



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ROBERTO NUNES MAIA**

**MÁQUINAS SEMEADORAS PNEUMÁTICAS: CONFECÇÃO DE VÁCUO-  
COMPRESSOR PARA ACIONAR DOSADORES DE SEMENTES**

**FORTALEZA**

**2022**

ROBERTO NUNES MAIA

MÁQUINAS SEMEADORAS PNEUMÁTICAS: CONFECÇÃO DE VÁCUO-  
COMPRESSOR PARA ACIONAR DOSADORES DE SEMENTES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M188m Maia, Roberto Nunes.

Máquinas semeadoras pneumáticas: confecção de vácuo-compressor para acionar dosadores de sementes. / Roberto Nunes Maia. – 2022.  
83 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva .

Coorientação: Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli.

1. semeadora pneumática. 2. vácuo. 3. ar comprimido. 4. potência consumida. I. Título.

CDD 630

---

ROBERTO NUNES MAIA

MÁQUINAS SEMEADORAS PNEUMÁTICAS: CONFECÇÃO DE VÁCUO-  
COMPRESSOR PARA ACIONAR DOSADORES DE SEMENTES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: 24/08/2022

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti  
Universidade Estadual de São Paulo (UNESP)

---

Prof. Dr. Luís de França Camboim Neto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

## AGRADECIMENTOS

Ao Deus Todo-Poderoso, pela vida com saúde, aos dons tecnológicos, à família e aos amigos. Também, a ensinar que "o coração do entendido adquire o conhecimento, e o ouvido dos sábios busca a sabedoria" (PV 18:15) e que cada obstáculo se torne uma oportunidade de aprendizado profissional e pessoal;

À Universidade Federal do Ceará – UFC. Ao Departamento de Engenharia Agrícola – DENA. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA e a todos os professores, pelos ensinamentos compartilhados e pela dedicação.

Ao Orientador Prof. Dr. Alexsandro Oliveira e Silva e ao Coorientador Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli, pelo suporte em situações de decisão, entendendo as dificuldades e contribuindo para a conclusão do trabalho.

Ao Prof. Dr. Luis de França Camboim Neto e ao Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva, pela gentileza de aceitarem fazer parte da Banca Examinadora com contribuições inestimáveis.

Aos colegas da Pós-Graduação: Elivânia, Natália, Evinaldo, Paulo Ricardo, Jean Lucas, Viviane, Walison, Márcio Porfírio, Isabella, Cássia, Marcelo Queiroz, José Diniz, Wagner, Luis Gonzaga, Neisvaldo, que sempre estavam dispostos e motivados em compartilhar seus conhecimentos em sala de aula.

Aos servidores: Maurício, Ivna, Ana, Jacob, Sandoval e De Leon, por todo auxílio e dedicação durante esta etapa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Campus Limoeiro do Norte, em nome da Direção Geral, Coordenações de Cursos, Técnicos Administrativos e terceirizados, pelo apoio e colaboração.

Aos Professores do IFCE, em especial a João Medeiros Tavares Júnior, a José Façanha Gadelha, a Raimundo Ivan Remígio Silva, a Wyllame Carlos Gondim, à Arilene Franklin Chaves e a Alessandro Marques Maia, que de maneira honrosa, parcimoniosa e inteligente, acreditaram num Projeto inovador.

Aos amigos(a): Gerson Ribeiro, Daniel Campelo, José Viana, Liebert, Neurideny e Evanilda que sempre estiveram apoiando e auxiliando quando necessário.

Enfim, agradeço a **todos** que de uma forma direta ou indireta estabeleceram ligação em alguma etapa deste trabalho importante, nesta etapa da minha vida, que nunca me deixaram desanimar, sempre me incentivando e estimulando-me a aperfeiçoar mais ainda este invento.

## RESUMO

A modernização em equipamentos desenvolvidos para agricultura é fator fundamental para aumentar a produção de grãos. As semeadoras são de grande importância para o aumento da produtividade sendo necessário desenvolver equipamentos capazes de produzir vácuo e ar comprimido. Portanto, objetivou-se desenvolver um vácuo-compressor e três cabeçotes com especificações peculiares e depois realizado a comparação entre estes, levando em consideração as principais variáveis envolvidas no processo de semeadura. O trabalho foi desenvolvido no laboratório de máquinas térmicas do Instituto Federal do Ceará – IFCE, Campus de Limoeiro do Norte-CE. Os dados coletados são provenientes de 15 (quinze) faixas de rotações (140, 240, 340, 440, 540, 640, 740, 840, 940, 1040, 1140, 1240, 1340, 1440 e 1540 rpm), com cinco repetições cada. Foram coletados dados das seguintes variáveis: rotação do virabrequim, velocidade do ar, pressão negativa (vácuo), pressão positiva (ar comprimido) e corrente elétrica (amperagem). Todas as versões de cabeçotes (CV1, CV2 e CV3) produziram vácuo necessário para executar a atividade de semeadura da cultivar feijão. O CV1 a 1.540 rpm desloca 2.028 litros de ar por minuto na sucção, podendo acionar três linhas de semeaduras com consumo de energia de 6,51 CV. Com a mesma rotação o CV2 desloca 1.142 litros de ar por minuto na sucção e 781 litros no recalque, com consumo de energia de 6,44 CV. O CV2, experimento 4, com rotação de 140 rpm, pressão de sucção (vácuo) fixado em 26,67 KPa, vazão de recalque de 100 litros de ar por minuto e consumo de energia de 3,96 CV. Observando somente a intensidade de produção de vácuo o equipamento acionaria 11 linhas de semeaduras. A 940 rpm, o CV3 produz pressão de sucção (vácuo) 3,71 KPa, com consumo de energia de 1,28 CV, proporcionando 2,90 KPa de vácuo por cada CV. Vale ressaltar que o equipamento vácuo-compressor foi acionado com motor elétrico de 5,5 KW (7,5 CV) em bancada de laboratório e que para atividade da semeadura o mesmo será acionado pela TDP do trator, tendo assim, uma larga margem de disponibilidade de potência para acionamento. Como o bloco do vácuo-compressor é bastante robusto, permite que em operação de semeadura, a rotação do virabrequim alcance valores triplicados dos que foram ensaiados, ademais, se versões de cabeçotes forem confeccionadas utilizando comandos eletrônicos para executarem a abertura e fechamento das válvulas e sucção e recalque, a eficiência será aumentada.

**Palavras-chave:** semeadora pneumática; vácuo; ar comprimido; potência consumida.

## ABSTRACT

The modernization of equipment developed for agriculture is a fundamental factor to increase grain production. Seeders are of great importance for increasing productivity and it is necessary to develop equipment capable of producing vacuum and compressed air. Therefore, the objective was to develop a vacuum-compressor and three heads with peculiar specifications and then compare them, taking into account the main variables involved in the sowing process. The work was developed in the laboratory of thermal machines of the Federal Institute of Ceará - IFCE, Campus de Limoeiro do Norte-CE. The data collected come from 15 (fifteen) speed ranges (140, 240, 340, 440, 540, 640, 740, 840, 940, 1040, 1140, 1240, 1340, 1440 and 1540 rpm), with five repetitions each. Data were collected on the following variables: crankshaft rotation, air speed, negative pressure (vacuum), positive pressure (compressed air) and electric current (amperage). All versions of heads (CV1, CV2 and CV3) produced the necessary vacuum to perform the sowing activity of the bean cultivar. The CV1 at 1,540 rpm displaces 2,028 liters of air per minute in the suction, being able to drive three seeding lines with energy consumption of 6.51 CV. With the same rotation, the CV2 displaces 1,142 liters of air per minute in the suction and 781 liters in the discharge, with an energy consumption of 6.44 CV. CV2, experiment 4, with rotation of 140 rpm, suction pressure (vacuum) set at 26.67 KPa, discharge flow of 100 liters of air per minute and energy consumption of 3.96 CV. Observing only the intensity of vacuum production, the equipment would trigger 11 sowing lines. At 940 rpm, the CV3 produces a suction pressure (vacuum) of 3.71 KPa, with an energy consumption of 1.28 CV, providing 2.90 KPa of vacuum for each CV. It is worth mentioning that the vacuum-compressor equipment was activated with an electric motor of 5.5 KW (7.5 CV) on a laboratory bench and that for sowing activity it will be activated by the tractor TDP, thus having a wide margin of power availability for drive. As the vacuum-compressor block is quite robust, it allows that in seeding operation, the crankshaft rotation reaches values tripled of those that were tested, in addition, if versions of heads are made using electronic commands to perform the opening and closing of the valves and suction and discharge, the efficiency will be increased.

**Keywords:** pneumatic seeder; vacuum; compressed air; consumed power.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Composição básica de um sistema de vácuo.....	20
Figura 2	- Classificação dos níveis de vácuo.....	22
Figura 3	- Classificação das bombas de vácuo.....	23
Figura 4	- Tipos de medidores de pressão pela propriedade física.....	26
Figura 5	- Esquema do vacuômetro de Bourdon.....	27
Figura 6	- Vacuômetro de Tubo em “U”.....	27
Figura 7	- Classificação dos compressores.....	29
Figura 8	- Semeadora pneumática.....	31
Figura 9	- Classificação das semeadoras quanto às suas características funcionais .....	32
Figura 10	- Dosador pneumático.....	36
Figura 11	- Fluxograma do projeto.....	39
Figura 12	- Bancada para realização dos experimentos.....	42
Figura 13	- Vista superior cabeçote versão 1.....	44
Figura 14	- Dados CV1, experimento 1: diferenças entre vazões, percentual e potência consumida.....	50
Figura 15	- Dados CV1, experimento 2: diferenças entre vazões, percentual e potência consumida .....	54
Figura 16	- Dados CV1, experimento 2: velocidade do ar no dosador, produção de vácuo e potência consumida.....	54
Figura 17	- Vista superior cabeçote versão 2.....	55
Figura 18	- Dados CV2, experimento3: diferença entre vazão teórica (VT), vazão real de sucção (VRS) e vazão real de recalque (VRR), percentual e potência consumida (CV).....	58
Figura 19	- Dados CV2, experimento3: velocidade de ar no dosador, produção de vácuo e potência consumida.....	59
Figura 20	- Dados CV2, experimento 4: diferença entre vazões, percentual e potência consumida.....	61
Figura 21	- Dados CV2, experimento 4: velocidade de ar no dosador, produção de vácuo e potência consumida.....	62

Figura 22	- Dados CV2, experimento 5: diferenças entre vazões, percentual e potência consumida.....	63
Figura 23	- Vista superior cabeçote versão 3 (CV3) .....	64
Figura 24	- Dados CV3, experimento 6: produção de vácuo e potência consumida.....	68
Figura 25	- Dados CV3, experimento 7: potência total consumida para produzir vácuo e ar comprimido.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Materiais utilizados para confecção do cabeçote versão 1.....	45
Tabela 2	-	Dados coletados CV1, experimento 1.....	50
Tabela 3	-	Materiais utilizados na linha de sucção (vácuo).....	51
Tabela 4	-	Dados coletados CV1, experimento 2.....	53
Tabela 5	-	Materiais utilizados para confecção do cabeçote versão 2.....	55
Tabela 6	-	Dados coletados CV2, experimento 3.....	58
Tabela 7	-	Dados coletados CV2, experimento 4.....	60
Tabela 8	-	Dados coletados CV2, experimento 5.....	63
Tabela 9	-	Materiais utilizados para confecção do cabeçote versão 3.....	64
Tabela 10	-	Dados coletados CV3, experimento 6.....	67
Tabela 11	-	Dados coletados CV3, experimento 7.....	69
Tabela 12	-	Dados da vazão em relação ao consumo de energia ( $Lmin^{-1}/CV$ ) .....	71
Tabela 13	-	Dados da velocidade do ar no dosador de sementes em relação ao consumo de energia ( $ms^{-1}/CV$ ) .....	72
Tabela 14	-	Dados da produção de vácuo em relação ao consumo de energia ( $KPa/CV$ ) .	73
Tabela 15	-	Utilizada para coletar dados em bancada de laboratório .....	74

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
<b>3.1</b>	<b>Concepção da ideia inicial</b> .....	17
<b>3.2</b>	<b>Potência requerida das semeadoras pneumáticas</b> .....	18
<b>3.3</b>	<b>Determinação da pressão negativa teórica</b> .....	18
<b>3.4</b>	<b>Tecnologia do vácuo</b> .....	18
<b>3.4.1</b>	<i>Breve histórico sobre a produção do vácuo</i> .....	19
<b>3.4.2</b>	<i>Conceito básico da tecnologia do vácuo</i> .....	20
<b>3.4.3</b>	<i>Faixas de pressão</i> .....	21
<b>3.5</b>	<b>Bombas de vácuo</b> .....	23
<b>3.6</b>	<b>Tipos de bombas de vácuo</b> .....	24
<b>3.6.1</b>	<i>Bomba de vácuo de deslocamento positivo alternativo</i> .....	24
<b>3.6.2</b>	<i>Bomba de vácuo de pistão</i> .....	25
<b>3.7</b>	<b>Medidores de vácuo</b> .....	25
<b>3.7.1</b>	<i>Medidor de vácuo de Bourdon</i> .....	26
<b>3.7.2</b>	<i>Medidor de vácuo do Tipo “U”</i> .....	27
<b>3.8</b>	<b>Compressores alternativos</b> .....	28
<b>3.9</b>	<b>Semeadoras</b> .....	30
<b>3.10</b>	<b>Mecanismos de distribuição de sementes</b> .....	33
<b>3.11</b>	<b>Dosadores de sementes pneumáticos</b> .....	36
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	39
<b>4.1</b>	<b>Escolha da semente para ser utilizada nos experimentos</b> .....	39
<b>4.2</b>	<b>Desenvolvimento do projeto</b> .....	39
<b>4.2.1</b>	<i>Planejamento</i> .....	40
<b>4.2.1.1</b>	<i>Material utilizado</i> .....	40
<b>4.2.1.2</b>	<i>Utilização de materiais de reuso (bloco e compressor)</i> .....	40
<b>4.2.1.2.1</b>	Bloco do motor.....	41
<b>4.2.1.2.2</b>	Compressor.....	41

4.2.1.2.3	Dosador de sementes.....	41
4.2.1.2.4	Suporte do bloco do motor e motor elétrico.....	42
<b>4.2.2</b>	<b><i>Dimensionamento dos cabeçotes</i></b> .....	<b>43</b>
<b>4.2.3</b>	<b><i>Confecção dos cabeçotes</i></b> .....	<b>44</b>
4.2.3.1	<i>Confecção do cabeçote versão 1 (CV1)</i> .....	44
4.2.3.1.1	Etapas do processo de fabricação do CV1.....	45
4.2.3.1.2	Dinâmica de funcionamento do CV1.....	46
4.2.3.1.3	Procedimento em bancada de ensaio.....	47
4.2.3.1.4	Coleta de dados.....	48
4.2.3.1.5	Experimento 1.....	49
4.2.3.1.6	Experimento 2.....	51
4.2.3.1.7	Procedimento em bancada de ensaio.....	51
4.2.3.1.8	Coleta de dados.....	52
4.2.3.2	<i>Confecção do cabeçote versão 2 (CV2)</i> .....	55
4.2.3.2.1	Etapas do processo de fabricação do CV2.....	56
4.2.3.2.2	Dinâmica de funcionamento.....	57
4.2.3.2.3	Procedimento em bancada de ensaio.....	57
4.2.3.2.4	Coleta de dados.....	57
4.2.3.2.5	Experimento 3.....	57
4.2.3.2.6	Experimento 4.....	60
4.2.3.2.7	Experimento 5.....	62
4.2.3.3	<i>Confecção do cabeçote versão 3 (CV3)</i> .....	64
4.2.3.3.1	Etapas do processo de fabricação do CV3.....	65
4.2.3.3.2	Dinâmica de funcionamento.....	66
4.2.3.3.3	Procedimento em bancada de ensaio.....	66
4.2.3.3.4	Coleta de dados.....	66
4.2.3.3.5	Experimento 6.....	67
4.2.3.3.6	Experimento 7.....	68
4.2.3.4	<i>Análise estatística dos dados</i> .....	70
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>71</b>
<b>5.1</b>	<b>Comparação das principais variáveis entre cabeçotes</b> .....	<b>71</b>

5.1.1	<i>Vazão real de sucção (VRS): volume de ar deslocado pelas linhas de sucção e recalque em (<math>m^3s^{-1}</math>) e (<math>Lmin^{-1}</math>) em relação a um CV potência consumida.....</i>	71
5.1.2	<i>Velocidade do ar: velocidade do ar deslocado no interior do dosador de sementes em (<math>ms^{-1}</math>) .....</i>	72
5.1.3	<i>Produção de vácuo: pressão negativa da linha de sucção em (KPa).....</i>	73
6	<b>CONCLUSÃO.....</b>	75
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	76
	<b>ANEXO A - DEPÓSITO PATENTE VÁCUO-COMPRESSOR DE PISTÃO ALTERNATIVO BR 102017007572-9 A2 .....</b>	82

## 1 INTRODUÇÃO

Para a modernização da agricultura é fundamental investir em novas tecnologias para suprir as exigências do mercado. Com esse propósito, embarcar novas tecnologias em máquinas e implementos vêm demonstrando resultados satisfatórios em muitas áreas.

Ao longo da história, o setor da agricultura no Brasil passou por diversos ciclos e transformações, indo desde a economia canavieira, pautada principalmente na produção de cana-de-açúcar durante o período colonial, até as recentes transformações e expansão do café e da soja. Atualmente, essas transformações ainda ocorrem, sobretudo garantindo um ritmo de sequência às transformações técnicas ocorridas a partir do século XX, como a mecanização da produção e a modernização das atividades (PENA, 2021).

Ainda seguindo mesmo autor, a atividade do setor agrícola é uma das mais importantes da economia do Brasil, embora represente em torno de 5% do Produto Interno Bruto (PIB) do país na atualidade, é responsável por quase R\$100 bilhões em volume de exportações em conjunto com a pecuária, segundo dados da Secretaria de Relações Internacionais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SRI/MAPA). A produção agrícola no Brasil, portanto, é uma das principais responsáveis pelos valores da balança comercial do país.

A mecanização dos processos agrícolas, ocorrida nos últimos anos, foi um dos fatores que mais contribuiu para o aumento da produção de grãos. As máquinas semeadoras são de grande importância para o sucesso no estabelecimento de uma cultura, por isso é indispensável o uso correto dos equipamentos agrícolas para que haja o aumento da produtividade. Esses equipamentos apresentam sistemas dosadores que liberam as sementes de forma espaçadas umas das outras, dentro da linha de semeadura, com distâncias preliminarmente definidas, resultando na diminuição do quantitativo de sementes utilizadas por hectare.

Conforme Reis (2003), o pleno funcionamento das semeadoras é afetado por quatro tipos de erros: dosagem, deposição, profundidade e acondicionamento. Os principais fatores que afetam os erros de dosagem são: características das sementes, relação de tamanho e de forma entre as células e as sementes, desempenho e desgaste de mecanismos auxiliares e velocidade do componente rotativo. No que se refere à deposição das sementes, a precisão é afetada pela altura do dosador, configuração do tubo condutor, velocidade da semente e forma de deposição (natural ou forçada).

Para os dosadores pneumáticos, Reis, Forcellini e Ramos (2006) afirmam que há dois parâmetros de projeto particularmente importantes: o diâmetro do orifício pneumático e o diferencial de pressão empregado. Ambos estão diretamente ligados à velocidade e ao volume de ar que passa pelo orifício e, conseqüentemente, às forças que irão captar e transportar as sementes.

Atualmente, pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de projetar semeadoras mais eficientes para realizar o processo de semeio que busca promover maior precisão no posicionamento das sementes no solo.

Para atender a demanda tecnológica requerida pelo mercado no aperfeiçoamento de semeadoras pneumáticas, será necessário desenvolver equipamentos capazes de produzir vácuo e ar comprimido.

Assim sendo, o trabalho consistiu em confeccionar um vácuo-compressor acionado pela tomada de força do trator (TDP), onde o vácuo vai proporcionar a sustentação das sementes nos orifícios do disco dosador e o ar comprimido através de motor pneumático rotacionar o eixo do referido dosador, ambos existentes no mercado (dosador de sementes e motor pneumático).

Diante do exposto, foi confeccionado também três cabeçotes com especificações peculiares a cada um e depois realizado comparação entre estes e das principais variáveis envolvidas no processo de distribuição de sementes em semeadoras pneumáticas.

Surge a seguinte hipótese: o equipamento idealizado será capaz de atender a demanda das semeadoras pneumáticas com a produção de vácuo e ar comprimido?

## **2 OBJETIVOS**

Os objetivos serão apresentados de maneira geral e específica.

### **2.1 Objetivo geral**

Confeccionar um vácuo-compressor para acionar dosadores de sementes em máquinas semeadoras pneumáticas, utilizando material descartado em condições de uso.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Confeccionar diferentes cabeçotes para utilizar no vácuo-compressor;
- b) Verificar os resultados das principais variáveis nos diferentes cabeçotes;
- c) Coletar informações das principais variáveis envolvidas no funcionamento do vácuo-compressor, tais como: faixas de rotação do eixo virabrequim, volume de ar deslocado (fluxo mássico), velocidade do fluxo de ar, pressões positivas na linha de recalque (saída ou descarga), pressões negativas(vácuo) na linha de sucção (entrada ou admissão) e potência consumida;
- d) Apresentar dados coletados agrupados por cabeçote;
- e) Comparar os valores obtidos das principais variáveis entre cabeçotes;
- f) Relacionar os valores das principais variáveis com potência consumida.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Concepção da ideia inicial

Um sistema distribuidor eficiente é aquele que individualiza a semente contida em um determinado reservatório, de forma que ela não sofra nenhum dano mecânico e que seja distribuída de forma uniforme de acordo com os requisitos de cada cultura (MACHADO, ÉTORE e WELINGTON, 2019). A integridade física da semente foi um dos pontos considerados nesse projeto, já que influi diretamente no resultado final da produção da cultura, então o mecanismo acionador não poderia ocasionar danos à semente.

Trogello *et al.* (2013) afirmam que a distribuição longitudinal de sementes pode ser afetada com o aumento da velocidade de deslocamento da máquina, principalmente quando se leva em consideração a velocidade periférica de deslocamento do disco dosador, pois ocorre a diminuição do número de espaçamentos aceitáveis entre sementes. O aumento da velocidade de deslocamento das semeadoras ocasionou redução dos espaçamentos aceitáveis e elevação dos espaçamentos falhos e múltiplos (MACHADO *et al.*, 2019).

Melo *et al.* (2013) avaliaram a distribuição de sementes em uma semeadora mecânica e uma semeadora pneumática nas velocidades de 4 e 7 km h<sup>-1</sup>. Concluiu-se após o experimento que a semeadora pneumática teve rendimento de 21,8% maior no número de sementes aceitáveis, quando comparada a semeadora mecânica na velocidade de 4 km h<sup>-1</sup>, porém na velocidade de 7 km h<sup>-1</sup>, não houve diferença significativa no número de sementes aceitáveis no processo de semeadura. O número de espaçamentos falhos no dosador pneumático foi 9,0% maior quando comparado ao dosador horizontal mecânico na velocidade de 7 km h<sup>-1</sup>.

O aumento na velocidade de deslocamento pode ocasionar falhas na semeadora, não atingindo o espaçamento especificado da cultura, o que também degrada a produção final. As variações na semeadura das lavouras de soja ocasionadas por estandes desuniformes e falha na distribuição nas linhas propiciam pontos de acúmulo, gerando plantas mais altas, com menor ramificação e tendência ao acamamento, reduzindo a produção individual (MACHADO *et al.* 2019).

### **3.2 Potência requerida das semeadoras pneumáticas**

A potência requerida pelas semeadoras pneumáticas tem variação de modelo para outro e também entre fabricantes. Após consultas em catálogos técnicos do fabricante Maschio Gaspardo (2021), verificou-se que a média de potência requerida para produzir vácuo em semeadoras pneumáticas está em torno de 14 CV por linha.

Segundo Garcia *et al.* (2006) é importante conhecer a capacidade da máquina, a fim de selecionar a potência e os equipamentos que desempenharão as operações agrícolas em tempo hábil, evitando, dessa forma, custos adicionais com máquinas superdimensionadas.

Silveira, Gabriel Filho e Secco (2005) analisando a demanda de potência de uma semeadora adubadora na cultura do milho em solo argiloso, encontraram, com o aumento da velocidade de 5,28 para 7,08 km h<sup>-1</sup>, a uma mesma profundidade de trabalho, aumento na demanda de potência de 21,25% na profundidade de 6,80 cm e 45,69% na de 8,10 cm.

### **3.3 Determinação da pressão negativa teórica**

Para Monteiro (1989) o nível de pressão negativa necessário para a captura da semente é um fator crítico. O dimensionamento desse fator pode interferir de maneira positiva, se efetuado de forma correta, liberando as sementes para o tubo condutor, ou de maneira negativa, aprisionando as mesmas e ocasionando falhas na deposição da semente (CARPES, 2019).

### **3.4 Tecnologia do vácuo**

Cientificamente, o vácuo é definido como sendo um espaço do qual ar ou quaisquer outros gases são removidos. Para a tecnologia do vácuo, considera-se vácuo o espaço onde a pressão encontrada está abaixo da pressão atmosférica (HARA, FERREIRA e DEGASPERI, 2011).

A tecnologia do vácuo não está apenas empregada na física e engenharia como esperado historicamente, mas também em diversas outras áreas como, medicina, química, alimentos, odontologia, biologia e agropecuária, e tendo em vista que aos poucos, outras áreas vão necessitando do uso desta tecnologia, principalmente as linhas de pesquisa e indústria. A tecnologia do vácuo traz melhoramentos e viabilidade a certos processos que são afetados pela atmosfera padrão (DEGASPERI, 2006).

### ***3.4.1 Breve histórico sobre produção do vácuo***

No período renascentista, o estudo do vácuo se tornou uma questão científica. Iniciado por Gasparo Berti, em 1641, com a construção de um barômetro de água, porém não obteve êxito em seu experimento, por não conseguir interpretar seus resultados. Em 1643, Torricelli demonstrou a existência do vácuo através de um tubo contendo mercúrio, que ao ser invertido, deixou um espaço vazio na extremidade superior (DEGASPERI, 2002; PAIVA, 2010).

Outra famosa experiência que comprovou a eficiência do vácuo foi realizada por Otto Von Gericke em 1650 e ficou conhecida como hemisférios de Magdeburg. Gericke retirou parcialmente a quantidade de ar dentro de dois hemisférios com uma bomba de vácuo. Através da diferença de pressão criada entre a atmosfera externa e interna, os dois hemisférios não puderam ser separados, mesmo com uma grande quantidade de pessoas se esforçando para isso. Os hemisférios somente puderam ser separados, quando se abria uma torneira de entrada de ar, comprovando as ações das forças da atmosfera externa em relação a diferença de pressão (DEGASPERI, 2002; PAIVA, 2010).

A bomba utilizada por Gericke em seu experimento dos hemisférios era basicamente composta por um cilindro contendo um pistão, semelhante ao mecanismo de uma seringa, e foi acionado manualmente para a retirada do ar. Não era considerada uma bomba eficiente, mas foi suficiente para comprovar a atuação das forças (PAIVA, 2010). Ao longo dos anos, outros cientistas desenvolveram e adaptaram o equipamento, a partir da bomba utilizada nesse experimento, utilizando melhores dispositivos de vedação que se estendeu até o século XIX (GAMA, 2002).

Jean Bastiste Dumas, em 1825, desenvolveu uma bomba de vácuo com princípios diferentes aos utilizados por Gericke. Ele utilizou a substituição do ar existente de um recipiente por vapor de água condensado através do resfriamento do recipiente. Posteriormente, Robert Wilhelm Bunzen introduziu o conceito de jato de líquido no bombeamento de gás, que é o conceito utilizado pelas bombas com ejetores de vácuo atualmente (PAIVA, 2010).

Para a obtenção de maiores pressões de vácuo houve a necessidade do estudo de novas variáveis. Teorias atômicas e quânticas e os estudos na área da cinética dos gases levaram a criar sistemas de vácuos mais complexos e adequados a cada faixa de vácuo

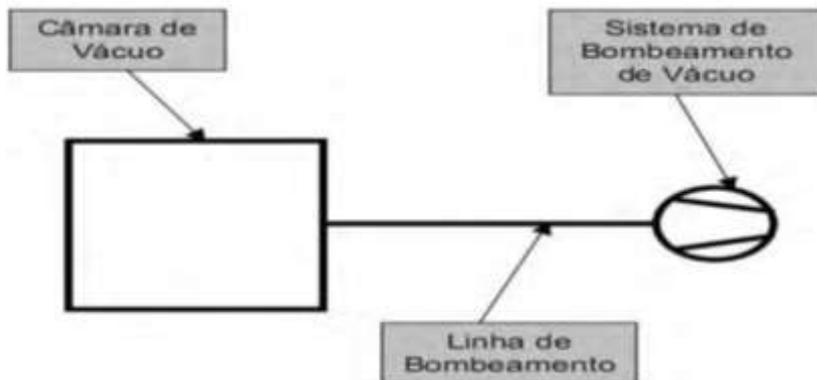
(DEGASPERI, 2002). Esses acréscimos aos estudos do vácuo puderam incrementar os usos desses sistemas em diversas áreas.

### 3.4.2 Conceito básico da tecnologia do vácuo

O vácuo é considerado o estado do gás no qual sua pressão é menor que da atmosfera (próximo à pressão atmosférica), podendo ser quantitativamente definido como a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão absoluta em um sistema a vácuo (SUGANNO, 1985; ROZANOV, 2002). O vácuo pode ser utilizado em várias etapas de processo de fabricação, não precisando o produto final estar em vácuo. Entretanto, ocorrem situações em que o produto, para funcionar, precisa estar permanentemente em vácuo (DEGASPERI, 2002).

Conforme autor supracitado, qualquer sistema de vácuo é composto basicamente por três elementos: a câmara de vácuo; o sistema de bombeamento e a linha de bombeamento, sendo esses já definidos na antiguidade por Gëricke através de seu experimento com os hemisférios. Como foi mostrado nos experimentos realizados, o objetivo do sistema criado foi produzir baixas pressões no interior da câmara de vácuo. A figura 1 demonstra um esquema simples desse sistema.

Figura 1 – Composição básica de um sistema de vácuo.



Fonte: Degasperi (2002).

A bomba de vácuo tem por finalidade criar uma diferença de pressão dentro da tubulação e câmara de vácuo em relação ao coletor de aspiração da bomba, causando um desequilíbrio de pressões no sistema (PAIVA, 2010). Assim, quanto maior a diferença de pressão, menor será a quantidade de gás dentro do sistema.

Ainda seguindo mesmo autor, a câmara é o elemento principal do sistema de vácuo, por ser nela onde ocorrem as experiências e aplicações, uma vez que proporciona um ambiente fechado e com atmosfera controlada. É o elemento que fecha o circuito do sistema de vácuo, e os outros dispositivos envolvidos devem produzir e garantir a baixa pressão requerida na câmara, devendo ainda suportar os esforços causados pela atmosfera externa, quando submetida à diferença de pressão.

Para especificar adequadamente o sistema de vácuo é necessário o estudo das propriedades dos gases à baixa pressão, cujos fundamentos foram estabelecidos nos meados do século XIX, por James Clerk Maxwell, na Teoria Cinética dos Gases e que se baseia na aplicação das leis da Mecânica (MADEY; BROWN, 1984).

Na Teoria Cinética dos Gases os parâmetros mais importantes são: a quantidade de moléculas por unidade de volume, a temperatura, a velocidade média e a distância média que as moléculas percorrem sem colidir umas com as outras (caminho livre médio) (STEMPNIAK, 2002). A equação (1) liga os vários parâmetros depende da chamada lei geral dos gases ideais.

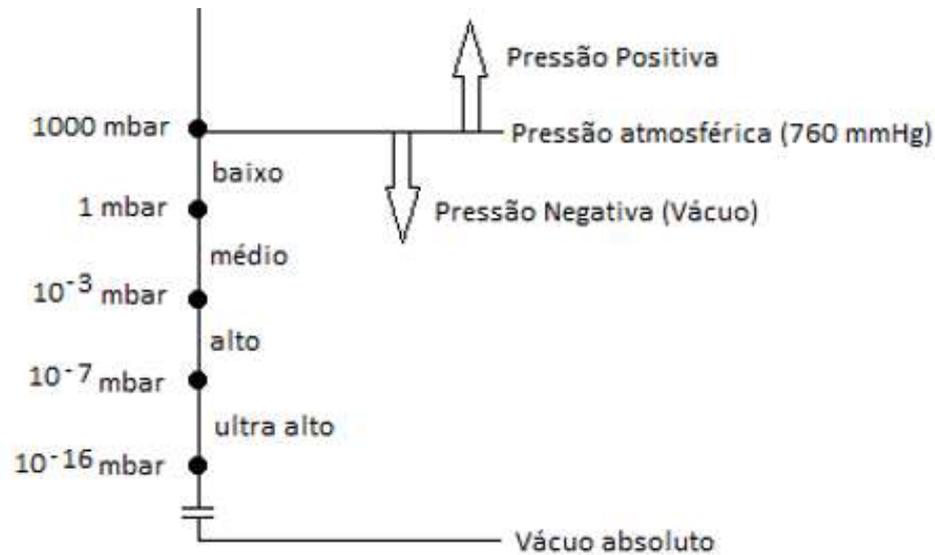
$$PV = nRT \quad (1)$$

Em que: P é a pressão; V o volume; n o número de mols; R a constante universal dos gases que vale 8,3144 J/K mol e T a temperatura absoluta.

### ***3.4.3 Faixas de pressão***

A tecnologia do vácuo foi dividida em faixas específicas de pressões que determinam a aplicação envolvida, bem como a abordagem que deve ser adotada no projeto. Para Umrath (2007), as faixas de pressões de vácuo estão dispostas na figura 2. Cada área de concentração trata essas faixas, de maneira particular. Os químicos consideram que o vácuo pode estar compreendido apenas nas faixas de 100 a 1 mbar; os engenheiros já consideram essa faixa bem mais genérica e abrangente, compreendendo todo o espectro de aproximadamente de  $10^{-16}$  mbar.

Figura 2 – Classificação dos níveis de vácuo



Fonte: Adaptado de Umrath (2007).

Dentro das faixas definidas, será explorado com maiores detalhes o baixo vácuo, por estar diretamente ligado a este projeto. Chambers, Fitch e Halliday, (1998) definem o baixo vácuo como sendo uma fração significativa de pressão atmosférica. São os sistemas que apresentam menores gastos no desenvolvimento de projetos e os de menores complexidades quando comparado às outras faixas de pressões. Segundo Moutinho, Silva e Cunha, (1980), no cálculo da bomba de vácuo para essa faixa, os efeitos de retirada de gás, vazamento e permeabilidade dos materiais são desconsiderados em relação à quantidade de ar que se deseja retirar do ambiente.

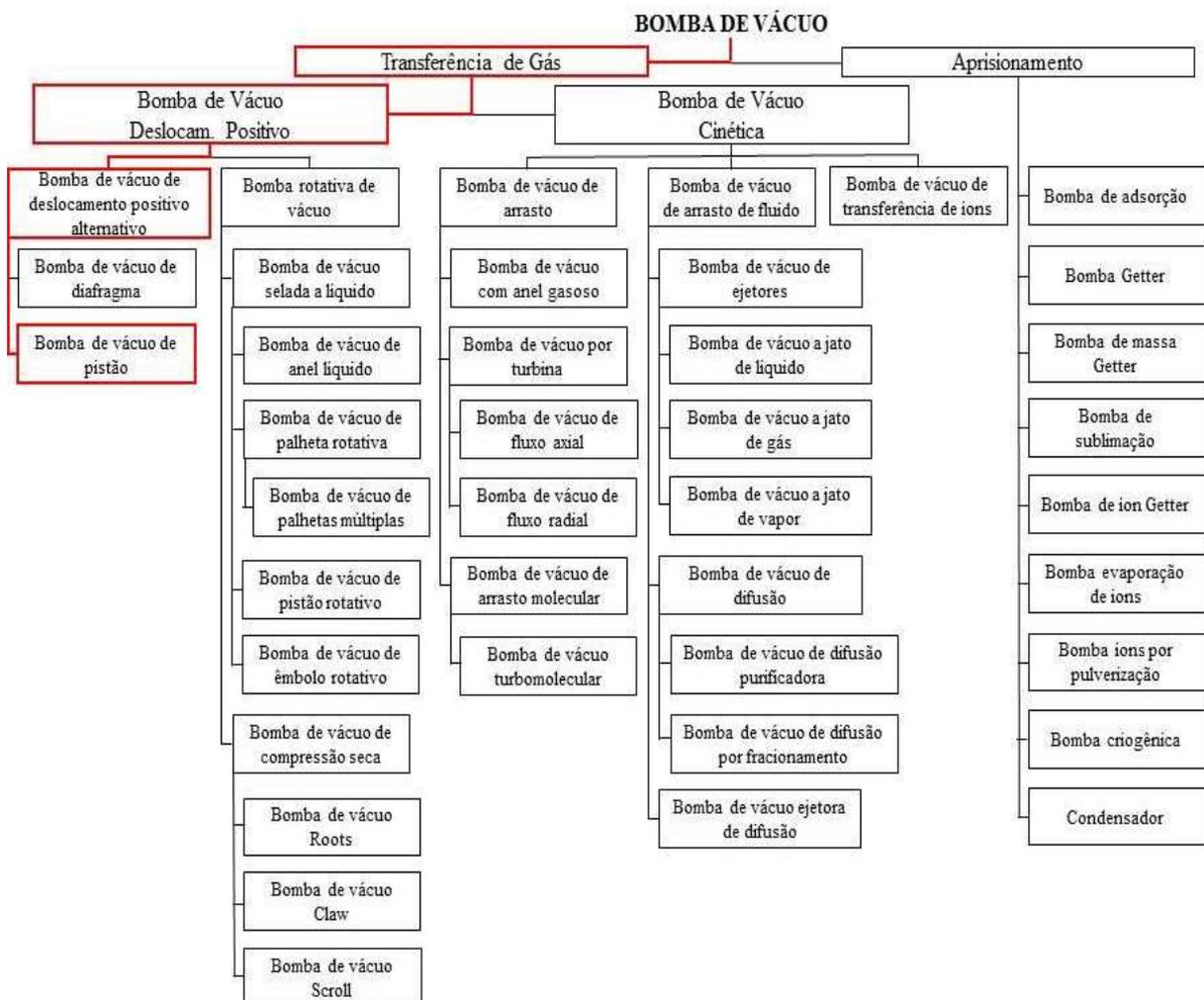
O baixo vácuo abrange uma gama de outras aplicações que utilizam a diferença de pressão, como os simples aspiradores de pó, freios, transportadores, deformadores e sistemas pneumáticos e fixadores (PAIVA, 2010).

Quanto maior o nível de pressão de vácuo exigido por uma aplicação, mais detalhado e complexo se torna o sistema de vácuo envolvido, além do maior custo de implantação e manutenção (O'HANLON, 2003). O equipamento utilizado para atingir o nível de vácuo necessário, no tempo necessário, é chamado de bomba de vácuo, que nem sempre é um componente mecânico rotativo acionado por um motor.

### 3.5 Bombas de vácuo

As bombas de vácuo são máquinas que podem criar um vácuo em uma câmara de bombeamento de moléculas de gás para fora da câmara (GAMA, 2002). São usadas em ampla variedade de aplicações científicas e industriais, como parte de um processo maior, ou no teste de outros produtos (MADEY; BROWN, 1984). Elas são classificadas pela faixa de pressão de operação e, como tal, são classificadas como: bombas de transferência e bomba de aprisionamento. A bomba utilizada neste trabalho está no grupo de transferência de gás, subgrupo bomba de deslocamento positivo e classificada como bomba de vácuo de pistão, conforme figura 3.

Figura 3 - Classificação das bombas de vácuo



Fonte: Adaptado de Adam *et al.* (1998) e traduzido de Umrath (2007).

As bombas de vácuo podem ser classificadas em dois grupos: o primeiro é designado de bombas de transferência, que são bombas que transportam o gás do recipiente para a atmosfera ou para recipientes ou outras bombas com pressões maiores que às de sua entrada; o segundo são as bombas de aprisionamento, que retiram as moléculas do recipiente, prendendo-as em suas paredes por processos físicos ou químicos (ANDREW, 1976; HABLANIAN, 1979).

A variedade de bombas se dá pelo custo e aplicação, uma vez que não existe uma única bomba que atenda a todo espectro de pressões utilizado pela tecnologia do vácuo (MOUTINHO *et al.*, 1980).

A seleção do tipo de bomba a ser usado em cada caso específico é função dos requerimentos que o sistema a ser evacuado impõe. As bombas são caracterizadas por possuírem alguns parâmetros intrínsecos à sua construção e ao princípio de bombeamento em que se baseiam. Os principais parâmetros são: a pressão mais baixa que alcança o intervalo de pressões em que podem ser usadas, a velocidade de bombeamento e a pressão de exaustão (ou de saída). No caso de ultra alto vácuo, dois outros parâmetros são importantes: a seletividade da bomba para gases e a composição do gás residual (GAMA, 2022).

### **3.6 Tipos de bombas de vácuo**

Existem muitos tipos de bombas de vácuo e estão divididas em dois princípios de operação, conhecidas basicamente por bombas de deslocamento e de fixação, segundo (ADAM *et al.* 1998). Tem-se uma classificação bem ampla que confirma tal fato.

#### ***3.6.1 Bomba de vácuo de deslocamento positivo alternativo***

As bombas que funcionam capturando mecanicamente um volume de gás e movendo-o através da bomba são conhecidas como bombas de deslocamento positivo. Podendo também serem projetadas em vários estágios sobre um único eixo de acionamento. O volume isolado é compactado para um volume menor a uma pressão mais alta e, finalmente, o gás comprimido é expelido para a atmosfera ou para a próxima bomba. Para fornecer um vácuo e vazão mais altos, duas bombas de transferência são frequentemente usadas em série (GARDNER DENVER, 2021).

De acordo com mesmo autor, elas são usadas para criar baixo vácuo. Esse tipo de bomba de vácuo expande uma cavidade e permite que os gases fluam para fora do ambiente

ou da câmara selada. Depois disso, a cavidade é selada e faz com que ela se esgote na atmosfera.

### **3.6.2 Bomba de vácuo de pistão**

Segundo Cassani (2018) a bomba de vácuo de pistão apresenta uma vazão de 12 a 120 L min<sup>-1</sup> e vácuo de 250 a 10 milibar, pode operar na presença de fluxos úmidos e não têm restrições específicas sobre o uso. O princípio de funcionamento baseia-se precisamente sobre um pistão que se move. Está equipada com válvulas que permitem a admissão e exaustão do ar. Como a cabeça do pistão é solidária com a haste de ligação é dito que o pistão é oscilante. Ao contrário da bomba de diafragma, a de pistão não possui a câmara selada e não garante um selo de vácuo para circuito perfeito.

### **3.7 Medidores de vácuo**

Onde se utiliza a pressão atmosférica como referência, as pressões medidas a partir desta referência (acima desta referência) são chamadas pressões relativas, pressões manométricas, pressões efetivas ou pressões positivas. As pressões abaixo dessa referência são chamadas de vácuo ou pressões negativas. O vácuo é simplesmente uma redução da pressão atmosférica (BEGA, 2003).

A medição de pressão em um sistema de vácuo tem a mesma importância quanto à produção de vácuo, conseqüentemente, o avanço da tecnologia não se resume apenas nos dispositivos, mas também, nos medidores de vácuo (CHAMBERS, FITCH; HALLIDAY, 1998).

De acordo com Gama (2002) basicamente, os medidores de vácuo ou vacuômetros, estão classificados de acordo com o método direto ou indireto de medição, observar figura 4.

Os medidores de pressão podem ser classificados como de medição direta ou indireta. Segundo O'Hanlon (2003) os medidores diretos são aqueles que quantificam a pressão causada por uma força exercida numa dada área. Os medidores indiretos obtêm o valor da pressão pela medição de uma propriedade do gás que tem uma correlação conhecida com a massa volumétrica do mesmo. À pressão de operação do sistema de vácuo (600 mbar) são adequados a utilização do manómetro de mercúrio (tubo em U), tubo de Bourdon, piezoelétrico, membrana e capacitivo.

Figura 4 - Tipos de medidores de pressão pela propriedade física

<i>Propriedade Física Envolvida</i>	<i>Tipo de Medidor</i>		<i>Tipo de Pressão</i>
Pressão exercida pelo gás	Mecânico	Bourdon	Total, independente do tipo de gás
		Diafragma	
	Coluna líquida	Tubo em U	
		Tubo inclinado	
Compressão de gás	Medidor Mcleod	Parcial, não condensável	
Viscosidade do gás	Medidor por decremento		Total, depende da natureza do gás
	Girante		
	Medidor por ressonância		
Taxa de transferência de momentum	Radiômetro, medidor de Knudsen		Total, aproximadamente independente da natureza do gás
Condutividade térmica	Medidor Pirani		Total, depende da natureza do gás
Ionização	Tubo de descarga		Total, depende da natureza do gás
	Medidor de catodo quente		
	Medidor de Bayard-Alpert		
	Medidor tipo extrator ou supressor.		
	Medidor Helmer		
	Medidor defletor, Magnetron		
	Medidor Penning (catodo frio)		
	Medidor Magnetron invertido		
	Medidor Redhead		
Medidor Alpatron		Parcial	
Analísadores de pressão parcial			

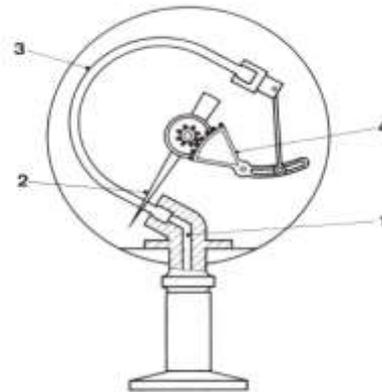
Fonte: Adaptado de Gama (2002).

### 3.7.1 Medidor de vácuo Bourdon

Na mesma linha de operação que os sensores de coluna e de diafragma estão os medidores tipo Bourdon. Nesses instrumentos, um tubo de seção transversal oval é conectado ao vácuo em uma extremidade e a uma agulha indicadora na outra. As variações na pressão no interior do tubo flexionam o mesmo para cima ou para baixo e a agulha se movimenta sobre uma escala graduada, em geral linear, registrando os valores da pressão (DOMENEGUETI, 2014).

O vacuômetro Bourdon é um exemplo de medidor de pressão direta, onde o valor mensurado é dado diretamente pelo instrumento de medição (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008). É um dispositivo mecânico que, a partir da deformação de uma espiral, proporcional a uma dada tensão, transmite o sinal analógico a um eixo com um ponteiro em sua extremidade, indicando o valor da tensão em um visor (BRITO *et al*, 2009). Uma representação do vacuômetro Bourdon está disposta na figura 5.

Figura 5 - Esquema do vacuômetro Bourdon

**Legenda:**

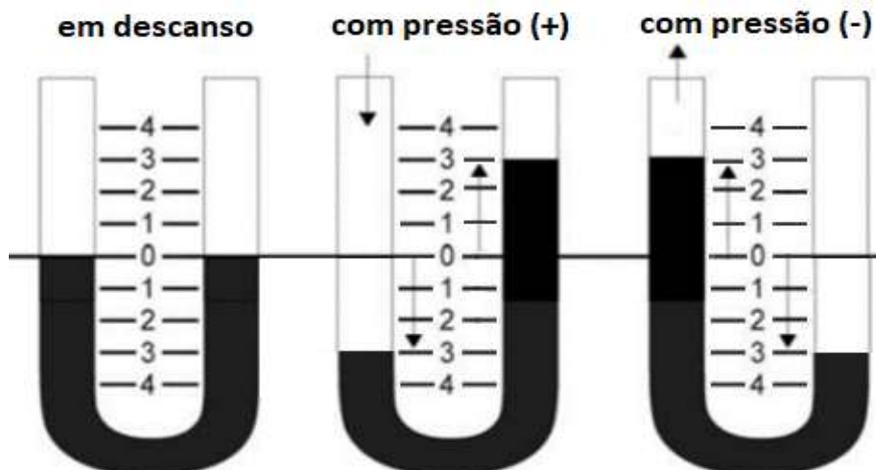
- 1 – tubo de conexão ao flange;
- 2 – ponteiro;
- 3 – tubo Bourdon;
- 4 – sistema de alavanca.

Fonte: Adam *et al.* (2007).

### 3.7.2 Medidor de vácuo tubo em “U”

O vacuômetro tipo U é um aparelho de medição de pressão baixa, próxima ao vácuo, que mede a pressão de forma precisa. Esse aparelho é de fácil instalação e conta com um tubo tipo “u”, figura 6 (TEMPER UNIÃO, 2021).

Figura 6 - Vacuômetro de Tubo em “U”



Fonte: Temper União (2021).

Ainda seguindo mesmo autor, seu princípio de funcionamento consiste na aplicação de pressão negativa (vácuo) em um de seus ramos, o que provocará o líquido subir por esse ramo e a descer no outro. Na condição de repouso, como ambos os ramos estão abertos para a atmosfera, a força atua nas superfícies consideradas como niveladas e simultaneamente referenciadas ao zero da escala.

O vacuômetro de Tubo em “U” é um padrão primário, porque a diferença na altura entre os dois ramos constitui sempre uma ideia real do vácuo independentemente das variações do diâmetro interno dos tubos. (efeito da capilaridade).

### 3.8 Compressor alternativos

Os compressores alternativos são bastante usados em aplicações portáteis e são os mais comuns devido ao seu custo reduzido, simplicidade, flexibilidade de trabalhar numa vasta gama de condições e elevada razão de pressão devido a fronteiras físicas entre as zonas de baixa e alta pressão. Existem diferentes formas de construção e funcionamento destes compressores, mas essencialmente, estes são compostos por um cilindro e um êmbolo, sendo que o êmbolo está ligado ao veio rotativo do compressor pelo conjunto biela-manivela, tal como num motor de combustão interna, (SANTOS, 2020).

Uma das principais utilizações dos compressores é a produção de ar comprimido. É uma das formas em que a energia pode ser empregada com maior simplicidade e flexibilidade e está cada vez se tornando mais indispensável nos processos industriais. Os compressores são os elementos principais do sistema gerador de ar comprimido, capaz de promover o diferencial de pressão através de trabalho mecânico (STEWART, 2001).

Segundo Rollins (2004), o ar comprimido é a quarta utilidade industrial mais empregada, sendo superado apenas pelo uso de energia elétrica, gás e água. É possível liberar esse fluido com grande energia entre dois pontos quaisquer, provenientes da formação de pressão dentro do dispositivo, que por sua vez pode chegar de 1 atm até milhares de atmosferas.

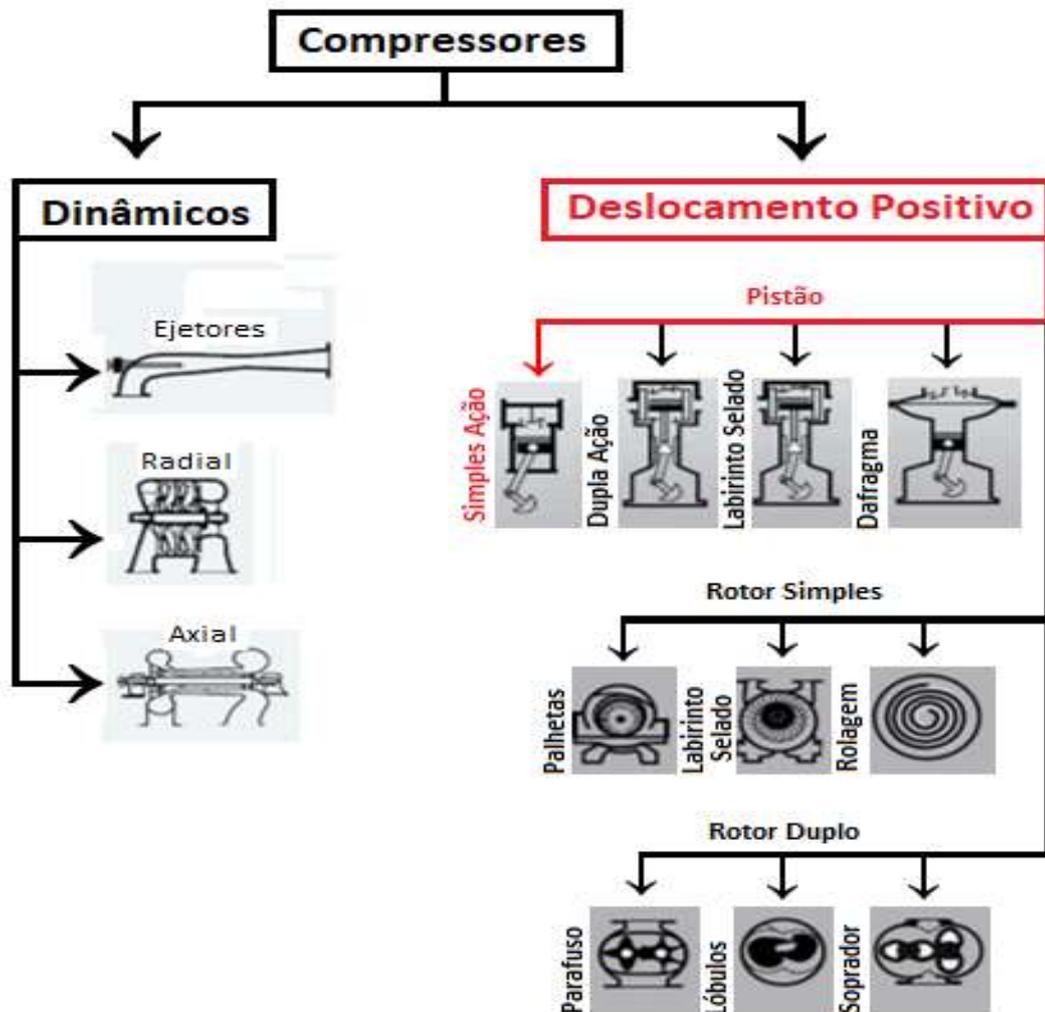
A maior parte da produção de ar comprimido é realizada por compressores acionados por motores elétricos (PERRONE *et al.* 2001). As indústrias que utilizam os sistemas de ar comprimido podem prevenir as perdas de eficiência dos seus processos, recorrendo a procedimentos de fiscalização, como a verificação contínua de vazamentos no sistema e empregar motores de alto rendimento que se adequem às necessidades.

Todos os sistemas de ar comprimido estão sujeitos a vazamentos e que são comuns perdas de até 40% de todo o ar comprimido produzido (METALPLAN EQUIPAMENTOS, 2008). Grande porção da energia utilizada para a produção do volume de ar está sendo desperdiçada, por isso que os vazamentos merecem atenção especial no sistema. Em grandes plantas os vazamentos de até 10% são aceitáveis, mas como regra geral o nível de aceitabilidade deve ser de até 5%. Embora seja quase impossível eliminar totalmente os

vazamentos, deve-se quantificar para que não haja perdas econômicas no preço final do ar produzido.

Os compressores de ar utilizados para a alimentação de sistemas pneumáticos são classificados em dois grandes grupos, compressores dinâmicos e de deslocamento positivo, conforme mostra a figura 7 (ATLAS COPCO AIRPOWER NV, 2015).

Figura 7 - Classificação dos compressores



Fonte: Adaptado de Atlas Copco Airpower NV (2015).

Os compressores de pistão aspiram e comprimem o ar durante seu movimento entre o ponto morto inferior e o ponto morto superior, à medida que são acionados automaticamente as válvulas de admissão e descarga do ar (HAHN, 2004).

Ainda seguindo mesmo autor, reforça-se que para compressores do tipo pistão, o funcionamento das válvulas de admissão e de descarga depende das pressões internas das suas respectivas tubulações em comparação com a pressão no interior do cilindro.

Na compressão dinâmica, o ar é aspirado entre as pás em um impulsor de compressão de rotação rápida e acelera a uma velocidade alta. O gás é então descarregado através de um difusor, onde a cinética energia é transformada em pressão estática. A unidade compressora dinâmica são turbocompressores com um padrão de fluxo axial ou radial. Todos são projetados para taxas de vazão de grande volume (ATLAS COPCO AIRPOWER NV, 2015).

No compressor de deslocamento positivo, o ar é atraído para uma ou mais câmaras de compressão, que são fechadas a partir da entrada. Gradualmente o volume de cada câmara diminui e o ar é compactado internamente. Quando a pressão diminui, atingiu a taxa de pressão incorporada projetada, uma porta ou a válvula é aberta e o ar é descarregado pelo sistema de saída, devido à redução contínua do volume da câmara de compressão (ATLAS COPCO AIRPOWER NV, 2015).

Destacam-se, na indústria, os compressores de deslocamento positivo contidos no subgrupo das máquinas do tipo pistão e rotativos, bem como os compressores dinâmicos subclassificados como radiais e axiais (FIALHO, 2003).

### **3.9 Semeadoras**

As máquinas para semear desempenham fundamental importância nos cultivos agrícolas anuais (DIAS *et al.*, 2014). A ideia de semear utilizando máquinas provém desde os povos persa e hindu, no entanto, só foi adotada pelos europeus no século XVII (BALASTREIRE, 2005). O mesmo autor ainda acrescenta que a primeira semeadora europeia foi desenvolvida por Joseph Locatelli de Corinto em 1636, sendo aperfeiçoada por Jethro Tull, no final daquele século.

A partir dessa data, essas máquinas passaram a ser aperfeiçoadas, e em 1785, James Cook projetou uma semeadora, cujos princípios de funcionamento são utilizados até hoje (BONOTTO, 2012). A primeira fábrica de semeadora data de 1840 e estava localizada no estado da Pensilvânia, nos Estados Unidos, cerca de quatro décadas depois, mais da metade da semeadura de trigo, naquele país, era realizada de forma mecanizada (BALASTREIRE, 2005).

Apesar de ter havido uma evolução constante nos sistemas e técnicas empregados nas semeadoras, sua utilização em larga escala somente aconteceu depois que os agricultores perceberam as vantagens da semeadura mecanizada, como a redução do número de sementes por área e a regularidade de distribuição, em meados do século XX (PORTELLA, 2001).

Desde então, a fabricação de semeadoras-adubadoras no Brasil cresceu e evoluiu muito. Hoje, existem aproximadamente duas dezenas de fabricantes, que exportam para diversos países do mundo (BONOTTO, 2012).

Balastreire (2005) define semeadora como a máquina que dosa e coloca no solo exclusivamente sementes, no entanto, se a mesma aplica uma razão pré-determinada de fertilizantes concomitantemente no sulco de semeadura, deve ser denominada como semeadora adubadora. A figura 8 apresenta uma semeadora pneumática.

Figura 8 - Semeadora pneumática



Fonte: SENAR (2017)

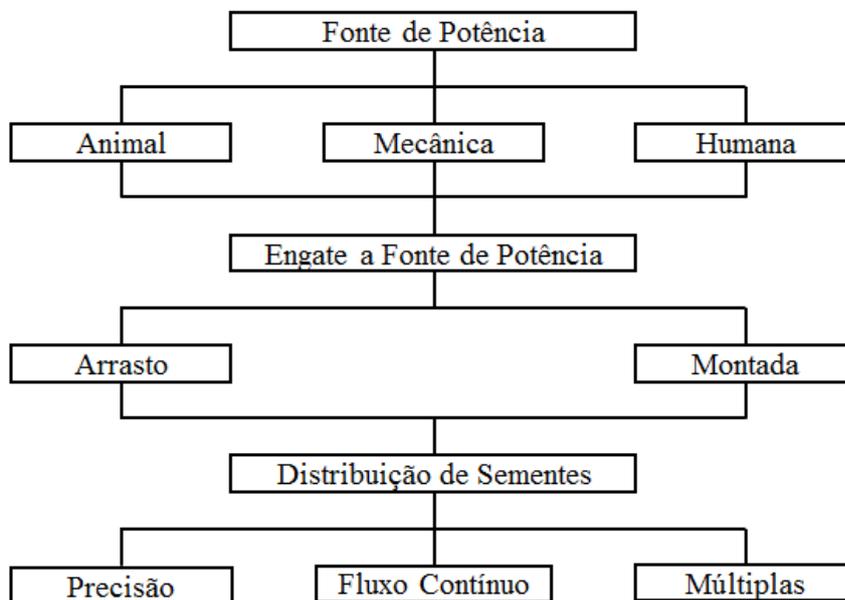
Para Copetti (2015) a semeadora deve proporcionar um ambiente propício para que haja o maior contato entre a semente e o solo, dessa forma ocorrerá a absorção de água por parte da semente que é essencial para o processo de germinação, além de promover a correta dosagem de sementes para que se obtenha a população de plantas desejadas.

Então, pode-se dizer que a função global de uma semeadora-adubadora é distribuir regularmente as sementes no solo e depositar uma razão uniforme de fertilizantes ao longo do sulco de semeadura. Porém, existe uma grande diversidade de equipamentos para a realização desse processo (COPETTI, 2015).

Machado *et al.* (2005) destacaram as diferentes formas de tração, engate à fonte de potência e o modelo de distribuição de semente, conforme a figura 9.

As combinações dessas possibilidades formam máquinas adaptadas aos mais diferentes contextos, atendendo às necessidades dos produtores rurais em diversos níveis de produção (BONOTTO *et al.* 2011).

Figura 9 - Classificação das semeadoras quanto às suas características funcionais



Fonte: Bonotto *et al.* (2012).

Ainda seguindo mesmo autor, quanto à fonte de potência, a semeadora pode ser acionada manualmente pela força humana, ou tracionada por tratores ou animais. O engate à fonte de potência pode ser encontrado de duas formas: acoplado ao sistema hidráulico dos tratores, suspendendo todo o sistema; e o de arrasto, que trafegam com rodados próprios onde apenas o sistema de ataque ao solo é conectado ao sistema hidráulico. A distribuição de sementes tem-se três grupos, a saber: precisão, fluxo contínuo e as múltiplas.

As semeadoras de precisão, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnica - ABNT (1994) são implementos, cuja função é a distribuição das sementes no sulco, em linha, individualmente ou em grupos, na profundidade adequada, em uma densidade de semeadura preestabelecida. Dias (2009) ressalta que essa densidade de semeadura é determinada por um mecanismo dosador de sementes, que capta no reservatório, transferindo-as ao sulco de semeadura.

A semeadora de fluxo contínuo, segundo ABNT (1996) é a máquina agrícola, que enterra as sementes em sulcos, em filetes contínuos e uniformes, segundo densidade de semeadura preestabelecida.

Existem ainda, as semeadoras adubadoras múltiplas, capazes de distribuir as sementes de forma unitária no sulco de semeadura, como as semeadoras de precisão, ou continuamente, como as semeadoras de fluxo contínuo, sendo capazes de semear uma grande variedade de culturas agrícolas, independentemente do tamanho da semente ou densidade populacional (SILVEIRA, 1989).

Segundo Portella (2001), as principais vantagens das semeadoras com dosador pneumático são a precisão na dosagem e a ausência de danos às sementes. Reis *et al.* (2006) citam como desvantagem dessas semeadoras a possibilidade de obstrução do orifício do disco dosador por pedaços de sementes ou resíduos do tratamento de sementes.

Um dos marcos quanto à tecnologia de semeadura é o plantio direto, que mudou conceitos e quebrou paradigmas desse processo da agricultura (BONOTTO, 2012). De acordo com Casão Junior, Araujo e Llanilo (2009) uma das principais inovações das semeadoras adubadoras para o sistema de plantio direto na palha, é a capacidade de cortar palhas e resíduos vegetais, o que permite a realização da semeadura, sem necessidade de revolvimento do solo. Portella (2001) acrescenta ainda, que essas máquinas desenvolvidas para o sistema de plantio direto na palha, dispõem de energia suficiente para transferir aos mecanismos de ataque ao solo, a força suficiente para corte da palha e abertura do sulco de semeadura, em solo não preparado.

### **3.10 Mecanismos de distribuição de sementes**

O mecanismo é responsável por distribuir as sementes requeridas e direcioná-las a uma abertura de saída (ANGHINONI, 2019). As formas de semeadura se diferem pelo mecanismo distribuidor, podendo ser a linha ou a lança. A linha pode ser dividida em: disco perfurado (vertical, horizontal, inclinado), cilindro canelado, correia perfurada, discos alveolados, dedos preensores, orifício regulador e pneumático. Já a lança são divididas em: rotor centrífugo, canhão centrífugo e difusor (BALASTREIRE, 1987).

A excelência no processo operacional de semeadura mecanizada contribui para o sucesso do sistema produtivo (MACEDO *et al.* 2016). Esse processo de semeadura visa a adequada distribuição longitudinal das sementes, aliada à correta profundidade de deposição

das mesmas no solo, para se obter estande correto e uniforme (ALMEIDA, SILVA e SILVA, 2010).

A população de plantas é um dos principais fatores que determinam a produtividade das culturas. Os distribuidores de sementes são os componentes mais importantes de uma semeadora, justamente por interferir diretamente no resultado final do estande de plantas (DIAS *et al.*, 2009). Assim, é de suma importância que se tenha o mínimo de falhas na semeadura, pois essas podem entrar em concorrência com plantas daninhas, para buscar os recursos necessários para sobrevivência de ambas (ANGHINONI, 2019).

A regulação ideal da semeadora adubadora tem extrema importância, pois as principais causas do aumento dos espaçamentos múltiplos são: disco ou anel inadequado para o tamanho (peneira) das sementes do híbrido, falta ou excesso de grafite no sistema dosador com disco alveolado horizontal, pressão imprópria do sistema nos dosadores com sistema pneumático, fechamento do sulco e até mesmo umidade do solo inadequada (WEIRICH-NETO *et al.* 2015).

Visando a um adequado estande de plantas, é necessário que as sementes sejam distribuídas de maneira correta, fato este que leva à utilização de mecanismos dosadores de precisão, que as depositam em densidade de semeadura pré-estabelecida de acordo com a recomendação de cada cultura (DIAS *et al.* 2014).

Carpes *et al.* (2017) estudando o efeito de diferentes tubos condutores na distribuição longitudinal de sementes de milho, concluíram que o aumento na densidade de semeadura (60.000 a 90.000 sementes ha<sup>-1</sup>), juntamente com o aumento da velocidade periférica do disco dosador de sementes, tanto pneumático quanto mecânico, ocorre uma tendência a diminuição dos espaçamentos aceitáveis para a maioria dos condutores, tendo relação direta com a qualidade de semeadura. Pacheco *et al.* (1996) relatam que trabalhos com a velocidade periférica do disco dosador de semente acima de 0,29 m s<sup>-1</sup> seriam prejudiciais para a distribuição longitudinal de sementes.

As semeadoras adubadoras podem ser providas de diferentes mecanismos dosadores de sementes, sendo os mais utilizados na semeadura do milho, o disco perfurado horizontal e o dosador pneumático. Esses dosadores diferem na precisão de distribuição uniforme de sementes na linha de semeadura, o que implica em diferentes arranjos espaciais de plantas no campo (BOTTEGA *et al.* 2018).

A comparação entre mecanismos dosadores de disco alveolado e pneumáticos foi estudada para a cultura da soja por Jasper *et al.* (2011). Os autores verificaram que o mecanismo dosador pneumático apresentou melhores resultados em comparação com o

dosador de disco alveolado. Entretanto, este último não sofreu com a elevação da velocidade de deslocamento.

O aumento da velocidade de semeadura de soja, resultando no aumento de espaçamentos múltiplos e redução dos aceitáveis, porém os componentes de rendimento não se alteraram tanto nos sistemas de disco alveolado horizontal, quanto pneumático com o incremento da velocidade de semeadura de 4 km h<sup>-1</sup> até 12 km h<sup>-1</sup> (JASPER *et al.* 2011).

Também para a cultura da soja, Pinheiro Neto *et al.* (2008) encontraram resultados superiores para mecanismos dosadores pneumáticos quando elevada a velocidade de semeadura. A maioria dos estudos com semeadoras equipadas com esses tipos de mecanismos concentram-se na velocidade de deslocamento e não na velocidade periférica do disco, como nos trabalhos de Celik *et al.* (2007), DIAS *et al.* (2009) e JASPER *et al.* (2011).

As semeadoras disponíveis no mercado têm por características, mecanismos dosadores que não atendam integralmente aos pré-requisitos da uniformidade de distribuição espacial de sementes (JUNG *et al.* 2009), no entanto, um sistema distribuidor eficiente é aquele que individualiza a semente contida no reservatório de forma que ela não sofra nenhum dano mecânico e que seja distribuída uniformemente de acordo com os requisitos de cada cultura (PORTELLA, 2001).

Os dosadores de sementes são de fundamental importância ao funcionamento e a qualidade da semeadora adubadora. Dentre os principais tipos descritos por Portella (2001), Balastreire (2005) e Machado *et al.* (2005) é possível destacar os de discos perfurados horizontal e os pneumáticos, para distribuição de sementes graúdas; e os de rotor acanalado, para dosagem de sementes miúdas.

Segundo Mialhe (2012) as semeadoras de precisão mais utilizadas no Brasil são as que apresentam sistemas dosadores com discos alveolados horizontais e dosadores pneumáticos de sucção (vácuo).

Portella (2001) e Mialhe (2012) afirmam que o mecanismo dosador mais utilizado para semeadura no Brasil e de menor custo é o disco alveolado horizontal ou disco horizontal perfurado.

Dentre os fatores que influenciam a qualidade de implantação pode-se destacar a velocidade de deslocamento do conjunto trator + semeadora, pois ela determina a distribuição espacial das sementes na linha e a população final de plantas (FANTIN *et al.* 2016).

### 3.11 Dosadores de sementes pneumáticos

O funcionamento dos dosadores pneumáticos baseia-se em um disco vertical com orifícios, onde a pressão negativa do ar apanha a semente em um reservatório e aderem-nas no orifício localizado na circunferência do disco. Essa pressão pode ser gerada por um ventilador centrífugo, normalmente localizado na região central da máquina. A liberação das sementes ocorre quando um dispositivo suprime a pressão, fazendo com que as mesmas escoem por tubos condutores até o sulco (CARPES, 2019).

Os mecanismos dosadores pneumáticos possuem uma base para depósito de sementes, que funcionam, também, como apoio ao disco dosador, sendo normalmente vertical e com uma ou mais fileiras concêntricas de furos, e uma tampa que fecha em conjunto, que deixa somente uma saída para as sementes que foram dosadas (ANGHINONI, 2019). Pelo ar ser aspirado, as sementes ficam presas na parte externa do disco dosador, e vão sendo liberadas quando o vácuo em cada orifício é neutralizado, figura 10, (BALASTREIRE, 1987).

Figura 10 - Dosador pneumático



Fonte: SENAR (2017)

Os dosadores pneumáticos têm como principais vantagens a precisão na dosagem de sementes e a ausência de danos que podem ser provocados durante o processo de dosagem. Além disso, segundo Mialhe (2012), há uma eficiência maior em relação ao espaçamento entre as sementes.

Bottega *et al.* (2018) ainda relataram que o valor médio de índice de velocidade de emergência observado para o dosador pneumático foi maior do que o dosador do tipo disco horizontal perfurado. Um fato que pode explicar essa diferença é a seleção e individualização de sementes por meio de pressão negativa que está associada à forma de seleção da semente

pelo mecanismo dosador pneumático. Esse sistema de seleção causa menores danos às sementes, isso porque apresenta número menor de componentes mecânicos envolvidos no processo (ANGHINONI, 2019). Porém, mesmo nos dosadores pneumáticos há necessidade de utilizar diferentes tipos de discos, com orifícios adequados às diversas sementes, devido à grande variação do tamanho e forma das sementes, inclusive com fileiras concêntricas de furos (CASÃO JUNIOR; SIQUEIRA, 2006).

Os dosadores pneumáticos agregam um custo adicional no preço total da máquina, pois se faz necessário à turbina, além de todo mecanismo distribuidor. Isso deveria ser compensado com a melhoria da distribuição, conseqüentemente a produtividade e lucratividade do produtor. Em prova disso, foi verificado também que o sistema pneumático de distribuição de sementes foi superior ao dosador de discos alveolados, pois apresentou maior percentagem de espaçamentos aceitáveis (MELLO, PINTO E YANO, 2003).

Seguindo mesmos autores, avaliando uma semeadora de disco horizontal e pneumática em duas velocidades de deslocamento, concluíram que a semeadora pneumática apresentou maior regularidade na distribuição, quando comparada ao sistema mecânico de distribuição, no entanto, os valores ainda estiveram abaixo do mínimo exigido para uma semeadora pneumática que é de 90% de espaçamentos normais.

O aumento da velocidade de deslocamento na semeadura do milho interfere na precisão e na distribuição de sementes. A distribuição de plantas mais adequada foi obtida ao se utilizar o dosador de sementes pneumático nas velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup>. A ocorrência de plantas duplas está relacionada diretamente com o aumento da velocidade de semeadura. Dessa forma, na maior velocidade houve menor percentual de espaçamentos normais e aumento no percentual de espaçamentos múltiplos e falhos, maior coeficiente de variação e um índice pior de precisão (BOTTEGA *et al.* 2018).

Adicionalmente, no estudo de Carpes *et al.* (2018) que avaliaram a qualidade da distribuição longitudinal de sementes de milho, utilizando o dosador pneumático a vácuo em diferentes velocidades (5,0; 7,5 e 10,0 km h<sup>-1</sup>), observaram que esse fator impactou diretamente na redução do percentual de espaçamentos aceitáveis. Os autores ainda citam que o mecanismo raspador de sementes do sistema dosador de sementes, pode ser a causa para redução na qualidade de distribuição, aumentando os percentuais de espaçamentos duplos, pois sua função pode não ser feita adequadamente e ocorrer à exclusão de sementes normais (individuais) o que pode ocasionar falhas do preenchimento dos orifícios do disco, ou então, a não retirada de sementes duplas alojadas nas bordas dos orifícios causando mais sementes por unidade de espaço.

No estudo de Cortez *et al.* (2006b) foi concluído que para este mecanismo dosador a velocidade recomendável é de até 11 km h<sup>-1</sup>. Já Bottega *et al.* (2018) citam que para uma distribuição de plantas adequada às velocidades de semeadura devem estar entre 4 e 6 km h<sup>-1</sup>. Quando se fala na combinação dosador/tubos condutores, o medidor pneumático reduziu a porcentagem média de espaçamentos falhos, pois as formas de liberação das sementes diminuem o contato com as paredes internas do tubo, diminuindo assim o efeito de ricochete (CARPES *et al.* 2017), podendo ser um dos motivos para a melhor distribuição longitudinal de sementes.

Machado e Reynaldo (2017) avaliando a eficiência do mecanismo dosador de sementes na cultura da soja, verificaram que o sistema pneumático apresentou desempenho superior, nas variáveis de espaçamentos falhos, aceitáveis e em comparação às semeadoras com dosadores mecânicos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Instituto Federal do Ceará – IFCE, Campus de Limoeiro do Norte, situado à Rua Estevão Remígio de Freitas, 1145, Bairro Monsenhor Otávio, Limoeiro do Norte – CE, coordenadas geográficas (-5.14466, -38.09376). A confecção do vácuo-compressor teve apoio dos laboratórios de usinagem, soldagem, metrologia e outros. Os experimentos em bancada foram desenvolvidos no laboratório de máquinas térmicas.

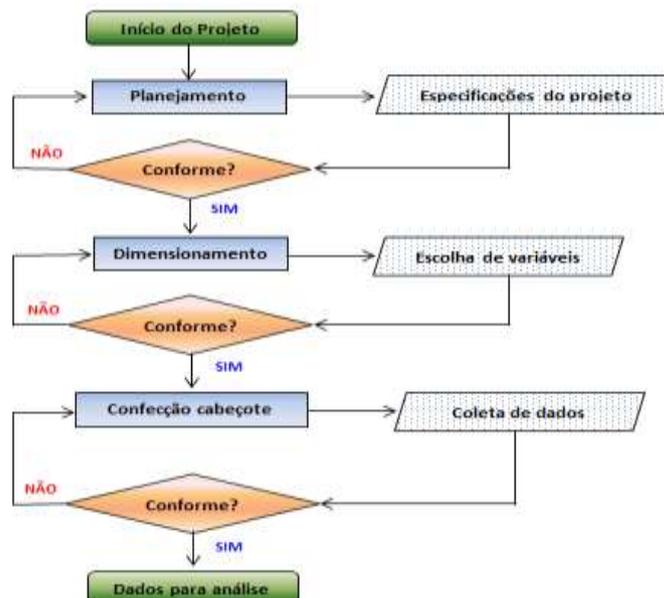
### 4.1 Escolha da semente para ser utilizada nos experimentos

O critério para escolha da semente selecionada utilizada no experimento foi o fator disponibilidade e utilização da mesma na região, portanto, optou-se pela semente do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) caupi, cultivar BRS Xiquexique, conforme a Embrapa (2021), apresentando 16 gramas de massa para cem 100 grãos.

### 4.2 Desenvolvimento do projeto

O projeto foi idealizado e instrumentado em três etapas: planejamento, dimensionamento e confecção, conforme mostra o fluxograma geral apresentado na figura 11.

Figura 11 - Fluxograma do projeto



Fonte: elaborado pelo autor.

O trabalho iniciou-se a partir de observações realizadas em configurações de semeadoras adubadoras pneumáticas e posteriormente a fundamentação teórica, onde foram idealizadas e consolidadas as especificações gerais do equipamento para produção de vácuo para segurar as sementes nos orifícios do dosador, como também, ar comprimido para acionar (rotacionar) o eixo do dosador.

Após os estudos preliminares e revisão da fundamentação teórica foi realizado o dimensionamento do cabeçote, levando em consideração vários aspectos construtivos, tais como, material a ser utilizado, dimensões e arranjos físicos. As etapas são descritas detalhadamente nos tópicos seguintes.

#### ***4.2.1 Planejamento***

Nessa fase, realizou-se a aquisição de informações relevantes que serviram para o embasamento das especificações do equipamento. Através de uma análise das características dos mecanismos envolvidos no acionamento dos dosadores foi possível obter informações sobre as características desejáveis e indesejáveis no desenvolvimento do projeto.

##### *4.2.1.1 Material utilizado*

Uma das finalidades deste trabalho é a possibilidade da reutilização de materiais para a confecção do vácuo-compressor. Porém, a escolha do material levou em consideração a necessidade do sistema, para que o mesmo tenha características mecânicas compatíveis ou superiores às exigidas para realizar com segurança as funções do projeto, como por exemplo, suportar as pressões positivas e negativas, rigidez mecânica à flambagem, à torção e suportar possíveis aumento de temperatura.

##### *4.2.1.2 Utilização de materiais de reuso (motor e compressor)*

O motor a combustão interna sem cabeçote original e compressor de ar automotivo (pressão positiva) utilizados para o experimento são componentes de baixo custo devido serem materiais de reuso, adquiridos sob forma de materiais reciclados.

A escolha por esse tipo de componente foi intencional, mesmo sendo conhecedor dos desgastes existentes nas peças móveis, justificaria testá-los por conta do acesso a pequenos produtores.

#### 4.2.1.2.1 Bloco do motor

O bloco do motor à combustão interna foi adquirido na cidade de Limoeiro do Norte, apresentando as seguintes características: motor ciclo Otto; quatro cilindros em linha; quatro tempos; diâmetro do cilindro 8,51 cm; curso do pistão 7,95 cm; cilindrada unitária 452,20 cm<sup>3</sup>; cilindrada total 1.808,81 cm<sup>3</sup> (1.8 L).

Segundo Simões, Roseiro; Ferreira (2011), motores a combustão interna que utilizam ciclo Otto, a pressão interna máxima na ignição da mistura atinge 50,0 Kgf/cm<sup>2</sup> (4.903,33 KPa).

Após aquisição do bloco do motor, foi realizada a desmontagem de todas as partes móveis: virabrequim, bielas, casquilhos (bronzinas), pistões, anéis de segmento e pino do munhão. Na parte externa do bloco foi realizada limpeza, posteriormente pintura com a finalidade de proteger a peça de agentes externos e processo de oxidação, e na parte interna foi realizada a limpeza com solvente e jato de ar. Foi realizada a manutenção no sistema de lubrificação, limpeza de galerias e orifícios, inspeção da bomba do óleo quanto à pressão e vazão e substituição do filtro de óleo lubrificante.

#### 4.2.1.2.2 Compressor

O compressor utilizado tem dois cilindros alternados, com diâmetro de 74,00 mm e curso do pistão 54,80 mm; cilindrada unitária 235,57 cm<sup>3</sup> e cilindrada total 470,94 cm<sup>3</sup> ou 0,47 L.

#### 4.2.1.2.3 Dosador de sementes

O dosador de sementes foi adquirido junto a produtores agrícolas da Chapa do Apodi que o empregava há várias culturas. Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado um disco com 90,0 furos (cada um com diâmetro de 4,20 mm) de fileira simples, empregado na semeadura da cultivar feijão.

Para esse tipo de componente podem ser usados vários discos diferentes com relação ao diâmetro dos furos e número de fileiras, a depender da cultura.

#### 4.2.1.2.4 Suporte do bloco do motor e motor elétrico

Os suportes do bloco e do motor elétrico foram confeccionados de cantoneiras metálicas fixados sobre uma bancada no laboratório de máquinas térmicas por processo de soldagem arco elétrico, conforme figura 12.

Figura 12 – Bancada para realização dos experimentos



Fonte: elaborada pelo autor.

A fixação do bloco do motor e do motor elétrico foi realizada na bancada metálica do laboratório de máquinas térmicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Limoeiro do Norte. Para essa fase foram utilizados vários processos de fabricação, dentre os quais, o processo de soldagem com arco elétrico (eletrodo revestido); o processo de corte de cantoneiras em “L” metálicas (guilhotina, esmerilhadoras e policorte); o processo de furação (furadeira de bancada e manual); o processo de dobramento (morsa); o processo de remoção de oxidação e pintura (esmerilhadora, lixa, pistola a ar comprimido). O material selecionado para a confecção das peças foi o aço SAE 1020 laminado, limite de escoamento de 350 MPa. Na escolha do material utilizado, levou-se em consideração as propriedades mecânicas, a facilidade de aquisição e a união entre peças (processo de soldagem) e/ou fixação com processo de furação (parafusos e porcas).

#### ***4.2.2 Dimensionamento dos cabeçotes***

O cabeçote original do motor à combustão interna (MCI) foi removido, já que, para essa finalidade não irá ocorrer combustão da mistura ar-combustível, somente deslocamento de ar atmosférico.

O dimensionamento dos cabeçotes foi realizado a partir do volume de ar deslocado pelos pistões alojados nos cilindros do bloco do motor à combustão interna.

Foram confeccionadas 3 (três) versões de cabeçotes (CV1, CV2 e CV3):

- a) CV1 utiliza oito válvulas unidirecionais, duas para cada cilindro;
- b) CV2 foram substituídos dois conjuntos de válvulas unidirecionais por dois componentes automotivos;
- c) CV3 confeccionado utilizando dois conjuntos de janelas/lâminas metálicas para passagem do ar em cada cilindro.

Os experimentos foram realizados nas versões de cabeçotes supracitados.

- a) Experimento 1: CV1, sucção e recalque livres, sem acessórios, ambas linhas utilizando os 4 cilindros;
- b) Experimento 2: CV1, na sucção são colocados todos os acessórios da referida linha mais o dosador de sementes e recalque livre, sem acessórios, ambas linhas utilizando os 4 cilindros;
- c) Experimento 3: CV2, na sucção são colocados todos os acessórios da referida linha, mais o dosador de sementes e recalque livre, sem acessórios, ambas linhas utilizando 2 cilindros;
- d) Experimento 4: CV2, na sucção são colocados todos os acessórios da referida linha (registro ajustado para vacuômetro medir 26,67 KPa) mais o dosador de sementes e recalque livre, sem acessórios, ambas linhas utilizando 2 cilindros;
- e) Experimento 5: CV2, na sucção são colocados todos os acessórios da referida linha, registro totalmente aberto, mais o dosador de sementes e recalque com acessórios (registro ajustado para manômetros medirem 100 KPa), ambas linhas utilizando 2 cilindros;
- f) Experimento 6: CV3, na sucção são colocados todos os acessórios da referida linha, utilizando os 4 cilindros, mais o dosador de sementes e recalque livre, sem acessórios, ar liberado para atmosfera;
- g) Experimento 7: CV3, na sucção são colocados todos os acessórios da referida linha, utilizando os 4 cilindros, mais o dosador de sementes e recalque livre,

sem acessórios, ar liberado para atmosfera. Acopla-se ao virabrequim do vácuo-compressor o eixo de um compressor automotivo com dois cilindros em linha alternados, ou seja, fasado de 180° para alimentar o motor pneumático ligado ao eixo do dosador de sementes.

Após a confecção do CV1, verificado a dinâmica de funcionamento e analisado os resultados obtidos, buscou-se algumas modificações com intuito de testar a capacidade do equipamento com relação a máxima pressão positiva e negativa (vácuo).

Essa mesma estratégia foi empregada para o CV2, justificada pela divisão em dois cabeçotes para o mesmo experimento. Já para o CV3, com os resultados dos dois primeiros, direcionou-se a pesquisa para diminuir as perdas da passagem do ar pelo interior do cabeçote, para tanto, o aumento das áreas relativas as válvulas de entrada e saída dos cabeçotes.

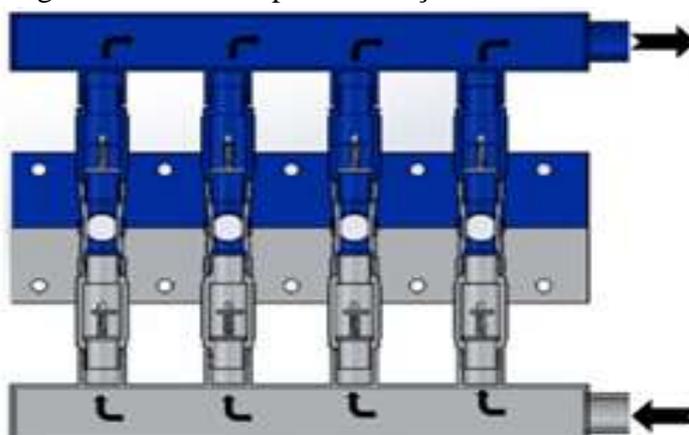
#### **4.2.3 Confecção dos cabeçotes**

Foram confeccionados três tipos de cabeçotes, cada um com características peculiares, buscando atingir objetivos pré-definidos, descrição a seguir.

##### **4.2.3.1 Confecção do cabeçote versão 1 (CV1)**

O cabeçote versão 1 (CV1) foi confeccionado utilizando quatro válvulas unidirecionais na linha de sucção (entrada) de ar, interligadas entre si por um tubo quadrado (linha cinza) e mais quatro válvulas idênticas às anteriores na linha recalque (saída), (linha azul), conforme a figura 13.

Figura 13 – Vista superior cabeçote versão 1



Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 1 - Materiais utilizados para confecção do cabeçote versão 1

Item	Quantidade	Descrição
Chapa metálica	01	Aço SAE 1020 (420,0 x 260,0 x 4,8 mm)
Tê metálico	04	25,4 mm diâmetro interno
Válvula unidirecional	08	25,4 mm diâmetro interno
Niple metálico	20	25,4 mm diâmetro externo
Parafuso	10	Parafuso de aço cabeça sextavada 8,0 x 10,0 mm
Elemento de vedação	01	Junta de cabeçote automotivo
Tubo quadrado	02	60,0 x 60,0 mm e comprimento 420,0 mm
Luva metálica	02	45,0 mm diâmetro interno

Fonte: elaborada pelo autor.

#### 4.2.3.1.1 Etapas do processo de fabricação do CV1.

- a) Abertura de 4 furos de 32,0 mm de diâmetro no centro da chapa metálica, correspondente ao centro de cada pistão. Utilização de fresa vertical com serra copo;
- b) Abertura de 10 furos com 10,0 mm de diâmetro (5 em cada borda lateral) para fixação da chapa metálica ao cabeçote. Utilização de furadeira de bancada com broca de 11,0 mm de diâmetro;
- c) Montagem de quatro conjuntos com os seguintes componentes: Saída central do tê colocado um niple fixado ao furo da placa metálica por processo de soldagem (arco elétrico com eletrodo revestido) como peça central e niples nas saídas laterais, nesses foram acopladas válvulas unidirecionais, observando o sentido de passagem do ar, sendo uma de cada lado. Nas outras extremidades das válvulas unidirecionais foram roscados outros niples de cada lado. Em cada junção foi colocada fita veda rosca e apertado com torque suficiente para evitar vazamentos (utilizado morsa e chave para tubos de 12”);
- d) Preparação dos dois tubos quadrados (60,0 x 60,0 mm). Corte dos tubos com 400,0 mm de comprimento, utilizando policorte. Em uma das extremidades de cada tubo quadrado foi realizado o fechamento das mesmas, utilizando chapa metálica com as mesmas dimensões e processo de soldagem; nas outras extremidades, utilizando também processo de soldagem, foram fixadas luvas metálicas de 38,1 mm de diâmetro interno;
- e) Furação lateral dos tubos metálicos. Em uma das faces laterais dos tubos quadrados foi realizada marcação de centro correspondentes às distâncias entre

niples de cada conjunto, depois puncionados, e utilizando-se furadeira de bancada e serra copo, abre-se os furos com diâmetro de 32,0 mm;

- f) Fixação dos tubos quadrados nos quatro conjuntos. Após abertura dos furos nas laterais dos tubos, conectou-se cada niple da extremidade de cada conjunto aos referidos furos dos tubos quadrados. Nessa ação, utilizou-se processo de soldagem para a fixação;
- g) Pintura do cabeçote. Após pesquisa em Normas Regulamentadoras (NR – 26 Sinalização e Segurança do Trabalho) e destacando na cor azul, tubulações de ar comprimido; e na cor cinza, para tubulações com pressão negativa (vácuo), foi realizada pintura com pistola pneumática, sendo dividido o cabeçote simetricamente ao meio, metade de cada cor;
- h) Montagem do cabeçote ao bloco. A fixação do cabeçote ao bloco foi realizada colocando-se uma junta de cabeçote automotiva entre a parte superior do bloco e o cabeçote. Em seguida, coloca-se os cinco parafusos em cada borda lateral e realizou-se a sequência de aperto dos mesmos, começando dos parafusos localizados no centro da chapa para os das extremidades, alternando-se os lados. Utilizou-se um torquímetro tipo estalo com aperto escalonado e uniforme em todos os parafusos.

#### 4.2.3.1.2 Dinâmica de funcionamento do CV1.

A dinâmica de funcionamento utilizando-se o cabeçote CV1 consiste no acionamento rotativo do virabrequim que está acoplado ao eixo cardan e este ao motor elétrico de 5,5 KW (7,5 CV). Quando o motor elétrico alimentado pelo inversor de frequência é acionado, os pistões **1** e **4** se deslocam-se do PMS (ponto morto superior) para o PMI (ponto morto inferior) promovendo pressão negativa (vácuo) no interior dos cilindros, fazendo com que as válvulas de admissão (linha cinza) dos respectivos cilindros abram, permitindo passagem do ar atmosférico para o interior dos cilindros, enquanto as outras duas válvulas (linha azul) permanecem fechadas.

Nesse interim, os pistões **2** e **3** deslocam-se do PMI (ponto morto inferior) para o PMS (ponto morto superior) promovendo pressão positiva no ar atmosférico contido no interior dos cilindros, fazendo com que as válvulas de recalque (saída), (linha azul), dos respectivos cilindros abram, permitindo passagem do ar atmosférico para fora dos cilindros, enquanto as outras duas válvulas (linha cinza) permanecem fechadas.

Assim, a cada volta completada pelo virabrequim, os pistões executam os movimentos de subida (PMI para PMS) ou descida (PMS para PMI) sucessivamente.

Vale lembrar que nesse bloco de um motor à combustão interna, 4 tempos, ciclo Otto, o virabrequim é fasado em 180°, isto é, quando os pistões 1 e 4 deslocam-se do PMS para o PMI, nesse mesmo tempo os pistões 2 e 3 deslocam-se do PMI para o PMS. (1 e 4) e (2 e 3) alternadamente.

#### 4.2.3.1.3 Procedimento em bancada de ensaio.

O primeiro procedimento foi a fixação do cabeçote versão 1 (CV1) na parte superior do bloco no motor de combustão interna. Colocou-se uma junta de vedação automotiva sobre o bloco, em seguida, o cabeçote devidamente alinhado com os furos para colocação dos parafusos, sendo 5 (cinco) de cada lado enfileirados. Utilizando-se um torquímetro de estalo graduado no torque adequado, procedeu-se o aperto escalonado de três passagens, seguindo a sequência de começar pelos parafusos centrais e depois para as extremidades sempre alternando o lado;

Colocação de fita adesiva autocolante reflexiva no eixo cardan, que interliga o eixo do motor elétrico ao eixo do virabrequim;

Na luva metálica da linha de recalque (saída de ar) foi colocado um tubo metálico com 38,1 mm de diâmetro externo e 27,8 mm de diâmetro interno com 100,0 mm de comprimento.

Na extremidade do tubo há uma distância de 120,0 mm foi colocado o anemômetro para medir a velocidade do fluxo de ar de maneira em que o centro do eixo das hélices ficasse concêntrico com a área da seção transversal do tubo;

Alimentação do motor elétrico trifásico com potência de 5,5 kW (7,5 CV) é proveniente do inversor de frequência, este conectado ao quadro de distribuição do laboratório através de disjuntor;

Acionamento do disjuntor para alimentação do inversor de frequência e conseqüentemente do motor elétrico;

Através do inversor de frequência, dar partida ao sistema, em paralelo ao mesmo funciona um potenciômetro para regulação da rotação de maneira rápida, girando o botão para (+) ou para (-);

Ajuste da rotação do virabrequim: coloca-se o inversor na função “rotação” e girando-se o botão do potenciômetro regula-se a rotação em 140 rpm, depois com tacômetro

óptico, direciona-se o feixe luminoso para a fita reflexiva colocada no eixo cardan e ajusta-se a rotação com a leitura do inversor. Repete-se esse procedimento para todas as rotações utilizadas (140, 240, 340, 440, 540, 640, 740, 840, 940, 1040, 1140, 1240, 1340, 1440 e 1540 rpm).

#### 4.2.3.1.4 Coleta de dados

Após ajustada a faixa de rotação, verifica-se a leitura no anemômetro posicionado próximo ao tubo circular na saída de ar da linha de recalque, com alicate amperímetro pinçado em uma das fases do motor elétrico, observa-se o valor da corrente elétrica consumida (amperagem).

Repete-se o procedimento para cada rotação por cinco vezes. Coloca-se os valores encontrados na tabela 15 calcula-se a média aritmética.

Cálculo da vazão teórica (VT) é o volume deslocado pelo movimento alternativo dos quatro cilindros em  $L\text{min}^{-1}$ .

Dados do bloco do motor: 4 cilindros; 8,51 cm diâmetro do cilindro; 7,95 cm curso do pistão.

Para calcular o volume deslocado quando o virabrequim é acionado, pode-se utilizar a fórmula da cilindrada total ( $C_T$ ) de acordo com equação 2.

$$(C_T) = \frac{\pi D^2}{4} \times \text{Curso do pistão} \times \text{Número de cilindros} \quad (2)$$

$$(C_T) = \frac{\pi D^2}{4} \times \text{Curso} \times N^\circ \text{ de cilindros} \rightarrow \frac{3,14(8,51)^2}{4} \times 7,95 \times 4 = 1.807,8 \text{ cm}^3 \text{ ou } \underline{1,8 \text{ L.}}$$

Cada volta completada pelo virabrequim tem-se 1,8 L de ar atmosférico deslocado. Como o eixo rotaciona 140 voltas por minuto, a vazão teórica será o produto de 1,8 L pela referida rotação, de acordo com equação 3.

$$\text{Vazão Teórica}(VT) = \text{volume deslocado}(L) \times \text{rotação}(rpm) \quad (3)$$

$$\text{Vazão Teórica}(VT) = 1,8 \text{ L} \times \text{rotação}(rpm) \rightarrow 1,8 \text{ L} \times 140 \text{ rpm} = 252 \text{ Lmin}^{-1}$$

Cálculo da vazão real de recalque (VRR) é a vazão de ar deslocado pelos quatro cilindros, verificada a partir da velocidade de saída do ar na extremidade do tubo localizado no cabeçote, com diâmetro 27,8 mm. Coloca-se o anemômetro e verifica-se a leitura máxima gravada no display, com essa leitura, utiliza-se a equação 4 (equação da continuidade).

$$Q = A \times V \quad (4)$$

Onde:  $Q$  = vazão em  $m^3s^{-1}$ ,  $A$  = área da secção transversal do tubo em  $m^2$  e  $V$  = velocidade em  $ms^{-1}$  obtida através do anemômetro.

$$Q = AxV \rightarrow \frac{\pi D^2}{4} \times V \rightarrow \frac{3,14(0,0278)^2}{4} \times 5,82 = 0,0035 m^3s^{-1} \text{ ou } 212 Lmin^{-1}.$$

A vazão real de sucção (VRS) é obtida adotando-se que a quantidade de ar que entra no sistema é igual à que sai.

De acordo com catálogo do fabricante Werner Eggon Geraldo (WEG) para calcular a potência do motor a partir da corrente elétrica obtida pelo alicate amperímetro, pode-se aplicar na equação 5.

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \times \eta \quad (5)$$

Onde:  $U$  (tensão da rede de alimentação) em volts;  $I$  (corrente elétrica) em amperes;  $\cos \varphi$  (fator de potência) e  $\eta$  (rendimento).

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \times \eta \rightarrow 1,73 \times 330 \times 6,2 \times 0,73 \times 0,87 = \frac{2.247,98}{736} = 3,05CV$$

A fórmula acima apresenta resultado final em watts (W), sendo necessário dividir por 736 para obtenção do valor em cavalo vapor (CV).

#### 4.2.3.1.5 Experimento 1

Realizado com cabeçote CV1 onde a sucção e recalque estão livres, isto é, sem utilização de acessórios, ambas linhas utilizam o volume deslocado pelos quatro cilindros. Os

dados coletados estão na tabela 2 referentes à rotação do virabrequim, velocidade do ar e amperagem.

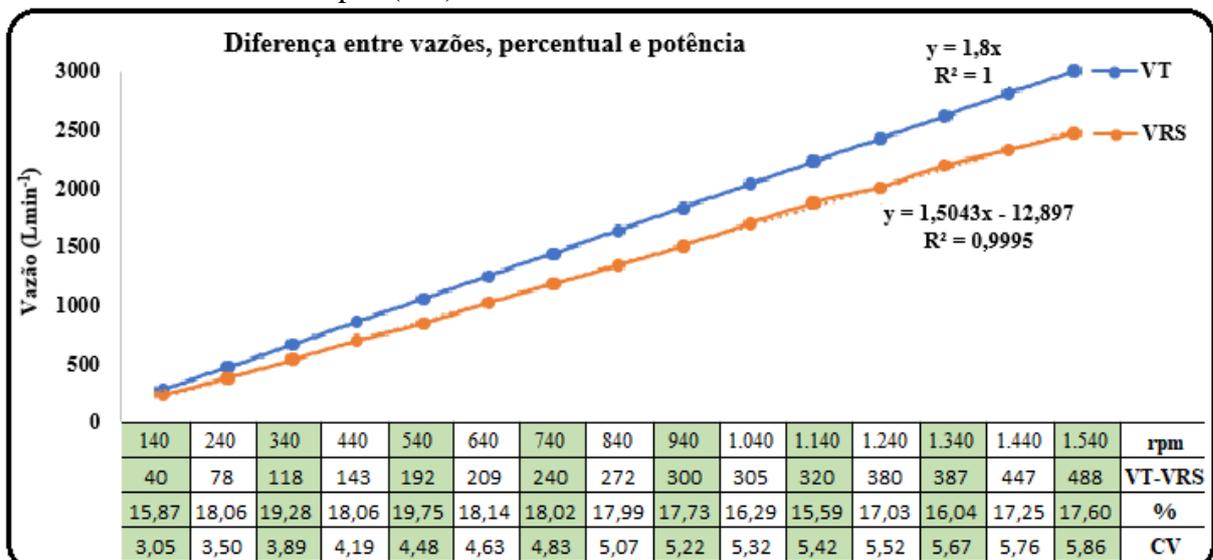
Tabela 2 - Dados coletados CV1, experimento 1

Rotação rpm	Vazão Teórica (VT)		Velocidade AR ms <sup>-1</sup>	Vazão Real Sucção (VRS)		CE A	Pot CV
	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		
140	252	0,0042	5,82	212	0,0035	6,20	3,05
240	432	0,0072	9,73	354	0,0059	7,10	3,50
340	612	0,0102	13,57	494	0,0082	7,90	3,89
440	792	0,0132	17,83	649	0,0108	8,50	4,19
540	972	0,0162	21,43	780	0,0130	9,10	4,48
640	1.152	0,0192	25,91	943	0,0157	9,40	4,63
740	1.332	0,0222	30,00	1.092	0,0182	9,80	4,83
840	1.512	0,0252	34,07	1.240	0,0207	10,30	5,07
940	1.692	0,0282	38,24	1.392	0,0232	10,60	5,22
1.040	1.872	0,0312	43,05	1.567	0,0261	10,80	5,32
1.140	2.052	0,0342	47,58	1.732	0,0289	11,00	5,42
1.240	2.232	0,0372	50,88	1.852	0,0309	11,20	5,52
1.340	2.412	0,0402	55,63	2.025	0,0338	11,50	5,67
1.440	2.592	0,0432	58,93	2.145	0,0358	11,70	5,76
1.540	2.772	0,0462	62,75	2.284	0,0381	11,90	5,86

Fonte: elaborada pelo autor.

A ilustração representada pela figura 14, traz a diferença entre a vazão teórica (VT) e vazão real de sucção (VRS), percentual por faixa e potência em (CV).

Figura 14 – Dados CV1, experimento 1, diferença entre vazões, percentual e potência consumida em cavalo vapor (CV)



Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores de  $R^2$  do gráfico acima, mostram uma forte proporcionalidade para cada faixa de rotação. Na linha 1, estão dispostas as faixas de rotação do virabrequim. Linha 2, a diferença entre vazão teórica (VT) e vazão real de sucção (VRS) por faixa. Linha 3 apresentada o percentual da diferença das vazões por faixa, apresentando média aritmética de 17,51% entre elas, atribui-se para as perdas relativas à passagem do fluxo de ar pelo interior do cabeçote, distribuídas em acessórios, recirculação de ar (anéis de segmento), possíveis vazamentos (tubos, junta do cabeçote, partes soldadas, conexões) e outros.

Na linha 4 está indicada a potência consumida para todas as faixas de rotação, tendo como média 4,83 CV.

#### 4.2.3.1.6 Experimento 2

Utiliza-se o mesmo cabeçote CV1 e consiste em acoplar na luva metálica do cabeçote a linha de sucção composta pelos acessórios da tabela 3.

Tabela 3 - Materiais utilizados na linha de sucção (vácuo)

Item	Quantidade	Descrição
Niple metálico	03	38,0 mm diâmetro externo
Tê metálico	01	38,0 mm diâmetro interno
Curva 90° metálica	01	38,0 mm diâmetro interno
Registro gaveta metálico	01	38,0 mm diâmetro interno
Redução metálica	01	45,0 x 38,0 mm diâmetro externo/interno
Mangueira flexível trançada	01	38,0 mm diâmetro interno com 400,0 mm de comprimento
Mangueira transparente	01	4,76 mm diâmetro interno e 300,0 mm de comprimento
Redução PVC	01	25,4 x 4,76 mm
Adaptador para mangueira	01	38,0 mm diâmetro externo
Adaptador para mangueira	01	4,76 mm diâmetro externo
Abraçadeiras metálicas	02	63,5 mm
Instrumentos de medição		
Instrumento 1	01	Manovacuômetro automotivo
Instrumento 2	01	Tubo em “U”

Fonte: elaborada pelo autor.

#### 4.2.3.1.7 Procedimento em bancada de ensaio

Todos os procedimentos anteriores para o experimento 1 estão sendo utilizados para o experimento 2, acrescentando-se a montagem dos acessórios e os instrumentos de medição à linha de sucção.

Na luva metálica, linha de sucção (vácuo) foram colocados os seguintes acessórios: redução de 45 para 38 mm, niples, tê, registro gaveta, curva 90°, adaptador, abraçadeiras e mangueira flexível acoplada ao dosador de sementes. Na saída lateral do tê, uma redução, adaptador e mangueira transparente conectada ao manovacuômetro automotivo e/ou tubo “U”.

Realizada a conexão da mangueira flexível (diâmetro interno 38,0 mm) à saída de sucção do dosador de sementes (diâmetro externo 38,0 mm e diâmetro interno 32,0 mm) com auxílio de abraçadeira metálica.

Encaixado o reservatório de sementes na parte superior do dosador, de modo que as sementes passam para o interior do dosador pela ação da gravidade.

#### 4.2.3.1.8 Coleta de dados

Cálculo da vazão real de recalque (VRR) é a vazão de ar deslocado pelos quatro cilindros, verificada a partir da velocidade de saída do ar na extremidade do tubo localizado no cabeçote, com diâmetro 27,8 mm. Coloca-se o anemômetro e verifica-se a leitura máxima gravada no display, com essa leitura, utiliza-se a equação 4 (equação da continuidade).

$$Q = A \times V \quad (4)$$

Onde:  $Q$  = vazão em  $m^3s^{-1}$ ,  $A$  = área da secção transversal do tubo em  $m^2$  e  $V$  = velocidade em  $ms^{-1}$  obtida através do anemômetro.

$$Q = AxV \rightarrow \frac{\pi D^2}{4} \times V \rightarrow \frac{3,14(0,0278)^2}{4} \times 5,65 = 0,0034 m^3s^{-1} \text{ ou } 204 Lmin^{-1}.$$

Para cada rotação selecionada, gira-se o eixo do dosador de sementes lentamente e verifica-se a ocorrência de liberação das mesmas, como também, anota-se a leitura do tubo em “U” com escala milímetro de coluna de água (mmca) e fazendo-se a conversão (1 mca = 9,81 KPa);

Cálculo da velocidade do ar no interior do dosador de sementes. Admitindo-se o sistema fechado (sem vazamentos), a quantidade de ar verificada no tubo de saída, no

anemômetro, será a mesma na saída do dosador com diâmetro interno de 32 mm. Utilizando-se da equação da continuidade (2) tem-se:  $Q$  (vazão) =  $0,0034 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  para a rotação de 140 rpm,  $A$  (área da secção transversal do tubo em  $\text{m}^2$  e  $V$  (velocidade) em  $\text{ms}^{-1}$ .

$$Q = AxV \rightarrow V = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{Q}{(\pi/4)D^2} \rightarrow \frac{0,0034}{0,785 \times (0,032)^2} = 4,23 \text{ ms}^{-1}$$

Os valores obtidos pelos cálculos anteriores estão dispostos na tabela 4.

Tabela 4 - Dados coletados CV1, experimento 2

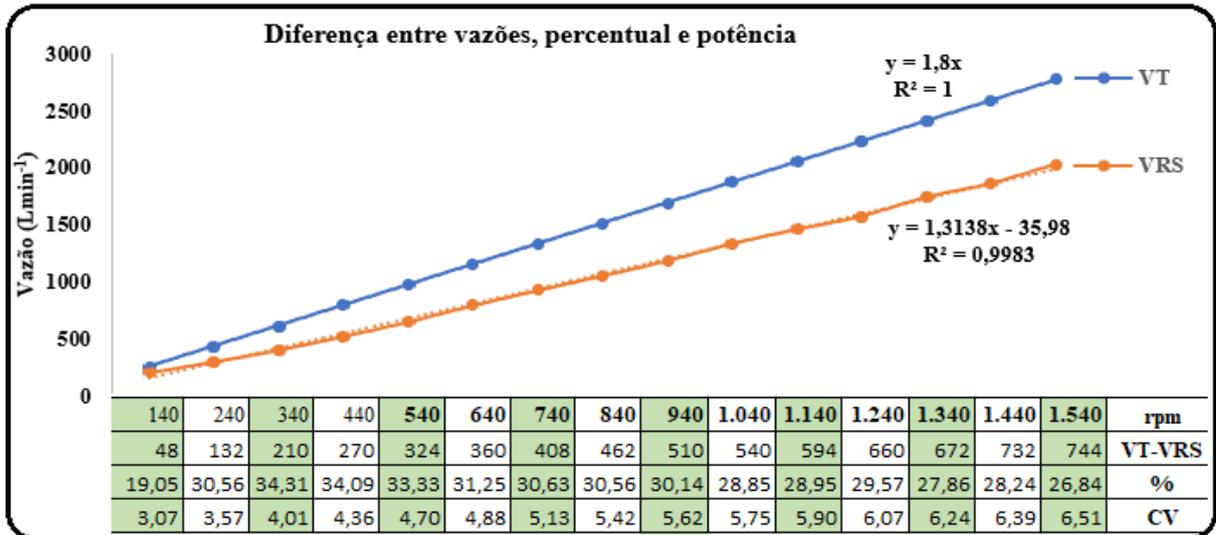
Rotação rpm	Vazão Teórica (VT)		Veloc. AR ( $\text{ms}^{-1}$ )	Vazão Real (VRS)		Veloc. AR Dosador $\text{ms}^{-1}$	Pressão Negativa Vácuo KPa	CE A	Pot CV
	$\text{Lmin}^{-1}$	$\text{m}^3\text{s}^{-1}$		$\text{Lmin}^{-1}$	$\text{m}^3\text{s}^{-1}$				
140	252	0,0042	5,65	204	0,0034	4,23	0,76	6,23	3,07
240	432	0,0072	8,20	300	0,0050	6,22	1,08	7,25	3,57
340	612	0,0102	11,03	402	0,0067	8,33	1,64	8,14	4,01
440	792	0,0132	14,46	522	0,0087	10,95	2,21	8,85	4,36
<b>540</b>	<b>972</b>	<b>0,0162</b>	<b>17,99</b>	<b>648</b>	<b>0,0108</b>	<b>13,56</b>	<b>2,72</b>	<b>9,54</b>	<b>4,70</b>
<b>640</b>	<b>1.152</b>	<b>0,0192</b>	<b>21,95</b>	<b>792</b>	<b>0,0132</b>	<b>16,55</b>	<b>3,26</b>	<b>9,91</b>	<b>4,88</b>
<b>740</b>	<b>1.332</b>	<b>0,0222</b>	<b>25,63</b>	<b>924</b>	<b>0,0154</b>	<b>19,28</b>	<b>3,74</b>	<b>10,40</b>	<b>5,13</b>
<b>840</b>	<b>1.512</b>	<b>0,0252</b>	<b>28,95</b>	<b>1.050</b>	<b>0,0175</b>	<b>21,89</b>	<b>4,22</b>	<b>11,00</b>	<b>5,42</b>
<b>940</b>	<b>1.692</b>	<b>0,0282</b>	<b>32,67</b>	<b>1.182</b>	<b>0,0197</b>	<b>24,63</b>	<b>4,76</b>	<b>11,40</b>	<b>5,62</b>
<b>1.040</b>	<b>1.872</b>	<b>0,0312</b>	<b>36,79</b>	<b>1.332</b>	<b>0,0222</b>	<b>27,74</b>	<b>5,29</b>	<b>11,70</b>	<b>5,75</b>
<b>1.140</b>	<b>2.052</b>	<b>0,0342</b>	<b>40,31</b>	<b>1.458</b>	<b>0,0243</b>	<b>30,48</b>	<b>5,76</b>	<b>12,00</b>	<b>5,90</b>
<b>1.240</b>	<b>2.232</b>	<b>0,0372</b>	<b>43,44</b>	<b>1.572</b>	<b>0,0262</b>	<b>32,84</b>	<b>6,24</b>	<b>12,30</b>	<b>6,07</b>
<b>1.340</b>	<b>2.412</b>	<b>0,0402</b>	<b>48,13</b>	<b>1.740</b>	<b>0,0290</b>	<b>36,33</b>	<b>6,86</b>	<b>12,70</b>	<b>6,24</b>
<b>1.440</b>	<b>2.592</b>	<b>0,0432</b>	<b>51,50</b>	<b>1.860</b>	<b>0,0310</b>	<b>38,81</b>	<b>7,27</b>	<b>12,97</b>	<b>6,39</b>
<b>1.540</b>	<b>2.772</b>	<b>0,0462</b>	<b>55,98</b>	<b>2.028</b>	<b>0,0338</b>	<b>42,30</b>	<b>7,86</b>	<b>13,20</b>	<b>6,51</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

As linhas em negrito representam as rotações em que as sementes foram fixadas aos orifícios do disco dosador e conseqüentemente dispensadas no tubo distribuidor.

Ver figura 15, diferença entre vazões com incremento da linha de sucção.

Figura 15 – Dados CV1, experimento 2, diferença entre vazões, percentual e potência consumida em cavalo vapor (CV)



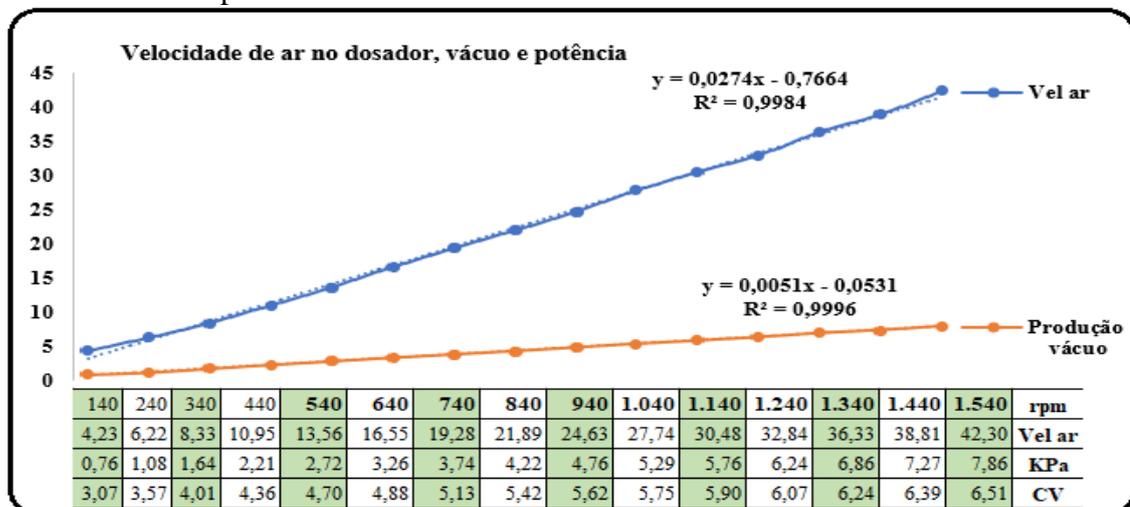
Fonte: elaborada pelo autor.

Observa-se que a partir da rotação de 540 rpm as sementes são seguradas nos orifícios do disco dosador, juntamente com as variáveis: velocidade de ar no interior do dosador ( $13,56 \text{ ms}^{-1}$ ) e pressão negativa, vácuo ( $2,72 \text{ KPa}$ ).

Verifica-se que com a linha de sucção instalada e seus acessórios, a média das diferenças de vazões passou de 17,51% para 29,62%, ocorrendo um acréscimo de 12,11% relativo às perdas da linha de sucção mais o dosador de sementes.

A linha 4 indica a potência consumida para todas as faixas de rotação, tendo como média 5,17 CV, um acréscimo de 0,34 CV com relação ao experimento 1, ver figura 16.

Figura 16 – Dados CV1, experimento 2, sobre velocidade do ar no dosador em  $\text{ms}^{-1}$ , produção de vácuo em KPa e potência consumida em CV



Fonte: elaborada pelo autor.

Os valores da pressão negativa (vácuo), observando que a partir da rotação de 540 rpm com vácuo de 2,72 KPa e velocidade de  $13,56 \text{ ms}^{-1}$  as sementes são fixadas aos orifícios do disco do dosador. Média da potência elétrica consumida para todas as faixas de rotação de 4,70 CV.

#### 4.2.3.2 Confeção do cabeçote versão 2 (CV2)

O cabeçote versão 2 (CV2) foi confeccionado a partir da estrutura do CV1, sendo removidos dois conjuntos (niples, tê, tubulações e válvulas unidirecionais) referentes aos cilindros 1 e 2 e introduzidos dois componentes automotivos, conforme figura 17.

Figura 17 – Vista superior cabeçote, versão 2



Fonte: elaborada pelo autor.

Os materiais utilizados para confecção do CV2, estão dispostos na tabela 5.

Tabela 5 – Materiais utilizados para confecção do cabeçote, versão 2

Item	Quantidade	Descrição
Chapa metálica	01	Aço SAE 1020 (420,0 x 260,0 x 4,8 mm)
Tê metálico	02	38,0 mm diâmetro interno
Válvula unidirecional	04	38,0 mm diâmetro interno
Componente automotivo	02	Cada com 1 válvula de entrada e 1 de saída
Niple metálico	13	38,0 mm diâmetro externo
Parafuso	10	Parafuso de aço cabeça sextavada 8x10,0 mm
Junta de cabeçote	01	Junta de cabeçote
Tubo quadrado	02	60,0 x 60,0 x 210,0 mm
Tubo circular	01	27,8 mm diâmetro interno e 120,0 mm comprimento
Luva metálica	02	45,0 mm diâmetro interno

Continuação.

Acessórios linha de sucção (vácuo)

Niple metálico	03	38,0 mm diâmetro externo
Tê metálico	01	38,0 mm diâmetro interno
Registro gaveta metálico	01	38,0 mm diâmetro interno
Curva 90° metálica	01	38,0 mm diâmetro interno
Redução metálica	01	45,0 x 38,0 mm diâmetro externo/interno
Mangueira flexível trançada	01	38,0 mm diâmetro interno com 400,0 mm de comprimento
Mangueira transparente	01	4,76 mm diâmetro interno e 300,0 mm de comprimento
Redução PVC	01	25,4 x 4,76 mm
Adaptador para mangueira	01	38,0 mm diâmetro externo
Adaptador para mangueira	01	4,76 mm diâmetro externo
Abraçadeiras metálicas	02	63,5 mm

Instrumentos de medição  
linha de sucção (vácuo)

Instrumento 1	01	Manovacuômetro automotivo
Instrumento 2	01	Tubo em “U”

Acessórios linha de  
recalque (pressão positiva)

Redução metálica	01	45,0 x 38,0 mm diâmetro externo/interno
Niple metálico	03	38,0 mm diâmetro externo
Tê metálico	02	38,0 mm diâmetro interno
Registro gaveta metálico	01	38,0mm diâmetro externo
Redução metálica	02	25,4 x 4,76 mm
Tubo circular	01	27,8 mm diâmetro interno e 120,0 mm comprimento

Acessórios linha de  
recalque (pressão positiva)

Instrumento 3	01	Manômetro automotivo
Instrumento 4	01	Manômetro industrial

Fonte: elaborada pelo autor.

#### 4.2.3.2.1 Etapas do processo de fabricação do CV2.

Para fabricação do cabeçote 2 (CV2) foi utilizada a mesma base do cabeçote 1, cortados os tubos quadrados na porção mediana (210,0 mm) como mostrado na figura 17, seguindo as etapas:

- a) Remoção de dois conjuntos completos relativos aos pistões 1 e 2. Corte dos dois niples fixados na placa metálica, como também, metade dos tubos quadrados (utilizando esmerilhadora manual);

- b) Reabertura dos furos centrais da placa metálica relativos aos pistões **3** e **4** para acomodação dos componentes automotivos (utilizando esmerilhadora manual, serra tico-tico e limas);
- c) Fixação do tubo quadrado a saída dos componentes automotivos (utilizando processo de soldagem).

#### 4.2.3.2.2 Dinâmica de funcionamento

A dinâmica de funcionamento do cabeçote CV2 segue a mesma descrita anteriormente para o cabeçote CV1 com relação aos movimentos dos pistões. A nova configuração está definida para que os pistões **1** e **2** continuem a realizar sucção (vácuo) e os pistões **3** e **4**, pressão positiva (ar comprimido).

#### 4.2.3.2.3 Procedimento em bancada de ensaio

O procedimento em bancada para o CV2 continua sendo o mesmo descrito anteriormente, acrescentando-se a medição da velocidade do ar (anemômetro) e a pressão positiva através dos manômetros (automotivo e industrial).

#### 4.2.3.2.4 Coleta de dados

A coleta de dados para o CV2 segue o mesmo procedimento utilizado para o CV1, incluindo-se mais duas medições: velocidade do ar na saída da tubulação de recalque (anemômetro) e pressão positiva (manômetros), que compõem a tabela 6.

#### 4.2.3.2.5 Experimento 3

Realizado com cabeçote CV2, onde na sucção são colocados todos os acessórios da referida linha, mais o dosador de sementes e recalque livre, isto é, sem utilização de acessórios, ambas utilizando o volume deslocado por dois cilindros. Os dados coletados estão na tabela 6 referentes a rotação do virabrequim, velocidade do ar para ambas as linhas, mais dosador, pressão negativa (vácuo), linha de sucção e amperagem.

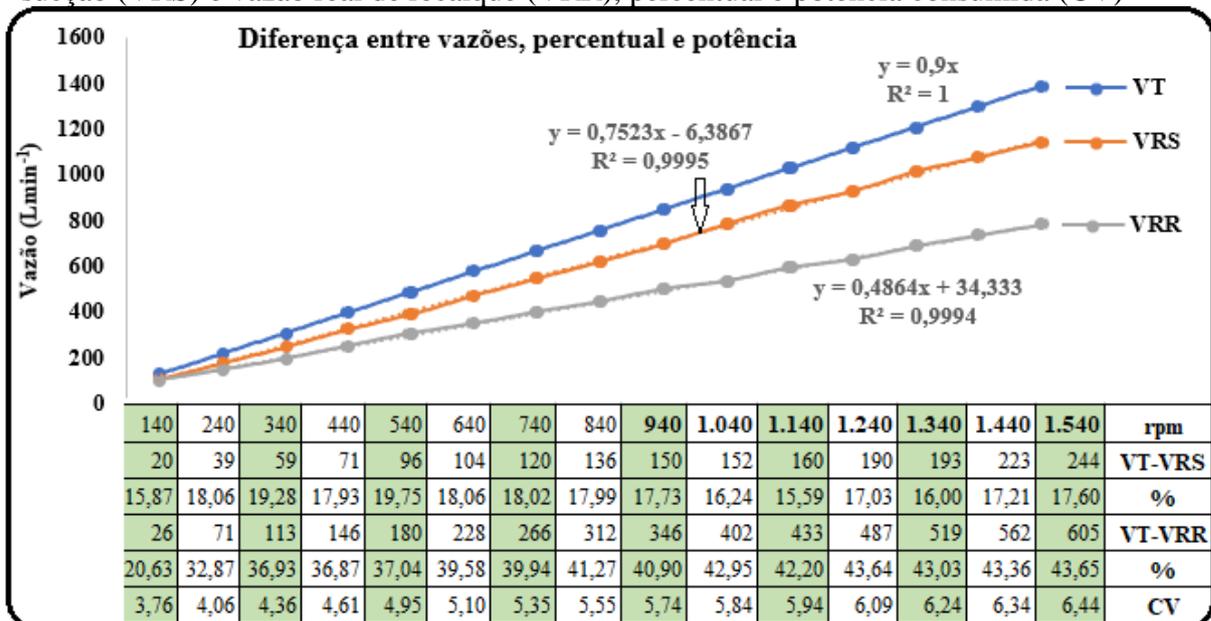
Tabela 6 – Dados coletados CV2, experimento 3

Rotação rpm	Vazão		Vazão Real		Vel. AR Dosador ms <sup>-1</sup>	Pressão Negativa Vácuo KPa	Vazão Real		CE A	Pot CV
	Teórica (VT)		Sucção (VRS)				Recalque (VRR)			
	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		
140	126	0,0021	106	0,0017	2,12	0,38	100	0,0017	7,60	3,76
240	216	0,0036	177	0,0025	3,11	0,54	145	0,0024	8,20	4,06
340	306	0,0051	247	0,0034	4,17	0,82	193	0,0032	8,80	4,36
440	396	0,0066	325	0,0044	5,48	1,11	250	0,0042	9,30	4,61
540	486	0,0081	390	0,0054	6,78	1,36	306	0,0051	10,00	4,95
640	576	0,0096	472	0,0066	8,28	1,63	348	0,0058	10,30	5,10
740	666	0,0111	546	0,0077	9,64	1,87	400	0,0067	10,80	5,35
840	756	0,0126	620	0,0088	10,95	2,11	444	0,0074	11,20	5,55
940	846	0,0141	696	0,0099	12,32	2,38	500	0,0083	11,60	5,74
1.040	936	0,0156	784	0,0111	13,87	2,65	534	0,0089	11,80	5,84
1.140	1.026	0,0171	866	0,0122	15,24	2,88	593	0,0099	12,00	5,94
1.240	1.116	0,0186	926	0,0131	16,42	3,12	629	0,0105	12,30	6,09
1.340	1.206	0,0201	1.013	0,0145	18,17	3,43	687	0,0115	12,60	6,24
1.440	1.296	0,0216	1.073	0,0155	19,41	3,64	734	0,0122	12,80	6,34
1.540	1.386	0,0231	1.142	0,0169	21,15	3,93	781	0,0130	13,00	6,44

Fonte: elaborada pelo autor.

A ilustração representada pela figura 18, traz a diferença entre a vazão teórica (VT), vazão real de sucção (VRS) e vazão real de recalque (VRR).

Figura 18 – Dados CV2, experimento 3: diferença entre vazão teórica (VT), vazão real de sucção (VRS) e vazão real de recalque (VRR), percentual e potência consumida (CV)



Fonte: elaborada pelo autor.

Observa-se que a partir da rotação de 940 rpm as sementes são seguradas nos orifícios do disco dosador.

VT-VRS é a diferença entre vazão teórica (VT) e vazão real de sucção (VRS) por faixa de rotação, linha abaixo, percentuais das diferenças por faixa de rotação, com média aritmética de 17,49%.

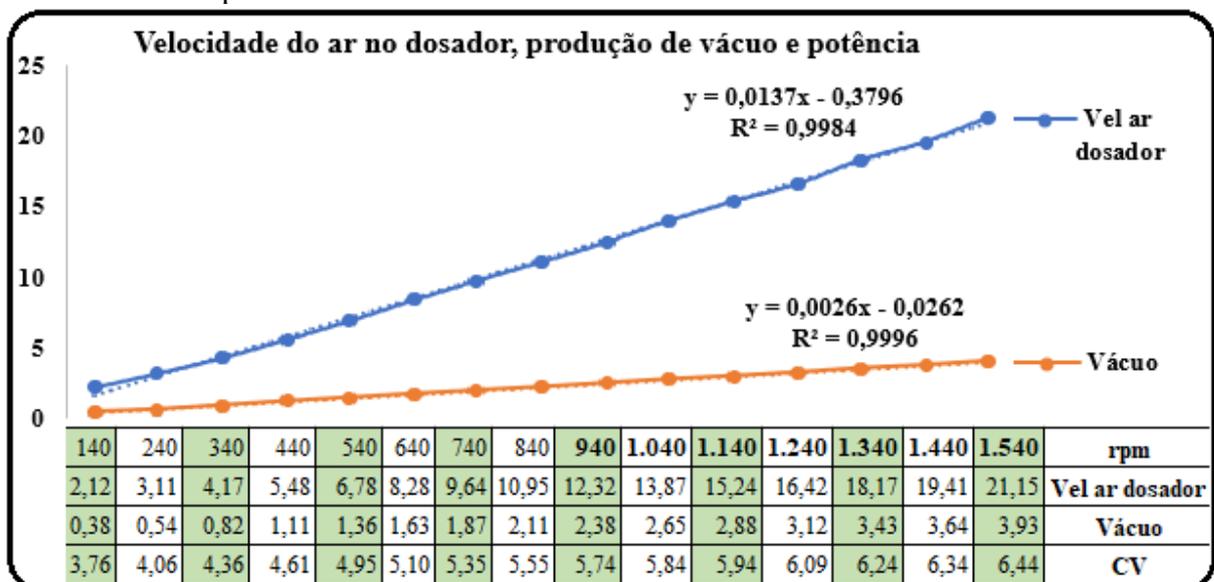
VT-VRR é a diferença entre vazão teórica (VT) e vazão real de recalque (VRR), por faixa de rotação, linha abaixo, percentuais das diferenças por faixa de rotação, com média aritmética de 38,99%.

Observa-se um acréscimo de 21,50% na média da linha de recalque (VRR) em relação à linha de sucção (VRS), indicando que os componentes automotivos utilizados nos cilindros 3 e 4 ofereceram maior resistência a passagem do ar que as válvulas unidirecionais.

A linha 6 indica a potência consumida para todas as faixas de rotação, tendo como média 5,36 CV.

A ilustração representada pela figura 19, traz dados sobre a velocidade de ar no dosador, produção de vácuo e potência consumida.

Figura 19 – Dados CV2, experimento 3: velocidade de ar no dosador em  $\text{ms}^{-1}$ , produção de vácuo em KPa e potência consumida em CV



Fonte: elaborada pelo autor.

Observa-se que a partir da rotação de 940 rpm, utilizando 2 cilindros, tem-se uma velocidade no dosador de sementes de  $12,32 \text{ ms}^{-1}$ , com pressão negativa (vácuo) de 2,38 KPa e potência elétrica consumida de 5,74 CV.

Na ilustração 16, verifica-se que a partir da rotação de 540 rpm, utilizando 4 cilindros, tem-se uma velocidade no dosador de sementes de  $13,56 \text{ ms}^{-1}$ , com pressão negativa (vácuo) de 2,72 KPa e potência elétrica consumida de 4,70 CV.

#### 4.2.3.2.6 Experimento 4

O experimento 4 foi realizado com o CV2, onde tem-se os cilindros 1 e 2 realizando sucção (vácuo) e os cilindros 3 e 4 produzindo ar comprimido.

O procedimento consiste em regular o registro da linha de sucção, para todas as faixas de rotação, na mesma pressão negativa (vácuo) de 26,67 KPa monitorada no vacuômetro. O vácuo obtido é proveniente do deslocamento dos cilindros 1 e 2 com cabeçote composto de válvulas unidirecionais. Os cilindros 3 e 4 fazem parte do recalque com cabeçote formado por componentes automotivos e sem acessórios na linha (descarga livre), conforme tabela 7.

Tabela 7 – Dados coletados CV2 experimento 4

Rotação	Vazão Teórica (VT)		Vazão Real Sucção (VRS)		Velocidade AR Dosador	Pressão Negativa Vácuo	Vazão Real Recalque VRR		CE	Pot
	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>			Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		
140	126	0,0021	76	0,0013	1,58	26,67	100	0,0017	8,00	3,96
240	216	0,0036	120	0,0020	2,49	26,67	145	0,0024	9,00	4,46
340	306	0,0051	167	0,0028	3,46	26,67	193	0,0032	10,00	4,95
440	396	0,0066	218	0,0036	4,52	26,67	250	0,0042	10,60	5,25
540	486	0,0081	255	0,0043	5,29	26,67	306	0,0051	11,00	5,45
640	576	0,0096	309	0,0052	6,41	26,67	348	0,0058	11,50	5,70
740	666	0,0111	353	0,0059	7,32	26,67	400	0,0067	12,00	5,94
840	756	0,0126	419	0,0070	8,69	26,67	444	0,0074	12,20	6,04
940	846	0,0141	484	0,0081	10,04	26,67	500	0,0083	12,50	6,19
1.040	936	0,0156	524	0,0087	10,86	26,67	534	0,0089	12,80	6,34
1.140	1.026	0,0171	568	0,0095	11,78	26,67	593	0,0099	13,00	6,44

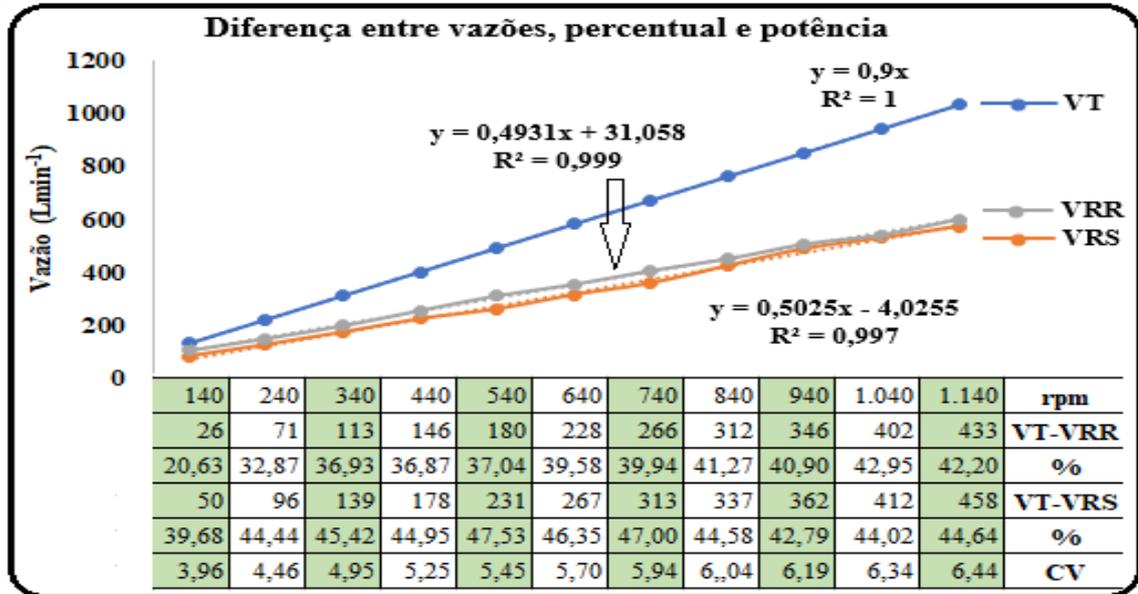
**MOTOR BLOQUEOU** (parou, potência insuficiente para continuar funcionando).

Fonte: elaborada pelo autor.

Observa-se que para realizar pressão negativa (vácuo) a 26,67 KPa e ar comprimido o equipamento bloqueou na rotação de 1.140 rpm e não ocorreu a sustentação das sementes aos orifícios do disco dosador.

A ilustração representada pela figura 20, traz a diferença da vazão teórica (VT), vazão real de sucção (VRS) e vazão real de recalque (VRR).

Figura 20 – Dados CV2, experimento 4: diferença entre vazões em  $Lmin^{-1}$ , percentual e potência consumida em CV



Fonte: elaborada pelo autor.

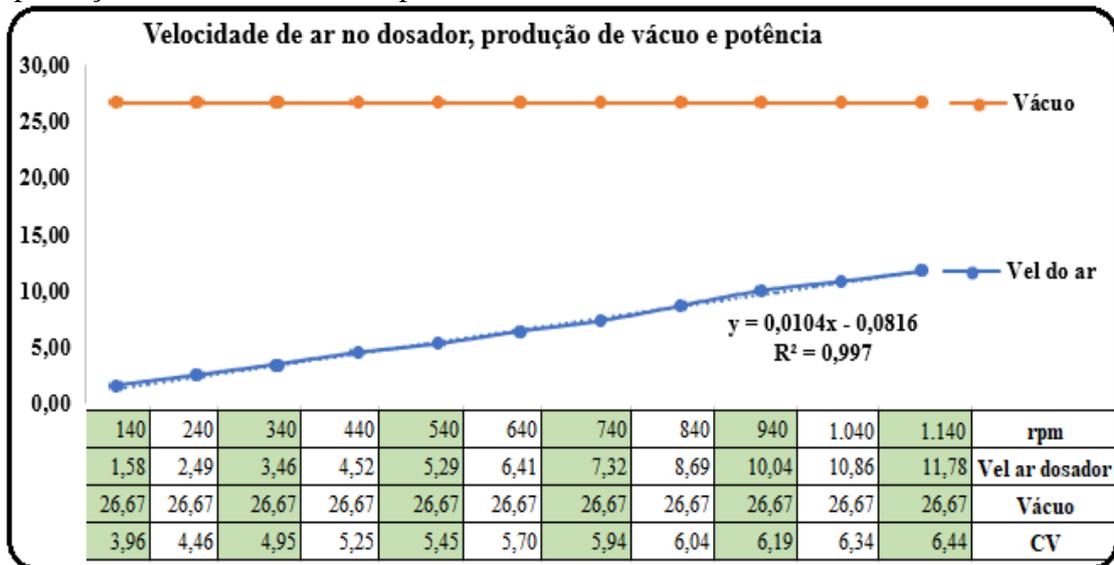
VT-VRR é a diferença entre vazão teórica (VT) e vazão real de recalque (VRR) por faixa de rotação, na linha abaixo, percentuais das diferenças por faixa, com média aritmética de 37,38%.

VT-VRS é a diferença entre vazão teórica (VT) e vazão real de sucção (VRS) por faixa de rotação, na linha abaixo, percentuais das diferenças por faixa de rotação, com média aritmética de 44,67%.

Observa-se um acréscimo de 7,29% na média da linha de sucção (VRS) em relação a linha de recalque (VRR), visto que, a linha de sucção está atuando com registro regulado para proporcionar pressão negativa (vácuo) de 26,67 KPa, utilizando os cilindros 1 e 2 e potência média consumida 5,52 CV.

A ilustração representada pela figura 21, informa a velocidade de ar no dosador, produção de vácuo e potência consumida.

Figura 21 – Dados CV2, experimento 4: velocidade de ar no dosador em  $\text{ms}^{-1}$ , produção de vácuo em KPa e potência consumida em CV



Fonte: elaborada pelo autor.

Com produção de vácuo constante, fixada em 26,67 KPa, observa-se que ocorreu aumento na velocidade de ar no dosador de sementes, máxima obtida de  $11,78 \text{ ms}^{-1}$ , verificado em experimentos anteriores que com velocidade de 12 a  $13 \text{ ms}^{-1}$ , ocorre a fixação das sementes.

Observa-se que a partir da rotação de 1.140 rpm, o inversor de frequência bloqueou, por segurança, o motor elétrico um pouco antes da potência máxima. Potência média consumida todas as faixas de 5,52 CV.

#### 4.2.3.2.7 Experimento 5

O experimento 5 consiste em abrir totalmente o registro da linha de sucção, utilizando cilindros 1 e 2, mantendo a linha e os acessórios conectados. O ar na linha de recalque é obtido proveniente do deslocamento dos cilindros 3 e 4 utilizando componentes automotivos. Ajusta-se o registro para pressão fixada em 200,0 KPa para todas as faixas de rotação, conforme tabela 8.

Tabela 8 – Dados coletados CV2, experimento 5

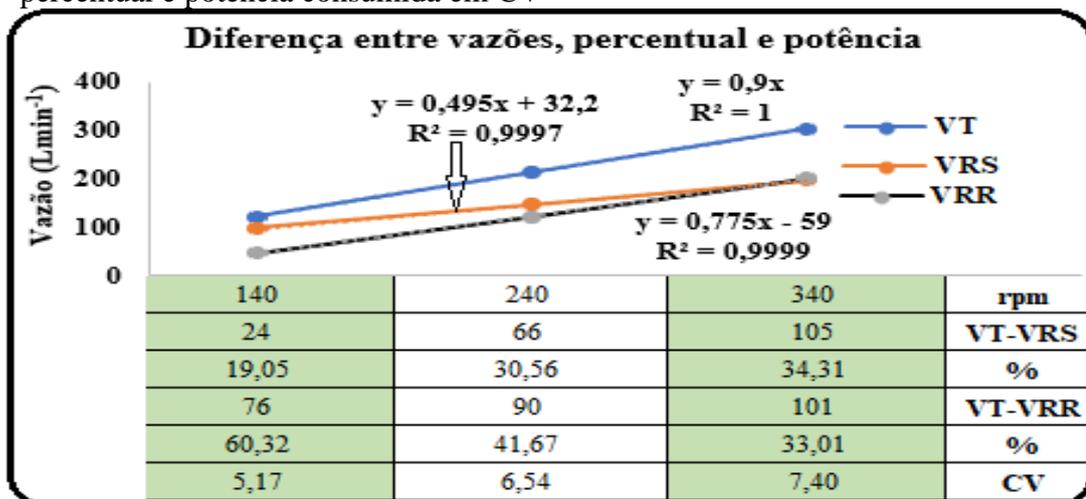
Rotação	Vazão Teórica (VT)		Vazão Real (VRS) Sucção		Veloc AR Dosador	Pressão Neg Vácuo	Pressão Positiva	Vazão Real (VRR) Recalque		CE	Pot
	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>				Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		
140	126	0,0021	102	0,0017	2,12	0,38	200	50	0,0008	12,00	5,17
240	216	0,0036	150	0,0025	3,11	0,54	200	126	0,0021	12,80	6,54
340	306	0,0051	201	0,0033	4,17	0,82	200	205	0,0034	13,00	7,40

**MOTOR ELÉTRICO BLOQUEOU** (parou, potência insuficiente para continuar funcionando).

Fonte: elaborada pelo autor.

A ilustração representada pela figura 22, informa a diferenças entre vazões, percentual e potência consumida.

Figura 22 – Dados CV2, experimento 5: diferença entre vazões em Lmin<sup>-1</sup>, percentual e potência consumida em CV



Fonte: elaborada pelo autor.

VT-VRS é a diferença entre a vazão teórica (VT) e vazão real de sucção (VRS), na linha 3, percentuais das diferenças com média de 27,97%.

VT-VRR é a diferença entre a vazão teórica (VT) e vazão real de recalque (VRR), na linha 5, percentuais das diferenças com média de 45,00%.

Observa-se um acréscimo de 17,03% na média da linha de recalque (VRR) em relação à linha de sucção (VRS), visto que, a linha de recalque está atuando com registro regulado para proporcionar uma pressão positiva de 200,0 KPa, utilizando os cilindros 3 e 4. A potência média consumida 6,37 CV.

#### 4.2.3.3 Confeção do cabeçote versão 3 (CV3)

O cabeçote versão 3 (CV3) foi confeccionado utilizando-se a mesma base metálica do CV2, sendo retiradas as válvulas unidirecionais e os dois componentes automotivos. Foram confeccionadas oito janelas metálicas retangulares de 40,0 x 60,0 mm, sendo duas para cada cilindro (uma para sucção – entrada e outra para recalque – saída), essas janelas são fechadas pela ação da força elástica de hastes delgadas (molas) distribuídas no lado oposto da passagem do ar, conforme a figura 23.

Figura 23 – Vista superior cabeçote versão 3 (CV3)



Fonte: elaborada pelo autor.

Os materiais utilizados para confecção do cabeçote versão 3 estão relacionadas na tabela 9.

Tabela 9 – Materiais utilizados para confecção do cabeçote versão 3

Item	Quantidade	Descrição
Chapa metálica	01	Aço SAE 1020 (420,0 x 260,0 x 4,8 mm)
Chapa metálica (tampa superior)	01	Aço SAE 1020 (420,0 x 260,0 x 3,2 mm)
Chapa metálica dobrada em U	04	Aço SAE 1020 (43,0 x 5,0 x 3,2 mm)
Janelas metálicas	08	Aço SAE 1020 (90,0 x 50,0 x 3,2 mm)
Tubo quadrado	01	Aço SAE 1020 (50,0 x 50,0 x 420,0 mm)
Tubo quadrado (suporte para molas, parte superior)	01	Aço SAE 1020 (12,7x12,7x580,0 mm)
Parafusos	10	Aço cabeça sextavada (8,0 x 10,0 mm)
Parafusos	06	Aço cabeça sextavada (12,0 x 10,0 mm)
Molas	08	Haste flexível delgada (70,0 x 5,0 x 1,0 mm)
Elemento de vedação	01	Junta de cabeçote automotivo
Luva metálica	01	45,0 mm diâmetro interno
Acessórios linha de sucção (vácuo)		

Continuação.

Niple metálico	03	38,0 mm diâmetro externo
Tê metálico	01	38,0 mm diâmetro interno
Registro gaveta metálico	01	38,0 mm diâmetro interno
Curva 90° metálica	01	38,0 mm diâmetro interno
Redução metálica	01	45,0 x 38,0 mm diâmetro externo/interno
Mangueira flexível trançada	01	38,0 mm diâmetro interno com 400,0 mm de comprimento
Mangueira transparente	01	4,76 mm diâmetro interno e 300,0 mm de comprimento
Redução PVC	01	25,4 x 4,76 mm
Adaptador para mangueira	01	38,0 mm diâmetro externo
Adaptador para mangueira	01	4,76 mm diâmetro externo
Abraçadeiras metálicas	02	63,5 mm
Instrumentos de medição		
linha de sucção (vácuo)		
Instrumento 1	01	Manovacuômetro automotivo
Instrumento 2	01	Tubo em “U”

Fonte: elaborada pelo autor.

#### 4.2.3.3.1 Etapas do processo de fabricação do CV3

Para fabricação do cabeçote 3 (CV3) foi utilizada a mesma chapa metálica (base do cabeçote 2) e um tubo quadrado metálico 60,0 x 60,0 mm e 420,0 mm de comprimento, sendo removidas todas as outras partes, como mostrado figura 23. A seguir, as etapas do processo:

- a) Reabertura de todos os furos centrais da chapa metálica para (60,0 x 80,0 mm) relativos a cada cilindro (utilizando esmerilhadora manual, serra tico-tico e limas);
- b) Abertura de quatro furos na face lateral do tubo quadrado da linha de sucção (vácuo) relativos ao centro de cada cilindro (utilizando esmerilhadora manual, serra tico-tico e limas);
- c) Dobramento e fixação de quatro chapas metálicas (43,0 x 5,0 x 3,2 mm) em formato U (18,0 x 7,0 x 18,0 mm) para cada cilindro (utilizando morsa, processo de soldagem com arco elétrico e eletrodo revestido);
- d) Confecção da tampa superior em chapa metálica (420,0 x 260,0 x 3,2 mm) e abertura de quatro furos (40,0 x 80,0 mm) nos respectivos centros de cada cilindro, como também, seis furos com 11,0 mm de diâmetro, para fixação da mesma na chapa metálica inferior (utilizando esmerilhadora manual, serra tico-tico, limas e furadoras de coluna);

- e) Confeção e fixação de quatro chapas metálicas (janelas 90,0 x 50,0 x 3,2 mm) para fechamento dos furos das tampas inferior e superior, relativas a cada cilindro (utilizando esmerilhadora manual, serra tico-tico e limas);
- f) Confeção e fixação de oito molas (hastes metálicas delgadas) com dimensões 70,0 x 5,0 x 1,0 mm para proporcionar fechamento dos furos das tampas inferior e superior, relativas a cada cilindro (utilizando esmerilhadora manual, serra tico-tico e limas);
- g) Confeção de suporte em tubo quadrado (12,7 x 12,7 x 580,0 mm), sendo realizado dobramento nas extremidades com comprimento de 70,0 mm para fixação de quatro hastes metálicas para chapa superior (utilizando esmerilhadora manual, serra tico-tico e limas);

#### 4.2.3.3.2 Dinâmica de funcionamento

A dinâmica de funcionamento do cabeçote CV3 é a mesma dos cabeçotes CV1 e CV2.

Nessa versão, todos os pistões estão produzindo pressão negativa (vácuo) pela linha de sucção. Não existe linha de recalque já que o ar está sendo liberado pelas janelas da tampa superior para atmosfera.

#### 4.2.3.3.3 Procedimento em bancada de ensaio

O CV3 foi fixado na parte superior do bloco do motor com mesmo procedimento dos cabeçotes CV1 e CV2, como também, todas as outras etapas relativas ao acionamento do sistema.

#### 4.2.3.3.4 Coleta de dados

Mesmo procedimento dos cabeçotes CV1 e CV2.

Vale ressaltar que, para esse cabeçote, tem-se apenas a linha de sucção com seus acessórios e instrumentos de medição.

## 4.2.3.3.5 Experimento 6

O experimento 6 consiste em abrir totalmente o registro da linha de sucção, utilizando os 4 cilindros, mantendo a linha e os acessórios conectados. A linha de recalque não existe, porque o ar está sendo deslocado para atmosfera, observar tabela 10.

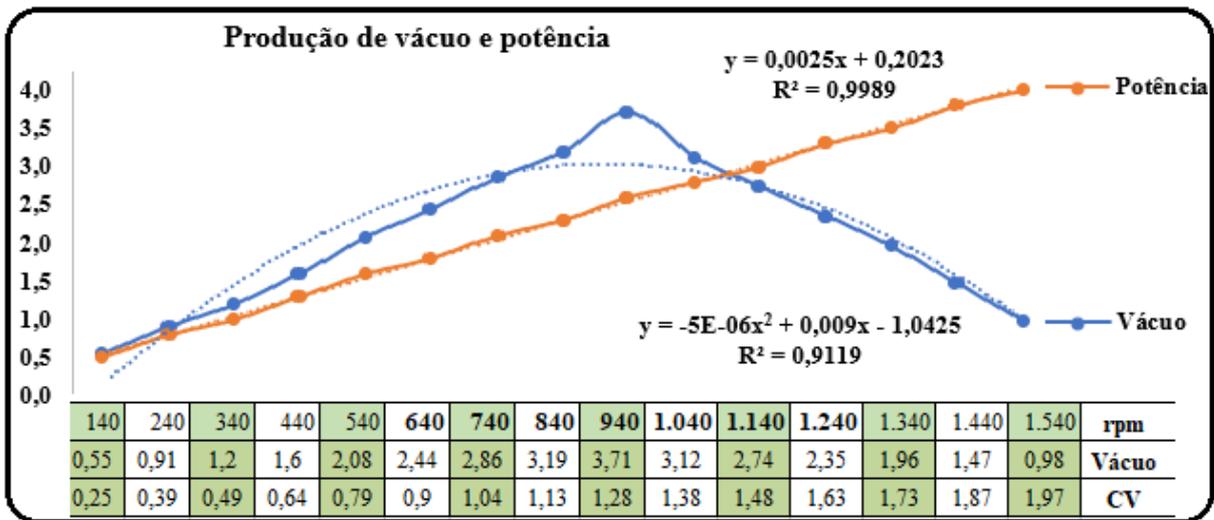
Tabela 10 – Dados coletados CV3, experimento 6

Rotação	Vazão Teórica (VT)		Pressão Negativa Vácuo KPa	CE A	Pot CV
	Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>			
140	252	0,0042	0,55	0,50	0,25
240	432	0,0072	0,91	0,80	0,39
340	612	0,0102	1,20	1,00	0,49
440	792	0,0132	1,60	1,30	0,64
540	972	0,0162	2,08	1,60	0,79
<b>640</b>	<b>1.152</b>	<b>0,0192</b>	<b>2,44</b>	<b>1,80</b>	<b>0,90</b>
<b>740</b>	<b>1.332</b>	<b>0,0222</b>	<b>2,86</b>	<b>2,10</b>	<b>1,04</b>
<b>840</b>	<b>1.512</b>	<b>0,0252</b>	<b>3,19</b>	<b>2,30</b>	<b>1,13</b>
<b>940</b>	<b>1.692</b>	<b>0,0282</b>	<b>3,71</b>	<b>2,60</b>	<b>1,28</b>
<b>1.040</b>	<b>1.872</b>	<b>0,0312</b>	<b>3,12</b>	<b>2,80</b>	<b>1,38</b>
<b>1.140</b>	<b>2.052</b>	<b>0,0342</b>	<b>2,74</b>	<b>3,00</b>	<b>1,48</b>
<b>1.240</b>	<b>2.232</b>	<b>0,0372</b>	<b>2,35</b>	<b>3,30</b>	<b>1,63</b>
1.340	2.412	0,0402	1,96	3,50	1,73
1.440	2.592	0,0432	1,47	3,80	1,87
1.540	2.772	0,0462	0,98	4,00	1,97

Fonte: elaborada pelo autor.

A ilustração representada pela figura 24, informa a produção de vácuo e potência consumida.

Figura 24 – Dados CV3, experimento 6: produção de vácuo em KPa e potência consumida em CV



Fonte: elaborada pelo autor.

Observa-se na produção de vácuo que para a faixa de rotação compreendida entre 640 e 1.240 rpm (negrito), um ponto de inflexão em 940 rpm (3,71 KPa) e decréscimo para as rotações subsequentes, atribuindo-se a constante elástica das molas que fazem o fechamento das lâminas metálicas na passagem do ar no interior do cabeçote.

Com relação a potência consumida, observa-se proporcionalidade entre as rotações, e a partir de 0,90 a 1,63 CV obtém-se distribuição das sementes pelo dosador.

#### 4.2.3.3.6 Experimento 7

Ainda com o CV3, na sucção são colocados todos os acessórios da referida linha, utilizando os 4 cilindros, mais o dosador de sementes e recalque livre, sem acessórios, ar para atmosfera. Acopla-se ao virabrequim do bloco do motor um compressor automotivo com dois cilindros em linha, alternados, ou seja, fasado de 180° e diâmetro de 74,0 mm e curso de 54,8 mm.

Para calcular o volume deslocado pelo compressor acoplado ao virabrequim, pode-se utilizar a fórmula da cilindrada total ( $C_T$ ), equação 2.

$$(CT) = \frac{\pi D^2}{4} \times \text{Curso do pistão} \times \text{Número de cilindros} \quad (2)$$

$$(CT) = \frac{\pi D^2}{4} \times \text{Curso} \times N^{\circ} \text{ de cilindros} \rightarrow \frac{3,14(7,40)^2}{4} \times 5,48 \times 2 = 471,13 \text{ cm}^3 \text{ ou } \underline{0,47 \text{ L}}$$

Para cada volta completada pelo compressor tem-se 0,47 L de ar deslocado para o motor pneumático, com as seguintes características; modelo LZB14-RL-AR005-11, potência 110 W, rotação 250 rpm, torque 6,9 Nm e vazão 3,6 Ls<sup>-1</sup> (216,0 Lmin<sup>-1</sup>).

A rotação do eixo virabrequim é transmitida para o compressor a partir de 140 voltas por minuto, a vazão teórica será o produto de 0,47 L por todas as faixas de rotação, conforme equação 3.

$$\text{Vazão Teórica} = \text{volume deslocado (L)} \times \text{rotação (rpm)} \quad (3)$$

$$\text{Vazão Teórica} = 0,47 \text{ L} \times \text{rotação (rpm)} \rightarrow 0,47 \text{ L} \times 140 \text{ rpm} = 65,8 \text{ Lmin}^{-1}$$

Os dados coletados provenientes das equações acima, estão dispostos na tabela 11 a seguir.

Tabela 11 – Dados coletados CV3, experimento 7

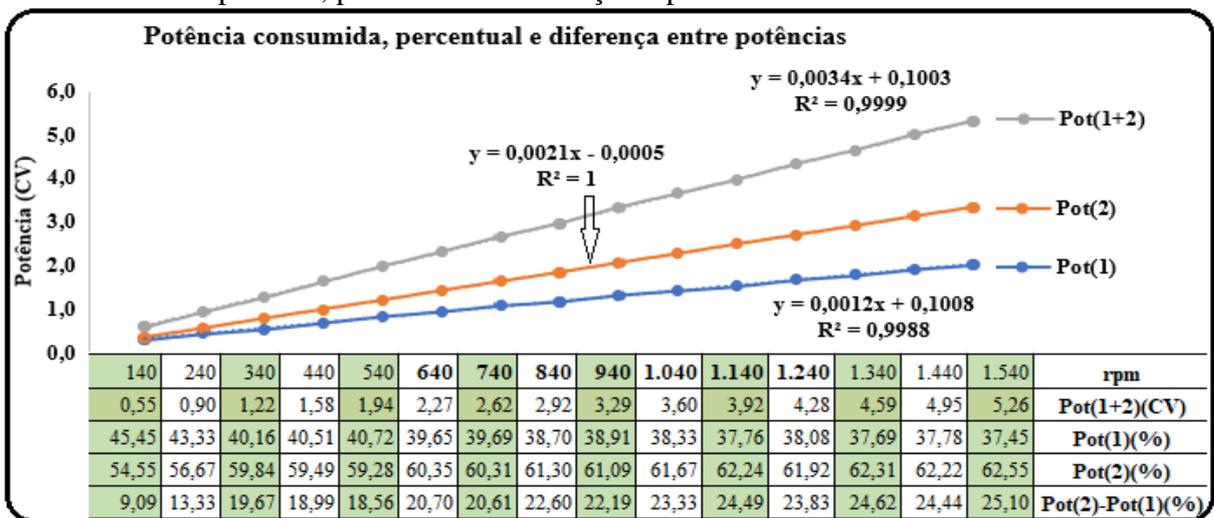
Rotação rpm	Pressão Negativa Vácuo KPa	CE (1) A	Pot (1) CV	Vazão Ar (VAC) Compressor		CE (2) A	Pot (2) CV	CE (1+2) A	Pot (1+2) CV
				Lmin <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>				
				140	0,55				
240	0,91	0,80	0,39	112,8	0,0019	1,03	0,51	1,83	0,90
340	1,20	1,00	0,49	159,8	0,0027	1,48	0,73	2,48	1,22
440	1,60	1,30	0,64	206,8	0,0034	1,91	0,94	3,21	1,58
540	2,08	1,60	0,79	253,8	0,0042	2,34	1,15	3,94	1,94
<b>640</b>	<b>2,44</b>	<b>1,80</b>	<b>0,90</b>	<b>300,8</b>	<b>0,0050</b>	<b>2,81</b>	<b>1,37</b>	<b>4,61</b>	<b>2,27</b>
<b>740</b>	<b>2,86</b>	<b>2,10</b>	<b>1,04</b>	<b>347,8</b>	<b>0,0058</b>	<b>3,22</b>	<b>1,58</b>	<b>5,32</b>	<b>2,62</b>
<b>840</b>	<b>3,19</b>	<b>2,30</b>	<b>1,13</b>	<b>394,8</b>	<b>0,0066</b>	<b>3,63</b>	<b>1,79</b>	<b>5,93</b>	<b>2,92</b>
<b>940</b>	<b>3,71</b>	<b>2,60</b>	<b>1,28</b>	<b>441,8</b>	<b>0,0074</b>	<b>4,08</b>	<b>2,01</b>	<b>6,68</b>	<b>3,29</b>
<b>1.040</b>	<b>3,12</b>	<b>2,80</b>	<b>1,38</b>	<b>488,8</b>	<b>0,0081</b>	<b>4,51</b>	<b>2,22</b>	<b>7,31</b>	<b>3,60</b>
<b>1.140</b>	<b>2,74</b>	<b>3,00</b>	<b>1,48</b>	<b>535,8</b>	<b>0,0089</b>	<b>4,96</b>	<b>2,44</b>	<b>7,96</b>	<b>3,92</b>
<b>1.240</b>	<b>2,35</b>	<b>3,30</b>	<b>1,63</b>	<b>582,8</b>	<b>0,0097</b>	<b>5,39</b>	<b>2,65</b>	<b>8,69</b>	<b>4,28</b>
1.340	1,96	3,50	1,73	629,8	0,0105	5,82	2,86	9,32	4,59
1.440	1,47	3,80	1,87	676,8	0,0113	6,25	3,08	10,05	4,95
1.540	0,98	4,00	1,97	723,8	0,0121	6,68	3,29	10,68	5,26

Fonte: elaborada pelo autor.

Pot (1) é a potência consumida relativa para a produção de vácuo, verificar consumo sem o compressor interligado, tabela 10. Pot (2) é a potência consumida pelo compressor. Pot (1+2) potência total consumida, utilizada para produzir vácuo e ar comprimido.

A ilustração representada pela figura 25, informa a potência total consumida para produzir vácuo e ar comprimido.

Figura 25 – Dados CV3, experimento 7: potência total consumida em CV para produzir vácuo e ar comprimido, percentual e diferença de potências



Fonte: elaborada pelo autor.

Pot (1) (%) é o percentual da potência para produzir vácuo em relação à potência total consumida, sendo 39,61% a média para todas as faixas.

Pot (2) (%) é o percentual da potência para produzir ar comprimido em relação à potência total consumida, sendo 60,39% a média para todas as faixas.

Pot (2) – Pot (1) (%) é a diferença percentual entre as potências consumidas para produzir vácuo e ar comprimido, onde a produção de vácuo é em média 20,78% menor.

#### 4.2.3.4 Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos em cada experimento foram provenientes a partir de cinco repetições, calculado média aritmética e transcritos para tabela 15, submetidos à análise de correlação entre as faixas de rotação (rpm) e os valores coletados (velocidade do ar, pressões positivas e negativas e amperagem), como também, verificados valores mínimos e máximos pelo software da Microsoft Excel 2010.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Comparação das principais variáveis entre cabeçotes

Nas tabelas 12, 13 e 14 estão dispostos os dados relativos as principais variáveis comparadas entre os três cabeçotes.

*5.1.1 Vazão real de sucção (VRS): volume de ar deslocado pelas linhas de sucção e recalque  $m^3 s^{-1}$  e  $L min^{-1}$  em relação a um CV de potência consumida, conforme tabela 12.*

Tabela 12 – Dados da vazão em relação ao consumo de energia ( $Lmin^{-1}/CV$ ).

Rotação rpm	CV1		CV2			CV3	
	Exp – 1	Exp – 2	Exp – 3	Exp – 4	Exp – 5	Exp – 6	Exp – 7
140	66,98	66,45	27,13	19,19	19,73	Existe, mas não foi mensurado.	Existe, mas não foi mensurado.
240	85,71	84,03	36,95	26,91	22,94		
340	103,34	100,25	46,10	33,74	27,16		
440	124,58	119,72	56,62	41,52	Motor bloqueou		
540	144,64	<b>137,87</b>	65,45	46,79			
640	171,06	<b>162,30</b>	77,65	54,21			
740	191,30	<b>180,12</b>	86,36	59,43			
840	207,10	<b>193,73</b>	94,59	69,37			
940	226,44	<b>210,32</b>	<b>102,96</b>	78,19			
1.040	250,38	<b>231,65</b>	<b>114,04</b>	82,65			
1.140	269,00	<b>247,12</b>	<b>122,73</b>	88,20			
1.240	284,78	<b>258,98</b>	<b>129,06</b>	Motor bloqueou			
1.340	306,88	<b>278,85</b>	<b>139,42</b>				
1.440	322,92	<b>291,08</b>	<b>146,69</b>				
1.540	346,08	<b>311,52</b>	<b>157,45</b>				
Mín	66,98	66,45	27,13	19,19	19,73		
Máx	346,08	311,52	157,45	88,20	27,16	-	-
R <sup>2</sup>	0,9991	0,9978	0,9987	0,9971	0,9939	-	-

Fonte: elaborada pelo autor.

Experimento 4 e 5, “motor bloqueou”. Esse resultado significa que o motor elétrico atingiu potência máxima informada ao inversor de frequência, fator segurança. No experimento 6 e 7, “existe, mas não foi mensurado”. Isso significa que não possível medir a velocidade do ar deslocado, devido a liberação do ar para atmosfera. Valores em negrito

indicam faixas de rotações em que as sementes estão seguradas aos orifícios do disco dosador e conseqüente dispensadas para o tubo distribuidor, experimento 2, a partir da rotação de 540 rpm e experimento 3, a partir de 940 rpm.

**5.1.2 Velocidade do ar: velocidade do ar deslocado no interior do dosador de sementes em  $ms^{-1}$ , conforme tabela 13.**

Tabela 13 – Dados da velocidade do ar no dosador de sementes em relação ao consumo de energia ( $m s^{-1}/CV$ ).

Rotação rpm	CV1	CV2			CV3	
	Exp – 2	Exp – 3	Exp – 4	Exp – 5	Exp – 6	Exp – 7
140	1,38	0,56	0,40	0,41	Existe, mas não foi mensurado.	Existe, mas não foi mensurado.
240	1,74	0,77	0,56	0,48		
340	2,08	0,96	0,70	0,56		
440	2,51	1,19	0,86	Motor bloqueou		
540	<b>2,89</b>	1,37	0,97			
640	<b>3,39</b>	1,62	1,12			
740	<b>3,76</b>	1,80	1,23			
840	<b>4,04</b>	1,97	1,44			
940	<b>4,38</b>	<b>2,15</b>	1,62			
1.040	<b>4,82</b>	<b>2,38</b>	1,71			
1.140	<b>5,17</b>	<b>2,57</b>	1,83			
1.240	<b>5,41</b>	<b>2,70</b>	Motor bloqueou			
1.340	<b>5,82</b>	<b>2,91</b>				
1.440	<b>6,07</b>	<b>3,06</b>				
1.540	<b>6,50</b>	<b>3,28</b>				
Mín	1,38	0,56	0,40	0,41		
Máx	6,50	3,28	1,83	0,56	-	-
R <sup>2</sup>	0,9978	0,9986	0,9970	0,9985	-	-

Fonte: elaborada pelo autor.

Para os experimentos 4, 5, 6 e 7 valores em negrito, mesmos motivos abordados anteriormente.

Velocidade de ar no dosador de sementes a partir de ( $2,89 ms^{-1}/CV$ ) no experimento 2 e de ( $2,15 ms^{-1}/CV$ ) no experimento 3. Indica que com um CV se produz uma velocidade de ar no dosador de  $2,89 ms^{-1}$  e  $2,15 ms^{-1}$  respectivamente.

**5.1.3 Produção de vácuo: pressão negativa da linha de sucção em KPa, conforme tabela 14.**

Tabela 14 – Dados da produção de vácuo em relação ao consumo de energia (KPa/CV).

Rotação rpm	CV1 Exp – 2	CV2			CV3	
		Exp – 3	Exp – 4	Exp – 5	Exp – 6	Exp – 7
140	0,25	0,10	6,73	0,07	2,20	1,00
240	0,30	0,13	5,98	0,08	2,33	1,01
340	0,41	0,19	5,39	0,11	2,45	0,98
440	0,51	0,24	5,08	Motor bloqueou	2,50	1,01
540	<b>0,58</b>	0,27	4,89		2,63	1,07
640	<b>0,67</b>	0,32	4,68		<b>2,71</b>	<b>1,07</b>
740	<b>0,73</b>	0,35	4,49		<b>2,75</b>	<b>1,09</b>
840	<b>0,78</b>	0,38	4,42		<b>2,82</b>	<b>1,09</b>
940	<b>0,85</b>	<b>0,41</b>	4,31		<b>2,90</b>	<b>1,13</b>
1.040	<b>0,92</b>	<b>0,45</b>	4,21		<b>2,26</b>	<b>0,87</b>
1.140	<b>0,98</b>	<b>0,48</b>	4,14		<b>1,85</b>	<b>0,70</b>
1.240	<b>1,03</b>	<b>0,51</b>	Motor bloqueou		<b>1,44</b>	<b>0,55</b>
1.340	<b>1,10</b>	<b>0,55</b>			1,13	0,43
1.440	<b>1,14</b>	<b>0,57</b>		0,79	0,30	
1.540	<b>1,21</b>	<b>0,61</b>		0,50	0,19	
Mín	0,25	0,10	4,14	0,07	0,50	0,19
Máx	1,21	0,61	6,73	0,11	2,90	1,13
R <sup>2</sup>	0,9913	0,9931	0,8575	0,9231	0,9515	0,9486

Fonte: elaborada pelo autor.

Nos experimentos 4 e 5, o motor bloqueou, mesmo motivo abordado anteriormente.

Vale ressaltar que no experimento 4; tem-se um decréscimo de produção de vácuo por CV consumido, enquanto nos experimentos 2, 3 e 5 observa-se um acréscimo; enquanto nos experimentos 6 e 7 ocorre um ponto máximo na rotação de 940 rpm. Justificando-se tais variações pelas particularidades construtivas entre as versões dos cabeçotes e variações entre as pressões utilizadas.

A tabela 15, utilizada para coletar os dados de todos os experimentos em laboratório. Após a coleta dos dados, calcula-se a média aritmética das repetições (cinco) e transfere-se para as demais tabelas.

Tabela 15 – Utilizada para coletar dados em bancada de laboratório

<b>Rotação</b>	<b>Velocidade Ar</b>	<b>Pressão</b>	<b>Pressão</b>	<b>Corrente</b>
<b>rpm</b>	<b>(ms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Positiva</b>	<b>Negativa</b>	<b>Elétrica (A)</b>
140 (1)				
140 (2)				
140 (3)				
140 (4)				
140 (5)				
<b>140 Média</b>				
---	---			---
1.540 (1)				
1.540 (2)				
1.540 (3)				
1.540 (4)				
1.540 (5)				
<b>1.540 Média</b>				

Fonte: elaborada pelo autor.

## 6 CONCLUSÃO

Foi confeccionado um vácuo-compressor com três cabeçotes distintos utilizando material de reuso, com a finalidade de acionar dosadores de sementes em semeadoras pneumáticas. Todas as versões de cabeçotes (CV1, CV2 e CV3) produziram vácuo necessário para executar atividade de semeadura da cultivar feijão.

Baseado nos resultados pode-se afirmar que:

- O CV1 a 1.540 rpm desloca 2.028 litros de ar por minuto na sucção, podendo acionar três linhas de semeaduras com consumo de energia de 6,51 CV. Com a mesma rotação o CV2 desloca 1.142 litros de ar por minuto na sucção e 781 no recalque, com consumo de energia de 6,44 CV.
- O CV2, experimento 4, com rotação de 140 rpm, pressão de sucção fixada em -26,67KPa, vazão de recalque de 100 litros de ar por minuto e consumo de energia de 3,96 CV. Observando somente a intensidade de produção de vácuo o equipamento acionaria 11 linhas de semeaduras.
- A 940 rpm, o CV3 produz pressão de -3,71 KPa, com consumo de energia de 1,28 CV, promovendo -2,90 KPa por CV.

Vale ressaltar que o equipamento vácuo-compressor foi acionado com motor elétrico de 5,5 KW (7,5 CV) em bancada de laboratório e que para atividade da semeadura o mesmo será acionado pela TDP do trator, tendo assim, uma larga margem de disponibilidade de potência para acionamento.

Como o bloco do vácuo-compressor é bastante robusto, permite que em operação de semeadura, a rotação do virabrequim alcance valores triplicados dos que foram ensaiados, ademais, se versões de cabeçotes forem confeccionadas utilizando comandos eletrônicos para executarem a abertura e fechamento das válvulas e sucção e recalque, a eficiência será aumentada.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, H. *et al.* **Fundamentals of Vaccum Technology**. [S. l.]. Cologe. 198p. 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 04: 015.06-004: Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio**. Rio de Janeiro. 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 04: 015.06-010: Semeadora e distribuidoras de fertilizantes ou corretivos – terminologia: definições**. Rio de Janeiro. 1996.
- ALBERTAZZI, A; SOUSA, A. R.de. **Fundamentos de Metrologia científica e industrial**. Barueri. SP: Manole, 2008.
- ALMEIDA, R.A.S.; SILVA, C.A.T.; SILVA, S.L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Agrarian**, v.3, n.7, p.63-70, 2010.
- ANDREW, D. J. Rupture velocity of plane strain shear cracks. **Journal of Geophysical Research**, [s. l.] v. 81, n.2, p.5679-5687, 1976.
- ANGHINONI, M. **Mecanismos dosadores de sementes e velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora nos componentes agrônômicos do milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2019.
- ATLAS COPCO AIRPOWER NV. **Compressed air manual**. [s. n.] 8ª ed. Belgium. 2015.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas. Semeadura Convencional**. Manole. Piracicaba. São Paulo. 2004. Cap. 5, p.146-151, 1987
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 2005.
- BEGA, E.A. **Instrumentação Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 541p. 2003.
- BONOTTO, G. J. **Desempenho de dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2012.
- BONOTTO, G. J.; *et al.* **BANFERTI: bancada para testes com dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. Cuiabá – MT, Brasil, 24 a 28 de julho de 2011.
- BOTTEGA, E. L.; VIAN, T.; GUERRA, N.; NETO, A. M. O. Diferentes dosadores de sementes e velocidades de deslocamento na semeadura do milho em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, p. 1-5, 2018.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, C. A.; MORAES, S. O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, vol.33, Viçosa, Jan/Fev, 2009.

CAMARGO, N. **O que é uma bomba de diafragma, bombas volumétricas, bombas de deslocamento positivo**. 2020. Engenharia e Cia. Disponível em: [www.engenhariaecia.eng.br](http://www.engenhariaecia.eng.br). Acesso em: 27 nov. 2021.

CARPES, D. P.; ALONÇO, A. S.; FRANCETTO, T. R.; MOREIRA, A. R.; CHAGAS, G. S. Qualidade da distribuição longitudinal de sementes de milho por um dosador-apanhador com auxílio pneumático. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 28, n. 1, p. 43-51, 2018.

CARPES, D. P.; ALONÇO, A. S.; ROSSATO, F. P. VEIT, A. A.; SOUZA, L. B.; FRANCETTO, T. R. Efeito de diferentes tubos condutores na distribuição longitudinal de sementes de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 657-662, 2017.

CARPES, D. P. **Desenvolvimento e avaliação de um mecanismo adaptável em dosador pneumático para individualização de sementes de arroz**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Santa Maria. Rio Grande do Sul. 2019.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; LLANILO, R. F. Evolução tecnológica das semeadoras de plantio direto no Brasil – Evolução dos sistemas de distribuição de sementes e fertilizante. **Revista Plantio Direto**, Aldeia Norte Editoras. 114 ed. Passo Fundo. Rio Grande do Sul. novembro/dezembro de 2009.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. **Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto**. Sistema plantio direto com qualidade, Iapar / Itaipu Binacional, p.85-126, 2006.

CASSANI, N. **Bombas de vácuo de pistão**. 2018. DVP Brasil Bombas de Vácuo. Disponível em: [www.dvpbrasil.com.br](http://www.dvpbrasil.com.br). Acesso em: 27 nov. 2021.

CELIK, A.; OZTURK, I.; WAY, T. R. Effects of various planters on emergence seed distribution uniformity of sunflower and seed distribution uniformity of sunflower. **Applied Engineering in Agriculture**, v.23, n.1, p.57-61, 2007.

CHAMBERS, A.; FITCH, R.K.; HALLIDAY, B.S. **Basic Vacuum Technology**. 2. Ed. IOP, Philadelphia. United States. 1998.

COPETTI, E. Os desafios da semeadura. **Revista SEEDnews. A revista internacional de sementes**. Pelotas. Rio Grande do Sul. Brasil. 2015.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. **Semeadoras de precisão. Cultivar Máquinas**, n. 56, p. 16-19, 2006.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 502-510, 2006b.

DEGASPERI, F. T. Modelagem e Análise detalhadas de Sistema de Vácuo. 2002. Dissertação (Mestrado em Física) São Paulo: Unicamp. 2002.

DEGASPERI, F.T. **Contribuições para análise, cálculo e modelagem de sistema de vácuo.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – FEEC. Unicamp. Campinas. São Paulo. 2006.

DIAS, V. de O. **Desempenho de dois protótipos de semeadoras-adubadoras para plantio direto.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul. 2009.

DIAS, V. O. D.; ALONÇO, A. S.; BAUMHARDT, U. B.; BONOTTO, G. J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1721-1728, 2009.

DIAS, V. O.; ALONÇO, A. S.; ARPES, D. P.; VEIT, A. A.; SOUZA, L. B. Velocidade periférica do disco em mecanismos dosadores de sementes de milho e soja. **Engenharia Rural**, v.44, n.11, p. 1973-1979, 2014.

DOMENEGUETI, J. F. M. **Sensor de umidade e vácuo baseado na reflexão interna.** Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Física Básica) - Instituto de Física de São Carlos. 88 p. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2014.

EMPRAPA. **Catálogo de cultivares de feijão-caupi.** Teresina-PI: Embrapa Meio-Norte. Disponível em: <https://www.embrapa.br/meio-norte/cultivares>. Acesso em: 27 nov. 2021.

FANTIN, N. A. M; MEERT L.; HANEL A.; Alencar, J. R. C. C.; PETEAN, L. P., Componentes de produção e qualidade de semeadura de soja em função de diferentes velocidades do conjunto trator + semeadora, **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.9, n.3, p.7-15, 2016.

FIALHO, A. B. **Automação pneumática:** projetos, dimensionamento e análise de circuitos. São Paulo: Érica. 2. ed. 2003.

GARCIA, L.C.; JASPER, R.; JASPER, M.; FORNARI, A.J.; BLUM, J. Influência da velocidade de operação na semeadura do milho. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 520 -527, 2006. CD-Rom.

GARDNER DENVER. **Tipos de bombas de vácuo Industriais.** Disponível em: <https://www.gardnerdenver.com/>. Acesso em: 27 nov. 2021.

GAMA, S. **Introdução à Ciência e Tecnologia do vácuo.** Apostila da disciplina de tecnologia do vácuo, curso de Física, Universidade Estadual de Campinas. 2002. Disponível em: <https://portal.ifi.unicamp.br/bibliotecaapostilas/f640/>. Acesso em: 20 out. 2021.

GAMA, S. **Cap 6-A Bombas de Vácuo. Laboratório de Vácuo e Criogenia.** Unicamp. Disponível em: <https://sites.ifi.unicamp.br/labvacrio/texto-referencia-do-prof-sergio-gama-vacuio/> acesso em: 20 abr. 2022

HABLANIAN, M. H. **Vacuum Physics and Tecnology**. [S. l.] Editado por WEISSLER, G. L.; CARLSON, R. W. Academic press, 1979.

HAHN, A., **Compressores – Guia Avançado**. (Procel Indústria: Edição Seriada). Rio de Janeiro: Eletrobrás, 127p. 2004.

HARA, D. H. S; FERREIRA, D. A; DEGASPERI, F. T. **Cálculo e Determinação Experimental da Taxa de Desgaseificação de Materiais Poliméricos em Vácuo**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Tecnologia de Materiais – FATEC São Paulo. 2011.

JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPÇÃO, P. S. M.; ROCIL, J.; GARCIA, L. C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 102-110, 2011.

JUNG, R; TAVARES, C. A; GRIGGIO, A; OLIVEIRA, L. G; DELAI, M; HISTER, J; SILVA, S. L. Avaliação da produtividade do milho em função dos sistemas de semeadura e velocidades de deslocamento. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v.2, n.2, p.158-164, 2009.

MACEDO, D. X.; NICOLAU, F. E. D. A.; NASCIMENTO, H. C.; COSTA, E.; CHIODEROLI, C. A.; LOUREIRO, D. R. Operational performance of a tractorseeder according to the velocity and working depth. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 280-285, 2016.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamento culturais**. Editora UFPel: Pelotas, RS, 2005.

MACHADO, T. M; REYNALDO, E. F. Avaliação de diferentes semeadoras e mecanismos dosadores de sementes em relação à velocidade de deslocamento. **Revista Energia na Agricultura**. v 32. n 1, 2017.

MACHADO, T. M; ÉTORE, F. R; WELINGTON, G. do V. Semeadoras adubadoras com diferentes mecanismos dosadores de sementes e a influência da velocidade na semeadura do milho. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata. vol 118 (1): 37-42. 2019.

MADEY, T. E.; BROWN, W. C. **History of Vacuum Science and Technology**, [s. l.] American Vacuum Society. American Institute of Physics, 64p.1984.

MASCHIO GASPARDO. **Semeadoras pneumáticas**. Disponível em: <https://www.agriexpo.online/pt/prod/maschio-gaspardo-169098.html> acesso em: 09 dez. 2021.

MELLO, L. M. M.; PINTO, E. R.; YANO, E. Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho em função da velocidade de semeadura e tipos de dosadores. **Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 3, p. 563-567, 2003.

MELO, R. P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L. A.; SOUZA, F. H.; SILVA, J. G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n. 1, p. 94-101, 2013.

METAPLAN. **Manual de Ar comprimido**. São Paulo: 6ª ed. 2017.

METAPLAN EQUIPAMENTOS. **Revista Digital**. 2008. Disponível em: [https://metalplan.com.br/revista\\_digital/catalogo.pdf](https://metalplan.com.br/revista_digital/catalogo.pdf) acesso em: 20 mar. 2022.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas para plantio**, 1. ed. Campinas: Millenium Editora, p.623. 2012.

MONTEIRO, L. R. **Desenvolvimento e análise de uma semeadora pneumática de grãos**. 1989. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UNICAMP, SP, 1989.

MOUTINHO, A.M.C; SILVA, M.E.S.F.; CUNHA, M.A.C.M.I. **Tecnologia do vácuo**. Ed Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 1980.

O'HANLON, J. F. **A user's guide to vacuum technology**. [S. l.]. 3 ed. Ed Wiley-Interscience, 2003.

PACHECO, E. P.; MANTOVANI, E. C.; MARTYN, P. J.; OLIVEIRA, A. C. Avaliação de uma semeadora-adubadora de precisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3 1, n. 3, p. 209-214, 1996.

PAIVA, J. A. **Aplicação da tecnologia do vácuo em projeto de engenharia de precisão**. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

PERRONE, F.P.D.; AFONSO, S.; CAVALCANTI, E.S.C.; CAPELLA, P.S. A solução no caso Daimler Chrysler para a redução do consumo de energia em sistemas de ar comprimido. **In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, 16. Anais. Campinas, 2001.

PORTELLA, J. A. **Semeadoras para plantio direto**. Viçosa: aprenda fácil. 2001.

PENA, R. F. A. **Agricultura no Brasil Atual**. Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/>. Acesso em: 30 dez. 2021.

PINHEIRO-NETO, R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO, A. C. **Desempenho de mecanismos dosadores de semente em diferentes velocidades e condições de cobertura do solo**. Acta Scientiarum Agronomy, v. 30. p. 611-617, 2008.

REIS, A.V. **Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. 2003. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

REIS, A.V.; FORCELLINI, F.A.; RAMOS, U.A.P. Avaliação do diâmetro do orifício e da pressão de ar na dosagem pneumática de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Agrocência**, Pelotas, v.12, n.2, p.191-197, 2006.

ROLLINS, J.P. **Manual de ar comprimido e gases**. São Paulo: Prentice Hall, 2004. 882p.

ROZANOV, L. N. **Vacuum Technique**. [S. l.]. 1st Edition, CRC Press. 360p. 2002.

SANTOS, F. J. M. **Elaboração de uma instalação didática para estudo de um compressor de ar**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) Universidade do Porto. 2020.

SILVEIRA, G. M. **As máquinas para plantar: aplicadores, distribuidoras, semeadoras, plantadoras e cultivadoras**. Rio de Janeiro: Globo, 1989.

SILVEIRA, J. C. M.; GABRIEL FILHO, A.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação do milho safrinha sob plantio direto. **Engenharia na Agricultura**, v. 13, n. 04, p. 256-267. 2005.

SIMÕES, F., ROSEIRO, L., FERREIRA, P. **Estudo de um pistão de um motor de combustão interna utilizando as tecnologias CAD/CAM/CAE**. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Dep. Eng. Mecânica, CIBIM 10, O Porto, Portugal, 2011.

STEMPNIAK, R. A. **A ciência e a tecnologia do vácuo**. Sociedade Brasileira de Vácuo FACAP/CDT – Faculdade de Ciências Aplicadas de São José dos Campos. São Paulo. 2002.

STEWART, HARRY L. **Pneumática e hidráulica**. São Paulo: Hermus, 2001.

SUGANO, T. **Applications of Plasma Processes to VLSI Technology**. Wiley Interscience Publication, New York, 394p. 1985.

Temper União. **Manômetro U, inclinado e Vacuômetro: funcionamento**. Moóca-SP. Disponível em: [http://www.temperuniao.com.br/downloads/manometro\\_coluna\\_U\\_inclinados\\_e\\_vacu.pdf](http://www.temperuniao.com.br/downloads/manometro_coluna_U_inclinados_e_vacu.pdf). Acesso em: 20 dez. 2021.

TROGELLO, E. A.J; MODOLO, M; SCARSI, C.L; SILVA, P.F; ADAMI & R; DALLACORT. Manejos de cobertura vegetal e velocidades de operação em condições de semeadura e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 17(7): 796–802. 2013.

UMRATH, W. **Fundamentals of Vacuum Technology**, Cologne – German, 2007.

WEIRICH-NETO, P. H.; FORNARI, A. J.; JUSTINO, A.; GARCIA, L. C. Qualidade na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p.171-179, 2015.

## **ANEXO A – DEPÓSITO PATENTE VÁCUO-COMPRESSOR DE PISTÃO ALTERNATIVO BR 102017007572-9 A2**

### **3.9 Patente vácuo-compressor de pistão alternativo**

A presente patente refere-se a um dispositivo denominado de vácuo-compressor de pistão alternativo para uso geral na indústria, agricultura, atividade pesqueira, entre outras. O vácuo-compressor é uma máquina com inúmeras aplicações, entre elas, transporte de líquidos e semilíquidos, câmaras de vácuo e controle de fluxo.

Esse tipo de dispositivo apresenta papel fundamental no meio industrial ou agrícola, gerando ar para acionamento de motores pneumáticos ou succionando determinadas misturas, seja ela, líquida ou na forma de gases, dentro de um ambiente industrial ou não.

O uso desse tipo de dispositivo é indispensável em determinados ambientes, pois não apresentam riscos eminentes para os envolvidos, principalmente, quando se trata de locais com gases voláteis com risco de explosões, dispensados a utilização de motores elétricos.

Em determinadas situações, a demanda por ar comprimido para acionamento dos motores pneumáticos é muito grande, fazendo se necessário à utilização de mais de um tipo de dispositivo ou motores elétricos, tornado a atividade onerosa.

#### ***3.9.1 Fundamentos da invenção***

Os dispositivos pneumáticos têm se tornado muito comum em toda parte do mundo, podendo ser associado à geração de novas tecnologias e, principalmente, ao fato de que a energia utilizada para acionamento desse mecanismo pode ser considerada limpa, quando utilizada para meios de transportes com pouca eliminação de poluentes atmosféricos.

Na indústria são muitas as aplicações, principalmente, pelo fato da utilização de ar comprimido para acionamento de máquinas, reduzir os riscos de acidentes em ambientes com grande concentração de gases ou material em suspensão que possam resultar em explosão causando grandes estragos.

Na agricultura sua utilização ainda pode ser considerada restrita, no entanto, diversos mecanismos de máquinas e implementos agrícolas são passivos de acionamento pneumático, como os mecanismos dosadores de semeadoras, necessitando de dispositivos geradores de sucção e compressão de ar atmosférico. Logo é notória a necessidade de criação desses dispositivos para que possam atender os mais variados setores, incluindo o agrícola.

A patente PI 0100854-4A trata-se de um mecanismo de sucção, compressão e deslocamento que atua como: bomba para líquidos diversos, bomba de vácuo, compressor para gases diversos, inclusive o ar atmosférico e motor pneumático, hidráulico ou a vapor no qual possui uma carcaça que mancaliza um eixo árvore, que tem uma porção excêntrica de formato radial cilíndrico que executa a função de pistão, cujo movimento excêntrico da referida porção ocorre em todo o perímetro de uma câmara de sucção/compressão de formato oblongo, que é um rasgo localizado no cilindro, sendo que o referido movimento orbitante do pistão dentro da câmara provoca o movimento linear sobe/desce do cilindro guiado em suas faces laterais externas no trilho-guia, sendo que, este movimento permite a abertura e fechamento das janelas de sucção, e das janelas de descarga, dispostas radialmente ao cilindro no trilho-guia onde permitem a comunicação fluida com a câmara de sucção/compressão pelo orifício, ou então diretamente com as janelas de sucção/descarga dispostas axialmente na tampa do mecanismo.

A patente descrita acima em nada se assemelha com a patente ora proposta, pois a mesma trata-se de um mecanismo capaz de gerar vácuo e compressão, simultaneamente, a partir de um único mecanismo de acionamento, podendo ser utilizado o compressor separadamente do vácuo, sendo o contrário válido. A mesma dispõe de um bloco e pistões que realizam a sucção e compressão do ar, dispondo ainda de um cabeçote com válvulas e sistema de direcionamento. O mesmo pode ser utilizado para acionamento de motores pneumáticos ou gerar vácuo para mecanismos dosadores de semente de semeadoras-adubadoras.

### ***3.9.2 Descrição da patente***

Já a BR 102017007572-9 A2 trata de um dispositivo vácuo-compressor de pistão alternativo para uso geral na indústria, agricultura, aquicultura, tratamento de esgotos, entre outras. Para seu funcionamento dispõe de um sistema de transmissão, sistema de sucção e compressão, sistema de válvulas e sistema de direcionamento do ar.

O sistema de transmissão é responsável por receber o movimento gerado pela fonte de potência e aumentar a rotação, direcionado por meio de correias ou correntes para o ponto de acoplamento do eixo virabrequim.

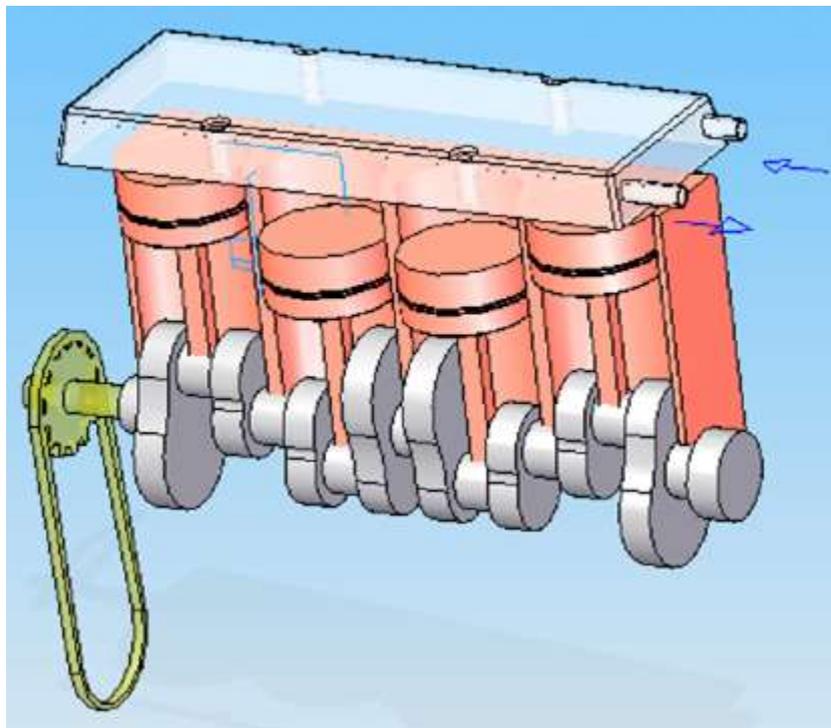
O sistema de compressão e sucção é constituído pelo eixo virabrequim, biela e pistão que pelo seu movimento realiza a sucção e compressão do ar.

O sistema de válvulas é constituído por janelas com feixes de molas que determinam a entrada e saída do ar dentro dos cilindros determinando assim a compressão ou sucção.

O sistema de direcionamento do ar é constituído por uma rede de tubos ligados que levam o ar comprimido ou succionado para os pontos de interesse.

Figura 11 apresenta o dispositivo onde podemos observar o cabeçote e o bloco. No bloco ficam alojadas todas as partes constituintes do mecanismo, ficando em sua extremidade superior o cabeçote.

Figura 11 Cabeçote acoplado ao bloco do motor, com exposição do pistão, biela e virabrequim.



Fonte: Autor, 2021.

Na Figura 11 apresenta vista em corte onde podemos observar o pistão, biela e virabrequim, sendo estes componentes os principais responsáveis pela sucção e compressão do ar.

É, portanto, objeto da presente invenção um dispositivo de sucção e compressão, podendo ser utilizado na indústria, agricultura, aquicultura, tratamento de esgotos, entre outras, onde o dito equipamento compreende:

- a) Um sistema de transmissão e ponto de acoplamento na fonte de potência.

- b) Um bloco rígido perfurado onde os demais componentes estão alojados.
- c) Um cabeçote contendo um conjunto de válvulas e sistema de direcionamento de ar.
- d) Sistema de compressão e sucção constituído pelo eixo virabrequim, biela e pistão.

Em segundo aspecto, a presente invenção provê um dispositivo de sucção e compressão, onde o dito equipamento compreende:

- a) Meios para realizar sucção e compressão do ar gerado pelos componentes atuantes.
- b) Meios para transferir o movimento gerado pela fonte de potência até os mecanismos responsáveis pela sucção e compressão.
- c) Meios para direcionamento do ar para os pontos de interesse.