 31,0%..... 60

QUADRO Página

5.9 - Quantidade de café (g) eliminada pela bica de terra. Volume de abastecimento = 20 litros. Umidade média = 31,0%..... 63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Página

1.1 - Abanação manual..... 2

1.2 - Café abanado manualmente, destacando-se a presença de impurezas leves..... 3

3.1 - Fluxograma da abanação mecânica do café..... 19

3.2 - Abanadoras Mecânicas de Café - Vista anterior dos Protótipos nº 1 (direita) e nº 2 (esquerda)..... 24

3.3 - Protótipo nº 2 - Vista da parte posterior..... 24

4.1 - Operação manual de rastelação e amontoa..... 27

4.2 - Principais tipos de frutos: 1 - cerejas; 2 - verdes; 3 - secos; 4 - descascados..... 29

4.3 - Impurezas: 5 - terra solta e pequenos fragmentos vegetais; 6 - ramos secos; 7 - torrões e pedras; 8 - folhas..... 29

4.4 - Aspecto do produto agrícola "in natura"..... 33

4.5 - Protótipo nº 2 - Abanação mecânica no interior da cultura..... 33

4.6 - Vista superior do Protótipo nº 2 - Fase de peneiração durante a abanação mecânica..... 34

4.7 - Aspecto das impurezas eliminadas pelo condutor de terra..... 34

4.8 - Vista da bica de ensaque e produto abanado pelo Protótipo nº 2..... 35

FIGURA Página

4.9 - Posições dos pontos de medida do fluxo de ar na secção do ventilador..... 36

5.1 - Comportamento da velocidade do ar na secção retangular do condutor de ar do ventilador..... 46

5.2 - Variação do tempo necessário para abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura"..... 49

5.3 - Variação do peso (g) de café abanado para um volume de abastecimento de 20 litros do produto agrícola "in natura"..... 52

5.4 - Variação da quantidade de ramos secos, coletada na bica de ensaque, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura"..... 55

5.5 - Variação da quantidade de torrões coletada na bica de ensaque, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura"..... 58

5.6 - Variação da quantidade de café em coco coletada na saída do ventilador, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura"..... 61

5.7 - Variação da quantidade de café em coco coletada na bica de terra, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura"..... 64

1. INTRODUÇÃO

A cultura do café, explorada há mais de 250 anos no Brasil, continua ocupando lugar de destaque entre outras de importância econômica, trazendo através do marcado interno e da exportação, uma grande fonte de divisas.

Embora o cafeeiro seja cultivado há tanto tempo, a sua mecanização deixa muito a desejar, principalmente devido ao sistema de plantio adotado, o qual tem impossibilitado a utilização de máquinas e implementos para execução dos tratos culturais e da colheita.

Até o momento, a maioria dos pequenos e médios produtores, conduzem suas lavouras através de sistemas tradicionais e as colheitas são realizadas exclusivamente por meio de processos manuais, envolvendo os sistemas de derriça no chão, derriça no pano, e/ou em cestas e peneiras. A derriça no chão é a prática mais generalizada e inclui as operações de arruação, a derriça propriamente dita, rastelação, varrição e abanação.

O tempo gasto nas operações manuais de colheita, segundo RIGITANO (1965), estão divididos em 60 a 70% na derriça, 20 a 30% na rastelação e de 10 a 15% na abanação. Esta última, conquanto a mais rápida delas, é a que requer maior habilidade do trabalhador (Figura 1.1), além de ser uma operação de baixo rendimento, exige muita resistência física, pois é uma prática muito penosa e acima de tudo, muito prejudicial à saude, devido a poeira que provoca. Contudo a abanação não elimina totalmente as impurezas leves, pois nem sempre existe uma corrente de ar, suficientemente forte, que auxilie a eliminação das folhas, cascas, ramos secos e frutos chochos (Figura 1.2).

FIGURA 1.1 - Abanação manual.

FIGURA 1.2 - Café abanado manualmente, destacando-se a presença de impurezas leves.

A partir de 1970, com o advento da ferrugem (*Hemileia vastatrix* (Beck & Ber.), doença de difícil controle, que se alastrou pelas regiões cafeeiras do país, o GERCA (Grupo Executivo para Racionalização da Cafeicultura), adotou como norma um novo sistema de plantio, sendo o espaçamento entre linhas, limitado entre 3,5 a 5,0 m. Com essa medida, surgiram novas perspectivas para as pesquisas relacionadas com a mecanização da cultura de café.

Diante desse aspecto, o Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos - USP, iniciou a partir de 1974, seus estudos sobre a mecanização da abanação, desenvolvendo o primeiro protótipo de Abanadora Mecânica de Café. A fonte de potência utilizada para transporte e acionamento, foi um trator agrícola (modelo cafeeiro). Durante

os testes de campo, apesar do bom desempenho do protótipo, verificou-se a necessidade de se aperfeiçoar alguns componentes, tais como: adaptação de uma moega de alimentação; substituição da estrutura em madeira por estrutura metálica; mudança do sistema de ensaque e de sua posição; aperfeiçoamento do sistema vibratório; redução da largura e altura totais e outros, a fim de melhorar as características de operação e funcionamento.

O objetivo deste trabalho é, portanto, o de desenvolver e analisar o desempenho de uma Abanadora Mecânica de Café, com base nos estudos apresentados por COAN (1977), com vistas à mecanização da operação de abanação do café no campo e consequentemente, à redução da mão-de-obra utilizada nas operações manuais de colheita do café.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura é feita apresentando-se, primeiramente, trabalhos relacionados com máquinas de processamento agrícola, principalmente àqueles que se referem aos princípios de funcionamento e operação e, em seguida, trabalhos que se preocupam com aspectos considerados importantes para o estudo proposto.

TRESCA (1895) apresenta uma abanadora destinada à execução da limpeza dos cereais no meio rural. A máquina é de acionamento manual e está equipada com ventilador radial de 5 pás retas, moega de alimentação de vazão controlada, peneiras oscilatórias superfostas e bicas para descarga do produto abanado.

CONTI (1942) descreve um tipo de abanadora que também se utiliza do princípio do vento para eliminar as impurezas leves dos grãos. A máquina é acionada manualmente durante o processamento e o produto agrícola passa por uma moega de alimentação de vazão controlada, permitindo a queda na direção

de uma corrente de ar forçada, que promove o alijamento das partes leves; os grãos sob influência do próprio peso, seguem diferentes trajetórias, se depositando em montes classificando se à "grosso modo". O "vento" é produzido por um ventilador radial de pás retas, acionado por meio de uma manivela ligada à um sistema de engrenagens, cuja velocidade variável atua horizontalmente sobre os grãos, que caem verticalmente por ação do próprio peso. Segundo o autor, essas abanadoras podem estar equipadas com peneiras oscilatórias, podendo realizar uma seleção prévia dos grãos, cuja eficiência será dependente da quantidade e natureza do material a ser processado. Com referência à disposição e inclinação das peneiras, alerta que a maior inclinação corresponde à um maior rendimento, mas à uma menor limpeza e vice-versa. Por esse motivo, recomenda que um dos casos, se faça um estudo da inclinação mais adequada e que esteja de acordo com a corrente de ar produzida pelo ventilador. Quanto a qualidade da limpeza, sugere que o sistema que utiliza peneiras superpostas, formando um "jogo de peneiras", apresenta melhor qualidade e maior rendimento.

Com relação à limpeza e classificação de grãos, BAINER *et alii* (1963) afirmam que as principais características utilizadas na separação das impurezas dos grãos são: tamanho, forma, peso específico, características superficiais e cor. No caso da limpeza ser realizada por meio do peso específico, o sistema é constituído de um ventilador, freqüentemente em conjunto com peneiras que auxiliam a operação. As máquinas que utilizam esse princípio, são conhecidas como abanadoras (Fanning

mill). As peneiras são constituídas de uma armação e chapas de metal perfuradas com furos redondos, oblongos ou tringulares, sendo suportadas por meio de hastes que oscilam por meio de um excêntrico ou manivela. Essas hastes são fixadas de modo que as peneiras apresentem um movimento horizontal oscilatório e um pequeno movimento no sentido vertical, sendo que a inclinação é usualmente ajustável de acordo com a taxa de fluxo de material desejada. A combinação desses movimentos agita perfeitamente o material em processamento, conduzindo-o vagarosamente em direção à um ponto de descarga, cuja limpeza final é realizada pela queda dos grãos sebmetidos à um fluxo de ar.

DENCKER (1966) apresenta os principais dispositivos de limpeza das máquinas trilhadoras de cereais. Refere-se que essas máquinas, trabalham com peneiras vibratórias convencionais, de algumas centenas de oscilações por minuto, com amplitude de oscilação de 10 a 30 mm. Quanto a classificação realizada por meio do peso específico, utiliza-se uma corrente de ar que pode passar transversalmente pelo fluxo de grãos, que caem por gravidade (como nas antigas abanadoras). Em outros tipos de máquinas mais avançadas são constituídas de peneiras vibratórias de alta freqüência, variando de 2.000 a 3.000 oscilações completas por minuto e com amplitude de vibração de 1 a 2 mm.

OSBORNE & TURNER (1970) apresentam um estudo sobre os principais tipos de ventiladores. Quanto aos ventiladores radiais de pás retas, afirmam que é o tipo mais simples, são volumosos em relação a capacidade de trabalho e apresentam

um rendimento não muito elevado, sendo destinados às pressões moderadas. Uma das suas características é que os materiais que se encontram no fluxo de ar, não se aderem às pás. São de auto-limpeza, apresentando a vantagem no caso em que o ar estiver carregado de pó.

HARA (1972), referindo-se aos transportadores vibratórios para café em coco, apresenta um princípio de transporte, constituindo-se uma calha montada sobre hastes ou molas inclinadas. A calha é acionada por um motor e pino excêntrico, os quais possibilitam a formação de um movimento de vai-vem, transportando o material no sentido oposto à inclinação das hastes. Segundo o autor, o equipamento é muito utilizado como transportador-dosador, conseguindo-se um fluxo bastante uniforme, permitindo entretanto, aumentá-lo ou diminuí-lo em função da freqüência da vibração. Quanto aos transportadores pneumáticos verticais, ALDEN, citado pelo mesmo autor, afirma que a velocidade do ar de 15,3 m/s; é considerada ideal para o transporte do café em coco.

WELCK (1973) descreve os principais tipos de máquinas utilizadas para o processamento de sementes. Quanto as máquinas de limpeza que utilizam o sistema de peneira e ar, recomenda que no caso de sementes alongadas, usam-se geralmente, tanto na peneira superior como inferior, perfurações oblongas. A velocidade de escoamento das sementes na moega de alimentação, pode ser controlada através de uma comporta ajustável, situada na saída da moega. Quanto a posição e inclinação das peneiras, recomenda que estas devem ser dispostas no senti

do plano, mas um pouco inclinadas para frente ou para trás, dependendo da posição que cada uma ocupa na máquina, geralmente numa inclinação de 10°. Essas peneiras em sua maioria, são dotadas de uma área de aproximadamente 20 cm sem perfurações, num dos extremos. Essa secção é denominada de espalhador, pois a medida que os grãos forem sendo descarregados pelo alimentador, cairão sobre a parte lisa, onde poderão se espalhar numa fina camada, e os gravetos alcançam uma posição horizontal antes de atingirem a parte perfurada. A função das peneiras é a de remover o material estranho que apresente maior ou menor largura e espessura que a semente normal. As peneiras de chapas de metal perfuradas podem ter as perfurações redondas, oblongas ou triangulares. As perfurações oblongas e redondas são as mais utilizadas. Os furos oblongos são indicados por duas dimensões: pela largura e pelo comprimento da perfuração. A parte vibratória da máquina, em forma de armação, sobre a qual repousam as peneiras, é chamada de "caixa de peneiras". A caixa é inclinada para permitir que as sementes se desloquem peneira abaixo. A vibração da caixa de peneiras é provocada por meio de um mancal descentrado, chamado "excêntrico", o qual pode ser regulado para controlar a movimentação do material sobre as peneiras, auxiliando a movimentação e separação das impurezas. A finalidade do ventilador, é produzir uma corrente de ar que remova as impurezas leves, palha, pó e sementes de peso específico inferior às normais. Nas máquinas de um só ventilador, as sementes passam através do jato de ar ao sairem do alimentador ou passarem pela peneira inferior, dirigindo-se posteriormente

à um transportador para ensaque.

Com referência à colheita mecânica do café, SHELLENBERGER *et alii* (1963), professores do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade do Hawai, afirmam "a colheita mecanizada do café é relativamente simples em sua primeira fase, a derriça do café da árvore, só depois começam os problemas". Os pesquisadores desenvolveram diversos modelos portáteis de derriçadeiras, acionadas por motores à gasolina e por motores elétricos. As derriçadeiras elétricas tinham como fonte de potência um gerador de 1250 watts, acionados por motor à gasolina. Os vibradores trabalhavam a 1400 cpm e com um curso de 1,4 cm, derriçavam a maior parte dos frutos cerejas e somente de 15 a 40% dos frutos verdes. Os autores encontraram diversos problemas sobre o desenvolvimento de recolhedores, para o café derriçado mecanicamente e propõem um tipo construído denominado "pano de queda".

GRANER & GODOY JUNIOR (1967) destacam que a colheita do café, como sendo uma operação exclusivamente manual, apresenta poucas possibilidades de mecanização, pois o processo de colheita mais generalidado no país é o da derriça no chão. A derriça consiste em envolver o ramo da planta pela mão e deslizá-la em seguida de dentro para fora, pela parte que contenha os frutos. Como a maturação não é uniforme, obtém-se desso modo um produto que é a mistura de frutos maduros, verdes e secos, além das folhas e gravetos que se destacam. À estas frações somam-se a terra, as pedras e cascas. Com referência à abanação manual desse material, afirmam que é uma práti

ca muito penosa, apesar de se ter tentado mecanizar essa operação, porém sem vantagens econômicas, razão pela qual o uso de abanadoras manuais de roça não têm sido difundidas, embora façam um trabalho a contento, sob o ponto de vista técnico.

MONROE & WANG (1968) desenvolveram um sistema para colheita mecância do café no Hawai. O sistema é constituído de um vibrador portátil, construído com base nos estudos de SHELLENBERGEN & WANG (1964). Os autores concluiram que a melhor combinação do sistema vibrador foi de 1/4" a 2400 cpm ou 1" a 1200 cpm, respectivamente para amplitude e freqüência da vibração, sendo acionado por motor à gasolina de 2 tempos e potência de 2 HP. Quanto ao sistema de recolhimento dos frutos derriçados, WANG *et alii* (1966) desenvolveram um protótipo acoplado na frente de um Jeep, constituindo-se de um tupo aspirador movimentado por cilíndros hidráulicos, cabos e polias. Um outro coletor foi montado sobre um "pano de queda" e sobre o qual resultou em alguns problemas nos aspiradores, os quais tiveram dificuldade na remoção dos frutos derriçados pelo vibrador portátil.

PHILLIPS (1969), pesquisador do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade de Porto Rico, faz uma avaliação da quantidade de frutos maduros e verdes, folhas e outros materiais estranhos obtidos através da colheita mecânica. O autor faz considerações especiais sobre a importância da limpeza e classificação dos grãos quanto à manutenção da qualidade do produto para comercialização.

CARVALHO (1974) considera que a colheita do ca

fé, exige uma solução imediata diante da expansão da cafeicultura, incentivada pelo IBC (Instituto Brasileiro do Café). Por outro lado, à crescente escassez da mão-de-obra para colheita e à introdução de novas técnicas de plantio adotadas pelo GERCA, tornou-se possível a mecanização dos tratos culturais e da colheita. Quanto à utilização de colhedoras automotrizes pelos cafeicultores, salienta que é praticamente inviável, pois fazendo-se uma comparação entre o custo de aquisição de uma colhedora e a renda do produtor, essa alternativa somente seria viável, através do sistema de cooperativas; uma vez que a maioria das regiões produtoras de café, é formada de pequenos e médios produtores, como mostra o Quadro 2.1.

QUADRO 2.1 - Distribuição percentual das áreas, segundo as superfícies das plantações.

	SP	PR	MG	ES
Menos de 9 ha	13,6	12,0	24,1	16,2
9 a 70 ha	55,0	53,6	55,6	69,3
71 a 140 ha	14,2	13,5	9,0	6,3
141 a 280 ha	9,8	10,5	6,8	3,8
Mais de 280 ha	7,4	10,4	4,5	4,4

Fonte: Estudio Mundial del Café.

RIGITANO (1975) afirma que a solução do problema de mecanização da colheita do café é de transcendental importância para a cafeicultura nacional, vindo ao encontro dos anseios dos cafeicultores, principalmente, agora que a escassez

e deficiência da mão-de-obra para essa operação, acentua-se de ano para ano, com reflexos substanciais no custo de produção. Quanto à colheita manual do café, esta representa de 30 a 40% do custo de produção de uma saca de café, devendo ser realizada num período curto, de tal modo que não venha a prejudicar o desenvolvimento fisiológico da planta, com reflexos negativos para as safras seguintes. Quanto à utilização de vibradores portáteis motorizados, afirma que estes não representam a solução para o problema paulista; isto porque estes equipamentos, além das dificuldades próprias do uso, manutenção e eficiência, o seu emprego será, até certo ponto, limitado. Além de necessitar de um operador para cada máquina, o seu uso resolverá apenas parte do problema, pois somente derriçará a maior parte dos frutos maduros e secos, sendo obrigatória portanto, as demais operações concernentes à colheita, como rastelação, varrição e abanação do produto derriçado. Com relação à colheita por meio de colhedoras automotrizes, o autor salienta a necessidade de se adequar a cultura à máquina. As plantas devem ter no máximo 2,70 m de altura e diâmetro de copa 1,40 a 1,80 m, cultivadas em terrenos com declividade máxima de 15 a 20% e plantio em renque, tendo de 2 a 3 pés por cova. Outra modificação na estrutura atual das plantas, diz respeito à "saia do cafeeiro", a qual deve ter uma altura de 40 cm do solo, para que seja possível o recolhimento do café derriçado pelos vibradores da colhedora. Contudo, sob ótimas condições, essas máquinas chegam a colher até 95% dos frutos.

NOGUEIRA *et alii* (1975) instalaram 3 ensaios em

cafezais localizados nos municípios de Jesuania e Varginha, MG, com a finalidade de estudar o comportamento de derriçadeiras vibratórias portáteis em comparação com a colheita manual no pano. Durante os ensaios utilizaram as máquinas Sortex (importadas) e um protótipo nacional da Hatsuta. Após a realização dos ensaios e com base nos resultados obtidos, concluiu-se que: a) o tempo superior a 10 segundos de vibração, causam lesões de média à grave nos cafeeiros; b) os frutos de menor peso apresentam maior dificuldade de serem derriçados; c) a porcentagem de folhas caídas foram menores nos tratamentos que utilizaram derriçadeiras mecânicas; d) A aplicação do produto químico Etherel, não favoreceu a derriça mecânica; e) em todos tratamentos houve a necessidade de se fazer o repasse manual, colhendo de 20 a 45% dos frutos não derriçados pelas vibradoras mecânicas.

GENTIL (1976) apresenta um estudo sobre as técnicas de cultivo do café, principalmente da colheita, que segundo o autor, traz uma série de problemas ante a mão-de-obra que está cada vez mais escassa e menos eficiente. Com relação à mecanização da cultura, destaca que a "ferrugem" trouxe grandes benefícios, pois a partir da adoção das novas técnicas de cultivo e do conseqüente desenvolvimento de tratores especialmente desenhados para trabalhar no interior da cultura; as operações de carpa, adubação, tratamento fitossanitário, colheita, transporte e outros, puderam ser mecanizados, aliviando a mão-de-obra escassa e cara para a produção do café.

COAN (1977) apresenta uma contribuição para o

desenvolvimento da mecanização das operações de colheita do café. Trata-se do projeto e construção de uma Máquina Abanadora de Café (protótipo nº 1), que pode ser acoplada à qualquer trator agrícola (modelo cafeeiro), que apresente o sistema universal de engate de 3 pontos e eixo de tomada de potência para 540 rpm. O conjunto foi projetado para realizar a abanação do café derriçado no interior da cultura, utilizando-se de um sistema constituído de peneira vibratória e ventilador radial. Em condições de campo, a máquina consome baixa potência do motor do trator e necessita para seu total desempenho de 6 homens/dia, obtendo-se com a alimentação contínua, de 40 a 60 sacas/hora do produto abanado.

BIERRENBACK (1979) apresenta uma colhedora automotriz para café, desenvolvida pela Jacto, em Pompéia, SP. Segundo o autor, a colhedora pelo colher até 3 ha/dia, com um rendimento de até 95%. Apesar do alto desempenho da colhedora, existem ainda algumas restrições quanto a operação nas lavouras com declividade acima de 20% e em plantações com altura superior a 2,30 m. Para que haja facilidade no recolhimento do produto derriçado, as plantas devem apresentar uma altura livre de 0,40 m. Tendo-se em vista que está máquina deverá atender somente de 10 a 15% dos cafeicultores e que a grande maioria dos produtores, não terão condições para aquisição dessas automotrizes, o autor sugere o desenvolvimento de máquinas derriçadeiras de pequeno porte, para utilização nas pequenas propriedades ou em plantações localizadas em terrenos íngrimes.

FAVA *et alii* (1980) fizerem um estudo sobre a

viabilização da introdução da técnica de colheita mecânica do café, utilizando-se no testes de campo a colhedora modelo K-3. Neste trabalho, procurou-se mostrar os problemas encontrados entre os diferentes tipos de plantas utilizadas, bem como a configuração desejada para as plantas e a situação das lavouras não plantadas para fins de colheita mecanizada e suas possibilidades.

CASTANHO (1981) propõe que a Universidade deve realizar suas pesquisas dirigidas ao desenvolvimento da tecnologia intermediária, como sendo a solução para a libertação do homem dos processos rudimentares, na busca de um trabalho mais organizado e produtivo. Sobre esse assunto, "conclama a Universidade a se dedicar ao desenvolvimento de equipamentos robustos, fáceis de operar e manter, de preço compatível com o poder aquisitivo da maioria da população". "Os equipamentos a serem desenvolvidos seriam aqueles destinados à mecanização das operações de colheita de grãos, constituídos de máquinas destinadas às fases de arrancamento, recolhimento, trilhamento, peneiração e ensaque, com vistas à um melhor aproveitamento do trator já existente com seu motor, seu câmbio, suas transmissões, seu sistema de direção, seus sistemas elétricos e hidráulicos, em contra-posição às automotrizes, onde esses elementos viriam incorporados à maquina e permaneceriam ociosos, praticamente o ano todo, já que a fase de colheita é curta".

Analisando-se os trabalhos descritos na revisão de literatura, observa-se que a maioria dos autores se preocupa com os problemas da falta de mecanização, principalmente com

aqueles ligados diretamente com as operações de colheita. Quanto ao desenvolvimento de pesquisas relacionadas com equipamentos específicos para realização da colheita do café, principalmente sobre derriçadeiras e colhedeiras automotrizes, evidencia-se a necessidade de se adequar as culturas às máquinas, pois afirma-se que estas resolvem apenas parte do problema e sugere-se então, o desenvolvimento de equipamentos para a realização de outras operações complementares como o recolhimento e abanação.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Pelo fato de não se ter conhecimento da existência de um modelo no mercado, funcionando segundo o processo escolhido, o desenvolvimento do Protótipo nº 2, foi realizado com base nas modificações à serem introduzidas no Protótipo nº 1, tendo-se como fonte de potência, para transporte e acionamento, um trator agrícola modelo cafeeiro.

O desenvolvimento dos principais componentes que constituem o Projeto do Conjunto Geral da "Abanadora Mecânica de Café", estão apresentados às Folhas de números 0 a 13, no volume anexo. A construção e montagem dos componentes foram realizadas de acordo com o Fluxograma da Abanação, como mostra a Figura 3.1, que são os seguintes:

a) uma moega de alimentação, constituída de uma caixa metálica, construída de ferro chato e chapas pretas, apresentando a forma trapezoidal e tendo sua base inclinada. Sua função é a de receber o produto agrícola proveniente do sistema de colheita e também a de alimentar as peneiras transporta

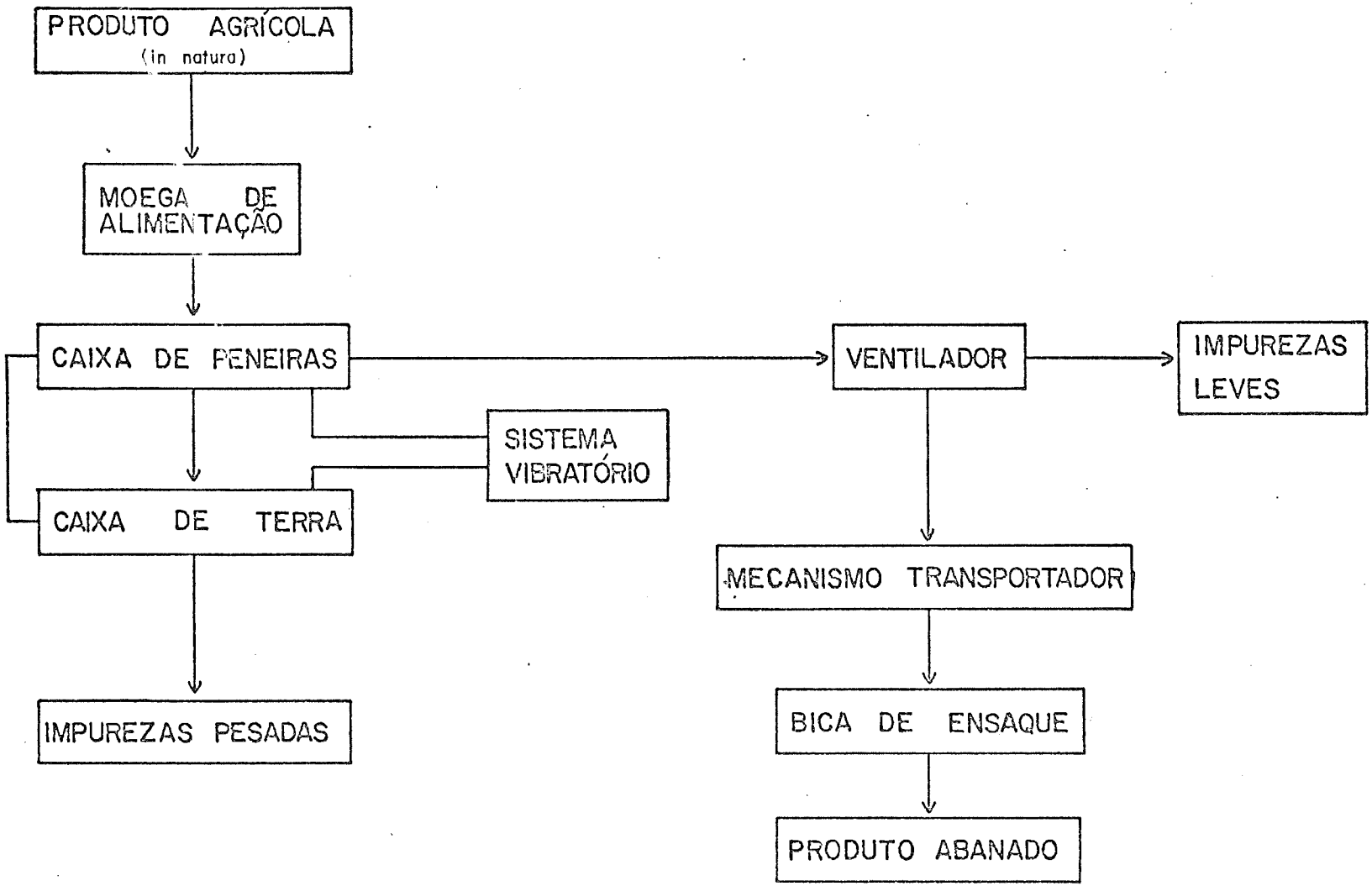

FIGURA 3.1 - Fluxograma da abanação mecânica do café.

doras. Foi construída conforme os itens 11, 15, 16 e 21 do Projeto à Folha 0 e detalhes de construção à Folha 1. Apresenta uma capacidade de armazenamento equivalente a 60 litros, aproximadamente. A descarga é realizada por meio de uma chapa dosadora, de acionamento manual, que se movimenta em posição inclinada na lateral esquerda. Encontra-se localizada na parte superior esquerda e está suportada por uma armação construída em ferro cantoneira e tem uma altura total de 1650 mm;

b) uma caixa de peneiras, vibratória, em forma de calha, constituída de uma armação de ferro chato e cantoneiras tendo as laterais revestidas de chapas metálicas, apresentando no seu interior duas peneiras, dispostas uma sobre a outra e em posição inclinada. Foi construída conforme o item 10 do Projeto à Folha 0 e detalhes de construção à Folha 2. A sua função é transportar o material agrícola proveniente da moega de alimentação até a saída do ventilador, enquanto ocorre uma operação simultânea de peneiração durante o processamento agrícola da abanação;

c) um sistema de sustentação e articulação da caixa de peneiras, constituído de 2 jumelos e de 2 hastes flexíveis. Esses componentes fazem a sustentação, respectivamente das extremidades esquerda e direita da caixa de peneiras (vide itens 19 e 22 do Projeto à Folha 0 e detalhes de construção às Folhas 3 e 4);

d) uma peneira superior, localizada no interior da caixa de peneiras. É constituída de uma chapa perfurada, com furos oblongos de 18 x 14 mm, constituída de chapa preta

nº 20 e mede 1400 x 525 mm (vide item 23 do Projeto à Folha 0 e detalhes de construção à Folha 5). Sua posição no interior da caixa de peneiras, permite a separação das impurezas leves, deixando passar os frutos para a peneira inferior;

e) uma peneira inferior, fixada à estrutura da base da caixa de peneiras, é constituída de uma chapa preta nº 20, apresentanto furos oblongos de 8 x 6 mm e mede 1270 x 525 mm. Foi constituída conforme o item 24 (corte AA) da Folha 0 e detalhes de construção à Folha 6. Tem a finalidade de reter os frutos e permitir a passagem de todas impurezas leves e pesadas que apresentem dimensões menores que os furos que a constituí;

f) uma caixa de terra, localizada imediatamente abaixo da caixa de peneiras. Apresenta a base inclinada, em sentido contrário ao deslocamento do material sobre as peneiras, cuja função é a eliminação das impurezas pequenas leves e pesadas, que atravessaram os furos da peneira inferior; evitando a formação de poeira na saída do ventilador. Apresenta uma capacidade de volume, aproximada de 55 litros e está equipada com condutor de descarga, instalado na lateral esquerda da estrutura principal (vide itens 08, 09 e 20 do Projeto à Folha 0 e detalhes de construção às Folhas 7 e 8);

g) um sistema vibratório, instalado na parte superior e intermediária da estrutura principal. É constituído de um eixo apoiado sobre 2 mancais de rolamentos, apresentando numa das extremidades, um mancal de excentricidade variável (vide detalhes do Projeto na Folha 9). O movimento vibratório

é causado pela disposição de uma biela ajustável, cuja extremidade se une à um mancal de deslizamento instalado na base dianteira da caixa de peneiras. O acionamento do mancal excêntrico promove um movimento oscilatório de baixa frequência e de pequena amplitude, provocando a peneiração e transporte do material agrícola depositado sobre as peneiras superior, inferior e na caixa de terra. A variação da excentricidade é realizada manualmente, pela mudança de posição do pino excêntrico (item 19) na tampa do mancal (item 17), com auxílio da porca (item 18). Um sistema de transmissão, constituído de uma polia motora principal (item 04), uma correia "V" (item 28) e uma polia do eixo do sistema vibratório (item 12), como se apresenta na Folha 0, que são responsáveis pelo acionamento do mancal excêntrico. A polia motora principal é acionada diretamente pelo eixo da tomada de potência do trator (T.D.P.) através de um cardan, cuja relação de transmissão TDP/excêntrico é de 1 : 1,3;

h) um ventilador radial de dupla entrada, caracterizado por apresentar um rotor de pás retas, foi construído conforme os itens 05, 06, 26 e 27 do Projeto à Folha 0 e detalhes de construção à Folha 10. A caixa em forma de espiral é construída de chapa preta nº 18, sendo as laterais de aglomerado de madeira revestidas da mesma chapa. O rotor encontra-se fixado à estrutura principal por meio de 2 mancais de rolamentos, sendo acionado por 2 correias "V" e polias, cujo movimento é transmitido diretamente pelo eixo cardan, numa relação de transmissão do TDP/rotor de 1 : 1,70;

i) uma bica de ensaque equipada com helicóide

transportador horizontal. Encontra-se localizada na parte posterior da estrutura principal, à uma altura de 650 mm da base. O acionamento do helicóide é realizado por um sistema de transmissão constituído de uma polia intermediária (item 13), uma correia "V" (item 27) e uma polia do eixo do helicóide (item 14), que recebem movimento direto da polia motora principal (item 04), como mostra a vista principal do Projeto à Folha 0, com detalhes de construção à Folha 11. A relação de transmissão entre a polia motora principal e a polia do helicóide é de 1 : 0,66;

j) uma estrutura principal, constituída de uma armação de ferro cantoneira, cujas uniões foram realizadas por meio de solda elétrica (vide item 01 do Projeto à Folha 0 e detalhes de construção à Folha 12);

h) um sistema de engate, constituído de 2 pinos e um garfo de categoria I, que fazem respectivamente, o acoplamento das barras inferiores e do 3º ponto de sistema hidráulico do trator (vide itens 02 e 17 à Folha 0 e detalhes de construção à Folha 13).

O Protótipo nº 2 com peso total de 290 kg, foi construído com recursos do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos - USP e do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal - UNESP.

A Figura 3.2 mostra uma vista anterior dos Protótipos nº 1 e nº 2 e a Figura 3.3 uma vista da parte posterior do Protótipo nº 2.

FIGURA 3.2 - Abanadoras Mecânicas de Café - Vista anterior dos Protótipos nº 1 (direita) e nº 2 (esquerda).

FIGURA 3.3 - Protótipo nº 2 - Vista da parte posterior.

4. MATERIAL E MÉTODOS DOS ENSAIOS DO DESEMPENHO

4.1. Protótipo

A máquina abanadora utilizada durante os ensaios, refere-se ao protótipo projetado e construído, conforme descrição apresentada no item 3.

A fonte de potência utilizada para transporte e acionamento é constituída de um trator agrícola, modelo cafeeiro.

O processamento da abanação é realizado através dos mecanismos de peneiração, transporte e abanação, constituindo-se dos seguintes componentes básicos:

- uma moega de alimentação, apresentando uma comporta para controle de vazão;
- uma caixa de peneiras, equipada com 2 peneiras intercambiáveis, para execução da limpeza prévia através da peneiração e transporte;
- uma caixa de terra, provida de um condutor lateral, para eliminação das impurezas pequenas e pesadas;

- um sistema vibratório, constituído por um mancal de excentricidade variável, para acionamento da caixa de peneiras e de terra;

- um ventilador radial de pás retas, com dupla entrada de ar, para eliminação das impurezas leves;

- uma plataforma de ensaque, provida de um transportador helicoidal.

4.2. Trator agrícola

A fonte de potência utilizada para acionamento e transporte do protótipo, é um trator agrícola do tipo cafeeiro, marca Massey Ferguson, modelo 235, equipado com motor Diesel de 42,7 cv de potência à 2200 rpm e 37,6 cv na tomada de potência. Está equipado com sistema hidráulico de engate de 3 pontos, Categoria I, com capacidade de levante de 1179 kg e eixo de tomada de potência para 540 rpm. Apresenta uma largura total de 1350 mm, com bitola traseira mínima de 1060 mm. A relação de transmissão entre o motor e a T.D.P. é de 1 : 0,325.

4.3. Produto agrícola

4.3.1. Sistema de colheita

A cultura de café utilizada durante os ensaios é da variedade 'Catuaí', plantada no espaçamento de 4 x 2 m, com 2 plantas por cova e com 5 anos de idade. Encontra-se localizada na propriedade do Sr. Enio Poli, no município de Jaboticabal, SP.

A colheita foi realizada através do sistema tradicional de derriça no chão, conforme descrição apresentada por GRANNER & GODOY JUNIOR (1967), durante a safra de 1979/80, numa área equivalente à 500 plantas, aproximadamente. Após a derriça, procedeu-se a rastelação e amontoa (Figura 4.1), utilizando-se para essa operação, de rastelos de madeira providos de dentes de arame encurvados.

FIGURA 4.1 - Operação manual de rastelação e amontoa.

Após a realização da amontoa, o produto agrícola "in natura", constituindo um lote de 2500 litros, aproximadamente, foi recolhido e transportado para um galpão. Utilizaram-se para essas operações, cestos de bambú e sacos de aniagem, ambos com capacidade média de 100 litros cada e uma carreta de tração mecânica com capacidade de 1 t.

4.3.2. Amostragem

O lote colhido foi homogeneizado através do processo de espalhamento e amontoa, utilizando-se simultaneamente, para essas operações, rastelos de madeira e pás manuais.

Utilizando-se de um balde graduado com capacidade de 20 litros, retiraram-se ao acaso 20 amostras. A separação dos componentes contidos nas amostras foi realizada através dos processos de peneiração e catação manuais, sendo acondicionados individualmente em sacos plásticos e de papel de diversos tamanhos e em seguida etiquetados.

Utilizaram-se para essas operações, peneiras de arame trançado com malhas de 6 mm e encerados de diversos tamanhos.

Apresenta-se na Figura 4.2 uma vista dos principais tipos de frutos em diferentes estágios de maturação e desenvolvimento, e na Figura 4.3 uma vista das impurezas encontradas junto ao café colhido através do sistema tradicional de colheita.

A determinação do peso dos frutos e das impurezas foi realizada, respectivamente, em balança tipo FILIZOLA, com pacacidade de 2 kg, com subdivisão de escala de 10 g e uma balança de precisão, marca SAUTER, com capacidade de 1,0 kg e com subdivisão de escala de 0,1 g.

FIGURA 4.2 - Principais tipos de frutos: 1 - cerejas; 2 - verdes; 3 - secos; 4 - descascados.

FIGURA 4.3 - Impurezas: 5 - terra solta e pequenos fragmentos vegetais; 6 - ramos secos; 7- torrões e pedras; 8 - folhas.

Os dados referentes aos pesos dos componentes das amostras, bem como os dados de suas porcentagens, encontram-se no Apêndice I.

4.3.3. Umidade

De um lote de 20 amostras, foram retiradas ao acaso 10 amostras para serem submetidas à secagem.

A determinação da umidade foi realizada pelo método gravimétrico, utilizando-se, respectivamente, uma balança de precisão, descrita em 4.3.2 e uma estufa, marca FANEM, modelo 315/2, à temperatura de 100°C, durante 72 horas. O teor de umidade foi calculado pela fórmula proposta por HARA (1972).

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{\text{Peso úmido} - \text{Peso seco}}{\text{Peso úmido}} \cdot 100$$

Os dados sobre as umidades das amostras encontram-se no Apêndice II.

4.4. Ensaios preliminares

Estes ensaios têm a finalidade de estabelecer as condições para o funcionamento do protótipo, principalmente quanto às faixas de rotações e excentricidades, a serem utilizadas nos ensaios finais.

4.4.1. Ensaios de campo

Para se fazer uma avaliação do comportamento da máquina abanadora em condições de campo, a mesma foi transpor

tada para o interior de uma cultura de café, caracterizada conforme descrição apresentada no item 4.3.

Estabeleceu-se preliminarmente para este ensaio, que o motor do trator deverá acionar o protótipo dentro da faixa de 800 a 1700 rpm, correspondendo à faixa de rotação de 250 a 540 rpm na TDP, sendo que as extremidades a serem utilizadas deverão variar de 1,0 a 7,0 mm, com intervalos de 1 em 1 mm.

Para cada excentricidade utilizada, o processamento da abanação foi determinar, a partir da rotação inicial do motor do trator (800 rpm), as rotações correspondentes dos eixos dos principais componentes em movimento, observando o desempenho geral, quanto a capacidade de peneiração, transporte e abanação.

A rotação do motor foi aferida através do tacômetro, localizado no painel de instrumentos do trator, controlada com auxílio da alavanca manual do acelerador. A determinação das rotações correspondentes foi realizada através das leituras apresentadas por um tacômetro digital, marca MICROTEST, modelo L-20, com capacidade de leituras de 0 - 20.000 rpm, com sensibilidade de 1 rpm.

A mudança das excentricidade do mancal do sistema vibratório foi realizada através do deslocamento do pino excêntrico, cujo valor foi aferido por um paquímetro universal, marca MITUTOYO, de procedência japonesa, com capacidade até 150 mm e subdivisão de escala com precisão de 0,1 mm.

O produto agrícola "in natura", utilizado duran

te os ensaios, foi obtido conforme o processo descrito em 4.3.1, cujo aspecto é apresentado pela Figura 4.4.

A abanação no interior da cultura (Figura 4.5) foi realizada simultaneamente pelas operações de abastecimento e ensaque, utilizando-se, respectivamente, de cestos de bambú e sacos de aniagem, ambos com capacidade de 100 litros.

Após o abastecimento da moega da alimentação, o produto agrícola em processamento passou pelas seguintes fases:

a) descarga dos componentes através da comporta de alimentação;

b) transporte dos componentes no interior da caixa de peneiras (Figura 4.6), provocado pela inclinação das peneiras superior e inferior e excentricidade do mancal do sistema vibratório;

c) peneiração, através da retenção dos frutos e impurezas leves, com dimensões superiores aos furos de 18 x 14 mm e, eliminação das impurezas pequenas, pesadas e leves, com dimensões menores que os furos de 8 x 6 mm;

d) transporte e eliminação das impurezas, que passaram pela peneira inferior através da caixa de terra (Figura 4.7);

e) abanação, provocada pelo fluxo de ar produzido pelo ventilador, eliminando frutos chochos, folhas e ramos secos, cascas e outros fragmentos vegetais;

f) transporte do produto abanado até a bica de ensaque, proporcionado pelo transportador helicoidal (Figura 4.8);

g) ensaque, proporcionado pela queda livre do café abanado no interior de um saco.

FIGURA 4.4 - Aspecto do produto agrícola "in natura".

FIGURA 4.5 - Protótipo nº 2 - Abanação mecânica no interior da cultura.

FIGURA 4.6 - Vista superior do Protótipo nº 2 - Fase de peneiração durante a abanação mecânica.

FIGURA 4.7 - Aspecto das impurezas eliminadas pelo condutor de terra.

FIGURA 4.8 - Vista da bica de ensaque e produto abanado pelo Protótipo nº 2.

4.4.2. Ensaio do ventilador

Com base nos dados obtidos nos testes de campo, este ensaio compreenderá a determinação da velocidade do ar, quando o protótipo estiver operando na faixa de rotações de 275 a 400 rpm na TDP do trator. As rotações correspondentes para o rotor do ventilador nessa faixa de trabalho variam de 438 a 700 rpm.

Para se medir a velocidade do ar, utilizou-se o método proposto por OSBORNE & TURNER (1970), o qual consiste em dividir a secção do condutor de ar do ventilador, em áreas determinadas de acordo com a área total da secção, como mostra a Quadro 4.1.

QUADRO 4.1 - Valores de (n) em função da área de passagem do ar.

Área de passagem do ar	Valor de (n)
Até 0,1 m²	3
Mais de 0,1 m² até 0,4 m²	4
Mais de 0,4 m² até 2,5 m²	5
Mais de 2,5 m²	6

O condutor do ventilador apresenta uma secção retangular de 540 x 220 mm, com uma área total de 0,12 m², com valor de (n) igual a 4, correspondendo então à 16 áreas de leituras, como mostra a Figura 4.9.

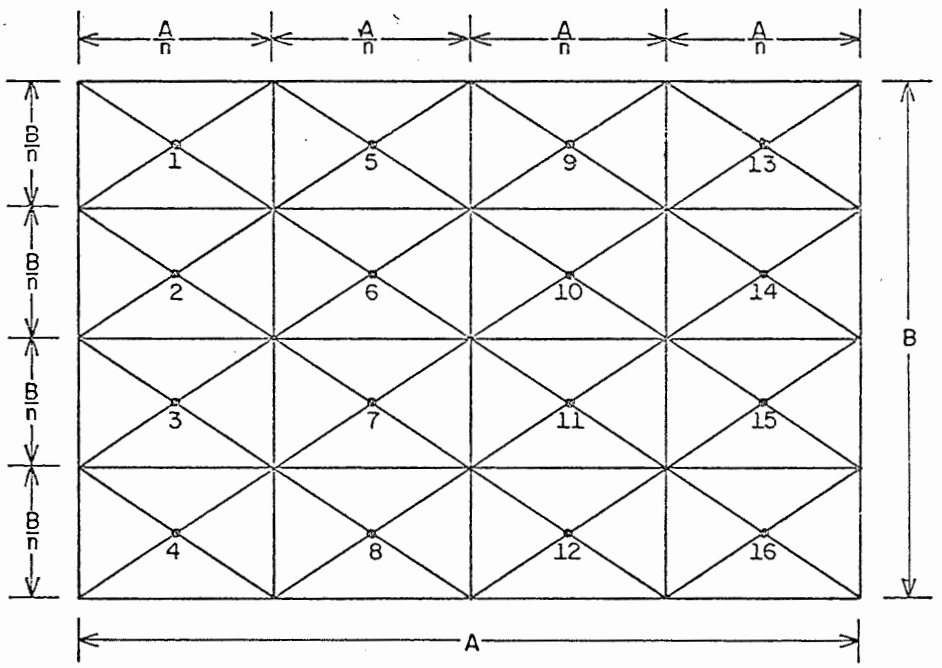

FIGURA 4.9 - Posições dos pontos de medidas do fluxo de ar na secção do ventilador.

O instrumento utilizado para medir a velocidade do ar, nas posições indicadas pela Figura 4.9, foi um manômetro de precisão, marca PHIWE, de prodecência alemã, com capacidade de leitura de 0 a 40 mm e com subdivisão de escala de 0,5 mm.

O tubo de Pitot foi instalado nos pontos centrais de cada área, determinada pela Figura 4.9, efetuando-se as leituras correspondentes para as rotações de 275 a 400 rpm, com intervalo de 25 em 25 rpm, para a TDP.

As rotações foram aferidas por tacômetro de precisão, descrito no item 4.4.1.

A fórmula aplicada para determinação da velocidade do ar, para o manômetro utilizado é:

$$V = 3,69 \sqrt{H}$$

onde: H = deslocamento do fluido no tubo inclinado (mm)

V = velocidade do ar (m/s).

4.5. Ensaios finais

4.5.1. Modificações e adaptações

Durante a realização dos ensaios preliminares, verificou-se a necessidade de se introduzir algumas modificações e adaptações nos componentes do protótipo, no sentido de melhorar o desempenho geral, que são as seguintes:

a) modificação da inclinação da peneira superior, de $6^{o}30'$ para $8^{o}00'$ em relação à horizontal, com a fina

lidade de melhorar a capacidade de transporte das impurezas leves;

b) adaptação de uma chapa, denominada de "espalhadeira" na extremidade anterior da peneira superior, com a finalidade de evitar o acúmulo do produto agrícola descarregado pela moega de alimentação;

c) elevação da altura da moega de alimentação, em relação à peneira superior, de 30 mm, com a finalidade de evitar embuchamento durante a alimentação;

d) adaptação de uma chapa defletora na extremidade do condutor de ar, na parte inferior e próxima à caixa do helicóide, para evitar o retorno do café abanado para o interior do ventilador.

4.5.2. Procedimento dos ensaios do desempenho

Na falta de um método a ser utilizado para determinação dos parâmetros, que caracterizam o desempenho de uma máquina abanadora de café, adotou-se para estes ensaios, como constante um volume de 20 litros do produto agrícola "in natura", para abastecimento da moega de alimentação e, tendo-se como variáveis, as rotações do eixo de tomada de potência do trator (TDP) e as excentricidades do mancal do sistema vibratório.

O desempenho foi analisado através da determinação dos seguintes parâmetros:

a) capacidade de abanação, tempo (s);

b) quantidade de café abanado (g);

c) perdas de café em coco na saída do ventilador (g);

d) perdas de grãos na saída do condutor de terra (g);

e) quantidade de impurezas existentes junto ao produto abanado (g).

Estabelecidas as principais características de funcionamento, determinadas durante a realização dos ensaios preliminares, o procedimento adotado para determinação dos parâmetros constou das seguintes etapas:

1ª) com auxílio de um paquímetro decimal, mediu-se o deslocamento do pino excêntrico, até se obter a excentricidade estabelecida para o tratamento, fixando-o em seguida, através da porca e contra-porca existentes na tampa do mancal;

2ª) utilizando-se de um balde graduado, com capacidade de 20 litros, procedeu-se o abastecimento da moega de alimentação, tomando-se o produto agrícola "in natura", proveniente de um lote de 2500 litros, aproximadamente;

3ª) colocando-se o protótipo em funcionamento, procedeu-se a aferição da rotação inicial estabelecida para o eixo principal, utilizando-se para essa operação um tacômetro digital (descrito em 4.4.1) e a alavanca manual do acelerador do motor;

4ª) abriu-se a comporta da moega de alimentação, até a posição estabelecida, deixando o produto agrícola chegar até a bica de ensaque;

5ª) utilizando-se de um cronômetro de bolso, registrou-se o tempo necessário para abanação de 20 litros, determinado pelo início e término da queda na bica de ensaque;

6ª) utilizando-se de sacos plásticos e de papel, coletaram-se o produto abanado e as impurezas eliminadas pelo ventilador e condutor de terra;

7ª) procedeu-se a catação das impurezas encontradas junto ao café abanado mecanicamente, realizando-se em seguida a classificação em torrões e ramos secos;

8ª) procedeu-se a catação dos frutos de café, eliminados pelo ventilador e bica de terra;

9ª) utilizando-se de uma balança de precisão, determinou-se o peso das impurezas e perdas individualmente, sendo que o café abanado foi pesado em balança tipo FILIZOLA;

Essas operações foram realizadas de acordo com o número de tratamentos estabelecidos para o ensaio.

4.6. Delineamento experimental

O planejamento estatístico adotado para os ensaios de desempenho, envolve um delineamento fatorial 6 x 3 com 3 repetições. Estabeleceram-se para tratamentos, 6 rotações para o eixo da TDP e 3 excentricidades para o mancal do sistema vibratório.

As rotações foram caracterizadas como sendo V_0 = 275; V_1 = 300; V_2 = 325; V_3 = 350; V_4 = 375; V_5 = 400 rpm e as excentricidades E_3 = 3,0; E_4 = 4,0; E_5 = 5,0 mm. As repetições foram designadas como R_1, R_2 e R_3.

A análise dos resultados obtidos foi realizada através dos testes de significância, empregando-se os testes F e de Tukey, conforme propõe PIMENTEL GOMES (1966).

4.7. Outros materiais e utensílios

Durante a realização deste trabalho, utilizaram-se ainda os seguintes equipamentos e utensílios;

- um torno mecânico, marca SANCHES BLANES, modelo TM-280;
- um aparelho de solda elétrica, marca MAMBOZI, de 250 A;
- um moto-esmeril, marca TORQUE, de 2 CV;
- uma furadeira de coluna, carma HELMO, modelo FB-16;
- uma serra mecânica, marca COBI, modelo C-14;
- uma tesoura de bancada, marca CRUZ;
- uma furadeira manual, marca BLACK & DECKER, de 3/8";
- uma balança marca FILIZOLA, com capacidade de 500 kg e sensibilidade de 0,1 kg;
- um tacômetro centrífugo, marca JAQUET, de procedência suiça, com capacidade de 0 a 30.000 rpm e sensibilidade de 1 rpm;
- um paquímetro universal, marca MITUTOYO, com subdivisão de escala de 0,05 mm;
- um cronômetro de bolso, marça MERCURY, de procedência suíça, com precisão de 0,1 s;
- utensílios diversos como: vassouras, bandejas, etiquetas, sacos de aniagem, encerados, peneiras de roça para cereais e café etc.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Ensaios de campo

O processamento da abanação, submetido às diferentes rotações e excentricidades, permitiu observar preliminarmente, que há interferência desses fatores nas capacidades de transporte, peneiração e abanação.

Constatou-se para algumas rotações e excentricidades utilizadas, que o aumento da amplitude da vibração, favorece o transporte, mas prejudica a peneiração e a abanação.

Os ensaios realizados com as excentricidades de 1 a 2 mm, demonstraram-se inviáveis, devido a pequena amplitude proporcionada, as quais não ofereceram as condições dinâmicas necessárias para o transporte, apesar da peneiração ser considerada como satisfatória.

As excentricidades que se demonstraram mais viáveis, situam-se na faixa de 3 a 5 mm, pois com a excentricidade de 6 mm, apesar de proporcionar uma alta capacidade de trans

porte, apresentou-se com uma baixa eficiência na peneiração, resultando um excesso de impurezas pesadas junto ao produto abanado, constatando-se inclusive, uma vibração excessiva transmitida à estrutura do conjunto nas rotações acima de 350 rpm.

Apresenta-se no Quadro 5.1, a relação de rotações apresentadas pelos componentes do protótipo, a partir da rotação inicial de 800 rpm para o motor do trator, utilizando-se as excentricidades de 1 a 2 mm.

QUADRO 5.1 - Relação de rotação dos principais componentes do protótipo, em rpm.

Motor	Eixo TDP (principal)	Eixo mancal excêntrico	Rotor do vèntilador	Helicóide transportador
800	250	330	438	165
900	280	385	490	185
1000	320	420	560	211
1100	350	460	612	231
1200	385	505	674	254
1300	420	550	735	277
1400	445	590	779	294
1500	490	630	858	323
1600	512	672	896	338
1700	540	710	945	356

Tendo-se em vista, que as excentricidades acima de 5,0 mm, não permitiram o prosseguimento dos ensaios e as de 1,0 e 2,0 mm, demonstraram-se com baixa capacidade de transpor

te, propõe-se que o protótipo seja acionado na faixa de 275 a 400 rpm pela TDP, utilizando as excentricidades de 3,0; 4,0 e 5,0 mm para o mancal do sistema vibratório.

5.2. Ensaio do ventilador

Apresentam-se no Quadro 5.2 os dados referentes às leituras apresentadas pelo manômetro de precisão e no Quadro 5.3, os valores das velocidades do ar, calculados a partir dos dados do Quadro 5.2.

QUADRO 5.2 - Valores das leituras de H (mm) no manômetro, apresentados para cada área da secção do condutor de ar do ventilador e rotação ensaiada.

Área	Rotação do eixo TDP do trator (rpm)					
	275	300	325	350	375	400
A_1	4.0	4.8	5.7	6.6	8.0	9.0
A_2	4.8	5.8	7.0	8.5	9.2	10.5
A_3	3.8	4.9	5.5	6.5	7.0	9.0
A_4	3.2	3.9	4.5	5.5	6.0	6.5
A_5	3.8	4.7	5.5	6.2	7.5	8.2
A_6	3.8	4.5	5.2	6.0	7.0	7.8
A_7	3.8	4.5	5.0	6.0	6.9	7.8
A_8	3.8	4.5	5.0	6.0	7.0	7.5
A_9	4.0	5.0	5.8	6.8	7.5	8.5
A_{10}	3.8	4.5	5.0	5.8	6.8	8.0
A_{11}	3.0	3.8	4.5	5.0	6.2	7.0
A_{12}	3.9	4.0	4.8	5.5	6.2	7.2
A_{13}	4.0	5.0	5.8	6.8	7.8	8.8
A_{14}	5.0	6.0	6.8	7.8	9.5	10.8
A_{15}	4.0	4.9	5.2	6.2	7.5	8.2
A_{16}	3.0	4.0	4.5	5.0	6.0	6.9

QUADRO 5.3 - Velocidade do ar (m/s) calculada a partir dos dados do Quadro 5.2.

Área	Rotação do eixo TDP do trator (rpm)					
	275	300	325	350	375	400
A_1	7.38	8.08	8.08	9.48	10.43	11.07
A_2	8.08	8.88	9.76	10.76	11.20	11.95
A_3	7.19	8.17	8,65	9.40	9.76	11.07
A_4	6.60	7.28	7.82	8.65	9.03	9.40
A_5	7.19	8.00	8.65	9.18	10.10	10.56
A_6	7.19	7.82	8.41	9.03	9.76	10.30
A_7	7.19	7.82	8.25	9.03	9.69	10.23
A_8	7.19	7.82	8.75	9.03	9.76	10.37
A_9	7.38	8.25	8.88	9.62	10.10	10.76
A_{10}	7.19	7.82	8.25	8.88	9.62	10.43
A_{11}	6.39	7.19	7.82	8.25	9.18	9.76
A_{12}	7.28	7.38	8.08	8,65	9.18	9.90
A_{13}	7.38	8.25	8.88	9.62	10.30	10.94
A_{14}	8.25	9.03	9.62	10.30	11.37	12.12
A_{15}	7.38	8.16	8.41	9.18	10.10	10.56
A_{16}	6.39	7.38	7.82	9.03	9.03	9.69

A Figura 5.1, construída a partir dos dados do Quadro 5.3, apresenta o comportamento da velocidade do ar em função da rotação da TDP.

A velocidade máxima do ar obtida na secção do condutor de ar do ventilador, situa-se na faixa de 10,0 a 11,0 m/s, para a rotação máxima estabelecida para a TDP de 400 rpm, pois acima de 425 rpm, observou-se que os frutos secos começaram a ser transportados pelo ar.

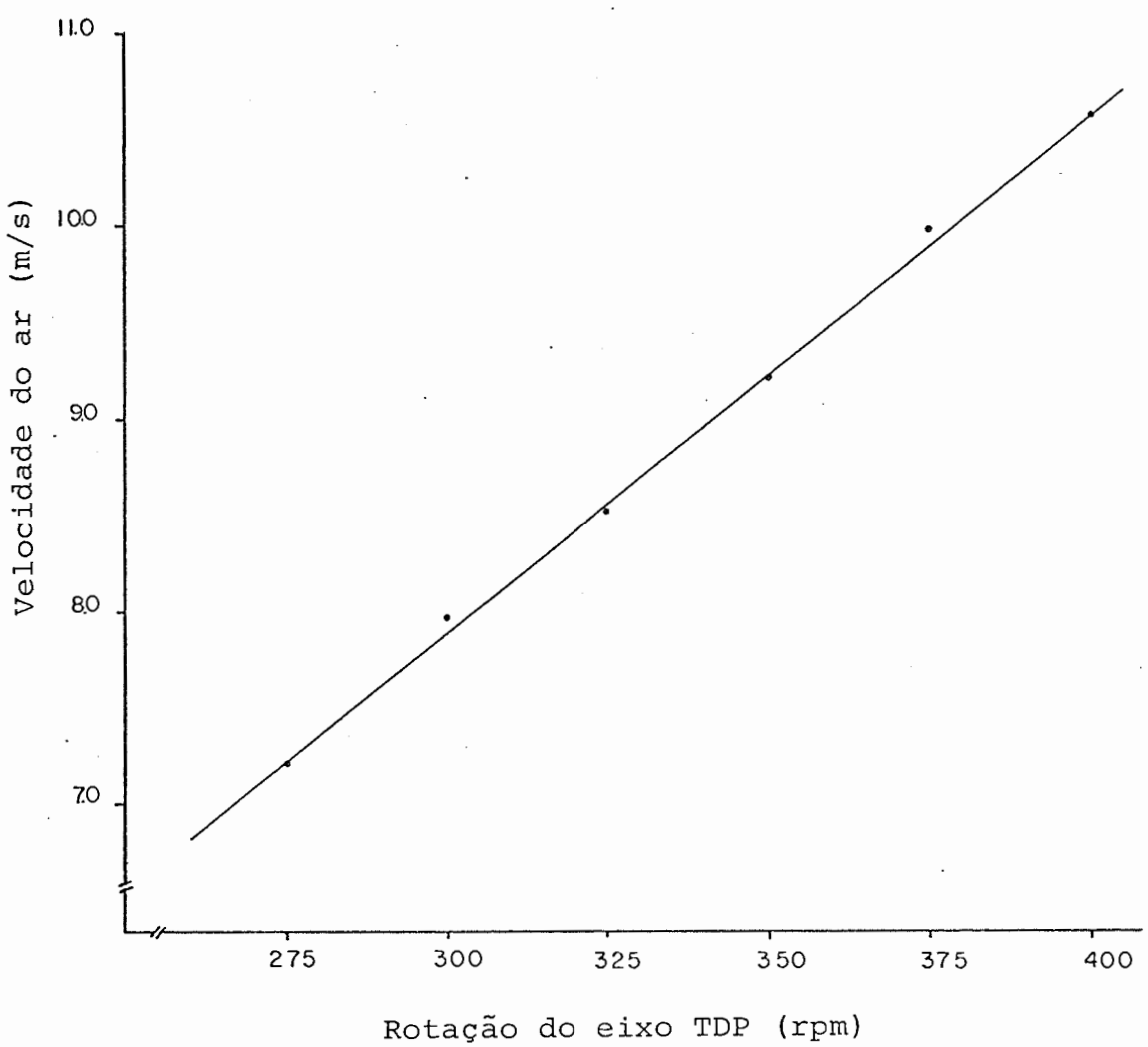

FIGURA 5.1 - Comportamento da velocidade do ar na secção retangular do condutor de ar do ventilador.

5.3. Ensaios finais

Os dados obtidos durante a realização dos ensaios finais, serão apresentados na forma de quadros e figuras e, em seguida, será feita a interpretação dos resultados com base na análise estatística correspondente.

5.3.1. Determinação da capacidade da abanação

Apresentam-se no Quadro 5.4 os dados referentes ao tempo necessário para abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura".

A Figura 5.2 foi construída a partir dos dados do Quadro 5.4, e apresenta o comportamento da variação do tempo de abanação, em função das excentricidades e rotações utilizadas.

Analisando-se o comportamento das curvas E_3, E_4 e E_5, verifica-se que o aumento gradativo da rotação da TDP provocou um aumento da capacidade de abanação, tendo-se em vista que, para um mesmo volume de abastecimento, o tempo requerido para abanação foi reduzido. Entretanto, com a curva E_3, verifica-se um procedimento inverso, pois a partir de 350 rpm ocorreu um aumento do tempo de abanação.

Para a rotação máxima de 400 rpm, o tempo mínimo necessário foi de 8,34 s para a excentricidade E_5, enquanto que E_4 e E_5 consumiram, respectivamente, 11,76 e 101,00 s.

A análise de variância (Apêndice III) indica que houve um efeito significativo das rotações e excentricidades, bem como da interação de ambas, na determinação do tempo de abanação.

QUADRO 5.4 - Tempo (s) necessário para abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura". Umidade média = 31,0%.

Ensaio	Excentricidades (mm)		
	E_3 = 3,0	E_4 = 4,0	E_5 = 5,0
V_0 E R_1	210	68	53
R_2	208	68	51
R_3	211	65	51
V_1 E R_1	107	60	39
R_2	105	68	37
R_3	110	56	37
V_2 E R_1	45	37	32
R_2	45	32	29
R_3	47	34	26
V_3 E R_1	32	21	12
R_2	29	22	13
R_3	30	23	12
V_4 E R_1	66	20	10
R_2	70	20	09
R_3	65	18	11
V_5 E R_1	105	11	09
R_2	98	12	08
R_3	100	12	08

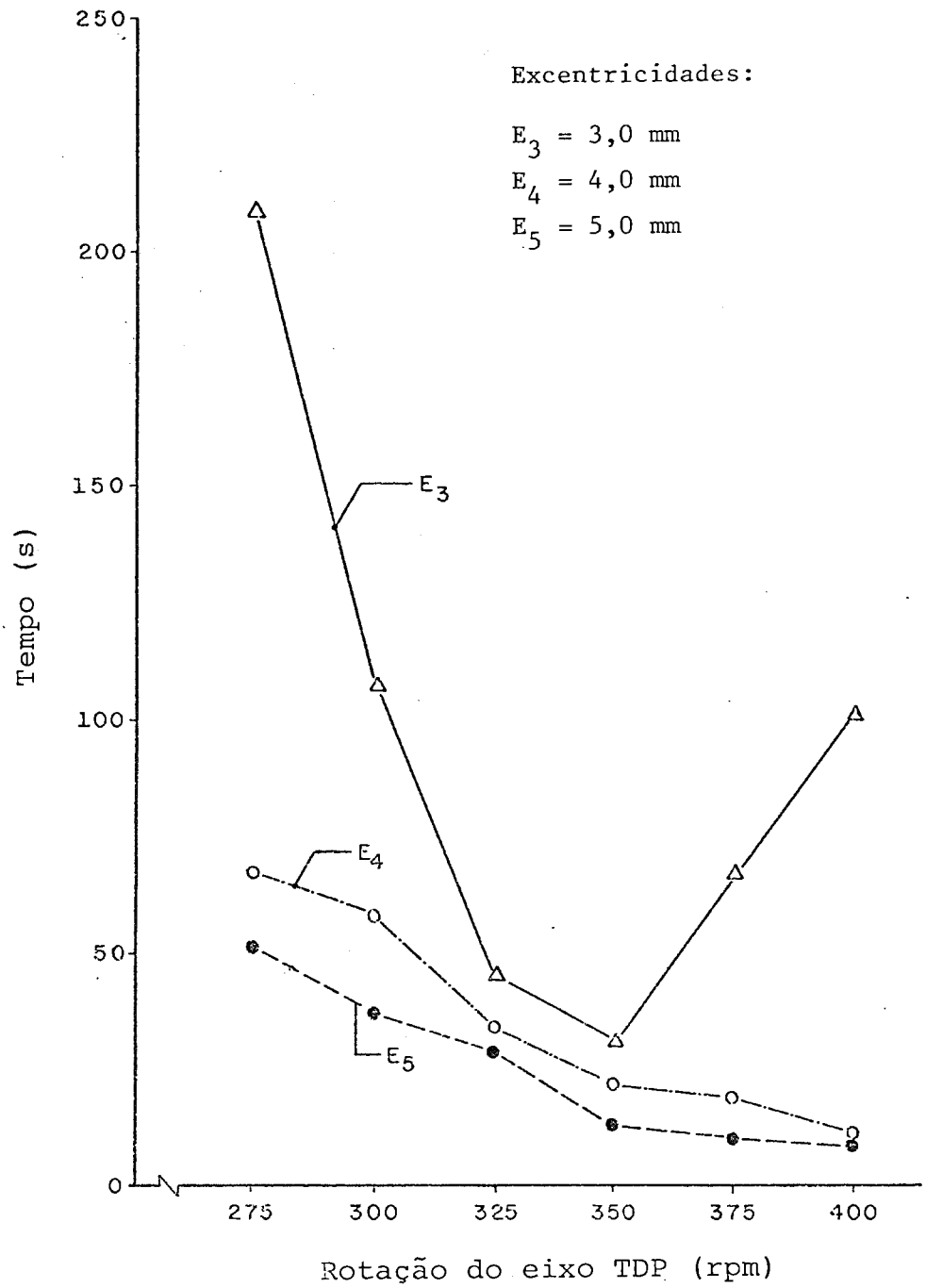

FIGURA 5.2 - Variação do tempo necessário para abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura".

O teste de comparação de médias (Apêndice IV) dos níveis de (E) d. (V), mostra que há direfença significativa entre as médias das excentricidades dentro de cada rotação ensaiada. Contudo, as médias dos níveis de (V) d. (E) indicaram que as rotações V_3, V_4 e V_5, dentro da excentricidade E_5, não diferem entre si.

5.3.2. Determinação do rendimento da abanação

Apresentam-se no Quadro 5.5 os dados obtidos em relação ao peso de café abanado, pertencente ao volume de 20 litros do produto agrícola "in natura".

A Figura 5.3 foi construída a partir dos dados do Quadro 5.5 e caracteriza a variação do peso de café abanado em função da variação da excentricidade e da rotação de trabalho. Observa-se pelo aspecto geral das curvas E_3, E_4 e E_5, que há uma pequena tendência para o aumento da relação peso/volume, a medida que se aumenta a rotação de trabalho através da TDP.

Com a rotação inicial de 275 rpm, obtiveram-se para as excentricidades E_3, E_4 e E_5, respectivamente, os valores 5.643,9; 5.566,3 e 5.498,9 g de café abanado para cada 20 litros do produto agrícola "in natura", enquanto que para a rotação máxima de 400 rpm, obtiveram-se os pesos de 6.511,3; 6.909,6 e 6.242,8 g.

A análise de variância (Apêndice V) dos dados obtidos, indica que houve um efeito significativo das rotações e excentricidades no rendimento de café abanado, ressaltando-se que a interação desses fatores não foi significativa.

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS BIBLIOTECA

QUADRO 5.5 - Peso de café abanado (g), referente ao volume de 20 litros do produto agrícola "in natura". Umidade média = 31,0%.

Ensaio	Excentricidades (mm)		
	$E_3 = 3,0$	$E_4 = 4,0$	$E_5 = 5,0$
V_0 E R_1	6002,3	5548,5	5587,3
R_2	5258,3	5282,0	5079,2
R_3	5671,3	5868,4	5830,4
V_1 E R_1	5785,0	6280,4	5286,9
R_2	6349,9	4927,4	5100,9
R_3	6933,7	5540,8	6255,0
V_2 E R_1	5762,7	5723,3	4994,5
R_2	5703,3	5715,4	5693,1
R_3	7457,2	5599,1	5589,2
V_3 E R_1	5898,2	5639,9	6165,8
R_2	5703,3	5608,5	5555,2
R_3	6093,2	5828,5	6100,4
V_4 E R_1	6693,2	5596,4	4500,1
R_2	5960,7	5896,4	5290,2
R_3	5790,8	5889,7	4607,8
V_5 E R_1	5431,0	7093,3	6349,9
R_2	6296,2	6639,5	6098,2
R_3	7806,8	6996,0	6280,5

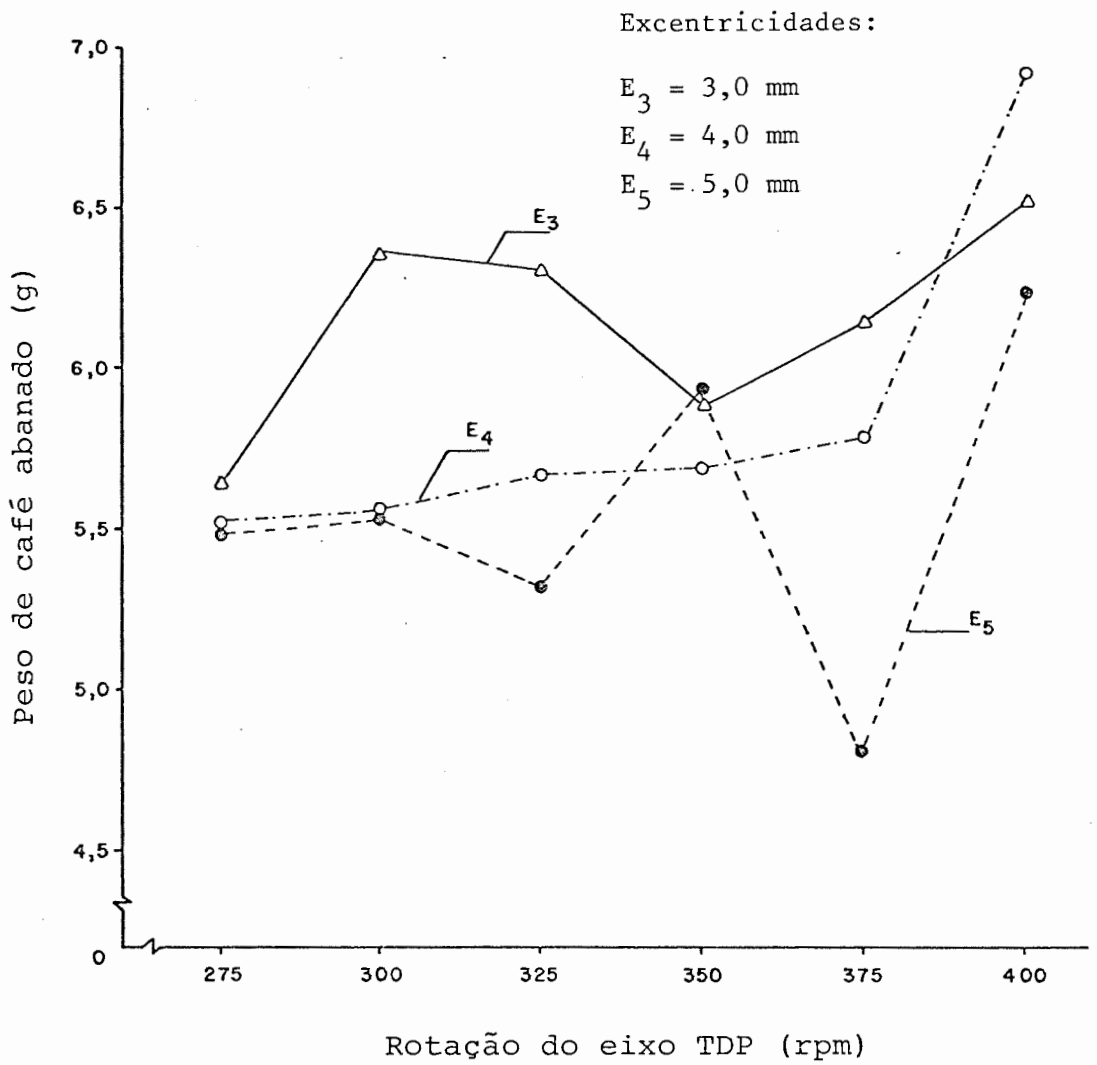

FIGURA 5.3 - Variação do peso (g) de café abanado para um volume de abastecimento de 20 litros do produto agrícola "in natura".

O teste de comparação das médias, realizado através do teste de Tukey, mostrou que as excentricidades E_3 e E_5, diferem entre si (ao nível de 5% de probabilidade), mas não diferem de E_4. O valor máximo apresentado é de 6.144,28 g e pertence à E_3.

Quanto a comparação das médias das rotações, verifica-se que não há diferença significativa entre as médias para qualquer rotação utilizada.

5.3.3. Determinação da quantidade de ramos secos junto ao café abanado

Encontram-se no Quadro 5.6 os dados referentes ao peso de ramos secos coletados na bica de ensaque, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura". A Figura 5.4 evidencia o comportamento da variação do peso de ramos secos em função das excentricidades e rotações utilizadas durente os ensaios. Com base nas curvas E_3, E_4 e E_5, verifica-se que a partir da rotação inicial, há um aumento da capacidade do ventilador em remover as impurezas leves, pois a velocidade do ar é diretamente proporcional a rotação do rotor do ventilador, conforme mostra a Figura 5.1.

A análise de variância (Apêndice VI) revela que houve um efeito significativo das rotações e excentricidades e da interação (V) x (E), na eliminação das impurezas leves.

Pelo teste de comparação entre médias nos níveis de (E) d. (V) (Apêndice VII), verifica-se que houve um efeito significativo das excentricidades (E_3, E_4 e E_5) dentro

QUADRO 5.6 - Quantidade de ramos secos (g), coletada na bica de ensaque. Volume de abastecimento = 20 litros. Umidade média = 31,0%.

Ensaio	Excentricidades		
	E_3 = 3,0	E_4 = 4,0	E_5 = 5,0
V_0 E R_1	7,9	4,3	6,3
R_2	7,0	4,7	6,7
R_3	4,8	4,1	8,7
V_1 E R_1	2,9	3,0	2,8
R_2	1,6	1,8	3,8
R_3	1,7	3,6	5,5
V_2 E R_1	1,2	1,1	4,9
R_2	1,8	1,1	2,5
R_3	1,4	2,9	2,5
V_3 E R_1	1,7	1,7	1,1
R_2	1,5	0,9	0,6
R_3	1,4	0,3	1,9
V_4 E R_1	1,0	1,9	0,6
R_2	0,5	0,4	0,8
R_3	0,6	0,3	1,3
V_5 E R_1	0,3	0,7	0,8
R_2	0,5	0,4	0,7
R_3	0,1	0,2	0,5

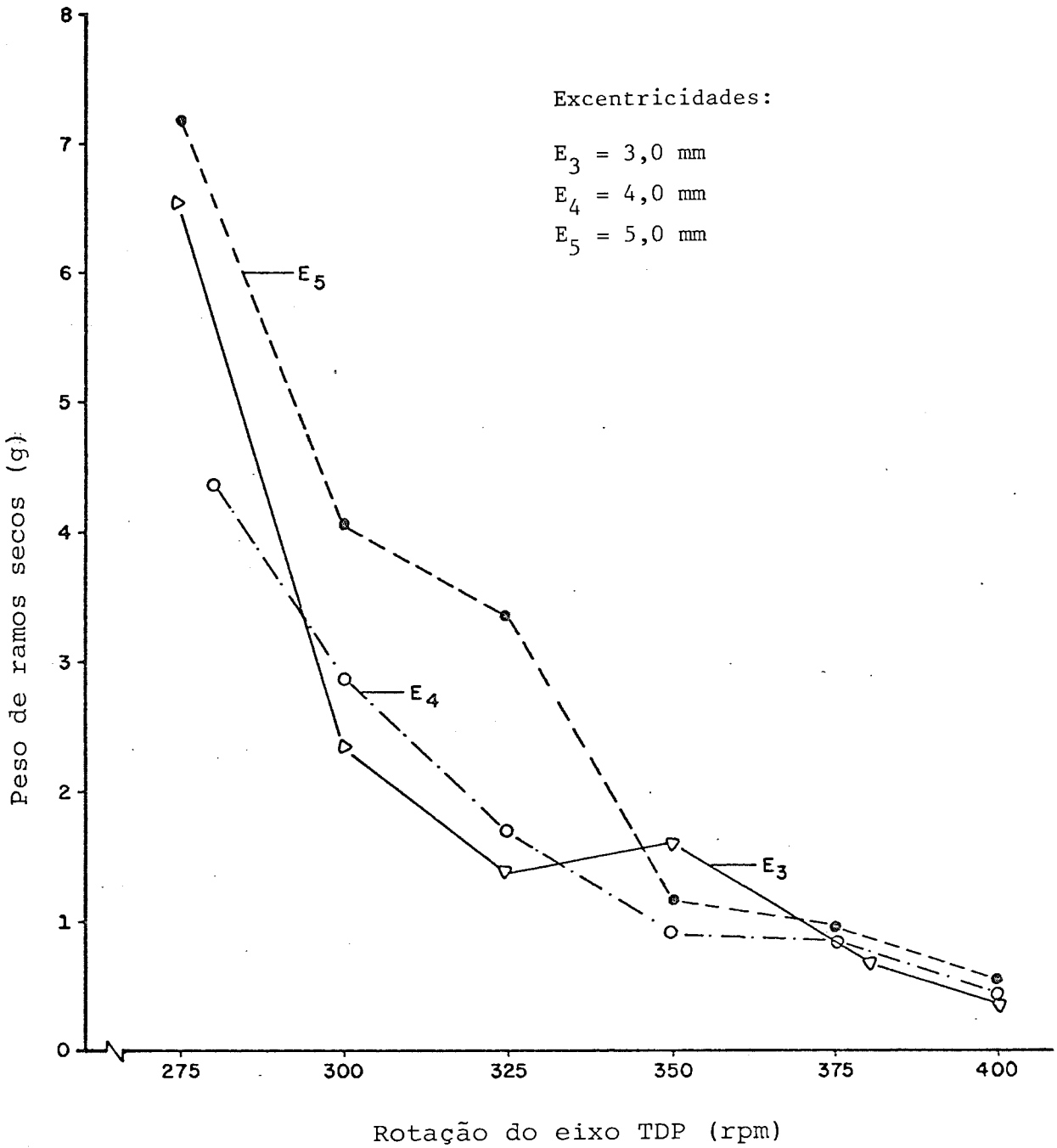

FIGURA 5.4 - Variação da quantidade de ramos secos, coletada na bica de ensaque, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura".

das rotações (V_0, V_1 e V_2), sendo o menor valor apresentado com 1,47 g, pertence à (E_3) d. (V_2). A média máxima apresentada com 7,24 g refere-se à (E_5) d. (V_0) e não difere de (E_3) d. (V_0).

Quanto as médias dos níveis de (V) d. (E), evidencia-se que a rotação inicial (V_0) difere de todas as outras rotações, para qualquer que seja a excentricidade utilizada, sendo que a média mínima registrada foi de 0,30 g de ramos secos para (V_5) d. (E_3).

5.3.4. Determinação da quantidade de torrões (g) obtida junto ao café abanado

Apresentam-se no Quadro 5.7 os dados sobre o peso de torrões, obtidos na bica de ensaque durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura". A Figura 5.5, construída a partir dos dados do Quadro 5.7, apresenta o comportamento da variação do peso de torrões, em função da variação das rotações e excentricidades utilizadas.

Analisando o comportamento das curvas E_3, E_4 e E_5, verifica-se que as excentricidades E_3 e E_4, apresentaram uma pequena tendência para a redução do peso das impurezas pesadas, enquanto que a excentricidade E_5 proporcionou um pequeno acréscimo.

Observando-se os resultados apresentados pela análise estatística (Apêndice VIII), verifica-se que houve um efeito significativo (ao nível de 5% de probabilidade) das excentricidades na peneiração, visto que as rotações não foram

QUADRO 5.7 - Quantidade de torrões (g), coletada na bica de ensaque. Volume de abastecimento = 20 litros. Umidade média = 31,0%.

Ensaio	Excentricidades		
	E_3 = 3,0	E_4 = 4,0	E_5 = 5,0
V_0 E R_1	93,4	99,4	75,0
R_2	66,2	73,7	69,3
R_3	75,6	98,2	9,15
V_1 E R_1	55,2	72,2	77,0
R_2	82,8	61,0	81,4
R_3	88,4	67,2	73,8
V_2 E R_1	57,9	95,5	61,2
R_2	83,7	76,8	82,5
R_3	61,9	52,9	100,7
V_3 E R_1	95,3	96,1	100,5
R_2	91,7	65,8	90,0
R_3	84,0	91,9	94,5
V_4 E R_1	84,3	52,4	88,8
R_2	72,7	85,5	81,7
R_3	68,5	77,3	86,2
V_5 E R_1	76,4	75,1	90,0
R_2	65,0	79,8	71,2
R_3	60,0	75,0	91,9

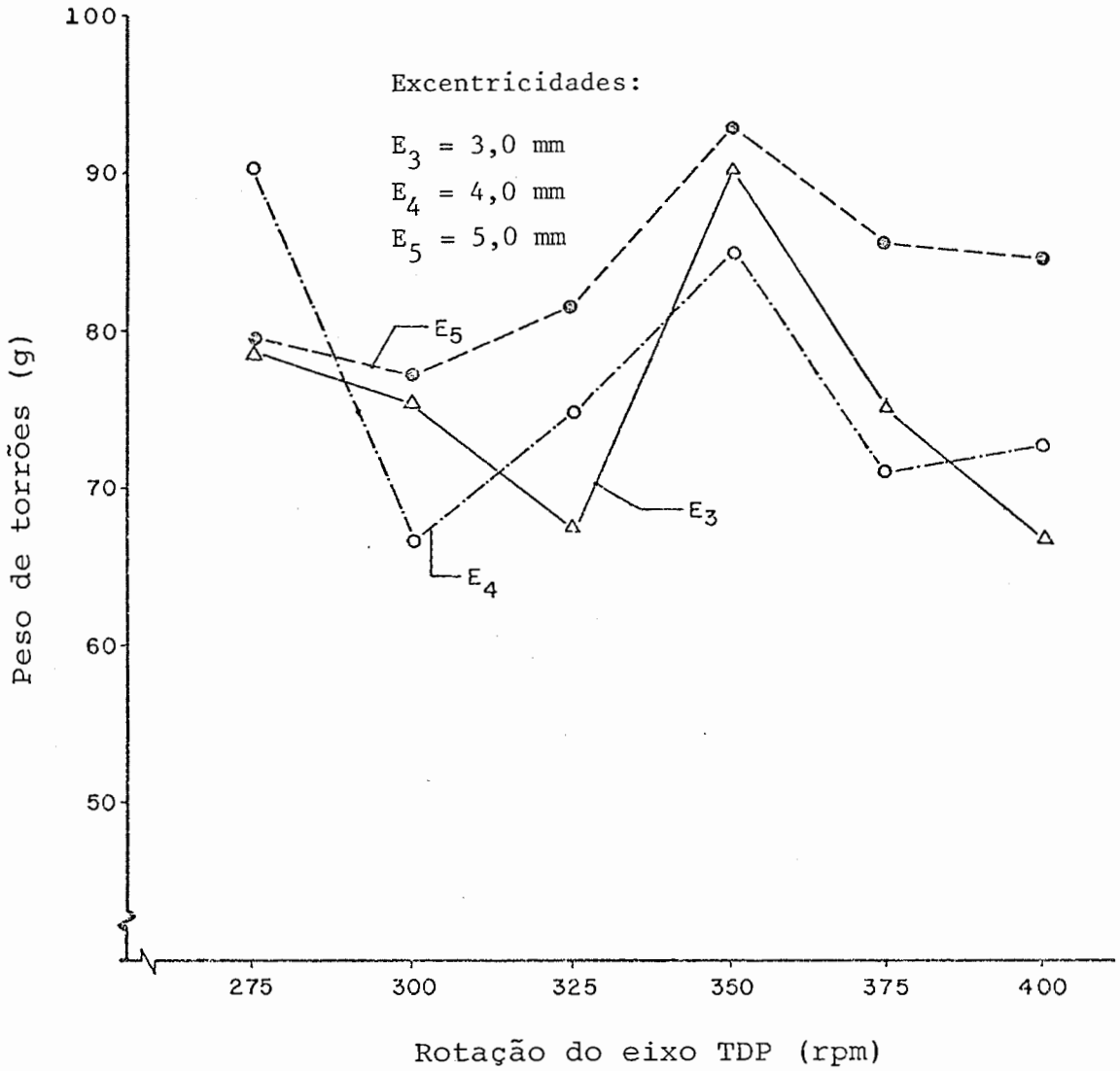

FIGURA 5.5 - Variação da quantidade de torrões coletada na bica de ensaque, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura".

significativas, apesar de constatar que inicialmente ocorreu uma redução do peso com o aumento da rotação de trabalho.

O teste de Tukey, indicou que não houve uma diferença mínima significativa entre as médias das excentricidades utilizadas, obtendo-se a média mínima de 75,73 g para E_3.

5.3.5. Determinação das perdas de café em coco na saída do ventilador

Apresentam-se no Quadro 5.8 os dados sobre o peso de café em coco arrastado pelo fluxo de ar do ventilador, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura". A Figura 5.6, construída a partir dos dados do Quadro 5.8, apresenta a variação do peso de café abanado em função das excentricidades e rotações utilizadas durante os ensaios. Observando-se o comportamento das curvas E_3, E_4 e E_5, percebe-se claramente que a partir de 350 rpm, as perdas são proporcionais ao aumento da rotação da TDP, constatando-se para a rotação máxima (400 rpm) que a excentricidade E_4 apresenta uma perda 4 vezes maior que a E_3.

A análise de variância (Apêndice IX) mostra que houve efeito significativo dos fatores (V), (E) e da interação (V) x (E), no aumento das perdas através da saída do ventilador.

O desdobramento da interação (E) d. (V), indicou que somente foram significativas as excentricidades para as rotações (V_4) e (V_5), enquanto que as demais rotações não diferem entre si, para qualquer que seja a excentricidade utilizada.

QUADRO 5.8 - Quantidade de café (g) eliminada pelo ventilador. Volume de abastecimento = 20 litros. Umidade média = 31,0%.

Ensaio	Excentricidades		
	E_3 = 3,0	E_4 = 4,0	E_5 = 5,0
V_0 E R_1	6,1	6,1	6,9
R_2	7,1	11,7	8,8
R_3	5,4	7,7	6,3
V_1 E R_1	6,3	12,3	13,8
R_2	8,3	13,1	8,8
R_3	11,1	10,4	9,4
V_2 E R_1	18,2	18,0	15,3
R_2	16,2	15,9	13,0
R_3	14,1	34,6	11,0
V_3 E R_1	24,5	31,9	29,9
R_2	26,6	26,8	40,1
R_3	25,5	36,6	32,6
V_4 E R_1	42,8	41,3	85,2
R_2	33,3	68,5	139,4
R_3	41,8	59,9	127,9
V_5 E R_1	53,9	128,6	225,3
R_2	72,4	163,1	261,4
R_3	76,9	134,1	289,7

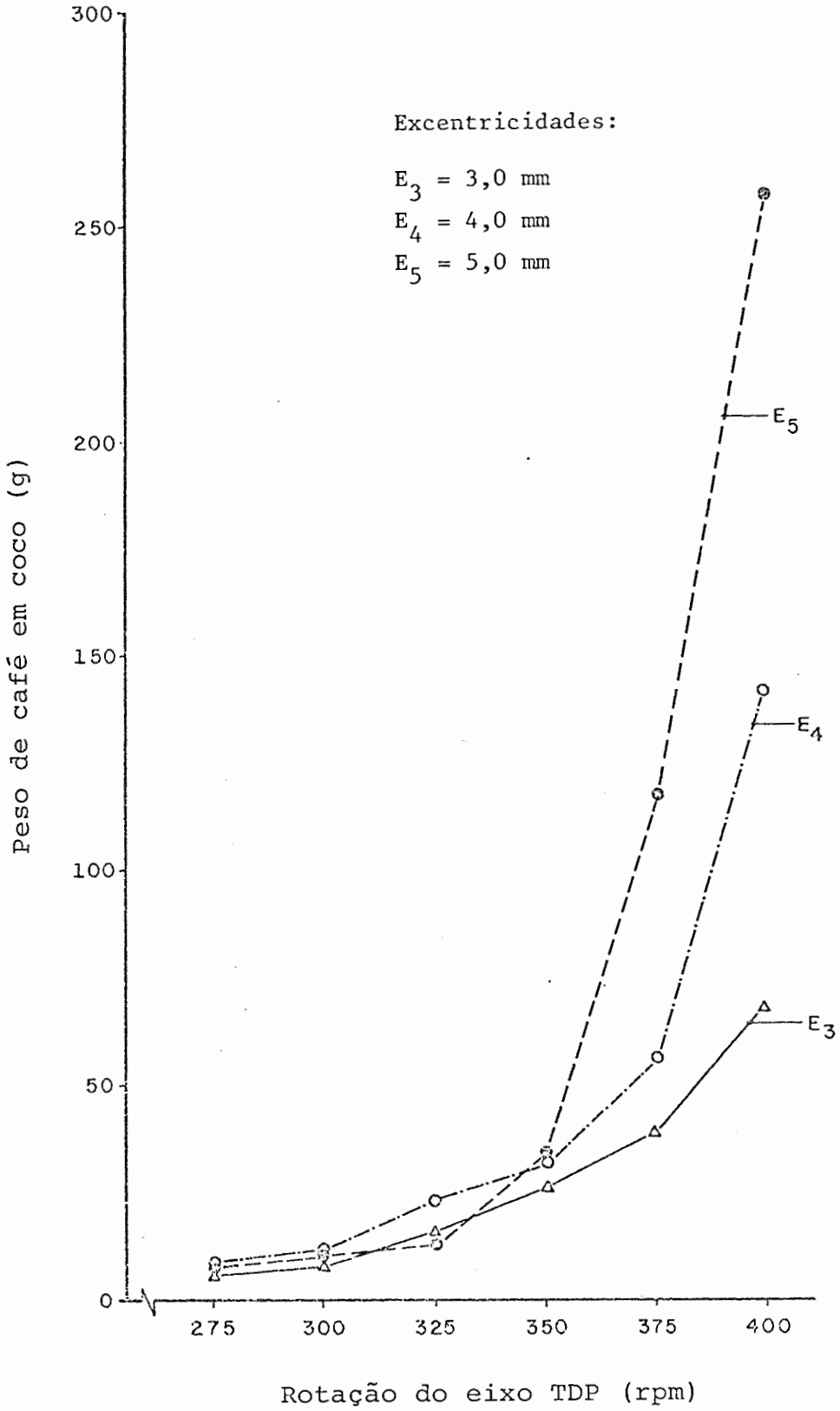

FIGURA 5.6 - Variação da quantidade de café em coco coletada na saída do ventilador, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura".

O teste de comparação entre as médias dos níveis de (E) d. (V), apresentado no Apêndice X, indica que a perda mínima significativa de 39,30 g de café em coco, ocorreu com (E_3) d. (V_4) e que esta não difere de 56,57 g obtida com (E_4) d. (V_4). A perda máxima ocorreu com 258,80 g e pertence à (E_5) d. (V_5).

Quanto às médias dos níveis de (V) d. (E), evidencia-se que as rotações de (V_0) a (V_3) não diferem entre si, para qualquer excentricidade. A perda mínima registrada foi de 6,2 g, ocorrida com (V_0) d. (E_3).

5.3.6. Determinação das perdas de café em grãos na bica de terra

Apresentam-se no Quadro 5.9 os dados referentes a variação das perdas de café, obtidas junto às impurezas eliminadas pela bica de terra. A Figura 5.7, construída a partir dos dados do Quadro 5.9, evidencia o comportamento das perdas obtidas em função de cada excentricidade e rotação de trabalho.

Analisando-se o comportamento das curvas E_3, E_4 e E_5, percebe-se que inicialmente ocorre uma redução das perdas, mas a partir de 350 rpm a curva E_3 assume um novo comportamento, provocando uma elevação das perdas atingindo o seu valor máximo à 400 rpm.

A análise de variância dos dados obtidos (Apêndice XI), indicou que há um efeito significativo dos fatores (V), (E) e da interação (V) x (E) na variação das perdas através da bica de terra.

QUADRO 5.9 - Quantidade de café (g) eliminada pela bica de terra. Volume de abastecimento = 20 litros. Umidade média = 31,0%.

Ensaio	Excentricidades		
	E_3 = 3,0	E_4 = 4,0	E_5 = 5,0
V_0 E R_1	18,1	12,4	5,2
R_2	19,5	14,7	4,3
R_3	18,9	16,8	4,0
V_1 E R_1	17,9	7,5	4,2
R_2	13,5	8,1	3,2
R_3	15,1	6,9	2,5
V_2 E R_1	11,4	3,6	3,1
R_2	7,3	3,2	2,8
R_3	8,0	4,0	1,3
V_3 E R_1	5,5	2,8	1,1
R_2	5,4	3,6	0,7
R_3	7,2	3,5	0,6
V_4 E R_1	11,4	2,6	0,4
R_2	11,3	0,4	0,3
R_3	12,2	0,3	1,4
V_5 E R_1	11,3	0,6	0,5
R_2	12,3	0,5	0,6
R_3	13,4	0,5	0,4

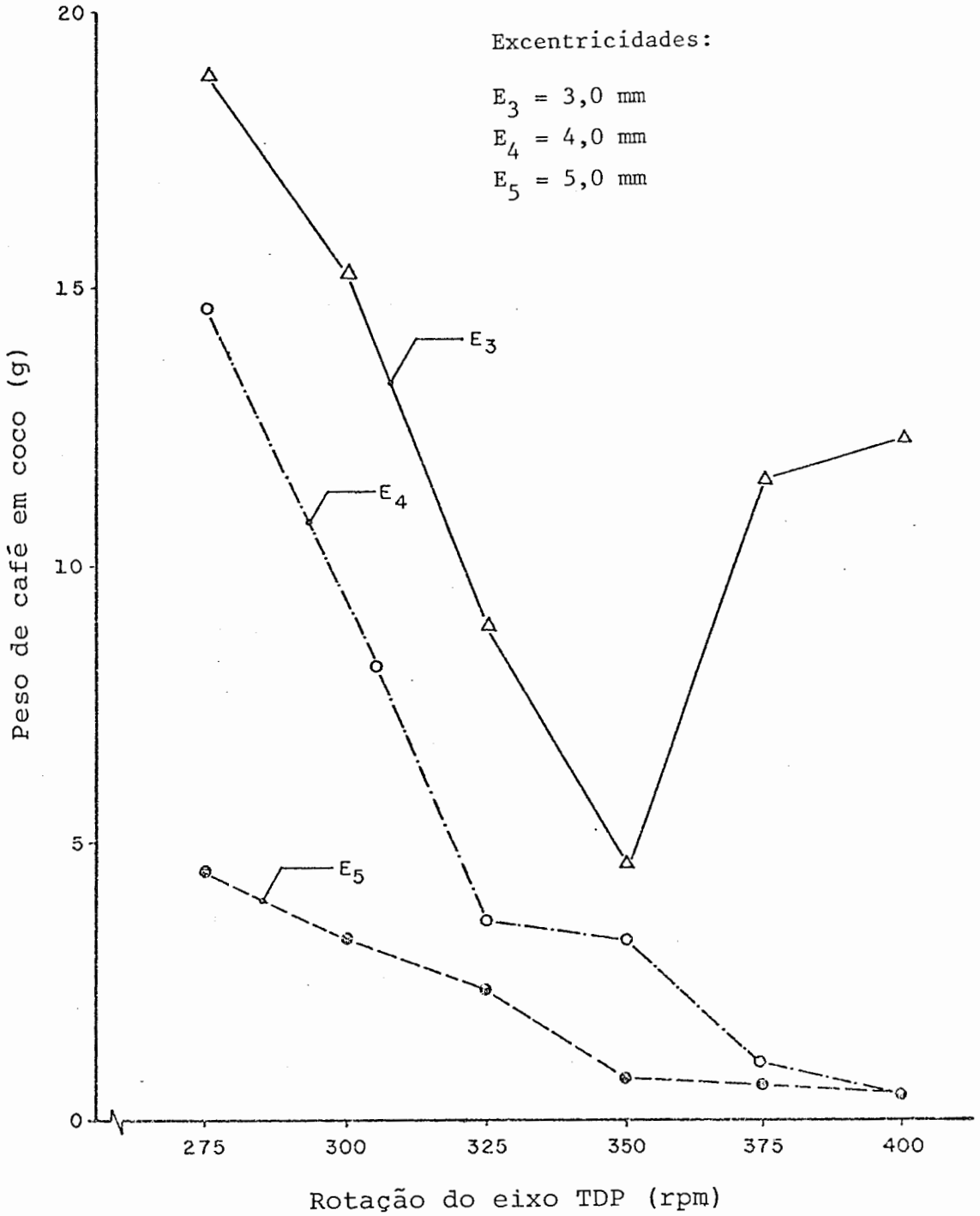

FIGURA 5.7 - Variação da quantidade de café em coco coletada na bica de terra, durante a abanação de 20 litros do produto agrícola "in natura".

Os testes de comparação entre médias (Apêndice XII), comprovou que para os níveis de (E) d. (V), que a perda mínima foi de 0,5 g com a excentricidade (E_5) d. (V_5) e, esse valor não difere de 0,54 g obtido com a excentricidade (E_4) d. (V_5). A perda máxima foi de 18,84 g para (E_3) d. (V_0). Quanto aos níveis de (V) d. (E), as perdas mínimas para cada excentricidade foram (V_3) d. (E_3) = 4,74; (V_5) d. (E_4) = 0,54 e (V_5) d. (E_5) = 0,5 g de café em grãos.

6. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos durante a realização dos ensaios finais, conclui-se que:

a) Efetivamente, conseguiu-se desenvolver um protótipo com características funcionais e operacionais superiores ao projeto inicial (Protótipo nº 1);

b) O método utilizado para analisar o desempenho, foi capaz de identificar o comportamento da abanação mecânica, submetida às diferentes rotações e excentricidades;

c) A faixa de rotação estabelecida de 275 a 400 rpm para a TDP e as excentricidades de 3,0 a 5,0 mm para o mancal do sistema vibratório, foram suficientes para realização das determinações propostas e tiveram influência no desempenho funcional da máquina abanadora.

d) Os ensaios realizados com a excentricidade de 3,0 mm, utilizando-se a faixa de 350 a 400 rpm na TDP, prejudicaram o desempenho geral, proporcionando consequentemente uma redução da capacidade de abanação e um acréscimo das per

das de café obtidas na bica de terra;

e) Com a utilização das excentricidades de 3,0 a 5,0 mm e as rotações na faixa de 375 a 400 rpm, houve um efeito significativo nas perdas de café em coco na saída do ventilador mas, entretanto, favoreceram a eliminação dos ramos secos;

f) A excentricidade de 5,0 mm, independentemente da rotação de trabalho, proporcionou uma redução no rendimento de café abanado, obtido na bica de ensaque;

g) Que as rotações e excentricidades mais adequadas, para o desempenho do protótipo, podem ser resumidas no seguinte quadro:

Determinações	Rotações (rpm)	Excentricidades (mm)
Capacidade de abanação	350 - 400	5,0
Peso de café abanado	350 - 400	3,0
Redução do peso das impurezas	350 - 400	3,0
Redução das perdas na saída do ventilador	275 - 350	3,0
Redução das perdas na bica de terra	350 - 400	5,0

h) Dependendo da produtividade da cultura e da disponibilidade de mão-de-obra para operação, o protótipo funcionando em regime contínuo, terá a capacidade de abanar até 40 sacas/hora de café em coco, fazendo o serviço equivalente de 35 homens/dia.

7. RESUMO

Trata-se o presente trabalho, do desenvolvimento e análise de desempenho de uma abanadora mecânica de café (Protótipo nº 2). A fonte de potência utilizada para transporte e acionamento é constituída de um trator agrícola, modelo cafeeiro.

Durante a realização dos ensaios, o protótipo foi submetido à operação de abanação, funcionando com 6 rotações na TDP do trator e 3 excentricidades no mancal do sistema vibratório.

O modelo estatístico adotado, envolve um fatorial 6 x 3, com 3 repetições. As observações realizadas durante o processamento da abanação mecânica, constituem-se das determinações efetuadas para cada tratamento e constaram de: tempo de abanação (s); peso de café abanado (g); peso de impurezas retidas junto ao produto abanado (g); peso das perdas provocadas pelo sistema de ventilação e peneiração.

O produto agrícola utilizado é da variedade

'Catuaí' e foi obtido através do sistema manual de colheita, denominado de "derriça no chão".

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que os fatores rotação e excentricidade, interferem no desempenho da abanação mecânica, obtendo-se com rotação de 400 rpm e excentricidade de 5,0 mm, uma capacidade máxima de 40 sacas/hora do produto abanado.

8. SUMMARY

The objective of this research was to develop and analyze the performance of a coffee machanical cleaner (number 2 prototype). The power source used to transport and drive the machine was a farm tractor, coffee model.

During the experimental essays, the prototype was submitted to a fanning operation, functioning with 6 rotations in the PTO and 3 eccentrics in the bearing of the vibratory sistem.

The statistical model used was the factorial 6 x 3, with 3 repetitions. The parameters measured during the machanical fanning were: fanning time (s); fanned coffee weight (g); impurity weight retained in the fanned coffee (g); loosed weight caused by the fanning and screening systems.

The coffee bean used was the 'Catuaí' variety and was obtained through a manual harvesting by the process called to throw manually on the ground".

Based on the obtained results, was verified that

the factors rotation and eccentricity, interfere in the coffee mechanical cleaner performance and the best results have shown that with a 400 rpm and 5.0 mm eccentricity was obtained the maximum capacity of 40 bays/hour of the fanned coffee.

9. LITERATURA CITADA

BAINER, R.; KEPNER, R.A.; BARGER, E.L. *Principles of farm machinery*. 3ª ed. New York, John Wiley & Sons, 1963. 500 p.

BIERRENBACK, J.C. A colheita mecânica do café. *Suplemento Agrícola*, O Estado de São Paulo, 1002(8), 1974

CARVALHO, A. A colheita mecânica do café. *A Granja*, 30(313): 29-36, 1974.

CASTANHO, H. *Tecnologia intermediária, uma proposta à universidade*. São Carlos, Curso de Pós-Graduação - Estudo de Problemas Brasileiros, 1981. 30 p. (Boletim).

COAN, O. *Contribuição para projeto de abanadora mecânica de café*. São Carlos, EESC, 1977. 52 p. (Dissertação de Mestrado).

CONTI, M. *Tratado de mecânica agrícola*. Buenos Aires, Universidade de Buenos Aires, 1942. 350 p.

DENCKER, C.H. *Manual de técnica agrícola*. Barcelona, Omega, 1966. 800 p.

FAVA, J.F.M.; HONDA, A.I.; SARTORI, S.; BASTOS, M.V. Atual estágio de desenvolvimento da colheita mecânica do Café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 10º, Campinas, 1980. *Resumos*.

GENTIL, L.V. É precico tecnificar o cultivo do café. *A Granja*, 32)347):32-39- 1976.

GRANER, E.A. & GODOY JUNIOR, C. *Culturas das fazendas brasileiras*. 4ª ed. São Paulo, Melhoramentos, 1967. 460 p.

HARA, T. *Primeiro curso intensivo sobre manuseio, secagem e armazenamento*. Viçosa, Universidade Federal, 1972. p. 185-190.

MONROE, G.E. & WANG, J.K. Systms for mechanically harvesting coffee. *Transactions of the ASAE*, 11:270-78, 1968.

NOGUEIRA, V.S.; HASHIZUME, H.; SILVA, J.B.S.; CARNEIRO FILHO, F.; MATIELLO, J.B. Estudo de colheita de café com derriçadeiras vibratórias portáteis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3º, Curitiba, 1975. p. 239-245.

OSBORNE, W.C. & TURNER, C.G. *Guia prática de la ventilación*. Barcelona, Blume, 1970. 200 p.

PHILIPS, A.L. Physical propeties of mechanically harvest coffee cherries. *Agricultura Engineering*, St. Joseph, 69 (827):10, 1969.

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 1966. 409 p.

RIGITANO, A. Colheita mecânica, um método eficiente de aproveitamento. *A Granja*, 31(30):37-41, 1975.

SHELLENBERGER, F.A.; MYERS, A.L.; MONROE, G.E. Hand-carried, coffee-harvesting equipament. *Transactions of the ASAE*, 12:763-65, 1969.

TRESCA, A. *Le materiel agricole moderne*. Paris, Firmin-Dadot e Cie, 1895. 400 p.

WANG, J.K.; SHELLENBERGER, F.A.; MONROE, G.E. Revolucionará la recolección de café esta nueva máquina?. *Revista Agricultura de las Américas*, 7:46-47, 1966.

WELCK, G.B. *Beneficiamento de sementes no Brasil*. Ministério da Agricultura do Brasil, 1973. 200 p.

10. APÊNDICE

APÊNDICE I - Peso dos componentes do produto agrícola "in natura", em g. Volume das amostras = 10 litros.

Nº da amostra	Frutos	Terra	Torrões	Folhas	Ramos	Outras
1	3240	283,0	33,4	43,9	31,5	42,7
2	3370	86,6	26,9	49,5	26,5	35,5
3	3490	71,7	68,8	38,3	24,5	20,2
4	3240	138,3	104,2	37,6	34,9	48,3
5	2830	93,8	31,1	104,5	35,9	8,5
6	3260	88,5	59,3	50,1	30,7	19,5
7	2520	397,4	55,7	98,2	29,2	21,5
8	3080	339,4	39,9	69,0	22,2	21,5
9	3410	57,8	55,7	27,5	22,8	21,1
10	2480	185,9	65,6	91,3	29,7	25,2
11	2940	239,6	30,6	67,7	29,4	18,4
12	3020	153,1	63,1	81,4	31,1	18,0
13	2980	326,0	37,7	70,3	26,2	25,5
14	3360	127,3	50,3	47,4	19,5	21,7
15	2810	351,7	57,5	70,1	31,7	16,2
16	3020	360,0	60,1	58,4	21,1	23,1
17	2760	114,5	31,5	83,5	45,0	15,7
18	3270	77,7	59,7	59,3	24,7	15,0
19	3210	169,1	61,3	63,7	31,9	10,1
20	3370	100,3	44,8	44,3	32,7	23,8
Média	3080	171,5	51,9	63,8	29,0	22,5

Porcentagem média de frutos e impurezas, calculada a partir dos dados acima.

Frutos (%)	Impurezas (%)				
	Terra	Torrões	Folhas	Ramos	Outras
88,9	5,0	1,5	1,8	0,8	0,7

APÊNDICE II - Teor de umidade do produto agricola "in natura".

Nº da amostra	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Água (g)	Umidade (%)
2	3.595,0	2.710,5	884,2	32,6
3	3.713,5	2.825,3	888,2	31,5
6	3.509,1	2.690,8	818,3	30,4
8	3.572,0	2,750,2	821,8	30,5
10	2,890,6	2,200,7	689,9	31,3
12	2,870,6	2.205,4	665,2	30,1
13	3,465,7	2,650,3	815,4	30,7
14	3.626,2	2,770,5	855,7	30,8
18	3,506,4	2,690,6	815,8	30,3
19	3.455,9	2,605,0	850,9	32,6

APÊNDICE III - Ensaios finais: tempo de abanação (s).

Análise de variância

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotações (V)	5	47.212,53	9.442,50	2.756,19**
Excentricidades (E)	2	49.220,59	24.610,29	7.183,54**
Interação (V) x (E)	10	27.141,40	2.714,14	792,23**
(Tratamentos)	(17)	(123.574,52)	-	-
Resíduo	36	123,33	3,42	-
Total	53	-	-	-

C.V. = 3,61%

Desdobramento da interação: (E) d. (V)

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(E) d. (V_0)	2	45.552,88	22.776,44	6.648,31**
(E) d. (V_1)	2	7.700,66	3.850,33	1.123,89**
(E) d. (V_2)	2	434,66	217,33	63,44**
(E) d. (V_3)	2	486,88	243,44	71,06**
(E) d. (V_4)	2	5.608,22	2.804,11	818,50**
(E) d. (V_5)	2	16.578,66	8.289,33	2.419,61**
Resíduo	36	123,33	3,42	-

Δ = 3,69

**-Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

APÊNDICE IV - Ensaios finais: tempo de abanação (s).

Desdobramento da interação: (V) d. (E)

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(V) d. (E_3)	5	62.167.83	12.433,56	3.629,28**
(V) d. (E_4)	5	7.534.27	1.506,85	439,84**
(V) d. (E_5)	5	4.651,83	930,36	271,57**
Resíduo	35			

$\Delta = 4,55$

**-Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Teste de comparação de médias dos níveis: (E) d. (V)

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
E_3	209,67 a	107,34 a	45,67 a	30,34 a	67,00 a	101,00 a
E_4	67,00 b	58,00 b	34,34 b	22,00 b	19,34 b	11,67 b
E_5	51,67 c	37,67 c	29,00 c	12,34 c	10,00 c	8,34 c

Teste de comparação de médias dos níveis: (V) d. (E)

	E_3	E_4	E_5
V_0	209,67 a	67,00 a	51,67 a
V_1	107,34 b	58,00 b	37,37 b
V_2	45,67 c	34,00 c	29,00 c
V_3	30,34 d	22,00 d	12,34 d
V_4	67,00 e	19,34 e	10,00 d
V_5	101,00 f	11,67 f	8,34 d

Obs.: As médias que apresentam pelo menos uma letra em comum, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

APÊNDICE V - Ensaios finais: quantidade de café abanado (g).

Análise de variância

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotação (V)	5	5.841.521,41	1.168.304,28	4,37**
Excentricidade (E)	2	2.909.820,60	1.454.910,30	5,44**
Interação (V) x (E)	10	3.327.803,21	332.780,32	$1,24^{NS}$
(Tratamentos)	(17)	(12.079.145,22)	-	-
Resíduo	36	9.621.857,30	267.273,81	-

C.V. = 8,82%

**-Significativo ao nível de 1% de probabilidade.
NS-Não significativo.

Teste de Tukey para comparação de médias entre tratamentos:

a) Comparação entre as médias para excentricidades (E):

E_3 = 6.144, 28 a

E_4 = 5.580,25 ab Δ = 421,61

E_5 = 5.575,81 b

b) Comparação entre as médias para rotações (V):

V_0 = 5.569,74 a

V_1 = 5.828,89 ab

V_2 = 5.804,20 ac Δ = 734,11

V_3 = 5.843,67 a

V_4 = 5.580,59 ad

V_5 = 6.554,60 a

Obs.: As médias entre tratamentos que apresentam pelo menos uma letra em comum, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

APÊNDICE VI - Ensaios finais: quantidade de ramos secos (g).

Análise de variância

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	S.Q.	F
Rotações (V)	5	191,25	38,25	54,27**
Excentricidades (E)	2	10,46	5,23	7,42**
Interação (V) x (E)	10	25,70	1,57	2,22*
(Tratamentos)	(17)	(217,42)	-	-
Resíduo	36	25,37	0,70	-
Total	53	-	-	-

C.V. = 36,69%

Desdobramento da interação: (E) d. (V)

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(E) d. (V_0)	2	13,50	6,75	9,58**
(E) d. (V_1)	2	5,92	2,96	4,20*
(E) d. (V_2)	2	5,97	2,98	4,24*
(E) d. (V_3)	2	0,48	0,24	$0,35^{NS}$
(E) d. (V_4)	2	0,06	0,03	$0,05^{NS}$
(E) d. (V_5)	2	0,20	0,10	$0,15^{NS}$
Resíduo	36	25,37	0,70	-

Δ = 1,67

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

NS - Não significativo.

APÊNDICE VII - Ensaios finais: quantidade de ramos secos (g).

Desdobramento da interação: (V) d. (E)

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(V) d. (E_3)	5	77,62	15,52	22,03**
(V) d. (E_4)	5	33,03	6,60	9,38**
(V) d. (E_5)	5	96,29	19,25	27,33**
Resíduo	36	25,37	0,70	-

Δ = 2,05

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Teste de comparação de médias dos níveis: (E) d. (V)

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
E_3	6,57 a	2,07 b	1,47 b	-	-	-
E_4	4,37 b	2,80 ab	1,70 ab	-	-	-
E_5	7,24 a	4,04 a	3,30 a	-	-	-

Teste de comparação de médias dos níveis: (V) d. (E)

	E_3	E_4	E_5
V_0	6,57 a	4,37 a	7,24 a
V_1	2,07 b	2,80 ab	4,04 b
V_2	1,47 b	1,70 bc	3,30 b
V_3	1,54 b	0,97 bc	1,20 c
V_4	0,70 b	0,87 bc	0,90 c
V_5	0,30 b	0,44 c	0,67 c

Obs.: As médias que apresentam pelo menos uma letra em comum, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

APÊNDICE VIII - Ensaios finais: quantidade de torrões (g).

Análise de variância

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotações (V)	5	1.573,07	314,61	$2,26^{NS}$
Excentricidades (E)	2	1.082,86	541,43	3,90*
Interação (V) x (E)	10	1.507,50	150,75	$1,08^{NS}$
(Tratamentos)	(17)	(4.163,43)	-	-
Resíduo	36	4.989,52	138,59	-
Total	53	-	-	-

C.V. = 14,76%

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.
NS - Não significativo.

Teste de Tukey para comparação das médias dos níveis de excentricidades (E):

E_3 = 75,73 a

E_4 = 77,52 a Δ = 9,60

E_5 = 83,74 a

Obs.: As médias entre tratamentos que apresentam pelo menos uma letra em comum, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

APÊNDICE IX - Ensaios finais: perdas na saída do ventilador (g).

Análise de variância

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotações (V)	5	148.812,67	29.762,53	195,28**
Excentricidades (E)	2	19.594,44	9.797,22	63,95**
Interação (V) x (E)	10	46.564,67	4.656,46	30,39**
(Tratamentos)	(17)	(214.971,78)	-	-
Resíduo	36	5.514,86	153,19	-

C.V. = 25,36%

Desdobramento da interação: (E) d. (V)

Causas de Variação	G.L.			
(E) d. (V_0)	2	7,93	3,96	$0,03^{NS}$
(E) d. (V_1)	2	16,74	8,37	$0,05^{NS}$
(E) d. (V_2)	2	148,58	74,29	$0,48^{NS}$
(E) d. (V_3)	2	118,89	59,44	$0,39^{NS}$
(E) d. (V_4)	2	10.126,24	5.063,12	33,05**
(E) d. (V_5)	2	55.740,70	24.870,35	181,93**
Resíduo	36	5.514,86	153,19	-

Δ = 24,72

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

NS - Não significativo.

APÊNDICE X - Ensaios finais: perdas na saída do ventilador (g).

Desdobramento da interação: (V) d. (E)

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(V) d. (E_3)	5	8.069,76	1.613,95	10,54**
(V) d. (E_4)	5	37.859,74	7.571,94	49,43**
(V) d. (E_5)	5	149.447,82	29.889,56	195,11**
Resíduo	36	5.514,86	153,19	-

Δ = 30,44

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Teste de comparação entre médias dos níveis: (E) d. (V)

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
E_3	-	-	-	-	39,30 b	67,60 d
E_4	-	-	-	-	56,57 b	141,94 e
E_5	-	-	-	-	117,50 a	258,80 f

Teste de comparação entre médias dos níveis: (V) d. (E)

	E_3	E_4	E_5
V_0	6,20 c	8,50 c	7,34 c
V_1	8,60 c	11,94 c	10,47 c
V_2	16,17 bc	22,84 c	13,10 c
V_3	25,57 bc	31,77 bc	34,20 c
V_4	39,30 ab	56,57 b	117,50 b
V_5	67,60 a	141,94 a	258,80 a

Obs.: As médias que apresentam pelo menos uma letra em comum, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

APÊNDICE XI - Ensaios finais: perdas na bica de terra (g).

Análise de variância

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotações (V)	5	603,69	120,73	75,88**
Excentricidades (E)	2	925,96	462,98	289,80**
Interação (V) x (E)	10	226,40	22,64	14,17**
(Tratamentos)	(17)	(1.756,06)	-	-
Resíduo	36	57,51	1,59	-
Total	53	-	-	-

C.V. = 17,07%

Desdobramento da interação: (E) d. (V)

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(E) d. (V_0)	2	325,76	162,88	101,96**
(E) d. (V_1)	2	221,12	110,56	69,21**
(E) d. (V_2)	2	71,78	35,89	22,47**
(E) d. (V_3)	2	23,77	11,88	7,44**
(E) d. (V_4)	2	230,64	115,32	72,19**
(E) d. (V_5)	2	279,26	139,63	87,41**

Δ = 2,52

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

APÊNDICE XII - Ensaios finais: perdas na bica de terra (g).

Desdobramento da interação: (E) d. (V)

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(V) d. (E_3)	5	326,04	72,40	45,33**
(V) d. (E_4)	5	427,63	85,52	53,54**
(V) d. (E_5)	5	40,42	8,08	5,06**
Resíduo	36	57,51	1,59	-

$\Delta = 3,10$

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Teste de comparação de médias dos níveis: (E) d. (V)

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
E_3	18,84 a	15,37 a	8,90 a	4,70 a	11,64 a	12,34 a
E_4	14,64 b	8,17 b	3,60 b	3,30 ab	1,10 b	0,54 b
E_5	4,50 c	3,30 c	2,40 c	0,80 b	0,70 b	0,50 b

Teste de comparação de médias dos níveis: (V) d. (E)

	E_3	E_4	E_5
V_0	18,80 a	14,64 a	4,50 a
V_1	15,37 b	8,17 b	3,30 ab
V_2	8,90 d	3,60 c	2,40 ab
V_3	4,74 e	3,30 c	0,80 b
V_4	11,64 cd	1,10 c	0,70 b
V_5	12,34 bc	0,54 c	0,50 b

Obs.: As médias que apresentam pelo menos uma letra em comum, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.