



**Adriano Simionato**

**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE UM COMPRESSOR DE  
AR AUXILIAR EM CAMINHÕES**

**Horizontina**

**2015**

**Adriano Simionato**

**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE UM COMPRESSOR DE AR  
AUXILIAR EM CAMINHÕES**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Anderson Dal Molin, Mestre

**Horizontina**

**2015**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Proposta de Instalação de um Compressor de ar  
Auxiliar em Caminhões”**

**Elaborada por:**

**Adriano Simionato**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 05/11/2015  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Mestre. Anderson Dal Molin  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Especialista. Leonardo Teixeira Rodrigues  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Doutor. Adriano Roberto Carotenuto  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina  
2015**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a minha família e a Deus que sempre estiveram comigo em todos momentos desta caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pois sem ele não encontraria esse caminho.

Agradeço aos meus pais que de um modo ou de outro me ajudaram nessa jornada.

Aos colegas e professores que dividiram seus conhecimentos e serviram de exemplos de vida e formação profissional.

A todos que de uma maneira ou outra contribuíram para que meu sonho se tornasse realidade.

“Insanidade é fazer a mesma coisa e esperar um resultado diferente.”

*Albert Einstein*

## RESUMO

O transporte de cargas é um serviço fundamental na distribuição de bens industriais e agrícolas. O transporte rodoviário tem um papel essencial na logística, é responsável pela maior parcela das cargas movimentadas no Brasil. A modernização da frota de caminhões disponibilizou sistemas pneumáticos controlados eletronicamente. Neste contexto, o objetivo do trabalho é dimensionar a instalação de um compressor pneumático auxiliar para caminhões. Primeiramente foi realizada uma pesquisa com proprietários e motoristas de caminhões para coletar os requisitos dos clientes. Uma análise nos catálogos dos fabricantes auxiliou na coleta de informações para a proposta de um compressor auxiliar. Para escolha do compressor foram considerados os dados de pressão e vazão resultantes da análise do questionário e catálogos. Por meio dos valores foi selecionado um compressor a partir de um diagrama de seleção de compressores. A etapa seguinte foi a realização da definição do local de instalação, acessórios e orçamento do custo total para implementação do sistema. A realização do trabalho permitiu concluir que a fácil instalação e o custo relativamente baixo, fazem com que seja viável a proposta apresentada quando relacionado as melhorias geradas após a implementação deste compressor.

Palavras-chaves: compressor de ar, caminhão, sistema pneumático.

## **ABSTRACT**

The cargo transportation is an essential service in the distribution of industrial and agricultural goods. Road transport plays a key role in logistics, is responsible for most of the cargo handled in Brazil. The modernization of truck fleet has provided electronically controlled pneumatic systems. In this context, the objective is to scale the installation of an air compressor auxiliary trucks. It was first conducted a survey of owners and truck drivers to collect customers' requirements. An analysis in catalogs of manufacturers helped in gathering information for the proposal for an auxiliary compressor. To select the compressor were considered the pressure and flow data resulting from the questionnaire analysis and catalogs. By means of the values is selected from a compressor of a compressor selection diagram. The next step was the realization of the definition of the place of installation, accessories and budget of the total cost for system implementation. The completion of the work showed that the easy installation and relatively low cost make it viable the proposal when related improvements generated after the implementation of this compressor.

Keywords: air compressor, truck, pneumatic system.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cubo de roda com sistema pneumático auto pressurizador.....	16
Figura 2: Esquema pneumático de auto pressurização.....	17
Figura 3: Sistema <i>tire maintenance system</i> . ....	17
Figura 4: Circuito pneumático de freios do caminhão modelo 816. ....	19
Figura 5: Servo de embreagem hidropneumática. ....	20
Figura 6: Atuador de embreagem eletrônica. ....	21
Figura 7: Suspensão pneumática de um caminhão.....	22
Figura 8: Suspensão pneumática de um caminhão.....	23
Figura 9: Compressor de ar. ....	24
Figura 10: Diferentes leiautes de compressores. ....	25
Figura 11: Compressor tipo êmbolo – um estágio.....	26
Figura 12: Compressor tipo êmbolo – dois estágios ....	27
Figura 13: Compressor tipo membrana.....	27
Figura 14: Compressor tipo rotativo. ....	28
Figura 15: Compressor tipo parafuso.....	29
Figura 16: Modelo MB AXOR2544, fabricado pela Mercedes Benz. ....	30
Figura 17: Esquema pneumático de freio (6X2). ....	31
Figura 18: Diagrama de seleção de compressores ....	32
Figura 19: Compressor VIAIR 480C.....	35
Figura 20: Local de instalação. ....	36
Figura 21: TEE União. ....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
2.1 SISTEMA PNEUMÁTICO DE CAMINHÕES .....	15
<b>2.1.1 Sistema de calibração dos pneus</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.2 Sistema de freios pneumáticos</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.3 Sistema de embreagem pneumática</b> .....	<b>19</b>
2.1.3.1 Embreagem hidropneumática .....	20
2.1.3.2 Embreagem eletrônica.....	20
<b>2.1.4 Suspensão pneumática</b> .....	<b>21</b>
2.2 COMPRESSORES PNEUMÁTICOS .....	24
<b>2.2.1 Compressores tipo êmbolo</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2.2 Compressores tipo membrana</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2.3 Compressores rotativos de palhetas</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.4 Compressores tipo parafuso</b> .....	<b>28</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>30</b>
3.1 SELEÇÃO DO COMPRESSOR.....	32
3.1 MATERIAL E EQUIPAMENTOS .....	33
<b>4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
4.1 DEFINIÇÃO DO COMPRESSOR A SER UTILIZADO.....	34
<b>4.1.1 Cálculo de vazão necessária para o compressor</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1.2 Compressor selecionado</b> .....	<b>35</b>
4.2 DEFINIÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO.....	36
4.3 CONEXÕES UTILIZADAS NA INSTALAÇÃO .....	37
4.4 INSTALAÇÃO ELÉTRICA .....	37
4.5 CUSTO DE INSTALAÇÃO.....	38
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>40</b>
<b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE PESQUISA APLICADO A MOTORISTAS DE CAMINHÕES AFIM DE LEVANTAR PRINCIPAIS PROBLEMAS EM SISTEMAS PNEUMÁTICOS.</b> .....	<b>42</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Conforme a Confederação Nacional do Transporte/CNT (2015), o transporte rodoviário de carga respondeu por 61,8% do total das cargas movimentadas no país, o que faz do transporte rodoviário um setor de grande importância na atividade econômica do Brasil.

Para atender à crescente demanda a produção de caminhões historicamente vem crescendo. O Gráfico 1 apresenta a evolução histórica de produção de caminhões no mercado nacional entre os anos de 1957 e 2014. Devido a situação econômica o número de caminhões produzidos entrou em queda, porém ainda apresenta expressivos números (ANFAVEA, 2015).

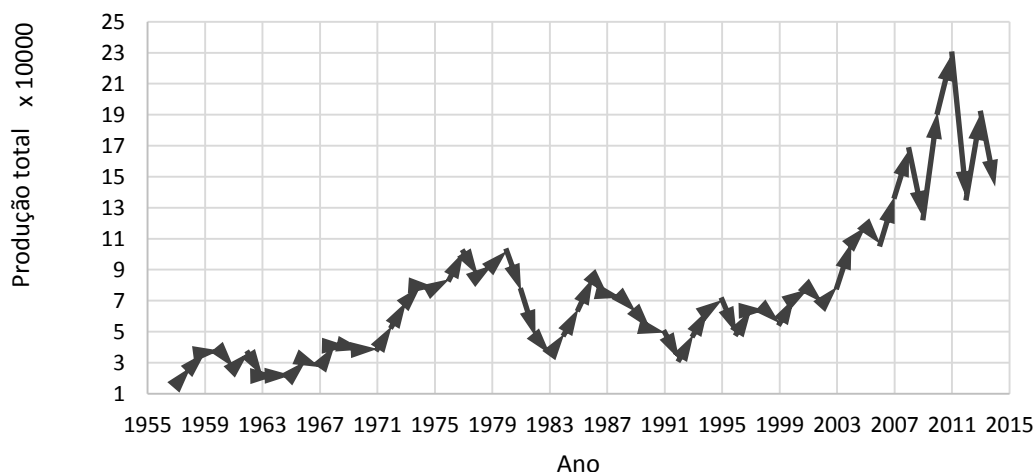


Gráfico 1: Produção de caminhões entre 1957-2014.  
Fonte: ANFAVEA (2015)

A função global do caminhão é o transporte de carga, o que corresponde muitas vezes em transportar cargas perigosas. Os sistemas de freio são elementos críticos tanto para a segurança como para o desempenho do veículo (SEIMETZ et al., 2014).

O sistema de freio é responsável pela redução da velocidade ou por cessar totalmente o movimento de um veículo, além de mantê-lo estacionado em rampas. Ao projetar um sistema de frenagem devem ser analisados aspectos como segurança, eficiência e durabilidade (LAMB, 2008)

As falhas nos freios estão entre as maiores causas de acidentes nas estradas. O sistema de freio dos caminhões possui um sistema pneumático utilizado para atuar nos freios, embreagem e sistema de calibração de pressão dos pneus.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Um dos principais componentes do sistema de freio pneumático é o compressor de ar, onde, um dos principais problemas que o sistema apresenta é perda de pressão, ocasionada por vazamentos que surgem devido ao ambiente ao quais os componentes deste sistema estão submetidos. O problema resultado da perda de pressão e também de falhas no compressor do veículo é a não funcionalidade do sistema pneumático.

O trabalho pretende justificar a viabilidade de implementação de um compressor pneumático auxiliar para um caminhão através de um demonstrativo de dados e acontecimentos repentinos ocorridos em caminhões. Propondo um sistema que forneça ar comprimido ao sistema, em caso de falha do compressor do próprio caminhão.

Com a instalação deste compressor será possível abastecer a rede pneumática sem necessidade do funcionamento do motor a combustão. Com o abastecimento do ar comprimido é possível a liberação do sistema de freios e também acionamento da embreagem.

O compressor de ar auxiliar também poderá se utilizado por mecânicos ao prestarem suporte em situações onde seja necessário realizar o abastecimento da rede pneumática do caminhão quando este se encontrar inoperante.

## 1.2 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo geral dimensionar a instalação de um compressor pneumático auxiliar para caminhões. Para que o objetivo geral seja alcançado, faz-se necessário os seguintes objetivos específicos:

Analisar o embasamento teórico apropriado através dos conceitos necessários para selecionar o compressor adequado;

Conhecer o funcionamento do sistema pneumático de um caminhão, analisando seus componentes e funções;

Realizar uma pesquisa a fim de tomar conhecimento dos principais problemas ocorridos em sistemas pneumáticos e compressores de ar em caminhões;

Calcular vazão necessária e definir em consulta a catálogos o compressor a ser proposto bem como o orçamento para instalação.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Neste capítulo apresenta-se uma revisão de literatura direcionada a área pneumática de caminhões e compressores de ar, abordando principalmente a parte técnica destes temas.

### **2.1 SISTEMA PNEUMÁTICO DE CAMINHÕES**

Caminhões utilizam o ar comprimido em vários componentes dentre eles freios, embreagem, calibrador de pneus, sistema de suspensão.

Os acionamentos pneumáticos possuem as vantagens de trabalhos rápidos devido às altas velocidades de até 40m/s nas tubulações, grande elasticidade do ar, insensibilidade a mudanças de temperatura e menor consumo de potência devido ao ar depois de produzir a energia ser eliminado pelas válvulas de comando. A desvantagem da utilização de sistemas pneumáticos está ligada a elasticidade do ar que se limita em geral a acionamentos com posição final limitada mecanicamente ou pela energia (DUBBEL, 1979).

Relacionado ao sistema de freios a ar, a principal característica deste sistema é a segurança, uma vez que pequenos vazamentos na linha não causam falha no sistema, já que o mesmo é alimentado constantemente com ar oriundo do compressor. A desvantagem está no fato de ser um sistema mais complexo e pesado quando comparado ao acionamento hidráulico (PUNH, 1987).

#### **2.1.1 Sistema de calibração dos pneus**

O sistema de calibração tem como função manter, ou regular a pressão dos pneus de forma a garantir a melhor rodagem e maior durabilidade dos pneus em veículos rodoviários.

Existem várias tecnologias envolvidas em pneumáticos, desde a utilização de pneus “run-flat” que permitem rolar mesmo estando furados. Sistemas que libertam um produto químico para selar a furo. Sistemas de monitorização de pressão de pneus. Sistemas de auto pressurização de pneus. E mesmo pneus sem ar, como o TWEEL da Michelin (SOUZA, 2013).

Embora haja disponível no mercado uma grande variedade de concepções de sistemas auto pressurização (Figura 1), todos apresentam elementos comuns.



Figura 1: Cubo de roda com sistema pneumático auto pressurizador  
Fonte: Souza (2013).

Os sistemas de auto pressurização utilizam uma válvula que isola os pneus, para que quando a pressão de um pneu é testada a pressão de ar dos restantes não influencie o valor medido. Um dos métodos de medir a pressão de pneus é utilizando sensores (Figura 2) que enviam os dados à uma unidade de controle eletrônica (ECU) que envia o valor a um mostrador digital localizado no painel do condutor (SOUZA, 2013).

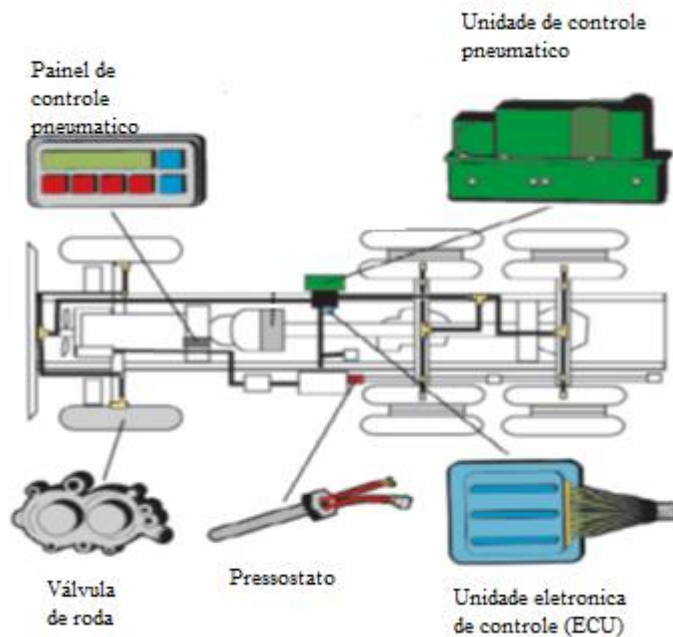


Figura 2: Esquema pneumático de auto pressurização.  
Fonte: Souza (2013).

Outro sistema semelhante, mas com aplicações mais específicas, como atrelados nos caminhões é o TMS (Tire Maintenance System). Este sistema criado pela Dana Corporation monitoriza e corrige, caso necessário, a pressão dos pneus nos atrelados (Figura 3). A fonte de ar utilizada neste sistema é o sistema de travões do atrelado (SOUZA, 2013).

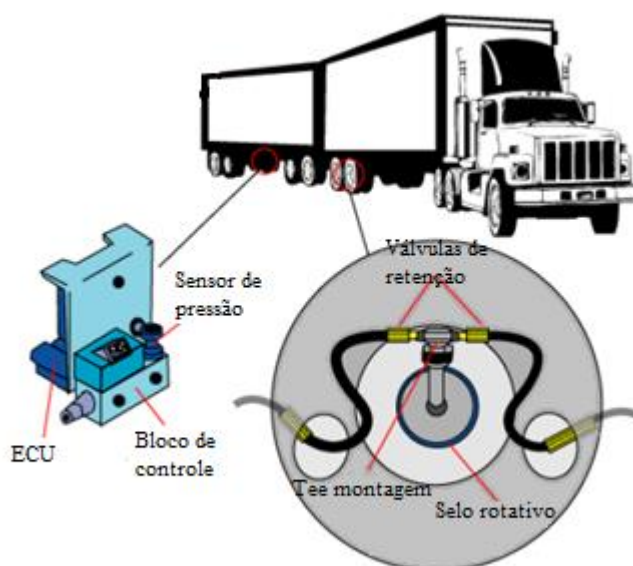


Figura 3: Sistema *tire maintenance system*.  
Fonte: Souza (2013).



### **2.1.2 Sistema de freios pneumáticos**

Os sistemas de freio são elementos críticos tanto para a segurança como para o desempenho do veículo, sendo responsável pela redução da velocidade ou por cessar totalmente o movimento de um veículo, além de mantê-lo estacionado em rampas (SEIMETZ et al., 2014). Devido a sua importância para a segurança, requisitos legais que regulamentam o seu funcionamento e o seu desempenho são estabelecidos por órgãos regulamentadores em diversos países (KAWAGUCHI, 2005).

O ar comprimido é a mais importante fonte de energia no segmento de freios para veículos comerciais. Ele é produzido pelo compressor de ar e direcionado através da unidade de tratamento até os reservatórios onde é armazenado. Durante as frenagens, ou em casos de alterações de carga do veículo, o ar comprimido é direcionado através das válvulas ou módulos de controle para os atuadores de freio ou sistemas de suspensões que trabalham com pressões acima de 10 bar (KNORR-BREMSE, 2015).

A representação gráfica por meio de figuras de cada elemento auxilia no entendimento da integração dos componentes de um sistema pneumático. Na Figura 4, o item número um é o compressor, que corresponde a unidade geradora de pressão. Existem diferentes tipos de compressores, cada um atende a necessidades específicas de diferentes aplicações (ELETROBRÁS et al., 2009).

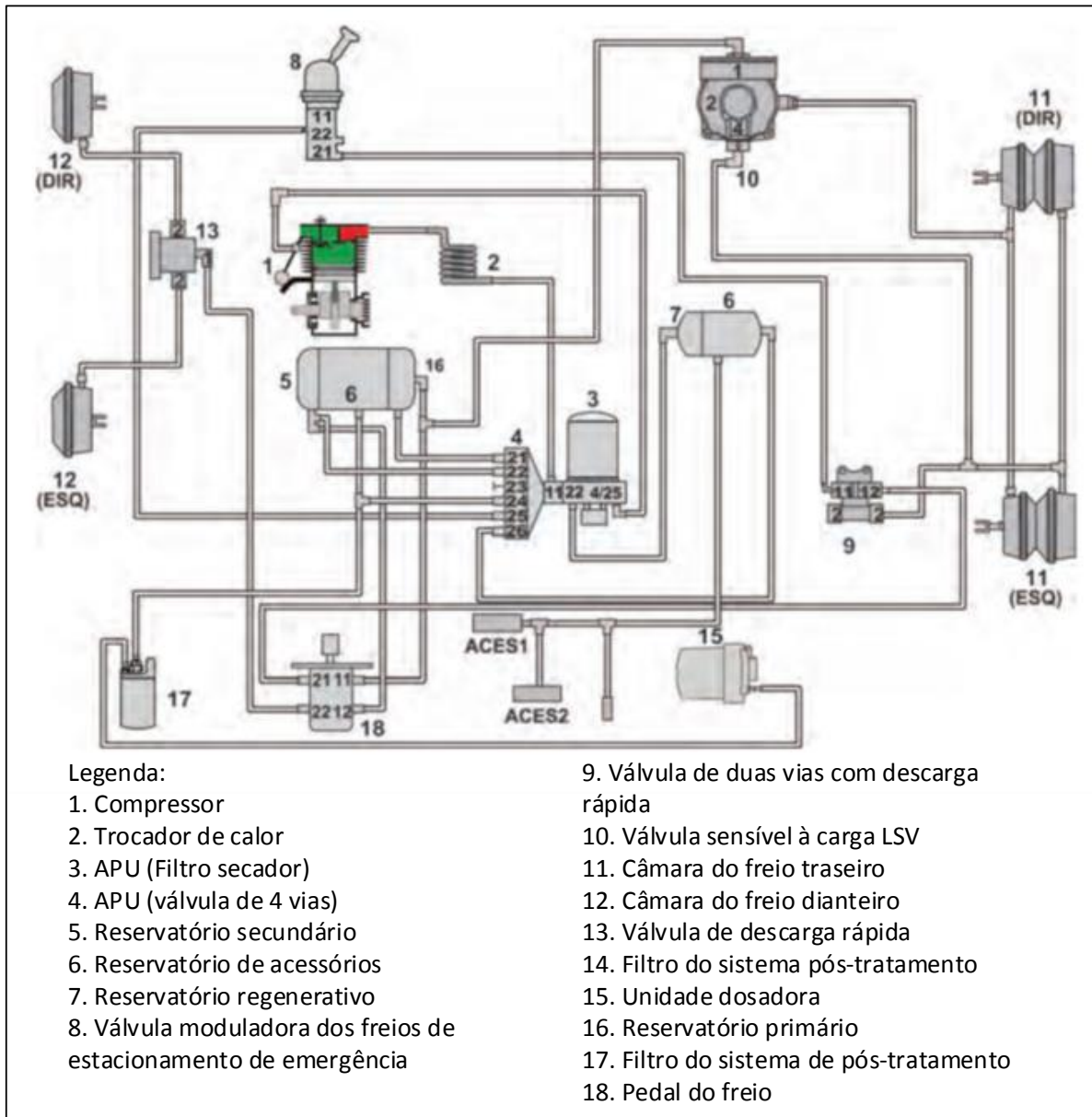


Figura 4: Circuito pneumático de freios do caminhão modelo 816.

Fonte: Ford (2014).

### 2.1.3 Sistema de embreagem pneumática

Um sistema de embreagem resume-se à responsabilidade de desacoplar o motor do sistema de transmissão no momento do engate de marchas. Para sistemas de acionamento de veículos comerciais médios e pesados torna-se necessária a aplicação de sistemas com auxílio pneumático a fim de reduzir o esforço exercido pelo operador no pedal de acionamento.

### 2.1.3.1 Embreagem hidropneumática

Segundo ZF do Brasil (2005), ao se aplicar o pedal da embreagem, este aciona o cilindro mestre, gerando uma pressão hidráulica que atua diretamente atrás do êmbolo hidráulico, que por sua vez comunica-se com a câmara hidráulica. Esta pressão atua sobre o diafragma que empurra o êmbolo de comando contra a válvula pneumática e está, ao ser deslocada, permite a entrada do ar comprimido, ligado através da conexão para dentro do corpo pneumático, auxiliando o acionamento da embreagem e produzindo a debreagem (Figura 5).

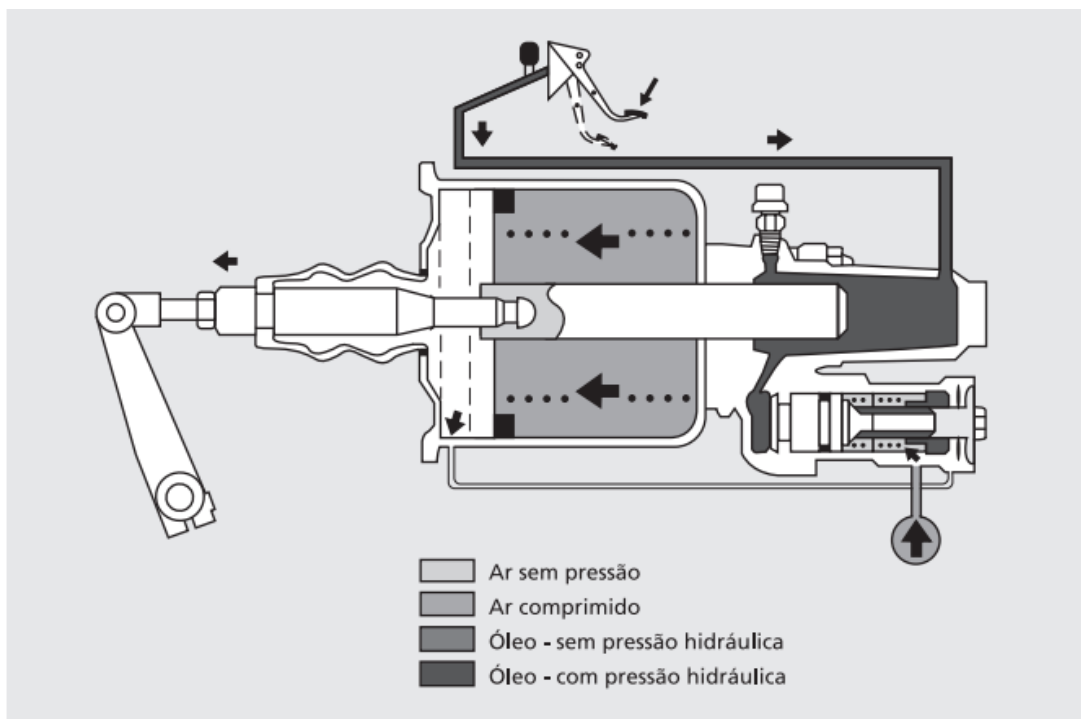


Figura 5: Servo de embreagem hidropneumática.  
Fonte: ZF do Brasil LTDA (2005).

### 2.1.3.2 Embreagem eletrônica

O atuador da embreagem eletropneumático (Figura 6), permite o controle eletrônico de uma embreagem de veículos comerciais. O controle é efetuado por válvulas de solenoide para o fornecimento e exaustão do cilindro de acionamento pneumático. Um sensor de admissão integrado garante o monitoramento contínuo da posição da embreagem.



Figura 6: Atuador de embreagem eletrônica.  
Fonte: Knorr-Bremse (2015)

Uma unidade de controle eletrônico de engrenagem permite uma troca de marcha totalmente automática para ser feita com uma caixa de engrenagem manual; a unidade está geralmente montada diretamente no topo da caixa de engrenagem. A unidade de controle eletrônico de engrenagem é uma combinação de componentes mecânicos como, por exemplo: os cilindros pneumáticos, componentes elétricos como as válvulas solenoides, cabos, unidades de controle eletrônico. Devido a integração de várias funções, os módulos de transmissão automática manual (AMT), atinge um enorme grau de complexibilidade. Uma ATM é a base para a melhoria do conforto de condução e da redução de carga do condutor (KNORR-BREMSE, 2015).

#### **2.1.4 Suspensão pneumática**

Atualmente a suspensão a ar é muito usada em ônibus principalmente como item de conforto aos passageiros, pois proporciona um rodar uniforme e sem grandes solavancos, mas a preferência pelo uso em caminhões também vem aumentando devido a proteção que é oferecida as cargas transportadas, ao aumento da vida útil do veículo e ao menor tempo do veículo parado para manutenção. Todos esses fatores são consequência da diminuição das vibrações quando em rodagem. (FIRESTONE, 2015).

O sistema de suspensão a ar consiste da própria mola pneumática, sua conexão de ar e fixações, válvula de controle de altura, linhas de ar comprimido, reservatório de ar e compressor. O fole contendo ar comprimido executa a função de mola que se ajusta as cargas variáveis durante seu trabalho através da válvula de controle de altura. Desse modo obtém-se o controle automático da altura que

assegurar, por exemplo, uma altura constante da superfície de carregamento do caminhão durante toda a operação de carga (FIRESTONE, 2015).

Os veículos que utilizam suspensão pneumática ou a ar (Figura 7) implicam menos danos aos produtos transportados, garantindo um transporte de maior qualidade. O conforto dos motoristas aumenta consideravelmente, elevando sua produtividade, satisfação e evitando acidentes por fadiga. O investimento inicial tende a ser elevado, mas o tempo de retorno é relativamente curto e a manutenção também é um fator que influencia na sua utilização (PAEZ, 2009).

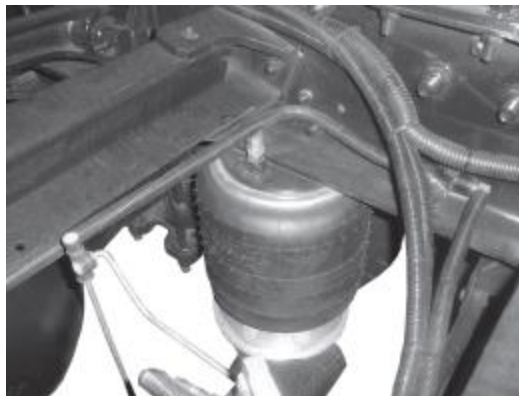


Figura 7: Suspensão pneumática de um caminhão.  
Fonte: Volkswagen (2007)

Uma mola pneumática é um conjunto formado por um fole feito de camadas de borrachas reforçadas por tecidos cordanel de alta tenacidade fechado por fixações metálicas formando um reservatório estanque. Esse conjunto é projetado para operar com pressão interna de ar comprimido, podendo também utilizar água ou soluções de água-glicol como fluído interno (PAEZ, 2009).

Os principais componentes em uma mola pneumática são apresentados na Figura 8.

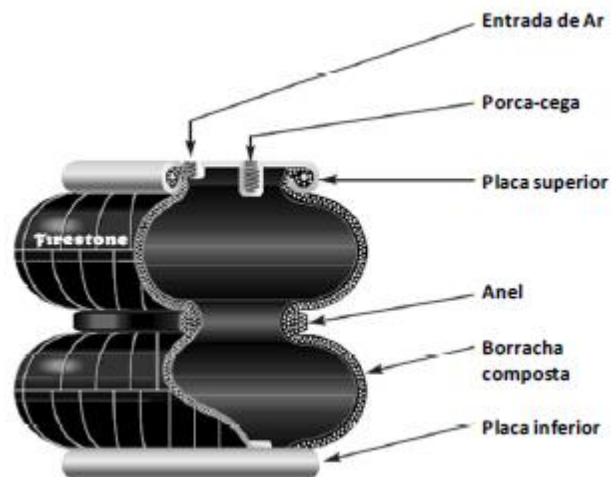


Figura 8: Suspensão pneumática de um caminhão.  
Fonte: Volkswagen (2007)

As principais vantagens da utilização de molas pneumáticas segundo Firestone (2015) são:

- Características suaves de dirigibilidade e conforto;
- As irregularidades do solo não são transmitidas à carga nem aos passageiros;
- Mantém a altura constante, evitando redução de contato dos pneus dianteiros com o solo e desregulagem do foco do farol;
- Melhor proteção aos instrumentos do painel;
- Ausência de pontos de lubrificação;
- Distribuição equalizada da carga sobre a suspensão e os pneus;
- Aumento da vida útil dos pneus;
- Baixo custo de manutenção;
- Reduz significativamente os danos causados à carga;
- Possibilidade de nivelamento do assoalho da carreta com a plataforma de embarque;
- Baixa produção de ruído;
- Redução dos danos à rodovia;
- Possibilidade de redução do prêmio do seguro da carga;
- Uso obrigatório com pneus extralargos;
- Valoriza o veículo na hora da revenda;
- Reduz peso morto, aumentando a carga a transportar;
- Instalação fácil e rápida;

- Possibilidade de ajuste da altura da 5a. (quinta) roda nos cavalos mecânicos.

## 2.2 COMPRESSORES PNEUMÁTICOS

Os compressores são máquinas que tem por função global elevar a pressão de um certo volume de ar, admitido nas condições atmosféricas, até uma determinada pressão, exigida para executar os trabalhos pelo ar comprimido (PARKER, 2005).

As principais normas relacionadas a compressores pneumáticos são:

- ABNT NBR 5941:2014 que trata sobre compressores, máquinas e ferramentas pneumáticas – pressões preferenciais.
- ABNT NBR 10143:2012 compressores de ar – classificação.
- ABNT NBR 10144:2012 compressores de ar – terminologia.
- ABNT NBR 1217:2012 – compressores de deslocamento positivo – ensaios de aceitação.

O ar comprimido é a principal fonte de energia para todos os sistemas pneumáticos de freio, suspensão e embreagens de veículos comerciais pesados. O principal componente para a produção desse ar é propriamente o compressor (Figura 9). Tendo seu acionamento vinculado ao motor do veículo ele produz o ar comprimido necessário para todos os sistemas pneumáticos (KNORR-BREMSE, 2015).



Figura 9: Compressor de ar.  
Fonte: Knorr-Bremse (2015)

Os compressores podem ser do tipo êmbolo ou pistão, que tem por princípio de funcionamento a redução do volume de ar, seu funcionamento consiste na aspiração do ar atmosférico e posterior redução do volume na câmara de compressão, descarregando este ar para o tanque (ELETROBRÁS et al., 2009).

Os compressores também podem ser do tipo turbina, seu princípio consiste no fluxo de ar, há sucção do ar de um lado e compressão no outro, por aceleração da massa de ar (ELETROBRÁS et al., 2009). Na Figura 10 são apresentados os modelos de compressores relativos ao seu tipo construtivo.

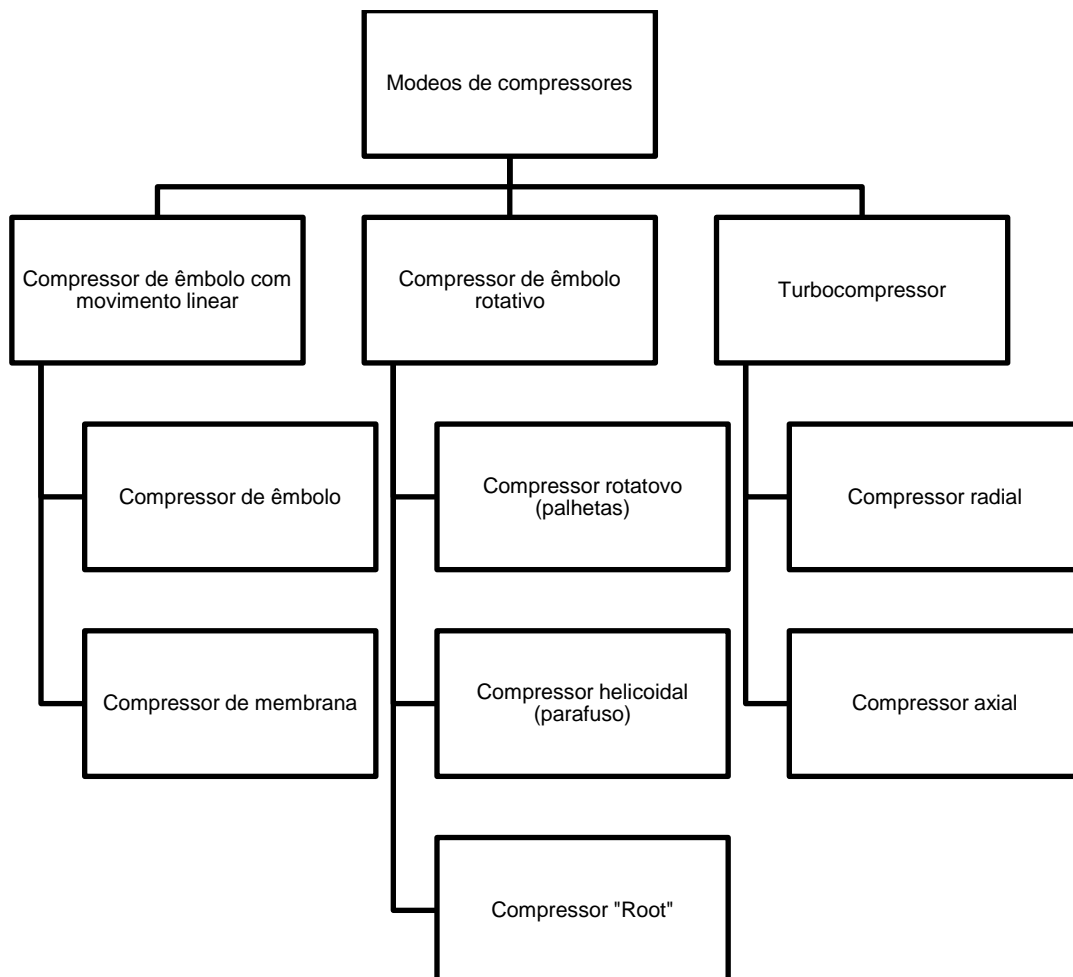


Figura 10: Diferentes leiautes de compressores.  
Fonte: ELETROBRÁS et al. (2009)



### 2.2.1 Compressores tipo êmbolo

Os compressores de êmbolo simples (Figura 11) são os mais utilizados, sua principal vantagem está na possibilidade de comprimir o ar em baixas, médias e altas pressões, variando de um bar até milhares de bar (ELETROBRÁS et al. 2009).

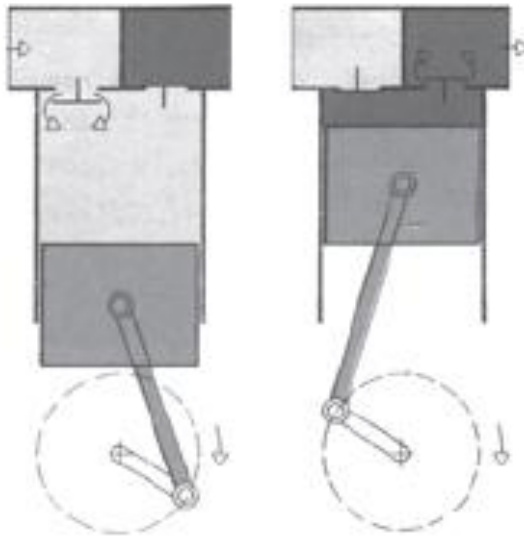


Figura 11: Compressor tipo êmbolo – um estágio.  
Fonte: ELETROBRÁS et al. (2009).

Na compressão em altas pressões são utilizados compressores de vários estágios, o ar aspirado é comprimido pelo primeiro êmbolo ou mais conhecido como pistão e novamente comprimido pelo próximo êmbolo. Em altas pressões, devido ao aquecimento gerado pelo sistema o ar é refrigerado por um sistema intermediário (ELETROBRÁS et al.,2009).

As principais vantagens de um compressor de êmbolo estão na possibilidade de operar até 4 bar com um estágio, até 15 bar com dois estágios (Figura 12) e acima de 15 bar utilizam três ou mais estágios. Porém, também é possível operar até 12 bar com um estágio, 30 bar com dois estágios e até 220 bar com três estágios, mas, essa utilização nem sempre é a mais econômica para o funcionamento do sistema (ELETROBRÁS et al., 2009).

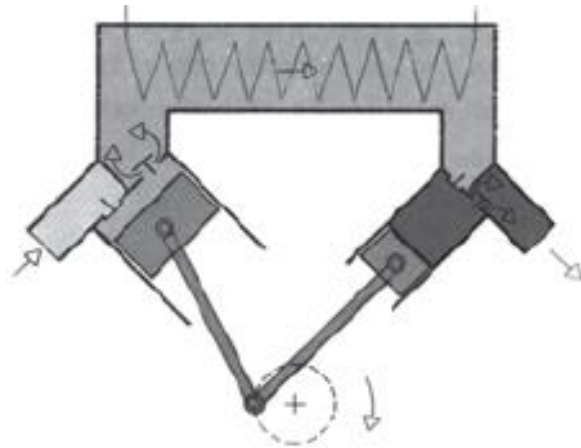


Figura 12: Compressor tipo êmbolo – dois estágios  
Fonte: ELETROBRÁS et al. (2009).

### 2.2.2 Compressores tipo membrana

Seu funcionamento é por deslocamento oscilante, usam eixos de ligação e diafragmas elásticos para compressão, sendo induzido a mover-se em oscilações não lineares. O diafragma é fixo por sua extremidade e é deslocado por um eixo de ligação. As principais características de um compressor do tipo membrana (Figura 13) são cilindro de grande diâmetro, movimento curto do diafragma, econômico para pequenos volumes de fornecimento de baixas pressões e geração de vácuo (BOSCH, 2008).

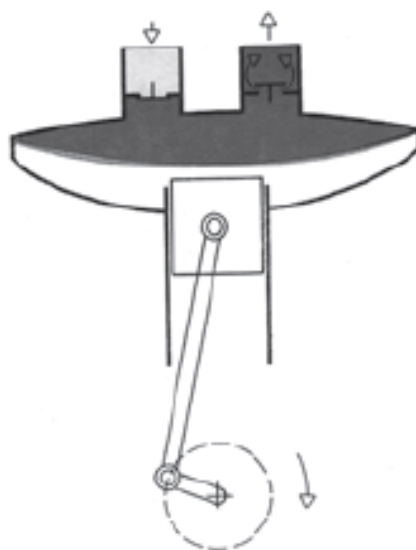


Figura 13: Compressor tipo membrana.  
Fonte: ELETROBRÁS et al. (2009).

### 2.2.3 Compressores rotativos de palhetas

Os compressores do tipo rotativo (Figura 14) apresentam um compartimento cilíndrico, com aberturas de entrada e saída, onde um rotor posicionado excêntricamente fica montado. O rotor apresenta rasgos nas palhetas que formam pequenos compartimentos, quando em rotação as palhetas pela ação da força centrífuga são pressionadas contra a parede formando uma diminuição do volume disponível e conseqüentemente a compressão do ar (ELETROBRÁS et al. (2009).

As principais características dos compressores rotativo são o baixo ruído, fornecimento uniforme de ar, pequenas dimensões, manutenção simples, porém de custo elevado e baixa eficiência (BOSCH, 2008).

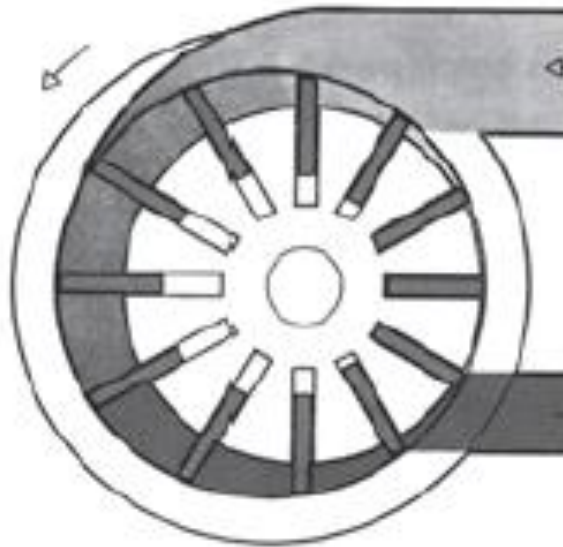


Figura 14: Compressor tipo rotativo.  
Fonte: ELETROBRÁS et al. (2009).

### 2.2.4 Compressores tipo parafuso

Os compressores do tipo parafuso (Figura 15) apresentam dois parafusos helicoidais que possuem o perfil côncavo e convexo, comprimindo o ar que se movimenta axialmente (ELETROBRÁS et al. (2009).

O ar penetra pela abertura de sucção e ocupa os espaços entre os filetes dos rotores, com o movimento rotativo há o engrenamento de um determinado filete, o ar

nele contido permanece fechado entre o rotor e as paredes, reduzindo o espaço disponível o ar é comprimido. As principais características são unidade de dimensões reduzidas, fluxo de ar contínuo e baixa temperatura de compressão (no caso de resfriamento por óleo) (BOSCH, 2008).

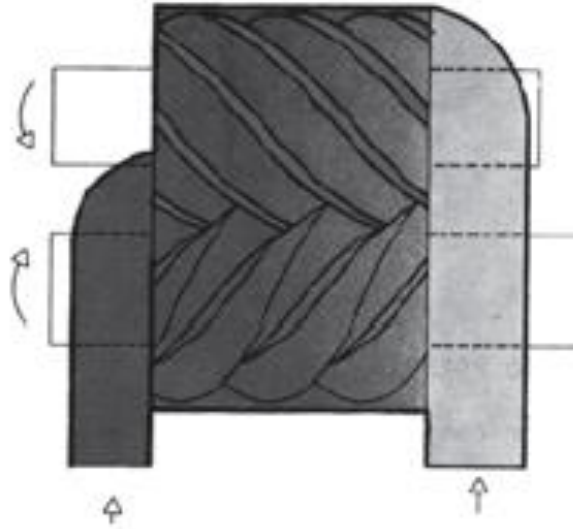


Figura 15: Compressor tipo parafuso.  
Fonte: ELETROBRÁS et al. (2009).

### 3. METODOLOGIA

Neste tópico apresenta-se a forma metodológica da elaboração da proposta de instalação abordada, a qual seguiu as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica;
- Questionário;
- Seleção do modelo de caminhão;

Primeiramente foi necessário adquirir conhecimentos na área pneumática de caminhões através de uma revisão bibliográfica em livros e artigos científicos relacionados ao tema de interesse.

Após, foi realizado um questionário, respondido por motoristas e proprietários de diferentes modelos e marca de caminhões, com o objetivo de realizar um levantamento dos problemas ocorridos nos sistemas pneumáticos dos caminhões. Foram selecionados aleatoriamente 8 caminhões de diferentes marcas e modelos, sendo observada a presença de caminhões com carreta semirreboque e bi trens. No Apêndice A são apresentadas as características de cada modelo de caminhão e a marca e modelo do compressor que foi submetido ao questionário.

Na sequência, foi selecionado o caminhão que apresentou o maior número de problemas no sistema pneumático, conforme dados apresentados no Apêndice A. O modelo do caminhão selecionado é o Mercedes Benz AXOR2544 versão Premium (Figura 16), ele possui um compressor WABCO de volume 630cc.



Figura 16: Modelo MB AXOR2544, fabricado pela Mercedes Benz.  
Fonte: Mercedes Benz (2015).

O esquema pneumático do modelo caminhão selecionado é apresentado na Figura 17, foi utilizado para definição do local de instalação do compressor pneumático auxiliar, nele identifica-se os principais componentes do sistema.

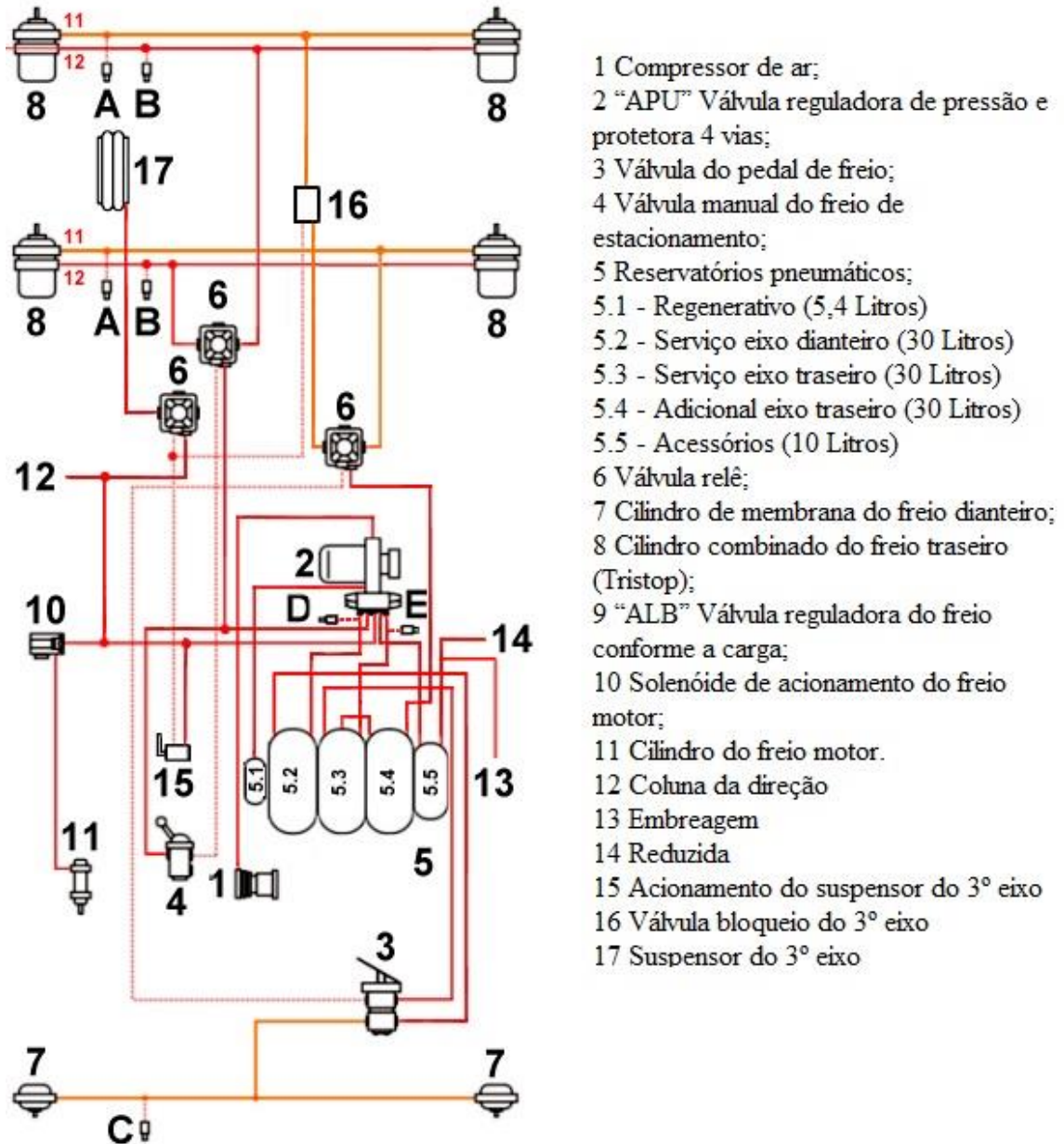


Figura 17: Esquema pneumático de freio (6X2).  
 Fonte: Mercedes Benz (2015).

### 3.1 SELEÇÃO DO COMPRESSOR

Existem características importantes que devemos levar em conta na escolha de um compressor tais como o volume de ar fornecido, pressão de trabalho e o sistema de acionamento que pode ser com motor elétrico ou a combustão. (MANFRINATO, 2009).

Para a escolha do compressor foram utilizados os dados de pressão e vazão coletados no questionário, manuais, e manômetro do próprio veículo, com os valores estabelecidos, consultou-se o tipo de compressor a ser instalado no diagrama de seleção de compressores (Figura 18).

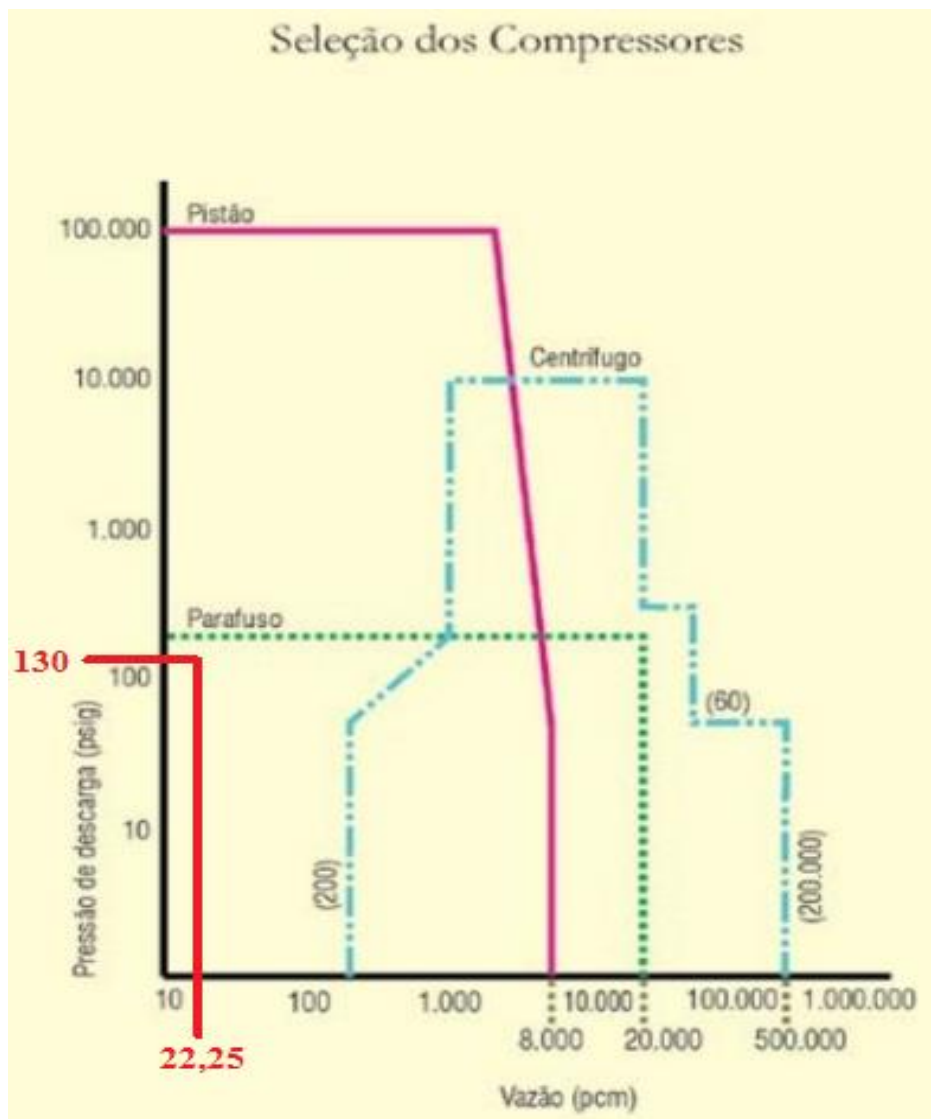


Figura 18: Diagrama de seleção de compressores  
Fonte: ELETROBRÁS et. al. (2009).

A definição do local de instalação se deu de acordo com uma avaliação de espaço físico disponível no modelo de caminhão. O compressor é movido por um motor elétrico 12 volts ligado nas baterias do veículo, e a potência consumida foi calculada de acordo com os dados relativos ao compressor, encontrados no manual do fornecedor, as mangueiras e válvulas utilizadas foram selecionadas de acordo com padrões encontradas no mercado. A instalação elétrica foi definida de acordo com a NBR5410/2004 que diz respeito a instalações elétricas de baixa tensão.

Após realizar a definição do compressor a ser instalado foi possível, através de uma consulta em manuais de fornecedores, ter um orçamento do custo de instalação do compressor juntamente com tubulação e conexão de ligação com o sistema do caminhão.

### 3.1 MATERIAL E EQUIPAMENTOS

Utilizou-se o manômetro do veículo para verificação da pressão do sistema pneumático, também foi utilizado um cronometro para coletar o tempo total de abastecimento do sistema pneumático. Para realizar a medição do local de instalação e diâmetro da tubulação necessária para acoplamento no sistema pneumático original do veículo utilizou-se um paquímetro e uma trena.



## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 DEFINIÇÃO DO COMPRESSOR A SER UTILIZADO

Para realizar a escolha do compressor foi necessário se definir a vazão de ar comprimido necessária para abastecer o sistema pneumático do caminhão em um intervalo de tempo inferior a 10 minutos, este tempo foi definido após realizadas as medições do tempo em que o compressor original do veículo leva para abastecer o sistema até a pressão mínima de trabalho.

#### 4.1.1 Cálculo de vazão necessária para o compressor

Por meio dos dados de volume e rotação do compressor do caminhão encontrados nos catálogos dos fabricantes de compressores, calculou-se a vazão do compressor conforme Equação 01 abaixo.

$$Q = V \times RPM \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

Q= Vazão (L/min)

V= Volume (L)

RPM= Rotações por Minuto

$$Q = 0,630L * 1000rpm$$

$$Q = 630 \text{ l/min}$$

Após a realização dos cálculos, pode-se observar que o compressor possui uma grande vazão, capaz de abastecer o sistema até a pressão mínima de trabalho, sem considerar perdas em menos de um minuto. Como o compressor a ser instalado será para uso auxiliar, principalmente em situações de emergência, buscou-se uma vazão de 50L/min, a qual seria suficiente para abastecer o sistema com a pressão mínima em pouco mais de 6 minutos levando em conta um caminhão que contenha 250 litros de capacidade na soma de seus reservatórios de ar comprimido e linhas de pressão, e seja capaz de manter essa pressão com o sistema de embreagem e de freios funcionando em situação normal.

#### 4.1.2 Compressor selecionado

Por meio dos valores de vazão e pressão necessários identificou-se na figura 11 que o compressor seria do tipo de embolo de um estágio, foi realizada uma pesquisa nos catálogos dos fornecedores um compressor que se atende a características determinadas.

O compressor escolhido foi o VIAIR MODELO 480C (Figura 19) que possui uma vazão nominal de 50 l/min.

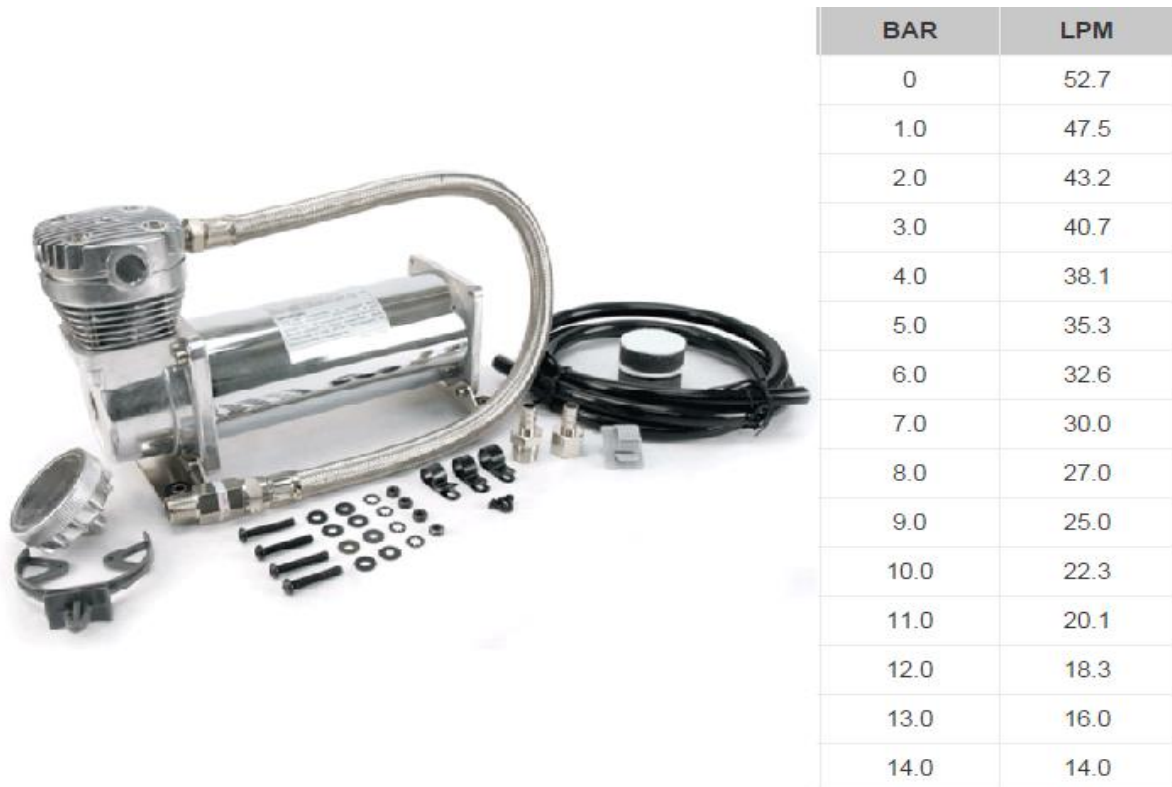


Figura 19: Compressor VIAIR 480C.  
Fonte: VIAIR CORPORATION (2015)

O compressor selecionado será capaz de abastecer o sistema pneumático até a pressão mínima trabalho que é de 6 bar em aproximadamente 6 minutos, considerando um volume total de reservatório de 0,25 m<sup>3</sup> ou 250 litros, pressão inicial de 1 bar, levando em conta a curva de rendimento do compressor temos uma vazão média de 42 l/min. Na Equação 02 foi realizado o cálculo do tempo.

$$t = \frac{V}{Q} \quad \text{Eq. 02}$$

Onde:  
t= tempo (min)  
V= Volume (L)

Q= Vazão (L/min)

$$t = \frac{250 L}{42 L/min}$$

$$t = 6 \text{ min}$$

#### 4.2 DEFINIÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO

Após análise do sistema pneumático do veículo e verificação dos possíveis locais de instalação do compressor pneumático auxiliar, foi definida a instalação na conexão próxima a saída do compressor antes da entrada do sistema de resfriamento do ar comprimido como mostra Figura 20, assim utilizando o sistema de resfriamento e secagem do ar comprimido do próprio caminhão.

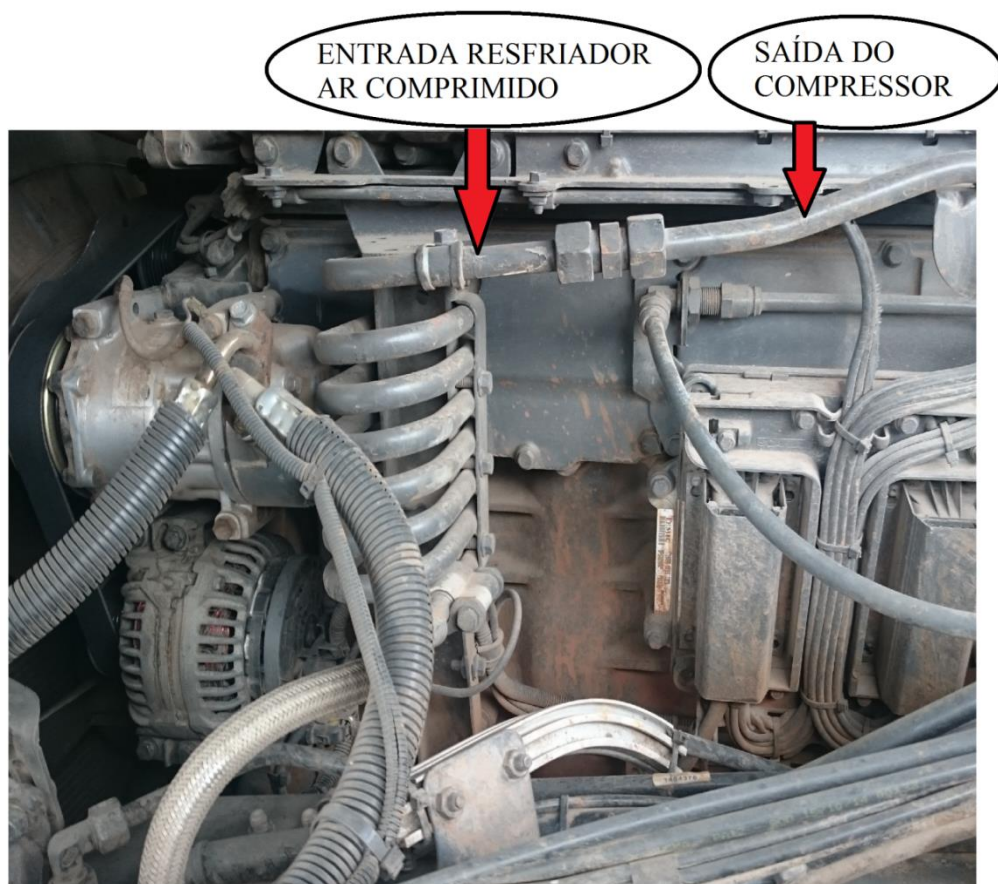


Figura 20: Local de instalação.  
Fonte: Autor.

O compressor foi fixado utilizando 4 parafusos ao chassi do caminhão, distante 1,5 metros da conexão em um lugar de fácil acesso.

### 4.3 CONEXÕES UTILIZADAS NA INSTALAÇÃO

Realizando a medição do diâmetro da tubulação onde se fará a instalação, foi possível buscar em catálogos conexões em Tee com diâmetro de 16mm que poderão ser conectadas com facilidade no sistema pneumático do caminhão, a conexão (Figura 21) fabricada pela CONTEC conexões e válvulas e é encontrada no seu catálogo com o código CC12-10.



Figura 21: TEE União.  
Fonte: CONTEC (2015).

Para a ligação entre o compressor pneumático auxiliar ao Tee ligado a linha de pressão do sistema pneumático se utilizara um tubo de nylon com trama de diâmetro 16mm com 2 metros de comprimento.

### 4.4 INSTALAÇÃO ELÉTRICA

A instalação elétrica foi definida de acordo com dados de consumo de energia consumidos pelo compressor, segundo manual da VIAIR do compressor 480C, o equipamento é ligado em 13,8 volts em corrente contínua e consome uma corrente máxima de 23 Amperes quando trabalhando a uma pressão de 9 BAR, consumindo então 317,4 Watt de potência conforme Equação 03.

$$P = I \times E \quad \text{Eq. 03}$$

Onde:

P = Potência (W)

I = Corrente elétrica (Ampère)

E = Tensão (Volt)

$$P = 28A \times 13,8V$$

$$P = 317,4 W$$

De acordo com a NBR5410/2004 para uma corrente de 23 Ampère se utilizará um cabo de 2,5 mm<sup>2</sup>, ligado a bateria do próprio veículo. O acionamento do compressor se dará de forma manual em uma chave liga/desliga instalada na cabine do caminhão.

#### 4.5 CUSTO DE INSTALAÇÃO

Para instalação do compressor auxiliar com a conexão e tubulação, foi realizada uma estimativa de custo de instalação, conforme apresentado na Tabela 1. O compressor foi adquirido em um representante da marca VIAIR que é uma marca norte americana, este compressor tem grande utilização no mercado em suspensões pneumáticas automotivas, além de disponibilizar de uma ampla rede de fornecimento de peças de reposição.

A conexão e tubulação utilizada para acoplamento do compressor auxiliar ao sistema pneumático do caminhão foram selecionadas no catalogo CONTEC, e os orçamentos solicitados via e-mail.

O material utilizado para realizar a instalação elétrica foi orçado junto a empresa LIGALUZ.

Tabela 1: Custo de instalação.

COMPONENTE	FORNECEDOR	CUSTO EM REAL (R\$)	CUSTO EM DOLAR (\$)
Compressor VIAIR 480C	Castor Suspensões	1275,00	335,00
Tee CC12-10	CONTEC conexões e válvulas	59,85	15,75
TUBO NYLON COM TRAMA (2metros)	CONTEC conexões e válvulas	35,00	9,20
Cabo 2,5 mm <sup>2</sup> (4 metros)	Ligaluz Material Elétrico	10,00	2,60
Chave ON/OFF	Ligaluz Material Elétrico	10,00	2,60
<b>TOTAL</b>		<b>1389,85</b>	<b>365,75</b>

## 5. CONCLUSÕES

Os caminhões são o principal meio de transporte de produtos no Brasil e o custo deste sistema de transporte é elevado em relação a formas de transporte de cargas alternativas. Com este propósito o presente trabalho apresentou uma alternativa para reduzir ou evitar paradas em caminhões por motivo de problemas ocorridos no sistema pneumático do veículo.

O sistema pneumático de veículos de carga está se tornando mais complexo a cada dia, devido a novas tecnologias e equipamentos instalados, este sistema é responsável por inúmeras funções no veículo e que falhas ocorridas nele podem comprometer a segurança tanto do motorista, como de quem trafega nas estradas, além de trazer prejuízos financeiros.

A proposta de instalação apresentada no trabalho foi direcionada ao caminhão que por dados levantados seria o veículo com um maior potencial de melhoria no sistema pneumático, mas esta instalação de compressor auxiliar poderia ser aplicada a qualquer outro caminhão com sistema pneumático, sendo necessária apenas a alteração do diâmetro 16mm da conexão Tee proposta por o diâmetro utilizado na tubulação de saída do compressor no caminhão de interesse.

Levando em conta o custo de um caminhão, a instalação de um compressor pneumático auxiliar movido pela energia elétrica das baterias é uma alternativa viável, sendo que o custo total de instalação é inferior a 1% do valor do veículo e que os benefícios trazidos pelo mesmo são de grande soma quando analisados de maneira preventiva a paradas e também considerando que este compressor pode ser utilizado em paralelo com o compressor do próprio veículo, reduzindo o tempo necessário para abastecer o sistema pneumático.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFAVEA. **Associação nacional dos fabricantes de veículos automotores. Carta.** Outubro de 2015. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/cartas/carta353.pdf>> Acessado em: Out. 2015.

ATLAS DO TRANSPORTE. **Confederação Nacional do Transporte – CNT.** 2015. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Paginas/Atlas-do-Transporte.aspx>> acessado em: Setembro 2015.

BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido.** Apostila. Campinas. SP. 2008. 30p.

CONTEC. **Conexões.** 2015. Disponível em: <[http://www.conteconexoes.com.br/downloads/catalogo\\_contec.pdf](http://www.conteconexoes.com.br/downloads/catalogo_contec.pdf)> Acessado em: Out. 2015.

DUBBEL, H. **Manual do Engenheiro Mecânico.** São Paulo: Hemus, 1979.

ELETROBRÁS et al. **Compressores: Guia Básico.** Brasília: IEL/NC, 2009. 138p.

FIRESTONE. **Produtos Industriais.** 2015. Disponível em: <<http://www.bfbr.com.br/fipil/produtos.html>> Acessado em: Setembro 2015.

FORD. Caminhões. **Manual do implementador.** 2014. Disponível em: <[http://www.fordcaminhoes.com.br/servlet/BlobServer/Manual\\_do\\_Implementador.pdf?blobtable=DFYBlob&blobheader=application/pdf&blobwhere=1249058408423&blobcol=urlblob&blobkey=id](http://www.fordcaminhoes.com.br/servlet/BlobServer/Manual_do_Implementador.pdf?blobtable=DFYBlob&blobheader=application/pdf&blobwhere=1249058408423&blobcol=urlblob&blobkey=id)> Acessado em: Out. 2015.

KAWAGUCHI, H. **Comparação da Análise de Conforto de Frenagem Subjetiva vs. Objetiva de um Veículo de Passeio.** Dissertação de Mestrado Profissional. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2015. 101p.

KNORR-BREMSE. **Compressores de Ar.** 2015. Disponível em: <[http://www.knorr-bremse.com.br/pt/commercialvehicles/products\\_1/compressors/compressors.jsp](http://www.knorr-bremse.com.br/pt/commercialvehicles/products_1/compressors/compressors.jsp)> Acessado em: Setembro 2015.

LAMB, R.G. **Estudo do comportamento de desgaste de materiais de atrito em função de variáveis de aplicação.** Dissertação (Mestrado em Materiais). Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, Brasil. 2008.

MANFRINATO, M. D. **Pneumática.** Araraquara: 2009. Universidade Paulista, 2009.

MERCEDES BENZ. Caminhões Rodoviários. 2015. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/caminhoes/axor/axor-2544-6x2-rodoviario>> Acessado em: Out. 2015.

PAEZ, L. A. de D. **Aplicabilidade de molas pneumáticas na indústria e projeto básico de um acoplador pneumático.** Trabalho de Conclusão de Curso. São Paulo, 2009. 83 p.

PARKER, HANNIFIN IND. COM. LTDA. **Tecnologia Eletropneumática Industrial.** Apostila. Jacaraí. SP. 2005. 152p.

PUHN, F., **Brake Handbook**, 1 ed., New York, HpBooks, 1987.

SEIMETZ, Miguel Henrique; ALEXANDRE LUCIANO, Marcos; COSTA, Carlos Alberto. Estudo da redução de espessura de suporte metálico em pastilhas de freio automotivo. *Ingeniare. Rev. chil. ing.*, Arica, v. 22, n. 4, p. 528-538, oct. 2014.

SOUZA, P. M. A. **TIC's em Pneumática**. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto. Portugal. 2013. 8p.

VIAR CORPORATION. **Compressores**. 2015. Disponível em :<  
<http://www.viaircorp.com/480C.html>> Acessado em: Out. 2015.

VOLKSWAGEN. **Componentes da Suspensão**, Direção e Freio. 2007. 43p. Disponível em:  
< [http://www.vwcco.com.br/treinamento/\\_downloads/apostilas/0925195841.pdf](http://www.vwcco.com.br/treinamento/_downloads/apostilas/0925195841.pdf)> Acessado em Outubro de 2015.

ZF do BRASIL. **Manual de reparo de sistemas de embreagem**. 1ª ed. 2005



## **APÊNDICE A - Questionário de pesquisa aplicado a motoristas de caminhões afim de levantar principais problemas em sistemas pneumáticos.**

- 1- Quantos anos de uso tem o veículo?
- 2- Já teve parada do veículo por problemas no sistema pneumático. Quantas?
- 3- Qual o sistema de transmissão do veículo?
- 4- Sistema apresenta vazamentos?
- 5- É realizada manutenção preventiva no sistema?
- 6- Marca e modelo do veículo
- 7- Modelo compressor

Motorista 1

Caminhão Scania R470 com menos de 1 ano de uso, nunca teve paradas por problemas pneumáticos, possui transmissão automática, não apresenta vazamentos, é realizada manutenção preventiva no sistema, equipado com um compressor KNORR-BREMSE\_LK4951 720cc

Motorista 2

Caminhão MB Axor2544 com 3 anos de uso, teve 5 paradas devido a problemas pneumáticos, decorrentes de baixa pressão no sistema e com isso não foi possível dar a partida no motor do veículo, possui transmissão semi-automática, apresenta poucos vazamentos mas que com uma parada superior a 2 horas a pressão de trabalho reduz abaixo da pressão mínima de trabalho (6BAR), não é realizada manutenção preventiva no sistema, equipado com um compressor WABCO 912 510 104 0 630cc.

### Motorista 3

Caminhão Scania G420 com menos de 3 ano de uso, nunca teve paradas por problemas pneumáticos, possui transmissão manual, apresenta vazamentos de pequena escala, não é realizada manutenção preventiva no sistema, equipado com um compressor KNORR-BREMSE\_LK4951 720cc.

### Motorista 4

Caminhão Scania G420 com 7 anos de uso, teve 1 parada por problema pneumático devido ao rompimento de uma mangueira na saída do reservatório, possui transmissão manual, apresenta vazamentos que fazem com que o sistema baixe sua pressão a menos de 6BAR quando o compressor fica por mais de 30 minutos desligado, não é realizada manutenção preventiva no sistema, equipado com um compressor KNORR-BREMSE\_LK4951 720cc.

### Motorista 5

Caminhão MB Axor2544 com 5 anos de uso, teve 3 parada devido a problemas pneumáticos, decorrentes de baixa pressão no sistema e com isso não foi possível dar a partida no motor do veículo, possui transmissão semi-automática, apresenta poucos vazamentos mas que com uma parada superior a 2 horas a pressão de trabalho reduz abaixo da pressão mínima de trabalho (6 BAR), não é realizada manutenção preventiva no sistema, equipado com um compressor WABCO 912 510 104 0 630cc.

### Motorista 6

Caminhão Volvo NH12 com 11 anos de uso, teve 4 paradas devido a problemas pneumáticos, decorrente de quebra do compressor, possui transmissão manual, apresenta vazamentos que com uma parada superior a 1 hora a pressão de trabalho reduz abaixo da pressão mínima de trabalho (6BAR), não é realizada manutenção preventiva no sistema, equipado com um compressor KNORR-BREMSE\_LK3986 300cc.

#### Motorista 7

Caminhão Volvo FH12 com 6 anos de uso, teve 2 paradas devido a problemas pneumáticos, decorrente de obstrução de uma válvula, possui transmissão manual, apresenta vazamentos que com uma parada superior a 1 hora a pressão de trabalho reduz abaixo da pressão mínima de trabalho (6BAR), não é realizada manutenção preventiva no sistema, equipado com um compressor KNORR-BREMSE\_LP4985 600cc.

#### Motorista 8

Caminhão MB Axor1933 com 5 anos de uso, teve 2 paradas devido a problemas pneumáticos, decorrente do rompimento de uma tubulação no sistema de freios, possui transmissão manual, apresenta poucos vazamentos mas que com uma parada superior a 2 horas a pressão de trabalho reduz abaixo da pressão mínima de trabalho (6BAR), não é realizada manutenção preventiva no sistema, equipado com um compressor KNORR-BREMSE\_LK3964 360cc.