

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

MAICON WELLINGTON CAZZO MACEDO

**ATUALIZAÇÃO EM LINHA DE AR COMPRIMIDO NA FABRICAÇÃO DE PNEU
REMOLD.**

**CASCABEL
2018**

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

MAICON WELLINGTON CAZZO MACEDO

**ATUALIZAÇÃO EM LINHA DE AR COMPRIMIDO NA FABRICAÇÃO DE PNEU
REMOLD.**

Trabalho apresentado à disciplina TCC
II – Projeto como requisito parcial para
obtenção da aprovação semestral no
Curso de engenharia mecânica pelo
Centro Universitário Assis Gurgacz.

**Professor Orientador: Me. Eng. Mec.
Roberson Roberto Parizotto**

**CASCADEL
2018**

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

MAICON WELLINGTON CAZZO MACEDO

**ATUALIZAÇÃO EM LINHA DE AR COMPRIMIDO NA FABRICAÇÃO DE PNEU
REMOLD.**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial
para obtenção de aprovação semestral no Curso de Engenharia Mecânica do Centro
Universitário Assis Gurgacz

BANCA EXAMINADORA

Me. Eng. Mec. Roberson Roberto Parizotto

Sergio Henrique Rodrigues Mota
Banca avaliadora

Jose Claudio Terra Silveira
Banca avaliadora

Cascavel, 2018

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: TABELA DE PERDA DE CARGA EM TUBOS DE PVC.....	27
FIGURA 2: PERDA DE CARGA EM CONEXÕES DE PVC.....	28
FIGURA 3: IMAGEM DA VÁLVULA DE RETENÇÃO 01.	28
FIGURA 4: IMAGEM DA VÁLVULA DE RETENÇÃO 02.	29
FIGURA 5: IMAGEM DA SALA DO COMPRESSOR.	29
FIGURA 6: IMAGEM 19/09/2018 FAIXA DE RPM DE 1 A 20% E 20 A 40%.....	30
FIGURA 7: IMAGEM 19/09/2018 FAIXA DE RPM DE 40 A 60%, 60 A 80% E 80 A 100%.....	31
FIGURA 8: IMAGEM DIA 19/03/2017 COM FAIXA DE RPM DE 1 A 20%.	32
FIGURA 9: IMAGEM DO DIA 19/03/2017 COM FAIXA DE RPM DE 20 A 40%, 40 A 60%, 60 A 80% E 80 A 100%.	32
FIGURA 10: IMAGEM CONSUMO RETIFICA PNEUMÁTICA CHICAGO (PAGINA CHICAGO 24/10/2018).....	33
FIGURA 11 IMAGEM DA PLANTA BAIXA DA REDE DE AR.....	34
FIGURA 12 IMAGEM DO MONITORAMENTO DO DIA 18/10/17	35
FIGURA 13 IMAGEM DO MONITORAMENTO DO DIA 31/10/18	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 VAZÃO DE AR..... 23

TABELA 2 DADOS PARA CÁLCULO DO DIÂMETRO DA REDE PRINCIPAL 23

TABELA 3 PERDA DE CARGA EM METROS 24

TABELA 4 VAZÃO POR PONTO DE DERIVAÇÃO..... 24

TABELA 5 DADOS DOS PONTOS DE DERIVAÇÃO 25

TABELA 6 SINGULARES DOS PONTOS DE DERIVAÇÃO 25

TABELA 7 COMPARATIVO DE FUNCIONAMENTO DO COMPRESSOR 35

EQUACIONÁRIO

EQUAÇÃO 1 19

EQUAÇÃO 2 20

EQUAÇÃO 3 21

EQUAÇÃO 4 21

EQUAÇÃO 5 22

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	JUSTIFICATIVA	10
1.2	OBJETIVO GERAL	10
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.	11
2.1	REDES DE AR COMPRIMIDO	11
3	METODOLOGIA.....	16
3.1	TEMA	16
3.1.1	AR ATMOSFÉRICO (ATM).....	16
3.1.2	AR COMPRIMIDO	17
3.1.3	TUBULAÇÃO.....	17
3.1.4	PERDA DE CARGA.....	18
3.1.5	DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO	20
3.1.6	VAZÃO	21
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	22
4.1	CONSUMO	22
4.2	CÁLCULO DO CONSUMO POR SETOR	22
4.3	DIMENSIONAMENTO DA REDE PRINCIPAL	23
4.4	DIMENSIONAMENTO DA DERIVAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO	24
5	CONCLUSÃO.....	37
	SUGESTÃO	38
	REFERÊNCIAS.....	39

RESUMO

O objetivo do estudo é dimensionar uma rede de ar comprimido das máquinas de uma empresa de pneus remold de automóveis e calcular o consumo de ar comprimido de cada setor da fábrica de pneus. É importante não somente o correto dimensionamento, mas também a configuração da rede. A finalidade da mesma é canalizar o ar produzido pelo compressor até o ponto de consumo. As inúmeras possibilidades de projeto para redes de ar permitem que cada seguimento tenha seu modelo específico. Geralmente a rede de distribuição é em circuito fechado em torno da área onde há necessidade do ar comprimido. Para o dimensionamento foi usado o método de “FIALHO” e “CLAPEYRON”. Ouve diminuição nas faixas de alta rotação melhorando o consumo de energia. Assim pode concluir que o correto dimensionamento faz toda a diferença quanto a consumo.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento. Cálculo de vazão. Rede de distribuição. Eficiência.

ABSTRACT

The study objective is to scale a compressed air network in a car remold machines and calculate the compressed air consumption of each sector of the tire factory. It is important not just the correct dimensioning, but also the network configuration. The desk purpose is canalizing the air produced by compressor till the point of consumption. The innumerable air network design permit for air networks allow each follow-up to have the specific model each. Usually the air network distribution is closed circuit around the needed air compressed air area.

KEYWORDS: Sizing. Flow calculation. Distribution Network. Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A instalação de uma nova planta fabril com melhor distribuição, eficiência na distribuição e melhoria no consumo de energia justifica a execução do trabalho.

A automação por meio de fluidos sob pressão pode ser dividido em dois grupos bem definidos, o que certamente tem aplicação mais antiga pelo homem conhecido como hidráulico e o pneumático, apesar de similares com relação aos componentes que utilizam, e algumas vezes poderem ser encontrados no mesmo equipamento, têm seus limites de operações basicamente em função das pressões de trabalho e das forças que são capazes de fornecer. FIALHO (2004).

O ar comprimido é uma importante forma de energia, resultado da compressão do ar ambiente, composta por uma mistura de gases, oxigênio (20,5%), nitrogênio (79%) e outros gases raros. Cerca de Cinco bilhões de toneladas de ar são comprimidas por ano em todo o planeta. METALPLAN (2008).

A pesquisa pode ajudar a melhorar quanto a posicionamento da unidade geradora bem como válvulas de restrição do fluxo em determinada direção no caso da fabricação de pneus aumentando significativamente a qualidade do produto, já que o processo depende diretamente da pressão de ar comprimido sem variação.

Muitas empresas compram um compressor baseado apenas na pressão de trabalho sem nem saber a diferença entre pressão e volume. Ai dobra o tamanho do compressor esquece o dimensionamento da rede principal e por fim acaba gerando um custo maior de energia elétrica do que o esperado.

1.2 OBJETIVO GERAL

Dimensionar uma rede de ar comprimido que alimenta as máquinas de uma empresa de pneus remold de automóveis.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO.

- Calcular o consumo de ar comprimido de cada setor usado para fabricação;
- Dimensionar o diâmetro da rede principal de ar comprimido;
- Estabilizar a rede de ar comprimido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

2.1 REDES DE AR COMPRIMIDO

Dimensionamento significa calcular ou preestabelecer as dimensões ou proporções de algo. (Dicio).

Para “FIALHO 2004” O dimensionamento do diâmetro mínimo necessário à rede principal, para atender à pressão e vazão necessárias aos diversos pontos de alimentação que se distribui dentro da fábrica, é necessário levar em consideração um possível aumento na unidade fabril com relação a consumo. Esse dimensionamento deve considerar uma queda de pressão de 0,3 a 0,5kgf./cm² do reservatório. Também a rede principal deve considerar: volume de ar corrente (vazão); comprimento total da rede principal; queda de pressão admissível; número de pontos de estrangulamento e Pressão de regime.

Linhas Subdimensionadas provocam perdas de carga consideravelmente alta; aumento da potência do compressor. No dimensionamento é necessário saber: o consumo de ar; a queda de pressão admissível; a pressão de trabalho; os componentes e acessórios; os pontos de consumo de ar comprimido; comprimento teórico da tubulação e previsão de futuras ampliações da rede de ar.

Para “METALPLAN 2017” uma rede de ar comprimido corretamente dimensionado garante uma baixa perda de carga (queda de pressão) entre a geração e o consumo, resultando num suprimento de ar adequado aos usuários, além de uma significativa economia de energia.

É importante não somente o correto dimensionamento, mas também a configuração da rede. A rede de ar comprimido requer manutenção regular, razão pela qual a mesma não deve, dentro do possível, ser montada dentro de paredes ou cavidades estreitas, isto dificulta a percepção de vazamentos de ar. Pequenos vazamentos originam consideráveis perdas de pressão. Em especial as redes em circuito aberto, devem ser montadas com caída de 0,5 a 2% na direção do fluxo. Devido à formação de água condensada, para, redes horizontais, devem-se instalar saídas de acesso na parte superior da rede principal. Para conter e drenar a água condensada deve ser instalado drenos na parte inferior da rede principal. Deve-se

evitar ao Máximo o uso de curvas, se houver, devem possuir raio mínimo igual a duas vezes o diâmetro do tubo. (Oliveira 2012)

Segundo “Atlas Copco” para obtermos um dimensionamento eficiente devemos seguir alguns passos, cálculo do consumo e previsão de aumento da demanda, identificar pressão de trabalho requerida, perda de carga na rede principal de no Máximo 0.1 bar, identificar a qualidade de ar desejado, escolher o tipo de compressor a ser utilizado, estabelecer o material dos tubos e pontos de consumo e os acessórios necessários para rede.

A instalação de uma rede de ar comprimido não apenas em nível industrial, mas para qualquer que seja a utilização, requer determinados cuidados que vai desde a localização da central geradora (compressores), sistema de arrefecimento (quando necessário), dimensionamento da rede, sistemas de montagem e fixação da rede, tratamento do ar e identificação conforme normas. (Fialho 2004)

A finalidade de uma rede de ar é canalizar o ar produzido pelo compressor, até o ponto de consumo. As inúmeras possibilidades de projeto para redes de ar permitem que cada seguimento tenha seu modelo específico. Geralmente a rede de distribuição é em circuito fechado, em torno da área onde há necessidade do ar comprimido. Deste circuito partem as ramificações para os diferentes pontos de consumo que possui duas funções básicas, comunicar a fonte produtora com os equipamentos consumidores e funcionar como um reservatório para atender às exigências locais. (Parker 2007)

Ainda segundo “Parker 2007” uma rede de distribuição bem projetada apresenta pequena queda de pressão entre o compressor e as partes de consumo, mantendo a pressão dentro do tolerável, não apresenta escape de ar e diminuindo o custo de manutenção.

À medida que as exigências dos usuários evoluem, altera-se o conceito de eficiência de um sistema de ar comprimido, focando na busca incansável pelo menor custo total de propriedade (CTP), que propõe equacionar as variáveis de um sistema de ar comprimido que sejam: aquisição, instalação, operação e manutenção. Para um sistema de ar comprimido ser eficiente e consciente deve

gerar o menor nível de contaminação que afeta a natureza. O ar comprimido é uma importante forma de energia que é composto por uma mistura de oxigênio, nitrogênio e outros gases raros. (Metalplan 2008).

Linhas de ar comprimido podem ser divididas em três partes: linha principal, linhas de distribuição (secundárias) e linhas de serviços. A linha principal é aquela que conduz o ar comprimido nos compressores até os pontos de consumo. Deve-se considerar para fim de cálculo velocidade aproximadamente de 8m/s com perda de carga máxima de 0.04 BAR. A linha de distribuição chamada de “secundária” é responsável por conduzir o ar comprimido até próximo ao ponto de consumo. Tem forma variada sendo a mais usual o anel fechado. Considera-se para fins de projeto velocidade entre 7 e 10 m/s para comprimentos inferiores a 10 metros e a perda de carga máxima deve ser mantida em aproximadamente 0.03 BAR. Por fim as linhas de serviços são aquelas que levam o ar comprimido da linha de distribuição até o consumidor final. Normalmente é formada por tubulações rígidas em seus inícios finalizando com mangueiras flexíveis para facilitar o manuseio. A velocidade máxima para fins de projeto nesta linha deve ser de 15 m/s com perda de carga mantida em 0.03 BAR, se possível. (PROCEL 2009).

Rede de distribuição em circuito aberto em geral é usada em empresas de pequeno porte comum em oficinas pequenas já que a pressão de alimentação é proporcional à distância do compressor. Ou seja, à medida que a distância aumenta entre o compressor e consumo, a pressão diminui. (PROCEL 2009)

Rede de distribuição fechada também conhecida como rede em anel, normalmente a perda de pressão é menor que em um circuito aberto, isto porque o ar flui em ambos os sentidos mantendo a pressão, este circuito é utilizado preferencialmente em empresas de médio porte. (PROCEL 2009).

Para “FIALHO 2004” dimensionamento de uma rede de ar comprimido, para estabelecer o diâmetro das tubulações, perdas de carga, tratamento do ar, etc., é necessário, primeiro estabelecer os pontos de consumo da empresa onde deverá passar a rede. Se por todos, ou se apenas por alguns setores, e quantos pontos de consumo deverão existir. Em função desses apontamentos, pode se definir entre uma rede de circuito aberto, ou uma rede de circuito fechado. Ainda independente de que tipo de rede será utilizado, é indispensável o uso de uma válvula registro

para cada tomada de ponto, para facilitar a manutenção de forma isolada, evitando o fechamento geral da rede de ar comprimido.

Ar comprimido segundo “CIMM”, “ar sob compressão utilizado como fonte de energia para realização de trabalho”. As principais grandezas do ar comprimido são: a pressão, temperatura e umidade. A energia contida no ar comprimido é devida sua pressão superior a pressão atmosférica, embora possa ser aumentada devido o aquecimento do ar depois da compressão. Esse ar comprimido pode ser usado para impulsionar motores ar, ferramentas pneumáticas, puxar, empurrar, realizar trabalho, desenvolver potencia e outros processos ou dispositivos.

No processo de geração do ar comprimido, o ar atmosférico é aspirado pelo compressor, comprimido e armazenado em um reservatório, é conveniente, antes do armazenamento, proceder a um tratamento desse ar. O ar então, após a compressão, tem sua temperatura elevada em função dos atritos, a uma temperatura superior à de armazenamento, necessitando assim resfriar, a fim de levar-lhe a condição apropriada ao armazenamento. Ao resfriar em função da diferença de pressão e temperatura provoca condensação de pequena parte do ar, que será separada no separador de condensados e posteriormente eliminada pelo purgador. (FIALHO 2004).

Um projeto de instalação de ar comprimido se não for bem realizado, diversos problemas de difícil correção ocorrerão, aumentando desnecessariamente o custo de geração e distribuição. O local da instalação dos compressores deveria ser bem ventilado, seco e situar-se o mais próximo possível dos consumidores finais. Deve ser deixado espaço suficiente entre os equipamentos para que o ar possa circular livremente. Recomenda-se verificar nos catálogos dos fabricantes a distância mínima indicada para o afastamento de paredes e dos outros compressores. (PROCEL 2009).

Ainda para “PROCEL 2009” É importante a execução de um projeto de sistema de ar comprimido seguindo normas técnicas e, também, definir a necessidade de consumo do processo, para que o sistema trabalhe com folga, respeitando a eficiência energética. E necessário, ainda, respeitar a manutenção preventiva e corretiva, seguindo um cronograma.

Segundo “ELÉTROBRAS 2005” o ar atmosférico admitido pelo compressor de ar, apesar de ser filtrado à entrada, contém várias impurezas, invisíveis a olho nu. Entre elas, podemos destacar duas principais: umidade e poeira. Após a compressão, pode ocorrer a contaminação do ar com o óleo lubrificante do compressor, e, devido ao processo de compressão, a temperatura do ar se eleva consideravelmente dentro do compressor.

Um gás é caracterizado por três propriedades, denominadas variáveis de estado, que são: pressão, volume e temperatura. Quando uma ou mais dessas variáveis sofre alteração, ocorre uma transformação gasosa, que pode ser classificada como isotérmica isovolumétrica ou isobárica. (TEIXEIRA, Mariane Mendes.)

Denomina-se transformação isotérmica a transformação gasosa em que a temperatura do sistema permanece constante, ocorrendo variações apenas na pressão e no volume do gás. Quando duas grandezas como essas são inversamente proporcionais, o seu produto é uma constante. (TEIXEIRA, Mariane Mendes.)

3 METODOLOGIA

3.1 TEMA

Diante da necessidade de mudança para uma nova planta fabril viu-se a necessidade do dimensionamento de uma rede ar comprimido para melhor atender a demanda de consumo e melhor distribuição entre geração e consumo.

Assim a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho é caracterizada como uma pesquisa descritiva exploratória, que trata como o dimensionamento da rede de ar comprimido irá aumentar e melhorar a capacidade de produção de empresa.

Freitas (2013; p127) o objetivo de estudo exploratório visa mostrar mais familiaridades com o problema, deixando visível ou gerando hipóteses sobre o mesmo. Já a descritiva expõe as características do problema, coletando dados e usando técnicas padronizadas.

O estudo foi realizado em uma indústria de pneus novos e remodelado localizado na cidade de Cascavel Paraná, através do dimensionamento de uma rede de distribuição de ar comprimido que atenda as necessidades de pressão e vazão requeridas pela nova unidade fabril. Para o mesmo será utilizados técnicas convencionais indicadas por empresas especializadas em produção e condução do ar comprimido com amplo conhecimento na área.

3.1.1 AR ATMOSFÉRICO (ATM)

O ar atmosférico é constituído por uma mistura de diversos gases, como o nitrogênio, oxigênio, gás carbônico e gases nobres. O oxigênio e o nitrogênio são os gases mais abundantes, sendo que os outros gases são encontrados em quantidades menores. Além dos gases citados, o ar atmosférico também apresenta vapor de água (cuja quantidade depende de alguns fatores como clima, temperatura e local), que se apresenta na forma de neblina, nuvens e chuva. (MORAES).

A atmosfera exerce sobre nós uma força equivalente ao seu peso, mas não a sentimos, pois ela atua em todos os sentidos e direções com a mesma

intensidade. O valor da pressão atmosférica ao nível do mar, a uma temperatura de 20°C e a uma umidade relativa de 36% é de 1 atm ou 760 mm (coluna de mercúrio) ou 1 bar ou 14,5 lbf/pol². (PARKER)

3.1.2 AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é um produto dotado de alta energia, resultado de uma transformação termodinâmica sofrida pelo ar atmosférico por meio do consumo de trabalho mecânico de compressão realizado por uma máquina térmica, denominada compressor. A realização de qualquer tipo de trabalho só é possível se o agente for dotado de capacidade; ou seja, tiver energia para tal fim. Portanto, o binômio trabalho-energia deverá ser entendido como se os dois elementos fossem sinônimos ou como se o significado de um estivesse intimamente ligado ao significado do outro. Assim, um sistema motriz termodinâmico para produzir o "ar comprimido" deverá consumir um tipo de energia. No caso mais comum, a energia elétrica é usada para produzir o ar comprimido, que é um produto dotado de alta energia; portanto, dotado da capacidade de produzir trabalho mecânico no sistema em que for utilizado. (ELÉTROBRAS 2005).

3.1.3 TUBULAÇÃO

Materiais diferentes são usados em redes de ar comprimido. Os possíveis são:

- Tubos de aço perfilados;
- Tubos de aço sem costura;
- Tubos de aço inoxidável;
- Tubos de plástico.

As características e propriedades destes diferentes materiais devem ser observadas.

Os tubos de aço perfilados conforme com DIN 2440, 2441 e 2442, a pressão máxima de trabalho é de 10 a 80 bar e uma temperatura máxima de a temperatura de trabalho é de 120 ° C. A vantagem destes tubos é que são baratos e rápidos instalar como as conexões são separáveis e os componentes individuais podem ser reutilizados. Porém estes tubos perfilados oferece alta resistência ao

fluxo de ar. Começa um repertório de perdas após certo tempo de uso, esse tipo de instalação é necessária ampla experiência em instalação os tubos que não forem galvanizados não devem ser usados em sistema de ar comprimido sem que haja um secador acoplado, pois são sensíveis à corrosão. (Bosch)

Tubos de aço sem costura em conformidade com a norma DIN 2448, em versões galvanizadas ou com recomendação na configuração normal, a pressão de trabalho está entre 12,5 e 25 bar e temperatura de 120 ° C. Estes tubos são baratos e suas perdas são quase totalmente descartadas. A instalação requer experiência, visto que os tubos devem ser soldados ou colados. Tubos de aço sem costura a junção dos galvanizados é usada pelo uso do aparelho sistema para desativação ou comprometimento tudo que tem um sistema de acoplamento, desde que é tão sensual para a corrupção. (Bosch)

Tubos de aço inoxidável padrão de acordo com DIN 2462 e 2463, os tubos de aço inoxidável é escolhido para atender a demanda de alta qualidade. Com pressão máxima de trabalho de 80 bar e temperatura de 120 ° C. Tubos de aço inoxidável são resistentes a corrosão e oferecem baixa perda de carga no total. A instalação requer certa experiência visto que os tubos devem ser soldados e o custo inicial é muito alto. (Bosch)

Tubos de plástico maior facilidade de instalação e manutenção o PPR é muito mais leve que as soluções tradicionais do mercado, isso exige um esforço muito menor, tanto na hora da montagem quanto no caso de uma manutenção; risco praticamente nulo de entupimento de válvulas por crostas de corrosão; possui excelente resistência a vários produtos químicos, devido ao seu alto peso molecular a resistência inclui ácidos graxos e óleos, provenientes do funcionamento de compressores. Temperatura máxima de serviço: 70°C (a uma pressão máxima de 6,7kgf./cm²). (Tigre).

3.1.4 PERDA DE CARGA.

O escoamento interno em tubulações sofre influencia das paredes dissipando energia devido ao atrito. As partículas em contato com a parede, ou seja, velocidade nula, e passam a influir nas partículas vizinhas através da viscosidade e da turbulência, dissipando energia. Essa dissipação de energia provoca um

abaixamento de pressão total do fluido ao longo do escoamento que é denominado de perda de carga. A perda de carga pode ser localizada ou distribuída, dependendo do motivo que a causa.

Perda de carga distribuída, a parede dos dutos retilíneos causa uma perda de pressão distribuída ao longo do comprimento do duto, fazendo com que a pressão total vá diminuindo gradativamente ao longo do comprimento. A perda de carga distribuída ocorre ao longo dos trechos retos de tubulação devido ao atrito. Esta perda de carga depende do diâmetro e do comprimento do tubo; da rugosidade; das propriedades do fluido, da massa específica, da viscosidade e da velocidade do escoamento.

Perda de carga localizada esta é causada pelos acessórios da rede, isto é, as diversas peças necessárias para a montagem da tubulação e para o controle do fluxo do escoamento, que provocam variação brusca de velocidade, em modulo ou direção, intensificando a perda de energia nos pontos onde estão localizadas. (FIALHO 2004)

Queda de Pressão Admitida (perda de carga)

Variável / Unidade

$$\Delta P = (\text{kgf./cm}^2)$$

Comprimento Total da Linha obtido pela equação 1 de perdas.

Variável / Unidade

$$L_t = (\text{m})$$

Logo:

Equação 1

$$L_t = L_1 + L_2 \quad (1)$$

Onde:

L_1 = Comprimento retilíneo (m);

L_2 = Comprimento equivalente as singulares (m).

As singularidades (curvas, registros, tês, etc.), necessárias para distribuição da linha tronco por dentro de toda a planta industrial essas singularidades devem ser transformadas em comprimento equivalente (L2). (FIALHO 2004)

3.1.5 DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO

O dimensionamento do diâmetro mínimo para a linha principal, de forma que se possa atender vazão e pressão necessárias aos pontos de distribuição da fabrica, estimando possível aumento de demanda ao longo dos anos e considerando queda de pressão de 03 a 05 kgf./cm² do reservatório. (FIALHO 2004)

A determinação do diâmetro mínimo necessário para atender a demanda, inclusive já prevendo expansão futura, pode ser obtida então pela equação 2:

Equação 2

$$d = 10. \sqrt[5]{\frac{1,663785.10^{-3}.Q^{1,85}.Lt}{\Delta P.P}} \quad (2)$$

Onde:

d = Diâmetro interno da tubulação, (mm);

Q = Volume de ar corrente: Vazão total das máquinas + Futura ampliação, (m³/h);

Lt = Comprimento total da linha: Somatório do comprimento linear da tubulação e do comprimento equivalente originado das singularidades (tês, curvas, registros, etc.), (m);

ΔP = Queda de pressão admitida: Perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e singularidades, (kgf./cm²);

P = Pressão de regime: Pressão do ar armazenado no reservatório, (kgf./cm²).

O diâmetro obtido corresponderá ao diâmetro interno e será em unidade de milímetros. (FIALHO 2004).

3.1.6 VAZÃO

O pneu, como um sólido geométrico, possui um volume que determina a sua capacidade. O pneu possui uma base no formato de circunferência de raio (r) e altura (h). Seu volume é dado pela multiplicação entre a área da base no formato circular e a medida da altura. Observe:

Área da base circular equação 3.

Equação 3

$$Ab = \pi \cdot r^2 \quad (3)$$

Onde:

Ab = Área da base (m);

π = Constante;

r = raio (raio do pneu em m).

Volume equação 4.

Equação 4

$$V = Ab \cdot h \rightarrow V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (4)$$

Onde:

V = Volume (m³);

π = Constante;

r = raio (raio do pneu em m);

h = altura (neste caso largura do pneu em m).

Ao aumentar a pressão de uma massa de gás, ocorrerá uma diminuição do volume ocupado por ele e vice-versa. Sendo assim, o produto entre essas duas grandezas permanecerá constante. Matematicamente, a Lei de Boyle-Mariotte pode ser descrita pela expressão:

$$P \cdot v = k$$

K = constante

Quando duas grandezas como essas são inversamente proporcionais, o seu produto é uma constante; desse modo, matematicamente, essa relação pode ser representada assim: (TEIXEIRA, Mariane Mendes.)

$$P_1 \cdot v_1 = k \text{ e } P_2 \cdot v_2 = k$$

Logo para o calculo do consumo em sua respectiva pressão aplica-se a equação 5.

Equação 5

$$P_1 \cdot v_1 = P_2 \cdot v_2 \quad (5)$$

Com esta equação 5 conseguimos o volume de ar comprimido para cada pneu.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

De acordo com o tema proposto, a atualização em uma linha de fabricação de pneus remold, o mesmo deve apresentar o dimensionamento da rede de ar comprimido e o consumo de ar comprimido em cada setor. Assim melhorar o consumo de energia com menor variação de rotação do compressor e também a qualidade dos pneus com a estabilidade da rede.

4.1 CONSUMO

Segundo Festo (pesquisa em 24/10/2018) o bico de limpeza tipo LBP-1/4 tem consumo Máximo de ar comprimido á 6 bar e 1 m. de distancia de 435 l/min.

Conforme imagem da figura 12 a retifica pneumática Chicago tem consumo real de ar de 5,9 l/s a 6 bar. (pagina Chicago 24/10/2018).

O consumo das máquinas utilizadas para o processo de fabricação de pneus remold será avaliado por setor baseado na capacidade máxima de produção por hora. Os setores são analise inicial, raspagem, preparação concerto, montagem, vulcanização e acabamento.

4.2 CÁLCULO DO CONSUMO POR SETOR

Para a tabela 1 abaixo foi considerado produção na pior condição que é para o pneu 265/70 R16, o diâmetro deste pneu é 0,777 metro e a largura 0,265 metro. Logo pela equação 4 chegamos ao valor de 0,125654 m³.

Tabela 1 Vazão de ar.

Setor	Pressão (bar)	Produção de pneus (hora)	Consumo (m3/h)
Exame inicial.	8	112	112,59
Raspagem	5	75	47,12
Concerto	6	75	39,45
Montagem	6	70	43,98
Vulcanização	13	50	81,67
Acabamento	5	70	43,98
TOTAL			368,79

4.3 DIMENSIONAMENTO DA REDE PRINCIPAL

Para o cálculo da rede principal, usaram-se informações da tabela 1 como vazão e pressão de trabalho dos equipamentos e comprimento da rede principal que foram extraídas do layout da empresa.

Desconsiderou-se o comprimento das singulares aplicadas a rede, considerando o comprimento retilíneo da tubulação. Dados conforme tabela 2.

Tabela 2 Dados para cálculo do diâmetro da rede principal

Comprimento total da rede principal (L1)	230 metros
Vazão mais 40%	516,30 m ³ /h
Pressão de trabalho + Atm	13 kgf./cm ²
Queda de pressão admitida	0,3 kgf./cm ²

Para o cálculo do diâmetro usou-se a equação 2 de FIALHO.

$$d = 10. \sqrt[5]{\frac{1,663785. 10^{-3}. Q^{1,85}. Lt}{\Delta P. P}}$$

Logo:

$$\mathbf{d = 63,40mm}$$

O resultado obtido em milímetros e refere-se ao diâmetro interno da tubulação.

A partir deste dimensionamento podemos calcular um novo comprimento (L2) com as singularidades conforme tabela 3 a baixo:

Tabela 3 Perda de carga em metros

Singulares	Quantidade	Comprimento (metro)	Total comprimento em (metro)
Joelho 90°	5	3,9	19,5
Tê saída lateral	3	8	24
Válvula de retenção horizontal	2	9,3	18,6
Registro gaveta aberto	2	0.9	1,8
TOTAL COMPRIMENTO (L2)			63,9

Assim para novo comprimento total (Lt) usamos a equação 1:

$$Lt = L1 + L2$$

Substituindo temos $Lt = 230 + 63,9$

$$Lt = 293,9m$$

Aplicando a equação 2 novamente temos diâmetro interno da tubulação principal **d = 66,60mm**.

4.4 DIMENSIONAMENTO DA DERIVAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO

O dimensionamento das derivações segue o mesmo principio da rede principal usando a equação 2.

Para dimensionar será dividida a vazão total pela quantidade de pontos de derivação e usará o comprimento linear de cada ponto conforme tabela 4 e tabela 5.

Tabela 4 Vazão por ponto de derivação

Vazão total (m³/h)	Numero de pontos	Vazão por ponto (m³/h)
516,30	36	14,34

Assim com estas informações mais as da tabela 5 a baixo podemos calcular o diâmetro inicial das derivações para coletarmos os coeficientes dos singulares.

Tabela 5 Dados dos pontos de derivação

Comprimento total da rede principal (L1)	3 metros
Vazão mais 40%	14,34 m ³ /h
Pressão de trabalho + Atm	13 kgf./cm ²
Queda de pressão admitida	0,3 kgf./cm ²

Usando a equação 2:

$$d = 10. \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{1,85} \cdot L_t}{\Delta P \cdot P}}$$

Temos **d = 7,07mm** diâmetro interno sem singulares.

Para manter o padrão de tubos PPR soldado usou-se o tubo de 25mm interno por tanto os singulares serão relacionados a este conforme mostra tabela 6.

Tabela 6 singulares dos pontos de derivação

Singulares	Quantidade	Comprimento (metro)	Total comprimento em (metro)
Joelho 90°	2	1,2	2,4
Entrada normal	1	0,4	0,4
Válvula globo aberta	1	11	11
TOTAL COMPRIMENTO (L2)			13,8

O comprimento total (Lt) das derivações segue a equação 1:

$$L_t = L_1 + L_2$$

Então: $L_t = 3 + 13,8$

$L_t = 19,8$

Aplicando na equação 2:

$$d = 10. \sqrt[5]{\frac{1,663785. 10^{-3}. Q^{1,85}. Lt}{\Delta P. P}}$$

d = 9,6mm de diâmetro interno.

Ainda que o diâmetro interno obtido foi 9,6mm optou-se por usar o tubo com diâmetro comercial de 25mm que internamente tem 21,5mm por ser de comum mercado e facilitar a manutenção.

Por fim as linhas de serviços são aquelas que levam o ar comprimido da linha de distribuição até o consumidor final. Normalmente é formada por tubulações rígidas em seus inícios finalizando com mangueiras flexíveis para facilitar o manuseio

Para avaliar a perda de carga do sistema será consultada a figura 1 e figura 2 abaixo.

Diâmetro	Velocidade (m/s)	Vazão (l/s)	Perda de Carga		
			mmca/m	Pa/m	mbar/m
20	0,4	0,05	21,58	215,8	2,16
25	0,4	0,09	15,95	159,51	1,6
32	0,4	0,14	11,59	115,86	1,16
40	0,4	0,22	8,63	86,33	0,86
50	0,4	0,35	6,49	64,91	0,65
63	0,4	0,55	4,81	48,06	0,48
75	0,4	0,79	3,85	38,52	0,39
90	0,4	1,13	3,06	30,59	0,31
20	0,6	0,8	43,18	431,8	4,32
25	0,6	0,13	32,05	320,48	3,2
32	0,6	0,21	23,37	233,72	2,34
40	0,6	0,33	17,48	174,77	1,75
50	0,6	0,52	13,18	131,82	1,32
63	0,6	0,83	9,79	97,93	0,98
75	0,6	1,18	7,87	78,65	0,79
90	0,6	1,7	6,26	62,61	0,63
20	0,8	0,11	71,09	710,95	7,11
25	0,8	0,17	52,9	529	5,29
32	0,8	0,28	38,68	386,78	3,87
40	0,8	0,44	28,99	289,87	2,9
50	0,8	0,69	21,91	219,08	2,19
63	0,8	1,11	16,31	163,08	1,63
75	0,8	1,57	13,12	131,17	1,31
90	0,8	2,26	10,46	104,56	1,05
20	1	0,14	105,06	1050,59	10,51
25	1	0,21	78,31	783,14	7,83
32	1	0,35	57,36	573,62	5,74
40	1	0,55	43,06	430,56	4,31
50	1	0,86	32,59	325,89	3,26
63	1	1,39	24,29	242,93	2,43
75	1	1,96	19,56	195,59	1,96
90	1	2,82	15,61	156,07	1,56
20	1,2	0,17	144,9	1449,03	14,49
25	1,2	0,25	108,16	1081,6	10,82
32	1,2	0,42	79,33	793,32	7,93
40	1,2	0,66	59,62	596,16	5,96
50	1,2	1,03	45,17	451,72	4,52
63	1,2	1,67	33,71	337,11	3,37
75	1,2	2,35	27,16	217,62	2,18
90	1,2	3,38	21,69	216,91	2,17
20	1,4	0,18	190,5	1905,04	19,05
25	1,4	0,3	142,35	1423,51	14,24
32	1,4	0,49	104,52	1045,21	10,45
40	1,4	0,78	78,62	786,16	7,86
50	1,4	1,21	59,6	596,23	5,96
63	1,4	1,94	44,53	445,33	4,45
75	1,4	2,75	35,9	359,04	3,59
90	1,4	3,96	28,69	286,89	2,87

Figura 1: Tabela de perda de carga em tubos de PVC.

Localização na Web site TIGRE: Indústria PPR Industrial

O diâmetro interno utilizado para cálculo corresponde às tubulações coláveis classe 15. O diâmetro interno dos tubos depende da classe de pressão e é diferente nos tubos coláveis e roscáveis. Os valores da tabela podem ser utilizados para qualquer tipo de tubulação de PVC com pequena margem de erro. (MASSANO, RENATT) pesquisa em 29/10/2018

Colável(Diam. m)	25	32	40	50	60	75	85
Roscável (Bítol)	3/4"	1"	1.1/4"	1.1/2"	2"	2.1/2"	3"
Joelho 90°	1,2	1,5	2	3,2	3,4	3,7	3,9
Joelho 45°	0,5	0,7	1	1	1,3	1,7	1,8
Curva 90°	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5
Curva 45°	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
90° pass. dire	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5
90° saída late	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8
g. gaveta abe	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9
álv. globo aber	11	15	22	36	38	38	40
Saída de cana	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7
Entrada norma	0,4	0,5	0,6	1	1,5	1,6	2
Entrada de borc	1	1,2	1,8	2,3	2,8	3,3	3,7
álv. pé e criv	9,5	13	16	18	24	25	27
Válv. ret. horiz	2,7	3,8	4,9	6,8	7,1	8,2	9,3
álv ret. vertice	4,1	5,8	7,4	9,1	11	13	14

Figura 2: Perda de carga em conexões de PVC.

Localização na Web site:

http://www.renatomassano.com.br/dicas/industrial/perda_de_carga_tubos_pvc.asp

Na figura 3 temos uma das válvulas de retenção, esta serve para manter o sistema estável dentro do quadro designado para vulcanização.



Figura 3: Imagem da válvula de retenção 01.

Para fechar o quadro da vulcanização foi usada uma segunda válvula de retenção conforme mostra a figura 4 assim o quadro fica alimentado por suas extremidades.



Figura 4: Imagem da válvula de retenção 02.

Para atender a demanda usa-se um compressor GA-30 VSD da Atlas Copco e dois reservatórios de 0,5 m³ cada conforme figura 5. Na unidade antiga usava apenas um.



Figura 5: Imagem da sala do compressor.

A figura 6 mostra que na faixa de 1% a 20% de seu RPM ele não trabalhou já na faixa de 20% a 40% ele trabalhou 27% de suas horas de funcionamento. Dados coletados no dia 19/09/2018.

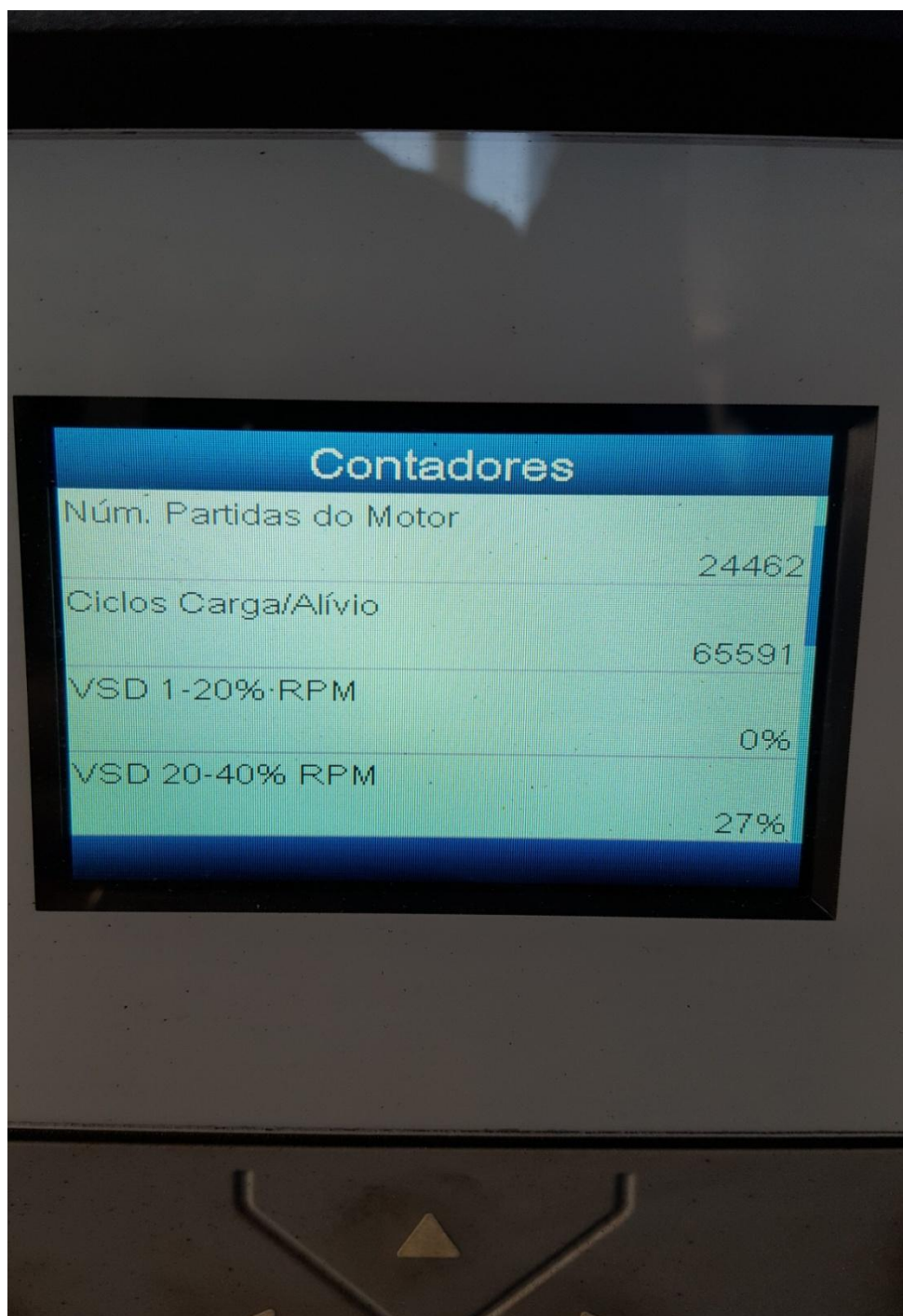


Figura 6: Imagem 19/09/2018 faixa de RPM de 1 a 20% e 20 a 40%.

No monitoramento da figura 7 vemos que de 40% a 60% o compressor trabalhou 45% de seu tempo. Para as rotações entre 60% e 80% trabalhou 22% do tempo e para sua maior faixa de rotação de 80% a 100% apenas 6% do tempo. Monitoramento também do dia 19/09/2018.

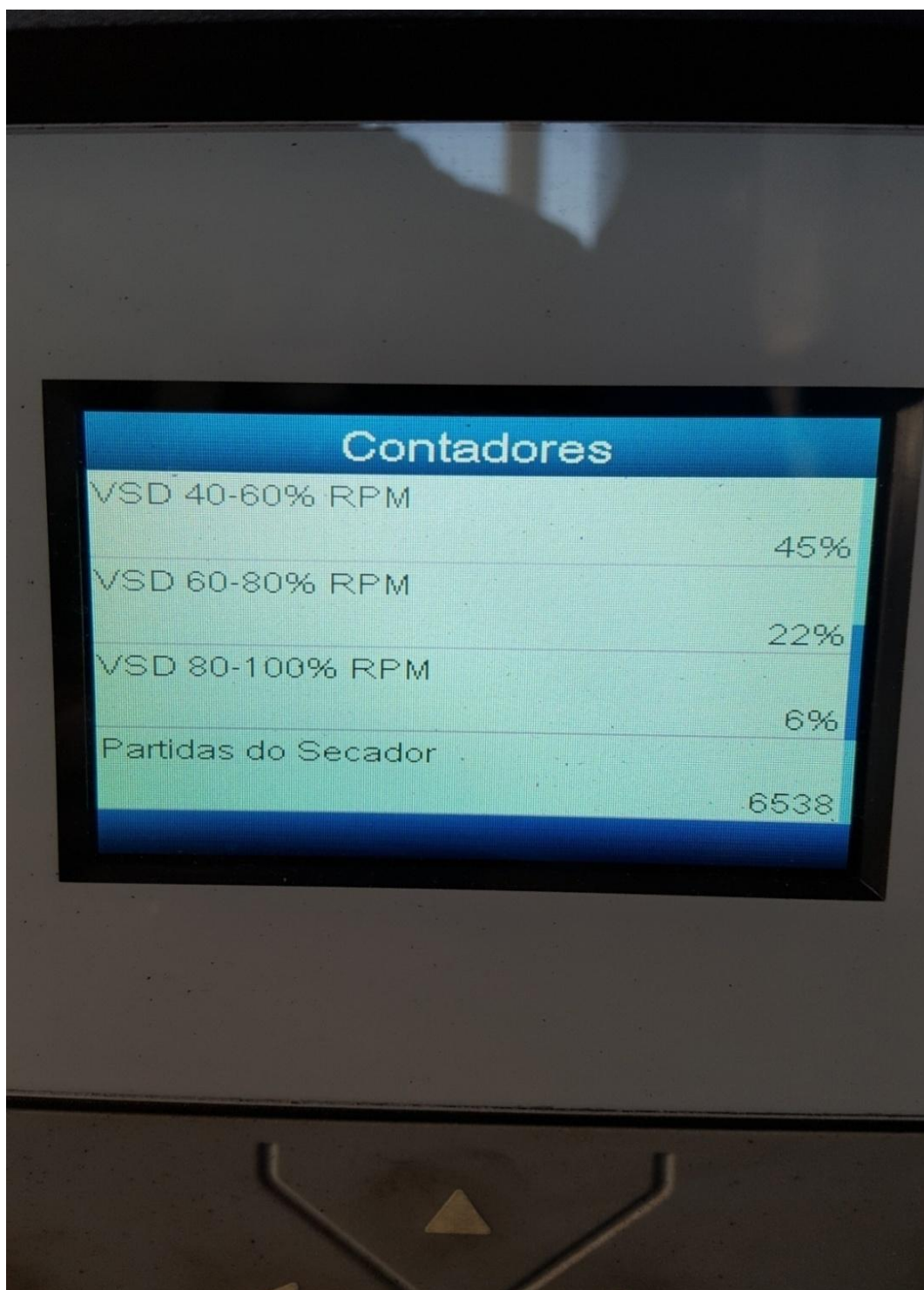


Figura 7: Imagem 19/09/2018 faixa de RPM de 40 a 60%, 60 a 80% e 80 a 100%.

Comparando com o monitoramento da figura 8 do dia 13/03/2017 vemos que na faixa de 1% a 20% a maquina também não trabalhou.

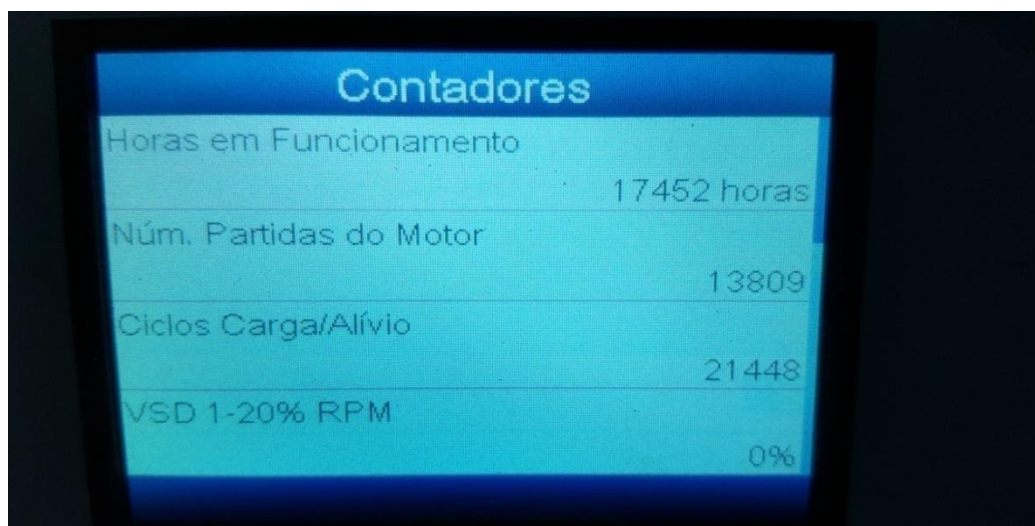


Figura 8: Imagem dia 19/03/2017 com faixa de RPM de 1 a 20%.

Na figura 9 também do dia 19/03/2017 temos na faixa de 20% a 40% de sua rotação um funcionamento de 22% do tempo, para rotação de 40% a 60% funcionou 44% de suas horas de trabalho, já entre 60% e 80% da rotação tem 25% das horas de trabalho e na ultima faixa de 80% a 100% do RPM trabalhou 9% do tempo.

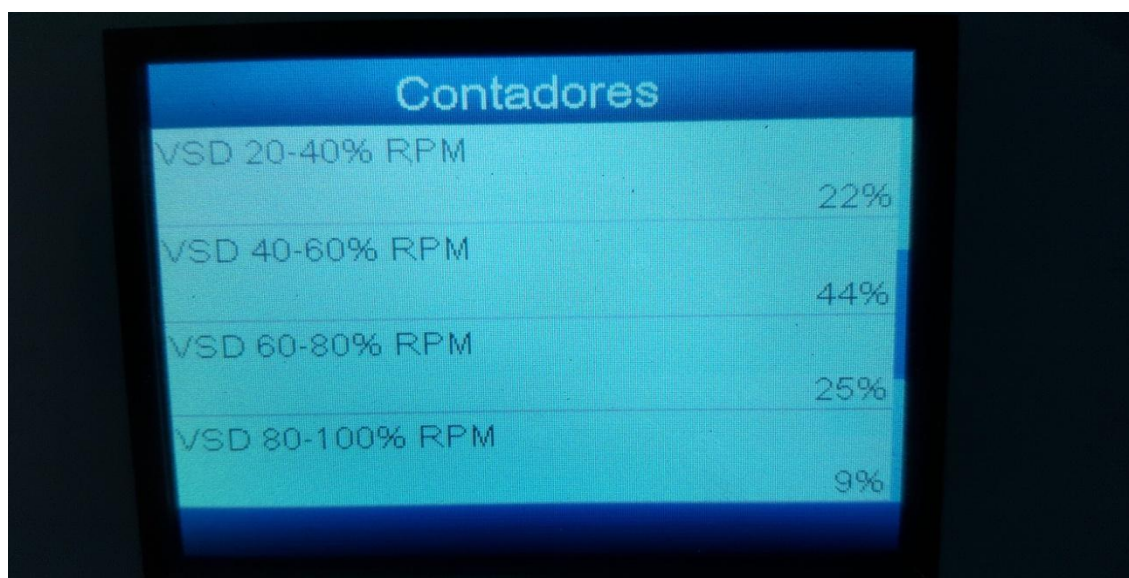


Figura 9: Imagem do dia 19/03/2017 com faixa de RPM de 20 a 40%, 40 a 60%, 60 a 80% e 80 a 100%.

A figura 10 corresponde aos dados do equipamento da marca Chicago utilizado na preparação dos pneus remold.

	Métrico	Imperial
Modelo	CP874	
Número da peça	T025375	
Comprimento	184 mm	7.25 "
Consumo médio de ar	1.4 l/s	3.1 cfm
Consumo real de ar	354 l/min.	12.5 cfm
Consumo real de ar _ls	5.9 l/s	
Energia	370 W	1/2 HP
Nível de ruído	88 dB(A)	
Peso líquido	0.79 kg	1 3/4 lb.
Pressão som DBA	99 dB(A)	
Tamanho da rosca da entrada de ar	1/4 "	
Tamanho mandril / disco	73 mm	2 7/8 "
Tamanho min. mangueira	10 mm	3/8 "
Velocidade livre	22000 RPM	
Vibração	4 m/s ²	
Vibração ISO	ISO-28927-8	
Vibração K	4 m/s ²	

Figura 10: Imagem consumo retifica pneumática Chicago (pagina Chicago 24/10/2018)

Na seqüência temos a planta baixa da rede de ar conforme mostra figura 11 nesta podemos verificar como ficou disposto o anel que alimenta o setor da vulcanização.

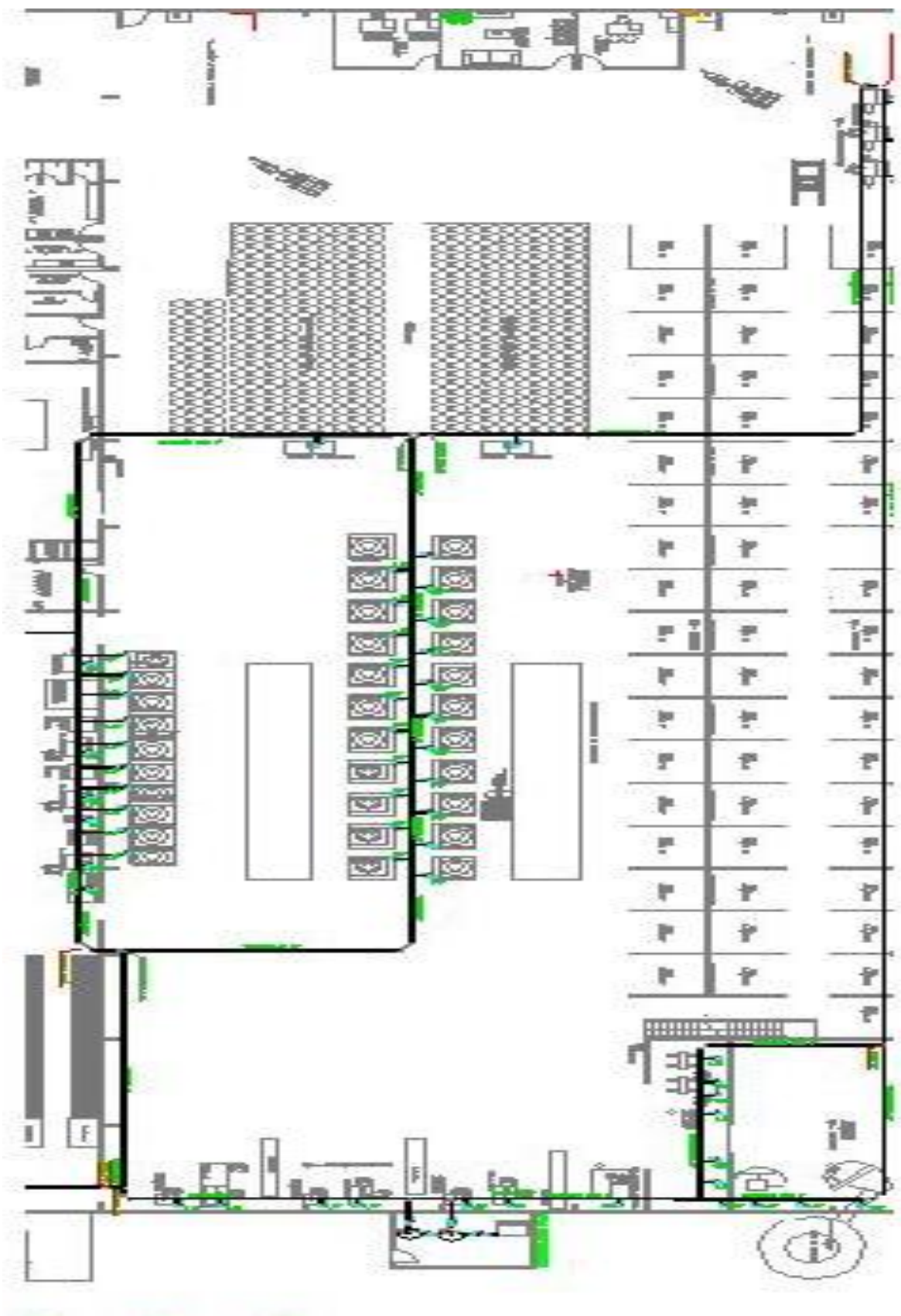


Figura 11 Imagem da planta baixa da rede de ar.

A tabela 7 ajudara entendermos melhor as figuras anteriores 6, 7, 8 e 9.

Tabela 7 Comparativo de funcionamento do compressor

Horas de funcionamento	17452 horas	25460 horas
Faixa de rotação (RPM)	Percentual do tempo de funcionamento antes.	Percentual do tempo de funcionamento depois.
1-20	0%	0%
20-40	22%	27%
40-60	44%	45%
60-80	25%	22%
80-100	9%	6%

Os valores da tabela 7 foram extraídos do compressor antes da mudança com 17452 horas e após 8008 horas de funcionamento totalizando às 25460 horas apresentando mudanças em 4 das 5 faixas de rotação assim trabalhando em rotações mais baixas.

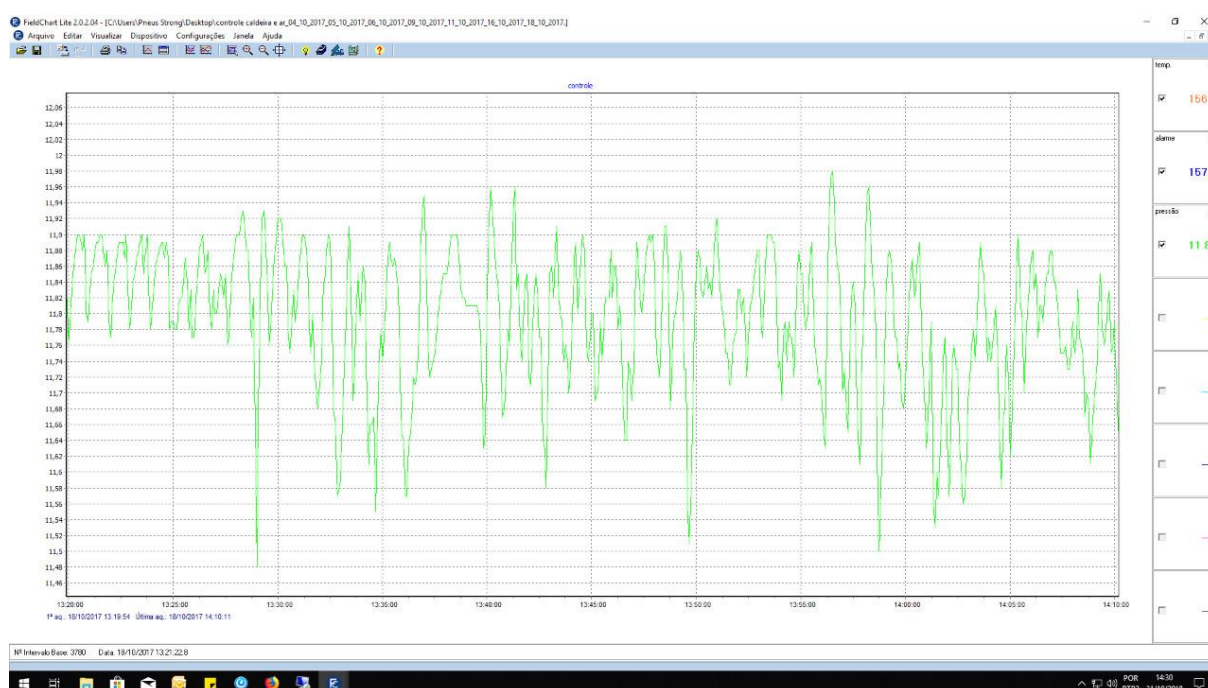


Figura 12 Imagem do monitoramento do dia 18/10/17

Esta é a imagem do monitoramento do dia 18/10/17 das 13:19 as 14:10 existe uma grande variação de pressão. A pressão esta variando de 11,48 bar até 11,9 bar.

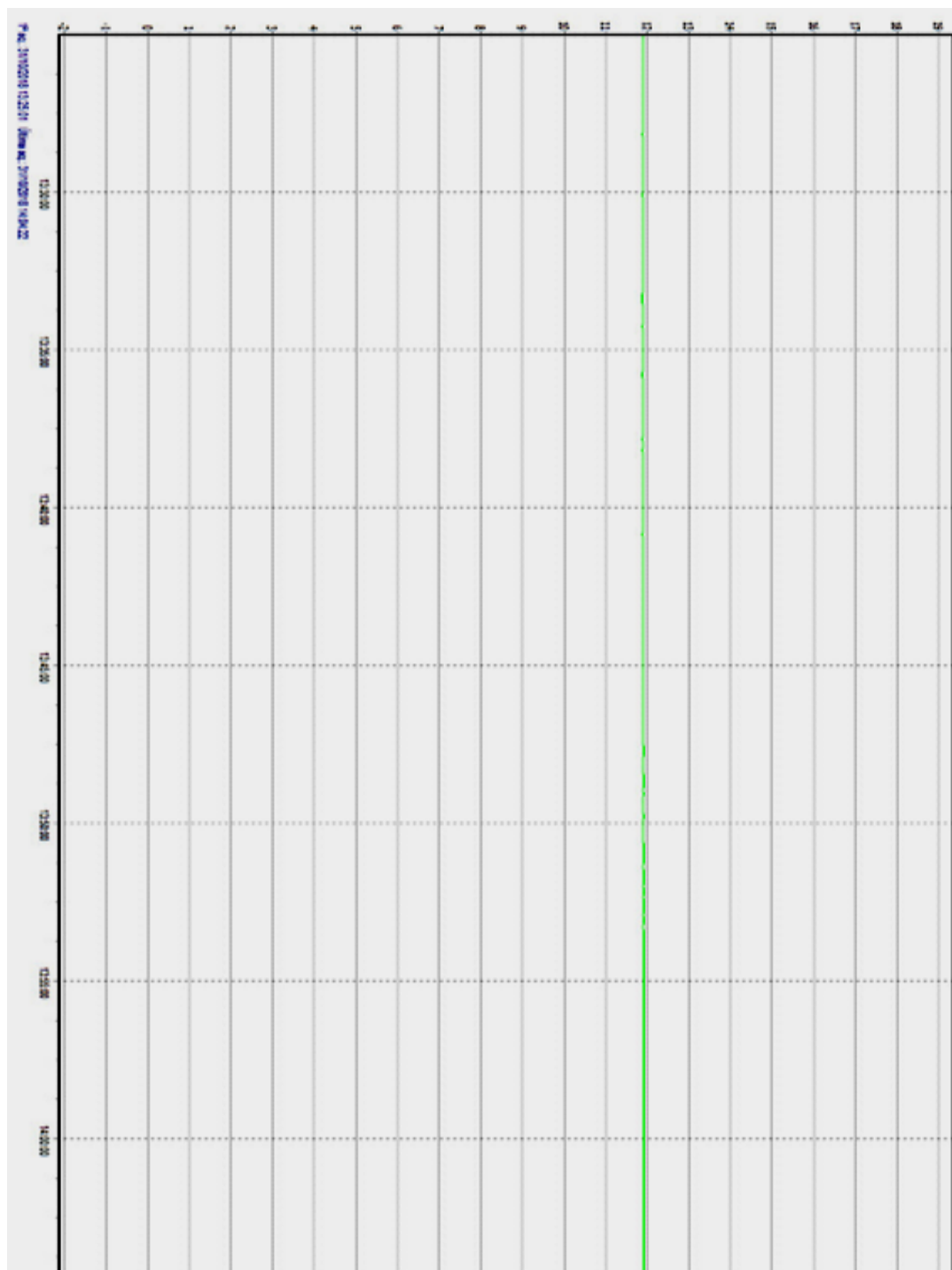


Figura 13 Imagem do monitoramento do dia 31/10/18

Na figura 13 temos o monitoramento do dia 31/10/18 das 13:25 as 14:04 podemos perceber que a uma pequena variação de 11,89 bar ate 11,91 bar.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi calculado o consumo de ar comprimido em determinados setores de uma fabrica de pneus remold bem com o dimensionamento da rede principal por se tratar de uma nova planta fabril e visando diminuir custo de produção ao mesmo tempo em que se aumenta a qualidade do produto final.

Avaliando os valores da tabela 7 aparenta pequena mudança, mas deve-se levar em consideração que a ultima avaliação o valor obtido é referente há 25460 horas e não as 8008 horas que foram trabalhadas após a mudança.

A figura 12 e a figura 13 mostram o principal objetivo de um bom dimensionamento e avaliação do processo, pois o grande problema neste seguimento é a variação de pressão devido ao tempo do processo. Alem de diminuir a faixa de rotação praticamente zerou a variação de pressão, onde tínhamos 0,47 bar de variação hoje temos 0,02 bar.

Pode-se avaliar que para um bom dimensionamento alem de muito conhecimento técnico deve-se avaliar muito bem as condições de consumo para que se possa por a teoria em pratica.

Observa-se que o layout da rede principal procura-se atender a demanda e não uma regra de circuito aberto ou fechado em anel. Neste caso trabalhamos com ele misto e usando válvulas de retenção para manter o sistema estável.

Buscando fundamentação e claro adquirindo conhecimento percebeu-se que a competitividade que também nos fez elaborar o presente trabalho fica muito clara nos fornecedores de equipamentos pneumáticos, pois alem da venda estão na maioria deles com um grande material técnico, podendo usar como diferencial para venda de seus equipamentos.

Assim podemos concluir que o presente trabalho é de suma importância para uma boa formação acadêmica fazendo com que o acadêmico busque informações por vários meios para provar que a pratica se aperfeiçoa com o conhecimento técnico.

SUGESTÃO

- Avaliar economia em kW/h para ver custo real.
- Avaliar a importância da sala do compressor quanto a layout e ambiente.
- Mostrar a viabilidade ou não do uso de tubos PPR.
- Estudo da diferença entre o compressor parafuso carga e alívio e compressor parafuso com inversor ou conversor de frequência.

REFERÊNCIAS

APOSTILA M1004 BR Setembro 2006 Dimensionamento de Redes de Ar Comprimido Training

APOSTILA PNEUMÁTICA PARKER Ap. M1001-1 BR - 04/07 - 3500, WWW.parker.com.br/training

Atlas Copco Web site: <http://eficienciaenergetica.atlascopco.com.br/rede-de-ar-comprimido-como-dimensionar/> (pesquisa em 24/10/18)

AUTOMAÇÃO PNEUMÁTICA, (projeto, dimensionamento e análise de circuito), eng. Arivelto Bustamante Fialho 2ª Ed Editora Érica Ltda. 2004 - 2ª Edição

Bosch – Localização Web site: www.bosch.com.br/br/ferramentas_pneumaticas

Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

http://www.renatomassano.com.br/dicas/industrial/perda_de_carga_tubos_pvc.asp (pesquisa em 29/10/2018).

[HTTPS://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/116-ar-comprimido](https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/116-ar-comprimido)

<https://www.cp.com/pt-br/tools/products/specialtycutting/cp874> (pesquisa em 24/10/2018).

<https://www.dicio.com.br/dimensionamento/>

https://www.festo.com/cat/pt-br_br/data/doc_ptbr/PDF/PT/AIR-GUNS_PT.PDF (pesquisa em 24/10/2018)

LIVRO-Metodologia-do-Trabalho-Cientifico-metodos-e-tecnicas-de-pesquisa-e-do-trabalho-academico-2-Ed-Prodanov-Freitas-2013

MANUAL AR COMPRIMIDO METALPLAN 3º edição 2008

METALPLAN, Manual de ar comprimido. 4 ed. 2010.

METALPLAN, Manual De Ar Comprimido. 6 ed. 2017

MORAES, Paula Louredo. "Composição do ar"; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilestola.uol.com.br/biologia/composicao-do-ar.htm>>. Acesso em 02 de setembro de 2018.

OLIVEIRA FABIO, Sistemas de ar comprimido resolução de um caso pratico, 8 de janeiro de 2012, Guimarães.

PROCEL INDÚSTRIA, compressor guia básico, edição seriada 4, 2009

SILVA, Marcos Noé Pedro da. "Volume do cilindro"; Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilescola.uol.com.br/matematica/volume-cilindro.htm>>. Acesso em 07 de outubro de 2018.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. "O que é transformação isotérmica?"; Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-transformacao-isotermica.htm>>. Acesso em 07 de outubro de 2018.

Tigre - Localização na Web site TIGRE: Indústria PPR Industrial