

**CENTRO PAULA SOUZA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**FATEC SANTO ANDRÉ**  
**Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**NEWTON RODRIGUES BUENO**  
**ANDRÉ LUGAREZZE**

**LIMPADOR DE PARA-BRISA**  
**A AR COMPRIMIDO**

Santo André – São Paulo  
2012

**CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
FATEC SANTO ANDRÉ  
Tecnologia Em Eletrônica Automotiva**

**NEWTON RODRIGUES BUENO  
ANDRÉ LUGAREZZE**

**LIMPADOR DE PARA-BRISA  
A AR COMPRIMIDO**

Monografia apresentada ao Curso de Tecnologia Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André, como requisito parcial para conclusão do curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo de Jesus Costa Farias

Co-orientador: Prof. Wagner Massarope

Santo André – São Paulo  
2012

*Faculdade de Tecnologia de Santo André "Dr. Newton da Costa Brandão"*

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 20 de dezembro de 2012.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO  
DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "Limpador de Para – Brisa  
PNEUMÁTICO" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E

BANCA

PRESIDENTE:

PROF.DR. REGINALDO DE JESUS COSTA FARIAS

MEMBROS:

PROF. WAGNER MASSAROPE

CONVIDADO ENG.º ALEXIS DE OLIVEIRA RAMALHOSO

CONVIDADA ENGª FERNANDA FREDERICO NAVARRO

Dedicamos este trabalho a nossa família,  
nossas noivas e aos nossos amigos que  
sempre estiveram próximos durante esta  
jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e, principalmente, aos colegas de sala que mantiveram estímulos nos momentos mais árduos desta jornada. Agradecemos aos professores, colaboradores e funcionários da Fatec Santo André que sempre estiveram prontos a nos ajudar. Agradecemos especialmente ao nosso orientador, Prof. Dr. Reginaldo Costa, e nosso co-orientador, Prof. Wagner Massarope, pela dedicação em auxiliar-nos no desenvolvimento deste trabalho.

*“Eu não falhei, eu encontrei 10 mil  
soluções que não davam certo.”*

Thomas A. Edison

## **RESUMO**

Os veículos automotores, enquanto circulam por ruas, rodovias, ferrovias, rios, mares ou mesmo no ar, estão expostos, mesmo que momentaneamente, a ações do tempo, como sol, chuva, poeira etc. Muitos desses fenômenos causam a redução da visibilidade através das janelas do veículo. Para contornar esse problema e melhorar a visibilidade em tais condições, garantindo a segurança na condução do veículo, foi criado um sistema de limpeza do para-brisa, baseado numa lâmina de borracha que desliza sobre o vidro, removendo água e sujeira de sua superfície.

Neste trabalho, é proposto um sistema alternativo de limpeza do para-brisa, utilizando-se jatos de ar comprimido. Para o desenvolvimento deste projeto, inicialmente será feita uma introdução com alguns conceitos teóricos sobre os atuais sistemas de limpadores de para-brisa, e as problemáticas envolvidas; em seguida, serão abordadas algumas temáticas relacionadas como vidros e janelas, sistemas de limpeza utilizados atualmente, propriedades do ar comprimido, compressores e mecânica dos fluidos.

Palavras-chaves: para-brisa, limpador, ar comprimido, pneumático.

## **ABSTRACT**

Automotive vehicles, while circulating in the streets, highways, railways, rivers, oceans or even the air, are exposed, even momentarily, to the actions of the weather, like sun, rain, dust, etc. Many of these phenomena cause the reduction of visibility through the windows of the vehicle. To work around this problem and improve visibility in these conditions, ensuring safety in driving the vehicle, a system for cleaning the windshield were created, based on a rubber blade that slides over the glass, removing water and dirt.

In this paper, we propose an alternative system of cleaning the windshield, based in a jet of compressed air. To develop this project, will initially be an introduction to some theoretical assumptions like the current systems of windshield wipers, and the issues involved and then will address issues related to glass and windows, cleaning systems currently used , properties of the compressed air, compressors and fluid mechanics.

keywords: windshield, windshield cleaner, compressed air, pneumatic

.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Reservatório de ar comprimido (Fonte: MASSAROPE, 2011 - Anotações de aula).	18
Figura 2 - Tipos de compressores (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)	19
Figura 3 - Compressor de pistão (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)	20
Figura 4 - Compressor de pistão de duplo estágio	20
Figura 5 - Compressor de membrana (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)	21
Figura 6 - Compressor rotativo multicelular (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)	22
Figura 7 - Compressor duplo parafuso (dois eixos) (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)	22
Figura 8 - Compressor <i>roots</i> (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)	23
Figura 9 - Compressor axial (Fonte: FESTO DIDATIC,1999))	24
Figura 10 - Compressor radial (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)	24
Figura 11 - Estado do vidro após o impacto: tipo temperado e tipo laminado (Fonte: <a href="http://www.saint-gobain-sekurit.com.br/inovacao.asp">http://www.saint-gobain-sekurit.com.br/inovacao.asp</a> em 16/10/2011)	25
Figura 12 - Permeabilidade da luz dos vidros automotivos (1- vidro flotado e janelas VST, espessura de 4 mm, incolor. Janelas de VSL tonalizados em diversos tons, espessura total 5,5 mm, 2- incolor, 3- verde.) (Fonte: BOSCH, 2005)	26
Figura 13 - Tensão de cisalhamento (Fonte: apostila Unisantana - Profº J. Gabriel F. Simões)	28
Figura 14 - Traços de corante (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)	30
Figura 15 - Linhas de corrente (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)	30
Figura 16 - Tubo de corrente (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)	31
Figura 17 - Fluxo de massa (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)	31
Figura 18 - Normal externa (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)	32
Figura 19 - Massa que atravessa $\Delta S$ (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)	32
Figura 20 - Filete de corrente (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)	33
Figura 21- Perfil Parabólico (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)	35
Figura 22 - Calculo da vazão (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)	36
Figura 23 - Limpador Paralelo Unidirecional (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)	37
Figura 24 - Limpador de Braço Único Simples (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)	38
Figura 25 - Braço Único de Comprimento Variável (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)	38
Figura 26 - Sistema de Paralelogramos (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)	38
Figura 27 - Braços Opostos (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)	39
Figura 28 - Princípio do mecanismo das palhetas (1- Acoplamento em série, 2- Acoplamento paralelo, $\alpha$ Ângulo da manivela, $\beta$ , $\gamma$ Ângulos da palheta, $v_T$ Ângulo de ataque da força tangencial.) (Fonte: BOSCH, 2005)	39
Figura 29 - Sistema de limpadores com dois motores (Fonte: BOSCH, 2005)	40
Figura 30 - Teste com mangueira de PVC e água (Ilustração elaborada pelo autor)	42
Figura 31 - Teste com agulha vazada inserida no orifício da mangueira (Ilustração elaborada pelo autor)	43
Figura 32 - Testes com para-brisa avulso (Ilustração elaborada pelo autor)	44
Figura 33 - Tubo de 9,5 mm de diâmetro e 40 furos espaçados de 20 em 20 mm, utilizado no primeiro teste. Este é similar ao utilizado no quarto teste (Ilustração elaborada pelo autor)	44

Figura 34 - Tubo de 9,5 mm de diâmetro e 118 furos espaçados de 10 em 10 mm, utilizado no segundo teste (Ilustração elaborada pelo autor) .....	45
Figura 35 - Tubo de 15 mm de diâmetro e 56 furos espaçados de 20 em 20 mm, utilizado no terceiro teste (Ilustração elaborada pelo autor).....	46
Figura 36 - Veículo utilizado nos experimentos, cujo para-brisa possui dimensões e posicionamento condizentes com os veículos da atualidade (Ilustração elaborada pelo autor) .....	48
Figura 37 - Sistema montado, com tubo posicionado na base do para-brisa (Ilustração elaborada pelo autor) .....	48

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Configurações de tubos utilizados e resultados obtidos .....	45
--	----

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Tensão de Cisalhamento .....	29
Equação 2 – Tensão de Cisalhamento é o quociente entre o módulo da componente tangencial e área sobre a qual a superfície está aplicada .....	29
Equação 3 – Tensão de Cisalhamento Proporcional ao Gradiente de Velocidade .....	29
Equação 4 – Tensão de Cisalhamento Proporcional ao Gradiente de Velocidade .....	29
Equação 5 – Método de Euler para descrever o movimento em um fluido .....	29
Equação 6 – Equação para escoamento estacionário .....	31
Equação 7 – Equação da Continuidade .....	34
Equação 8 – Equação de Bernoulli .....	35
Equação 9 – Equação de Hagen – Poiseuille .....	37
Equação 10 – Cálculo do volume de ar consumido pelo sistema .....	50
Equação 11 – Cálculo de vazão do sistema .....	50

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo e Motivação .....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1 Ar Comprimido .....	16
2.1.1 Vantagens do ar comprimido.....	16
2.1.2 Desvantagens do ar comprimido .....	17
2.2 Compressores .....	17
2.2.1 Reservatório de ar comprimido .....	17
2.2.2 Filtros secadores .....	18
2.2.3 Tipos de compressores .....	19
2.2.3.1 Compressores de êmbolo.....	19
2.3 Para-Brisas e Janelas Automotivas.....	25
2.4 Mecânica Dos Fluidos .....	28
2.5 Noções De Hidrodinâmica.....	29
2.6 Sistemas De Limpeza De Para-Brisas .....	36
3. METODOLOGIA.....	41
3.1 Testes Iniciais .....	41
3.2 Testes Práticos Com Para-Brisa .....	43
3.3 Testes No Veículo .....	47
4. CONCLUSÃO.....	51
5. PROPOSTAS PARA CONTINUAÇÃO .....	52
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53

# 1. INTRODUÇÃO

Atualmente verificamos uma grande tendência a inovações na indústria automobilística. Uma parte vem de laboratórios de grandes montadoras, e muitos experimentos também são feitos nas pistas de Fórmula 1. Além desses, grande parte dos avanços também é proveniente de estudantes e até dos próprios motoristas. Realmente é inegável que esta criatividade venha da paixão pelo automóvel, pela velocidade, pela beleza, pelo conforto e prazer de dirigir.

O objetivo deste trabalho é quebrar um paradigma da automobilística e criar um novo tipo de limpador de para-brisas capaz de não gerar desgastes de palhetas de borracha, possuir uma estética mais agradável do que os convencionais e ainda permitir uma melhor visibilidade em condições adversas.

Um grande ponto a ser melhorado nos atuais sistemas de limpadores de para-brisa é a junção de vários sistemas mecânicos que estão sujeitos a desgastes, folgas, perda de ângulos e flexibilidade. Segundo Daniel Lovizaro, chefe de Assistência Técnica da divisão Automotive Aftermarket da Robert Bosch Brasil (BOSCH, 2011) *“o motorista deve checar (...) as condições do braço do limpador quanto a existência de danos aparentes em sua superfície e em suas articulações, ou se o mesmo se encontra torto ou desalinhado, pois isto pode causar trepidações e redução da eficiência da limpeza do para-brisa pela palheta”*.

O braço do limpador, basicamente, é a haste metálica que faz a ligação entre as palhetas e o eixo de movimento dos motores (BOSCH, 2005). Este mecanismo será detalhado no capítulo 2.

Além do exposto anteriormente, um componente conhecido de todos os motoristas é a palheta. Esta é constituída, essencialmente, de seis elementos: trilho elástico, arco de garras, articulação, arco central, adaptador e, um dos principais, a lâmina de borracha (Manual Bosch, 2005). A palheta é extremamente suscetível a desgaste e deve ser substituída a cada três meses, conforme alguns fabricantes (Dyna, por exemplo). Após este prazo, dependendo do grau de desgaste, a eficiência da limpeza é comprometida e pode ainda causar danos e riscos no para-brisa, prejudicando ainda mais a visibilidade do motorista.

Desde 1903, quando foi idealizado por Mary Anderson, nos Estados Unidos, o limpador de para-brisa sofreu poucas atualizações, como um mecanismo de acionamento intermitente motorizado, patenteado por Robert Kearns, e diferentes formas de posicionamento dos braços e palhetas, visando simplificar o mecanismo de acionamento ou aumentar a área de varredura.

O que possibilita a ideia do limpador a ar comprimido é a evolução da eficiência e capacidade de ar e a metodologia do controle e uso desta energia.

Cerca de 5% dos resíduos produzidos em um veículo vêm da borracha e esta demora anos para ser absorvida pelo ambiente, de acordo com a UNEP (*United Nations Environment Programme*, ou Programa Ambiental das Nações Unidas). Com este projeto é possível reduzir a quantidade de lixo no ambiente, pois o limpador de para-brisa ficará agregado durante toda a vida útil do veículo.

Graças à evolução dos microcontroladores é possível controlar o fluxo de ar de uma forma mais inteligente utilizando a aerodinâmica do veículo como um aliado na remoção da chuva e ou poeira do para-brisa. Dentro de alguns anos, graças à nanotecnologia, o limpador será aposentado de vez, pois através da construção de vidros com camadas hidrofóbicas (que repelem a água) este projeto poderá ainda atuar de forma conjunta com estas tecnologias e melhorar a visibilidade em condições extremas.

## **1.1 Objetivo e Motivação**

O objetivo deste trabalho é construir um sistema de limpeza de para-brisa que dispense o uso das atuais palhetas, eliminando assim as suas deficiências, como desgaste das lâminas de borracha, que por sua vez causam ineficiência na limpeza e até mesmo riscos no para-brisa.

Nossa motivação para o desenvolvimento deste projeto é a melhoria dos atuais sistemas de limpadores de para-brisas. Através do desenvolvimento do limpador pneumático procuramos melhorar a estética do veículo, diminuir a quantidade de braços móveis e resíduos gerados nos veículos atuais.

Com o passar dos anos o desgaste sofrido pelas palhetas do limpador podem deixar marcas no para-brisa que, além do problema estético, também prejudicam a visibilidade do motorista.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A fundamentação teórica para o entendimento deste projeto de limpador de para-brisa pneumático é explanada neste capítulo, onde são passadas as noções básicas sobre ar comprimido, sua geração e armazenamento, mecânica dos fluidos, hidrodinâmica, compressores e limpadores de para-brisa atuais. Este capítulo está dividido em temas que explicam os conceitos dos diversos componentes utilizados na execução deste projeto.

### **2.1 Ar Comprimido**

O ar comprimido possui grandes vantagens em relação à transformação de energia em trabalho, pois ele é relativamente rápido e permite o controle da velocidade e a precisão de funcionamento. Sua utilização aliada à melhoria do rendimento dos compressores e motores elétricos permite ainda uma redução dos custos e perdas.

Na segunda metade do século XIX o ar comprimido obteve utilização industrial. Leonardo DaVinci utilizava ar comprimido em suas diversas invenções. Há registros com mais de 2.000 anos em que máquinas pneumáticas, produziam energia pneumática por meio de um pistão.

Atualmente, o ar comprimido é largamente utilizado na maioria das indústrias e seu uso é indispensável para a eficácia de grande parte dos processos.

#### **2.1.1 Vantagens do ar comprimido**

A seguir, algumas das vantagens da utilização do ar comprimido:

- Funcionamento seguro mesmo em situações térmicas extremas.
- Não é prejudicial ao meio ambiente - o ar comprimido é limpo e mesmo que ocorram vazamentos, não são prejudiciais ao ser humano ou ao meio ambiente.
- Não há riscos de explosão ou incêndio.
- Construção simples dos componentes utilizados, como tubulações, válvulas etc.
- Altas velocidades de trabalho.
- Quantidade ilimitada - O ar, para ser comprimido, encontra-se em quantidade praticamente ilimitada na atmosfera (FESTO DIDATIC, 1999)
- Fácil armazenamento - O ar pode ser sempre armazenado em um reservatório e distribuído até o local onde será utilizado. (FESTO DIDATIC, 1999)



- Fácil transporte - O ar é facilmente transportável por tubulações mesmo para distâncias consideravelmente grandes. (FESTO DIDATIC, 1999)
- Fácil regulação - as forças de trabalho e velocidades dos elementos de ar comprimido são reguláveis sem escala.

### **2.1.2 Desvantagens do ar comprimido**

O ar comprimido também possui algumas desvantagens, tais como:

- O escape de ar é ruidoso, porém, atualmente, os sistemas já estão mais confortáveis.
- Impurezas e umidade causam desgaste prematuro dos componentes pneumáticos.
- Devido à compressibilidade, não é possível manter constante as velocidades dos atuadores.
- O ar comprimido é uma fonte de energia cara.

## **2.2 Compressores**

Os compressores são sistemas capazes de armazenar energia através da compressão de um fluido que é armazenado em seu reservatório. A maioria dos compressores utiliza um motor elétrico ou à combustão e transforma sua energia mecânica em trabalho para comprimir o ar ambiente.

A maioria dos compressores de ar funciona através de um motor que permite que o ar seja submetido à pressão dentro de um tanque de armazenamento.

Antes dos motores atuais, os compressores eram diferentes, pois não podiam armazenar ar. Hoje em dia, o compressor de ar indica vários níveis de pressão dentro dos reservatórios. Estes possuem uma grande capacidade de armazenagem de gases para uso industrial.

De acordo com o Manual de Ar Comprimido (METALPLAN, 2008), atualmente, existem cerca de 40 milhões de compressores em operação no mundo e outros quatro milhões são fabricados todos os anos.

### **2.2.1 Reservatório de ar comprimido**

Os reservatórios são componentes importantes do compressor de ar. A principal função do reservatório é ser responsável por diminuir as variações e oscilações de pressão da linha de fornecimento. Basicamente, são feitos de ligas metálicas que possuem um formato cilíndrico.

O tamanho do reservatório de ar comprimido depende do volume fornecido pelo compressor, do consumo de ar, da rede distribuidora, do tipo de regulagem e da diferença de pressão desejada na rede (MASSAROPE, 2011 - Anotações de aula).

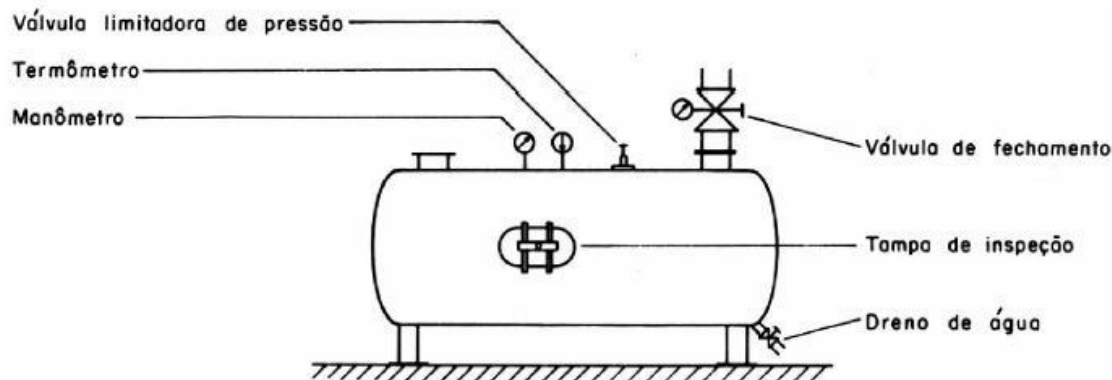


Figura 1 - Reservatório de ar comprimido (Fonte: MASSAROPE, 2011 - Anotações de aula).

### 2.2.2 Filtros secadores

São aparatos utilizados para diminuir a umidade e a oleosidade do ar presente no sistema. Os tipos mais encontrados são por resfriamento e adsorção.

Na secagem por resfriamento, a redução da umidade do ar ocorre por condensação. Esse sistema necessita de uma fonte de energia externa, e são muito utilizados pela indústria metalúrgica.

A secagem por adsorção consiste na passagem do ar comprimido úmido através de uma torre preenchida com um leito de material adsorvedor. Esse material, com imensa área superficial, é capaz de reter as moléculas d'água presentes no ar comprimido. Após certo tempo, o adsorvedor satura-se e precisa ser regenerado.

### 2.2.3 Tipos de compressores

A figura abaixo resume os tipos de compressores mais utilizados atualmente. Em seguida, cada um deles será apresentado com mais detalhes, incluído alguns outros tipos que não constam da figura.

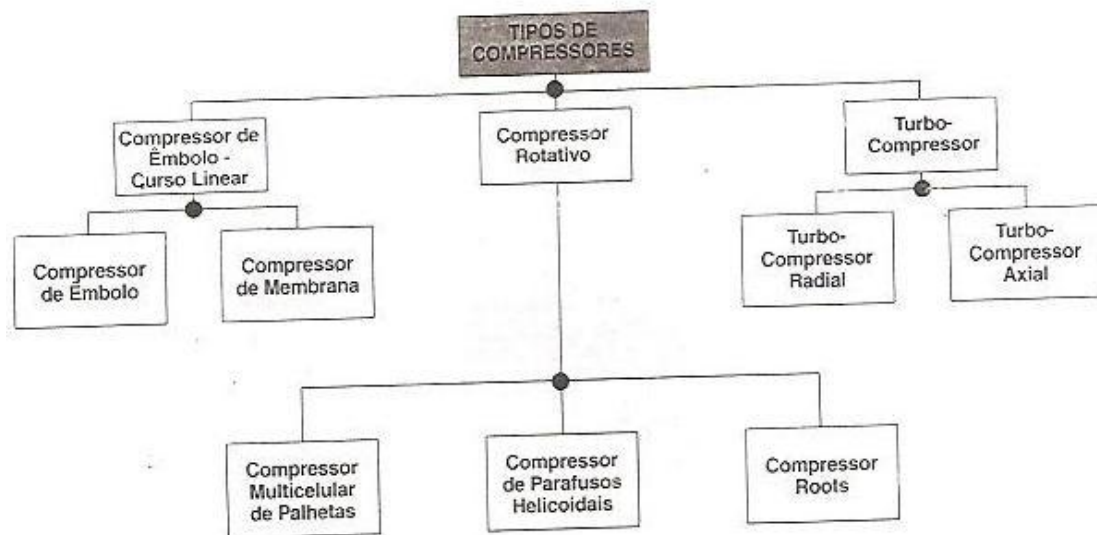


Figura 2 - Tipos de compressores (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)

#### 2.2.3.1 Compressores de êmbolo

O compressor de êmbolo ou pistão é baseado na redução de volume. A compressão é alcançada através da sucção do ar para um ambiente fechado e diminuindo o tamanho deste ambiente.

##### 2.2.3.1.1 Compressor de pistão simples

Este tipo de compressor de êmbolo com movimento linear é atualmente o mais utilizado, segundo o Manual Festo Didactic (Festo Didactic). Ele é apropriado para baixas, médias e altas pressões. A faixa de pressão é de cerca de 100kPa (1 bar) até milhares de kPa.

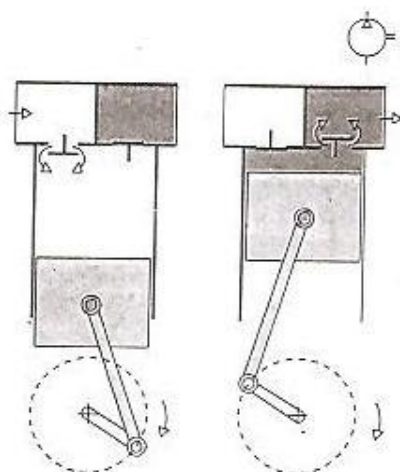


Figura 3 - Compressor de pistão (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)

#### 2.2.3.1.2 Compressor de pistão de duplo estágio

Para se obter ar a pressões elevadas são utilizados compressores de duplo estágio de compressão. Seu funcionamento será explicado logo abaixo:

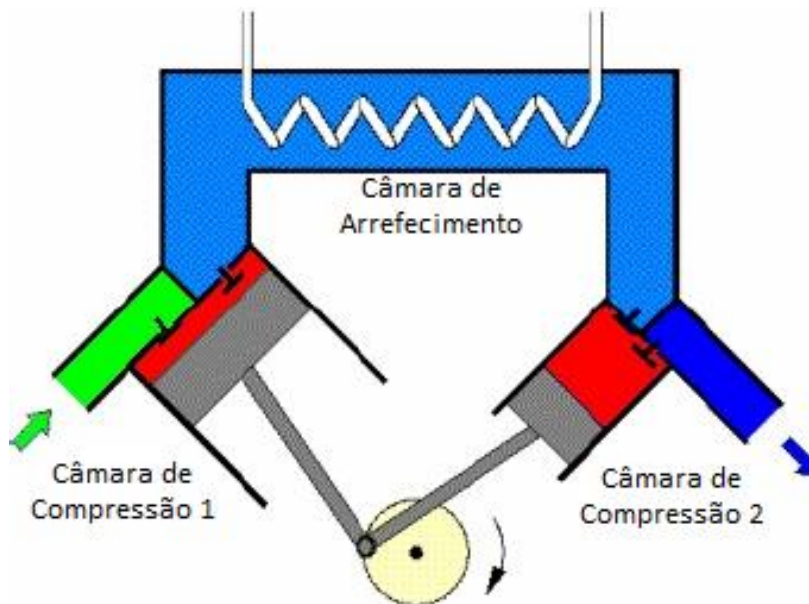


Figura 4 - Compressor de pistão de duplo estágio (Fonte: <http://pt.scribd.com/doc/62019973/51/Compressor-Alternativo-de-Duplo-Estagio> - acessado em 16/10/2012)

O ar é aspirado e comprimido na câmara de compressão 1, depois é novamente comprimido na câmara de compressão 2, esta com maior pressão e menor volume do que a

primeira. Entre as câmaras de compressão há uma câmara de arrefecimento (a ar ou a água), onde o ar é resfriado para aumentar a eficiência do sistema. Para pressões mais elevadas são necessários mais estágios.

#### **2.2.3.1.3 Compressor de membrana**

Este tipo de compressor também pertence ao grupo dos compressores de êmbolo. Uma membrana separa o êmbolo da câmara de trabalho; o ar não tem contato com as peças móveis, portanto, o ar comprimido está isento de resíduos de óleo. Devido à questão da higiene, esses compressores são utilizados preferencialmente nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e químicas.

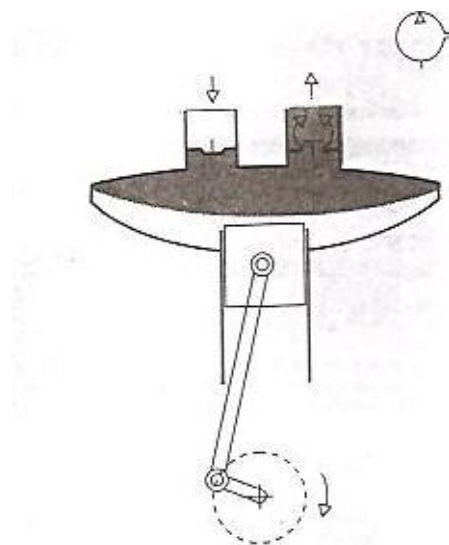


Figura 5 - Compressor de membrana (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)

#### **2.2.3.2 Compressores Rotativos**

O compressor rotativo funciona segundo o princípio de fluxo sugando o ar de um lado e expulsando-o pelo outro, comprimindo o ar em seu interior por aceleração da turbina e/ou pelo estreitamento dos compartimentos.

##### **2.2.3.2.1 Compressor rotativo multicelular**

Em um compartimento cilíndrico, com aberturas de entrada e saída, gira um rotor alojado excentricamente. O rotor tem palhetas que em conjunto com as paredes, formam pequenos compartimentos (células). Quando em rotação, as palhetas serão apertadas contra a

parede. Devido à excentricidade de localização do rotor há uma diminuição e aumento das células.

As vantagens deste compressor estão em sua construção, bem como em seu funcionamento silencioso, contínuo e equilibrado, e no fornecimento uniforme de ar, livre de qualquer pulsação.

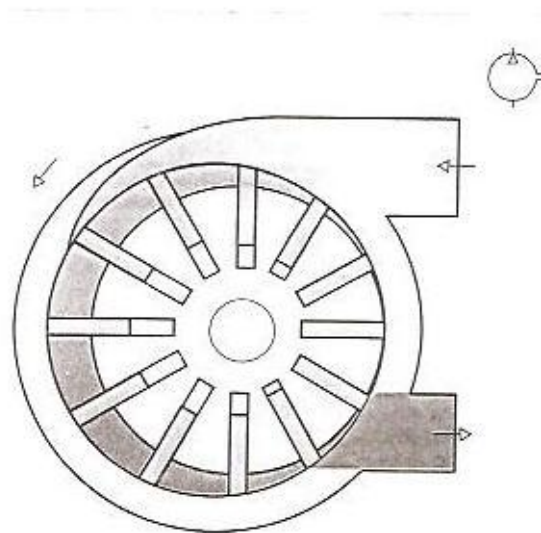


Figura 6 - Compressor rotativo multicelular (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)

#### **2.2.3.2.2 Compressor duplo parafuso (dois eixos)**

Dois parafusos helicoidais, os quais, pelos perfis côncavo e convexo comprimem o ar, que é conduzido axialmente.

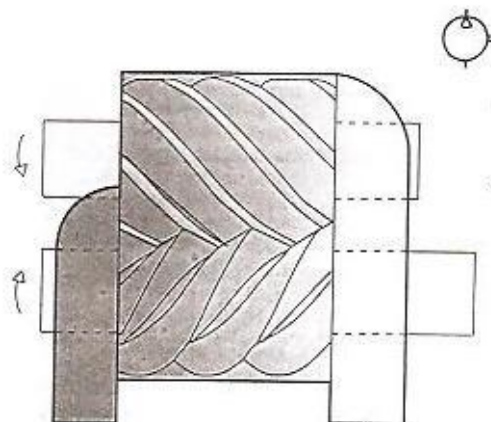


Figura 7 - Compressor duplo parafuso (dois eixos) (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)

### 2.2.3.2.3 Compressor *roots*

Nestes compressores o ar é transportado de um lado para o outro sem alteração de volume. A compressão (vedação) é feita no lado da pressão pelos cantos dos êmbolos.

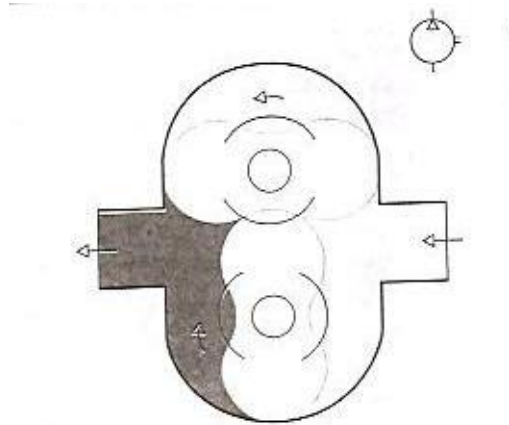


Figura 8 - Compressor *roots* (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)

### 2.2.3.3 Turbo Compressores

Os turbo compressores trabalham segundo o princípio de fluxo e são adequados para o funcionamento de grandes vazões. Os turbo compressores são construídos em duas versões: axial e radial. Em ambos os tipos de construções o ar é colocado em movimento por uma ou mais turbinas e esta energia cinética é então transformada em energia potencial, devido à alta pressão.

#### 2.2.3.3.1 Compressor axial

A compressão, neste tipo de compressor, se processa pela aceleração do ar aspirado no sentido axial do fluxo.

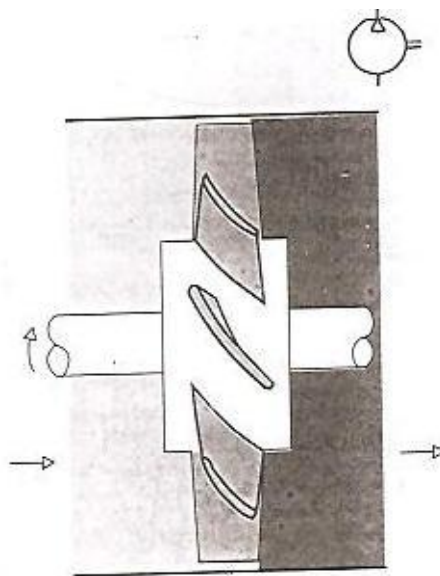


Figura 9 - Compressor axial (Fonte: FESTO DIDATIC,1999))

#### 2.2.3.3.2 Compressor radial

No compressor radial, o ar é impelido para as paredes da câmara e posteriormente, em direção ao eixo e assim no sentido radial para outra câmara sucessivamente em direção à saída.

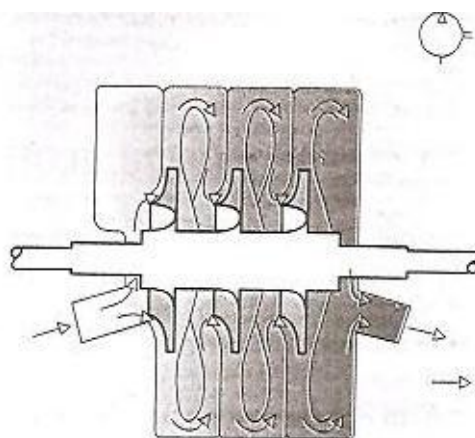


Figura 10 - Compressor radial (Fonte: FESTO DIDATIC,1999)



## 2.3 Para-Brisas e Janelas Automotivas

Os vidros automotivos são compostos, basicamente, das seguintes proporções aproximadas: 70 a 72% de ácido silícico ( $\text{SiO}_2$ ) como vitrificante, 14% de óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) como fundente e 10% de óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) como estabilizante (BOSCH, 2005). Os fabricantes utilizam ainda aditivos (até 5%), como óxido de magnésio e de alumínio; com isso, buscam melhorar as propriedades químicas e físicas do vidro.

As janelas e para-brisas são produzidos tendo como matéria prima o vidro plano, que é obtido pelo processo de flotação, no qual a mistura é fundida a uma temperatura de  $1560^\circ\text{C}$  e passa por uma zona de purificação de  $1500^\circ\text{C}$  a  $1100^\circ\text{C}$ . É então vertida sobre um banho de estanho, líquido denominado banho de flotação. A superfície plana do estanho cria um vidro plano, com superfícies paralelas de qualidade extremamente alta.

O estanho é indicado para este processo por ser o único metal que a  $1000^\circ\text{C}$  ainda não gera nenhuma pressão de vapor, por ser líquido a temperatura de  $600^\circ\text{C}$ . (BOSCH, 2005).

### 2.3.1 Vidro VST e VSL

Fundamentalmente, na automobilística são utilizados dois tipos de vidro: o vidro de segurança temperado (VST) e o vidro de segurança laminado (VSL).

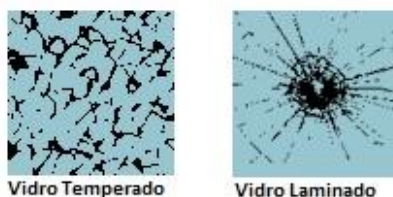


Figura 11 - Estado do vidro após o impacto: tipo temperado e tipo laminado (Fonte: <http://www.saint-gobain-sekurit.com.br/inovacao.asp> em 16/10/2011)

O vidro de segurança laminado se distingue do temperado devido a este último ser submetido a um processo de tempera que lhe confere alta tensão superficial. No caso de quebra, estes vidros se partem em várias partículas de vidro sem cantos vivos. (BOSCH, 2005).

#### 2.3.1.2 Vidro de segurança laminado (VSL)

O vidro de segurança laminado é composto de duas placas com uma camada plástica flexível intermediária de Polivinil butiral (PVB). Quando submetido ao impacto ou choque o vidro quebra formando estilhaços, porém a camada de PVB intermediária mantém os estilhaços de vidro unidos.

Conforme Pilkington (2011) “Ao deslizar sobre o estanho, devido às diferentes densidades, o vidro não adere nem se mistura, mas estabelece com ele um perfeito paralelismo, do que resulta sua superfície perfeitamente lisa”. Esta técnica garante um vidro sem deformações, de alta qualidade e com a transparência exigida para uso em para-brisas.”

Este tipo de vidro vem sendo exigido nos para-brisas desde o início dos anos 80, pois estudos demonstram que diminui fortemente riscos fatais dos passageiros em caso de acidente. (BOSCH, Saint Gobain, 2005).

### 2.3.2 Propriedades ópticas

Os vidros automotivos devem permitir a visão desimpedida, sem qualquer interferência e sem distorção. Alguns dos efeitos negativos possíveis são: deflexão e distorção óptica e imagem dupla. Estes efeitos aumentam proporcionalmente com a obliquidade do ângulo de incidência da janela, a espessura, a diminuição do raio de curvatura (maior curvatura do vidro), o desvio do paralelismo da placa de vidro original (BOSCH, 2005).

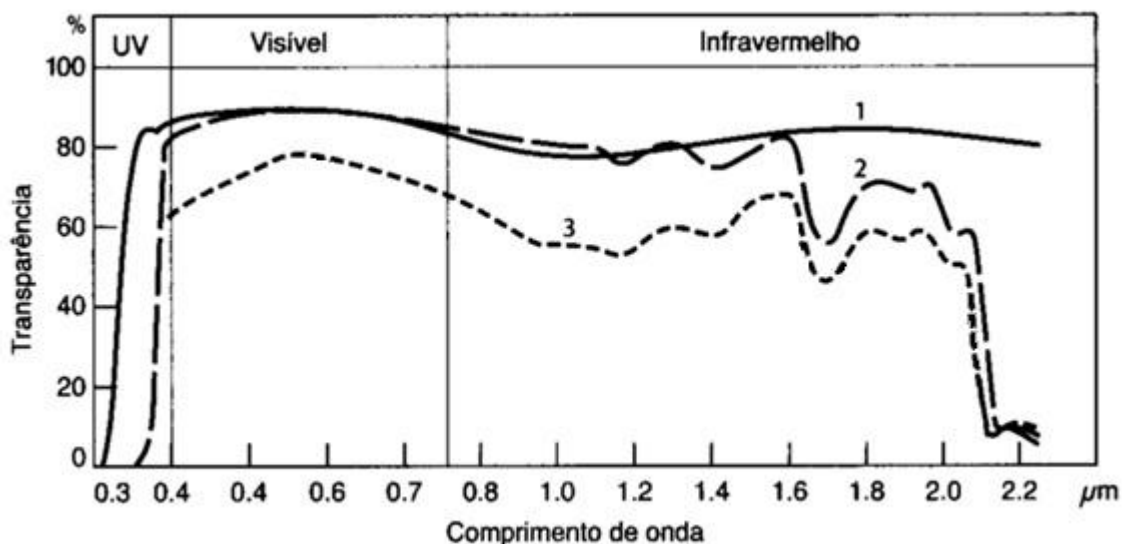


Figura 12 - Permeabilidade da luz dos vidros automotivos (1- vidro flutuado e janelas VST, espessura de 4 mm, incolor. Janelas de VSL tonalizadas em diversos tons, espessura total 5,5 mm, 2- incolor, 3- verde.) (Fonte: BOSCH, 2005)

A figura acima mostra as características de transparências dos vidros automotivos de acordo com o comprimento de onda da luz incidida. As propriedades dos vidros laminados e temperados são quase idênticas, pois as propriedades ópticas da película intermediária dos laminados são muito similares às do vidro para o espectro visível.

#### **2.3.2.1 Vidro Tonalizado**

Cada vez mais diversas substâncias são aplicadas na fabricação e nos revestimento do vidro de forma a garantir uma melhor visibilidade e ainda reduzir a incidência de energia solar e diminuir o aquecimento interno do veículo. Para o para-brisa a transparência deve atingir no mínimo 75% (BOSCH 2005).

## 2.4 Mecânica Dos Fluidos

Neste trabalho abordaremos apenas um estudo básico referente a mecânica dos fluidos a fim de entender o comportamento dos fluidos e algumas das limitações que este projeto possuirá. A mecânica dos fluidos estuda o comportamento físico dos fluidos e as leis que regem este comportamento. (KANASHIRO, 2011).

### 2.4.1 Definição de fluido

Os fluidos são substâncias que não possuem forma própria e que assumem o formato do recipiente que se encontram, são fluidos principalmente os líquidos e os gases como exemplo podemos citar a água e o ar.

#### 2.4.1.1 Princípio da aderência

As partículas dos fluidos junto as superfícies sólidas adquirem as velocidades dos pontos das superfícies em questão (Mecânica dos Fluidos, Unisantana)

Por exemplo, se pegamos duas placas sólidas e entre elas colocarmos um fluido, e movimentarmos a placa superior o fluido apresentará um deslocamento não linear devido as atuações das forças de cisalhamento (conforme apostila Unisantana e FEI)

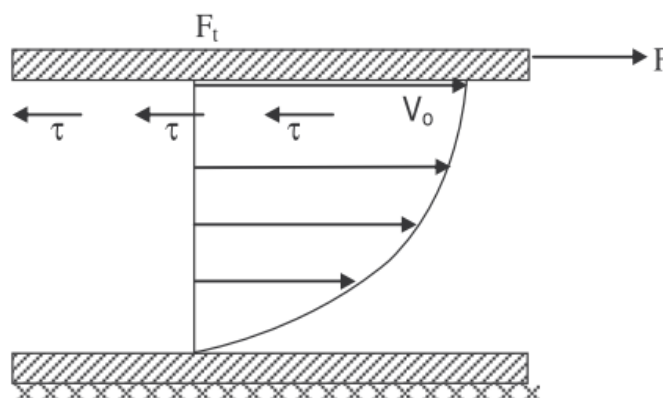


Figura 13 - Tensão de cisalhamento (Fonte: apostila Unisantana - Profº J. Gabriel F. Simões)

Na figura demonstra-se o comportamento e as diferentes velocidades do fluido. A parte que está em contato com as placas possui velocidade nula, já a parte do fluido que está em contato com a placa em movimento possui a velocidade da placa em movimento.

As tensões de cisalhamento agirão em todas as camadas fluidas dando origem a uma força oposta ao movimento conforme a equação

$$\tau = \frac{Ft}{A} \rightarrow Ft = \tau \cdot A \quad \text{Eq. 1}$$

#### 2.4.1.2 Tensão de cisalhamento

A tensão de cisalhamento é o quociente entre o módulo da componente tangencial e área sobre a qual a superfície está aplicada.

$$\tau = \frac{Ft}{A} \quad \text{Eq. 2}$$

Newton idealizou que a tensão de cisalhamento é proporcional ao gradiente da velocidade.

$$\tau \propto \frac{dv}{dy} \quad \text{Eq. 3}$$

$$\frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = c^{te} \quad \text{Eq. 4}$$

Os fluidos que obedecem a estas leis são chamados de fluidos Newtonianos (KANASHIRO, 2012)

## 2.5 Noções De Hidrodinâmica

Neste capítulo introduziremos a dinâmica dos fluidos de forma a apresentar o motivo das decisões tomadas neste trabalho.

Para se descrever o movimento em um fluido é necessário entender o seu movimento. O método mais utilizado devido a Euler é o seguinte:

$$V=v(r,t) \dots\dots\dots \text{Eq. 5}$$

Onde  $r$  se refere a cada ponto da partícula, e  $v$  a velocidade neste ponto que é registrado a cada instante  $T$ .

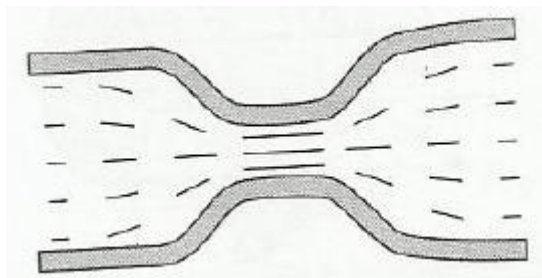


Figura 14 - Traços de corante (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)

A figura 14 dá uma ideia do escoamento numa canalização cujo diâmetro diminui na região central. Em nosso projeto, os furos de um milímetro causam uma diminuição no diâmetro de circulação do ar e por consequência um aumento de velocidade. Esse assunto será discutido mais adiante.

Chama-se linha de corrente, num dado instante, uma linha tangente em cada ponto ao vetor  $v$  nesse ponto. As linhas de corrente são as “linhas de força” do campo de velocidade. Reconhece-se que as linhas de força do campo magnético podem ser materializadas com o auxílio de limalhas (conforme H. Moysés Nussenzveig).

Precisamos definir agora definir o que é um escoamento estacionário ou em regime permanente, nome dado ao escoamento de um fluido quando o campo de velocidade não varia com o tempo.

Em um escoamento não estacionário as linhas de corrente variam a cada instante e não coincidem mais com a trajetória. O caso extremo é o escoamento turbulento, como o de água numa cachoeira, em que  $v$  varia de forma rápida e irregular tanto com  $t$  como com  $r$  (conforme H. Moysés Nussenzveig).

Em nosso projeto o escoamento é turbulento como a forma de uma cortina de ar.

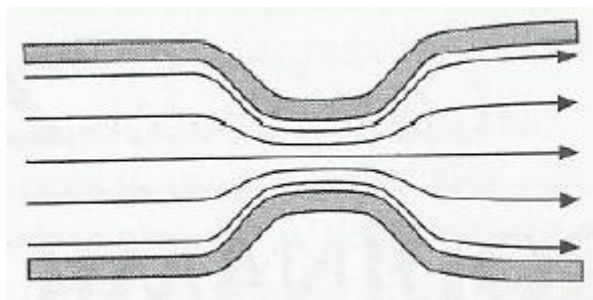


Figura 15 - Linhas de corrente (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)

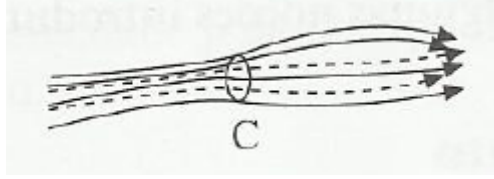


Figura 16 - Tubo de corrente (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)

## 2.5.1 Conservação de massa

### 2.5.1.1 Equação de continuidade.

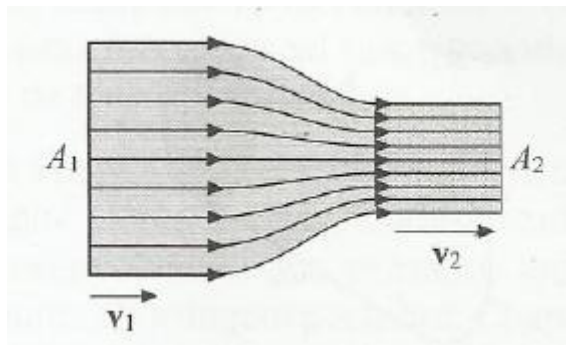


Figura 17 - Fluxo de massa (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)

Apesar de o escoamento em nosso projeto não ser o estacionário e do fluido ser compressível temos que desenvolver um raciocínio partindo deste princípio. Sendo assim, consideramos um escoamento estacionário e uma porção de tubo de corrente situada entre duas seções transversais de áreas  $A_1$  e  $A_2$  (fig 17), onde as velocidades e densidades são, respectivamente,  $(v_1, \rho_1)$  e  $(v_2, \rho_2)$ . Como o escoamento é estacionário a massa do fluido contida entre as seções  $A_1$  e  $A_2$  não pode variar com o tempo, ou seja, a massa  $\Delta m_1$  que entra por  $A_1$  num intervalo de tempo  $\Delta t$  tem de ser igual a massa  $\Delta m_2$  que sai do tubo por  $A_2$  nesse mesmo intervalo:

$$\Delta m_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \Delta m_2 = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$$

Que resulta em:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad \text{Eq. 6}$$

Para fluido compressível, que não faz parte do nosso estudo, temos:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Para fluidos compressíveis a equação 2.2.3 mostra que, se a área  $A$  do tubo de corrente permanece a mesma, a densidade varia na razão inversa da velocidade. Este fenômeno pode ser explicado quando, por exemplo, tenta-se sair de uma sala de cinema lotada onde apenas uma porta está aberta e a densidade de pessoas na região da porta tende a aumentar.

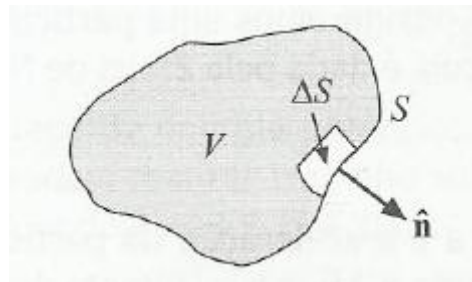


Figura 18 - Normal externa (Fonte: H. Moysés Nussenzveig )

Para este estudo de um escoamento não linear e de um fluido compressível consideramos o volume  $V$  fixo do fluido limitado por uma superfície fechada  $S$ , e seja  $\mathbf{n}$  o vetor unitário da normal externa, ou seja, dirigida para fora de  $V$  em cada ponto de  $S$ . (fig 2.6)

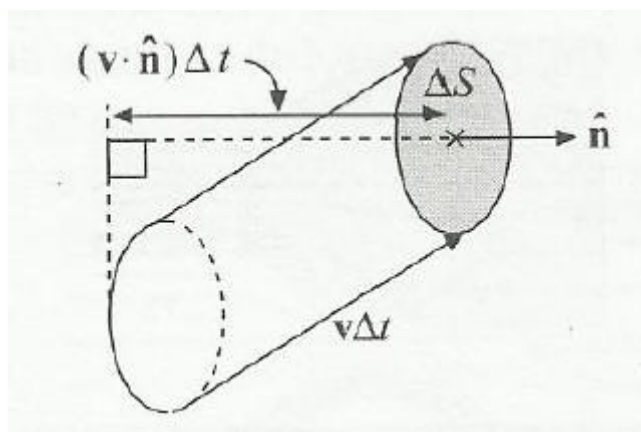


Figura 19 - Massa que atravessa  $\Delta S$  (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)

A massa  $\Delta m$  de fluido que atravessa  $\Delta S$  num intervalo de tempo infinitésimo  $\Delta t$  está contida num cilindro de base  $\Delta S$  e geratriz  $\mathbf{v}\Delta t$  (Fig2.7) onde  $\mathbf{v}$  é a velocidade do fluido no torno de  $\Delta S$  no instante considerando, que é geral é obliquo a  $\Delta S$ . No caso ilustrado na figura em que  $\mathbf{v} \cdot \mathbf{n} > 0$  a altura do cilindro é  $\mathbf{v} \cdot \mathbf{n} \Delta t$ , de modo que :



$$\Delta m = \rho v \cdot n \Delta t \Delta s$$

A massa total de fluido contida dentro do volume V em um dado instante é:

$$m = \int_V \rho dV$$

Onde  $dv$  é o elemento de volume,  $\rho$  é a densidade em cada ponto de V no instante considerado e a integral é estendida ao volume V. A massa m pode variar e o fluxo resultante por unidade de tempo, conforme H. Moysés Nussenzveig, é:

$$\oint_S \rho v \cdot n dS$$

Onde  $dS$  é o elemento de superfície e a  $\oint$  significa a integral estendida a superfície fechada S. Este fluxo dá o decréscimo por unidade de tempo da massa de fluido contida em ou seja:

$$\oint_S \rho v \cdot n dS = -\frac{dm}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_V \rho dV \quad \text{Eq. 7}$$

Onde o sinal é negativo porque  $dm/dt < 0$  quando o fluxo total para fora é positivo.

### 2.5.2 Equação de Bernoulli

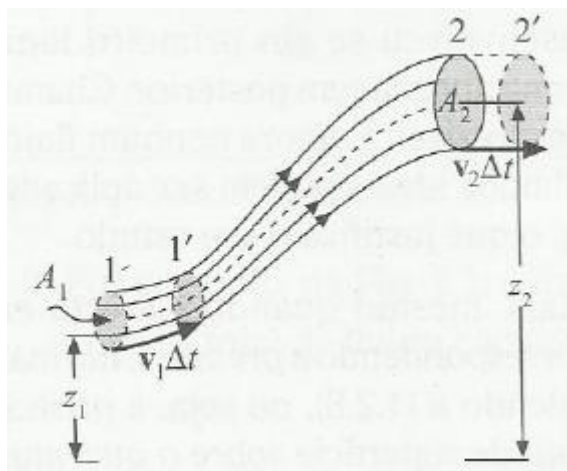


Figura 20 - Filete de corrente (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)

Consideremos um tubo de corrente limitado por duas seções transversais de áreas  $A_1$  e  $A_2$ , situadas no entorno dos pontos 1 e 2 do fluido (fig 2.8) respectivamente, onde as pressões são  $p_1$  e  $p_2$  as magnitudes das velocidades  $v_1$  e  $v_2$  em relação a um plano horizontal de referência  $z_1$  e  $z_2$ . O tubo deve ser suficientemente delgado para que se possa desprezar a variação de todas essas grandezas sobre sua seção transversal; um tubo estreito chamado de filete de corrente.

Durante o intervalo de tempo infinitésimo  $\Delta t$ , a porção considerada de filete, compreendida entre as seções 1 e 2, se desloca para nova posição, compreendida entre 1' e 2' (fig 2.8). Como o escoamento é estacionário e por fluido incompressível (neste exemplo), a porção do filete compreendida entre 1' e 2 não precisa ser levada em conta no balanço de energia, pois as condições nessa porção permanecem as mesmas. Para este balanço tudo se passa como se a porção entre 1 e 1' fosse transportada para a região compreendida entre 2 e 2'. As massas destas duas porções são iguais:

$$\Delta m_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t = \Delta m_2$$

A variação de energia cinética correspondente a esse transporte é:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2$$

O deslocamento 1-1' é no mesmo sentido das forças de pressão, enquanto 2-2' é em sentido contrário, de modo que o trabalho das forças de pressão é:

$$(\rho_1 A_1)(v_1 \Delta t) - (\rho_2 A_2)(v_2 \Delta t)$$

O trabalho realizado pelas forças gravitacionais é contrário a variação da energia potencial gravitacional, ou seja, é dado por:

$$-g(\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1)$$

Somando-as e igualando o resultado, obtemos:

$$\frac{1}{2}\Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2}\Delta m_1 v_1^2 = \rho_1(A_1 v_1 \Delta t) - \rho_2(A_2 v_2 \Delta t) - g(\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1)$$

Como  $\Delta m_1 = \Delta m_2$ , resulta:

$$\frac{1}{2}v_2^2 + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} = \frac{1}{2}v_1^2 + gz_1 + \frac{p_1}{\rho}$$

Nesta dedução foi utilizado como exemplo o fluido incompressível para chegarmos a equação de Bernoulli onde não existe a possibilidade adicional de variação térmica.

Em nosso trabalho, que ainda é um protótipo, consideraremos a temperatura fixa, portanto esta variação também não será considerada sendo assim, multiplicando se a equação acima por  $\rho$  dá a Equação de Bernoulli, conforme H. Moysés Nussenzveig.

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p + \rho gz = C \quad \text{Eq. 8}$$

### 2.5.3 Lei de Hagen – Poiseuille

Este estudo é importante, pois a partir dele algumas escolhas no projeto foram baseadas, como por exemplo, o motivo do uso do tubo de 9,5 mm de diâmetro ao invés do de 15 mm de diâmetro.

O gráfico de  $V(r)$  é função de  $r$  uma parábola, diz-se que o perfil de velocidade parabólico:

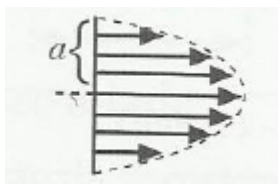


Figura 21- Perfil Parabólico (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)

Para calcular a vazão total  $V$ , ou seja, o volume que se escoar por unidade de tempo através da seção do tubo, considerando-se primeiro a contribuição  $dV$  associada à porção compreendida entre dois cilindros de raios  $r$  e  $r+dr$  (fig 22). a área do anel circular correspondente é  $2\pi r dr$ .

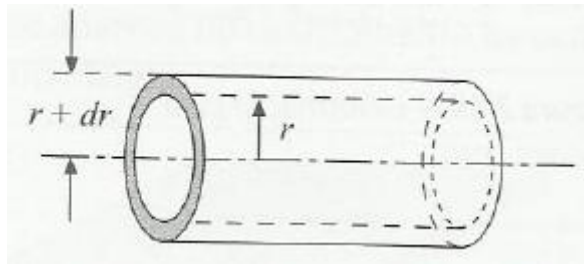


Figura 22 - Cálculo da vazão (Fonte: H. Moysés Nussenzveig)

Logo:

$$dV = v(r) \cdot 2\pi r dr = \frac{\pi(p_2 - p_1)}{2l\eta} (a^2 - r^2) r dr$$

Integrando-se  $r=0$  e  $r=a$

$$V = \frac{\pi(p_1 - p_2)}{2l\eta} \int_0^a (a^2 - r^2) r dr$$

Logo:

$$V = \frac{\pi r^4}{8\eta} \left( \frac{p_1 - p_2}{l} \right) \quad \text{Eq. 9}$$

Ou seja, a vazão é proporcional à queda de pressão por unidade de comprimento, inversamente proporcional ao coeficiente de viscosidade e varia com a quarta potência do raio do tubo, conforme H. Moysés Nussenzveig.

Através deste estudo e experimentações, verificamos que o tubo de maior diâmetro possui uma vazão muito alta e, por consequência, ocorre o decaimento da pressão da linha muito rapidamente, e o tubo de diâmetro e comprimento menor, apresentou um melhor rendimento. Como demonstrado nas fotos abaixo:

## 2.6 Sistemas De Limpeza De Para-Brisas

Ao longo de muitos anos, desde o início do século, os sistemas de limpeza do para-brisa evoluíram muito, apesar de sempre terem mantido seu princípio de funcionamento: uma lâmina de borracha que desliza sobre o vidro, como uma espécie de rodo, removendo água e sujeiras. Ele surgiu primitivamente com acionamento manual, através de alavanca; já os

modernos possuem intervalo ajustável entre os ciclos de limpeza e sensor de chuva, que aciona e ajusta a velocidade das palhetas conforme a intensidade da chuva. Vamos estudar um pouco esses sistemas, as formas de construção, seus componentes e materiais e seus mecanismos.

Um sistema básico de limpador de para-brisa é composto de palheta, braço, pivô de fixação, sistema de alavancas (eliminado em alguns tipos de montagem, como veremos a seguir) e motor de acionamento.

### 2.6.1 Formas de montagem dos limpadores

Ao longo da evolução dos limpadores de para-brisas, foram criadas várias formas de posicionar e movimentar os braços e as palhetas sobre o vidro. A escolha é influenciada por fatores como formato do para-brisa, eficiência na área de limpeza, estética, custo de fabricação, e até mesmo o espaço disponível para montagem do mecanismo de acionamento. Veremos a seguir algumas formas de posicionamento dos braços dos limpadores.

**Sistema *tandem* ou paralelo:** este é o mais comum, dois braços posicionados lado a lado, que se movem na mesma direção. Esse sistema faz a limpeza principalmente na área do campo de visão do motorista, ficando a outra extremidade do para-brisa com grande área não varrida pela palheta.

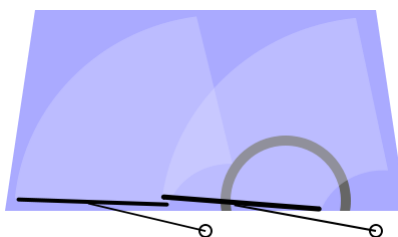


Figura 23 - Limpador Paralelo Unidirecional (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)

Alguns veículos possuem sistema de limpadores paralelos em que a posição dos braços é invertida (espelhada).

**Sistema de Braço Único:** Normalmente pivotado no centro da base do para-brisa, faz um movimento de quase 180°. É o sistema mais simples, pois dispensa o uso de braços e mecanismos de sincronização; porém é o menos eficiente em área de limpeza, permanecendo grandes áreas sem serem atingidas nos cantos superiores.

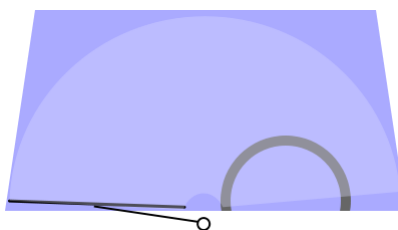


Figura 24 - Limpador de Braço Único Simples (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)

Há algumas variações desse sistema, com direcionamentos adicionais, na tentativa de contornar o problema da pouca área de atuação da palheta: por exemplo, há um mecanismo que rotaciona a palheta de modo que ela fique paralela à coluna do para-brisa. Outro exemplo também é um sistema que altera a extensão do braço do limpador, fazendo-o alcançar os cantos superiores do vidro. Esse sistema foi amplamente empregado pelo fabricante de automóveis Mercedes-Benz, instalando-o em vários de seus modelos. Uma desvantagem desse sistema é sua complexidade, que eleva seu custo de fabricação e manutenção.

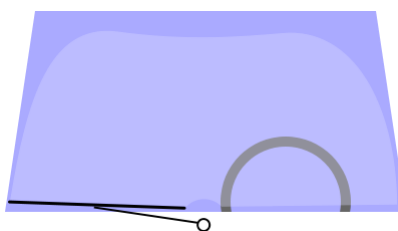


Figura 25 - Braço Único de Comprimento Variável (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)

**Paralelogramo:** Nesse sistema, a palheta é fixa na extremidade de dois braços, através de uma articulação. O movimento desses braços faz com que a palheta mantenha uma posição fixa durante todo o percurso, geralmente vertical. Muito utilizado em ônibus, com para-brisa normalmente dividido ao meio.

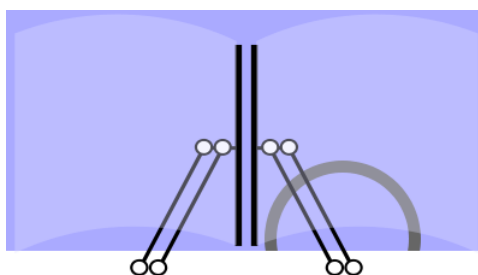


Figura 26 - Sistema de Paralelogramos (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)

**Sistema de Braços Opostos:** Com a atual tendência de para-brisas cada vez maiores (mais altos em relação à largura), desenhados para atender a requisitos tanto de estética

quanto aerodinâmicos, os sistemas anteriores começaram a apresentar problemas quanto à área de limpeza. Foi criado então o sistema de braços opostos: pivotados nos cantos inferiores do para-brisa, eles movem-se em direções contrárias, varrendo os cantos superiores dos dois lados, proporcionando melhor campo de visão também ao passageiro.

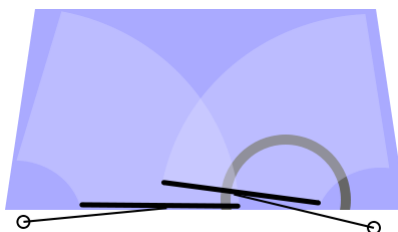


Figura 27 - Braços Opostos (Fonte: Sítio HowStuffWorks Brasil acessado em 16/10/2012)

## 2.6.2 Mecanismos de acionamento

O mecanismo de acionamento dos limpadores é um conjunto de braços e alavancas que interligam o motor aos braços dos limpadores. A montagem dos componentes e o princípio de funcionamento do mecanismo dependem de fatores como posição dos braços (dois braços paralelos, braços opostos, braço único etc), espaço disponível e multiplicação do torque do motor.

O motor geralmente é de corrente contínua e possui em seu eixo de saída um sistema de redução, com uma engrenagem de “rosca sem fim” acionando uma cremalheira. Na saída da cremalheira é montada uma manivela, que vai acionar as hastes, transformando o movimento rotativo do motor em movimento oscilatório, que é transferido aos braços do limpador. Esse mecanismo pode ser montado de duas formas:

- Em série: a manivela do motor aciona, por uma haste, apenas um dos braços do limpador, e este, através de uma segunda haste, aciona o outro braço sincronizadamente;
- Paralelo: o motor é posicionado entre os dois braços do limpador, e ambos são conectados diretamente à manivela de saída do motor, através de duas hastes.

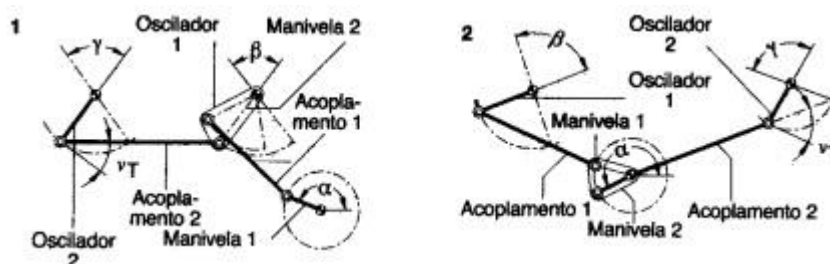


Figura 28 - Princípio do mecanismo das palhetas (1- Acoplamento em série, 2- Acoplamento paralelo,  $\alpha$  Ângulo da manivela,  $\beta$ ,  $\gamma$  Ângulos da palheta,  $v_T$  Ângulo de ataque da força tangencial.) (Fonte: BOSCH, 2005)

Quando há pouco espaço disponível para montagem do mecanismo, recorre-se a algumas alternativas, como a utilização de dois motores, um em cada braço de palheta, dispensando o emprego de manivelas e hastes.



Figura 29 - Sistema de limpadores com dois motores (Fonte: BOSCH, 2005)



### **3. METODOLOGIA**

Este capítulo tem como objetivo descrever os métodos, ensaios e ferramentas utilizados nos testes práticos realizados para averiguar o desempenho do sistema proposto. Para iniciar-se o desenvolvimento do projeto, era necessário ter um ponto de partida, observando-se, por exemplo, como se comportaria um jato de um fluido saindo por um orifício sob alta pressão.

#### **3.1 Testes Iniciais**

Esse início deu-se com um experimento prático simples, utilizando-se uma mangueira comum de PVC (*Polyvinyl chloride*, ou Policloreto de Vinila), como as de jardim. Foram feitos alguns furos na parede da mangueira, com pregos e agulhas de diferentes diâmetros, cujas medidas não foram especificadas pois tratava-se apenas de um teste visual. Em seguida, foi fechada uma das extremidades da mangueira, e a outra foi conectada a uma torneira comum. Ao abrir-se a torneira, a pressão da água fez com que ela saísse pelos orifícios formando jatos de diferentes formatos e alcances, devido à diferença entre os orifícios. O objetivo do teste foi observar qual dos jatos apresentaria o desempenho mais adequado para utilização no projeto, apenas como orientação. O experimento será demonstrado na imagem abaixo, que também indica qual dos jatos de água apresentou o melhor comportamento para ser utilizado no teste:



Figura 30 - Teste com mangueira de PVC e água (Ilustração elaborada pelo autor)

Porém, observou-se que mesmo o jato com o melhor desempenho foi prejudicado devido ao fato de que o orifício não mantinha o formato da agulha ou prego que o havia perfurado, ele deformava-se devido à elasticidade do material da mangueira. Para contornar este problema, pensou-se em utilizar agulhas vazadas, como as utilizadas em seringas. Elas seriam inseridas nos orifícios da mangueira, e assim manteriam seu formato e diâmetro original, mantendo os jatos de água constantes. Este segundo teste foi realizado da mesma forma que o primeiro, quando havia apenas os orifícios na mangueira, porém, desta vez, com a agulha, verificou-se que os jatos tinham alcance ainda maior. A imagem abaixo mostra o jato de água, consideravelmente mais espesso e definido:



Figura 31 - Teste com agulha vazada inserida no orifício da mangueira (Ilustração elaborada pelo autor)

### 3.2 Testes Práticos Com Para-Brisa

Os testes iniciais usando mangueira e água serviram apenas para dar uma noção de qual seria o resultado do projeto; depois disso, passou-se à próxima etapa, que seriam testes realizados com ar comprimido e um para-brisa, para que se pudesse visualizar o desempenho do sistema em situação mais próxima da real.

O para-brisa utilizado foi um modelo do automóvel VW Gol, da primeira geração (1980-1994), de vidro laminado, porém a peça foi adquirida avulsa, ou seja, não estava montada no veículo. Este modelo foi escolhido devido à pouca convexidade de sua superfície, e dimensões não muito extensas, para facilitar o transporte durante a realização dos experimentos. Os dutos utilizados para direcionar os jatos de ar comprimido eram tubos de cobre, com 0,5mm de espessura da parede, com diâmetros diferentes. Em sua parede, foram feitos furos de 1 mm de diâmetro, alinhados no sentido longitudinal do tubo, com distância entre furos que variando de 10 a 20 mm. Uma tabela contendo as especificações dos tubos e das furações, e o resultado obtido com cada configuração, será apresentada no final desta seção.

Para os testes, o vidro foi colocado no piso, apoiado na parede, com uma inclinação de 60°, e o tubo foi posicionado em sua base, horizontalmente, e com a saída dos orifícios direcionados paralelamente à superfície do vidro, como demonstrado na imagem a seguir:



Figura 32 - Testes com para-brisa avulso (Ilustração elaborada pelo autor)

O primeiro tubo utilizado media 9,5 mm (3/8") de diâmetro; nele foram feitos 40 furos, sendo um a cada 20 mm. O tubo teve uma das extremidades fechada e lacrada, enquanto a outra foi conectada, através de uma mangueira, a um sistema de ar comprimido trabalhando à pressão de 180 psi (12,4 bar), com válvula manual de abertura e fechamento. O tubo é mostrado abaixo:



Figura 33 - Tubo de 9,5 mm de diâmetro e 40 furos espaçados de 20 em 20 mm, utilizado no primeiro teste. Este é similar ao utilizado no quarto teste (Ilustração elaborada pelo autor)

Após a montagem do sistema, foi aberta a válvula de ar comprimido, e este começou a sair em fortes jatos através dos orifícios do tubo, formando uma espécie de cortina que percorreu toda a superfície do vidro. Com a corrente de ar formada, jogou-se água sobre o vidro aos poucos, e então a água era empurrada pelos jatos de ar, no sentido do topo do para-brisa. Observou-se, porém, que a água chegava até a metade da altura do para-brisa, e que as

gotas menores aderidas ao vidro deslocavam-se muito lentamente até essa posição. Além disso, na altura do vidro em que a cortina de ar perdia força, a água começava a se acumular, formando poças que permaneciam paradas naquele ponto, que seria exatamente o centro de visão do motorista. Com esse resultado, foi levantada a hipótese de que a limitação da força da cortina de ar era o grande espaçamento entre os furos.

Para testar a hipótese, foi confeccionado um segundo tubo, similar ao anterior, mas agora com espaçamento de 10 mm entre os furos, num total de 118 orifícios. Com isso, nesse segundo teste, esperava-se que a cortina de ar ficasse mais espessa, portanto, mais eficiente. Porém, o resultado foi o contrário: a cortina de ar deslocou a água jogada sobre o para-brisa até apenas um terço da altura deste, formando-se também a poça neste ponto. Com isso, constatou-se que, ao invés de tornar a cortina de ar mais espessa, a maior concentração de saídas de ar acabou por aumentar excessivamente a demanda da vazão de ar, e essa quantidade não foi suprida pelo sistema de ar comprimido utilizado, resultando em queda de pressão, conforme será demonstrado ao final deste capítulo.

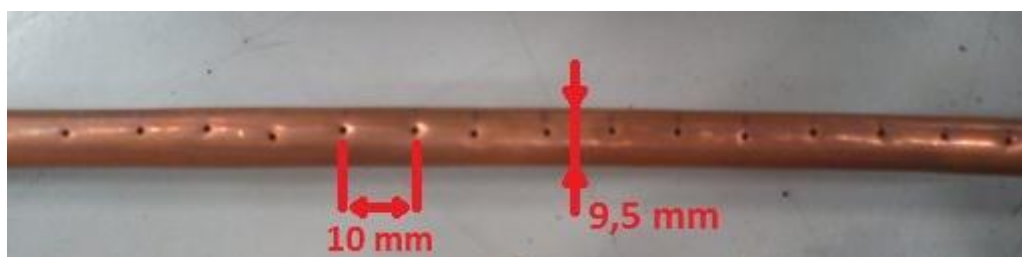


Figura 34 - Tubo de 9,5 mm de diâmetro e 118 furos espaçados de 10 em 10 mm, utilizado no segundo teste (Ilustração elaborada pelo autor)

Uma nova hipótese em relação ao fraco desempenho obtido no primeiro teste era de que a limitação da força da cortina de ar era devida à baixa vazão proporcionada pelo pequeno diâmetro do duto utilizado. Foi realizado então um terceiro teste, dessa vez com um tubo de 15 mm de diâmetro, e 56 orifícios dispostos novamente a cada 20 mm. Novamente o desempenho foi aquém daquele obtido no primeiro teste, com as gotas de água deslocando-se também a até um terço da altura do para-brisa, com formação de poça. Dessa vez, constatou-se que o grande volume interno do duto prejudicou a pressurização do ar em seu interior, fazendo com que essa solução também fosse descartada. Essa demonstração pode ser encontrada na seção 2.5.3.



Figura 35 - Tubo de 15 mm de diâmetro e 56 furos espaçados de 20 em 20 mm, utilizado no terceiro teste (Ilustração elaborada pelo autor)

Com isso, chegou-se à conclusão de que o caminho a ser seguido era o do primeiro teste. Foi levantada uma nova hipótese: se com maior quantidade de furos a pressão diminuía, a recíproca poderia ser verdadeira, ou seja, com menos orifícios e menor vazão de ar, poderia se conseguir maior pressão na saída do duto.

Foi realizado, então, o quarto teste, utilizando um tubo de 9,5 mm de diâmetro, com 25 orifícios espaçados de 20 em 20 mm. Observou-se que com esse arranjo, a pressão foi muito maior na saída dos jatos, aumentando consideravelmente a força da cortina de ar. Isso pode ser observado no teste prático, onde a água depositada sobre o para-brisa foi rapidamente empurrada para o topo do para-brisa, deixando limpa a área de visão do motorista, exceto por poucas gotas que deslocavam-se mais lentamente, por estarem aderidas ao vidro. Durante o deslocamento da água, formava-se a poça, mas dessa vez ela foi também empurrada para o topo do para-brisa, ainda que com certa lentidão.

Uma questão frequentemente levantada durante a concepção desse projeto era: se o duto for colocado no topo do para-brisa, com os jatos direcionados no sentido descendente do vidro inclinado, não seria mais eficaz? Não seria mais fácil fazer a água deslocar-se para baixo do que para cima? Para responder essa pergunta, ou outro teste foi realizado, posicionando-se o tubo conforme citado acima. O que se observou é que com essa montagem, não se formavam poças de água sobre o vidro, com qualquer um dos tubos utilizados, pois elas desciam naturalmente até a base do para-brisa. Por outro lado, as gotas remanescentes na área de limpeza, devido à adesão ao vidro, deslocavam-se praticamente na mesma velocidade, tanto no sentido ascendente, quanto descendente do vidro, representando pouca vantagem no desenvolvimento do projeto. Outro fator que finalmente faria com que esse tipo de montagem fosse descartado é o de que, com o veículo em velocidade elevada, o vento que incidiria sobre o para-brisa, em sentido contrário à cortina de ar, anularia sua ação.

Nessa fase, além de se observar o comportamento do sistema em funcionamento, também foi feita uma avaliação de qual das configurações de tubo perfurado apresentaria o melhor desempenho nas condições do teste. Comparando-se os resultados dos quatro testes realizados, concluiu-se que o tubo utilizado no quarto teste era o mais adequado para o prosseguimento do projeto. A seguir, apresenta-se uma tabela resumindo os resultados prévios obtidos com cada configuração de tubo:

<b>Posição dos dutos no para-brisa</b>	<b>Diâmetro do duto (mm)</b>	<b>Quantidade de orifícios</b>	<b>Espaçamento de orifícios (mm)</b>	<b>Resultado obtido</b>
Base	9,5	40	20	Limpeza até a metade da altura do para-brisa, com formação de poça
Base	9,5	118	10	Limpeza até um terço da altura do para-brisa, com formação de poça
Base	15	61	20	Limpeza até um terço da altura do para-brisa, com formação de poça
Base	9,5	25	20	Limpeza total até o topo do para-brisa; poça foi dissipada com dificuldade
Topo	9,5	40	20	Limpeza total até a base do para-brisa, não houve formação de poça

Tabela 1- Configurações de tubos utilizados e resultados obtidos

### 3.3 Testes No Veículo

Os testes anteriores foram importantes para comparar as diversas configurações do tubo perfurado, porém isso tudo limitado a condições que dificultavam a realização dos testes. Por exemplo, o para-brisa estava posicionado no piso, em ângulo muito próximo da vertical, o que difere bastante daqueles que encontramos em boa parte dos automóveis da atualidade. O duto de ar era colocado na base do para-brisa, porém sem uma fixação adequada necessitando ser fixado com as mãos. Diante da dificuldade em sanar esses empecilhos, decidiu-se realizar os testes em condições ainda mais fiéis à realidade, agora em um veículo real.



O automóvel utilizado foi um VW Polo Sedan, modelo 2004, em perfeitas condições de rodagem. Seu para-brisa possui dimensões e posicionamento condizentes com veículos atuais, como se pode ver na foto a seguir:



Figura 36 - Veículo utilizado nos experimentos, cujo para-brisa possui dimensões e posicionamento condizentes com os veículos da atualidade (Ilustração elaborada pelo autor)

O duto utilizado foi o de 9,5 mm de diâmetro e 25 furos espaçados de 20 em 20 mm. O mesmo foi fixado pelas suas extremidades junto às bases dos próprios limpadores de para-brisa do carro, com cintas plásticas, e os orifícios foram direcionados paralelamente à superfície desse vidro. A montagem do sistema será demonstrada abaixo:



Figura 37 - Sistema montado, com tubo posicionado na base do para-brisa (Ilustração elaborada pelo autor)



Outra melhoria implementada nessa fase foi a simulação de chuva. Anteriormente a água era simplesmente jogada com as mãos, tornando seu fluxo inconstante. Agora passa a ser simulada com um regador comum, pois sua saída de água, similar a um chuveiro, distribui melhor a água sobre o vidro, além de proporcionar um fluxo constante de água.

Antes da realização do teste prático, foi aplicado em metade do para-brisa um produto cristalizador, visando melhorar o desempenho da cortina de ar. Após colocar o sistema em funcionamento, verificou-se uma grande melhora em relação a todos os testes realizados anteriormente. A água, ao atingir o vidro, era imediata e rapidamente empurrada para o topo do para-brisa, deixando-o totalmente limpo. Também não houve formação de poças, pois quando a água começava a se acumular, ela rapidamente escorria pelas laterais do vidro.

Mesmo com o êxito obtido no teste anterior, ainda se tentou fazer uma montagem diferente do sistema, para verificar a possibilidade de obter alguma melhora no resultado. A proposta seria posicionar dois tubos, um em cada lateral do para-brisa, com os jatos direcionados para o centro deste. No teste prático foi utilizado apenas um tubo, em um dos lados do para-brisa, mas ainda assim pode-se constatar que, caso se utilizasse os dois tubos, a água vinda das extremidades do vidro se acumularia no centro, formando uma poça nesse ponto, o que prejudicaria a visão do motorista. Com o veículo parado, a poça desceria pela força da gravidade, ainda que lentamente; em velocidade alta, o vento a deslocaria para o topo do para-brisa, dissipando-a pelo teto do veículo. Mas em velocidade média, o vento fraco manteria a poça parada no meio, acumulando cada vez mais água, tornando esse sistema ineficiente.

Também foi feito um experimento utilizando-se um tubo de 9,5 mm com 16 orifícios, desta vez espaçados em 30 mm. Verificou-se que com menos furos e menor vazão, a pressão do sistema mantinha-se mais constante, porém o maior espaçamento entre orifícios tornava a cortina de ar muito dispersa, reduzindo seu desempenho.

Com isso, foi mantido o sistema anterior, com o tubo de orifícios espaçados a 20 mm posicionado na base do para-brisa; e com o resultado obtido nesse teste, observando-se o para-brisa completamente limpo de água, considerou-se como atingido o objetivo proposto no início deste trabalho, com algumas ressalvas.

Uma das ressalvas diz respeito ao consumo de ar, considerado alto, cujo cálculo será demonstrado a seguir.

Dados disponíveis:

- Sistema em funcionamento: queda de pressão de 40 psi em 15s (0,25 min);
- Recarga do compressor: aumento de pressão de 40 psi em 90s (1,5 min);
- Produção do compressor: 566 l/min ( $\sim 0,6 \text{ m}^3/\text{min}$ );

Com esses valores, calculamos o volume de ar comprimido produzido pelo compressor durante a recarga:

$$Volume = 0,6 \text{ m}^3/\text{min} \times 1,5 \text{ min} = 0,9 \text{ m}^3 \quad \text{Eq. 10}$$

O volume de ar comprimido produzido pelo compressor é o mesmo que foi consumido pelo sistema em funcionamento em 15s. Dividindo esse volume pelo tempo, temos a vazão do sistema:

$$Vazão = 0,9 \text{ m}^3 \div 0,25 \text{ min} = 3,6 \text{ m}^3/\text{min} \quad \text{Eq. 11}$$

Com esse cálculo, verificou-se que o consumo de ar com o tubo de 25 orifícios é de  $3,6 \text{ m}^3/\text{min}$ , sendo que o compressor utilizado, modelo industrial de médio porte, fornecia  $0,6 \text{ m}^3/\text{min}$ , não suprimindo a demanda do sistema.

Outra ressalva refere-se ao nível de ruído do sistema. O ruído no ambiente no momento da medição era de aproximadamente 52 dBA; com o sistema em funcionamento atingiu 91 dBA, bem acima do ruído das palhetas de borracha deslizando sobre o vidro, que chega a cerca de 56 dBA. Já no interior do veículo, com os vidros fechados, tanto o sistema tradicional de palhetas quanto o protótipo deste trabalho apresentaram nível de ruído semelhante, aproximadamente 56 dBA.

## 4. CONCLUSÃO

Em face de todos os testes realizados durante o desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que o protótipo, testado em condições conhecidas de laboratório, é capaz de atuar como um limpador de para-brisas, apesar de algumas limitações. A grande quantidade de ar e energia necessárias para manter o sistema em funcionamento (vazão aproximada de 3,6 m<sup>3</sup>/min, consumindo aproximadamente 20 kW para geração), faz com que, atualmente, o projeto para fins comerciais necessite de mais ajustes. Porém, o sistema aliado a novas tecnologias como a nanotecnologia, que já é capaz de criar materiais hidrofóbicos, ou seja, capaz de repelir a água, poderá se mostrar mais eficaz que os atuais sistemas de limpadores de para-brisa.

Outro ponto a ser melhorado é o ruído que o sistema apresenta, mas que pode ser amenizado com tecnologias de supressores de ruído já existentes, por exemplo, em aviões.

Apesar das ressalvas citadas acima, pode-se considerar como atingido o objetivo do trabalho, pois o sistema, além de proporcionar limpeza satisfatória do para-brisa do veículo, também resolve as deficiências dos atuais sistemas de limpadores, como desgaste das palhetas, riscos no vidro etc.

## **5. PROPOSTAS PARA CONTINUAÇÃO**

Este trabalho foi executado apenas com estudos e um protótipo experimental. Deixamos como propostas para o prosseguimento do projeto a implementação de um controle de fluxo do ar comprimido permitindo uma dosagem do ar e seu melhor aproveitamento, ou seja, a vazão e a pressão do ar seriam calculadas de acordo com a intensidade e volume da chuva, aerodinâmica e velocidade do veículo.

Outra proposta seria a integração do sistema com um sensor de chuva, que, além de fazer o acionamento automático do limpador, ainda permitiria o cálculo da intensidade de água incidente sobre o para-brisa.

Há uma proposta também para melhorar o rendimento do sistema. A sugestão é que se instale pequenos bicos nos orifícios de saída do ar do tubo, para um melhor direcionamento dos jatos, tornando a cortina de ar mais concentrada e, conseqüentemente, mais forte.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSCH. **Manual de Tecnologia automotiva**. Edgard Blucher, 25 º Edição, 2005. 1232 p.

BRUNETTI, Franco; SANTOS, Sergio Lopes dos. Apostila e Notas de Aula da Disciplina de Mecânica dos fluídos ministrada ao Curso de Engenharia Elétrica, São Bernardo do Campo. FEI, 2008.

FESTO DIDATIC, **Tipos de Compressores de Ar**, 1999.

HARRIS, Bill. Traduzido por HowStuffWorks Brasil. **Como funcionam os compressores e Como funcionam os limpadores de para-brisa** Como tudo funciona. Disponível em: <<http://carros.hsw.uol.com.br/supercompressores1.htm>>. Acesso em: 20/12/2010.

KANASHIRO, Luiz; MASSAROPE, Wagner. Notas de Aula da Disciplina de Hidropneumática Ministrada ao Curso de Eletrônica Automotiva da Fatec Santo André. 2012.

MARTINS, J. Francisco. **Acionamentos Pneumáticos e Hidráulicos - Fascículo 1**. Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia De Goiás. Goiás, 2011. Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/62019973/51/Compressor-Alternativo-de-Duplo-Estagio>> Acesso em 18/10/2012.

METALPLAN. **Manual do Ar Comprimido Metalplan: Geração de Ar Comprimido**. 4º Edição, 2010. Disponível em <[http://www.metalplan.com.br/pdf/br2/manual\\_de\\_ar\\_comprimido.pdf](http://www.metalplan.com.br/pdf/br2/manual_de_ar_comprimido.pdf)>. Acesso em 08/12/2012.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas uma Abordagem**, 2º Edição, Editora Bookman. 2004.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica - Volume 2 Oscilações e ondas 4º Ed.** Edgard Blucher, 2002.

PILKINGTON. **Revolução do Float**. Disponível em: <<http://www.pilkington.com/south-america/brazil/portuguese/about+pilkington/history+of+float+in+brazil/revolution+of+float.htm>> Acesso em 08/12/2012.

SÁ, A. F. Ribeiro de. **Medidas para aumentar a eficiência energética**. Disponível em: <<http://www.voltimum.pt/news/752/cm/sistemas-de-ar-comprimido---medidas-para-aumentar-a-eficiencia-energetica.html>> Acesso em 08/12/2012.

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHEKE, Charles R. **Projeto de Engenharia Mecânica**, 7º Edição, Editora Bookman. 2005.

SIMÕES, J. Gabriel F. **Mecânica dos Fluidos**. Unisantana e UFC (Universidade Federal do Ceará). Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAM-YAH/apostila-mecanica-dos-fluidos>> Acesso em 16/10/2011.