

UNESP  
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Guaratinguetá

1996



1110000393



CARO LEITOR NÃO  
RISQUE O LIVRO

*"Desenvolvimento de uma  
Colhedora Portátil de Café por  
Sucção Aerodinâmica "*

*FERNANDO SILVA DE ARAÚJO PORTO*

56

FAACILIDADE DE ENCONTRAR  
DE CLIMATIZADA  
BIBLIOTECA



UNESP UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Campus de Guaratinguetá

"DESENVOLVIMENTO DE UMA COLHEDORA PORTÁTIL DE CAFÉ  
POR SUCCÃO AERODINÂMICA"

*FERNANDO SILVA DE ARAÚJO PORTO*

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

ESPECIALIDADE: MECÂNICA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROJETOS E MATERIAIS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof. Dr. Tomaz Manabu Hashimoto  
Coordenador

CARO LEITOR NÃO  
RISQUE O LIVRO

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. NAZEM NASCIMENTO  
Orientador / Unesp-Feg

393



Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO PERRELLA BALESTIERI  
Unesp-Feg

T631.3-1/-9(043)  
P853d

  
Prof. Dr. LUIZ CARLOS BEDUSCHI  
Unesp-Jaboticabal

393

FACULDADE DE ENGENHARIA  
DE GUARATINGUETÁ  
BIBLIOTECA

Outubro de 1996



## DADOS CURRICULARES

FERNANDO SILVA DE ARAÚJO PORTO

NASCIMENTO	7.3.1963 - GUARATINGUETÁ/SP
FILIAÇÃO	João de Araújo Porto Áurea da Silva de Araújo Porto
1983/1988	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia Mecânica - UNESP, Campus de Guaratinguetá
1989	Engenheiro Mecânico da Divisão de Tubulação Industrial da Jaako Poyry Engenharia Ltda
1990	Engenheiro Mecânico da Divisão de Sistemas Mecânicos da EMBRAER - Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.
1993	Ingresso no curso de Pós-Graduação, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia Mecânica - UNESP, Campus de Guaratinguetá
1994	Estágio no Departamento de Mecânica da Fachhochschule Darmstadt, Alemanha
1996	Ingresso no curso de Pós-Graduação, nível de Doutorado, na Faculdade de Engenharia Mecânica - UNESP, Campus de Guaratinguetá



À minha grande amiga, esposa e namorada, Fátima.

À única pessoa que, sem qualquer tipo de hesitação, sempre acreditou na minha capacidade, fosse sob qual fosse a turbulência imposta pelo destino. Todas as minhas vitórias são suas.

Ao grande amor de minha vida, ao amor da minha vida inteira.

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração direta ou indireta de muitas pessoas. Manifesto minha gratidão a todas elas e de forma particular:

ao meu professor orientador, *Dr. Nazem Nascimento* - mais que um professor, um amigo constante e sincero que soube como dividir o fardo, que nunca ocultou suas dúvidas e críticas, assim como sua confiança em mim - caminhar ao seu lado tem sido antes de tudo um prazer e uma honra inestimável;

aos meus amigos, *Mauro Massayoshi Kimura*, *Dr. José Antônio Perrella Balestieri* - o primeiro, um engenheiro forjado na dura luta diária da fábrica, o outro, moldado e endurecido no evangelho árduo do ensino acadêmico; profissionais irrepreensíveis cuja companhia fez-me ser orgulhoso do caminho trilhado, pessoas nas quais sempre procurarei me espelhar - sem a orientação técnica generosa, desprendida e precisa destes, o desenvolvimento do estudo aqui apresentado teria sido muito mais difícil, senão impossível;

ao professor *Dr. Luiz Carlos Beduschi*, seu interesse e sua contribuição imprimiram dignidade e peso, a este trabalho;

aos técnicos *Pedro Antônio dos Santos*, do Departamento de Mecânica, e *João Flaminio de Camargo*, do Departamento de Energia, pela competência, boa vontade e dedicação demonstradas na construção do protótipo;

a todos os colegas do Departamento de Mecânica e em especial, aos funcionários *Carlos Alberto Quirino*, *Sebastião Sávio da Silva*, *Walter Luiz M. Tupinambá*, *Zélia de Araújo Pedran*, *Maria Aparecida de Almeida* e *Lúcia Helena de Paula*, pela amizade, incentivo e profissionalismo exemplares;

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá - *todas elas*, sem exceção *alguma*: *Ana Cristina F. Loureiro*, *Ana Lúcia F. da Silva Rabelo*, *Ana Maria Ramos Antunes*, *Célia Silva Santos Oliveira*, *Celina Zago*, *Denise Floriano da Silva*, *Eliane da Silva Leite*, *Gracia Luiza Novais Silva*, *Luciana Máximo*, *Márcia A. Querido Moreira*, *Nilza Maria Rabello*, *Jaquelina Inês César*, *Rosana Maria Pereira Maciel* - pela dedicação, presteza e principalmente, desprendimento no ajudar e orientar;

às funcionárias, *Aparecida Salete de Moura*, do Departamento de Energia, e *Fátima Aparecida Peixoto da Silva*, do Departamento de Física, pela paciência e alegria com que me auxiliaram com os equipamentos necessários aos testes de avaliação;

ao Prof. *Dr. Roberto Artur Cornetti Silva* - pelo seu incentivo constante e, principalmente, pela amizade sincera.



O soldado que não acredita na vitória não é capaz de lutar por ela.



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....	13
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	16
2.1. O café .....	16
2.1.1. Histórico .....	16
2.1.2. Características botânicas .....	16
2.1.3. Cultivo do café .....	19
2.1.4. Colheita manual do café .....	22
2.2. O café e o Brasil .....	23
2.2.1. Histórico .....	23
2.2.2. Situação atual .....	25
2.3. Máquinas agrícolas .....	26
2.3.1. Desenvolvimento .....	26
2.3.2. Máquinas agrícolas e as culturas de pequenos frutos .....	27
2.4. Colheita mecanizada de pequenos frutos .....	29
2.5. Colheita mecanizada de café .....	38
2.5.1. Desenvolvimento .....	38
2.5.2. Sistemas de colheita mecanizada de café .....	38
2.5.2.1. Descrição dos sistemas empregados .....	38
2.5.2.2. Preparação da lavoura para a mecanização .....	43
2.5.2.3. Conseqüências danosas da atuação dos sistemas mecanizados .....	44
2.5.3. Comentários e observações .....	45
3. MATERIAL E MÉTODO .....	46
3.1. Dimensionamento do protótipo .....	46
3.1.1. Requisitos básicos .....	46
3.1.2. Dimensionamento .....	50
3.1.2.1. Bocal de sucção .....	50
3.1.2.2. Mangote flexível e <i>fan</i> de aspiração .....	56
3.2. Protótipo .....	74
3.2.1. Redimensionamento do bocal de sucção .....	74
3.2.2. Ensaio preliminares .....	74
3.2.3. Características gerais .....	76
4. RESULTADOS .....	83



4.1.	Testes de campo .....	83
5.	DISCUSSÃO .....	85
6.	CONCLUSÃO .....	88
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89
Anexos	.....	91
Resumo	.....	92
Abstract	.....	93
Glossário	.....	94

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Ramo de café	16
Figura 2	- Plataforma individual de colheita de frutas e poda.	28
Figura 3	- Plataforma múltipla para colheita de frutas com caixas paletizadas.	29
Figura 4	- Vibrador de deslocamento fixo por barra (à esquerda) e por cabo.	30
Figura 5	- Esquema de vibrador de massas excêntricas e de contato lateral.	31
Figura 6	- Zona de atuação ótima de um vibrador de inércia em uma oliveira. Números em porcentagem indicam taxa de desprendimento de frutos.	31
Figura 7	- Reboque para colheita de frutos com sistema de recepção, transporte e acondicionamento em caixas paletizadas.	34
Figura 8	- Esquema de colheitadeira de frutas formada por duas plataformas independentes.	35
Figura 9	- Vibrador e recolhedor ao nível do solo.	35
Figura 10	- Esquema de colheitadeira do tipo guarda-sol invertido.	36
Figura 11	- Podadora de discos.	37
Figura 12	- Podadora de barra de corte.	37
Figura 13	- Sistema Coan. À esquerda, Dr. Oswaldo Coan e a abanadora mecânica. À direita, a máquina em operação.	39
Figura 14	- Sistema Sugrão. À esquerda, vista do equipamento rebocado. À direita, bengala pneumática e operador.	40
Figura 15	- Sistema Cocco. À esquerda, vista do equipamento. À direita, equipamento em operação, sendo rebocado.	41
Figura 16	- Esquema do funcionamento do sistema de remoção do fruto, no sistema Jacto e Cocco.	42
Figura 17	- Sistema Jacto. À esquerda, vista frontal do equipamento em operação. À direita, equipamento em manobras em um carreador.	43
Figura 18	- Esquema do protótipo de colheitadeira de pequeno porte para grãos de café.	47
Figura 19	- Esquema de uma possível solução para o sistema de captação contínua de grãos.	48
Figura 20	- Sistema de remoção de partículas pesadas com comportas acionadas por gravidade.	48



Figura 21	- Sistema de remoção de partículas pesadas com comportas acionadas por motor ou solenóides.	49
Figura 22	- Sistema de remoção de partículas pesadas com válvula rotativa.	49
Figura 23	- Resistência do pedúnculo do grão de café à tração.	51
Figura 24	- Coeficientes de arrasto para esferas em função do número de Reynolds.	53
Figura 25	- Coeficientes de arrasto para esferas em termos de números de Reynolds e Mach.	53
Figura 26	- Contornos de velocidade sucção para bocais circulares.	55
Figura 27	- Tipos de bocal.: 1. simples, sem flange; 2. flange cônica; 3. flange reta; 4. <i>bell mouth</i> .	55
Figura 28	- Fluxo de ar na <i>Vena Contracta</i> .	58
Figura 29	- Expansão de duto.	59
Figura 30	- Fatores de correção para materiais não standard.	60
Figura 31	- Curvas em duto de seção circular.	61
Figura 32	- Gráfico para seleção de componentes. Velocidade do ar sugado em 204 m/s no bocal.	69
Figura 33	- Gráfico para seleção de componentes. Velocidade do ar sugado em 238 m/s no bocal.	70
Figura 34	- Gráfico para seleção de componentes. Velocidade do ar sugado em 272 m/s no bocal.	71
Figura 35	- Gráfico para seleção de componentes. Velocidade do ar sugado em 306 m/s no bocal.	72
Figura 36	- Gráfico para seleção de componentes. Força de 3,90 N na sucção. Ampliação explicativa da faixa de interesse.	73
Figura 37	- Desenvolvimento de campo de velocidades em escoamento unidimensional.	75
Figura 38	- Vista geral do protótipo mostrando em primeiro plano o compressor.	79
Figura 39	- Vista geral do protótipo mostrando em primeiro plano o compressor e o comando do sistema elétrico.	80
Figura 40	Vista superior da disposição geral do sistema.	81
Figura 41	Detalhe do bocal de sucção. Ângulo de entrada de 42°.	81
Figura 42	Vista da montagem do sistema na área superior do sistema.	82
Figura 43	Esquema do protótipo de colheitadeira, munido de tubulação e válvula para recirculação do fluxo aspirado.	84
Figura 44	Gráfico da velocidade média do ar aspirado em função do ângulo de abertura da válvula de retorno.	87



## LISTA DE TABELAS

Tabela	1	-	Classificação dos tipos de vibradores em colheitadeiras	29
Tabela	2	-	Vantagens e inconvenientes dos sistemas vibratórios utilizados em colheitadeiras.	33
Tabela	3	-	Resistência do pedúnculo do grão de café à tração. Número de medidas por faixa de resistência e condição visual do objeto. Faixa de interesse em cinza.	50
Tabela	4	-	Grandezas físicas básicas para o dimensionamento.	51
Tabela	5	-	Constantes utilizadas no dimensionamento.	54
Tabela	6	-	Forças de arrasto desenvolvidas para diferentes velocidades de fluxo.	54
Tabela	7	-	Coefficientes de eficiência para diferentes bocais.	56
Tabela	8	-	Fatores de eficiência em expansões para dutos redondos.	59
Tabela	9	-	Características do mangote comercialmente disponível. Diâmetro interno nominal. Dados mensurados diretamente no produto.	59
Tabela	10	-	Fatores de perda em curvas em dutos de seção circular.	61
Tabela	11	-	Folha de cálculo do <i>Velocity Pressure Method</i> .	64
Tabela	12	-	Planilha para seleção de componentes. Velocidade de 204 m/s do ar sugado, no bocal. Força de arrasto de 1,7 N exercida sobre o fruto.	65
Tabela	13	-	Planilha para seleção de componentes. Velocidade de 238 m/s do ar sugado, no bocal. Força de arrasto de 2,8 N exercida sobre o fruto.	66
Tabela	14	-	Planilha para seleção de componentes. Velocidade de 272 m/s do ar sugado, no bocal. Força de arrasto de 3,9 N exercida sobre o fruto.	67
Tabela	15	-	Planilha para seleção de componentes. Velocidade de 306 m/s do ar sugado, no bocal. Força de arrasto de 5,2 N exercida sobre o fruto.	68
Tabela	16	-	Folha de cálculo do <i>Velocity Pressure Method</i> , considerando os componentes selecionados..	78



## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°C = grau centígrado  
 c = velocidade do som  
 $C_D$  = coeficiente de resistência ao arrasto  
 cm = centímetro  
 diam. = diâmetro  
 D = diâmetro  
 Dr. = Doutor  
 ed. = edição  
 equ. = equação  
 etc = *et cetera*, com significado de “e as demais coisas”  
 g = aceleração da gravidade  
 $F_D$  = intensidade da força de resistência ao arrasto  
 h = hora  
 ha = hectare  
 Hf = fator de perdas de carga  
 HP = *horsepower*  
 IAC = Instituto Agrônomo de Campinas  
 i. e. = isto é  
 Inc. = *Incorporated*  
 k = quilo ( $10^3$ )  
 kg = quilograma  
 km/h = quilômetros por hora  
 L = dimensão linear  
 L. = lineano; espécie classificada segundo o sistema lineano.  
 M = número de Mach  
 m = metro  
 mm = milímetro  
 mm H<sub>2</sub>O = milímetros de coluna d'água  
 N = potência  
 N = newtons  
 n<sup>o</sup> = número  
 p. = páginas  
 Pa = pascal  
 pc/m = pés cúbicos por minuto  
 pé<sup>2</sup> = pés ao quadrado  
 p/m = pés por minuto  
 pol. = polegadas



pol. H<sub>2</sub>O = polegadas de coluna d'água  
PVC = *Poly-Vinil Chloride*, ou cloreto de vinila  
Q = fluxo volumétrico  
 $r$  = distância radial  
R = fator de ganho  
R = raio  
Re = número de Reynolds  
R.J. = Rio de Janeiro  
rpm = rotações por minuto  
s = segundo  
S = área da secção mestra de um objeto  
SP = pressão estática  
S.P. = São Paulo  
UNESP = Universidade Estadual Paulista  
USA = Estados Unidos da América (*United States of America*)  
US\$ = dólar americano  
V = velocidade  
 $V_{\text{máx}}$  = velocidade máxima  
 $V_{\text{méd}}$  = velocidade média  
VP = pressão dinâmica  
W = watt  
 $\gamma$  = peso específico  
 $\nu$  = viscosidade cinemática  
 $\eta$  = rendimento  
 $\varnothing$  = diâmetro



## 1. INTRODUÇÃO

O custo da operação de colheita é de extrema importância em qualquer cultura agrícola. A evolução dos custos nos países mais desenvolvidos indica que em futuro próximo todo produto agrícola cuja colheita não possa ser mecanizada tenderá a desaparecer da lista do consumidor, por não poder competir economicamente com aqueles colhidos mecanicamente. Portanto, a mecanização da cafeicultura, assim como de outras culturas agrícolas, deveria ser o caminho mais indicado para a otimização do processo.

Entretanto, os atuais projetos de máquinas colhedoras de café (*Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre) exigem altos investimentos. As máquinas até agora desenvolvidas são de grande porte, e necessitam de cafezais especialmente constituídos para permitir sua operação: espaçamento adequado entre as fileiras de pés de café, terreno plano e isento de acidentes de relevo, padronização das características dimensionais do cafeeiro, etc.

Sendo assim, fica atraente a possibilidade de se desenvolver uma máquina colhedora simples e portátil, capaz não só de realizar a operação de colheita do fruto em tempo menor que o demandado pelo atual processo manual, mas também habilitada a operar nos cafezais existentes na atualidade, independentemente do espaçamento entre as fileiras e do tipo de terreno considerado. A questão do custo inicial seria assim minimizada tão somente à aquisição da máquina.

O objetivo deste trabalho é avaliar a exeqüibilidade desta proposta mediante o desenvolvimento da modelagem físico/matemática do conceito, dimensionamento e construção de um protótipo correspondente ao modelo, realização de testes com a máquina em condições de campo no período de colheita da safra do café, e a identificação e quantificação dos parâmetros necessários à elaboração de uma máquina de série.



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. O café

#### 2.1.1. Histórico

O cafeeiro é tido como originário da Etiópia, onde ainda ocorre em estado nativo. Levado para a Arábia, entre os séculos XIII e XIV, seu cultivo dispersou-se por extensa área geográfica. Em 1690, os holandeses o levaram para o Ceilão e, em seguida para Java. No século seguinte, espalhou-se pelas regiões montanhosas ao Sul da Índia inglesa e por outros países, como as Filipinas, os Estados malaios, a antiga Cochinchina, a Nova Caledônia, o Havaí, as Novas Hébridas. Por volta de 1706, algumas mudas foram trazidas para o Novo Mundo pelos holandeses, que as introduziram no Suriname, de onde passou à Guiana Francesa. A princípio (século XVII) o uso do café foi limitado por preconceitos de várias naturezas, mas eles acabaram sendo superados, generalizando-se o seu consumo. Em 1645, foi aberta em Veneza a primeira casa para a comercialização da bebida. Em 1651, surgiram congêneres em Londres, onde meio século mais tarde já existiam mais de 30 casas. No começo do século XVIII, a bebida tornou-se conhecida na Escandinávia e em outras regiões da Europa.<sup>15</sup>

#### 2.1.2. Características botânicas



FIGURA 1 - Ramo de café

Em uma série de trabalhos, o último publicado em 1946, o botânico francês Auguste Chevalier apresentou as bases para uma nova classificação do gênero *Coffea*. São 66 espécies, separadas em quatro seções: *Eucoffea*, *Mascaracoffea*, *Paracoffea* e *Argocoffea*. A mais importante destas é a *Eucoffea*, que compreende cinco subseções - *Erythrocoffea*, *Pachycoffea*, *Nanocoffea*, *Melanocoffea* e *Mozambicoffea*. Dessas, as de maior interesse são a *Erythrocoffea* e a *Pachycoffea*, que abrangem as espécies mais cultivadas, todas por sua vez, originárias da África: *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre, e a *Coffea liberica* Bull&Hiern. As espécies do gênero *Coffea* diferenciam-se quanto ao porte, crescimento e forma. De todas elas, somente a *Coffea arabica* L. e

a *Coffea canephora* Pierre são cultivadas no Brasil para a produção comercial do café (figura 1). Destas, apenas a *Coffea arabica* L. produz bebida de qualidade

fina, reunindo um bom número de variedades, algumas das quais bastante conhecidas em todos os países tradicionalmente produtores de café.<sup>5</sup>

*Coffea canephora* Pierre, ex-Froehner, conhecida pelo nome geral de café robusta, é, com certeza, a mais amplamente distribuída em termos geográficos, sendo por isso, conhecida por vários nomes.<sup>5</sup> Tem forma bem diferente da variedade típica da *Coffea arabica*: é multicaule, ou seja, muitos ramos partem do solo, no estado espontâneo, e atingem de 2 a 5 metros de altura. As folhas são grandes e de um verde bem mais claro que as da *Coffea arabica*; onduladas, tem nervuras salientes e forma elíptica ou lanceolada. A floração do *Coffea canephora* é rápida - se dá durante um a dois dias, e repete-se duas a três vezes por ano. Os frutos são quase esféricos, menores que a média, e se agrupam em número de trinta a sessenta por artigos; são vermelhos quando maduros. O cruzamento da espécie *Coffea canephora* com o *Coffea arabica* é difícil, e os híbridos conseguidos até hoje são parcialmente estéreis. Em algumas regiões de clima quente, o *Coffea canephora* foi muito plantado. É o caso do Vale do Rio Doce, no Espírito Santo, onde foram instaladas grandes lavouras de cafeeiros *kouillou* - uma variedade originária da Costa do Marfim, também conhecida como café conilon. O IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e outras instituições oficiais de pesquisas tem procurado obter variedades e híbridos descendentes do cruzamento *Coffea arabica/Coffea canephora*, com a finalidade de conseguir características de produção, rusticidade de resistência a pragas e doenças. Assim, chegou-se às variedades guarani (predominantemente *canephora*, que parece promissora) e icatu (um híbrido que tem apresentado muita variação em sua descendência).

*Coffea arabica* L. - Seu sabor e aroma a transformaram na principal espécie cultivada.<sup>5</sup> Setenta por cento do café consumido no mundo provém de cafeeiros *Coffea arabica*. As três variedades básicas, das quais se originam todas as demais cultivadas economicamente no Brasil, são: Cramer, Bourbon e Caturra.

1. *Coffea arabica* L., variedade típica, Cramer (1913) - É a variedade conhecida pelos nomes de café comum, nacional, crioulo, brasil e sumatra.<sup>5</sup> Ela apresenta as seguintes características: arbusto com 2 a 3 metros de altura, forma mais ou menos cônica e ramos laterais primários levemente pendentes, formando com o caule um ângulo médio de 67°, com abundantes ramos secundários e terciários. As folhas novas são bronzeadas e as maduras, verde escuras, elípticas, levemente coriáceas, com lâmina e margem pouco onduladas. Os frutos são curtos e pedunculados, oval-elípticos, vermelhos, lisos e brilhantes, com comprimento médio de 14 mm. As sementes são plano-convexas, esverdeadas e cobertas por uma fina película prateada.

2. *Coffea arabica* L., variedade bourbon (João Barbosa Rodrigues), Choussy (1928) - Nomes vulgares: café bourbon e café fava.<sup>5</sup> Ela foi introduzida no Brasil entre 1860 e 1870. O arbusto tem de 2 a 3 metros de altura e forma mais ou menos cilíndrica. Os ramos laterais primários são pouco menos pendentes que



os da variedade típica, formando com o caule um ângulo médio de  $58^\circ$ . Os ramos laterais secundários e terciários são abundantes e dão origem a “palmetas” na base da planta. As folhas são verde-claras e escurecem quando maduras; são elípticas, levemente coriáceas e têm lâmina e margem mais onduladas que a variedade típica. Os frutos assemelham-se aos da variedade típica, ainda que um pouco menores - cerca de 13,4 mm de comprimento. As sementes são mais curtas e mais redondas que as da variedade típica.

3. *Coffea arabica* L., variedade caturra, também chamada de caturra-vermelha - Provavelmente originário da variedade bourbon, o caturra tem como principal característica o porte baixo, de onde lhe provêm o nome.<sup>5</sup> A altura média não ultrapassa 2 metros, os internódios da haste principal são curtos e sua forma é cilíndrica. Os ramos laterais são um pouco mais pendentes que os do bourbon, formando com o caule um ângulo médio de  $67^\circ$ . Os ramos laterais secundários são particularmente abundantes e os intermédios, bastante curtos. As folhas novas são verde-claras e as maduras, escuras, de um verde muito intenso.

Essas três variedades básicas deram origem a outras quatro, mais exploradas pelos cafeicultores brasileiros: bourbon-amarelo, mundo-novo, catuaí e a caturra-amarela.<sup>5</sup>

a) *Bourbon-amarelo* - Tem características do café bourbon, embora seus frutos tenham a cor amarela. Essa variedade é mais rústica e produtiva que a bourbon-vermelho. Seleções feitas pelos geneticistas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em São Paulo, tiveram grande aceitação por parte dos produtores por sua alta produtividade. Só foi preterida em favor da variedade mundo-novo por esta ser ainda mais produtiva.

b) *Mundo-novo* - Esta variedade apareceu pela primeira vez no município de Mundo Novo, hoje Urupês, na região de Araraquara (S.P.). Ela descende das culturas de café sumatra de Jaú. Suas primeiras sementes são oriundas de uma única planta muito produtiva nascida ao lado do carreador de um sítio de mineiros do Tietê, naquela região. Trata-se do cruzamento dos cafés sumatra e bourbon. Boa herdeira das características dessas duas variedades, ela é muito mais produtiva que as duas. Os engenheiros do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) selecionaram quinze progênies. Trabalhadas pelos técnicos, produziram excelentes resultados. Por isso, essa variedade passou, na época, a substituir as outras até então plantadas.

c) *Catuaí* - Do cruzamento da mundo-novo com a caturra-amarelo surgiram duas variedades de alta produtividade e porte baixo, facilitando a colheita: a catuaí-vermelho e a catuaí-amarelo. O porte, herdado da caturra, tem atraído os produtores, que têm semeado a catuaí em grande escala.

d) *Caturra-amarela* - Tanto a caturra-vermelho como a amarelo têm produções altíssimas, mas na região Sul do país elas entram em declínio durante o período de secas prolongadas, no inverno. Por isso, a variedade tem sido mais cultivada por produtores das regiões serranas, de clima mais frio e com chuvas bem distribuídas durante todo o ano.

### 2.1.3. Cultivo do café

Durante a evolução da cultura do cafeeiro no Brasil, desde quando ela foi instalada em solos férteis e abundantes (terras de mata), modificou-se consideravelmente o conceito de economia ligado ao café. Quando esses solos perderam sua fertilidade natural, o conhecimento agrônômico tornou-se o fator mais importante na formação de cafezais produtivos e de baixo custo relativo. Nos primeiros cafezais, o conceito básico de valor era a *produção de café por 1000 covas*. Plantados em terrenos generosos e a baixo custo, os cafezais foram formados por famílias de colonos que, para sua sobrevivência, mantinham culturas intercalares, como o milho, o arroz e o feijão, cujos tratos acabavam ajudando a conservar limpas as ruas e linhas do cafezal. O café era colhido pelos próprios colonos e o custo de produção ficava restrito à colheita, secagem, beneficiamento, sacaria e transporte do produto. Com a rápida ocupação de solos virgens favoráveis, o conceito econômico passou a ser a *produção por área*. Os custos eram aplicados à extensão do cultivo e a produção por hectare passou a definir a eficiência econômica do cafezal. Tal conceito gerou uma série de inconvenientes, como o aumento desmedido de plantas por hectare, tornando o trato e a colheita mais difíceis e, na maioria dos casos, até antieconômicos. Atualmente, a economia de uma lavoura de café é avaliada por sua capacidade de remunerar os gastos efetuados - levando em conta, também, a facilidade do cultivo e da colheita. É o conceito de remuneração do investimento, e os principais fatores para seu sucesso começam pela região ecológica adequada, passam pela topografia que permita mecanização e incluem variedades selecionadas e a distribuição de plantas, aproveitando o máximo do terreno. A finalidade é a redução até o limite do possível dos custos com cultivo e mão-de-obra.<sup>5</sup>

Os solos profundos, férteis, bem drenados e ricos de matéria orgânica, são preferidos pelos cafeeiros. O solo roxo legítimo, recém-desbravado, exhibe geralmente estas boas qualidades. Outros tipos de solo se prestam também; dentre eles os *massapés* (solos argilosos), o *salmourão*, que se caracteriza pela presença de minúsculos fragmentos rochosos entre as finas partículas que a constituem, e, finalmente, os solos arenosos, que são os menos indicados, porque perdem rapidamente a fertilidade natural.<sup>5</sup>

O plantio se faz no início das chuvas, com o terreno bem úmido, ou com irrigação na seca. Nas regiões com chuvas uniformes durante todo o ano, pode-se plantar em qualquer mês, de preferência nos menos quentes.<sup>5</sup>

O plantio do café pode ser feito em solo novo de matas ou em solos de há muito cultivados (lavouras velhas). No primeiro caso, depois do desbravamento (roçada, derrubada, queimada) segue-se o alinhamento, isto é, a marcação das covas, que pode ser em *quadrado*, em *quicôncio* (triângulo) e em *contorno*. Este último é o mais aconselhável porque as carreiras de plantas, seguindo as curvas de nível, facilitam sensivelmente a defesa contra a erosão e permitem o emprego de máquinas agrícolas no cafezal. A distância das covas, neste último caso, pode ser de 4 m para as ruas em contorno, e de 2,5 m a 3 m entre os cafeeiros nas fileiras. No plantio em quadrado, as covas ficam distanciadas de 3 m a 3,5 m conforme a fertilidade do solo. Essas bitolas podem ser menores para o café Caturra, que é de porte baixo. Usam-se espaçamentos mais largos em regiões mais frias, onde a maturação do café é mais tardia, e para variedades de porte alto. Solos mais férteis e tratos culturais mais intensos, principalmente adubações, também pedem espaçamento maiores, uma vez que as plantas se desenvolverão mais e estarão fechadas mais cedo.<sup>5,14</sup>

Há entidades oficiais e produtores registrados que fornecem as sementes. Elas também podem ser colhidas em cafezal formado por sementes adquiridas em órgãos oficiais.<sup>14</sup>

Nos pontos marcados, por ocasião do alinhamento, abrem-se covas de 0,40 m x 0,40 m x 0,40 m, no fundo dos quais se coloca uma camada de solo humoso da superfície. Nas proximidades dos quatro cantos do fundo da cova, abrem-se 4 covetas de uns 3 cm de profundidade, em cada uma das quais são plantadas 4 a 5 sementes de *café em casquinha* (despoldado e seco cuidadosamente). Em seguida, cobre-se cada cova com achas de lenha, a fim de proteger as plantas contra o sol e contra a geada. Dois meses depois do plantio começam a aparecer as primeiras plantas; quando estas alcançarem uns 10 cm, opera-se o desbaste, deixando em cada coveta somente uma muda, a mais vigorosa e de crescimento ereto; ficam portanto, 4 plantas em cada cova, as quais formarão mais tarde o pé de café.<sup>14</sup>

Quando as mudas alcançarem as achas de lenha, estas estarão dispostas em forma de *arapuca* e, assim, protegerão por mais tempo os pequenos cafeeiros.<sup>14</sup>

Nas lavouras velhas as mudas são obtidas em viveiro. As sementeiras podem ser instaladas nas clareiras das matas ou em ripados. Depois de preparado o solo, as sementes (café casquinha) são distribuídas, de 5 em 5 cm, no fundo de pequenos sulcos distanciados de 12 a 15 cm, sendo em seguida, cobertas por uma leve camada de solo. Após a sementeira, os canteiros serão cobertos por uma camada pouco espessa de capim seco, que protegerá as plantas no seu desenvolvimento inicial, devendo ser retirada essa proteção depois que todo o café estiver bem nascido. A sementeira deve manter-se em estado conveniente de limpeza e umidade. Quando as mudas alcançarem 10 a 15 cm de altura, serão transplantadas para recipientes. Em cada recipiente, contendo solo fértil, serão plantadas 4 mudas de café, que ficarão convenientemente espaçadas. Depois de 12 a 18 meses da sementeira, conforme o



trato no viveiro, as mudas poderão ser transplantadas para o lugar definitivo, isto é, para a cova de 50 cm x 50 cm x 50 cm, cheia de solo caldeado com fertilizante potássico. Melhores resultados são obtidos quando se empregam mudas individuais, caso em que a cova cheia de solo adubado recebe 4 dessas mudas individuais, ficando uma separada da outra por espaço de 0,30 m. <sup>14</sup>

É possível aproveitar as mudas já bem crescidas dos viveiros; para isso, são as mesmas arrancadas e aparadas a 20 cm acima e abaixo do coleto, ao mesmo tempo que são cortadas as raízes secundárias. As mudas assim tratadas serão plantadas diretamente no lugar definitivo, de modo que cada uma seja colocada nas proximidades de cada canto da cova. <sup>14</sup>

O cultivo mecânico deve ser empregado com cautela, para evitar uma desagregação excessiva do solo. <sup>14</sup>

Os tratos culturais, no caso de semeadura direta no cafezal, começam com o crescimento das mudas. Como estas precisam crescer em chão limpo, necessária se torna a retirada, de tempos em tempos, das folhas secas e outros restos vegetais que se depositem no fundo de cada cova. Os cuidados culturais, daí por diante são feitos para manter a lavoura livres de ervas daninhas; consistem sobretudo, em capinas, que só deverão ser feitas a enxada, quando não for possível a passagem de capinadeiras mecânicas ( seis capinas ao ano, exceto quando há plantio de culturas intercalares). <sup>14</sup>

Podas e desbrotas são prejudiciais à produção dos cafeeiros, com exceção do *decote*, feito naqueles de porte alto: consiste em cortar o caule a 1,80 m de altura, após a colheita e quando já houver lenho maduro nessa altura, a cada 2 anos. <sup>14</sup>

Em solo novo e fértil podem ser feitas, nos primeiros anos, culturas de milho, feijão, etc, nas ruas do cafezal. Do quarto ano em diante, as culturas intercalares fazem séria concorrência aos cafeeiros em produção e, por isso, devem ser suprimidas.

A manutenção de uma cobertura de leguminosas (feijão-de-porco e outras) no cafezal, durante o período de chuvas, é conveniente, a fim de conservar a boa estrutura do solo e defendê-lo contra as enxurradas. <sup>5,14</sup>

A adubação da lavoura cafeeira é indispensável para manter o nível econômico de sua produção. O cafeeiro tem especial predileção pelos adubos orgânicos. Estes são aplicados na primavera, podendo ser distribuídos no fundo de sulcos abertos nas proximidades da *saia* dos cafeeiros. Nesta ocasião, podem também ser aplicados os adubos químicos, polvilhando sobre o orgânico, antes de fechar os sulcos adubados. <sup>5,14</sup>



#### 2.1.4. Colheita manual do café

Antes de iniciar a colheita, é necessário praticar a *coroação* ou *arruação*, que é a limpeza do solo (à enxada ou à rastelo) em volta e debaixo de cada cafeeiro, ficando o cisco amontoado ou enleitado. O café, em seguida, é colhido, empregando-se na maior parte das vezes o processo da *derriça*, feita da seguinte maneira: o coletor aperta a base do ramo com o polegar e o indicador e faz deslizar; depois, a mão semicerrada até a proximidade do mesmo, despreendendo, assim, todos os frutos (maduros, verdes e secos) do referido ramo.<sup>5,14</sup>

Dada a dificuldade, por motivos econômicos, de adotar o processo de colheita de frutos maduros somente, existe a possibilidade da *derriça cuidadosa* (ou *colheita à dedo*), feita nas regiões onde a planta floresce várias vezes e a maturação dos frutos é desigual, que consiste em fazer resvalar os dedos ao longo do ramo frutífero, com certa energia, capaz de deslocar os frutos maduros e secos que deverão cair sobre um lençol, ficando os verdes para a segunda apanha.<sup>5,14</sup>

Outro processo de colheita manual é o chamado *sistema Jamayca*. Consiste na utilização de um saco de anagem dobrado e com duas bocas. Uma delas permanece sempre aberta, costurada a um aro de aço que lhe dá forma oval. A outra, voltada para cima, fica enganchada à parte externa do aro. Com este cesto preso à cintura, os operários rurais, distribuídos em cada lado da fileira de pés de café, colhem os frutos, tentando tirar somente dos ramos somente os frutos maduros. Com o cesto cheio, o operário desengancha a segunda boca e o material colhido cai sobre um lençol colocado sob a saia das plantas.<sup>6</sup>

O café colhido é submetido à abanação, com peneiras comuns ou com abanadores mecânicos, que o separa das folhas e detritos diversos; em seguida, é colocado em sacos e transportado para a sede da fazenda, a fim de ser preparado por *via seca* ou por *via úmida*. No primeiro caso, o separador mecânico se incumbem de eliminar a terra e os fragmentos diversos, classificando ainda o café pelo peso, em *cereja* (maduro), *bóia* (seco) e frutos mal granados. Em seguida, o café é espalhado no terreiro, em camadas de uns 8 cm, a fim de sofrer a secagem. Durante esta operação, o café é revolvido várias vezes por dia. A medida que vai secando, a camada vai engrossando; da meia seca em diante, o café permanece em montes cobertos com encerados, durante a noite. Nos dias que se seguem, os montes são desfeitos em camadas grossas, que serão mexidas para se aquecerem ao Sol, voltando depois a formar montes. Assim tratado, durante vários dias, o café seca e poderá ser transportado para as tulhas. A secagem pode ser feita com muito mais rapidez em secadores mecânicos.<sup>5,14</sup>

No tratamento por via úmida, o café, ao passar no tanque lavador, separa-se em duas partes: o *bóia*, de um lado, e os maduros e verdes, de outro; estes últimos são levados para o despulpador, que elimina as polpas das cerejas e separa os verdes.

Terminada essa operação, os grãos, sempre transportados pela água, se depositam nos tanques de fermentação, onde permanecem de 1 a 2 dias; findo este tempo, o café é lavado no próprio tanque de fermentação, para melhor perder o resto da mucilagem. Assim, o café *casquinha* fica em condições de sofrer a secagem em terreiros ou em secadores mecânicos.<sup>5,14</sup>

## 2.2. O café e o Brasil

### 2.2.1. Histórico

O cafeeiro foi introduzido no Brasil, trazido de Caiena, na Guiana Francesa, em 1727, pelo sargento-mor Francisco de Melo Palheta. Do Pará, a cultura passou pelo Maranhão e, por volta de 1760, foi trazida para o Rio de Janeiro por João Alberto Castelo Branco, onde se espalhou pela Baixada Fluminense e posteriormente pelo Vale do Paraíba.<sup>5,15</sup>

O surto e o incremento da produção do café foram favorecidos por uma série de fatores existentes à época da Independência. As culturas do açúcar e do algodão estavam em crise, batidas no mercado internacional pela produção das Antilhas e dos EUA; por isso, os fazendeiros precisavam encontrar outro produto de fácil colocação no mercado internacional. Além disso, a decadência da mineração liberou mão-de-obra e recursos financeiros na Região Centro-Sul (Minas Gerais e Rio de Janeiro, principalmente), que podiam ser aplicados em atividades mais lucrativas. No âmbito internacional, a produção brasileira foi favorecida pelo colapso dos cafezais de Java (devido à uma praga) e do Haiti (devido aos levantes de escravos e à revolução que tornou o país independente). Outros fatores decisivos foram a estabilização do comércio internacional, depois das guerras napoleônicas (Tratado de Versalhes, 1815), e a expansão das demandas européia e americana por uma bebida barata.<sup>10,15</sup>

A importância econômica do café refletiu-se na sua expansão geográfica. No início, difundiu-se pelo Vale do Paraíba (Rio de Janeiro e São Paulo), Sul de Minas e Espírito Santo. Depois, atingiu Campinas, no “Oeste Velho” de São Paulo; dali, expandiu-se para o chamado “Oeste Novo” (Ribeirão Preto e Araraquara) e passou mais tarde, para as regiões de solo roxo do Norte do Paraná e Mato Grosso. Hoje, as áreas de cultivo localizam-se nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Espírito Santo e Bahia. Após a grande geada de 1975, houve um deslocamento das principais zonas produtoras do norte do Paraná para as áreas de clima mais favorável, como o sul de Minas Gerais e o interior capixaba.<sup>5,15</sup>

A exportação brasileira do café começou a crescer a partir de 1816. Entre 1830 e 1840, o produto assumiu a liderança das exportações do país, com mais de 40% do total; o Brasil tornou-se, em 1840, o maior produtor mundial de café. Entre 1870 e 1880, o café passou a representar até 56% do valor das exportações.



Começou então o período áureo do chamado *ciclo do café*, que durou até 1930; no final do século XIX, o café representava 65% do valor das exportações do país, chegando a 70% na década de 1920.<sup>10,15</sup>

Contudo, o *crack* da bolsa de Nova York, em 1929, fez despencar o preço internacional do café, que, em 1930, caiu para pouco mais da metade de seu valor em 1928 e, em 1931, para 40%, permanecendo nesses níveis durante muitos anos. Só em 1947 é que os preços voltaram aos níveis de 1928.<sup>10,15</sup>

Essa situação agravou a crise de superprodução do café, cujos primeiros sinais apareceram no início do século XX. A produção brasileira atingiu então 20 milhões de sacas de 60 kg, entre 1906 e 1907, e a exportação foi de 130 milhões de sacas entre 1901 e 1910. Contudo, os preços caíram (de 252 libras-ouro a saca, entre 1891 e 1900, para 187 libras-ouro no decênio seguinte), fazendo minguar as receitas obtidas com a exportação do café (de 4,6 milhões de contos de réis, entre 1891 e 1900, para 4,1 milhões no decênio seguinte). Para enfrentar essa crise, os governadores dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro reuniram-se em fevereiro de 1906 no chamado convênio de Taubaté, que definiu para a valorização do produto: os governos estaduais comprometeram-se a comprar toda a produção e a usar os estoques como instrumento para impedir quedas e oscilações no preço do produto, além de proibir novos plantios.<sup>10,15</sup>

O convênio de Taubaté representou a primeira intervenção oficial em defesa do café. Nos anos seguintes, o governo federal também tomou iniciativas neste sentido. As primeiras intervenções ocorreram nos governos Epitácio Pessoa (1919-1922) e Artur Bernardes (1922-1926), tornando-se depois uma política de valorização permanente do produto. Foi só depois de 1930, contudo, que foram criados organismos estatais federais para o setor. Naquele ano, surgiu o Conselho Nacional do Café, substituído em 1933 pelo Departamento Nacional do Café (ativo até 1946). Nesse período, a ação do governo visava expandir as exportações, erradicar cafezais e eliminar os excessos de produção, que eram comprados e, se necessário, destruídos, para manter os preços: entre 1931 e 1940, foram queimados 71 milhões de sacas, suficientes para atender o consumo mundial de três anos.<sup>10,15</sup>

A partir de 1946, ano de extinção do Departamento Nacional do Café, o governo eximiu-se de intervir no mercado. Contudo, nova crise levou à criação, em 1952, do Instituto Brasileiro do Café, para restabelecer o controle sobre sua produção. Mais tarde, após a crise de superprodução mundial de 1957, os países produtores e os grandes consumidores criaram o Acordo Internacional do Café (1962), que estabeleceu quotas de exportação para os países membros.<sup>10,15</sup>

O ciclo do café teve repercussões econômicas e sociais importantes no Brasil. A expansão da lavoura levou à ampliação das linhas férreas, principalmente em São Paulo; os portos do Rio de Janeiro e Santos foram modernizados para sua

exportação; a necessidade de mão-de-obra trouxe imigrantes europeus, principalmente depois da libertação dos escravos; o café foi o primeiro produto de exportação controlado principalmente por brasileiros, possibilitando o acúmulo de capitais no país. Em consequência, criou-se um mercado interno importante, principalmente no Centro-Sul, que foi o suporte para um desenvolvimento sem precedentes das atividades industriais, comerciais e financeiras. O café, sobretudo, consolidou a hegemonia política e econômica do Centro-Sul, transformando-o na região brasileira onde o desenvolvimento capitalista foi pioneiro e mais acentuado.<sup>10,15</sup>

### 2.2.2. Situação atual

Desde os anos 50, a importância do café para a economia brasileira tem decrescido sensivelmente. A participação do café nas exportações do país diminuiu; em meados dos anos 70, o valor das exportações de manufaturados ultrapassou o do café, que, desde o início dos anos 80, responde por cerca de 10% do valor total das exportações brasileiras. Apesar disto, o café é ainda um dos principais produtos isolados exportados pelo país. Em 1986, suas vendas ao exterior renderam 2,3 bilhões de dólares.<sup>15</sup>

Atualmente, o Brasil ainda é o maior produtor mundial; um terço dos 98,6 milhões de sacas produzidas na safra 1985-1986 foi brasileiro (33 milhões de sacas), seguido de longe pela Colômbia (com 12,5 milhões de sacas).<sup>15</sup>

São Paulo, que foi o maior produtor nacional desde o último terço do século passado, perdeu a primazia para o Paraná, no final dos anos 50, mas sua produção ainda era significativa: em 1966-1967, por exemplo, a metade de todos os cafeeiros do país estava plantada nesses dois Estados. Vinte anos depois, em 1986-1987, era o Estado de Minas Gerais que tinha o maior número de cafeeiros, seguido, por São Paulo, Espírito Santo, Paraná e Bahia. Naquele ano havia 3,5 bilhões de pés de café no país. Os maiores produtores brasileiros foram Minas Gerais (10,9 milhões de sacas), Espírito Santo (8,1 milhões), Paraná (4,9 milhões) e São Paulo (4,4 milhões).<sup>15</sup>

Entretanto, a posição brasileira de líder produtor isolado vem enfrentando desgastes nas últimas duas décadas, devido à ação das demais nações produtoras de café, em especial a Colômbia.<sup>15</sup>

A cafeicultura colombiana, através de uma forte política nacional de melhoria qualitativa do grão exportado e otimização da colheita, obtida com a uniformização dos cafezais a partir de espécimes de tamanho adequado à facilitar a operação da captação do fruto, alta produtividade e melhor qualidade, operando com baixo custo de mão de obra e com uma agressiva e intensa campanha publicitária no exterior, tem conseguido excelente desempenho nas exportações, aumentando significativamente sua parcela no total produzido mundialmente. O café colombiano é hoje sinônimo de

um café de alta qualidade, com aroma e sabor marcante, independente de sua origem interna.<sup>15</sup>

## 2.3. Máquinas agrícolas

### 2.3.1. Desenvolvimento

A produção de alimentos tem sido, ao longo dos tempos, a preocupação básica da humanidade. Para realizar essa tarefa, inicialmente o homem empregou a energia de seus próprios músculos. Depois, passou a utilizar-se dos animais que domesticara. Ao chegar ao limiar da Era da Máquina, descobre mecanismos capazes de converter a energia dos ventos e das quedas d'água em trabalho útil.<sup>10,15</sup>

No século XIII, quando a primeira revolução agrícola se completou, a Europa já era a região mais avançada no emprego de energias naturais na agricultura. Graças a determinados tipos de arados, foi a única região que conseguiu uma limpeza completa do solo, livrando-se das ervas daninhas ou invasoras e do mato rasteiro. Uma segunda onda de inovações aparece no início do século XVIII com o semeador mecânico, o abanador de cereais e as primeiras culturas de forrageiras integradas ao preparo do solo. A primeira debulhadora mecânica foi construída em 1786. Na América do Norte, desenvolveu-se a máquina colhedora.<sup>10,15</sup>

A década de 1840-1850 foi o marco do aparecimento da agricultura moderna. É o início de uma longa série de inovações, a saber:<sup>10,15</sup>

- Inovações mecânicas, modificando a qualidade e interferindo na rapidez do trabalho (foi necessário esperar a generalização dos pneumáticos, por volta de 1935, para que o motor a explosão pudesse substituir os animais em todas as suas utilizações);
- Inovações biofísicas, agindo em aspectos relacionados à qualidade e conservação dos produtos (pasteurização, congelamento, secagem e silagem);
- Inovações bioquímicas (fertilização, pesticidas) e biológicas (melhoramento genético), aumentando a produtividade.

Pode-se estimar que, em dois séculos, a produtividade do trabalho agrícola multiplicou-se cinquenta vezes, e a do solo, dez vezes. As máquinas agrícolas primitivas, dotadas de motores a vapor, eram essencialmente substitutas dos eqüinos, muars e bovinos, então empregados nos trabalhos agrícolas. A força motivadora da construção dessas máquinas foi, principalmente, as duas deficiências básicas dos animais domésticos como fonte de potência para fins agrícolas: a baixa capacidade em desenvolver esforço tratório e a natural inadequação para fornecer potência em movimento de rotação. Por esta razão, as máquinas a vapor eram utilizadas, quase

que exclusivamente, na tração de máquinas de preparo do solo e no acionamento, através de polias e correias, de debulhadoras de cereais.<sup>10,15</sup>

A evolução das máquinas agrícolas e a propagação de seu uso, tornando-as acessíveis à maioria dos agricultores, tiveram como causas principais:<sup>15</sup>

- A necessidade do aumento da capacidade de trabalho do homem do campo, face à crescente escassez de mão-de-obra rural;
- A migração das populações rurais para as zonas urbanas, devido ao processo de desenvolvimento econômico.

Como consequência, a mecanização agrícola tem provocado modificações profundas nos métodos de trabalho agrícola, notadamente nos seguintes aspectos:<sup>15</sup>

- Redução sensível da necessidade de tração animal e de trabalho manual e, por conseguinte, diminuição do mercado de trabalho rural, para mão-de-obra não qualificada.
- Crescente exigência do emprego de tecnologia avançada, notadamente das técnicas de descompactação e conservação dos solos, de aplicação de fertilizantes e defensivos, da utilização de sementes selecionadas e de conservação e armazenamento dos produtos estocados.
- Organização e racionalização do trabalho, através de planejamento agrícola e controle econômico-financeiro, dando às atividades de produção rural um caráter tipicamente empresarial.

Nas regiões onde os fatores de produção “solo” e “mão-de-obra” vão se tornando cada vez mais escassos, verifica-se uma crescente preocupação em introduzir inovações tecnológicas nos sistemas de produção visando manter em níveis satisfatórios o desempenho econômico da empresa rural.<sup>10,15</sup>

### 2.3.2. Máquinas agrícolas e as culturas de pequenos frutos

A colheita mecânica de frutas e hortaliças se encontra na atualidade em diferentes níveis de realização, segundo os diferentes tipos de cultivo e, ainda dentro de cada um destes, segundo o destino final do produto, se este será enviado à indústria para transformações ou se irá ser consumido “in natura”.<sup>10,11</sup>

O alto ou baixo nível de mecanização de um cultivo tem dependido da mão de obra existente na zona rural em questão e das possibilidades de consegui-la nos períodos de maior necessidade, na condição de mão de obra eventual. A redução da população agrária nos países mais desenvolvidos indica que em futuro próximo todo produto agrícola, cuja colheita não possa ser mecanizada, tenderá a desaparecer da lista do consumidor por não poder competir economicamente com aqueles frutos e hortaliças colhidos mecanicamente.<sup>10,11</sup>

A colheita mecânica, tanto de frutas como de hortaliças, tem experimentado um grande avanço desde seu início na década de 1950 e muito especialmente a partir de 1975. Assim, a princípio, para a colheita da fruta se pensou e projetou-se pequenos elementos de ajuda ao operário, tais como sacos especiais de colheita e plataformas móveis de colheita (Figuras 2 e 3). Estas atuam basicamente no sentido de proporcionar o acesso rápido do operário à qualquer parte da superfície da árvore, otimizando a operação; algumas plataformas possuem sistemas que transportam o fruto colhido até a base da estrutura, e colocam-no em caixas paletizadas. Este sistema de plataformas móveis se encontra normalmente associado à colheita de frutos destinados ao consumo "in natura", e só são justificáveis economicamente em alguns casos excepcionais, devido ao grande investimento necessário. Normalmente são capazes de incrementar em 30 a 40 por cento o trabalho de um operário, o que em algumas circunstâncias pode ser muito vantajoso. <sup>11</sup>

Para a colheita de frutas secas e de frutos destinados à industrialização estão sendo utilizados com grande êxito os vibradores e colhedoras totalmente automáticas. Estas são máquinas compostas por um vibrador multidirecional e lonas de recolhimento. Com este tipo de colhedoras se consegue o desprendimento do fruto e sua recolha em uma só operação utilizando-se de somente um ou dois operários. <sup>11</sup>

Para a colheita de hortaliças, os problemas são de natureza muito diferente, de uma cultura para outra e, por conseguinte, os tipos de colhedoras empregadas. Alguns dos cultivos se acham em um período muito incipiente de mecanização e outros, ao contrário, tem solucionado todas as questões envolvidas pelo processo. É interessante destacar a introdução recente da seleção eletrônica por cor e sua aplicação em produtos como o tomate, cebola, etc. <sup>11</sup>

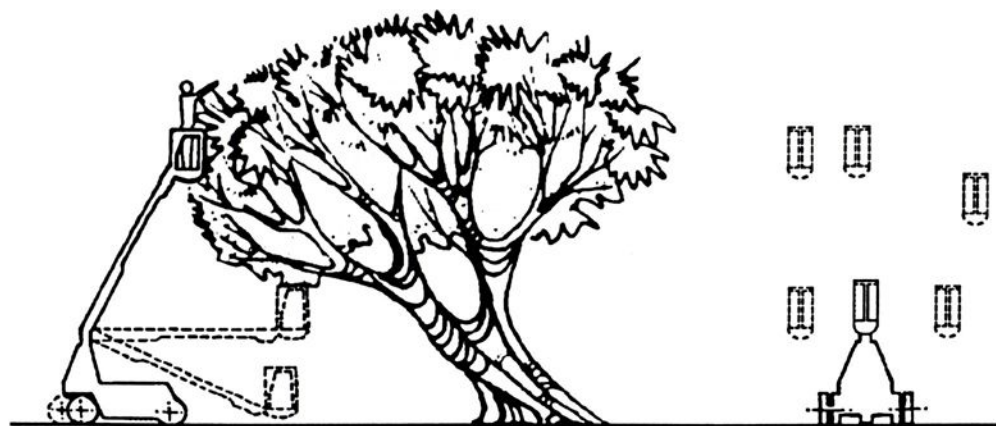


FIGURA 2 - Plataforma individual de colheita de frutas e poda.

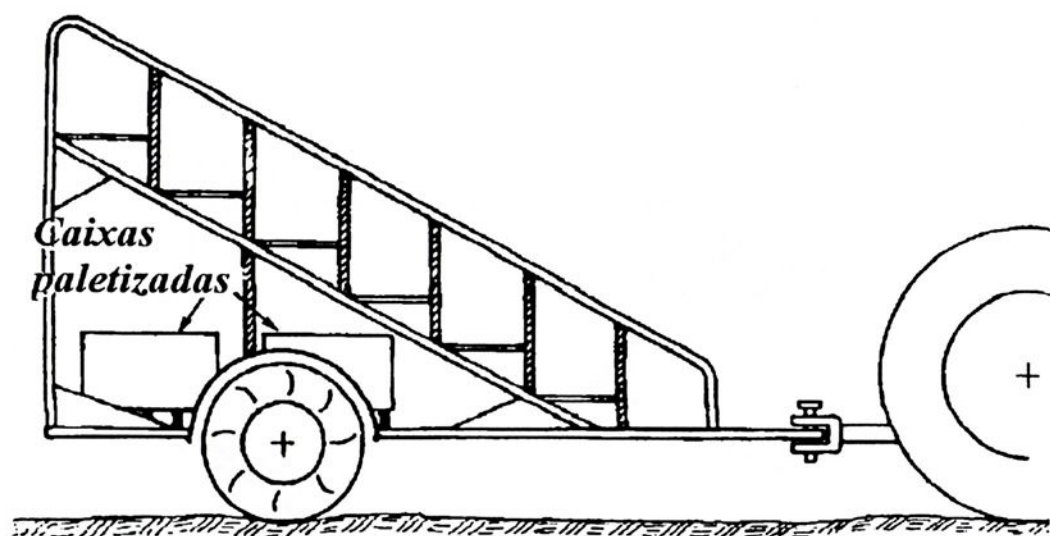


FIGURA 3 - Plataforma múltipla para colheita de frutas com caixas paletizadas.

#### 2.4. Colheita mecanizada de pequenos frutos

Uma vez conhecidas as plataformas de colheita como uma ajuda na colheita manual, o único método utilizado economicamente até hoje na colheita mecânica integral de frutos é o método vibratório, utilizado inclusive nos atuais projetos de máquinas colhedoras de café. O estudo profundo deste método não faz parte dos objetivos deste trabalho, porém é possível tirar algumas conclusões a respeito dos parâmetros envolvidos neste tipo de projeto.<sup>11</sup>

O elemento fundamental deste método é o vibrador, que é uma máquina de grande capacidade de trabalho, a qual, mediante sacudir violentamente o caule ou os ramos da planta, provoca a queda do fruto. Os vibradores podem ser classificados segundo o modo de gerar a vibração, tal como indicado na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos tipos de vibradores em colhedoras<sup>11</sup>

a) Vibradores de deslocamento fixo:	a.1) de barra a.2) de cabo
b) Vibradores de inércia:	b.1) de biela-manivela b.2) de massas excêntricas
c) Vibradores de impacto	c.1) acionamento hidráulico c.2) acionamento pneumático
d) Vibradores contínuos	d.1) mediante vibradores de impacto d.2) mediante corrente de ar d.3) mediante elementos móveis

Os vibradores de deslocamento fixo são muito pouco utilizados atualmente e só se empregam em algum caso especial, como para a colheita de pinhões mediante vibradores por cabo; neste tipo, o ramo é obrigado a mover-se em uma direção e se recupera por sua própria elasticidade. Os vibradores de barra praticamente não são empregados mais, devido à transmitirem grande parte da vibração para a própria máquina, desperdiçando energia e danificando-a (ver a figura 4).<sup>11</sup>

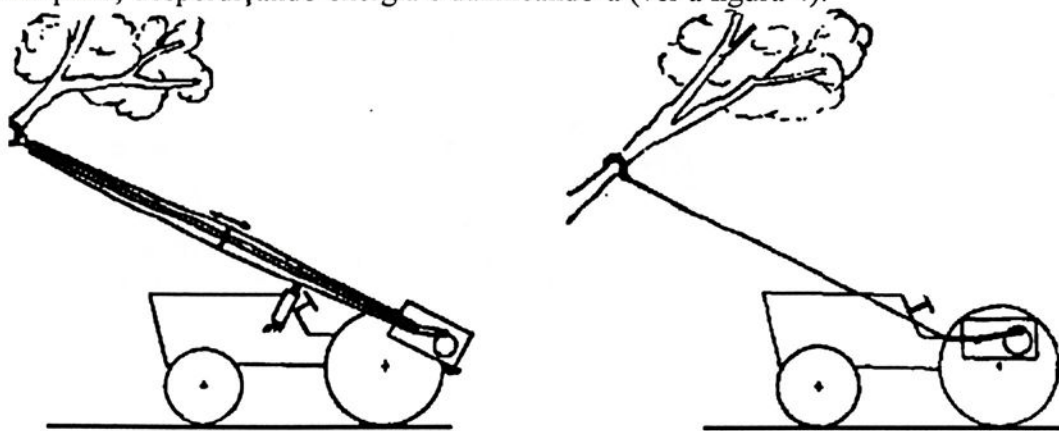


FIGURA 4 - Vibrador de deslocamento fixo por barra (à esquerda) e por cabo.

Os vibradores por inércia são os mais utilizados atualmente, e desta classe, os vibradores de massas excêntricas. O vibrador é conectado, por meio de amortecedores, à máquina que o aciona e suporta. Um sistema biela-manivela movimenta as massas excêntricas, e produz movimento unicamente em uma direção. Geralmente é um vibrador de ramos, com uma velocidade de giro entre 400 e 1200 rpm.<sup>11</sup>

Os vibradores de massas excêntricas (ver figura 5) produzem a vibração por meio da rotação de duas massas excêntricas, em diferentes velocidades e sentidos contrários, produzindo desta forma uma vibração multidirecional. A velocidade de cada massa pode ser regulada, de modo que se conseguem vibrações em diferentes direções, adequando a máquina segundo o tipo de árvore e fruto a ser colhido. Estes vibradores são geralmente vibradores de tronco, e a velocidade de giro das massas normalmente oscilam entre 1200 e 2400 rpm. O movimento das massas se realiza mediante um ou dois motores hidráulicos e transmissão por correia, que fazem com que as duas massas girem em sentido contrário e velocidades diferentes uma da outra; a operação de agarre à árvore se realiza mediante uma garra provida de placas de borracha para que se evite danos à casca da planta. Uma adequada vibração, para cada tipo de árvore e fruto a ser colhido, deve ser estudada com a finalidade de derrubar o máximo de frutos em um mínimo de tempo sem produzir danos à planta. O gráfico na figura 6 mostra uma zona de operação ótima para o caso de oliveiras, com

um desprendimento alto e sem chegar a produzir danos. É importante observar que a vibração deve ser intermitente e não deve passar de dez segundos em cada aplicação.<sup>11</sup>

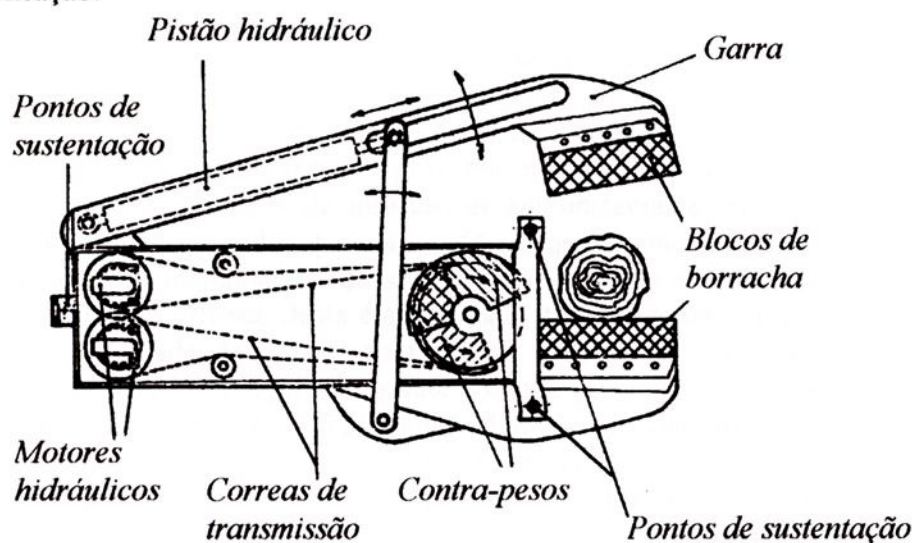


FIGURA 5 - Esquema de vibrador de massas excêntricas e de contato lateral.

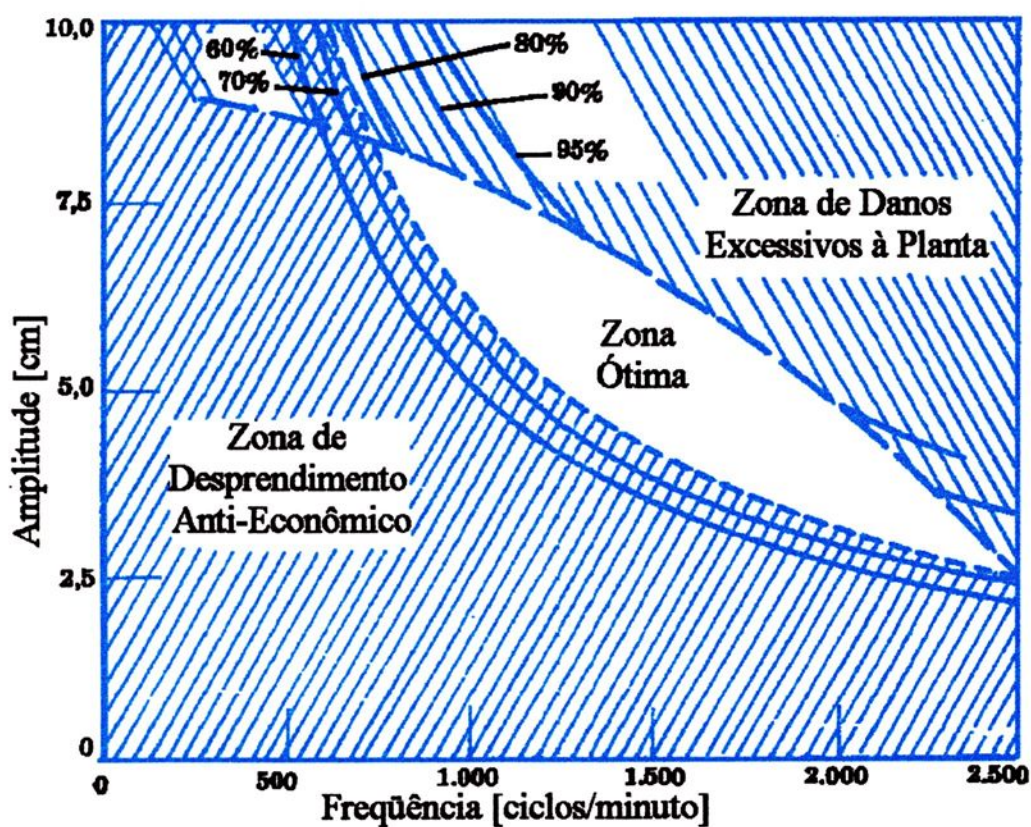


FIGURA 6 - Zona de atuação ótima de um vibrador de inércia em uma oliveira. Números em porcentagem indicam taxa de desprendimento de frutos.

Os vibradores de impacto foram os primeiros a serem empregados para o desprendimento de frutos secos mediante choque, no tronco ou ramos. Consistem basicamente de um sistema de garras acolchoadas por borracha, que transmitem à planta o impacto de um pistão acionado pneumática ou hidráulicamente. Atualmente só se usa este sistema para árvores de grandes dimensões.<sup>11</sup>

Os vibradores contínuos se diferenciam dos demais, no sentido de que não transmitem esforços ao tronco e possuem movimento contínuo ao longo do terreno. Os vibradores contínuos de impacto atuam unicamente em terrenos e plantações especialmente preparados para seu uso, o que implica em um elevado custo de implantação. A máquina avança sobre a fila de árvores e o vibrador atua lateralmente sobre a planta. O tronco desta é aprisionado por braços de borracha que, por terem a mesma velocidade de avanço da máquina, porém em sentido contrário, imprimem velocidade zero sobre a planta durante o contato da máquina com esta, o que faz com que o tronco e raízes não sofram danos advindos dos vibradores. Estes vibradores por sua vez podem ser constituídos de um sistemas de varas que incidem sobre a parte aérea da planta, provocando o desprendimento dos frutos, ou também podem ser constituídos por grandes ventiladores que impulsionam ar à grandes velocidades na lateral dos ramos. Estes vibradores contínuos por corrente de ar se encontram hoje empregados na colheita de cítricos.

A tabela 2 apresenta de forma resumida as vantagens e inconvenientes dos sistemas relatados acima.



Tabela 2 - Vantagens e inconvenientes dos sistemas vibratórios utilizados em colhedoras. <sup>11</sup>

	SISTEMAS	VANTAGENS	INCONVENIENTES
1.	Ciclones de corrente de ar contínua	Rapidez; facilidade de operação	Grande potência requerida; baixa porcentagem de desprendimento; frutos lançados à distância da planta
2.	Ciclones de corrente de ar intermitente	Rapidez; facilidade de operação; porcentagem de desprendimento alta	Grande potência requerida; danos aos pequenos ramos
3.	Vibrador de contato (por varas)	Elevada porcentagem de desprendimento	Lentidão; dificuldade de operação; danos aos frutos e ramos
4.	Vibrador de deslocamento fixo	Facilidade de fabricação e de montagem em um veículo	Dificuldade de operação; danos à planta; possível dano ao trator; forças que atuam em uma única direção
5.	Vibrador de inércia	Pouca potência requerida; pode-se gerar forças em múltiplas direções	Necessita-se de um sistema de suporte especial para o vibrador; dificuldades no engate do vibrador com a planta; possibilidade de danos à planta
6.	Vibradores de impacto	Simplicidade; pouco peso	Lentidão; dificuldade de operação; danos aos ramos
a.	Vibrador de ramos	Alta porcentagem de desprendimento, inclusive em árvores de grande porte; pequena potência requerida; possibilidade de que se desprendam frutos de ramos em pêndulo	Lentidão; danos à raiz e ramos; necessidade de poda orientada; dificuldade de operação; danos aos frutos que golpeiam contra o vibrador
b.	Vibrador de tronco	Rapidez; poda não necessária (evitar ramos em pêndulo); danos reduzidos; facilidade de operação	Necessidade de que a vibração seja multidirecional; preço elevado
c.	Vibrador contínuo	Grande rapidez; facilidade de operação; poucos danos	Não estão muito testados; necessitam poda especial; necessitam que as fileiras de plantas estejam em uma disposição apropriada; dimensões elevadas; preço elevado

Uma vez despreendida a fruta do ramo, é necessário que se evite o seu choque com outros ramos e frutos, e que se dispersem ou se contaminem. Normalmente, a fruta deve cair sobre algum sistema acolchoado, de malhas ou lona; deste sistema são recolhidas automaticamente e colocadas em recipientes apropriados, tais como caixas paletizadas, caixotes comuns, sacos simples, etc.<sup>11</sup>

Entre os muitos sistemas associados à colheita de frutos por vibração, sobressaem-se como os mais empregados os seguintes sistemas:<sup>11</sup>

- Reboque recolhedor independente da máquina vibratória (Figura 7)
- Plataformas duplas de recolhimento (Figura 8)
- Vibrador e recolhedor ao nível do solo (Figura 9)
- Guarda-sol invertido (Figura 10)

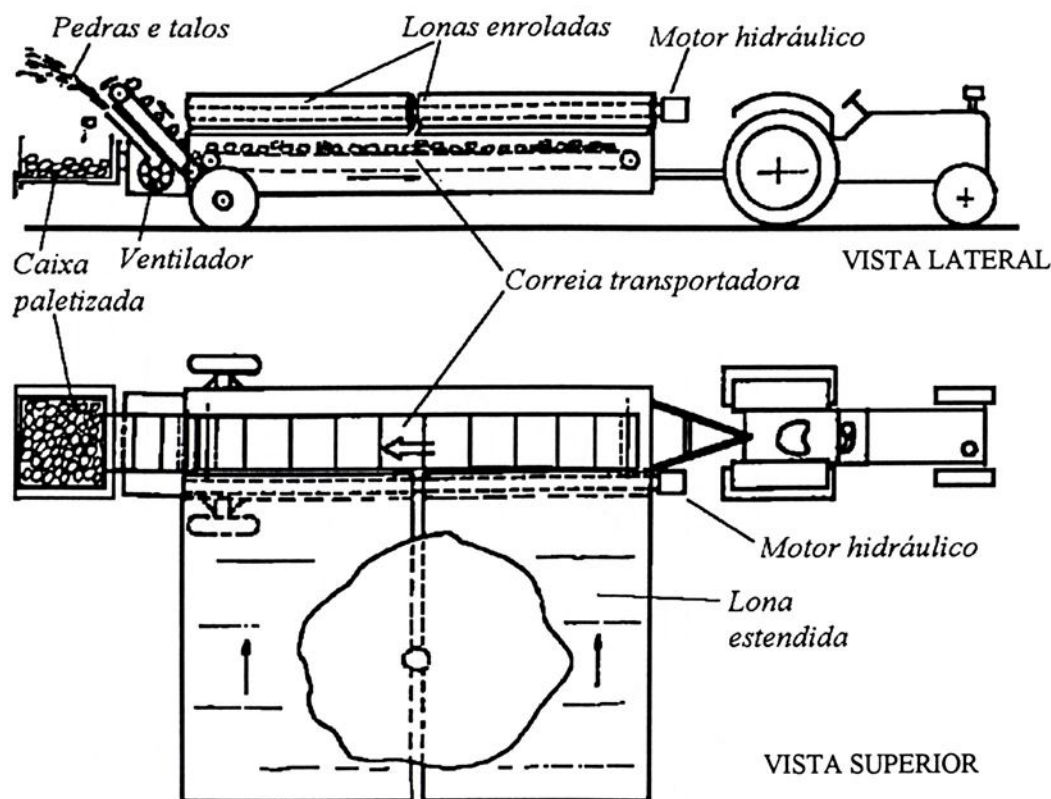


FIGURA 7 - Reboque para colheita de frutos com sistema de recepção, transporte e acondicionamento em caixas paletizadas.

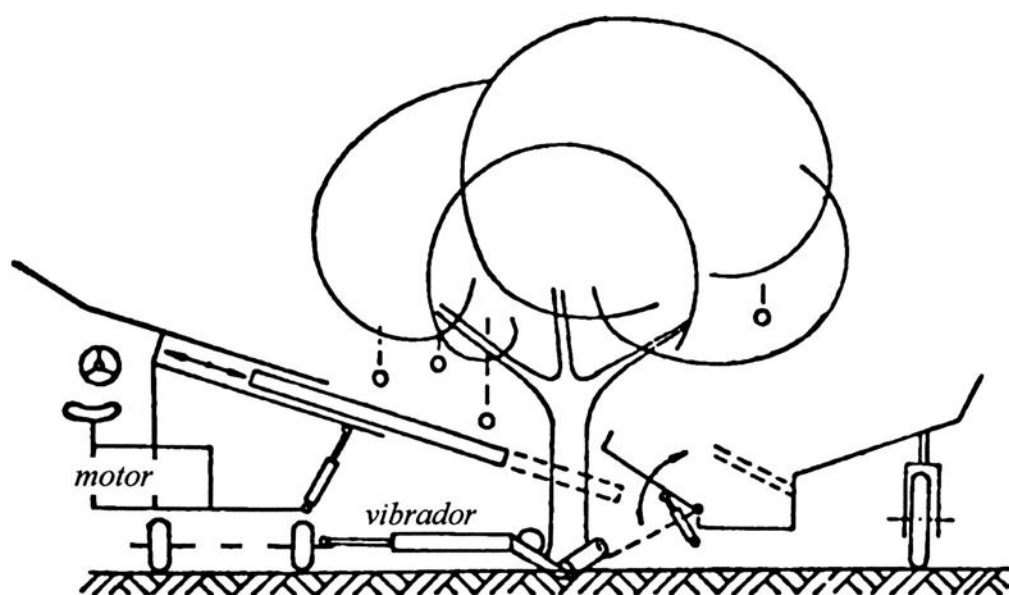


FIGURA 8 - Esquema de colhedora de frutas formada por duas plataformas independentes.

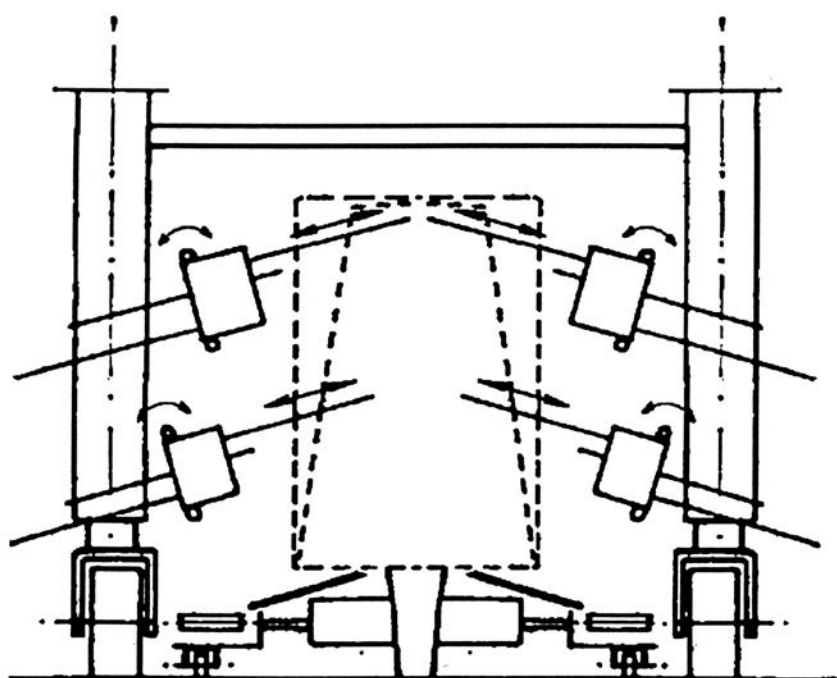


FIGURA 9 - Vibrador e recolhedor ao nível do solo.

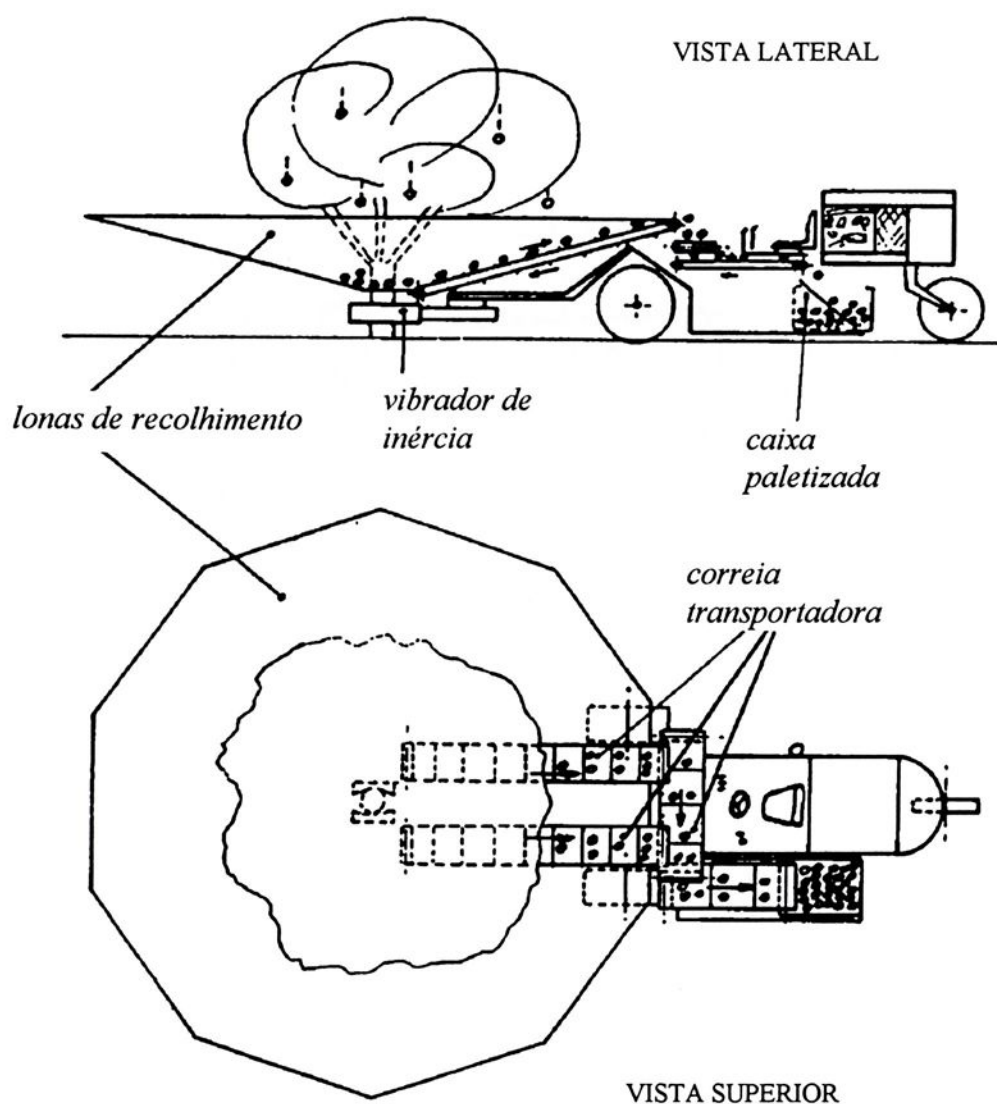


FIGURA 10 - Esquema de colhedora tipo guarda-sol invertido.

A capacidade teórica destas máquinas é de 50 a 60 árvores por hora. Para que não se produzam danos aos frutos é conveniente que: <sup>11</sup>

- As lonas (ou equipamento similar) utilizadas sejam acolchoadas
- Os frutos caem sobre a lona e não sobre outros frutos, para o que deverá existir um sistema de recolhimento rápido dos frutos caídos
- Os frutos, em sua queda, não encontrem nenhum ramo nem obstáculo que os danifiquem.

Para evitar este último problema tem-se projetado sistemas especiais de poda (poda em forma de T, poda em mariposa, etc), máquinas especializadas nestes tipos de podas (figuras 11 e 12), elementos desaceleradores dos frutos (varetas pneumáticas introduzidas na copa da árvore, plataformas de recolhimento escalonadas), etc.<sup>11</sup>

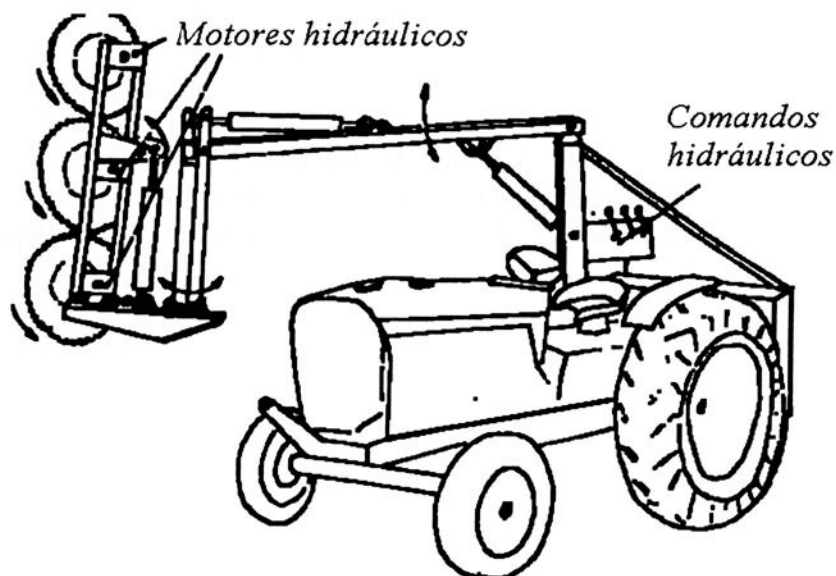


FIGURA 11 - Podadora de discos.

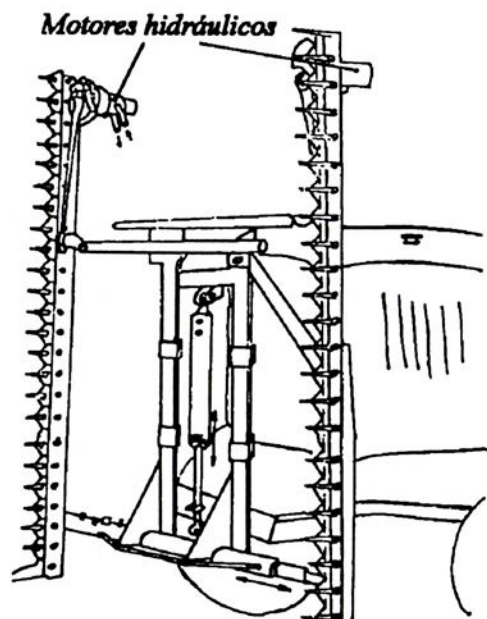


FIGURA 12 - Podadora de barra de corte.

## 2.5. Colheita mecanizada de café

### 2.5.1. Desenvolvimento

A primeira tentativa para se mecanizar a colheita do café surgiu no Haváí (USA), em 1966, onde vários equipamentos foram desenvolvidos para a execução das operações de derriça e recolhimento.

No Brasil, desde 1975 alguns pesquisadores e industriais tem procurado introduzir na cafeicultura alguns equipamentos de diversos tipos, desde artefatos portáteis até complexos sistemas automotivos. O desenvolvimento e aperfeiçoamento destes equipamentos indicaram que a cultura cafeeira, sob certas condições, poderia atingir até 100% de mecanização.<sup>3</sup>

### 2.5.2. Sistemas de colheita mecanizada de café

#### 2.5.2.1. Descrição dos sistemas empregados

Os principais sistemas hoje operacionais ou em estágio final de desenvolvimento são os abaixo relacionados. Tecnicamente, somente os dois últimos desta lista podem ser considerados como capazes de realizar a operação de colher o fruto. Os demais sistemas são também citados por automatizarem parcialmente ou totalmente algumas das atividades referentes à colheita.<sup>6</sup>

1. Sistema Coan
2. Sistema Sugrão
3. Sistema Cocco
4. Sistema Jacto

1. O sistema Coan tem seu nome derivado do pesquisador que o criou, Professor Dr. Oswaldo Coan, do Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Campus de Jaboticabal, S.P. Até janeiro de 1991 este sistema não se encontrava ainda disponível no comércio, muito embora já se encontrasse plenamente desenvolvido. Não se trata de uma colhedora, e sim de uma abanadora mecânica rebocada. Ver figura 13. Após realizada a derriça manual dos frutos, estes são recolhidos em balaios, que por sua vez são levados à abanadora, alimentando-a. A máquina separa impurezas, tais como folhas, torrões e ramos, e envia os frutos limpos para a chamada bica de ensaque, onde um operário recebe os frutos e os ensaca. As impurezas são lançadas ao chão. A máquina, de aproximadamente 350 kg, 1,65 m de altura, 1,2 m de largura e 2,75 m de comprimento, desloca-se acoplada à barra de tração de um trator, e acionada pela tomada de potência deste. Trabalha entre duas fileiras de plantas e possui, basicamente:<sup>6</sup>

- um depósito de alimentação com capacidade de 0,06 m<sup>3</sup>, provida de comporta para controle da vazão, que recebe o material derriçado;

- uma caixa de peneiras, composta de duas peneiras de furos elípticos, intercambiáveis, para execução da limpeza prévia através de peneiração e transporte;
- caixa de terra, provida de um condutor lateral, para a eliminação das impurezas pequenas e pesadas;
- sistema vibratório, formado por um mancal de excentricidade variável (0-25 mm), que aciona as caixas de peneiras e de terra;
- ventilador radial de dupla entrada, operando com velocidade de fluxo de até 12 m/s;
- plataforma de ensaque, provida de transportador helicoidal, onde os frutos limpos são ensacados por um operário
- sistema de acionamento por meio de eixo de tomada de potência (540 rpm) através de eixo cardã e caixa de transmissão;
- sistema de locomoção sobre rodas com pneus.

O fato deste sistema não realizar a colheita propriamente dita, ou seja, a derriça dos frutos, não implica que sua utilização não ajude a reduzir a dependência do cafeicultor com relação à mão de obra volante. O tempo gasto nas operações de colheita do café estão divididos em 60 a 70% na derriça, 20 a 30% no ato de rastelar e de 10 a 15% na abanação. Esta última operação, porém, é a que requer maior habilidade do trabalhador, além de ser uma operação de baixo rendimento, exigindo muito esforço físico do trabalhador.<sup>6</sup> Em testes realizados na safra de 1989 no município de Arandu - S.P., em conjunto com os demais sistemas acima citados, o sistema Coan demonstrou ser capaz de reduzir em até 25% a necessidade de mão-de-obra braçal e reduzir o custo do café colhido em 14%, na comparação deste sistema com a colheita totalmente manual, deixando para a operação de repasse aproximadamente 15% do total final de frutos colhidos.<sup>6</sup>

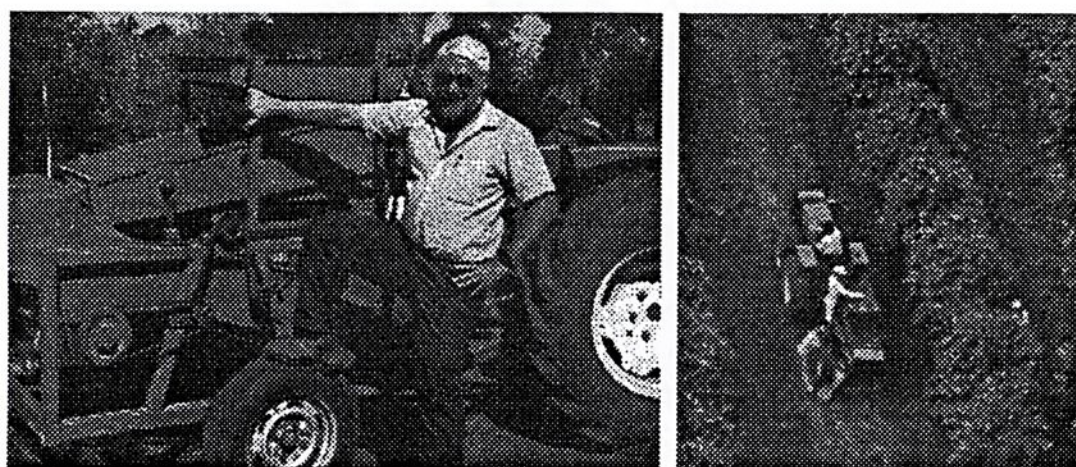


FIGURA 13 - Sistema Coan. À esquerda, Dr. Oswaldo Coan e a abanadora mecânica. À direita, a máquina em operação.<sup>6</sup>

2. O sistema Sугrão é tecnicamente uma recolhadora pneumática de café acoplada a uma abanadora automática. Fabricada pela APF Tecnologia, de Campinas, S.P., pesa aproximadamente 850 kg, possui 4,15 m de altura, 1,44 m de largura, 3,4 m de comprimento, e desloca-se acoplada à barra de tração de um trator que possa transmitir no mínimo 20 HP pela tomada de potência. Ver figura 14. Antes da máquina entrar em operação, os operários colocam lençóis por sob a saia dos cafeeiros, e fazem a derriça manual. O material caído no pano é levado nele mesmo, até pontos predefinidos junto às fileiras de plantas. Nesses pontos, o material é lançado ao chão, formando pequenos montes. Depois disto, os operários se retiram da rua e só então a máquina entra em operação. Na sua frente, um operário, com ajuda de uma bengala pneumática (ou tubo recolhedor), suga os montes de material para dentro da máquina, que faz a separação e a limpeza, levando os frutos limpos para a chamada bica de ensaque, e as impurezas, trituradas, para um depósito. A máquina é constituída basicamente de: <sup>6</sup>

- central pneumática de sucção, abanação e ensaque, que aspira o material derriçado manualmente, separa os frutos das impurezas e leva os frutos até a bica de embarque;
- bengala pneumática, manejada por um operário que anda na frente da máquina; a bengala é dotada de guidom, alças ergonômicas e sistema de desentupimento de bocal;
- tubo acoplador, que liga a central pneumática à tubulação flexível da bengala.

Comparando com a colheita manual, o sistema Sугrão proporciona uma redução de 31% na necessidade de mão-de-obra, porém uma redução de apenas 6% no custo total por sacco colhido, deixando para o repasse aproximadamente 20% do total final de frutos colhidos. <sup>6</sup>

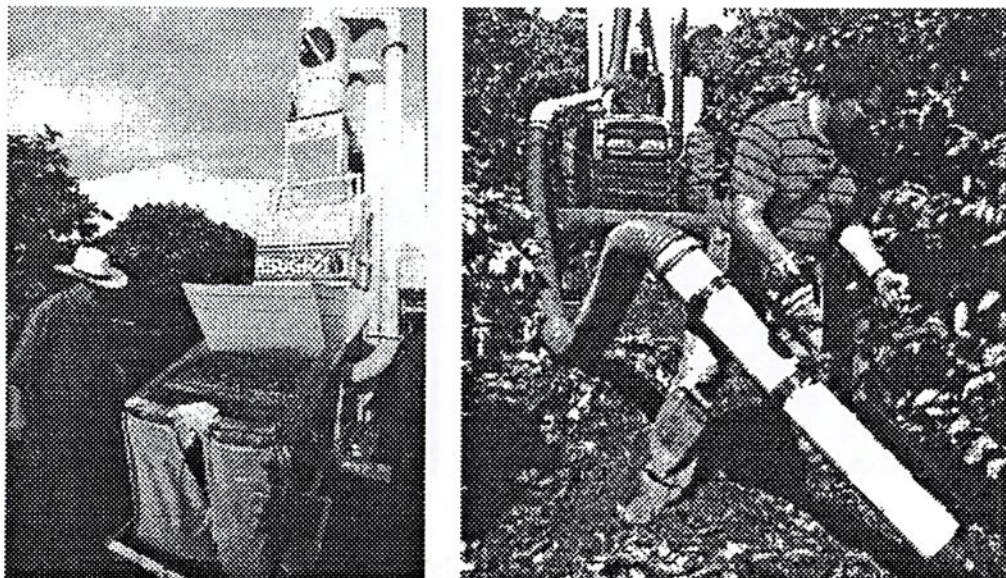


FIGURA 14 - Sistema Sугrão. À esquerda, vista do equipamento rebocado. À direita, bengala pneumática e operador.

3. O chamado sistema Cocco é composto pela derriçadora modelo CHTT Conquistador Duplex, produzida pela Fábrica de Máquinas Cocco, de Araraquara, S.P. A máquina tem 4,05 m de altura, 3,88 m de comprimento e 3,15 de largura (figura 15). Opera acoplada a um trator; enquanto o trator segue entre as fileiras, a derriçadora movimenta-se “a cavaleiro” nas linhas de cafeeiros; os pés de café passam por dentro da máquina a medida que esta se desloca. Uma bomba de óleo, acionada pelo eixo do virabrequim do motor do trator, movimenta seu mecanismo de derriça, composto de dois motores hidráulicos. Estes motores fazem vibrar dois eixos (cada um com 2,7 m de altura e 30 cm de diâmetro), perpendiculares ao solo e situados em uma estrutura em forma de pórtico. De cada eixo saem 702 bastões de fibra de vidro com 62 cm de comprimento cada um. Com a vibração, esses bastões derriçam os frutos, que caem junto com folhas e pedaços de galhos, sobre panos de 3,2 por 5,7 m, estendidos sob a saia das plantas em cada lado da linha de cafeeiros. Operários que seguem atrás da máquina transportam os panos cheios de material derriçado para pontos predeterminados do cafezal. Este material sofre primeiro uma separação manual das impurezas maiores, e posteriormente, a abanação manual nas peneiras. Então o café limpo é ensacado. Nas manobras de retorno, a máquina requer carreadouros de 4 metros.<sup>6</sup>

Comparando com a colheita manual, o sistema Cocco proporciona uma redução de 50% na necessidade de mão-de-obra, com uma redução de até 37% no custo total por saco colhido, deixando para o repasse aproximadamente 15% do total final de frutos colhidos.<sup>6</sup>

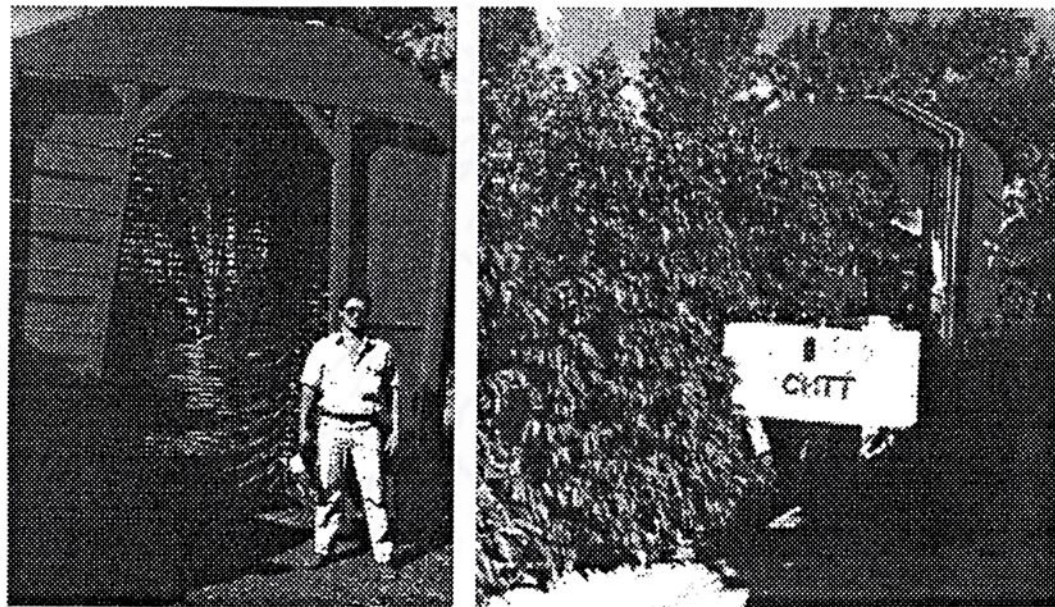


FIGURA 15 - Sistema Cocco. À esquerda, vista do equipamento. À direita, equipamento em operação, sendo rebocado.<sup>6</sup>

4. Sistema Jacto: A colhedora automotiva K-3 é fabricada em Pompéia, S.P., pela Máquinas Agrícolas Jacto. Autopropulsada, utiliza motor diesel de 61 HP. Tem altura variável entre 3,5 a 3,9 m, 3,1 m de largura por 5,8 m de comprimento, com peso de 7 toneladas, bitola única de 2,7 m e estrutura em forma de pórtico (figura 17). Na colheita a máquina opera a uma velocidade entre 8 e 16 metros por minuto (entre 0,48 e 0,96 km/h). A linha de cafeeiros passa por dentro da máquina, entre dois eixos com hastes que vibram a uma frequência entre 900 e 1000 ciclos por minuto (entre 15 a 17 hertz). Estas hastes derriçam os frutos, junto com folhas e pequenos ramos, que são coletados no piso inferior da máquina por lâminas retrateis que fecham os espaços sob as saias das plantas. Esteiras internas horizontais e verticais levam o material colhido até o sistema de limpeza, onde as impurezas são separadas por ventilação. Os frutos limpos seguem para a chamada bica de ensaque. A colhedora necessita de três pessoas para ser operada: uma no posto de comando e dois auxiliares seguindo atrás da máquina, responsáveis pelo ensaque dos frutos e a retirada dos sacos. Os sacos ficam no chão e depois são recolhidos. Este sistema é especialmente indicado para médias e grandes propriedades, de relevo suave, em regiões onde a mão-de-obra é escassa ou cara.<sup>6</sup>

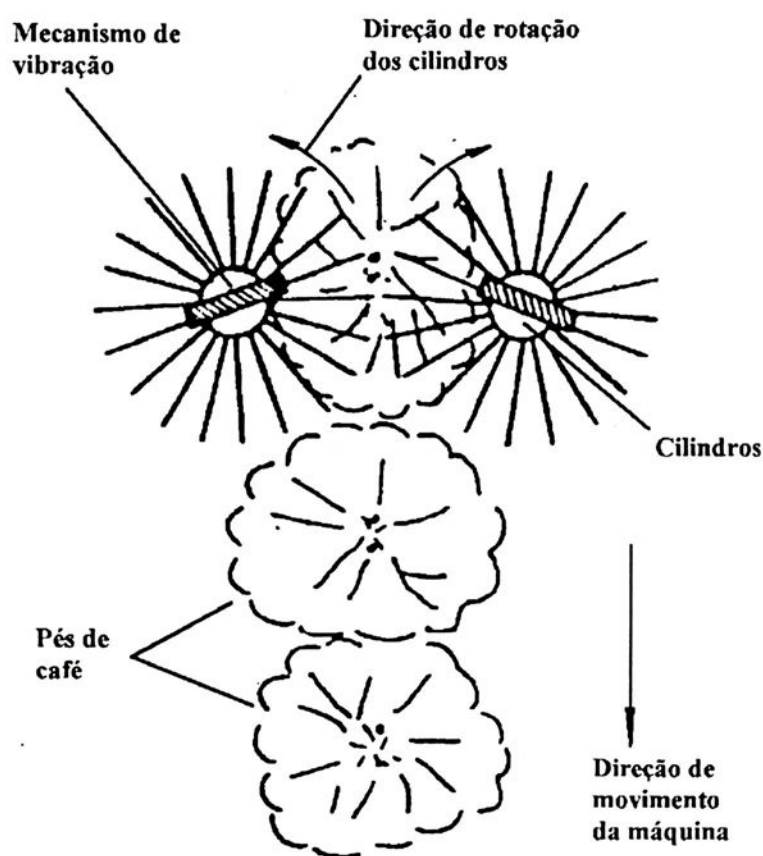


FIGURA 16 - Esquema do funcionamento do sistema de remoção do fruto, no sistema Jacto e Cocco.<sup>16</sup>

Comparado com a colheita manual, o sistema Jacto proporciona uma redução de 68% na necessidade de mão-de-obra, com uma redução de 20% no custo total por saco colhido, deixando para o repasse aproximadamente 18% do total final de frutos colhidos.<sup>6</sup>

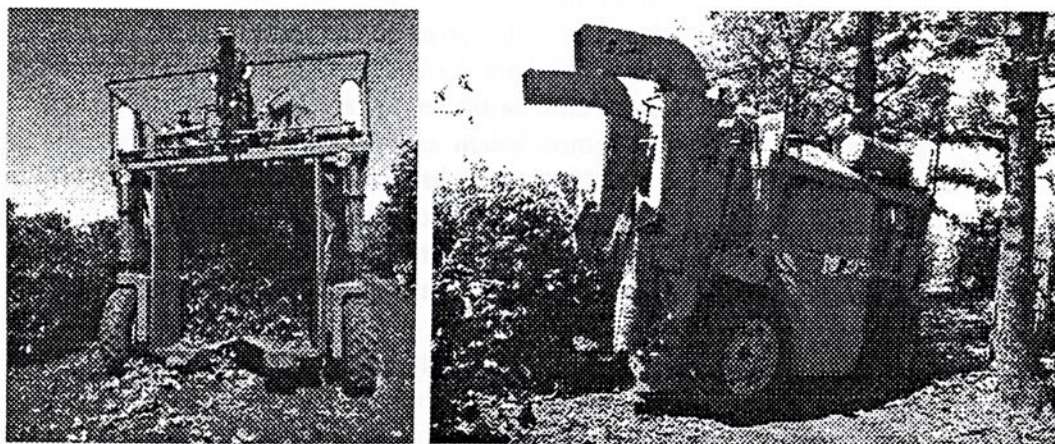


FIGURA 17 - Sistema Jacto. À esquerda, vista frontal do equipamento em operação. À direita, equipamento em manobras em um carreador.<sup>6</sup>

#### 2.5.2.2. Preparação da lavoura para a mecanização

Os sistemas de colheita mecanizada Jacto e Cocco exigem, para uma atuação econômica e eficiente, que o cafezal esteja plantado e instalado de modo adequado:<sup>6</sup>

- O terreno deverá ser plano. Os desníveis têm de ser suaves: de no máximo 10%, ou seja, aproximadamente 5,7 graus. Degraus de até 40 cm poderão ser vencidos com a utilização de rampas.
- As plantas devem formar um alinhamento cuidadoso, de modo que a máquina possa deslocar-se sem machucar um cafeeiro fora da fileira. Espaçamento recomendado entre fileiras: 4 m. Idem para carreadores e acessos.
- Ausência de obstáculos que possam impedir a livre movimentação da máquina nas linhas e carreadores.
- Ajuste dimensional da planta. Eliminação dos ramos abaixo de 40 cm de altura do solo. Podas devem limitar a altura da planta em 2,60 m.
- Tratos culturais adequados. Quanto mais saudável e enfolhada a planta estiver, menos danos ela sofrerá com a passagem da máquina.

Estas providências não são necessárias para a atuação dos sistemas Sugrão e Coan<sup>6</sup>.

### 2.5.2.3. Conseqüências danosas da atuação dos sistemas mecanizados

Ensaio realizados na região de Alta Floresta, no Mato Grosso, durante as safras de 1983 até 1987, visando avaliar os efeitos à longo prazo da atuação de colhedoras mecânicas em cafeeiros Conilon (*kouillou*, *Coffea canephora* Pierre), verificaram uma eficiência de derriça de 83 a 90% na colhedora mecânica. <sup>1</sup> Esta eficiência, porém, foi se reduzindo à medida que as plantas cresceram com o passar dos anos. Quanto aos danos, observou-se uma derrubada de folhas e quebra de ramos bastante superior, de 4 a 5 vezes maior com a colhedora mecânica do que com a derriça manual. Isto foi considerado ser devido ao tipo de ramificação característica dos cafeeiros Conilon. Verificou-se também uma tendência de decréscimo na produtividade, com a colhedora mecânica, a partir da terceira colheita. Na média das 5 safras estudadas, a produção nas parcelas colhidas manualmente foi 32% superior. <sup>1</sup>

Esta quebra de produção foi interpretada como resultado da maior derrubada de folhas e ramos; ao grande enfolhamento do *Coffea canephora* e à presença de botões florais na época de colheita; à maior altura das plantas colhidas manualmente e ao forte período de seca subsequente à colheita, na região norte de Mato Grosso. <sup>1</sup>

Por outro lado, ensaios realizados na safra de 1979 no Estado de São Paulo, em cafeeiros das variedades Novo Mundo e Catuaí, com colhedoras mecanizadas de princípio funcional semelhante ao utilizado pelos sistemas Cocco e Jacto, não apresentaram derrubada de folhas e ramos significativa. Estes ensaios no entanto ressaltaram a maior dificuldade de colher o fruto da variedade Catuaí com relação ao da variedade Novo Mundo, evidenciando mais uma vez a influência da variedade do cafeeiro na atuação da máquina. <sup>16</sup>

É interessante observar que tanto os testes comparativos realizados em Arandu na safra de 1989, assim como outros, não avaliaram os possíveis danos causados às plantas pela vibração das hastes das colhedoras mecânicas. <sup>1,6,7,8,16</sup> Este fato certamente se deve à complexidade do tema, devido à necessidade de um grande período de tempo, o suficiente para abranger algumas safras, para que todos os possíveis efeitos danosos possam ser quantificados, e de que a eficiência e a atuação das colhedoras pode variar sensivelmente conforme a variedade de cafeeiro, modelo de equipamento, frequência de vibração das hastes, tratos culturais, variações climáticas de safra para safra, etc.

No entanto, é evidente que os pesquisadores envolvidos com estudos relacionados com processos mecanizados de colheita de café apresentam sérias preocupações com a possibilidade de danos às plantas. <sup>1,3,6,7,8,16</sup>



### 2.5.3. Comentários e observações

Analisando esta descrição resumida dos aparatos e questões envolvidas no processo de mecanização da colheita de pequenos frutos, podem-se tirar algumas observações pertinentes à colheita mecanizada do café:

- Os sistemas de colheita mecanizada, que utilizam o processo de derriça por vibração, necessariamente esbarram na questão de adaptação da área plantada à máquina. A área ou é isenta de cafeeiros e então especialmente preparada e cultivada visando permitir a atuação das máquinas, ou uma área de antigos cafeeiros deve ser erradicada e adaptada ao processo, ou o cafezal poderá receber a atuação da colhedora em somente partes de sua área total.. Os custos envolvidos (terraplanagem, perda das safras esperadas das áreas erradicadas, tempo de espera até a primeira safra, aquisição da máquina, manutenção, etc) são extremamente altos.
- A variedade de cafeeiro plantado deve ser adequado à atuação da máquina, o que restringe geograficamente a atuação desta, uma vez que as variedades de café não se desenvolvem igualmente em todas as regiões.
- O cafeeiro deverá ser adaptado dimensionalmente à máquina por meio de podas. Comparativamente ao sistema de colheita manual, isto pode contribuir para uma menor produção de frutos.<sup>1</sup>
- Os atuais projetos de colhedoras dotadas de vibradores contínuos procuram não transmitir esforços à planta. O tronco desta é aprisionado por “braços” (chamados de recolhedores) que, por terem a mesma velocidade de avanço da máquina, porém em sentido contrário, procuram imprimir velocidade zero sobre a planta durante o contato da máquina com esta, o que deveria fazer com que o tronco e as raízes não sofressem danos advindos dos vibradores. Os reais efeitos, porém, ainda não se encontram devidamente quantificados.
- Devido à necessidade de repasse manual para eliminar os frutos que não foram colhidos, nenhum dos sistema aqui descritos pode ser considerado como totalmente mecanizado. Entretanto, os ensaios mencionados comprovam que a mecanização da colheita do café efetivamente reduz os custos de produção e diminui a dependência do agricultor quanto a mão-de-obra volante.<sup>6</sup>



### 3. MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1. Dimensionamento do protótipo

##### 3.1.1. Requisitos básicos

A certeza de que a mecanização da colheita é um caminho válido na procura de diminuição de custos (preocupação natural em qualquer empreendimento de caráter comercial), os elevados custos relativos à adoção de colhedoras que mecanizem o processo de derriça, e a possibilidade de conseqüências danosas advindas da utilização de colhedoras que empreguem mecanismos vibratórios, tornam atraente a possibilidade de se desenvolver uma colhedora de simples e portátil, capaz não só de realizar a operação de colheita do fruto em tempo menor que o demandado pelo atual processo manual, mas também habilitada a operar nos cafezais tais como se encontram hoje, independentemente do espaçamento entre as fileiras e do tipo de terreno envolvido. A questão do custo inicial seria assim minimizada tão somente à aquisição da máquina.

Tendo em vista os requisitos básicos desejáveis para esta máquina de colher frutos de café (baixo custo inicial e de operação, pequeno tamanho, peso adequado ao porte individual, capacidade de colher os frutos em diversas alturas e estágios de desenvolvimento em diferentes cultivares de cafeeiros, capacidade de colher e ensacar o fruto em um processo contínuo, grande autonomia de operação), foi considerado preliminarmente que um sistema de aspiração, em conjunto com um pequeno motor de combustão interna seria o mais adequado, uma vez que atende aos requisitos de baixo custo (não seria necessário desenvolver uma tecnologia inovadora, pois tanto sistemas de aspiração como motores de pequeno porte são equipamentos plenamente adaptáveis ao projeto, considerando seu atual estágio de produção comercial), pequeno peso e tamanho, capacidade de operar com ramos em diferentes alturas (é exigido tão somente um longo e leve bocal de sucção), autonomia e capacidade de realizar as tarefas de colheita e ensacamento em um processo contínuo (o que exige a adaptação de tecnologias já utilizadas em processos semelhantes, de grande porte, tais como as que efetuam transporte contínuo de grãos no embarque/desembarque portuário).

O presente estudo procura determinar os parâmetros fundamentais para a construção de uma máquina colhedora que atenda as exigências mencionadas.

O esquema de uma máquina capaz de sintetizar tais requisitos está representado a seguir, na figura 18.



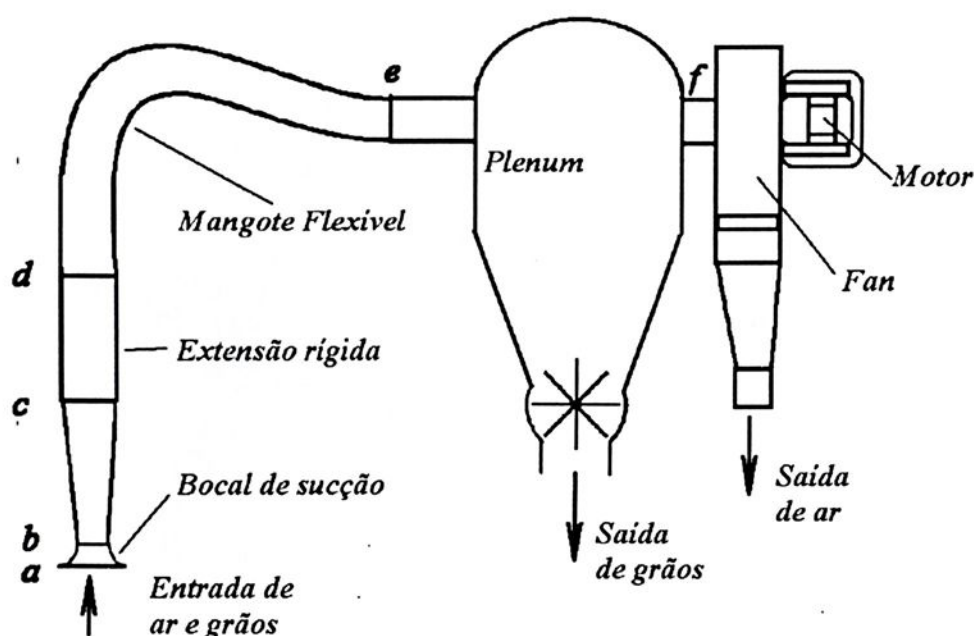


FIGURA 18 - Esquema do protótipo de colhedora de pequeno porte para café

Quanto à questão da captação contínua dos frutos, podem ser disponibilizados vários sistemas. O sistema proposto na figura 19, de pás rotativas e estanques, faz com que a retirada contínua dos frutos de café do interior do *plenum* não interfira na operação de sucção, evitando que o operador seja forçado a interromper a colheita para esvaziar o depósito. O princípio de funcionamento do sistema é simples. As pás rotativas retiram os frutos continuamente do *plenum*. Por serem estanques, impedem que o ar exterior penetre por elas, mantendo no *plenum* a pressão negativa necessária para a sucção.

As figuras seguintes mostram sistemas normalmente utilizados em equipamentos de remoção contínua de partículas pesadas.

No mecanismo mostrado na figura 20, a comporta é mantida fechada pelo diferencial de pressão até que o peso das partículas acumuladas seja suficiente para suplantar a ação da pressão, e abrir momentaneamente a comporta estanque. Na figura 21, o mecanismo é acionado ou por motor ou por solenóides. As comportas abrem em seqüência de modo que sempre haja pelo menos uma comporta selando o conjunto. Na figura 22, um pequeno motor movimenta uma válvula rotativa, mantendo o sistema selado e retirando continuamente as partículas.<sup>2</sup>

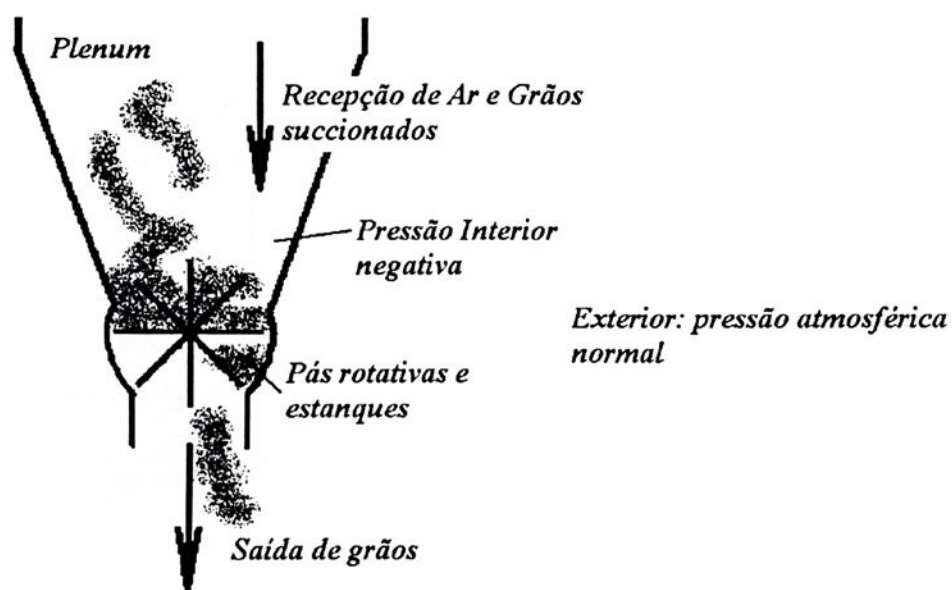


FIGURA 19 - Esquema de uma possível solução para o sistema de captação contínua de pequenos frutos.

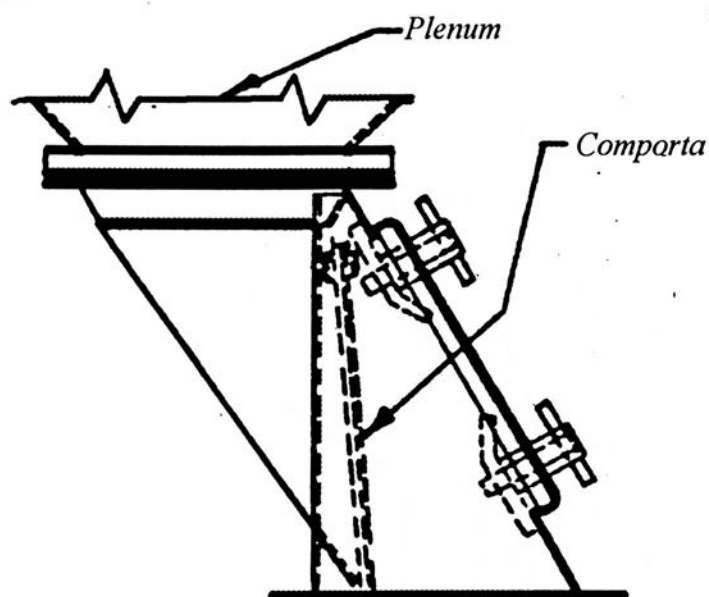


FIGURA 20 - Sistema de remoção de partículas pesadas com comportas acionadas por gravidade.<sup>2</sup>

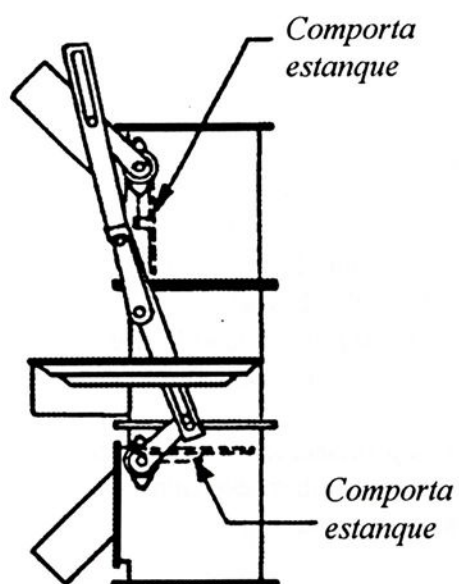


FIGURA 21 - Sistema de remoção de partículas pesadas com comportas acionadas por motor ou solenóide. <sup>2</sup>

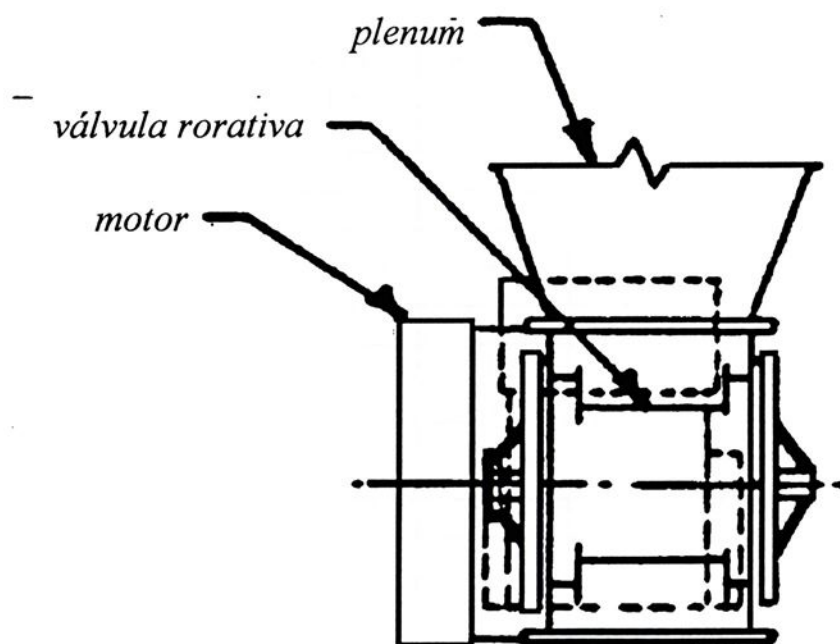


FIGURA 22 - Sistema de remoção de partículas pesadas com válvula rotativa. <sup>2</sup>

### 3.1.2. Dimensionamento

#### 3.1.2.1. Bocal de Sucção

Para que se possa dimensionar a colhedora, é necessário que algumas considerações sejam feitas, de modo a se criar um modelo físico/matemático que seja simples, e simultaneamente, representativo da realidade. Considerando o esforço desenvolvido na ação de aspirar o fruto a partir de um estudo das forças resultantes do escoamento de um fluido incompressível ao redor de uma esfera, é possível determinar a velocidade do fluxo de ar necessário para se deslocar um fruto de café do ramo para o bocal de sucção da colhedora, e a partir disso, ter-se uma avaliação da vazão e a potência necessária.

Para tanto, é necessário que se determine as grandezas físicas envolvidas pela questão: tamanho médio do fruto maduro de café (a chamada “cereja”), e a resistência do pedúnculo (haste que une o fruto ao ramo) à tração.

Com relação ao tamanho, a literatura <sup>5</sup> indica como típicas para o fruto maduro as dimensões entre 13,4 e 14 mm. Para se obter a resistência do pedúnculo à tração, foi necessário realizar uma série de medições, das quais se obteve os resultados relacionados na tabela 3, a seguir, e visualizáveis no gráfico da figura 23.

Tabela 3 - Resistência do pedúnculo do fruto de café à tração. Número de medidas por faixa de resistência e estado de maturação do fruto (identificado pela sua condição visual). Faixa de interesse demarcada em cinza.

Cor do Fruto	Verde	Verde Claro	Rosado	Vermelho	Carmim	Folhas
<b>Carga [N]</b>						
1,00				1	1	
2,00				3		
3,00			1	1		
4,00				6		2
5,00			4	2		2
6,00		1	8			
7,00			2			5
8,00						5
9,00	2	6				2
10,0		8				8
11,0		1				
12,0		5				1
13,0	4	2				
14,0	1					
15,0	6					
16,0	6					



393



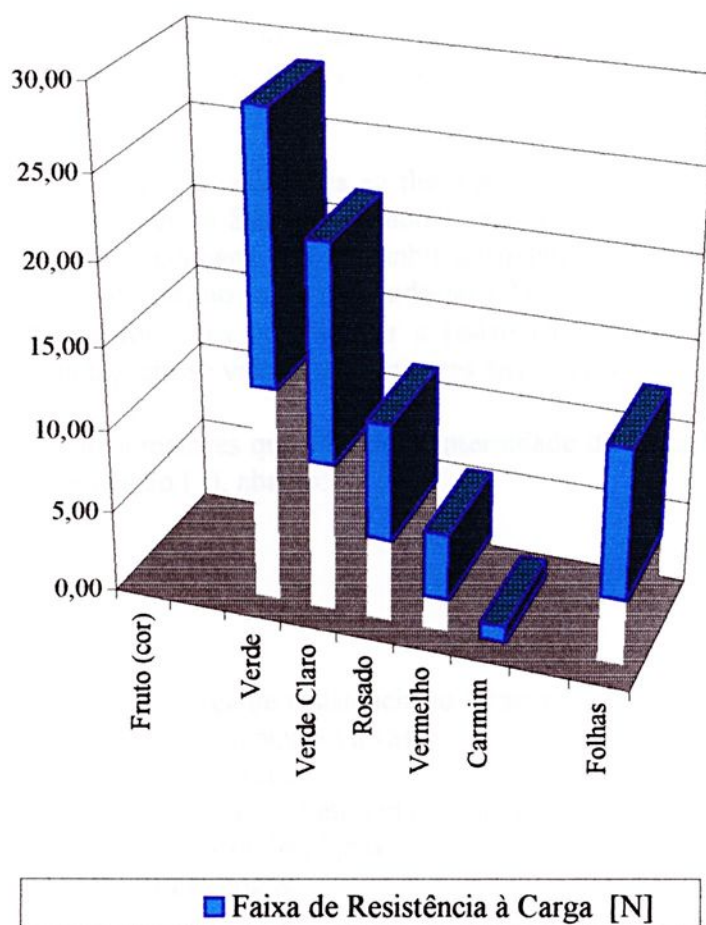


FIGURA 23 - Resistência do pedúnculo do fruto de café à tração.

Assim sendo, considerou-se como representativos, para as grandezas físicas procuradas, os valores mostrados na tabela 4, a seguir.

Tabela 4 - Grandezas físicas básicas para o dimensionamento.

Fruto de café:	aproximado para uma esfera de 13 mm de diâmetro
Força de tração necessária para se colher todos os frutos maduros:	4,00 N

As forças que influenciam o movimento de um corpo imerso em um fluido, relativamente ao escoamento deste ao redor do objeto, decorrem de duas causas: viscosidade do fluido (atrito interno do fluido) e inércia do fluido (devido aos choques do corpo com as partículas do fluido).<sup>4,12</sup>

Para baixas velocidades a resistência ao movimento é determinada principalmente pela viscosidade do fluido (é a chamada resistência viscosa); para velocidades maiores a resistência é determinada também pela inércia das partículas (resistência dinâmica).<sup>4,12</sup>

Considera-se viscosa a resistência ao fluxo de ar com velocidades inferiores a 2 m/s; neste caso vale a lei de Stokes segundo a qual a resistência é proporcional à velocidade. Uma esfera pequena, de tamanho aproximado de um fruto de café, circundada por um fluido (ar, no caso) movendo-se a 2 m/s, sofre a ação de forças (da ordem de  $10^{-5}$  N) insuficientes para vencer a resistência de sua fixação ao ramo. Necessariamente então, tem-se velocidades maiores envolvidas.<sup>4,12</sup>

Para velocidades maiores que 10 m/s, a intensidade da força de resistência ao arrasto é dada pela equação (1), abaixo:<sup>4,12</sup>

$$F_D = C_D \cdot \gamma \cdot S \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

sendo

$F_D$	Intensidade da força de resistência ao arrasto	[N]
$C_D$	Coefficiente de resistência ao arrasto	[adimensional]
$\gamma$	Peso específico do fluido	[N/m <sup>3</sup> ]
$V$	Velocidade relativa do objeto em relação ao fluido	[m/s]
$S$	Área da seção mestra do objeto	[m <sup>2</sup> ]
$g$	Aceleração da gravidade	[m/s <sup>2</sup> ]

O valor de  $C_D$  varia em função do formato do objeto, do número de Reynolds (ou da velocidade do fluxo) e do número de Mach. Observando-se o gráfico na figura 24, vê-se o coeficiente de resistência ao arrasto de uma esfera em função do número de Reynolds. O número de Reynolds representa a razão entre as forças de inércia de um fluido e as forças de viscosidade deste mesmo fluido, ou seja, relaciona as características físicas do fluido com a velocidade do fluxo. O número de Mach introduz no equacionamento os efeitos da compressibilidade. Observa-se no gráfico da figura 25 a variação dos valores do  $C_D$  de uma esfera em termos do número de Reynolds e de Mach.<sup>13</sup>

O número de Reynolds é calculado por:<sup>4,12</sup>

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (2)$$

sendo:

$Re$	Número de Reynolds	[adimensional]
$V$	Velocidade relativa do objeto em relação ao fluido	[m/s]
$L$	Dimensão linear que caracteriza o objeto	[m]
$\nu$	Viscosidade cinemática	[m <sup>2</sup> /s]



O número de Mach por sua vez, é calculado por: <sup>4,12</sup>

$$M = \frac{V}{c} \quad (3)$$

sendo:

M	Número de Mach	[adimensional]
V	Velocidade relativa do objeto em relação ao fluido	[m/s]
c	Velocidade do som no fluido considerado	[m/s]

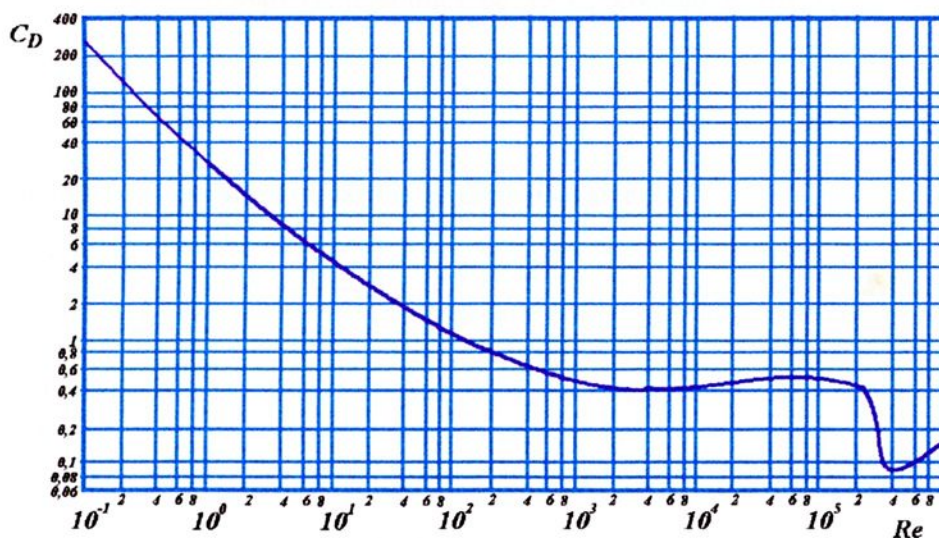


FIGURA 24 - Coeficientes de Arrasto para esferas em função do número de Reynolds. <sup>13</sup>

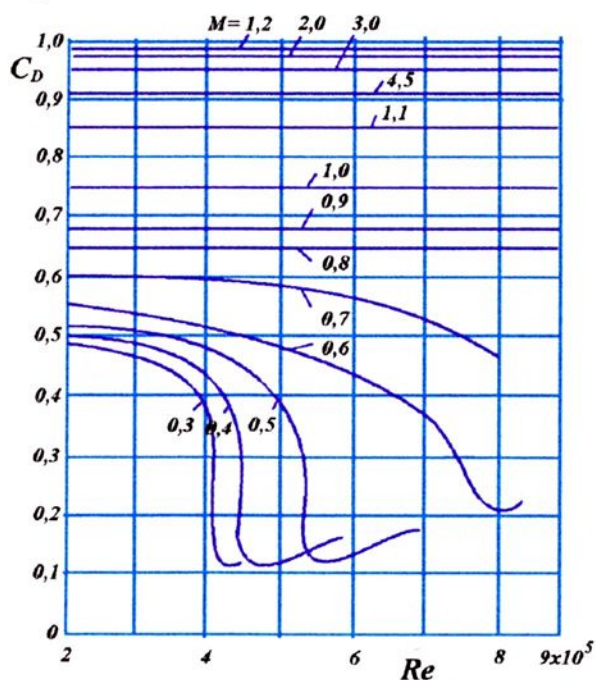


FIGURA 25 - Coeficientes de arrasto para esferas em termos de números de Reynolds e Mach. <sup>13</sup>

Se a tração necessária para se arrancar o fruto do ramo for da ordem de 4,00 N ou menos, tem-se que:

$$C_D \cdot \gamma \cdot S \cdot \frac{V^2}{2g} \leq 4,00 \text{ N}$$

Para o fluido considerado, ar atmosférico, nas condições normais de temperatura e pressão (temperatura de 15°C, pressão à 101,325 kPa), tem-se os dados na tabela 5:

$$C_D \times V^2 \leq 49310$$

Tabela 5 - Constantes utilizadas no dimensionamento.<sup>2,7</sup>

$\gamma = 11,994$	Peso específico do ar	[N/m <sup>3</sup> ]
$\nu = 14,6 \times 10^{-6}$	Viscosidade cinemática do ar	[m <sup>2</sup> /s]
$c = 340$	Velocidade do som no ar	[m/s]
$S = 1,327 \times 10^{-4}$	Área da secção da esfera	[m <sup>2</sup> ]
$L = 0,013$	Diâmetro da esfera	[m]
$g = 9,81$	Aceleração da gravidade	[m/s <sup>2</sup> ]

Calculando valores de força devido ao arrasto, para diferentes velocidades de fluxo, tem-se os valores relacionados na tabela 6.

Tabela 6 - : Forças de arrasto desenvolvidas para diferentes velocidades de fluxo.

nº Mach	V [m/s]	Re ( $\times 10^5$ )	$C_D$	F [N]
0,5	170	1,5	0,50	1,2
0,6	204	1,8	0,50	1,7
0,7	238	2,1	0,60	2,8
0,8	272	2,4	0,65	3,9
0,9	306	2,7	0,68	5,2
1,0	340	3,0	0,75	7,0
1,1	374	3,3	0,85	9,6
1,2	408	3,6	0,98	13,2

Através do gráfico da figura 25 é possível perceber que o valor de  $C_D$  está muito próximo de 0,65 para um fluxo com velocidade da ordem de 272 m/s (Mach aproximadamente igual a 0,80 e Reynolds  $2,4 \times 10^5$ ). Estes valores indicam uma força da ordem de 3,9 N, devido ao arrasto.

Observe-se a figura 26. Na entrada do bocal, o ar se moverá para o interior deste, vindo de todas as direções. Por definição, as linhas normais indicam uma onda

de partículas que se deslocam à mesma velocidade. Similarmente, linhas de fluxo são linhas perpendiculares às linhas normais; a tangente de uma linha de fluxo em um ponto qualquer indica a direção do fluxo naquele ponto.<sup>2</sup>

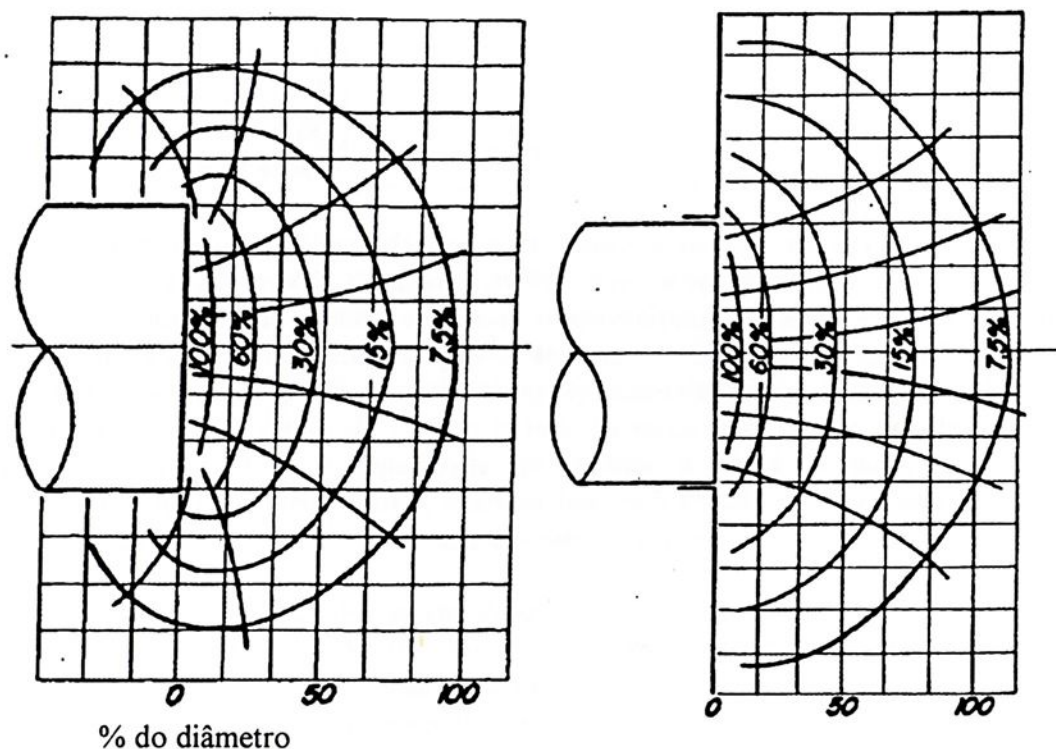


FIGURA 26 - Contornos de velocidade de sucção para bocais circulares.<sup>2</sup>

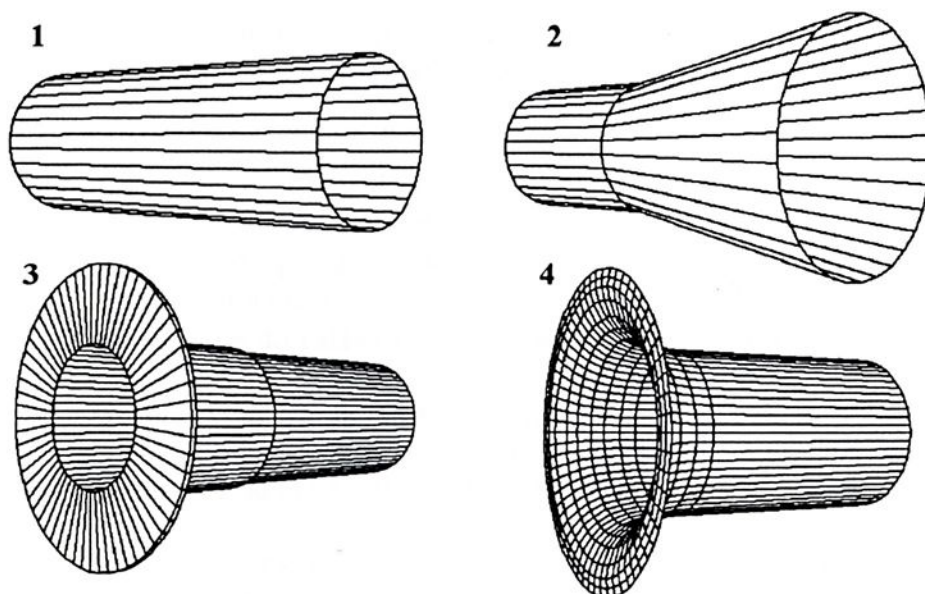


FIGURA 27 - Tipos de bocal.: 1. simples, sem flange; 2. flange cônica; 3. flange reta; 4. *bell mouth*<sup>2</sup>

Tabela 7 - Coeficientes de eficiência para diferentes bocais. <sup>2</sup>

Tipo de Bocal	Coeficiente de Eficiência ( $C_e$ )
Simple	0,72
Flangeado	0,82
Cônico (30°)	0,96
Cônico (45°)	0,97
Cônico (60°)	0,96
<i>Bell Mouth</i>	0,98

A observação visual da figura 26 indica a escolha de um bocal dotado de flange, pois a distribuição do fluxo é melhor direcionada frontalmente que a do bocal não flangeado, o que otimiza em muito o aproveitamento do ar aspirado, atingindo por igual as carreiras de frutos dispostos ao redor. A figura 27 e a tabela 7 indicam 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, sua capacidade em diminuir a perda de carga na admissão. Assim, é possível concluir que a abertura tipo *Bell Mouth* ou a cônica (com ângulo entre 30 e 60°) são as mais aconselháveis para a máquina.

Para que o operador possa atingir qualquer ponto de um cafeeiro, o bocal deve ser acompanhado de um tubo rígido, de comprimento que permita esta operação. Considerando a maior altura normalmente encontrada na variedade produtiva (*Coffea arabica*), cerca de 3 m, um tubo rígido de aproximadamente 2 m é suficiente.

### 3.1.2.2. Mangote flexível e *fan* de aspiração

Ao se dimensionar o mangote flexível, é necessário que se ressalte a importância do acesso total do operador à qualquer ponto de um cafeeiro. Tome-se por base:

- espaçamento máximo recomendado normalmente entre cafeeiros, o que consiste em 4 m entre fileiras e 3 m entre plantas;
- o requisito de que o operador possa atender a pelo menos 4 pés de café sem necessitar locomover a máquina;
- um diâmetro da copa do cafeeiro de aproximadamente 1,4 m e a altura da planta em 3m.
- que o operador, empunhando o tubo rígido de 2 m, atingindo o ponto superior extremo da copa no lado oposto da planta à máquina, terá a extremidade inferior do tubo à cerca de 1,60 m do solo, aproximadamente.

Estas considerações todas reunidas indicam, através da geometria, que um mangote de aproximadamente 6 m seria o mínimo suficiente.

Uma vez desprendido o fruto do ramo, o fluxo deverá deslocar o fruto de peso da ordem máxima de 2 g, no interior do mangote. Considere-se que o diâmetro do mangote não deve ser muito grande pois a velocidade do fluxo decairia por demais, fazendo com que os frutos se acumulassem nos pontos mais baixos ou nas curvas mais fechadas. É indesejável também que o mangote seja de diâmetro interno muito estreito, pois a sustentação de uma alta velocidade em um trecho sujeito a curvas representa uma elevada perda de carga. Através da equação (1), verifica-se que uma velocidade na ordem de 25 m/s seria suficiente para deslocar um fruto livre que estivesse porventura paralisado no interior do mangote. Lembrando que<sup>3,7</sup>

$$A = \frac{Q}{V} \quad (4)$$

em que A é a seção do mangote, Q o fluxo volumétrico e V a velocidade média, pode-se verificar um determinado valor de diâmetro comercial de mangueira a uma determinada vazão em função desta velocidade.

É importante porém, considerar que o fruto entrará no mangote em alta velocidade, e que cabe ao fluxo tão somente mantê-lo em movimento. A literatura aconselha para a velocidade de transporte de partículas pesadas, em situações similares, o valor de 17,8 m/s (3500 p/m).<sup>2</sup> Assim sendo adotou-se 17,8 m/s como velocidade mínima requerida para o fluxo, e 25 m/s como um valor idealmente desejável para o mesmo.

O conjunto compreendido entre o bocal de aspiração e o *fan* aspirador está então definido por um bocal flangeado com abertura *Bell Mouth* ou cônica, uma expansão suave e rígida, um trecho também rígido de diâmetro conveniente para o encaixe com o mangote, um mangote flexível com 6 m de comprimento mínimo e conectado ao sistema de recolhimento do fruto (ver figura 18). É importante que o trecho rígido deva somar não mais do que 2 m.

Procede-se então a determinação das perdas de carga relativas a este conjunto, para que se possa saber a potência do ventilador (ou *fan*) a ser utilizado. O método utilizado é o chamado *Velocity Pressure Method*, demonstrado no volume *Industrial Ventilation*<sup>2</sup>. As tabelas e gráficos pertinentes ao cálculo se encontram reproduzidas; as unidades utilizadas acompanham o padrão americano usado na referência, sendo somente os valores finais convertidos para o sistema métrico.

No trecho inicial (figura 18), que abrange o início do bocal flangeado até o começo da expansão, ocorre a maior resistência enfrentada pelo fluxo. Ao entrar no duto, o fluido se contrai, no fenômeno chamado de *vena contracta*.<sup>2</sup> Formada esta contração, ocorre uma perda de energia primeiramente na conversão de pressão estática (SP) para a pressão dinâmica (VP; pressão devido à velocidade). Veja figura

28. Assim que o ar ultrapassa este período de contração, a área de fluxo aumenta para encontrar o duto, e a parte da pressão dinâmica é convertida novamente em pressão estática. Neste ponto, a desaceleração do ar advindo da *vena contracta* resulta em uma outra perda de energia. Observando que a pressão dinâmica é resultado de uma expressão quadrática da velocidade - ver equação (8) - e que no bocal de sucção a velocidade do ar atinge entre Mach 0,6 à 0,8 aproximadamente, partindo de quase zero pouco antes deste bocal, é fácil antever a ocorrência da elevada perda de energia para este trecho, tal como exposta na planilha de cálculo apresentada na tabela 11.<sup>2</sup>

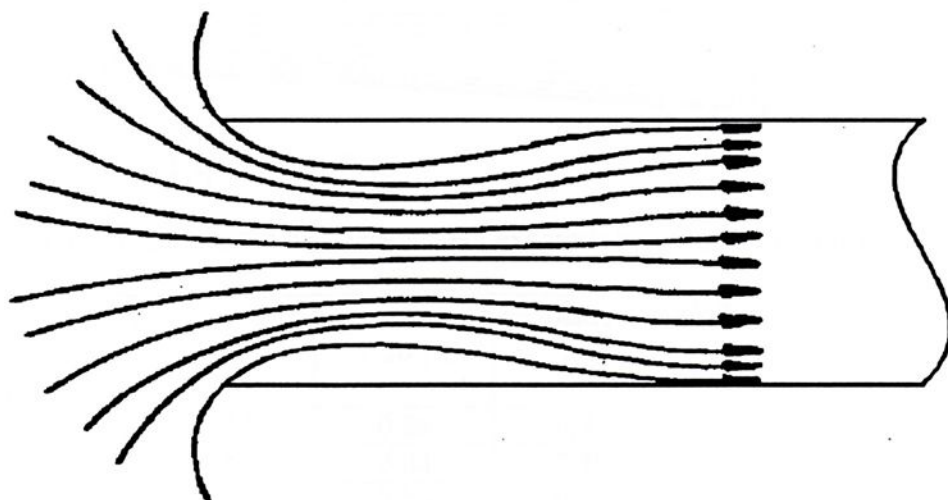


FIGURA 28 - Fluxo de ar na *vena contracta*.<sup>2</sup>

O trecho seguinte consiste de uma expansão, logo após o bocal de sucção, para que a tubulação rígida possa se adequar à mangueira flexível. Ao encontrar um duto de maior diâmetro, a área de fluxo aumenta e uma nova fração de pressão dinâmica (VP) é convertida em estática (SP), o que concede ao sistema um ganho de energia. A suavidade da transição é responsável pela eficiência do processo, diminuindo as perdas promovidas pela desaceleração do fluido. A nova pressão estática  $SP_2$ , ao final do trecho, é função direta dos diâmetros (uma vez que as  $VP_1$  e  $VP_2$  são expressos em função da velocidade, ou seja, dos diâmetros e da vazão) e do ângulo assumido pela expansão (quanto menos abrupta, melhor o rendimento - ver tabela 8).<sup>2</sup>

$$SP_2 = SP_1 + R(VP_1 - VP_2) \quad (5)$$

Uma vez que a suavidade da expansão do duto é responsável pela diminuição de perdas de energia no sistema, decidiu-se fixar o ângulo desta expansão em  $3,5^\circ$ .

É importante ressaltar que o índice de eficiência R será somente 70% do mostrado acima se, quando após a expansão localizar-se uma curva (ou um elemento capaz de acrescentar algum distúrbio ao fluxo) à distância menor de  $5 D_2$ .

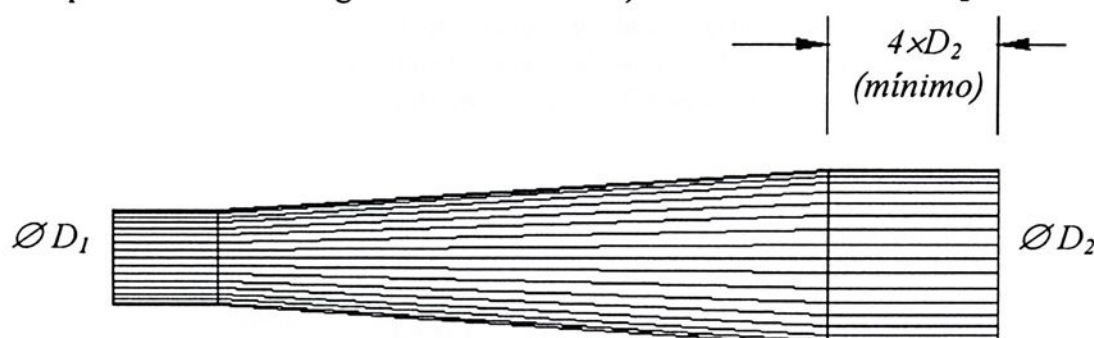


FIGURA 29 - Expansão de duto

Tabela 8 - Coeficientes de eficiência em expansões para dutos redondos <sup>2</sup>

Ângulo da abertura, em graus:	Razão de diâmetros: $D_2/D_1$				
	1,25 : 1	1,50 : 1	1,75 : 1	2,00 : 1	2,50 : 1
3,5	0,92	0,88	0,84	0,81	0,75
5	0,88	0,84	0,80	0,76	0,68
10	0,85	0,76	0,70	0,63	0,53
15	0,83	0,70	0,62	0,55	0,43
20	0,81	0,67	0,57	0,48	0,43
25	0,80	0,65	0,53	0,44	0,28
30	0,79	0,63	0,51	0,41	0,25
90	0,77	0,62	0,50	0,40	0,25

A mangueira flexível perfaz o trecho posterior. Adotando um mangote de plástico reforçado como uma opção comercial viável, tem-se as características a serem consideradas como relevantes na tabela 9.

Tabela 9 - Características do mangote comercialmente disponível. Diâmetro interno nominal. Dados mensurados diretamente no produto.

Especificação:	Mangote de plástico reforçado para cabos elétricos e telefonia		
Diâmetro interno [pol]:	3	4	5
Comprimento [m]:	6	6	6
Raio de Curvatura [m]:	0,2	0,3	0,4

A rugosidade do revestimento interno do mangote é um fator a ser considerado. A estimativa do valor consiste em se calcular normalmente o fator de

perdas por fricção  $H_f$  como para um tubo limpo, redondo e de aspereza normal, e multiplicar este valor por um fator de correção, em função da rugosidade estimada e da vazão no duto. Este fator de correção é advindo do gráfico na figura 30. Por exemplo, observando o mencionado gráfico, verifica-se que um tubo, de 5 polegadas (127 mm) de diâmetro nominal, submetido à um fluxo de velocidade da ordem de 2000 pcm (10,16 m/seg), fornece um fator de correção de aproximadamente 0,9.<sup>2</sup>

Calculando-se a perda de carga ( $H_f$ ) para um tubo como descrito na tabela 9, através da equação abaixo:<sup>2</sup>

$$H_f = 0,0307 \frac{V^{0,533}}{Q^{0,612}} = \frac{0,4937}{Q^{0,079} \times D^{1,066}} \quad (6)$$

sendo:

Q	Vazão volumétrica	[pcm]
V	Velocidade média do fluxo	[pé/min]
D	Diâmetro do duto	[pol.]

tem-se o valor de  $H_f = 0,0385$  em unidades de VP perdidas por pé de duto. Aplicando o fator de correção de 0,9 o valor de  $H_f$  passa para 0,0347.

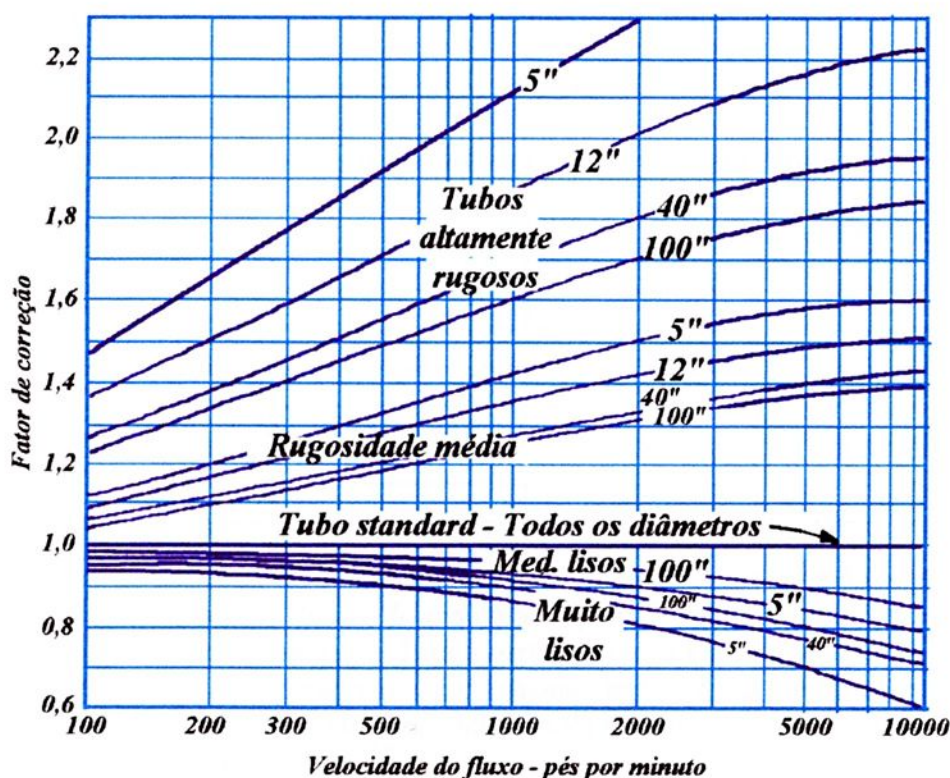


FIGURA 30 - Fatores de correção para materiais não padronizados.<sup>2</sup>

Como o duto é flexível, não há um valor exato para as curvas a serem consideradas. Não é possível avaliar a questão supondo o mangote totalmente enrolado, não seria real e imprimiria uma perda de carga elevadíssima ao cômputo. Uma suposição mais realista é a de 3 curvas de 90 graus.

Como a relação  $R/D$  resulta em um valor de no mínimo 2,75 para qualquer que seja o mangote flexível escolhido na tabela 9, fixou-se o fator de perdas em 26% de VP por curva. Partindo da suposição de 3 curvas de 90 graus, tem-se 0,78 de total em perdas por curvas em VP.

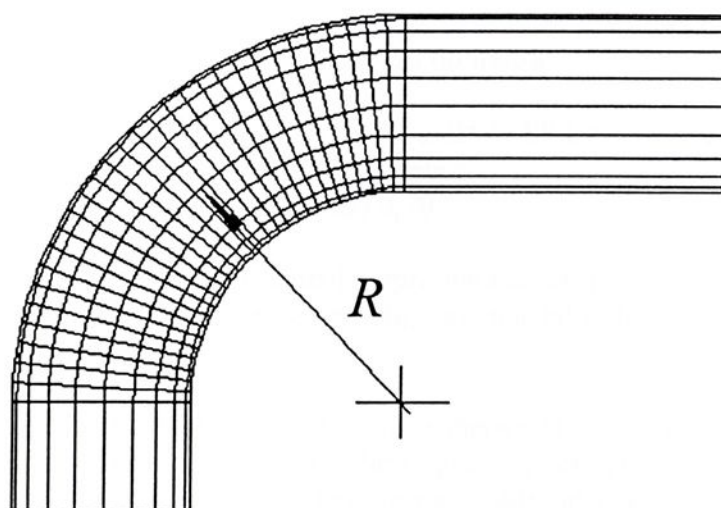


FIGURA 31 - Curva em duto de seção circular.<sup>2</sup>

Tabela 10: Fatores de perda em curvas para dutos de seção circular.<sup>2</sup>

R/D	Fração de perdas em VP
2,75	0,26
2,50	0,26
2,25	0,26
2,00	0,27
1,75	0,32
1,50	0,39
1,25	0,55

Após o mangote, o fluxo encontrará o trecho compreendido pelo *plenum* responsável pela separação dos frutos do ar aspirado, pois estes não devem se dirigir ao *fan* aspirador, danificando-o. Para a perda de carga em termos de pressão estática neste trecho, foi considerado o valor máximo presente na literatura para sistemas similares à este, tal como coletores contínuos de pó atuando através de fluxo reverso: 6,0 pol. H<sub>2</sub>O (152,4 mmH<sub>2</sub>O).<sup>2,9</sup>

Sendo a exaustão do aspirador ligada diretamente ao ar atmosférico, a pressão a ser vencida pelo *fan* é somente a determinada pela SP acumulada. De posse deste valor, e sabendo-se que a potência do motor é em função da vazão do *fan* e da pressão SP acumulada a ser superada, torna-se possível determinar o motor necessário ao sistema. Seja a equação abaixo:<sup>9</sup>

$$N = \frac{Q \times SP_T}{\eta} \times 9,8114 \times 10^{-3} \quad (7)$$

sendo:

$N$	Potência do motor	[kW]
$Q$	Vazão	[m <sup>3</sup> /s]
$SP_T$	Pressão estática SP a ser vencida	[mmH <sub>2</sub> O]
$\eta$	Rendimento*	[adimensional]

\*normalmente admitido como 0,70.

A planilha de cálculo apresentada na tabela 11 constitui o roteiro para o cálculo do conjunto completo, abrangendo todos os detalhes anteriormente explanados.

Nesta tabela está exposto o memorial de cálculo para uma opção de arranjo possível para o protótipo. Para que seja exequível saber quais componentes se aproximam do ideal, calculou-se para cada uma das opções prováveis a potência e vazão mínima requeridas, variando diâmetros de bocal, dutos e mangotes. Comparando os dados assim obtidos, a escolha dos componentes torna-se um exercício de análise.

No exemplo exposto na tabela 11, o bocal tem o diâmetro comercial de 25,4 mm (1 pol.); uma expansão suave em 3,5 graus, com comprimento de 584 mm; e continuação do segmento rígido constituído de duto com diâmetro de 96,84 mm (3,8125 pol.) e extensão de 1416 mm; mangote de 6 m de comprimento e 101,6 mm de diâmetro. Especificando uma velocidade de admissão no bocal da ordem de 272 m/s, chega-se ao valor de 0,14 m<sup>3</sup>/s para a vazão do *fan* e uma pressão estática de 2703 mmH<sub>2</sub>O (106 pol.H<sub>2</sub>O) a ser vencida. De posse destes dois últimos dados e da equação (8), tem-se a potência mínima necessária ao motor: 5,24 kW (7,0 HP).

A partir das opções de dutos rígidos e flexíveis encontráveis no comércio, determinou-se os conjuntos possíveis de serem obtidos através da sucessiva combinação entre estes. Para cada combinação, uma seqüência de cálculo similar à exposta na tabela 11 foi executada, tendo-se como referência para as velocidades de bocal os valores entre 0,6 e 0,9 Mach expostos na tabela 6. Os resultados obtidos estão expostos nas tabelas 12, 13, 14 e 15 e nos gráficos mostrados nas figuras 32, 33, 34, 35 e 36. Foram excluídas as combinações que resultaram em velocidades



supersônicas no interior dos mangotes, pois ultrapassariam os limites impostos pelo *Velocity Pressure Method*<sup>2</sup>.

De posse das tabelas e gráficos, a escolha dos componentes obedeceu à critérios simples:

- Potência do motor: compreendida entre 3,75 a 11,22 kW (5 a 15 HP), para que a máquina seja economicamente viável, e disponível comercialmente no peso e tamanho necessários para que a colhedora seja portátil pelo operador individualmente.
- Velocidade mínima do fluxo no mangote de 17,8 m/s, e preferencialmente de 25 m/s.
- Duto do bocal: entre 19,1 a 76,2 mm (3/4 a 3 pol.), para que o fluxo da sucção possa abranger o espaço equivalente a aproximadamente um aglomerado grande de frutos de café.
- Mangote: preferencialmente de 102 ou 127 mm (4 ou 5 pol.), para diminuir perdas de carga.
- Vazão: limite superior de 1,00 m<sup>3</sup>/s, pois o preço de um *fan* aspirador acima desta capacidade atinge valores elevados.

Partindo destas premissas, chegou-se as seguintes escolhas:

Potência do Motor:	5,63 kW (7,5 HP)
Vazão volumétrica do <i>Fan</i> :	0,10 m <sup>3</sup> /s
Mangote:	102 mm (4 pol.)
Bocal:	21,5 mm (0,85 pol.)

Estes valores indicam componentes disponíveis no mercado, com preços que tornam a aquisição viável.



Tabela 11 - Folha de cálculo do *Velocity Pressure Method*<sup>2</sup>

1	Identificação do Segmento (figura 13)		a-b	b-c**	c-d	d-e	e-f	
2	Fluxo Volumétrico		[pc/m]	292,6	292,6	292,6	292,6	
3	Velocidade Mínima de Transporte		[p/m]	3500				
4	Diâmetro interno do Duto		[pol.]	1	3 13/16	4		
5	Área do Duto ( $\times 10^{-3}$ )		[pé <sup>2</sup> ]	5,45	79,28	87,27		
6	Velocidade Real no Duto (item 2 + item 5)		[p/m]	53543	3684	3346		
7	Pressão dinâmica (VP) no duto - equ.(8)		[pol. H <sub>2</sub> O]	178,7	0,846	0,698		
8	B	Área da câmara	[pé <sup>2</sup> ]					
9	O	S Velocidade na câmara	[p/m]					
10	C	L Pressão dinâmica VP na câmara	[pol. H <sub>2</sub> O]					
11	A	O Fator de perdas da câmara						
12	L	T Fator de aceleração (0 ou 1)						
13		S Perdas <i>Plenum</i> por VP (item 11+12)						
14		* SP no <i>Plenum</i> (item 10x13)	[pol. H <sub>2</sub> O]					
15	S	Fator perda na entrada do duto (figura 13)		0,06				
16	U	Fator de aceleração (1 ou 0)		1				
17	C	Perdas entrada duto por VP (item 15+16)		1,06				
18	Ç	Perdas de entrada no duto (item 7x17)		189,5				
19	Á	Outras perdas	[pol. H <sub>2</sub> O]					
20	O	SP de bocal (item 14+18+19)	[pol. H <sub>2</sub> O]	189,5				
21	Comprimento de Duto Reto		[pés]	0	1,916	4,645	19,68	
22	Fator de fricção $H_f \times 10^{-3}$ ; - equ.(7), corrigido			267,7		75,6	71,8	
23	Perdas por fricção por VP (item 21x22)			0		0,351	1,414	
24	Número de curvas de 90 graus						3	
25	Perdas em curvas por VP						0,78	
26	Número de entradas							
27	Perdas entradas VP (item 26 x Fator de perda)							
28	Fatores de perdas por conexão							
29	Perdas no duto por VP (item 23+25+27+28)			0		0,351	2,19	
30	Perdas no duto (item 7x29)		[pol. H <sub>2</sub> O]	0		0,297	1,53	
31	Perdas duto em SP (item 20+30)		[pol. H <sub>2</sub> O]	189,5	-91,4	0,297	1,53	6
32	Pressão estática SP acumulada		[pol. H <sub>2</sub> O]	-189	-98	-98	-100	-106
33	Pressão estática final		[pol. H <sub>2</sub> O]					
34	Fluxo volumétrico corrigido		[pc/m]					
35	Pressão dinâmica VP resultante		[pol. H <sub>2</sub> O]					

\* Pré-entrada: câmara de pré-entrada ou *Slots*; inexistente neste equacionamento

\*\* Trecho b-c: expansão. Equacionamento e cálculo em separado: ângulo de expansão de 3,5 graus, razão entre diâmetros aproximadamente 3,813 e fator de ganho R igual a 0,55.

$$VP = \left( \frac{V}{4005} \right)^2 \quad (8)$$



Tabela 12 - Planilha para seleção de componentes. Velocidade de 204 m/s do ar sugado, no bocal. Força de arrasto de 1,7 N exercida sobre o fruto.

Diâmetro [pol.]			Velocidade: [m/s]	Vazão: [m <sup>3</sup> /s]	Potência: [HP]
Bocal Sucção	Duto de Expansão	Mangote	Mangote	Fan	Motor
1	2 7/8 (2,875)	3	22,70	0,10	3,90
1	3 13/16 (3,8125)	4	12,70	0,10	3,10
1	4 3/4 (4,75)	5	8,20	0,10	2,40
1 1/4 (1,25)	2 7/8 (2,875)	3	35,40	0,16	7,20
1 1/4 (1,25)	3 13/16 (3,8125)	4	19,90	0,16	5,80
1 1/4 (1,25)	4 3/4 (4,75)	5	12,80	0,16	4,80
1 1/2 (1,5)	2 7/8 (2,875)	3	51,00	0,23	12,00
1 1/2 (1,5)	3 13/16 (3,8125)	4	28,70	0,23	9,40
1 1/2 (1,5)	4 3/4 (4,75)	5	18,40	0,23	8,10
1 3/4 (1,75)	2 7/8 (2,875)	3	69,40	0,32	19,30
1 3/4 (1,75)	3 13/16 (3,8125)	4	39,10	0,32	14,20
1 3/4 (1,75)	4 3/4 (4,75)	5	25,00	0,32	12,10
2	2 7/8 (2,875)	3	90,70	0,41	30,40
2	3 13/16 (3,8125)	4	51,00	0,41	20,40
2	4 3/4 (4,75)	5	32,60	0,41	17,22
2 1/4 (2,25)	2 7/8 (2,875)	3	114,80	0,52	47,30
2 1/4 (2,25)	3 13/16 (3,8125)	4	64,50	0,52	28,60
2 1/4 (2,25)	4 3/4 (4,75)	5	41,30	0,52	23,40
2 1/2 (2,5)	2 7/8 (2,875)	3	141,70	0,65	73,10
2 1/2 (2,5)	3 13/16 (3,8125)	4	79,70	0,65	39,60
2 1/2 (2,5)	4 3/4 (4,75)	5	51,00	0,65	31,10
2 3/4 (2,75)	2 7/8 (2,875)	3	171,40	0,78	111,80
2 3/4 (2,75)	3 13/16 (3,8125)	4	96,40	0,78	54,20
2 3/4 (2,75)	4 3/4 (4,75)	5	61,70	0,78	40,40
3	3 13/16 (3,8125)	4	114,80	0,93	73,80
3	4 3/4 (4,75)	5	73,40	0,93	51,90
3 1/4 (3,25)	3 13/16 (3,8125)	4	134,70	1,09	100,10
3 1/4 (3,25)	4 3/4 (4,75)	5	86,20	1,09	66,20
3 1/2 (3,5)	3 13/16 (3,8125)	4	156,20	1,27	135,40
3 1/2 (3,5)	4 3/4 (4,75)	5	100,00	1,27	83,90
3 3/4 (3,75)	3 13/16 (3,8125)	4	179,30	1,45	182,40
3 3/4 (3,75)	4 3/4 (4,75)	5	114,80	1,45	106,50
4	4 3/4 (4,75)	5	130,60	1,65	133,70



Tabela 13 - Planilha para seleção de componentes. Velocidade de 238 m/s do ar sugado, no bocal. Força de arrasto de 2,8 N exercida sobre o fruto.

Diâmetro [pol.]			Velocidade: [m/s]	Vazão: [m <sup>3</sup> /s]	Potência: [HP]
Bocal Sucção	Duto de Expansão	Mangote	Mangote	Fan	Motor
1	2 7/8 (2,875)	3	26,40	0,12	6,10
1	3 13/16 (3,8125)	4	14,90	0,12	4,80
1	4 3/4 (4,75)	5	9,50	0,12	3,70
1 1/4 (1,25)	2 7/8 (2,875)	3	41,30	0,19	11,20
1 1/4 (1,25)	3 13/16 (3,8125)	4	23,20	0,19	9,00
1 1/4 (1,25)	4 3/4 (4,75)	5	14,90	0,19	7,50
1 1/2 (1,5)	2 7/8 (2,875)	3	59,50	0,27	18,80
1 1/2 (1,5)	3 13/16 (3,8125)	4	33,50	0,27	14,60
1 1/2 (1,5)	4 3/4 (4,75)	5	21,40	0,27	12,50
1 3/4 (1,75)	2 7/8 (2,875)	3	81,00	0,37	30,10
1 3/4 (1,75)	3 13/16 (3,8125)	4	45,60	0,37	22,10
1 3/4 (1,75)	4 3/4 (4,75)	5	29,20	0,37	18,90
2	2 7/8 (2,875)	3	105,80	0,48	48,00
2	3 13/16 (3,8125)	4	59,50	0,48	31,90
2	4 3/4 (4,75)	5	38,10	0,48	26,80
2 1/4 (2,25)	2 7/8 (2,875)	3	133,90	0,61	74,10
2 1/4 (2,25)	3 13/16 (3,8125)	4	75,30	0,61	44,80
2 1/4 (2,25)	4 3/4 (4,75)	5	48,20	0,61	36,60
2 1/2 (2,5)	2 7/8 (2,875)	3	165,30	0,75	114,60
2 1/2 (2,5)	3 13/16 (3,8125)	4	93,00	0,75	61,90
2 1/2 (2,5)	4 3/4 (4,75)	5	59,50	0,75	48,50
2 3/4 (2,75)	2 7/8 (2,875)	3	200,00	0,91	175,40
2 3/4 (2,75)	3 13/16 (3,8125)	4	112,50	0,91	84,80
2 3/4 (2,75)	4 3/4 (4,75)	5	72,00	0,91	63,10
3	3 13/16 (3,8125)	4	133,90	1,09	115,60
3	4 3/4 (4,75)	5	85,70	1,09	81,20
3 1/4 (3,25)	3 13/16 (3,8125)	4	157,10	1,27	156,90
3 1/4 (3,25)	4 3/4 (4,75)	5	100,60	1,27	103,50
3 1/2 (3,5)	3 13/16 (3,8125)	4	182,20	1,48	212,40
3 1/2 (3,5)	4 3/4 (4,75)	5	116,60	1,48	131,40
3 3/4 (3,75)	3 13/16 (3,8125)	4	209,20	1,70	286,40
3 3/4 (3,75)	4 3/4 (4,75)	5	133,90	1,70	166,10
4	4 3/4 (4,75)	5	152,30	1,93	209,60



Tabela 14 - Planilha para seleção de componentes. Velocidade de 272 m/s do ar sugado, no bocal. Força de arrasto de 3,9 N exercida sobre o fruto.

Diâmetro [pol.]			Velocidade: [m/s]	Vazão: [m <sup>3</sup> /s]	Potência: [HP]
Bocal Sucção	Duto de Expansão	Mangote	Mangote	Fan	Motor
1	2 7/8 (2,875)	3	30,20	0,14	8,90
1	3 13/16 (3,8125)	4	17,00	0,14	7,00
1	4 3/4 (4,75)	5	10,90	0,14	5,30
1 1/4 (1,25)	2 7/8 (2,875)	3	47,20	0,22	16,50
1 1/4 (1,25)	3 13/16 (3,8125)	4	26,60	0,22	13,20
1 1/4 (1,25)	4 3/4 (4,75)	5	17,00	0,22	10,90
1 1/2 (1,5)	2 7/8 (2,875)	3	68,00	0,31	27,70
1 1/2 (1,5)	3 13/16 (3,8125)	4	38,30	0,31	21,60
1 1/2 (1,5)	4 3/4 (4,75)	5	24,50	0,31	18,40
1 3/4 (1,75)	2 7/8 (2,875)	3	92,60	0,42	44,50
1 3/4 (1,75)	3 13/16 (3,8125)	4	52,10	0,42	32,60
1 3/4 (1,75)	4 3/4 (4,75)	5	33,30	0,42	27,80
2	2 7/8 (2,875)	3	120,90	0,55	70,20
2	3 13/16 (3,8125)	4	68,00	0,55	47,10
2	4 3/4 (4,75)	5	43,50	0,55	39,60
2 1/4 (2,25)	2 7/8 (2,875)	3	153,00	0,70	109,60
2 1/4 (2,25)	3 13/16 (3,8125)	4	86,10	0,70	66,10
2 1/4 (2,25)	4 3/4 (4,75)	5	55,10	0,70	54,00
2 1/2 (2,5)	2 7/8 (2,875)	3	188,90	0,86	169,00
2 1/2 (2,5)	3 13/16 (3,8125)	4	106,30	0,86	91,40
2 1/2 (2,5)	4 3/4 (4,75)	5	68,00	0,86	71,60
2 3/4 (2,75)	2 7/8 (2,875)	3	228,60	1,04	259,40
2 3/4 (2,75)	3 13/16 (3,8125)	4	128,50	1,04	125,30
2 3/4 (2,75)	4 3/4 (4,75)	5	82,30	1,04	93,30
3	3 13/16 (3,8125)	4	153,00	1,24	170,90
3	4 3/4 (4,75)	5	97,90	1,24	120,00
3 1/4 (3,25)	3 13/16 (3,8125)	4	179,60	1,46	232,10
3 1/4 (3,25)	4 3/4 (4,75)	5	114,90	1,46	153,00
3 1/2 (3,5)	3 13/16 (3,8125)	4	208,30	1,69	314,10
3 1/2 (3,5)	4 3/4 (4,75)	5	133,30	1,69	194,00
3 3/4 (3,75)	3 13/16 (3,8125)	4	239,10	1,94	423,30
3 3/4 (3,75)	4 3/4 (4,75)	5	153,00	1,94	245,60
4	4 3/4 (4,75)	5	174,10	2,21	309,80



Tabela 15 - Planilha para seleção de componentes. Velocidade de 306 m/s do ar sugado, no bocal. Força de arrasto de 5,2 N exercida sobre o fruto.

Diâmetro [pol.]			Velocidade: [m/s]	Vazão: [m <sup>3</sup> /s]	Potência: [HP]
Bocal Sucção	Duto de Expansão	Mangote	Mangote	Fan	Motor
1	2 7/8 (2,875)	3	34,00	0,16	12,60
1	3 13/16 (3,8125)	4	19,10	0,16	9,80
1	4 3/4 (4,75)	5	12,20	0,16	7,50
1 1/4 (1,25)	2 7/8 (2,875)	3	53,10	0,24	23,30
1 1/4 (1,25)	3 13/16 (3,8125)	4	29,90	0,24	18,60
1 1/4 (1,25)	4 3/4 (4,75)	5	19,10	0,24	15,40
1 1/2 (1,5)	2 7/8 (2,875)	3	76,50	0,35	39,10
1 1/2 (1,5)	3 13/16 (3,8125)	4	43,00	0,35	30,40
1 1/2 (1,5)	4 3/4 (4,75)	5	27,50	0,35	25,90
1 3/4 (1,75)	2 7/8 (2,875)	3	104,10	0,47	62,90
1 3/4 (1,75)	3 13/16 (3,8125)	4	58,60	0,47	46,00
1 3/4 (1,75)	4 3/4 (4,75)	5	37,50	0,47	39,30
2	2 7/8 (2,875)	3	136,00	0,62	99,20
2	3 13/16 (3,8125)	4	76,50	0,62	66,50
2	4 3/4 (4,75)	5	49,00	0,62	55,80
2 1/4 (2,25)	2 7/8 (2,875)	3	175,10	0,78	155,00
2 1/4 (2,25)	3 13/16 (3,8125)	4	96,80	0,78	93,40
2 1/4 (2,25)	4 3/4 (4,75)	5	62,00	0,78	76,20
2 1/2 (2,5)	2 7/8 (2,875)	3	212,50	0,97	240,00
2 1/2 (2,5)	3 13/16 (3,8125)	4	119,50	0,97	130,00
2 1/2 (2,5)	4 3/4 (4,75)	5	76,50	0,97	101,10
2 3/4 (2,75)	2 7/8 (2,875)	3	257,10	1,17	366,00
2 3/4 (2,75)	3 13/16 (3,8125)	4	144,60	1,17	177,10
2 3/4 (2,75)	4 3/4 (4,75)	5	92,60	1,17	131,70
3	3 13/16 (3,8125)	4	172,10	1,40	241,50
3	4 3/4 (4,75)	5	110,20	1,40	169,00
3 1/4 (3,25)	3 13/16 (3,8125)	4	202,00	1,64	328,00
3 1/4 (3,25)	4 3/4 (4,75)	5	129,30	1,64	216,20
3 1/2 (3,5)	3 13/16 (3,8125)	4	234,30	1,90	444,00
3 1/2 (3,5)	4 3/4 (4,75)	5	149,90	1,90	274,50
3 3/4 (3,75)	3 13/16 (3,8125)	4	269,00	2,18	598,00
3 3/4 (3,75)	4 3/4 (4,75)	5	172,10	2,18	347,10
4	4 3/4 (4,75)	5	195,80	2,48	438,00



FIGURA 32 - Gráfico para seleção de componentes. Velocidade do ar sugado em 204 m/s no bocal.

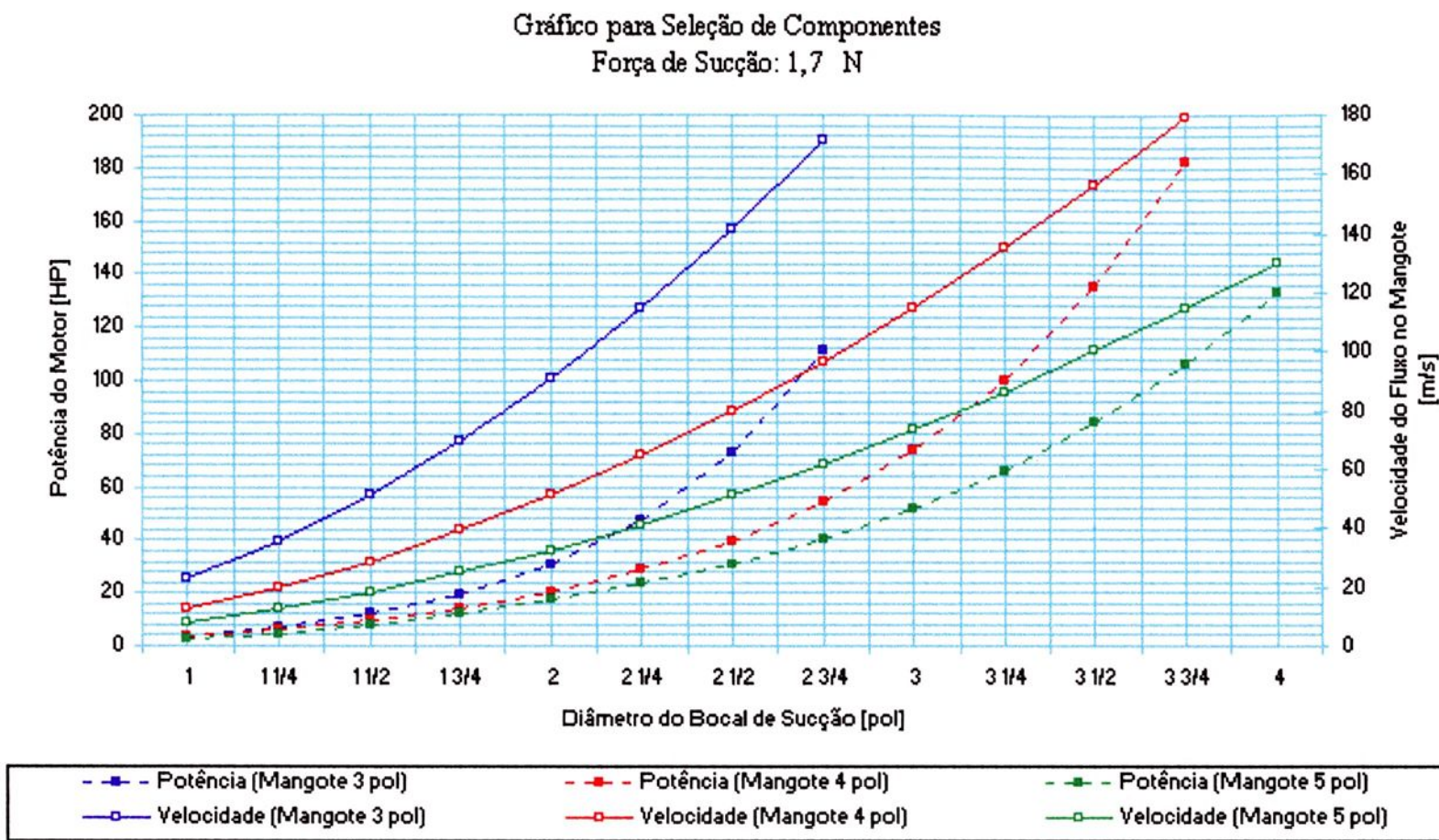


Gráfico para Seleção de Componentes  
Força de Sucção: 2,8 N

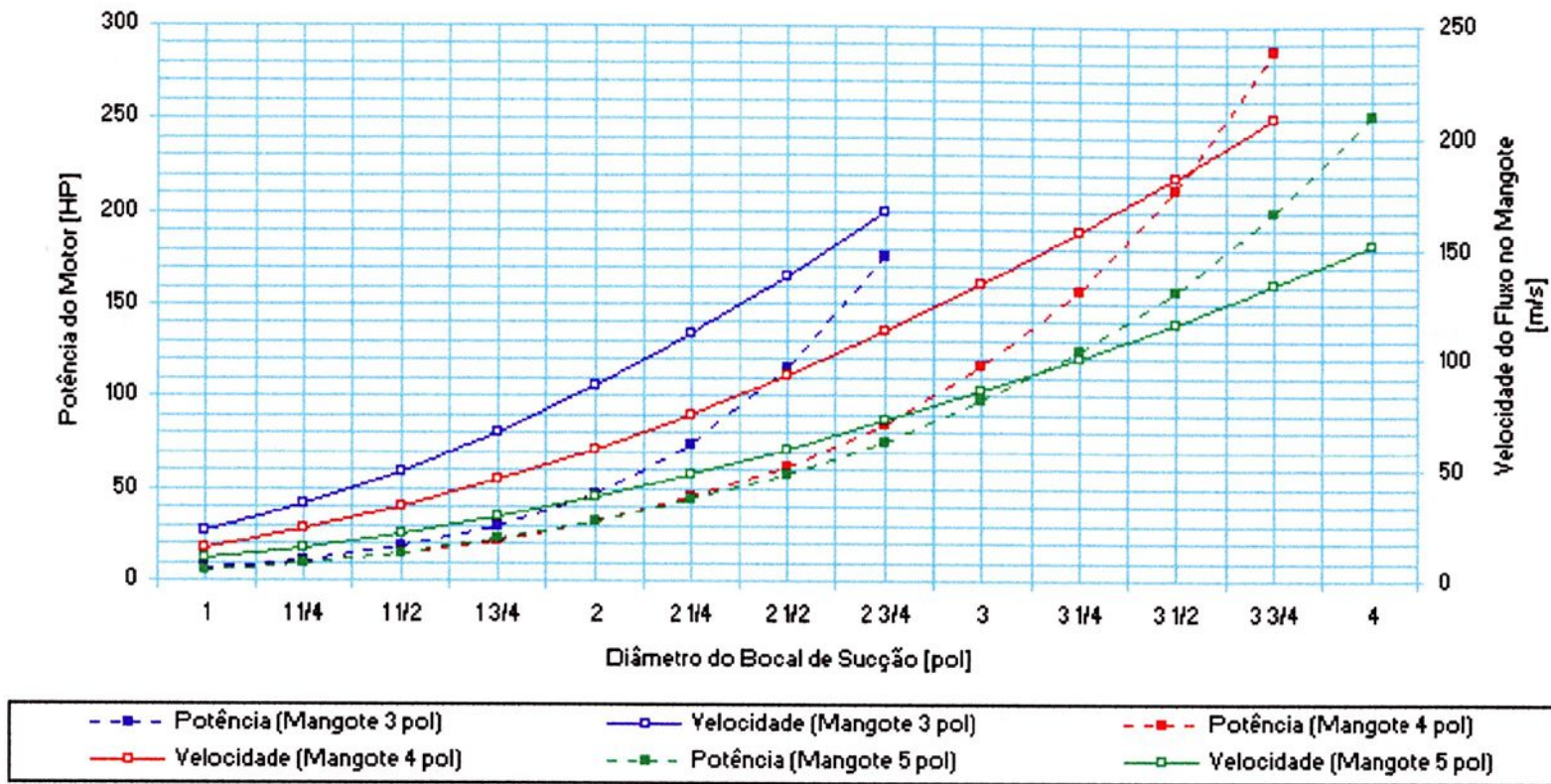


FIGURA 33 - Gráfico para seleção de componentes. Velocidade do ar sugado em 238 m/s no bocal.



FIGURA 34 - Gráfico para seleção de componentes. Velocidade do ar sugado em 272 m/s no bocal.

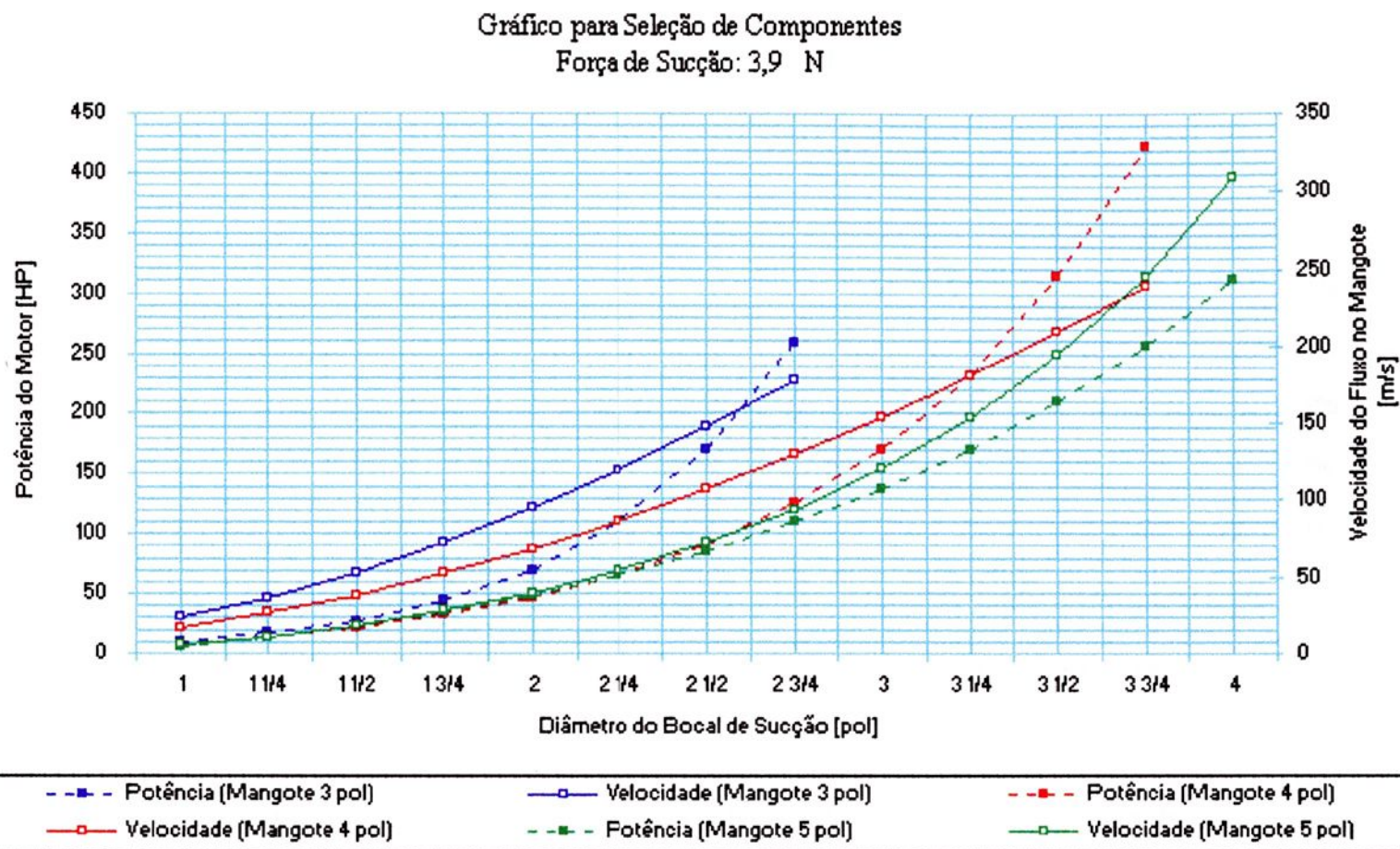


FIGURA 35 - Gráfico para seleção de componentes. Velocidade do ar sugado em 306 m/s no bocal.

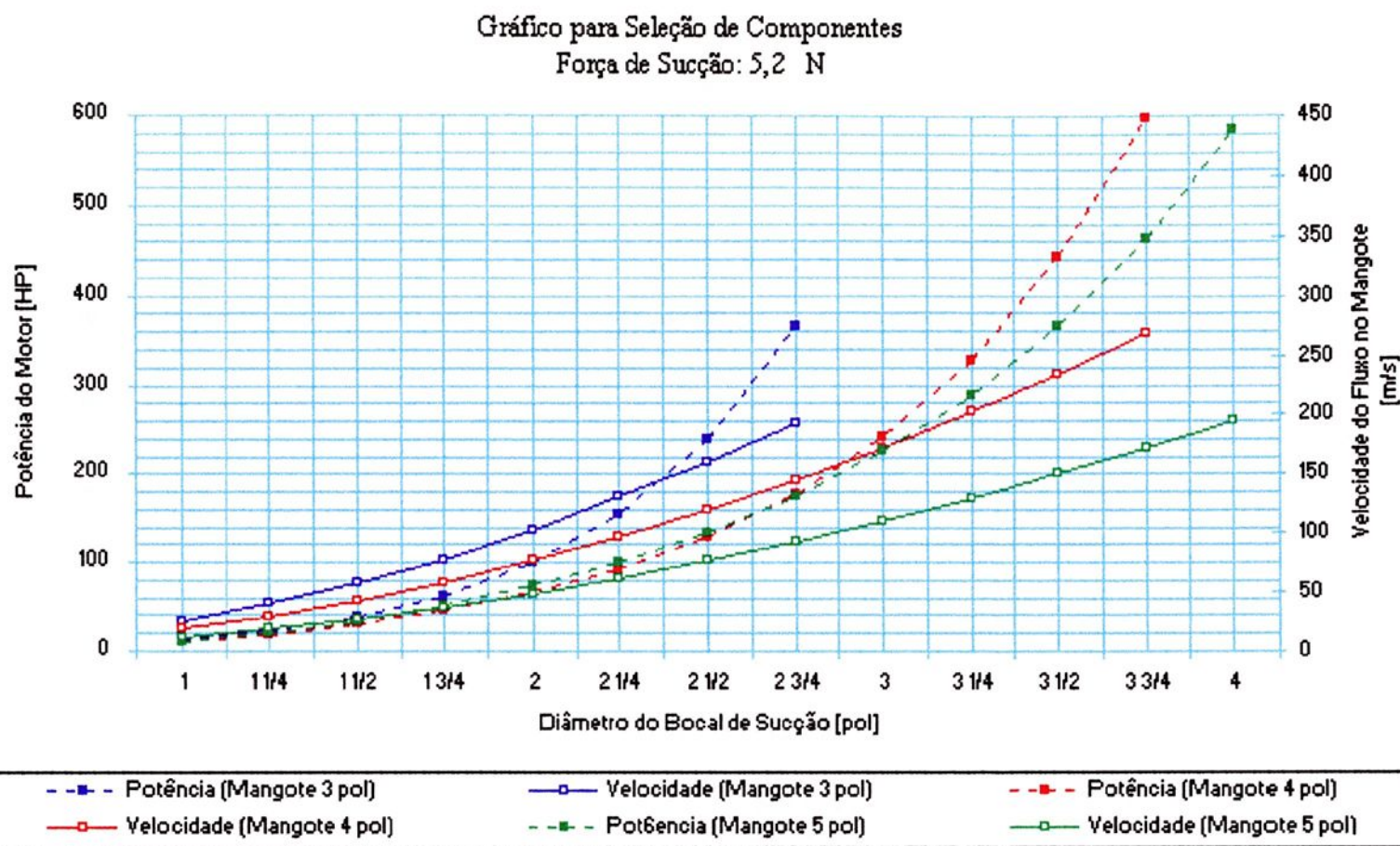
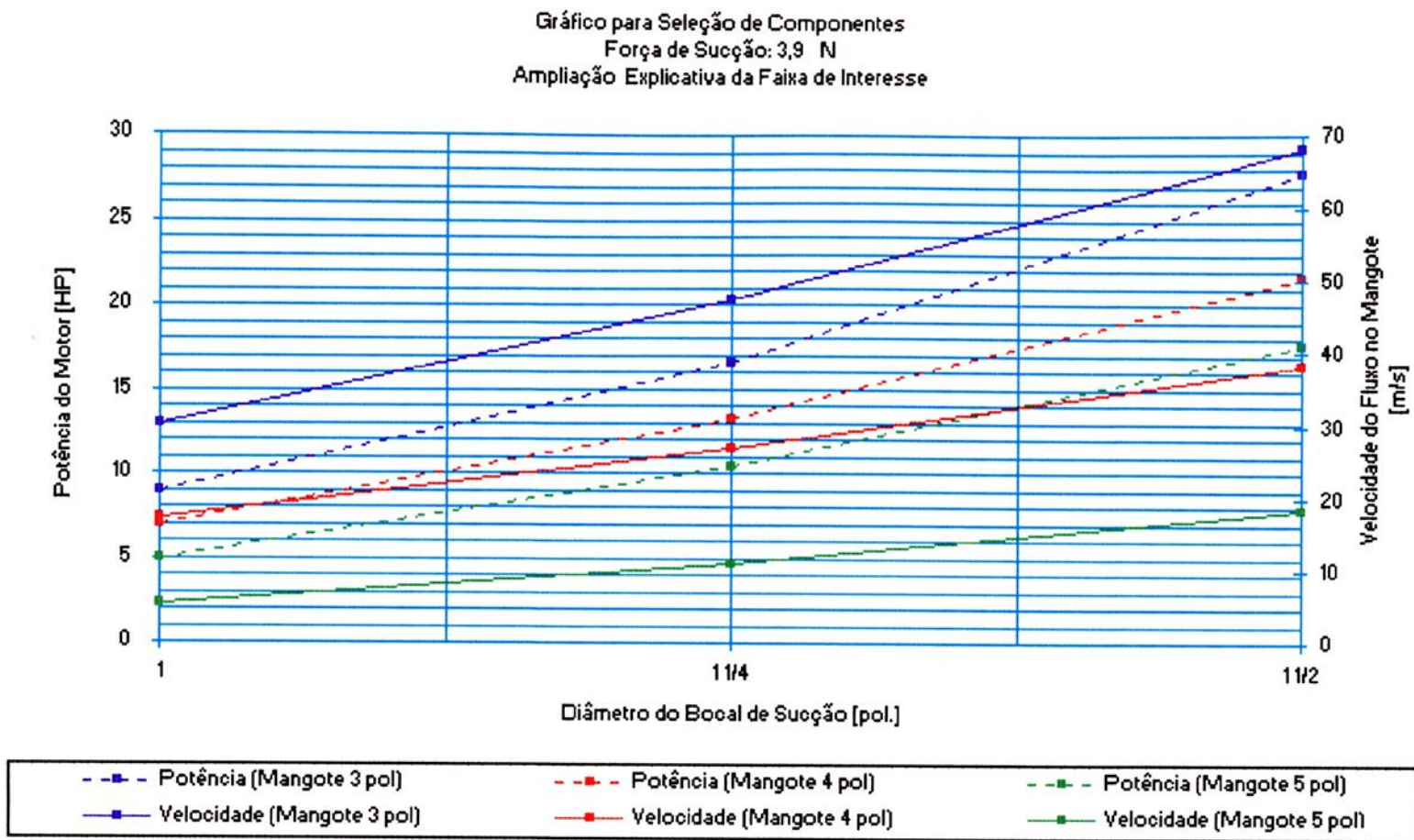


FIGURA 36 - Gráfico para seleção de componentes. Força de 3,9 N na sucção.  
Ampliação explicativa da faixa de interesse.



## 3.2. Protótipo

### 3.2.1. Redimensionamento do bocal de sucção

Concordando com os valores obtidos através do roteiro de cálculo, um protótipo foi construído para que o conceito fosse testado integral e diretamente em condições de campo. A construção do protótipo foi considerado como um fator indispensável para o equilibrado dimensionamento de uma máquina real, pois as incertezas envolvendo o relacionamento entre o fluxo gerado na sucção, e os aglomerados de frutos de um determinado ramo (cercados por aglomerados de outros ramos, e folhas), é elevado, impossibilitando um equacionamento físico/matemático preciso.

O modelo físico/matemático adotado inicialmente para o dimensionamento considerava somente os requisitos mínimos de operação, ou seja, considerava unicamente o esforço de se sugar um único fruto de café em condições ideais de proximidade do bocal.

### 3.2.2. Ensaio preliminares

Construído o protótipo, uma série de testes foi realizada com a finalidade de se encontrar outros parâmetros e condições de contorno que envolvessem não só o relacionamento entre o fluxo de sucção e os aglomerados de frutos, mas também entre o fluxo e as folhas e os ramos do cafeeiro.

Os primeiros testes envolvendo ramos reais de cafeeiros foram realizados com galhos cortados da planta, levados ao laboratório. Estes ramos, carregados de frutos ainda verdes de café, foram confrontados ao bocal de 21,5 mm. Verificou-se nesta ocasião que a velocidade do fluxo no bocal (275 m/s) poderia ter sido excessivamente alta uma vez que frutos verdes isolados foram arrancados de seus pedúnculos sem que o bocal estivesse necessariamente muito perto do fruto. Também as folhas receberam danos graves, partindo-se em tiras ou sendo arrancadas ao se aproximarem dos pontos de maior velocidade do fluxo.

Para diminuir a velocidade de admissão, aumentou-se o diâmetro do bocal para 48 mm. A velocidade média no bocal reduziu-se então para 55 m/s, quase um quinto do que se tinha anteriormente, o que atenuou a força de arrasto sobre a esfera hipotética de 13 mm.

Ao se testar novamente com ramos carregados de frutos verdes, esta velocidade de fluxo foi insuficiente para arrancar frutos verdes isolados, porém quando o bocal se aproximava dos aglomerados de frutos, alguns frutos surpreendentemente se desprenderam de seus pedúnculos e foram sugados. Isto se deve provavelmente à ocorrência do efeito de porosidade do meio. O fluxo, ao envolver o agregado de frutos, não exerce sobre cada fruto uma força de arrasto



individual e singular. A baixa velocidade do fluxo no espaço interior do conjunto faz com que o aglomerado inteiro comporte-se frente ao fluxo como um objeto único, maciço. O resultado disto é que alguns frutos na periferia sofrem força de arrasto diversa dos demais, e momentaneamente, muito mais elevada que o suportado por seus pedúnculos.

Também frente a este novo bocal sofreram danos as folhas, sendo algumas destas ainda rasgadas ao acercar-se dos pontos de maior velocidade do fluxo. Isto se deve principalmente a dois fatores:

- Algumas folhas se acercaram em demasia do bocal, obstruindo-o. Uma vez que o motor do aspirador tem um excesso de potência (pois foi idealizado para enfrentar uma perda de carga proporcional à antiga velocidade requerida de 275 m/s, de aproximadamente 2700 mm H<sub>2</sub>O, e a perda de carga proporcional à 55 m/s é de somente 325 mm H<sub>2</sub>O), este tem capacidade de enfrentar esta obstrução diminuindo abruptamente a pressão no interior do *plenum*. Isto faz carregar sobre esta obstrução um diferencial de pressão de no mínimo 2370 mm H<sub>2</sub>O, ocasionando assim o imediato colapso da superfície da folha.
- O valor de 55 m/s exprime a velocidade média do fluxo - equação (6) - e não a velocidade máxima deste mesmo fluxo. A equação (9), embora seja válida somente para movimentos permanentes em longos dutos retilíneos de seção constante, em pontos afastados da seção de entrada, pode assim mesmo fornecer uma idéia de quanto a velocidade máxima pode diferir da média. Seja: <sup>4</sup>

$$V = V_{máx} \times \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (9)$$

conforme apresentado na figura 37.

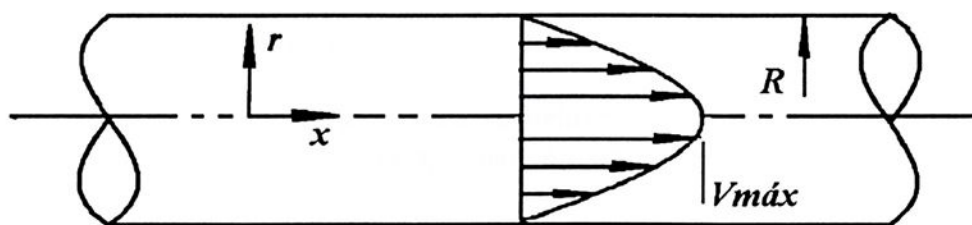


FIGURA 37 - Desenvolvimento de campo de velocidades em escoamento unidimensional. <sup>4</sup>

Tem-se: <sup>4</sup>

$$V_{méd} = \frac{2 \int_0^R V_{máx} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right]}{2R} \quad (10)$$

$$V_{méd} = \frac{2}{3} V_{máx} \quad (11)$$

Desenvolvendo a equação (10) tem-se a velocidade máxima em 50% maior que a velocidade média, equação (11). Para  $V_{méd}$  em 55 m/s, tem-se o valor aproximado de 83 m/s para a  $V_{máx}$ . Este valor não é o exato para este caso porém é suficiente para ilustrar de quanto a velocidade máxima pode atingir valores mais elevados que a velocidade média.

Porém, mesmo com as folhas apresentando eventualmente danos, decidiu-se manter a princípio o diâmetro do bocal em 48 mm, porque o aumento deste diâmetro acarretaria na diminuição excessiva da força de arrasto infringível ao fruto. Esta decisão foi tomada tendo por base que testes em folhas de galhos não cortados poderiam apresentar resultados diferentes dos obtidos com folhas advindas de ramos separados da planta, uma vez que a resistência estrutural das delicadas folhas do cafeeiro pode variar com a ausência de hidratação e nutrição contínuas advindas através do ramo. Além disto, considerou-se que um pequeno orifício aberto no *plenum* poderia resolver a questão de se diminuir a velocidade do fluxo de entrada sem obrigar a mudar constantemente o diâmetro do bocal. Esta abertura ou orifício agiria como uma segunda entrada de ar, dividindo o fluxo. As conseqüências principais seriam duas:

- Diminuição calculada do fluxo no bocal.
- No caso do bocal ser obstruído, esta abertura suplementar funcionaria como uma válvula de segurança, impedindo que a força total do motor recaia sobre a folha que estiver bloqueando a vazão de entrada.

### 3.2.3. Características gerais

Tendo sido considerados como definitivos todos os seus componentes, o protótipo foi considerado pronto e apto para a seqüência final de testes em condições de campo.

A máquina foi construída sobre um chassi de aço, composto de barras de perfil laminado em "U", de modo a garantir integridade ao sistema no seu transporte e operação, como mostram as figuras 38, 39, 40.



O bocal de aspiração e a expansão rígida foram fabricados como uma peça única, em folha de aço cortada, calandrada e soldada, com o ângulo de abertura do bocal de aproximadamente  $42^\circ$ . A literatura indica como comprimento ideal para o bocal o valor de 3 (três) vezes o menor diâmetro.<sup>2</sup> Porém, este comprimento de bocal afastaria em demasia os ramos e frutos do ponto de maior velocidade de fluxo, bem próximo ao menor diâmetro. Assim sendo, o bocal não apresenta as proporções ideais de comprimento, tais como as indicadas pela referência. Entretanto as medições realizadas indicam que o esperado aumento de perda de carga causado por este fato é irrelevante. A expansão rígida acompanha o ângulo requerido de  $3,5^\circ$  (figura 41).

Devido a questões construtivas, o mangote plástico e flexível de 4 polegadas adquirido tem comprimento de apenas 2 metros, e não 6 como pedido. A conexão entre o mangote e o *plenum* foi realizada através de tubo de PVC rígido também de diâmetro nominal de 4 polegadas, branco, internamente liso, projetado para aplicação em construção civil na área hidráulica. A conexão entre o *plenum* e o *fan* também realizada através de tubo em PVC do mesmo diâmetro, com exceção de pequeno trecho em que a ligação recebe uma redução de 4 para 2 polegadas (diâmetro nominal) para que se realize o encaixe entre o bocal do *fan* e o tubo advindo do *plenum*. Também devido a questões construtivas, as ligações realizadas por tubos de PVC incluíram 4 curvas de  $90^\circ$  não previstas inicialmente. Também neste caso o aumento de perda de carga foi considerado como irrelevante frente ao excesso de potência do motor (figuras 38, 39 e 40).

O *plenum*, montado a partir de um tambor plástico de 200 litros, foi reforçado internamente em aço para que resistisse a ação da pressão interna negativa. O sistema de ensacamento contínuo não foi implementado devido ao fato de que a finalidade deste estudo se restringe a determinar os parâmetros limitantes e condições de contorno que fundamentem a construção da colheitadeira real (figuras 38, 39 e 40).

Uma vez que o aparelho construído difere do projetado, recalculou-se as perdas de energia do sistema, com o objetivo de verificar-se de quanto as mudanças influíram no sistema. A planilha de cálculo e os resultados estão expostos na tabela 16. Observe-se que:

- Para efeito de cálculo considerou-se o número de curvas de  $90^\circ$  provável para o mangote, agora com somente 2 metros, como somente duas. A tubulação rígida de PVC e o mangote somam seu total de curvas em 6, portanto.
- O comprimento total do mangote e da tubulação rígida somam 5,9 m, e são considerados como uma única peça, para efeito de cálculo.
- O fator de perda na entrada do bocal é considerado como idêntico ao anterior.

Tabela 16 - Folha de cálculo do *Velocity Pressure Method* <sup>2</sup>, considerando os componentes selecionados.

1	Identificação do Segmento (figura 13)			a-b	b-c**	c-d	d-e	e-f
2	Fluxo Volumétrico		[pc/m]	212,3	212,3	212,3	212,3	212,3
3	Velocidade Mínima de Transporte		[p/m]	3500				
4	Diâmetro interno do Duto		[pol.]	1,89		3 13/16	4	
5	Área do Duto ( $\times 10^{-3}$ )		[pé <sup>2</sup> ]	19,48		79,28	87,27	
6	Velocidade Real no Duto (item 2 + item 5)		[p/m]	10900		2678	2433	
7	Pressão dinâmica (VP) no duto - equ.(8)		[pol. H <sub>2</sub> O]	7,31		0,441	0,364	
8	B	Área da câmara	[pé <sup>2</sup> ]					
9	O S	Velocidade na câmara	[p/m]					
10	C L	Pressão dinâmica VP na câmara	[pol. H <sub>2</sub> O]					
11	A O	Fator de perdas da câmara						
12	L T	Fator de aceleração (0 ou 1)						
13	S	Perdas <i>Plenum</i> por VP (item 11+12)						
14	*	SP no <i>Plenum</i> (item 10x13)	[pol. H <sub>2</sub> O]					
15	S	Fator perda na entrada do duto (figura 13)		0,06				
16	U	Fator de aceleração (1 ou 0)		1				
17	C	Perdas entrada duto por VP (item 15+16)		1,06				
18	Ç	Perdas de entrada no duto (item 7x17)		7,75				
19	A	Outras perdas	[pol. H <sub>2</sub> O]					
20	O	SP de bocal (item 14+18+19)	[pol. H <sub>2</sub> O]	7,75				
21	Comprimento de Duto Reto		[pés]	0	1,31	5,25	19,35	
22	Fator de fricção $H_f \times 10^{-3}$ ; - equ.(7), corrigido			134,6		75,0	71,2	
23	Perdas por fricção por VP (item 21x22)			0		0,394	1,379	
24	Número de curvas de 90 graus						6	
25	Perdas em curvas por VP						1,56	
26	Número de entradas							
27	Perdas entradas VP (item 26 x Fator de perda)							
28	Fatores de perdas por conexão							
29	Perdas no duto por VP (item 23+25+27+28)			0		0,407	2,98	
30	Perdas no duto (item 7x29)		[pol. H <sub>2</sub> O]	0		0,180	1,09	
31	Perdas duto em SP (item 20+30)		[pol. H <sub>2</sub> O]	7,75	-2,19	-0,180	1,09	6
32	Pressão estática SP acumulada		[pol. H <sub>2</sub> O]	-7,75	-5,56	-5,74	-6,83	-12,8
33	Pressão estática final		[pol. H <sub>2</sub> O]					
34	Fluxo volumétrico corrigido		[pc/m]					
35	Pressão dinâmica VP resultante		[pol. H <sub>2</sub> O]					

\* Pré-entrada: câmara de pré-entrada ou *Slots*; inexistente neste equacionamento

\*\* Trecho b-c: expansão. Equacionamento e cálculo em separado: ângulo de expansão de 3,5 graus, razão entre diâmetros aproximadamente 3,813 e fator de ganho R igual a 0,55.

$$VP = \left( \frac{V}{4005} \right)^2 \quad (8)$$



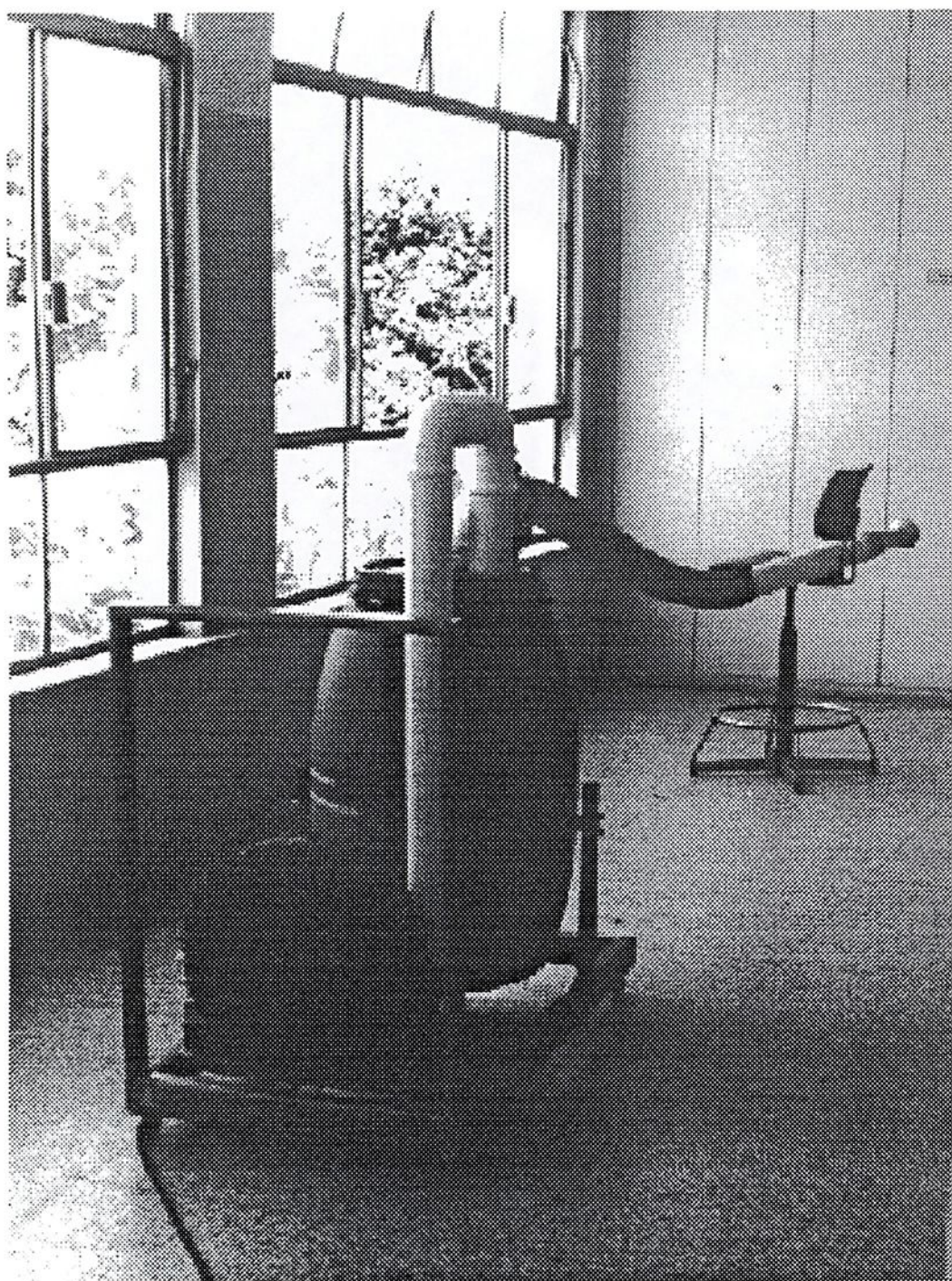


FIGURA 38 - Vista geral do protótipo, mostrando em primeiro plano o compressor.

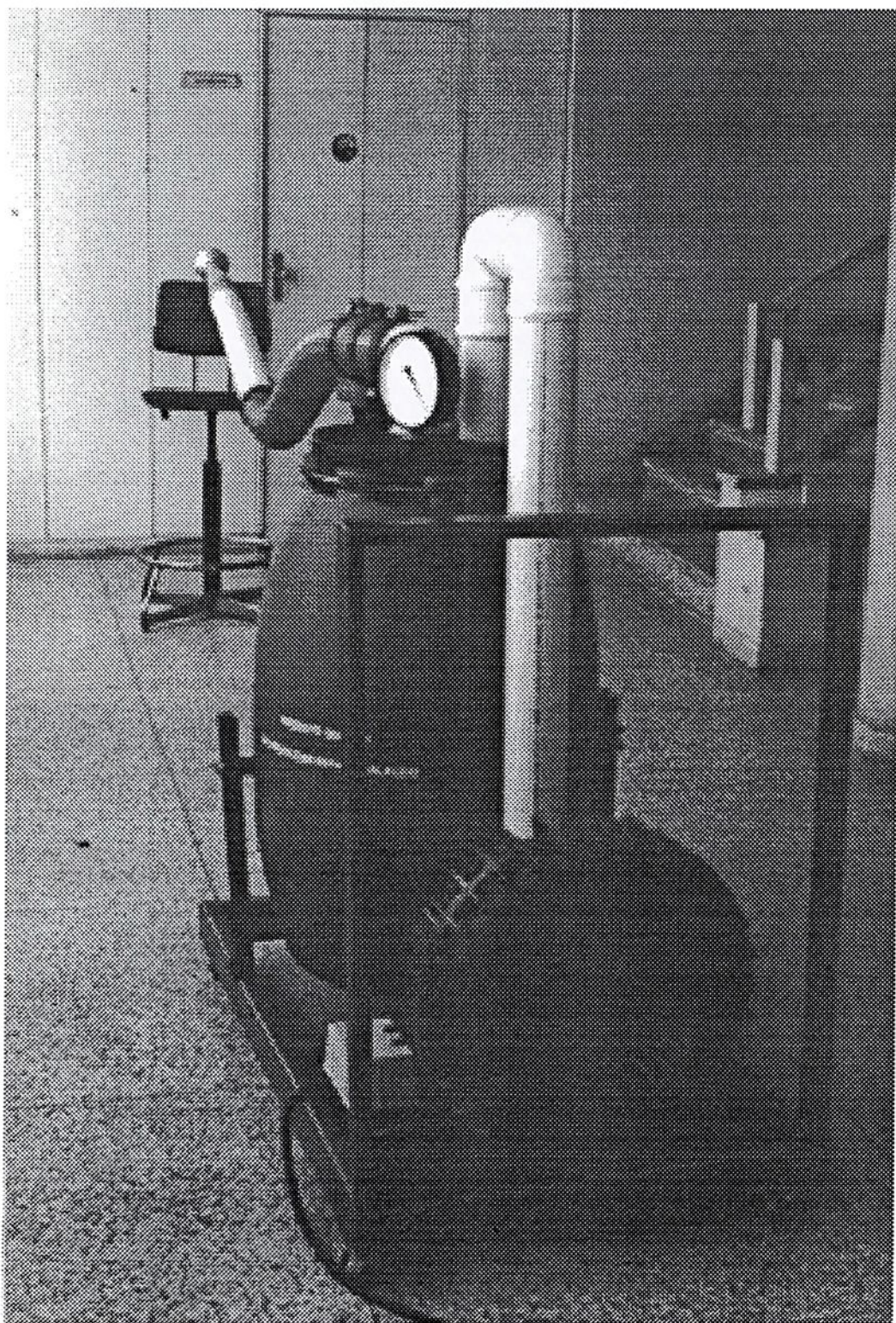


FIGURA 39 - Vista geral do protótipo mostrando em primeiro plano o compressor e comando do sistema elétrico.

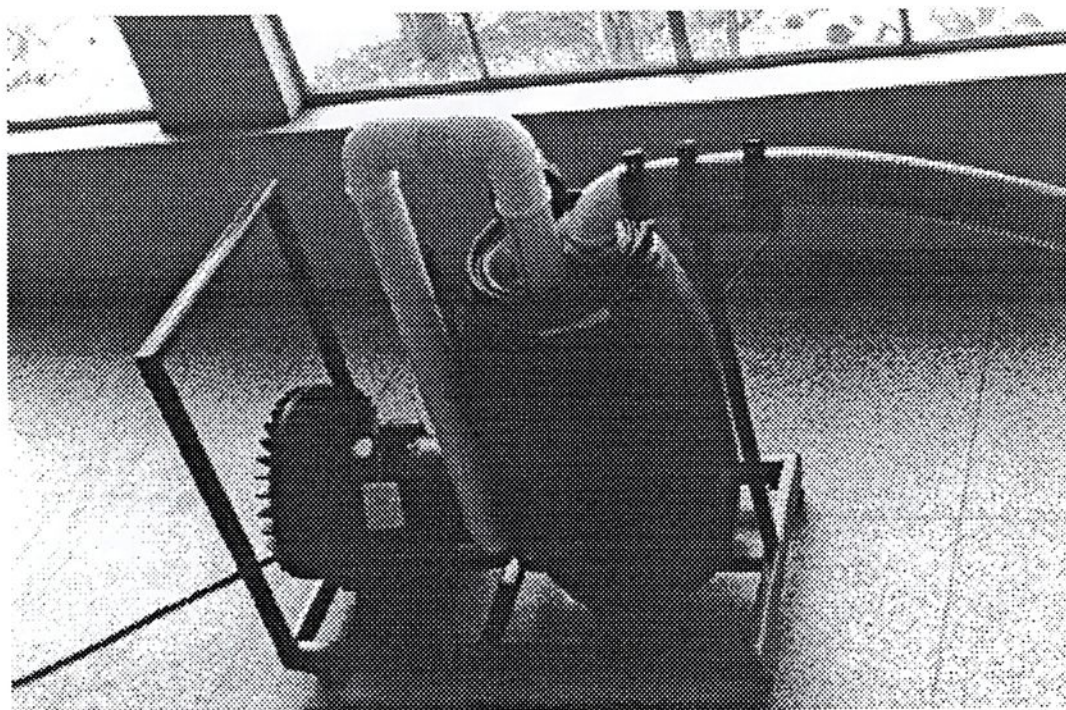


FIGURA 40 - Vista superior da disposição geral do sistema.

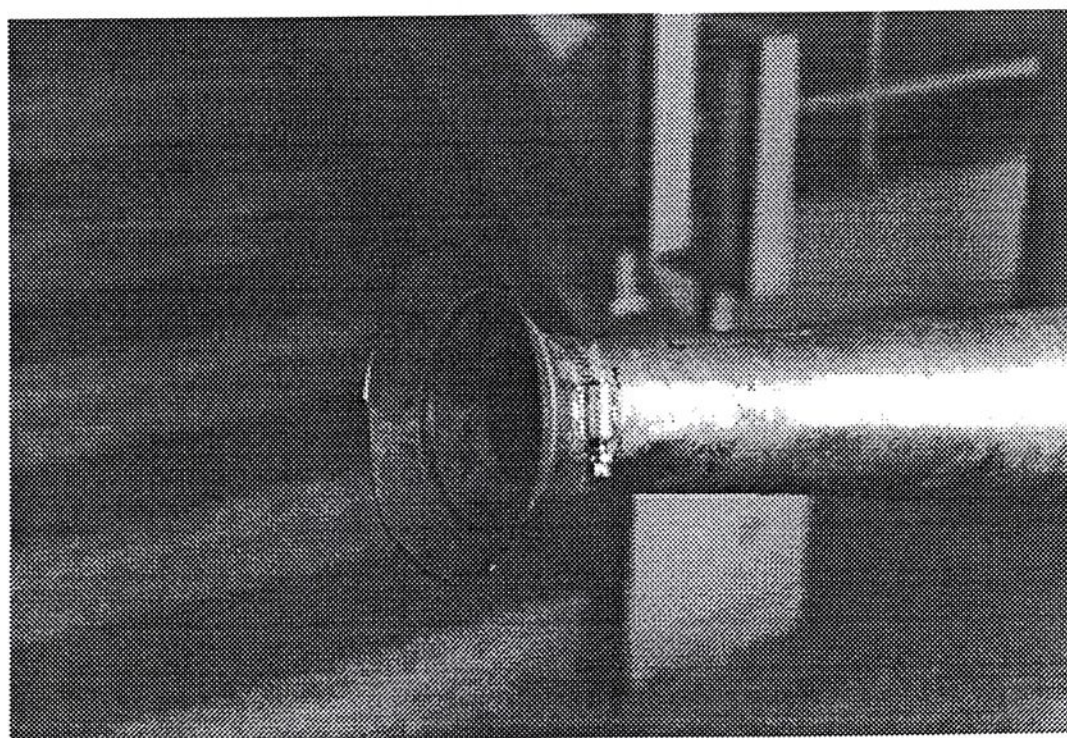


FIGURA 41 - Detalhe do bocal de sucção. Ângulo de entrada de  $42^\circ$

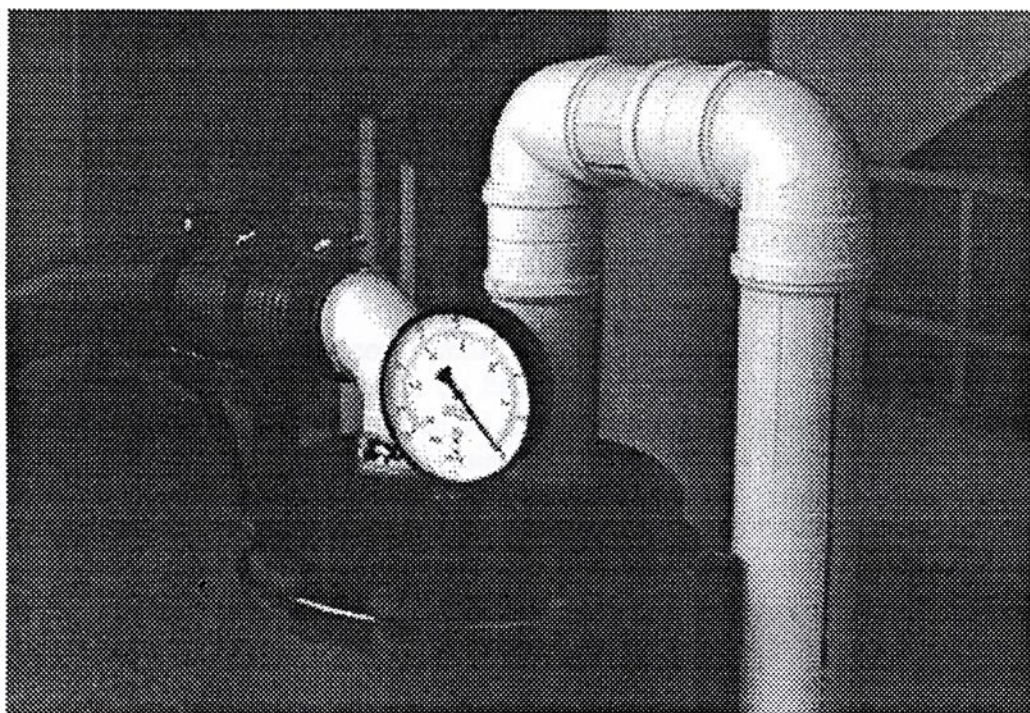


FIGURA 42 - Vista da montagem do sistema na área superior do tambor.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Testes de campo

Levado à campo para a série final de testes, o protótipo foi utilizado em cafeeiros carregados de frutos maduros.

Os primeiros testes com ramos carregados de frutos maduros foram realizados com o bocal de 48 mm, dotado de flange com ângulo de abertura em  $42^{\circ}$ , o qual induzia uma velocidade média de 55 m/s para o fluxo aspirado. Ao contrário do esperado, o chamado efeito de porosidade do meio não se revelou efetivo e os frutos maduros revelaram-se resistentes ao fluxo aspirado, mesmo quando o bocal aproximou-se de aglomerados de frutos.

Em virtude deste inesperado resultado inicial, concluiu-se que o bocal de 48 mm de diâmetro não induzira uma velocidade de fluxo aspirado compatível com a resistência oferecida por fruto maduros. Assim sendo, retornou-se ao bocal de 21,5 mm de diâmetro, e adaptou-se ao protótipo um sistema de recirculação do fluxo aspirado. Este sistema permitiu a variação deste mesmo fluxo, oferecendo assim um controle sobre a vazão e por conseguinte, da velocidade de admissão no bocal.

O protótipo foi então modificado de modo a permitir a variação, sob controle, da vazão do fluxo aspirado. Esta modificação consistiu da instalação de um sistema de retorno, sistema este que obriga a recirculação de uma determinada fração do fluxo de ar da exaustão. Observe-se a figura 43. O fluxo na saída do compressor, antes direcionado diretamente à atmosfera, encontra agora um tubo em "T". Este tubo ainda permite que parte do fluxo da exaustão seja enviado à atmosfera, porém na extremidade destinada como saída à atmosfera, encontra-se uma restrição com a função de elevar a perda de carga neste ponto e, por conseguinte, elevar a pressão interna no tubo. Na extremidade restante do tubo em "T", foi conectado uma tubulação, dotada de uma válvula esférica (globo), interligando esta extremidade do tubo em "T" com o *plenum*. Devido ao aumento da pressão na saída à atmosfera, uma fração do fluxo é desviada então para o *plenum* - fração esta que pode ser determinada através do ângulo de abertura da válvula. É evidente que a recirculação de parte do fluxo de escape do compressor faz com que se diminua a vazão do ar aspirado através do bocal.

Através de um tubo *pitot* conectado ao mangote, registrou-se de quanto a recirculação modificou a velocidade do ar admitido no sistema. A alavanca de comando da válvula foi posicionada em diferentes ângulos, e para cada ângulo anotada a correspondente modificação na velocidade de admissão. Testes então foram



conduzidos procurando verificar o comportamento dos frutos e das folhas do cafeeiro frente às diferentes faixas de velocidade do fluxo aspirado.

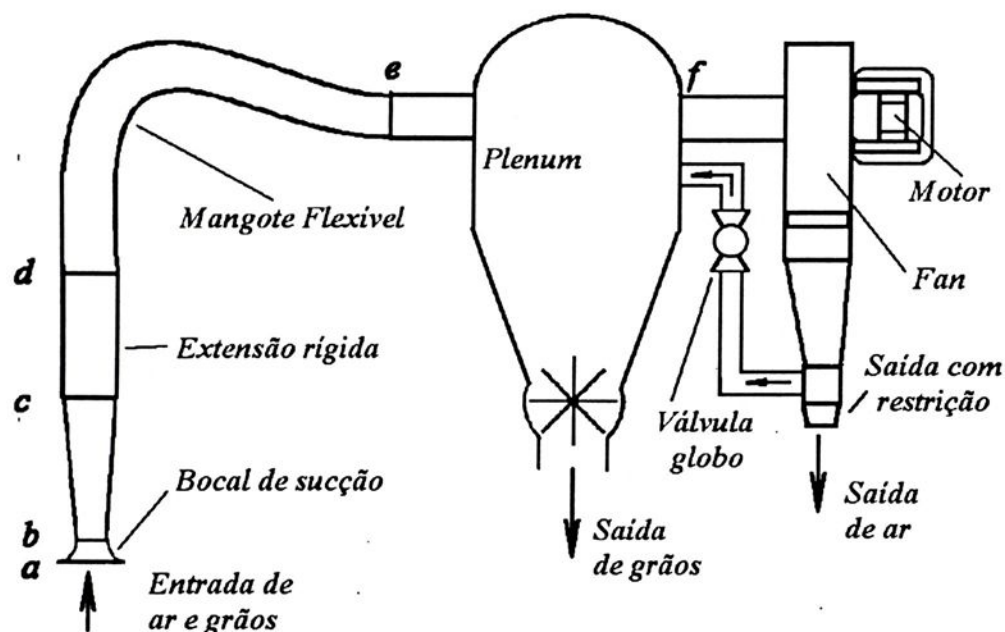


FIGURA 43 - Esquema do protótipo de colhedora, munido de tubulação e válvula para recirculação do fluxo aspirado.

## 5. DISCUSSÃO

Os testes realizados, procurando averiguar o comportamento dos frutos e das folhas do cafeeiro submetidos às diferentes faixas de velocidade do fluxo aspirado, evidenciaram os seguintes fatos:

- Com relação aos frutos, os cálculos baseados nas premissas originais revelaram-se corretos, indicando que as velocidades próximas a 272 m/s promovem o arrancamento imediato do fruto maduro. O processo de retirada dos frutos maduros se inicia a uma velocidade muito mais baixa, na faixa compreendida entre 30 e 40 m/s, na qual alguns frutos de cor carmim (vermelho escuro) são sugados se estiverem diretamente sobre o bocal e se este permanecer sobre o fruto por alguns segundos. O quadro pouco se altera até que se atinja a faixa de 90 a 100 m/s, quando alguns frutos de cor mais clara começam a serem também sugados. O grau de dificuldade com que isto ocorre é entretanto ainda muito grande. A partir de 140 m/s a sucção se revela um pouco mais eficiente, demandando um período de tempo bem mais curto para realizar o destacamento do fruto. Somente acima da faixa de 240 m/s a sucção apresenta resultados próximos ao desejado. Uma vez que o bocal se aproxime do fruto carmim ou avermelhado, ocorre apenas um breve espaço de tempo até que este seja sugado.
- Surpreendentemente, o chamado efeito da porosidade do meio, que prometia um incremento na capacidade do equipamento, revelou-se pouco útil. A sucção de frutos isolados ou em aglomerados não manifestou diferenças relevantes.
- A entrada do bocal, dotada de flange inclinada à 42°, revelou-se um estorvo, impedindo a aproximação do ramo do cafeeiro do ponto de maior velocidade do fluxo. Após algumas tentativas não bem sucedidas de aproximação, esta entrada foi extirpada do sistema. Isto certamente aumentou a perda de carga no sistema, mas como havia claramente um excesso de potência, não se notou qualquer mudança significativa no desempenho geral da máquina.
- As folhas se revelaram um fator limitante mais importante. As folhas mais velhas, de cor mais escura ou com manchas amareladas começaram a apresentar danos devido ao fluxo aspirado quando este atingiu a faixa de velocidades compreendida entre 30 a 40 m/s. Já em 40 m/s o fluxo iniciou a rasgar levemente as folhas mais novas. Em 50 m/s qualquer tipo de folha passou a sofrer graves danos, mesmo com a passagem rápida do bocal. Em

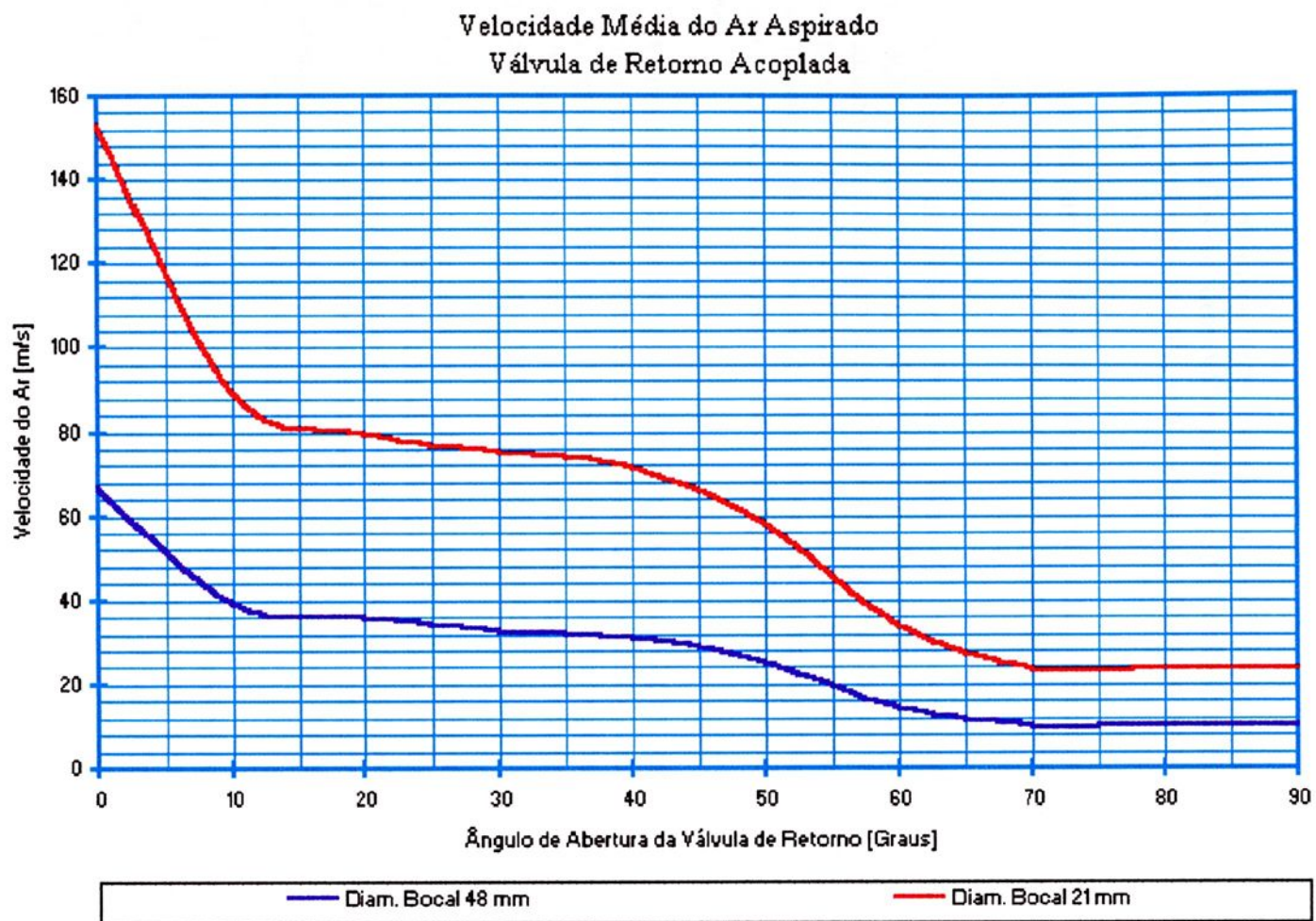
velocidades acima de 60 m/s, as folhas apresentaram total dilaceração e até mesmo arrancamento, se a passagem do bocal fosse mais lenta.

- É importante observar que, ao contrário do que foi pressuposto, os danos nas folhas não são originários tão somente do fato destas se acercarem em demasia do bocal, obstruindo-o. Tal como explanado anteriormente, acreditou-se inicialmente que, uma vez que o motor do aspirador tem um excesso de potência, este teria a capacidade de enfrentar esta obstrução diminuindo abruptamente a pressão no interior do *plenum*. Isto faria carregar sobre esta obstrução um elevado diferencial de pressão, ocasionando assim o colapso da superfície da folha. O que se verificou é que mesmo estando a folha não obstruindo o bocal, e sim disposta longitudinalmente a frente deste, esta folha sofria danos devido ao fluxo. Isto indica que a superfície da folha pode entrar em colapso devido também aos diferenciais de pressão induzidos pela turbulência no bocal. A principal consequência deste fato é que não adiantaria aumentar o diâmetro do bocal para evitar que as folhas obstruíssem o fluxo e, assim, se impedir a ocorrência de danos à estas. A simples sujeição destas ao fluxo seria suficiente para imprimir o estrago.

Na figura 44 observa-se a relação entre o ângulo de abertura da válvula de retorno e a velocidade do fluxo correspondente. É necessário observar que mesmo com a válvula de retorno fechada, a velocidade do bocal não atinge a alcançada de quando o sistema não se encontrava instalado. Isto porque a tubulação estreita (e com restrição) na saída impõe elevada perda de carga no sistema. É importante também notar que as curvas estão longe de serem lineares ou mesmo apresentar um caráter exponencial ou quadrático simples. Isto porque a medida que a válvula se movia, o formato geométrico da passagem que se abria não se modificava de modo linear. Também a posição da passagem mudava, iniciando junto à parede do tubo - ponto de menor velocidade do fluxo - até abranger toda a seção deste.



FIGURA 44 - Gráfico da velocidade média do ar aspirado em função do ângulo de abertura da válvula de retorno.



## 6. CONCLUSÃO

Os principais objetivos deste trabalho, a identificação e quantificação dos parâmetros necessários ao desenvolvimento de uma colhedora portátil e simples, específica para a colheita do café, que atuasse por meio de sucção aerodinâmica, foram alcançados.

A modelagem físico-matemática utilizada mostrou-se apropriada, determinando corretamente a velocidade ideal de fluxo para a eficiente sucção dos frutos de café.

A utilização do *Velocity Pressure Method*<sup>2</sup> revelou-se apropriada para a determinação da perda de carga do sistema, muito embora seja um método muito mais adequado para problemas de ventilação para a remoção de gases e partículas suspensas em ambientes confinados. Processos de sucção envolvendo partículas do peso e diâmetro do fruto de café, e velocidades próximas à supersônica em dutos de pequeno diâmetro, são condições extremamente próximas ao limite de emprego deste método.

A construção do protótipo revelou-se imprescindível para verificar a exatidão dos valores calculados para todos os parâmetros envolvidos, pois o número de variáveis aleatórias envolvendo o relacionamento entre o fluxo gerado na sucção, as folhas e os aglomerados de frutos de um determinado ramo (cercados por sua vez por aglomerados de frutos de outros ramos e folhas) é elevado.

É interessante notar que o custo da construção do protótipo não ultrapassou o montante de US\$2.200. Mesmo considerando que o custo de uma máquina de série possa ser mais alto, devido aos custos de produção, acessórios e sofisticções, ainda assim seria pertinente observar este valor como um indicativo de que este equipamento de série pode ter um preço acessível a qualquer classe de agricultor, o que concorda com os objetivos iniciais.

Por outro lado, a metodologia usada para o dimensionamento desta colhedora de frutos de café pode ser empregada para o dimensionamento de outras máquinas, específicas para diferentes objetivos, tais como outros frutos, fibras (como as da paineira - *Chorisia speciosa*) ou até mesmo folhas e flores de interesse comercial. Para o aprofundamento deste estudo, portanto, sugere-se a investigação destas possibilidades, se possível com a construção de um protótipo de características similares à de uma máquina de série. Isto permitiria a comparação realista do desempenho operacional deste sistema com outros processos de colheita, mecanizados ou não.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BATISTELA SOBRINHO, I., MATIELLO, J. B. *Efeito da Colheita Mecânica, em Longo Prazo, sobre a Produtividade do Café Conilon*. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 15. , 1989, Maringá. *Resumos*. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1989. p 207-8
- 2 COMMITTEE ON INDUSTRIAL VENTILATION OF AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice*. 20.ed. Cincinnati, Ohio, USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., 1988.
- 3 FIGUEIREDO, J.P. et al. *Adaptação da Lavoura Cafeeira à Colheita Mecânica*. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 8. , 1980, Araxá, MG. *Resumos*. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1980. p 328 - 32.
- 4 FOX, R. W., MCDONALD, A. T. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988.
- 5 *Guia Rural Plantar*: Enciclopédia Prática da Agricultura Brasileira. 1.ed. São Paulo: Editora Abril, 1991.
- 6 *Guia Rural Teste Colheita de Café*: Suplemento da Revista Guia Rural de Janeiro de 1991. 1.ed. São Paulo: Editora Abril, 1991.
- 7 HONDA, A. I. et al. *Colheita Mecânica do Café: Efeito do Estágio de Maturação dos Frutos e Considerações de Ordem Prática*. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 7., 1979, Araxá, MG. *Resumos*. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1979. p 280 - 4.
- 8 HONDA, A. I. et al. *Eficiência da Colheita Mecânica nas Variedades Mundo Novo e Catuai em Diferentes Condições de Lavoura*. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 7., 1979, Araxá, MG. *Resumos*. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1979. p 267 - 72.
- 9 MACINTYRE, A. J. *Ventilação Industrial e Controle da Poluição*. 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988.
- 10 MIALHE, L. G. *Máquinas Motoras na Agricultura*. 1.ed. São Paulo: EPU Editora da Universidade de São Paulo, 1980, v.1.
- 11 ORTIZ-CAÑAVATE, J., ALTISENT, M. R., MARTOS, J. L. H. *Las Maquinas Agrícolas y su Aplicación*. 3.ed. Madri, Espanha: Ediciones Mundi-Prensa, 1987.
- 12 PROVENZA, F. *Projetista de Máquinas*. 71.ed. São Paulo: Editora Francesco Provenza, 1994.
- 13 SCHLICHTING, H. *Boundary Layer Theory*: McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering. 6.ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Company, 1968.
- 14 SOCIÉTÉ ENCYCLOPÉDIQUE UNIVERSELLE *Enciclopédia Delta Larousse*. 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Delta S.A., 1962



- 15 SOCIÉTÉ ENCYCLOPÉDIQUE UNIVERSELLE *Grande Enciclopédia Larousse Cultural*, 22.ed. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1989.
- 16 WATSON, A. G., SCUDDER, R., MARMO, P.A. *Eficiência do Derrçador e Recolhedor nas Variedades Catuai e Mundo Novo no Estado de São Paulo*. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 7., 1979, Araxá, MG. *Resumos*. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1979. p 7 - 10.



## ANEXOS

Fatores de conversão de unidades inglesas em unidades do Sistema Internacional.\*

Unidade Inglesa:	Abreviatura:	Fator de conversão:
pés cúbicos/minuto	pc/m	1 pc/m = 0,000471 m <sup>3</sup> /s
pés/minuto	p/m	1 p/m = 0,00508 m/s
polegadas	pol.	1 pol. = 0,0254 m
polegadas de coluna d'água	pol. H <sub>2</sub> O	1 pol. H <sub>2</sub> O = 0,2491 kPa
pés ao quadrado	pé <sup>2</sup>	1 pé <sup>2</sup> = 0,0929 m <sup>2</sup>
pés ao quadrado	pé <sup>2</sup>	1 pé <sup>2</sup> = 144 pol <sup>2</sup> .
pés	pés	1 pé = 0,3048 m
horsepower	HP	1 HP = 0,746 kW

---

\* Baseado em:

SHIGLEY, J. E. *Elementos de Máquinas*. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984, v.1.

COMMITTEE ON INDUSTRIAL VENTILATION OF AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice*. 20.ed. Cincinnati, Ohio, USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., 1988.



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

## RESUMO

Este trabalho teve como principal objetivo a avaliação dos parâmetros necessários ao desenvolvimento de uma colhedora simples e portátil, específica para a colheita do café (*Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre), que atuasse por meio de sucção aerodinâmica. A avaliação dos parâmetros foi realizada mediante modelagem físico-matemática do problema, dimensionamento e construção de um protótipo, com o qual realizaram-se testes em campo, no período de colheita da safra do café. Os resultados mostraram que os frutos de café necessitam de velocidades de fluxo próximas a 270 m/s para sua eficiente sucção, e que as folhas do cafeeiro são danificadas quando a velocidade de fluxo na sucção alcançam a faixa próxima a 60 m/s. Estes resultados nos permitiram concluir que: a) Os principais objetivos deste trabalho, a identificação e quantificação dos parâmetros necessários ao desenvolvimento de uma colhedora portátil de café, que funcionasse por meio de sucção aerodinâmica, foram alcançados; b) o modelo físico/matemático proposto revelou-se apropriado, antevendo o valor da velocidade de fluxo necessária para a sucção eficiente do fruto; c) a metodologia usada para o dimensionamento desta colhedora de frutos de café pode ser empregada para o dimensionamento de outras máquinas, específicas para diferentes objetivos, tais como outros frutos, fibras (como as da paineira - *Chorisia speciosa*) ou até mesmo folhas e flores de interesse comercial.

Palavras Chaves: Máquinas agrícolas, Café, Cafeicultura, Colhedora de café.

PORTO, F. S. A. *Development of portable coffee grain harvester machine by aerodynamic suction*. Guaratinguetá, 1996. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

## ABSTRACT

The present work has like main objective the necessary parameters evaluation to development of simple and portable coffee (*Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre) harvester machine by aerodynamic suction. The parameters evaluation was did by means of problem physical-mathematical model elaboration, prototype design and assembly, which was field tested at coffee harvest time. The results showed the coffee grains need flow velocity near 270 m/s for efficient suction, and the leafs are injured close by 60 m/s flow velocity band. These results permit the follow conclusions: a) the main objective, the harvest machine project parameters identification and quantification, was successfully performed; b) the proposed physical-mathematical model was appropriated, anticipating the velocity flow value necessary for efficient coffee grain suction; c) the methodology used at this study can be adopted in others harvest machines project development process, with distinct target objectives, like different fruits, fibres (such as *Chorisia speciosa* fibres), leafs, or flowers with commercial value.

Keywords: Agricultural machines, Coffee, Coffee cultivation, Harvest machine, Coffee harvest machine.



## GLOSSÁRIO \*

*Abanação*: Operação mecânica pela qual se separa a palha, folhas e outras impurezas dos frutos do café.

*Acha*: Peça de madeira tosca, apropriado para a fogueira ou fogão à lenha.

*Arapuca*: Armadilha para apanhar pássaros pequenos, formada de pauzinhos cada vez mais curtos, dispostos em forma piramidal; urupuca.

*Artículo*: Entenô bem delimitado do caule, i.e., parte distinta compreendida entre as articulações. Porção destacável de um fruto articulado (artículo).

*Beneficiar*: Submeter (produtos agrícolas) a processos destinados a dar-lhes condições de serem consumidos, como, por exemplo, descascar cereais, descaroçar algodão, etc.

*Cafeeiro*: Arbusto da família das rubiáceas (*Coffea arabica*), originário da Arábia e muito cultivado no Brasil para obtenção das sementes que fornecem o pó aromático chamado café. Folhas opostas, elípticas, membranáceas e glabras; flores pequenas, alvas, perfumadas e reunidas em glomérulos; frutos drupáceos, vermelhos, com 1 a 1,5 cm de diâmetro, os quais encerram duas sementes esverdeadas que, depois de secas, são torradas e moídas, fornecendo o pó, que é produto comercial. Cafezeiro.

*Cafezal*: Quantidade mais ou menos considerável de cafeeiros dispostos proximamente entre si. Plantação de cafeeiros; cafeiral.

*Caldear*: Amalgamar; misturar.

*Capina*: Ato ou efeito de capinar; mondadura, sacha; capinação, carpa, carpição. Capinar: limpar (as plantas, uma plantação, um terreno) de capim ou de qualquer erva má que entre elas ou nele cresce; mondar, sachar.

---

\* Baseado em

FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1986.

OXFORD AT THE CLARENDON PRESS *The Concise Oxford Dictionary of Current English*. 5.ed. Londres, Inglaterra: Oxford University Press, 1972.



*Carreador*: Caminho de carro, no campo. Trilha, vereda, picada. Passagem livre deixada nos cafezais (carreadouro).

*Cavaleiro*: “A cavaleiro”; em lugar eminente, sobranceiro; por cima. “A cavaleiro de”; sobranceiro a; em posição elevada em relação a.

*Coletó*: Porção intermediária entre o caule e a raiz, nas plantas lenhosas.

*Cômputo*: contagem

*Coriáceo*: De consistência semelhante à do couro. Semelhante ao couro, ou que o lembra.

*Cova*: Abertura na terra: escavação, buraco. Abertura que se faz na terra para plantar um vegetal ou lançar uma semente.

*Cultivar*: Dar condições para o nascimento e desenvolvimento de (planta), exercer a agricultura. Designação comum às variedades de plantas obtidas por meio de cultivo.

*Curva de nível*: Linha paralela ao plano do horizonte.

*Debulhadora*: Máquina de debulhar cereais (debulhar: extrair os grãos ou sementes de; esbagoar; tirar a pele ou casca de; descascar).

*Defensivo*: Produto químico utilizado no combate e prevenção de pragas agrícolas; agrotóxico, defensivo agrícola.

*Desbrota*: Corte de brotos das plantas.

*Despolpador*: Aquele que despolpa, aparelho ou instrumento para despolpar o grão de café (despolpar: tirar a polpa).

*Enfolhamento*: Ato ou efeito de enfolhar (enfolhar: criar folhas; cobrir-se ou revestir-se de folhas).

*Enleitado*: Bem assente.

*Eqüino*: Pertencente ou relativo ao cavalo; cavalariço.

*Ergonômico*: Relativo à ergonomia (ergonomia: conjunto de estudos que visam à organização metódica do trabalho em função do fim proposto e das relações entre o homem e a máquina).

*Fan*: aparato rotativo capaz de fornecer ar ou gases de forma contínua e sob pressão.



*Hectare*: Unidade de medida agrária, equivalente a 10.000 metros quadrados. Símbolo: ha.

*Híbrido*: Originário do cruzamento de espécies diferentes; animal ou vegetal híbrido.

*Humoso*: Que tem humo (humo: produto da decomposição parcial dos restos vegetais que se acumulam no chão florestal, aos quais se juntam restos animais em menor escala. Em razão de suas propriedades coloidais, tem grande importância na constituição do solo, onde é a fonte de matéria orgânica para a nutrição vegetal. Favorece a estrutura do solo e retém água energicamente.)

*Intercalar*: Que se intercala, que se acha intercalado. Misturar-se; entremear-se.

*Internódio*: Intervalo entre dois artigos ou entre dois nós do caule das plantas (entrenó).

*Lanceolado*: Cujo feitio é semelhante ao da lança; lanceolar (hastiforme).

*Lineano*: Relativo a Lineu (Carl von Linné), naturalista e médico sueco (1707-1778), ou ao sistema de classificação taxionômica dos seres vivos baseado em caracteres morfológicos e com nomenclatura binomial, por ele estabelecidos. Diz-se da espécie classificada segundo o sistema lineano.

*Mangote*: Mangueira curta.

*Muar*: Animal mamífero, da ordem dos perissodáctilos, resultante do cruzamento de jumento com égua, ou de cavalo com jumenta. É, pois, animal híbrido, estéril, do mesmo gênero de *Equus*, i. e., do cavalo (*Equus caballus* L.) e do jumento (*Equus asinus* L.). Mu, besta, burro.

*Mucilagem*: Designação comum a compostos viscosos produzidos por plantas.

*Palmeta*: De formato semelhante a uma palma, cunha ou palmilha.

*Plenum*: recipiente ou equipamento preenchido continuamente por gases, através de ventilação forçada, ou aspiração.

*Podar*: Corte de ramos das plantas; desbaste, podadura.

*Polpa*: A parte carnosa dos frutos, raízes, etc.



*Progênie*: 1. Origem, procedência, ascendência. 2. Geração, prole (progenitura).

*Repasse*: A última operação de colheita ou catação de frutos do cafeeiro na plantação, seja para evitar perdas, seja como profilaxia, em especial contra a broca-do-café.

*Ripado*: Pavilhão (de ripas) usado como viveiro de plantas.

*Rusticidade*: Qualidade de rústico (rústico: diz-se da planta, do jardim, do pomar, que nascem por si sós, ou que crescem à vontade, sem requerer nenhum cuidado especial). Rusticaria, rustiquez, rustiqueza.

*Saia*: Ramos secundários ou inferiores dos cafeeiros.

*Tulha*: Celeiro.

*Volante*: Que se pode mudar facilmente; móvel. Passageiro, transitório, efêmero.



Autorizo a reprodução deste trabalho

Guaratinguetá, 30 de julho de 1996

FERNANDO SILVA DE ARAÚJO PORTO





unesp

