

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

GABRIEL SENNA MONTANHER

**ANÁLISE E FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA PARA TESTAR UMA
ELETROVÁLVULA APLICADA EM MOTORES COM INJEÇÃO ELETRÔNICA
DIESEL ATRAVÉS DO MÉTODO DE COMPARAÇÃO**

CASCADEL - PR

2018

GABRIEL SENNA MONTANHER

**ANÁLISE E FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA PARA TESTAR UMA
ELETROVÁLVULA APLICADA EM MOTORES COM INJEÇÃO ELETRÔNICA
DIESEL ATRAVÉS DO MÉTODO DE COMPARAÇÃO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, da Faculdade Assis Gurgacz – FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Professor Orientador: Eng. Mec. Eliseu Avelino
Zanella Junior**

CASCADEL - PR

2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, irmãos e minha noiva,
pelo amor infinito e compreensão, fontes da minha motivação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela saúde e força para superar dificuldades.

Aos meus pais, pelo imenso apoio e forças para continuar acreditando.

A minha noiva, por entender minha ausência em finais de semana, focado no trabalho.

Aos meus irmãos, pelo suporte dado para que este pudesse acontecer.

A empresa Montanher Turbo Diesel, por além de ceder um funcionário, ceder materiais e suporte para que pudesse ser desenvolvido.

Ao orientador, que não mediu esforços para o trabalho melhorar cada vez mais.

Aos professores envolvidos que diretamente ou indiretamente me ajudaram na realização deste trabalho.

FACULDADE ASSIS GURGACZ - FAG

GABRIEL SENNA MONTANHER

ANÁLISE E FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA PARA TESTAR UMA ELETROVÁLVULA APLICADA EM MOTORES COM INJEÇÃO ELETRÔNICA DIESEL ATRAVÉS DO MÉTODO DE COMPARAÇÃO

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Eliseu
Avelino Zanella Junior

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Me. Eng. Mec. Eliseu Avelino Zanella Junior

Faculdade Assis Gurgacz - FAG

Engenheiro Mecânico



Prof. Me. Eng. Mec. Rogerio Luiz Rodegero

Faculdade Assis Gurgacz - FAG

Engenheiro Mecânico



Prof. Me. Eng. Mec. Sérgio Henrique Rodrigues Mota

Faculdade Assis Gurgacz - FAG

Engenheiro Mecânico

Cascavel, 18 de Junho de 2018.

RESUMO

Com o aumento da quantidade de caminhões e veículos movidos a diesel em circulação em todo território nacional e internacional, a quantidade de poluentes gerados a partir desses motores têm aumentado consideravelmente nos últimos anos. Com isso, forçou os fabricantes de motores utilizar a injeção eletrônica, devido à alta precisão no funcionamento e no controle de emissões, reduzindo assim a taxa de poluentes emitido pelos motores. Devido à alta complexibilidade na manutenção de alguns componentes eletrônicos do sistema de injeção, os equipamentos necessários para tal tarefa são de alto custo, compensando muitas vezes o reparador substituir a peça, suspeitando que a mesma esteja com problemas. Uma dessas peças é a eletroválvula, devido ao seu custo ser relativamente baixo, opta-se por substituir ao invés de adquirir uma máquina para testá-la. Assim, com os dados adquiridos foi possível a montagem de um sistema simples e de baixo custo, para realizar o teste na eletroválvula, e identificar se ela está trabalhando conforme as especificações técnicas.

Palavras-Chave: Eletroválvula; Injeção Eletrônica Diesel; Malha Aberta

ABSTRACT

With the increase in the number of trucks and diesel-powered vehicles in circulation throughout national and international territory, the amount of pollutants generated from these engines have increased considerably in recent years. With this, forced the engine manufacturers to use the electronic injection due to high accuracy in operation and emission control, thus reducing the rate of pollutants emitted by the engines. Due to high complexity in the maintenance of some electronic components of the injection system, the equipment required for such a task is of high cost, compensating many times the mechanic replace the part suspecting that it is in trouble. One of these parts is the electronic valve, due to its cost being relatively low opt to replace instead of acquiring a machine to test it, thus, with the data acquired it was possible to assemble a simple system and low cost to perform a test on the electronic valve and identify whether it is working according to the technical specifications.

Keywords: Electronic valve; Diesel Electronic Injection; Open loop

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	1
1.1.1. Objetivo Geral	1
1.1.2. Objetivos Específicos	1
1.2. JUSTIFICATIVA	2
1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	2
1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. DEFINIÇÃO DE SISTEMA	3
2.2. CONTROLE ELETRÔNICO POR PWM	3
2.3. TIPOS DE VÁLVULAS	4
2.3.1. Eletroválvula	4
2.3.2. Válvula de Alívio	5
2.3.3. Válvula de Controle	5
2.4. TURBOBOMBA	6
2.5. ESCOAMENTO PERMANENTE	6
2.6. ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS	6
2.6.1. Associação de Bombas em Série	7
2.6.2. Associação de Bombas em Paralelo	7
2.6.3. Associação Série-Paralelo	7
2.6.4. Cavitação	8
2.7. SISTEMA <i>COMMON RAIL</i>	8
2.8. POTENCIAL ELÉTRICO	8
3. METODOLOGIA	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
4.1. REALIZAÇÃO DOS TESTES DE PRESSÃO	15
4.2. TESTE DE VAZÃO REAL DA BOMBA ELÉTRICA	15
4.3. TESTE PARA ENCONTRAR A FONTE DE CORRENTE CONTÍNUA	17
4.4. ATUAÇÃO DA VÁLVULA	18
4.5. MONTAGEM DA BANCADA	20
4.6. TESTE DA ELETROVÁLVULA	20
4.7. TESTE DE VAZÃO COM DIFERENTES TEMPERATURAS	21
4.8. VALORES FINAIS DOS TESTES	22
4.9. ORÇAMENTO	23

4.10. CUSTO-BENEFÍCIO	24
5. CONCLUSÃO	26
5.1. VIABILIDADE	26
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Largura do pulso PWM	4
Figura 2 - Arduino UNO R3	10
Figura 3 - Eletroválvula Bosch.....	11
Figura 4 - Bomba elétrica Delphi.	12
Figura 5 - Valores de pressão e vazão da bomba externa.....	13
Figura 6 - Manômetro e Vazômetro modelo TVPA 4500/13.....	16
Figura 7 - Fonte Chaveada modelo FTE-1220	18
Figura 8 - Máquina utilizada para controle da eletroválvula modelo Zampar ZTD 6000CR	19
Figura 9 - Interface da janela para regulação de eletroválvulas.....	19
Figura 10 - Bancada montada com os elementos	20
Figura 11 - Multímetro modelo Icel MD6130 e sensor NTC na ponta.	21
Figura 12 - Gráfico das vazões em 3 e 4 bar	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de teste realizado à 40°C	14
Tabela 2 - Valores de vazão da bomba.....	15
Tabela 3 - Potência de trabalho da bomba interna.....	17
Tabela 4 - Potência de trabalho da bomba externa.....	17
Tabela 5 - Valores finais dos testes de vazão	22
Tabela 6 - Orçamento dos elementos para montagem	24

LISTA DE ABREVIATURAS

PWM – PULSE WIDTH MODULATION

NTC - NEGATIVE TEMPERATURE COEFFICIENT

LISTA DE SIGLAS

Q – CARGA

W – WATTS

A – AMPERE

V – VOLTS

°C – GRAUS CELCIUS

p – POTÊNCIA

v – TENSÃO

I – CORRENTE

P1 – POTÊNCIA DA BOMBA INTERNA

P2 – POTÊNCIA DA BOMBA EXTERNA

P3 – POTÊNCIA CONSUMIDA PELO ARDUÍNO

Pt – POTÊNCIA TOTAL

1. INTRODUÇÃO

Hoje no ramo de bombas injetoras diesel, um problema que vem complicando a vida dos mecânicos especializados é a eletroválvula de controle de combustível que gerencia a pressão e vazão de combustível que a bomba manda para o motor.

Como o sistema todo é controlado por um módulo de gerenciamento central, a bomba é um componente mecânico que é controlada pela válvula, que por sua vez é controlada pela central do veículo, fazendo com que a válvula se ajuste instantaneamente à carga requerida pelo motor.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Propor um sistema de baixo custo, para análise de funcionamento e a calibragem de uma eletroválvula aplicada em motores com injeção eletrônica diesel, através do método de comparação com uma eletroválvula nova de funcionamento confiável.

1.1.2. Objetivos Específicos

Avaliar o funcionamento do sistema através de um ciclo passando por vários elementos, bomba, medidores de pressão e vazão, eletroválvula reguladora, válvula de controle de pressão e reservatório.

Testar a variação de potência elétrica requerida pela bomba, para aquisição de uma fonte conversora de corrente alternada para corrente contínua.

Montar então o ciclo, e através de dois sensores de temperatura do tipo NTC, medir a variação de fluxo de acordo com a variação de temperatura, e realizar o teste de acordo com a temperatura de funcionamento no motor, entre 40°C e 50°C.

Testar duas eletroválvulas novas para catalogar os resultados de acordo com cada variação de abertura, podendo assim, ter resultados confiáveis para realizar a comparação.

1.2. JUSTIFICATIVA

Um dos problemas que existentes no ramo da injeção eletrônica de pesados é a eletroválvula da bomba de alta pressão, por ser controlada por PWM (Pulse Width Modulation ou Modulação de Largura de Pulso) é difícil de saber se ela está ou não com problemas, e os equipamentos atuais no mercado para diagnóstico são geralmente caros e inviáveis a aquisição, compensando muitas vezes para o mecânico simplesmente trocar a peça.

1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

É possível realizar em bancada, o diagnóstico de falhas em eletroválvulas diesel com ferramentas baratas e de fácil aquisição?

1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O sistema foi projetado para analisar e definir se a válvula está dentro dos parâmetros de funcionamento requeridos para que o motor não trabalhe com falhas.

Os testes foram realizados em uma eletroválvula do motor Cummins, porém funciona também para testar grande parte das válvulas situadas nos motores com injeção eletrônica diesel comandados pelo sistema Bosch, pois partem do mesmo princípio de funcionamento, mudando apenas a calibração realizada para cada modelo de peça.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. DEFINIÇÃO DE SISTEMA

De acordo com Bolton (1995), um sistema pode ser imaginado como uma caixa preta com apenas com uma entrada e uma saída, sem a necessidade de se ver o que acontece lá dentro, ou como acontece, simplesmente uma entrada e uma saída. E também que um sistema de controle é a mesma coisa, porém com uma saída é controlada para atender alguma necessidade, ou seguir alguma determinada entrada.

Esse é o objetivo do trabalho, através de um sistema, conseguir informar ao operador a real condição de trabalho da eletroválvula, montado através de um sistema, com um sinal de entrada e monitorando uma vazão de saída.

Nepomuceno (2008, pág. 57-58) diz que “Um sistema é um conjunto de dispositivos que operam formando uma unidade destinada a cumprir determinada missão ou executar determinado trabalho”.

O trabalho tem como foco realizar testes de funcionamento da válvula e comparar com um valor pré estabelecido, esse objetivo é facilmente atingido com um sistema de malha aberta. Segundo Bolton (1995) o controle em malha aberta não existe sinal de realimentação para ajustes automáticos, sistemas de controles operados por base de tempo são chamados sistemas de malha aberta.

O contrário do que aconteceria no sistema de malha fechada, onde seriam necessários mais sensores e mais dados no controlador lógico para realizar tal função.

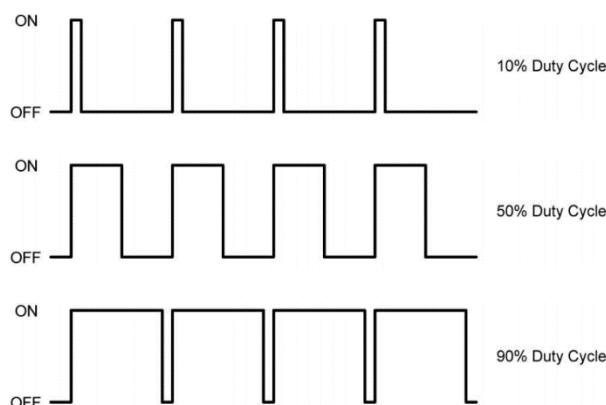
2.2. CONTROLE ELETRÔNICO POR PWM

Um método de comunicação e divisão de sinal muito comum utilizado atualmente é o sistema de modulação por largura de pulso (Pulse Width Modulation, PWM), utilizado tanto para comunicação de dados digitalmente quanto para divisão de tensão.

Pode-se imaginar o pulso PWM como se pudesse partir uma tensão e entregar ela em pedaços numa determinada frequência, quanto mais pedaços for enviada naquele espaço de tempo, maior é a tensão controlada.

De acordo com CARVALHO (2003), as amostras são representadas por pulsos de amplitude fixa, variando a largura, proporcional a tensão de amostra no instante da amostragem.

Figura 1 - Largura do pulso PWM



Fonte: Mecaweb (2018)

Independente da tensão que está sendo trabalhada no pulso, o sinal é SIM ou NÃO, quanto maior a quantidade de SIM em um período de tempo, maior é a tensão final. Por exemplo, num ciclo de 12V, que é o caso trabalhado para atuar a eletroválvula, se o pulso estiver em 50% do trabalho, então a onda quadrada estará atuando a mesma proporção de tempo em SIM e NÃO, resultando em uma tensão de 6V no atuador.

2.3. TIPOS DE VÁLVULAS

2.3.1. Eletroválvula

A eletroválvula reguladora de pressão é um dos elementos mais importantes na injeção eletrônica diesel, sendo responsável pela quantidade de combustível que a bomba está mandando para o motor. Em caso de falhas na válvula, o motor pode sofrer falhas e em alguns casos até avarias, como por exemplo a falta de combustível, ocasionando uma mistura pobre e danificando o conjunto cilindro e pistão. De acordo com Brunetti (2012) O fenômeno da mistura pobre provoca o superaquecimento da câmara e a ignição da mistura admitida, causando retorno de chama (back fire). Nessa situação, o motor torna-se instável, não conseguindo rotação constante, mesmo fixando o acelerador e a carga no eixo.

2.3.2. Válvula de Alívio

Válvulas de alívio, ou de segurança são itens fortemente necessários em qualquer tipo de sistema hidráulico ou pneumático. São elas as responsáveis por regular a pressão na linha, quando esta passa de um limite pré estabelecido, pode ser regulada a pressão máxima na própria válvula, através de uma carga de mola, ou fixa, dependendo do processo de fabricação e montagem da mesma.

De acordo com Telles (2008), as válvulas são chamadas de segurança quando aplicadas em linha de gás e vapor, e de alívio, quando aplicadas em linha de líquidos incompressíveis.

Telles (2008) diz também que as válvulas de segurança podem descarregar direto na atmosfera, quando não há risco de gases nocivos na linha, ou no caso da válvula de alívio, que geralmente a descarga é encaminhada através de tubulação até o reservatório, onde reinicia o ciclo.

2.3.3. Válvula de Controle

Válvula de controle é um nome dado a uma válvula quando ela é responsável por controlar a pressão ou vazão em uma determinada linha de fluido, pode ser variável, através de um atuador, seja ele pneumático, hidráulico, mecânico ou elétrico, ou pré estabelecida.

Telles (2008) afirma que a variação da abertura da válvula de controle é proporcional com a variação de fluido passando pela linha, dessa forma, se a porcentagem de abertura da válvula for 0%, logo a porcentagem de fluido passando na linha também será 0%, e assim até 100%.

Para a realização do trabalho, uma válvula de controle terá de ser instalada para que a variação da pressão possa ser medida através do manômetro e vazômetro.

2.4. TURBOBOMBA

Apesar de ser um modelo relativamente pequeno, a bomba utilizada no sistema é do tipo turbobomba, é uma máquina do tipo geratriz, onde um motor elétrico acoplado ao eixo da bomba exerce o trabalho para que ela movimente o fluido que antes estava em repouso em um reservatório, e circule-o sob pressão na linha.

Macintyre (2008, pag 43) diz que “A descarga gerada depende das características da bomba, do número de rotações e das características do sistema de encanamentos ao qual estiver ligada”.

Como o modelo de bomba utilizado no trabalho é blindado, e suas características de construção é desconhecida e não fornecida pela fabricante, as únicas informações que são disponíveis são que, a bomba opera com pressão de 5 bar, e 150 litros por hora de vazão, não necessariamente simultâneos.

2.5. ESCOAMENTO PERMANENTE

O fluido utilizado no experimento opera em escoamento permanente, ou seja, a partir do momento que se definiu a pressão para executar o teste comparativo, o fluido trabalhará continuamente, pois suas condições de escoamento se tornarão constantes no tempo.

“ O liquido escoar em regime permanente ou com movimento permanente quando, para qualquer ponto fixo do espaço tomado no seu interior, as grandezas características das partículas que por ele passam (peso específico, temperatura) e suas condições de escoamento (velocidade, aceleração e pressão) são constantes no tempo.” (Macintyre, 2008, pag 1)

De acordo com Macintyre (2008), esse tipo de escoamento pode ser tido em duas condições, regime uniforme quando as velocidades são iguais em todos os pontos de uma mesma trajetória, ou não uniforme, quando velocidades variam ao longo do escoamento, que é o caso apresentado.

2.6. ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS

Em diversas áreas de aplicação industrial, a variação de descarga que a bomba sofre e também a diferença de altura manométrica que a bomba precisa vencer

para cumprir o seu papel, uma só bomba pode não ser o suficiente para tal tarefa, mesmo variando a velocidade. Quando esses problemas acontecem, recorre-se à associação de duas ou mais bombas que pode ser em série, ou em paralelo.

2.6.1. Associação de Bombas em Série

As bombas em série são utilizadas quando a pressão final desejada seja maior em relação com a pressão de descarga de uma só bomba. Podem ser utilizadas duas ou mais bombas, com características de vazão e pressão de descargas que podem ou não ser iguais, somando assim as pressões de descarga das bombas utilizadas

Segundo Macintyre:

“O sistema é empregado quando a elevatória deve atender a reservatórios em níveis ou distancias diferentes ou a processamentos industriais onde reservatórios sob pressões diferentes devam ser sucessivamente abastecidos, ou ainda quando num processo houver condições de pressão bastante diversas.” (MACINTYRE, 2008, pág. 177)

2.6.2. Associação de Bombas em Paralelo

Funciona com duas ou mais bombas, que tem a sucção de um mesmo reservatório ou tubulação, fazendo com que a descarga das bombas sejam ligadas, assim, com mesma pressão e fluxo maior, de acordo com a quantidade de bombas associadas, a vazão de cada bomba. As vazões das bombas não são constantes, $Q_3 < 3Q_1$.

Macintyre diz:

“A variação da altura manométrica será tanto menor quanto menores forem as perdas de carga no encanamento. Como a altura manométrica resultante de um sistema de bombas em paralelo é maior do que para uma bomba apenas, deve-se atender a essa circunstância ao projetar a tubulação de recalque e calcular as flanges de ligação à bomba. Esta observação se aplica igualmente às ligações de bombas em série.” (MACINTYRE, 2008, pag 178)

2.6.3. Associação Série-Paralelo

Pode-se também executar uma instalação onde ocorre as duas situações, com duas ou mais bombas em paralelo e em série simultaneamente. Desta forma, pode-se atender uma ampla faixa de utilização tanto com vazão, quanto com pressão final desejadas.

2.6.4. Cavitação

Como o deslocamento das hélices de uma bomba hidráulica é geralmente em alta velocidade, o líquido sofre devido a própria natureza do escoamento, ou ao movimento realizado pelas peças móveis ao fluido. Se essa variação de pressão for grande, o fluido sofre com o fenômeno da cavitação.

Segundo Macintyre:

“Se a pressão absoluta baixar até atingir a pressão de vapor (ou “tensão de vapor”) do líquido na temperatura em que este se encontra, inicia-se um processo de vaporização do mesmo. Inicialmente, nas regiões mais rarefeitas, formam-se pequenas bolsas, bolhas ou cavidades (daí o nome de cavitação) no interior das quais o líquido se vaporiza. Em seguida, conduzidas pela corrente líquida provocada pelo movimento do órgão propulsor e com grande velocidade, atingem regiões de elevada pressão, onde se processa seu colapso, com a condensação do vapor e o retorno ao estado líquido.” (MACINTYRE, 2008, pág. 206)

2.7. SISTEMA COMMON RAIL

Os sistema de injeção *common rail* ou como o nome já diz, raio comum, é um modelo de sistema relativamente simples, porém com um grau de complexidade bastante avançado no funcionamento de seus elementos, como por exemplo o funcionamento dos elementos serem todos controlados e acompanhados em tempo real pela central eletrônica.

O sistema é constituído por uma bomba, que fornece combustível em alta pressão para uma galeria, onde se acumula combustível e distribui para os bicos.

“A principal vantagem é aliar alta pressão de injeção, de mais de 2000 bar, com a possibilidade de realizar injeções múltiplas (pré-injeção, injeção principal e pós-injeção) e com flexibilidade para ajustar o início de injeção, de modo a adaptá-los a cada regime de funcionamento do motor, realizando essas funções com pequenas tolerâncias e alta precisão durante toda a vida útil.” (BRUNETTI, Vol 2, 2012, pág. 35)

2.8. POTENCIAL ELÉTRICO

A eletricidade é um fenômeno natural que pode ser controlado para certos propósitos da humanidade, e através desse fenômeno, foram encontradas diversas aplicações para a mesma, como por exemplo a luz, a comunicação, equipamentos elétricos e eletrônicos, entre outros.

O fenômeno ocorre devido a existência e da interação de cargas elétricas.

“Quando comparada com outras fontes de potência, as características mais notáveis da eletricidade são sua mobilidade e flexibilidade. A energia elétrica pode ser deslocada para qualquer ponto ao longo de um par de fios e, dependendo das necessidades do usuário, convertida em luz, calor ou movimento.” (DORF e SVOBODA, 2003, pág. 15)

A potência a ser consumida ou gerada pelo elemento, depende de duas grandezas, a tensão e a corrente.

Ainda conforme Dorf e Svoboda (2003), pode-se entender a potência simplesmente como o produto entre a tensão vezes a corrente através do elemento, e tem sua unidade medida em watts.

$$p = v \cdot i$$

Onde a potência (p) alcançada através da multiplicação da tensão (v) pela corrente (i).

3. METODOLOGIA

A montagem do sistema foi iniciado com a coleta de informações para realizar os testes e obter o resultado. Informações como qual fonte conversora de corrente alternada para corrente contínua o sistema necessita, pois com a variação da pressão na linha o torque realizado pela bomba para vencer a pressão altera, consequentemente a energia elétrica convertida em energia mecânica também sofrerá alteração, com isso, sabemos qual a potência da fonte a ser adquirida.

Para a realização do estudo, foi utilizado como gerenciamento eletrônico de todo o sistema e no monitoramento do controle de temperatura da linha de fluido, o controlador Arduino Uno R3, um hardware de patente aberta, com linguagem simples para atender a necessidade do sistema.

Figura 2 - Arduino UNO R3



Fonte: Elaborada pelo autor

O primeiro teste foi realizado para saber a corrente máxima que a bomba consome de energia, somado com a corrente de consumo do micro controlador. Para descobrir qual a corrente máxima da bomba, foi realizado um teste com um multímetro ligado a linha para medir a corrente, conforme altera-se a pressão de trabalho na linha, a corrente de trabalho aumenta, ou diminui. Os primeiros testes foram realizados com a bomba sendo alimentada por uma bateria automotiva, de 12V e 180 Ampères. Ao

fim do teste, se ficou claro qual a fonte correta necessária que atende a demanda do sistema.

Figura 3 - Eletroválvula Bosch



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como a fabricante não disponibiliza dados reais da bomba, apenas pressão e aplicação (nesse caso, 5 bar, sendo aplicada na Chevrolet S10 Diesel, de 2005 até 2011), precisou-se descobrir a vazão real de trabalho da bomba, para isso, foi utilizado vazômetro. Com essa ferramenta, foi possível descobrir quais as vazões a bomba trabalha em determinadas faixas de pressões, que foram reguladas manualmente com a válvula de pressão.

O teste da eletroválvula será realizado em duas pressões diferentes, 3 bar, equivalente à pressão de marcha lenta do motor em atuação, e 5,5 bar, que é a pressão de plena carga real do motor, assim, o teste abrangerá os dois extremos de funcionamento da eletroválvula em condição real de trabalho.

Após os testes com a atuação da eletroválvula, quando chegava a um determinado valor na atuação da mesma, a vazão caía, conseqüentemente a pressão antes da válvula aumentava bastante, não foi possível determinar o valor pois o manômetro estava instalado após a eletroválvula, mas a pressão foi tanta que a bomba não conseguia mais exercer trabalho, sofrendo com a contrapressão e com a cavitação. Após isso, foi instalada mais uma bomba no sistema, fazendo com que as duas trabalhem em série e somando assim, suas pressões.

Como a bomba que já estava instalada era do tipo interna, o bocal de sucção ficava diretamente no pré filtro, não sendo possível adaptar uma mangueira ou tubulação para fazer com que as duas bombas fossem iguais, teve então que ser utilizado uma bomba externa, cujo bocal seja possível fixar a mangueira.

A bomba externa utilizada foi uma Bosch, modelo 0 580 464 089, aplicada em série nos modelos Renault Master com injeção eletrônica diesel. Foi utilizado este modelo também pois era de fácil acesso para a realização dos testes.

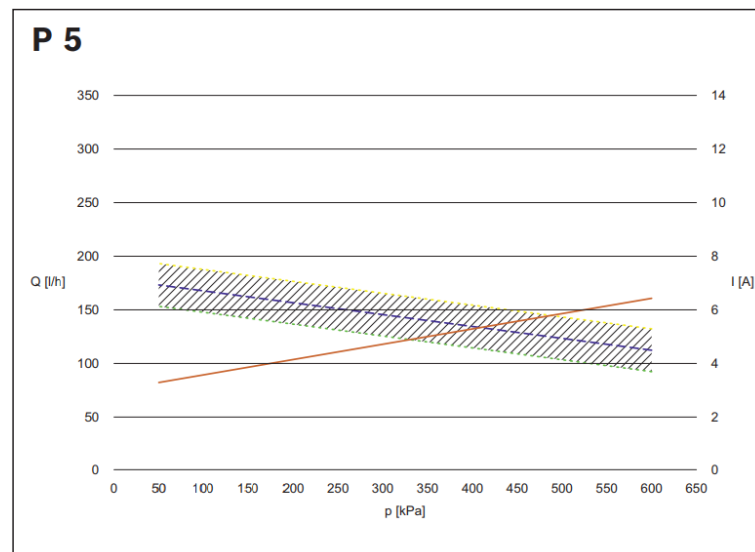
Figura 4 - Bomba elétrica Delphi.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 5 indica valores de pressão e vazão da bomba externa do sistema, os dados a seguir foram retirados do site do fabricante.

Figura 5 - Valores de pressão e vazão da bomba externa



Fonte: Bosch (2018)

O sistema foi montado em uma banca de estrutura metálica, e após montado, foi realizado um teste em duas eletroválvulas novas, para confirmação dos resultados, e catalogar os dados de abertura da válvula de acordo com o pulso PWM, os dados foram tabelados de 1 em 1%, para saber precisamente o grau de abertura das peças.

Conta também com um regulador de pressão manual, onde foi possível variar a pressão no sistema para realizar o teste em duas pressões diferentes, 3 e 4 bar, simulando as reais pressões de trabalho da eletroválvula no motor, também com temperatura controlada, onde foram realizados testes em várias temperaturas diferentes, podendo saber a diferença de atuação da válvula em cada faixa de temperatura. Após os testes, os valores foram armazenados em tabelas com variações de 1 a 100%, sendo que os testes foram repetidos com as temperaturas de 40°C, 45°C e 50°C, para uma melhor precisão.

Tabela 1 – Exemplo de teste a ser realizado à 40°C

Teste de abertura da eletroválvula à 40°C		
Abertura (%)	Vazão (l/min) à 3 bar	Vazão (l/min) à 5,5 bar
1%		
2%		
3%		
4%		
5%		
96%		
97%		
98%		
99%		
100%		

Fonte: Elaborada pelo autor.

Logo antes da eletroválvula, foi instalada também uma válvula de alívio, atendendo a necessidade de segurança, e protegendo a linha. Essa válvula foi calibrada para aliviar quando a pressão na linha ultrapassar 8 bar, evitando além do risco de danificar as bombas, o risco de vir a romper alguma mangueira por excesso de pressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. REALIZAÇÃO DOS TESTES DE PRESSÃO

Devido à utilização de duas bombas ao invés de uma, os valores à pressão de 5 bar foram muito além da escala marcada no vazômetro.

Foi definido então, realizar o teste em 3 e 4 bar, por não ser possível coletar dados a pressão maior e também para evitar uma possível perda da calibragem do manômetro e vazômetro.

4.2. TESTE DE VAZÃO REAL DA BOMBA ELÉTRICA

Para determinar a vazão real da bomba, foi utilizado uma válvula de controle, pré calibrada em 3 bar, com a bomba em funcionamento, têm-se o valor registrado através do vazômetro.

Para encontrar a vazão em outras pressões, basta apertar ou afrouxar a regulagem da válvula fixa, como consequência, a vazão aumentará ou diminuirá.

Com os testes realizados, chegamos à conclusão de que a bomba trabalha com os seguintes dados de vazão:

Tabela 2 - Valores de vazão da bomba

Faixa de trabalho de vazão em relação a pressão	
Pressão (Bar)	Vazão (l/min)
0	0
1	40
2	92
3	146
4	200
5	N/D
5,5	N/D

Fonte: Teste realizado pelo autor

O manômetro e vazômetro utilizado para realizar as medições são pré calibrados para trabalhar com pressão de 3 bar, portanto o teste realizado a 3 bar de pressão gerou valores reais de vazão das bombas, enquanto o teste de 4 bar, ou quaisquer outra pressão que não seja a pré calibrada, o valor é preciso, porém não exato. Quando elevada a pressão a 4 bar, a vazão aumenta proporcionalmente, assim, fica claro que os valores registrados em pressões que não seja 3 bar, podem ser usados como referência, porém com consciência de que não são exatos.

Foi realizado o teste com a pressão maior de 4 bar justamente por esse motivo, quando elevada a pressão acima disso, ultrapassa a escala máxima do vazômetro, que é 200l/h, mas pode-se notar uma pequena diferença entre os dois testes, o teste em 3 bar a vazão total variou 13 l/min, enquanto em 4 bar variou 17 l/min.

O modelo de manômetro e vazômetro utilizado para a realização do projeto foi um Planatc TVPA4500/13, atendendo a necessidade para as medições.

Figura 6 - Manômetro e Vazômetro modelo TVPA 4500/13



Fonte: Elaborada pelo autor

4.3. TESTE PARA ENCONTRAR A FONTE DE CORRENTE CONTÍNUA

No começo dos testes, foi utilizado uma bateria automotiva de 12 volts e 180 ampères para ligar as bombas, com o auxílio de um multímetro, concluiu-se a potência estimada que o sistema utilizaria para funcionar em corrente alternada, sem a necessidade da bateria.

Os testes foram realizados em 3 pressões, 3, 5, e 5,5 bar. Assim, têm-se a potência de trabalho nos valores mínimo e máximo.

Conforme a tabela abaixo, pode-se analisar os valores encontrados no teste da primeira bomba

Tabela 3 - Potência de trabalho da bomba interna

Pressão	Corrente	Potência
3 bar	5,59 A	67,08 W
5 bar	6,98 A	83,76 W
5,5 bar	7,16 A	85,92 W

Fonte: Testes realizados pelo autor.

Tabela 4 - Potência de trabalho da bomba externa

Pressão	Corrente	Potência
3 bar	6,17 A	74,04 W
5 bar	7,33 A	87,96 W
5,5 bar	7,52 A	90,25 W

Fonte: Testes realizados pelo autor.

Para trabalhar com uma margem de segurança, e devido a fonte ser de baixa potência e baixo custo, optou-se por uma fonte conversora de 240 W, que converte de 110/220 V em corrente alternada para 12 V corrente contínua, com uma corrente de até 20 A.

A fonte chaveada tipo colmeia, modelo Hayonik FTE-1220 atende a necessidade do sistema, com uma grande margem de trabalho, evitando a sobrecarga da mesma e o superaquecimento quando utilizado em longos períodos de teste.

Figura 7 - Fonte Chaveada modelo FTE-1220



Fonte: Hayonik (2018).

O arduino, trabalha com uma tensão fixa de 12 V, e com uma corrente variando de 20 à 50 mA, na pior das hipóteses, seu trabalho será

$$p = v \cdot i$$

$$p = 12 \text{ V} \times 0,050 \text{ mA}$$

$$p = 0,6$$

A potência utilizada pelo controlador será quase nula somado com a potência da bomba, sem a necessidade da alteração da fonte, já que esta está superdimensionada para o sistema trabalhar com folga.

4.4. ATUAÇÃO DA VÁLVULA

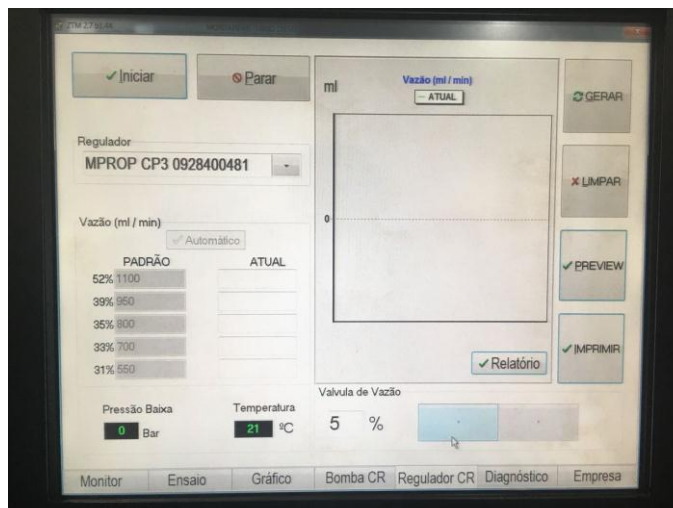
Devido a problemas na utilização específica do arduino como controlador da eletroválvula, a saída utilizada para concluir os testes necessários foi uma máquina de teste de sistemas de injeção eletrônica diesel da marca Zampar, modelo ZTD 6000CR. Por ser uma ferramenta segura, foi realizado os testes com a confiança de que a atuação da eletroválvula seria a mais correta possível.

Figura 8 - Máquina utilizada para controle da eletroválvula modelo Zampar ZTD 6000CR



Fonte: Realizado pelo autor.

Figura 9 - Interface da janela para regulagem de eletroválvulas



Fonte: Realizado pelo autor.

4.5. MONTAGEM DA BANCADA

A bancada foi montada com tubos quadrados de aço carbono, e colocado os elementos do sistema na seguinte ordem: Reservatório, bomba interna, bomba externa, válvula de alívio, eletroválvula, manômetro, vazômetro e válvula de controle.

A eletroválvula foi parafusada em um suporte feito sob medida, para que não haja problemas com vazamentos.

Cada elemento foi fixado na estrutura, ficando assim, fácil o transporte se necessário.

Figura 10 - Bancada montada com os elementos



Fonte: Realizado pelo autor.

4.6. TESTE DA ELETROVÁLVULA

A realização dos testes finais começaram verificando e corrigindo vazamentos na linha em alta pressão, o teste de estanque foi realizado com a pressão de 6 bar, que é acima da máxima utilizada para a realização dos testes. Para uma correta análise e catalogo dos dados, a linha não pode sofrer com nenhum tipo de vazamento

Em seguida, foi utilizado uma eletroválvula nova e feito todos os testes com a válvula de controle calibrada em 3 bar e posteriormente anotado os resultados.

A pressão da válvula de controle, foi então alterada para 4 bar, onde foi feito todos os testes com abertura de 1 a 100% e também anotado os resultados.

Após todos os valores de vazão em mãos, foi trocado a válvula por outra nova, para verificação e confirmação dos dados.

Na pior das hipóteses, as duas bombas mais o controlador, a potência total é de:

$$P1 + P2 + P3 = Pt$$

$$85,92 + 90,25 + 0,6 = 176,77 \text{ W}$$

Onde P1 é a potência consumida pela bomba interna, P2 é a potência consumida pela bomba externa, e P3 a potência consumida pelo arduino, todos levando em consideração a pior das hipóteses.

Valor de potência inferior à potência disponível pela fonte, deixando uma considerável folga de trabalho para a fonte.

4.7. TESTE DE VAZÃO COM DIFERENTES TEMPERATURAS

Com a bancada pronta e funcionando, e os testes salvos, foram então realizados testes em outras temperaturas para verificar se há alteração do resultado, tanto para mais quanto para menos.

As medições foram realizadas com um multímetro da Icel, modelo MD6130, medindo a temperatura através de um sensor NTC.

Figura 11 - Multímetro modelo Icel MD6130 e sensor NTC na ponta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores foram exatamente os mesmos tanto com o diesel frio, em temperatura ambiente, quanto quente, após ser elevado a 50°C, portanto é indiferente em qual temperatura será realizado futuros testes.

4.8. VALORES FINAIS DOS TESTES

Após realizar os testes, foi atingido os seguintes resultados:

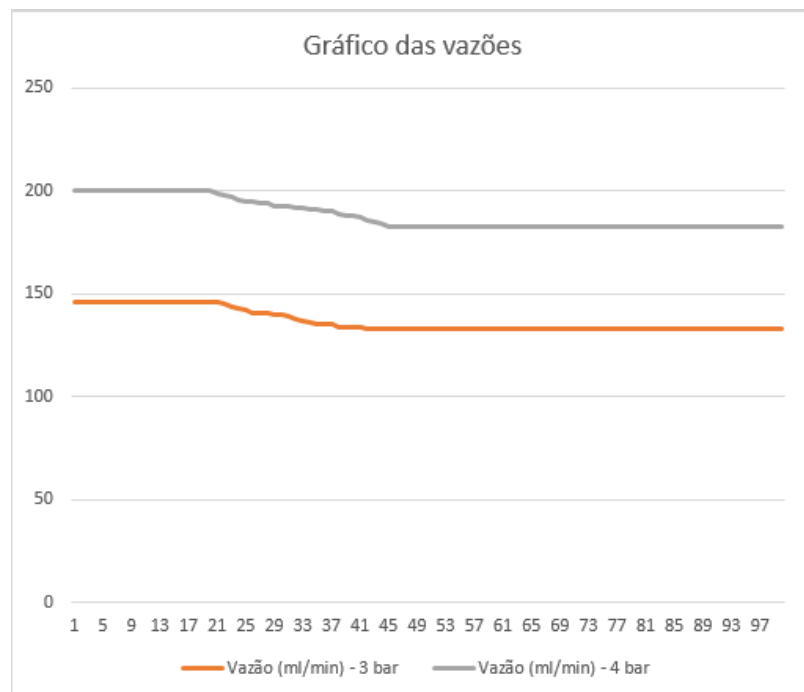
Tabela 5 - Valores finais dos testes de vazão

Abertura (%)	Vazão (ml/min) - 3 bar	Vazão (ml/min) - 4 bar	Abertura (%)	Vazão (ml/min) - 3 bar	Vazão (ml/min) - 4 bar
1	146	200	51	133	183
2	146	200	52	133	183
3	146	200	53	133	183
4	146	200	54	133	183
5	146	200	55	133	183
6	146	200	56	133	183
7	146	200	57	133	183
8	146	200	58	133	183
9	146	200	59	133	183
10	146	200	60	133	183
11	146	200	61	133	183
12	146	200	62	133	183
13	146	200	63	133	183
14	146	200	64	133	183
15	146	200	65	133	183
16	146	200	66	133	183
17	146	200	67	133	183
18	146	200	68	133	183
19	146	200	69	133	183
20	146	200	70	133	183
21	146	199	71	133	183
22	145	198	72	133	183
23	144	197	73	133	183
24	143	196	74	133	183
25	142	195	75	133	183
26	141	195	76	133	183
27	141	194	77	133	183
28	141	194	78	133	183
29	140	193	79	133	183
30	140	193	80	133	183
31	139	193	81	133	183
32	138	192	82	133	183
33	137	192	83	133	183
34	136	191	84	133	183
35	135	191	85	133	183
36	135	190	86	133	183
37	135	190	87	133	183
38	134	189	88	133	183
39	134	188	89	133	183
40	134	188	90	133	183
41	134	187	91	133	183

Abertura (%)	Vazão (ml/min) - 3 bar	Vazão (ml/min) - 4 bar	Abertura (%)	Vazão (ml/min) - 3 bar	Vazão (ml/min) - 4 bar
42	133	186	92	133	183
43	133	185	93	133	183
44	133	184	94	133	183
45	133	183	95	133	183
46	133	183	96	133	183
47	133	183	97	133	183
48	133	183	98	133	183
49	133	183	99	133	183
50	133	183	100	133	183

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Gráfico das vazões em 3 e 4 bar



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como é possível identificar, a principal faixa de atuação da válvula ocorre entre 20% à 45% aproximadamente, sendo possível identificar principalmente nessa faixa de atuação, se uma terceira eletroválvula com suspeita de avaria está trabalhando dentro da faixa de operação.

4.9. ORÇAMENTO

Com base nos elementos utilizados para a realização da medição, foram encontrados os seguintes valores para a montagem do sistema, levando em

consideração que alguns valores podem sofrer pequenas variações de acordo com a cotação realizada, como diferentes fornecedores.

Tabela 6 - Orçamento dos elementos para montagem

Elemento	Modelo	Quantidade	Custo
Bomba Interna	Delphi FE10134	1 Pc	R\$350,00
Bomba Externa	Bosch 0 580 464 089	1 Pc	R\$600,00
Válvula de alívio	DS 1191A	1 Pc	R\$75,00
Suporte eletroválvula	Fabricado	1 Pc	R\$50,00
Manômetro e Vazômetro	Planatc TVPA4500/13	1 Pc	R\$501,75
Válvula de controle	DS 1150A	1 Pc	R\$60,00
Mangueiras	Tecalon e Silicone	2 Mts	R\$30,00
Fios e chicotes	Diversos	2 Mts	R\$20,00
Fonte	Hayonik FTE-1220	1 Pc	R\$130,00
Arduíno	UNO R3	1 Pc	R\$35,00
Estrutura	Aço 1020 15x30mm	2 Mts	R\$25,00

Total

R\$1.876,75

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.10. CUSTO-BENEFÍCIO

Um sistema completo, que realize os testes em eletroválvulas pode ser inviável para alguns tipos de serviços devido ao alto custo, no caso de uma oficina mecânica especializada em injeção eletrônica diesel, não é, pois ela testa não só determinado tipo de eletroválvula, mas também diversos tipos de bicos e bombas injetoras, unidades injetoras, e até outros modelos de eletroválvulas mais específicos, pois acompanha todo o aparato de flanges de válvulas, e valores pré calibrados para todas elas. No caso da máquina utilizada neste trabalho para controlar a eletroválvula, uma Zampar ZTD 6000CR, não é possível saber o valor real dela hoje pois saiu de linha para entrada de outra ainda mais moderna, porém quando ela foi adquirida em meados de 2011, seu valor foi de pouco mais de cento e cinquenta mil reais, hoje, o

valor seria ainda maior por ter sido melhorada e atualizada, sem contar diferenças por inflação.

A bancada montada para realizar o teste na eletroválvula, foi proposto como uma forma de saber se a eletroválvula está ou não atuando, porém com uma precisão inferior à um sistema de grande porte comercializado por grandes empresas, então se o objetivo é saber se funciona ou não, o sistema atende.

5. CONCLUSÃO

5.1. VIABILIDADE

De acordo com os dados coletados e os testes realizados, chega-se a conclusão de que o sistema atende a proposta a que foi iniciada. O principal objetivo era saber se era possível realizar o teste na eletroválvula com ferramentas de fácil acesso, e a um custo relativamente baixo, após os dados catalogados, fica claro que com um baixo investimento, é possível saber se a eletroválvula está ou não trabalhando de acordo com as especificações técnicas catalogadas com eletroválvulas novas. Assim, mesmo com o conhecimento de que o sistema possui um nível de precisão inferior aos grandes sistemas oferecidos no mercado, ele serve como uma alternativa para quem não pode adquirir uma máquina de grande porte.

Fica claro também que quanto mais precisão se quer ter nos testes, maior o investimento aplicado no processo, assim como realizar os testes com uma bomba de grande vazão, e manômetros e vazômetros proporcionalmente melhores e mais precisos, os resultados coletados poderão contar com um nível de detalhamento superior, e assim consequentemente, seu custo para o funcionamento. Então, quanto maior o nível de precisão, maior o custo.

Este tipo de sistema tem grande importância pois propõe resolver um problema, mesmo que com menos precisão, o sistema consegue atender as necessidades reais do mercado de trabalho, retirando uma dúvida existente de que a eletroválvula pode ser a responsável pelo problema ocasionado no veículo, possibilitando um teste rápido nela ao invés da simples troca, o que diminui o custo do serviço prestado pela empresa, que elimina a necessidade de ter em estoque eletroválvulas para poder prestar o serviço com rapidez.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar os experimentos deste trabalho com uma bomba de alta vazão, para maior precisão nos resultados coletados.

Dimensionar um sistema para teste de uma eletroválvula diesel com malha fechada.

Dimensionar um sistema para teste de modulador de vácuo para controle de turbocompressor.

Propor um controle para realizar os testes deste trabalho utilizando um arduíno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOLTON. W. **Engenharia de controle** / Bolton W. ; tradução Valcere Veira Rocha e Silva ; revisão técnica Antonio Pertence Júnior. – São Paulo : Makron Books, 1995

BOMBAS DE COMBUSTÍVEIS, COMPONENTES E VÁLVULAS DE INJEÇÃO. Disponível em: <<http://vdm.com.br/v1/wp-content/uploads/2013/11/BOSCH-INJECAO.pdf>>. Acessado em: 26 jun. 2018.

BRUNETTI. F. **Motores de Combustão Interna**: volume 1 / Franco Brunetti. – São Paulo: Blucher, 2012.

BRUNETTI. F. **Motores de Combustão Interna**: volume 2 / Franco Brunetti. – São Paulo: Blucher, 2012.

CARVALHO. R. M. **Princípios de comunicação**: 3ª Edição / Rogerio Muniz Carvalho – Vitória – ES: Impresso na Gráfica Túlio Samorini, 2003

DORF, R.C.; SVOBODA, J.A. **Introdução aos circuitos elétricos**: 8ª Edição – Rio de Janeiro: LTC, 2012

FONTE COLMÉIA 20ª BIVOLT CHAVEADA FTE-1220 HAYONIK. Disponível em: <<https://www.hayonik.com/fonte-colmeia-20a-bivolt-chaveada-fte-1220-hayonik>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

MACINTYRE. A. J. **Bombas e instalações de bombeamento**: 2ª Edição / Archibald Joseph Macintyre; coordenador editorial Julio Niskier. – 2.ed. ver., reimpr. – Rio de Janeiro: LTC, 2008

NEPOMUCENO. L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**: Volume 1 / Lauro Xavier Nepomuceno – São Paulo: Edgard Blucher, 2008

PWM – MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO. Disponível em: <http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e_pwm>. Acesso em: 26 jun. 2018.

TELLES. P. C. S. **Tubulações industriais**: Materiais, Projeto, Montagem: 10ª Edição – reimpr. Rio de Janeiro : LTC, 2008