

RODRIGO OLIVEIRA TELINI

**MODELAGEM E ANÁLISE DE UMA VÁLVULA PILOTO NO AEROPORTO
INTERNACIONAL DE GUARULHOS**

RODRIGO OLIVEIRA TELINI

MODELAGEM E ANÁLISE DE UMA VÁLVULA PILOTO NO AEROPORTO
INTERNACIONAL DE GUARULHOS

Trabalho de Graduação
apresentado ao Conselho de Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica da
Faculdade de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista,
como parte dos requisitos para obtenção do
diploma de Graduação em Engenharia
Mecânica.

Orientador (a): Professor Dr. Fernando de
Azevedo Silva

Guaratinguetá – SP
2016

T272m	Telini, Rodrigo Oliveira Modelagem e análise de uma válvula piloto no aeroporto internacional de Guarulhos / Rodrigo Oliveira Telini – Guaratinguetá, 2016. 55 f : il. Bibliografia: f. 54-55 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva 1. Válvulas 2. Projeto auxiliado por computador 3. Confiabilidade (Engenharia) I. Título CDU 621.646.2
-------	---

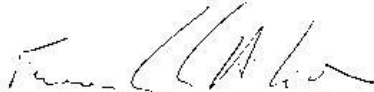
RODRIGO OLIVEIRA TELINI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. FERNANDO DE AZEVEDO SILVA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. ERICK SIQUEIRA EUDI
UNESP-FEG


Prof. Dr. ÂNGELO CAPORALLI FILHO
UNESP-FEG

Dezembro de 2016

DADOS CURRICULARES

RODRIGO OLIVEIRA TELINI

NASCIMENTO: 22.07.1994 – São Paulo/SP

FILIAÇÃO: Reginaldo Telini
Marta Andrea Oliveira Telini

2012/2016 Curso de Graduação
Engenharia Mecânica – UNESP Guaratinguetá

2013/2016 Projeto BAJA SAE
Equipe Piratas do Vale BAJA SAE

2016 Estágio supervisionado
Raízen Combustíveis S. A. – Guarulhos/SP

Aos meus pais Marta Andrea e Reginaldo e ao meu irmão Gabriel, pelo apoio e compreensão em todas as fases que passei para chegar neste momento.

AGRADECIMENTOS

Gostaria, em primeiro lugar, de agradecer a Deus por me dar a oportunidade de realizar o sonho de cursar engenharia e aos meus pais e familiares por sempre me apoiarem, estarem comigo nos momentos mais complicados e fazer desse sonho uma realidade.

À Equipe Piratas do Vale BAJA SAE, lugar onde pude conviver com pessoas incríveis, especiais e motivadas a fazer aquilo que mais gostamos de fazer. Nesse momento eu me lembro de todas as dificuldades enfrentadas, dos dias e noites em que foi necessário trabalhar para fazermos com que um projeto criasse forma e se tornasse realidade e, digo que sem isso eu não seria a pessoa e profissional que hoje eu me tornei. Sem sombra de dúvida será algo inesquecível para mim.

Aos professores com os quais eu tive o privilégio de me desenvolver e buscar dar o meu melhor a cada dia para poder conseguir tirar o máximo de aprendizado possível, em especial ao meu orientador professor Dr. Fernando de Azevedo Silva, com quem tive a oportunidade de desenvolver o presente trabalho e seguir seus conselhos e orientações para que pudesse, enfim, realizar o meu grande sonho. Agradeço também ao professor Dr. Ângelo Caporalli Filho, com quem tive a oportunidade de passar metade da minha graduação ouvindo conselhos e aprendendo muito nos anos em que participei da Equipe Piratas do Vale BAJA SAE.

À Raízen Combustíveis S.A., que me possibilitou trabalhar no CCAIG, onde tive a oportunidade de conhecer sobre o funcionamento do aeroporto e dos equipamentos utilizados para esse trabalho.

Por fim, a todos os meus colegas, amigos e agora companheiros de profissão, que me ajudaram nessa longa caminhada e que sabem como foi difícil chegar aonde chegamos. Por todos os momentos em que estudamos juntos, e por todos os bons momentos que tivemos ao longo desses anos de graduação, muito obrigado!

“Se vi mais longe, foi por estar de
pé sobre ombros de gigantes.”

-Isaac Newton

TELINI, R. O. **Modelagem e análise de uma válvula piloto no Aeroporto Internacional de Guarulhos**. 2016. Trabalho de Graduação - Graduação em Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a modelagem e análise quanto ao critério de falha estática de uma válvula piloto utilizada em uma válvula controladora de pressão, de acordo com as condições apresentadas no Aeroporto Internacional de Guarulhos e também de acordo com as condições máximas descritas em seu manual de instruções. Para tanto, foi descrito e explicado o seu funcionamento e as necessidades do Aeroporto, sendo mostrada a sua importância para a manutenção e funcionamento do bombeio de querosene aviação no Aeroporto. Em seguida, foi explicado como foram obtidas as dimensões da válvula piloto, bem como o processo relativo à modelagem dos componentes no software CAD Solidworks®, além das condições de carregamento e suportes de fixação utilizados no software de CAE Ansys®, para que as situações que normalmente ocorressem em campo pudessem ser bem representadas no presente trabalho. Assim, realizou-se um estudo para verificar o valor da tensão equivalente de von Mises na válvula piloto e, por fim, seu coeficiente de segurança para o critério de falha estática.

PALAVRAS-CHAVE: Válvula Piloto. Válvula Controladora de Pressão. CAD. CAE. Solidworks®. Ansys®.

TELINI, R. O. **Modeling and analysis of a pilot valve at International Guarulhos Airport.** 2016. Graduate Work – Graduate in Mechanical Engineering - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

This work aims at the modeling and analysis using the static failure criteria in a pilot valve used in a pressure control valve, according to the real conditions that occurs at the Guarulhos International Airport and according with the maximum condition described in the instruction manual of the pilot valve. Therefore, it was described and explained how does the pilot valve works and the Airport needs, being shown its importance for the maintenance and operation of the pumping of aviation kerosene at the Airport. Then, it was explained how the dimensions of the pilot valve were obtained, as well as the process of modeling of its components using the CAD software Solidworks®, besides the loading conditions and clamping support used in the CAE software Ansys®, in order that the situation that usually occur may be well represented in this work. Thus, a study was carried out to verify the value of the von Mises equivalent stress at the pilot valve and, finally, its safety coefficient for static failure criteria.

KEYWORDS: Pilot Valve. Pressure Control Valve. CAD. CAE. Solidworks®. Ansys®.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CAE	Computer Aided Engineering (Engenharia Assistida por Computador)
CTA	Caminhão Tanque Abastecedor
CCAIG	Central de Combustível do Aeroporto Internacional de Guarulhos
CG	Centro de Gravidade
FEA	Finite Element Analysis (Análise por Elementos Finitos)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador)

LISTA DE SÍMBOLOS

U	Energia de deformação total	MPa
U_h	Energia de deformação hidrostática	MPa
U_d	Energia de deformação por distorção	MPa
σ'	Tensão equivalente de von Mises	MPa
σ_x	Tensão normal na direção x	MPa
σ_y	Tensão normal na direção y	MPa
σ_z	Tensão normal na direção z	MPa
τ_{xy}	Tensão de cisalhamento no plano xy	MPa
τ_{xz}	Tensão de cisalhamento no plano xz	MPa
τ_{yz}	Tensão de cisalhamento no plano yz	MPa
N	Coefficiente de Segurança	
E	Módulo de elasticidade	GPa
S_y	Tensão normal de escoamento	MPa
S_{ut}	Máxima resistência à tração	MPa
ν	Coefficiente de Poisson	
ρ	Densidade	g/cm ³

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Aeroporto Internacional de Guarulhos – Vista aérea.....	15
Figura 2 - Caminhão Tanque Abastecedor (CTA).	16
Figura 3 - Abastecimento de aeronave utilizando caminhão servidor (1).....	17
Figura 4 - Abastecimento de aeronave utilizando caminhão servidor (2).	17
Figura 5 - Rede de queroduto do Aeroporto Internacional de Guarulhos: linhas antigas (em vermelho), linhas novas (em verde), interligações entre as linhas (em azul) e caixas de válvulas (quadrados representados sobre as linhas).	19
Figura 6 - Construção da nova linha do queroduto para atender ao Terminal 3.	19
Figura 7 - Central de Combustíveis do Aeroporto Internacional de Guarulhos (CCAIG).	20
Figura 8 - Válvula piloto (à esquerda) e válvula controladora de pressão (à direita) montadas na linha de bombeio de combustível que volta para o tanque.	21
Figura 9 - Esquema de bombeio utilizado no Aeroporto Internacional de Guarulhos.	21
Figura 10 - Válvula controladora de pressão em corte e sua lista de componentes.	22
Figura 11 - Lista de componentes e vista em corte da válvula piloto.	23
Figura 12 - Montagem à jusante da válvula piloto com a válvula controladora de pressão.	24
Figura 13 - Montagem à montante da válvula piloto com a válvula controladora de pressão.	24
Figura 14 – Esquematização de uma válvula piloto e uma válvula principal.	28
Figura 15 - Esquema de funcionamento de uma válvula controladora de pressão operada por piloto.	29
Figura 16 - Exemplos de softwares de CAD.	31
Figura 17 - Exemplos de softwares de CAE.	33
Figura 18 - Montagem da válvula piloto utilizando Solidworks® renderizada.	39
Figura 19 - Vista em seção da válvula piloto renderizada (1).	39
Figura 20 - Vista em seção da válvula piloto renderizada (2).	40
Figura 21 - Vista explodida da válvula piloto.	40
Figura 22 – Geometria da válvula piloto utilizada no software Ansys®.	42
Figura 23 - Malha obtida no Ansys® com elementos de 4 mm.	43
Figura 24 - Carregamento utilizado para cargas nas condições do CCAIG.	44
Figura 25 - Deformação total sob as condições de carga do CCAIG.	44
Figura 26 - Tensão equivalente de von Mises para a condição de carga do CCAIG.	45
Figura 27 - Carregamento utilizado para cargas nas condições máximas descritas em manual.	46

Figura 28 - Deformação total sob as condições de carga máxima descritas em manual.....	46
Figura 29 - Tensão equivalente de von Mises para a condição de carga máxima descrita em manual.	47
Figura 30 - Tensão de von Mises na haste e sob o carregamento máximo descrito no manual.	49
Figura 31 - Tensões de von Mises no obturador sob o carregamento máximo descrito no manual e com os outros componentes ocultos.....	50
Figura 32 - Tensões de von Mises no regulador sob o carregamento máximo descrito em manual, com os outros componentes ocultos.	51
Figura 33 - Tensões de von Mises utilizando uma carga de 3,45 MPa e pré-carga de 3,40 MPa.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Volumes Usuais de Tanques em CTA's.	18
Tabela 2 - Materiais utilizados na simulação e suas propriedades.	41
Tabela 3 - Análise da influência do carregamento sobre o ponto de máxima tensão von Mises na válvula, com a pré carga constante de 1,03 MPa (150 psi).	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	15
1.2	OBJETIVO	25
1.3	MOTIVAÇÃO	25
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1	VÁLVULAS	27
2.1.1	Válvulas controladoras de pressão	27
2.1.2	Semelhanças e diferenças com a situação a ser estudada	29
2.2	PROJETO DE COMPONENTES MECÂNICOS UTILIZANDO O COMPUTADOR.....	30
2.2.1	Software CAD.....	30
2.2.2	Software CAE	33
2.2.3	Importância da utilização dessas ferramentas	34
2.3	TEORIA DE FALHAS ESTÁTICAS	34
2.3.1	Teoria da energia de distorção de von Mises-Hencky	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5	CONCLUSÕES	53
	<u>REFERÊNCIAS</u>	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Aeroporto Internacional de Guarulhos, mostrado na figura 1, é conhecido por ser um dos maiores aeroportos do Brasil, com 14 km² de área e movimentação de quase 40 milhões de pessoas em 2015 (AEROPORTO, 2016). Nele, aeronaves operam 24 horas por dia e 7 dias por semana, sendo necessário um controle eficiente em todos os setores no que se refere ao atendimento de aeronaves, companhias aéreas e passageiros.

Figura 1- Aeroporto Internacional de Guarulhos – Vista aérea.



Fonte: Wikipédia¹.

Dessa forma, o sistema de abastecimento do aeroporto foi dimensionado de forma a atender a todos os pátios e aeronaves do aeroporto da maneira mais eficiente possível.

Em Guarulhos, existem duas maneiras de se realizar o abastecimento: Através de um CTA, mostrado na figura 2, ou através de um caminhão servidor, conforme as figuras 3 e 4. No abastecimento com CTA, este é carregado com o combustível em um posto próximo aos pátios do aeroporto. Quando solicitado o abastecimento, o CTA se dirige até a posição da aeronave e o realiza com o combustível armazenado em seu tanque. Já o abastecimento

¹ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_Internacional_de_S%C3%A3o_Paulo-Guarulhos#cite_ref-MOVIMENTO_2-1> Acesso em 13 dez 2016.

utilizando o caminhão servidor é caracterizado por utilizar o caminhão como um meio de ligação entre a aeronave e o ponto de abastecimento, que é um hidrante localizado no solo e que está ligado a um queroduto, uma rede de tubulação por onde passa querosene pressurizado. A principal diferença entre os dois tipos citados anteriormente está relacionada à capacidade de abastecimento: enquanto que o CTA está limitado pelo volume de seu tanque, o caminhão servidor pode abastecer volumes elevados comparado ao CTA, visto que ele é utilizado apenas como intermediário na operação de abastecimento. Os volumes mais usuais utilizados em CTA's são mostrados na tabela 1.

Figura 2 - Caminhão Tanque Abastecedor (CTA).



Fonte: Informativo dos Portos².

² Disponível em: <<http://www.informativodosportos.com.br/arxo-ingressa-no-mercado-de-fabricacao-de-caminhoes-tanques-de-abastecimento-de-aeronaves/>>, acesso em 13 dez 2016.

Figura 3 - Abastecimento de aeronave utilizando caminhão servidor (1).



Fonte: Wikipédia³.

Figura 4 - Abastecimento de aeronave utilizando caminhão servidor (2).



Fonte: Skyscrapercity⁴.

³ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Combust%C3%ADvel_para_avia%C3%A7%C3%A3o>, acesso em 13 dez 2016.

⁴ Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1187305>>, acesso em 13 dez 2016.

Tabela 1- Volumes Usuais de Tanques em CTA's.

Volumes dos Tanques (m³)
5
13
20
40

Fonte: CCAIG.

Assim, para o caso do aeroporto de Guarulhos, onde pousam e decolam aeronaves de diferentes tipos e tamanhos, uma ampla rede de hidrantes é importante para a agilidade no abastecimento e também para evitar que vários CTA's se desloquem para abastecer uma aeronave de grande porte.

Para que o uso de caminhões servidores seja viável, é muito comum em grandes aeroportos a utilização de uma rede de tubulação pela qual possa ser transportado o produto para os hidrantes localizados nos pátios de aeronaves. Esta rede, usualmente chamada de queroduto devido à passagem de querosene em seu interior, possui, no Aeroporto Internacional de Guarulhos, cerca de 19 km de tubulação enterrada e atua enviando combustível pressurizado para as posições de abastecimento. Através da figura 5, pode-se observar a extensão e a localização das linhas ao longo do aeroporto, sendo as linhas vermelhas compostas de tubulação antiga e as linhas verdes de tubulação mais recente, construída na ampliação da rede de queroduto para atender ao novo Terminal 3 e uma etapa de sua fase de obra mostrada na figura 6. Linhas em azul claro mostram as interligações entre as linhas novas e antigas. Os quadrados localizados em cima de alguns pontos do queroduto representam caixas de válvulas, que são responsáveis pelo controle do fluxo de combustível que vai para um determinado pátio de aeronaves. Caso seja necessário, o fechamento de duas válvulas em caixas próximas, seguindo a linha do queroduto, poderá cessar o fluxo de combustível para uma parte do pátio, como por exemplo, no terminal 3, localizado à direita na imagem. O fechamento das caixas “K”, localizada na parte superior da figura e próxima do terminal, e “KM”, localizada próximo à pista, irá resultar na cessão de fluxo de combustível do lado direito do pátio do terminal 3.

Figura 5 - Rede de queroduto do Aeroporto Internacional de Guarulhos: linhas antigas (em vermelho), linhas novas (em verde), interligações entre as linhas (em azul) e caixas de válvulas (quadrados representados sobre as linhas).



Fonte: CCAIG.

Figura 6 - Construção da nova linha do queroduto para atender ao Terminal 3.



Fonte:CCAIG.

Antes do queroduto, existe um local do aeroporto responsável por recepcionar, armazenar, controlar a qualidade e bombear o produto para as posições de abastecimento chamado CCAIG, mostrado na figura 7. Neste local, o querosene vem de refinarias por meio de tubulações, sob alta pressão, e é armazenado em tanques, que estão conectados a um parque de bombas, que realiza o bombeio de combustível para as posições de acordo com a demanda.

Figura 7 - Central de Combustíveis do Aeroporto Internacional de Guarulhos (CCAIG).



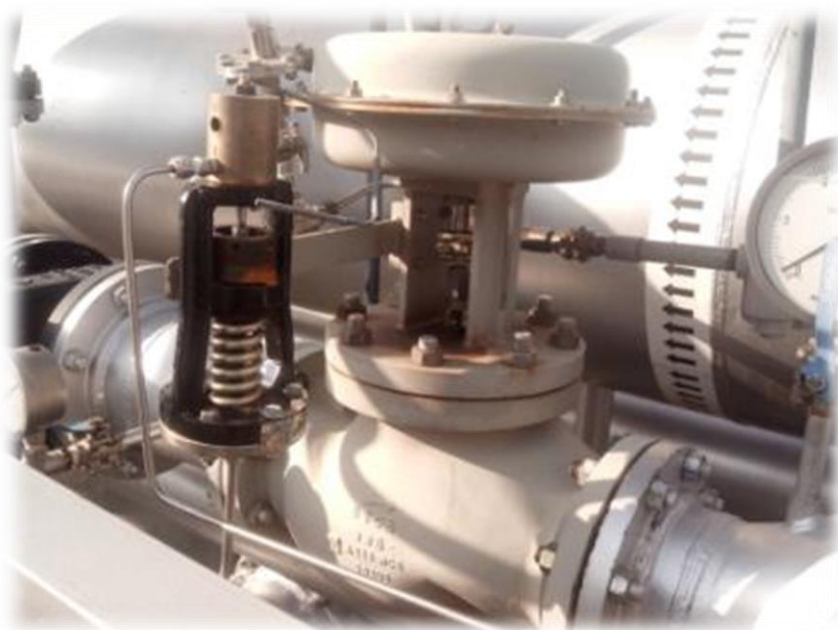
Fonte: CCAIG.

No parque de bombas, existe um mecanismo que se encontra após a passagem do combustível pela bomba e que tem como função principal o controle da pressão no combustível que deve retornar ao tanque, visto que isso ocorre de acordo com a demanda nos pátios.

O mecanismo é composto por uma válvula piloto ou válvula secundária e uma válvula controladora de pressão ou válvula principal, que atuam simultaneamente para que a pressão do combustível que retorna ao tanque se mantenha em 14 psi. A pressão de entrada na válvula principal é a mesma pressão do combustível que chega aos pátios do aeroporto, 150 psi. Variações nesse valor de pressão são comuns, pois costumam ocorrer golpes de ariete provenientes de acoplamentos e desacoplamentos das mangueiras nos pontos de

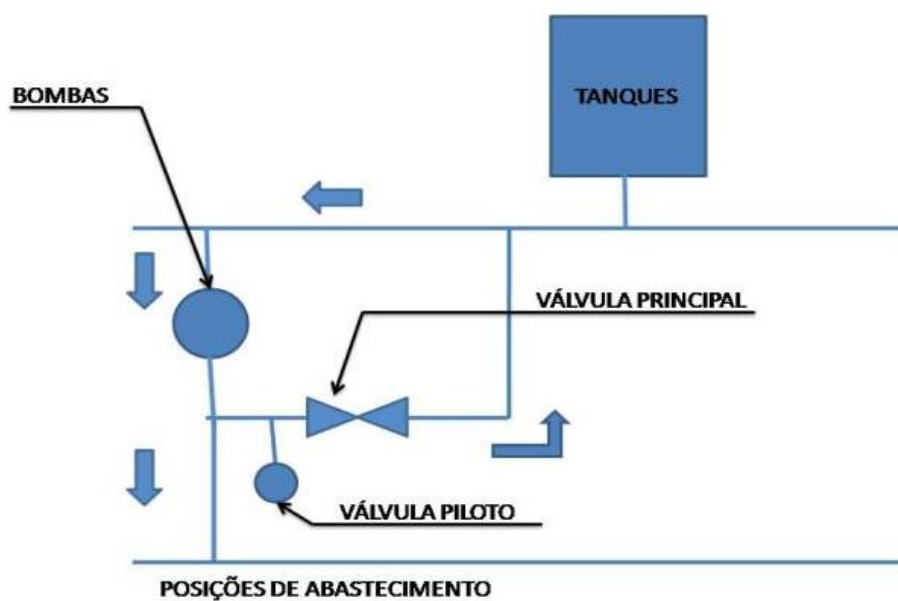
abastecimento e aeronaves. As duas válvulas são mostradas na figura 8 e o esquema de bombeio no aeroporto é mostrado na figura 9.

Figura 8 - Válvula piloto (à esquerda) e válvula controladora de pressão (à direita) montadas na linha de bombeio de combustível que volta para o tanque.



Fonte: Autor.

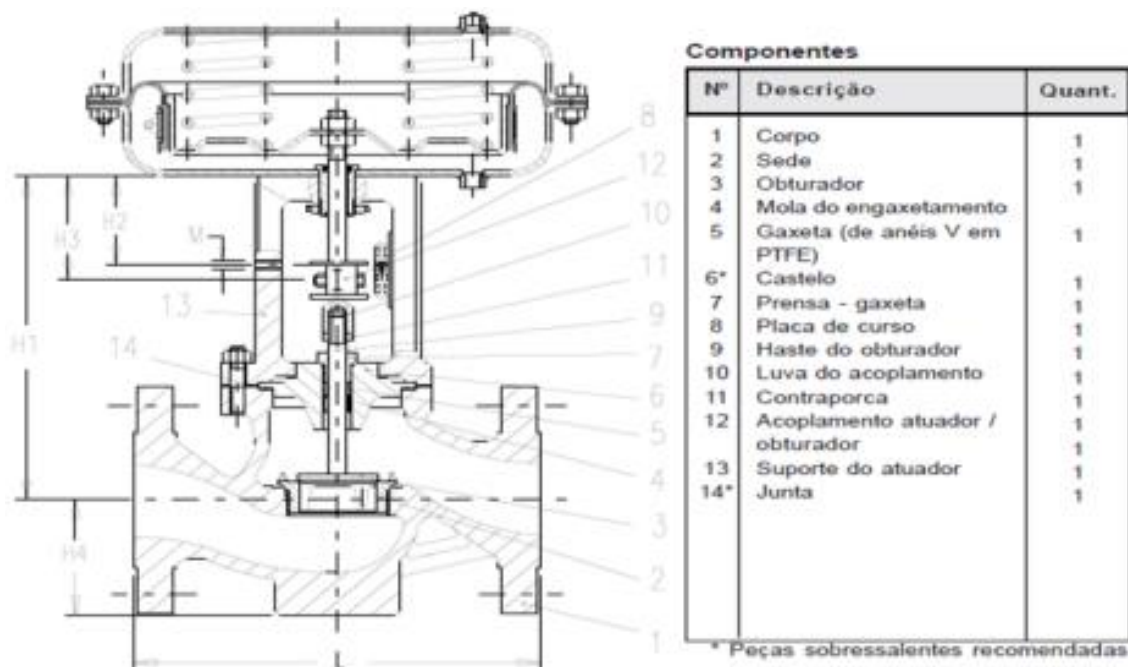
Figura 9 - Esquema de bombeio utilizado no Aeroporto Internacional de Guarulhos.



Fonte: Autor.

As figuras 10 e 11 mostram a válvula controladora de pressão e a válvula piloto isoladas e em corte, respectivamente.

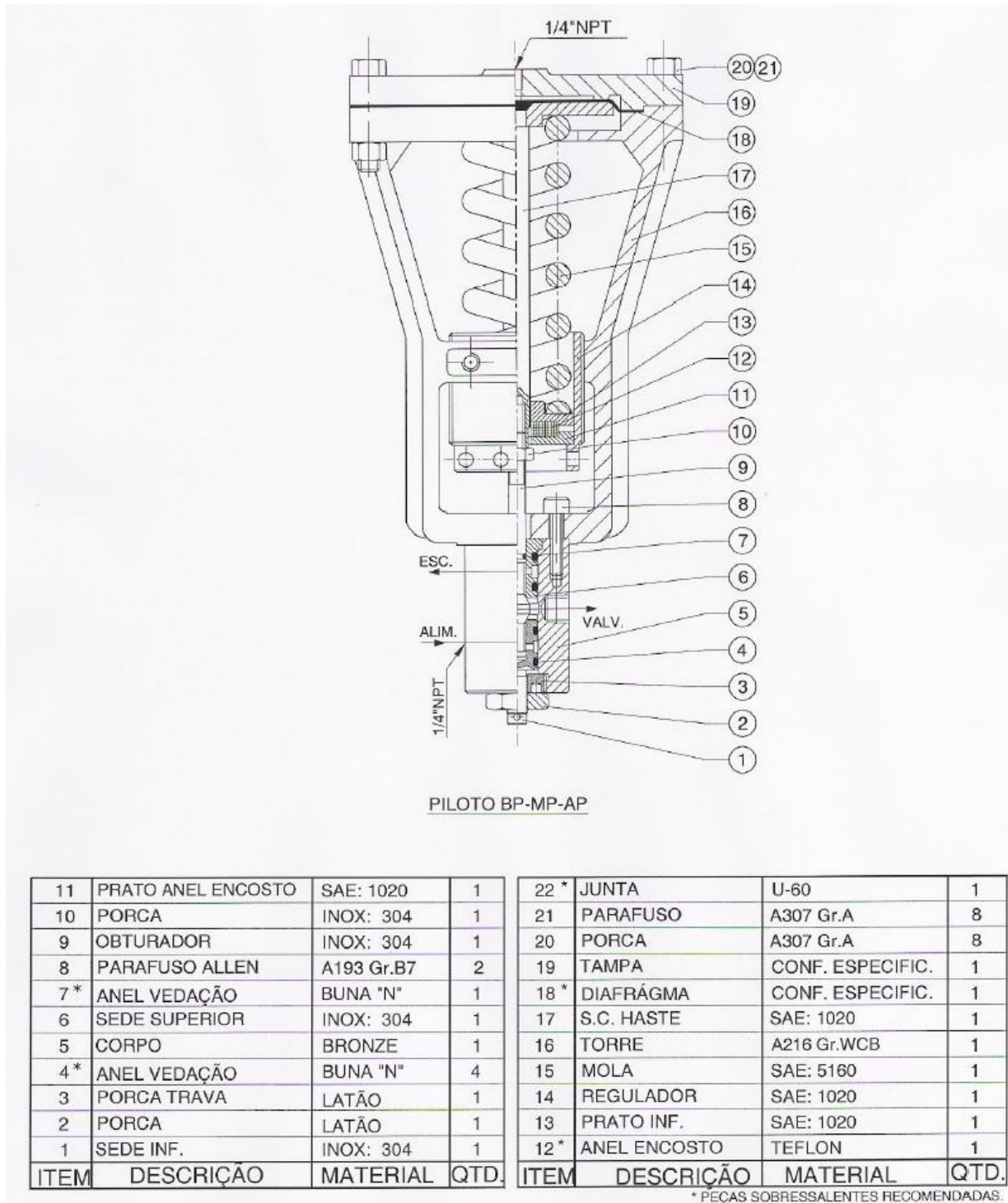
Figura 10 - Válvula controladora de pressão em corte e sua lista de componentes.



Fonte: Catálogo ASCA⁵.

⁵ Disponível em: <<http://www.asca.com.br/wp-content/uploads/2014/10/sp.pdf>> Acesso em 16 out 2016.

Figura 11 - Lista de componentes e vista em corte da válvula piloto.

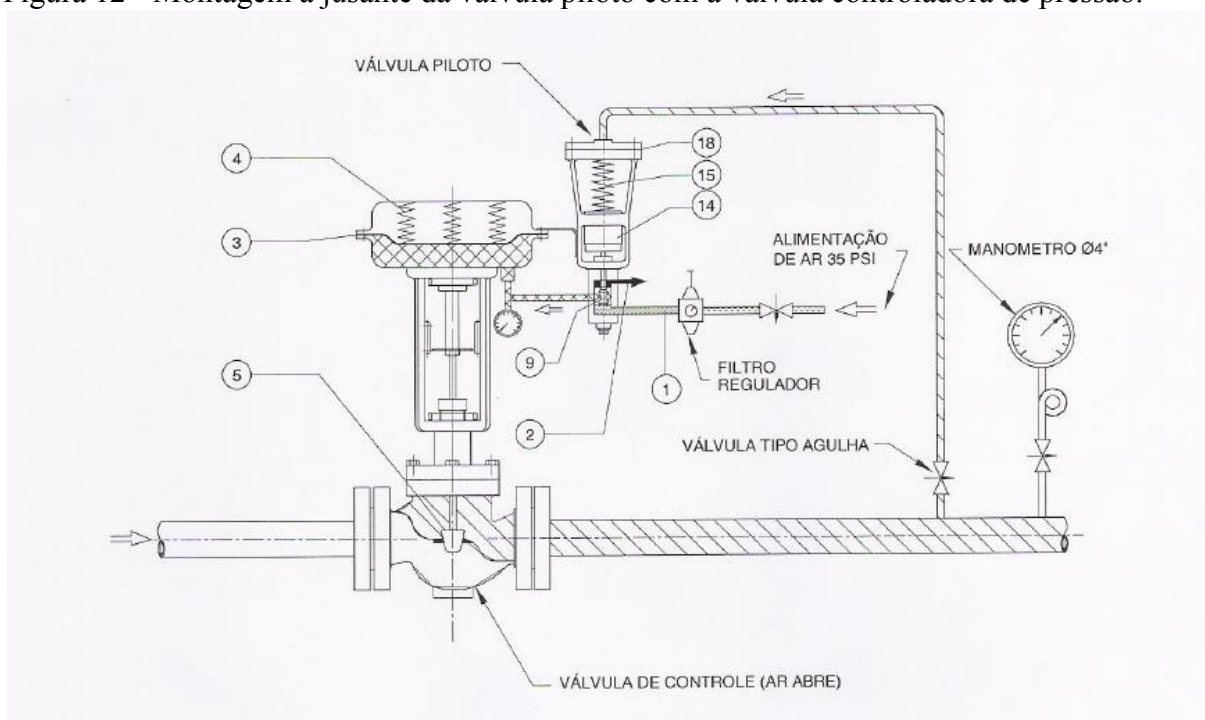


Fonte: (KINTECH).

As figuras 12 e 13 mostram, respectivamente, as duas configurações possíveis: à jusante, com a válvula piloto posicionada após a válvula controladora de pressão, atuando como um regulador do valor da pressão; e à montante, com a válvula piloto posicionada antes

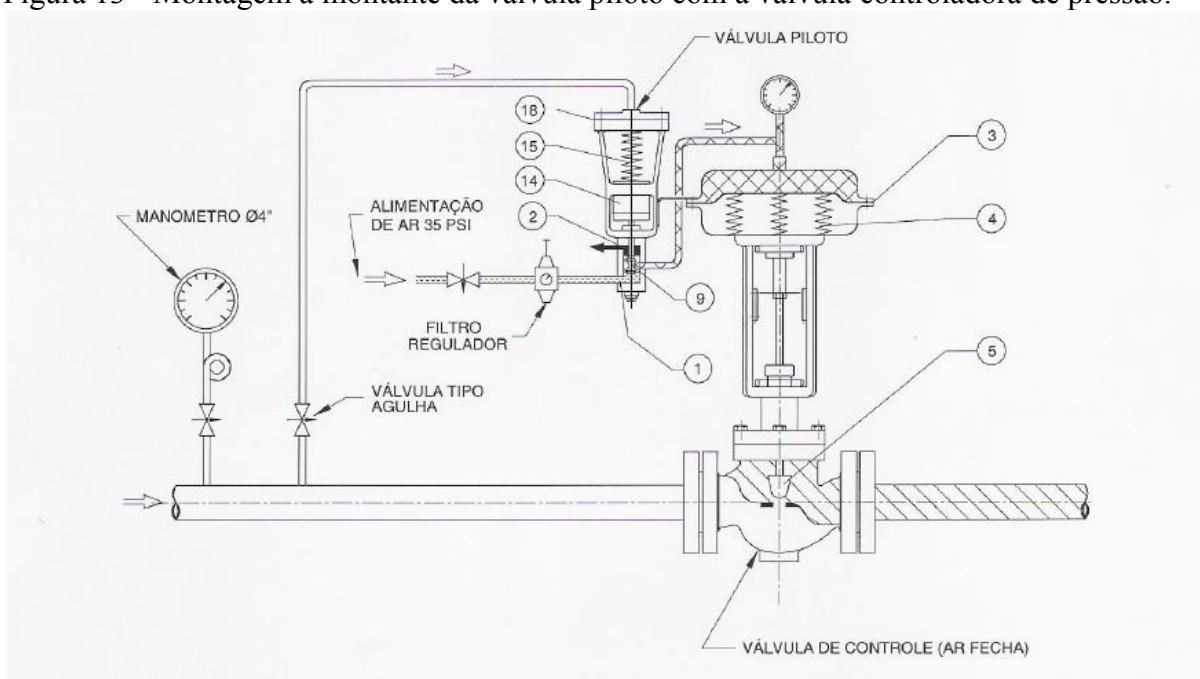
da válvula controladora de pressão, atuando como uma válvula de alívio. A configuração utilizada no CCAIG é à montante.

Figura 12 - Montagem à jusante da válvula piloto com a válvula controladora de pressão.



Fonte: (KINTECH).

Figura 13 - Montagem à montante da válvula piloto com a válvula controladora de pressão.



Fonte: (KINTECH).

De acordo com (KINTECH), o seu funcionamento para ambos os casos é bem semelhante: a pressão é controlada através de um tubo de comunicação entre a linha principal e o diafragma, que exerce uma força na válvula de acordo com a pressão ajustada na mola, contrabalanceando a pressão exercida no diafragma e consequentemente na haste em que se encontra essa mola. A pré-carga na mola é feita utilizando um regulador que se encontra acima da mola e possui rosca na torre, para que assim o usuário possa pré-estabelecer a pressão a ser controlada no diafragma. Quando este valor for ultrapassado, o diafragma exerce um movimento na haste e, por conseguinte, no obturador, de tal forma que este obstrua a saída de dreno de ar comprimido, localizada no corpo, e desobstrua a saída que liga a válvula piloto ao diafragma da válvula controladora de pressão, o que faz com que as molas localizadas nessa outra válvula saiam da posição de equilíbrio, fechando, assim, a passagem na válvula principal e diminuindo a pressão ao valor ajustado na mola da válvula piloto, que para de atuar assim que a pressão pré-definida for atingida.

Ainda de acordo com (KINTECH), a faixa de pressão à qual a válvula piloto pode ser submetida está entre 2 psig a 500 psig.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o de modelar, utilizando-se de recursos de software de CAD, a válvula piloto e simular suas condições de uso utilizando software CAE, para que se pudesse verificar o valor dos coeficientes de segurança nas peças críticas para as condições máximas de carga e para as condições de uso no CCAIG, uma vez que essa válvula tende a não falhar sob condições normais de carga.

1.3 MOTIVAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido com a finalidade de se estudar e aprender sobre o funcionamento da válvula controladora de pressão e da válvula piloto e, além disso, aprender o processo de modelagem 3D através de um software de CAD e análise das tensões de von-Mises e do critério de falha estática via software de CAE, com a aplicação da condição real à qual a peça estava submetida, bem como da aplicação da condição máxima pré-estabelecida pelo manual.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi organizado de tal forma que, primeiramente, buscou-se fazer uma apresentação de todo o cenário no qual se encontrava o objeto em estudo e suas condições de funcionamento.

Em seguida, foi realizada uma breve revisão da teoria envolvida na análise realizada, sendo mostrada uma revisão sobre válvulas, além da importância de se utilizar a análise computacional na solução de problemas de engenharia, terminando com uma revisão na teoria de falha estática.

Logo após, foram descritos os detalhes e considerações utilizados desde a obtenção das medidas nas peças até a sua modelagem utilizando o software de CAD Solidworks® e sua análise quanto ao critério de falha estática com o software de CAE Ansys®.

Por fim, os resultados obtidos foram comparados com o que diz o manual do fabricante da válvula piloto com relação à sua condição de uso, sendo as conclusões relatadas logo em seguida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 VÁLVULAS

As válvulas são dispositivos que possuem como função o controle e, dependendo do caso, até a interrupção no fluxo em uma tubulação. De acordo com (RIOINOX), elas podem ser classificadas em:

- Válvulas de Bloqueio, cuja função é interromper um fluxo, trabalhando ou aberta ou fechada. Exemplos: válvula gaveta e válvula esfera;
- Válvulas de Regulagem, para controle de fluxo e sob qualquer posição de fechamento. Exemplos: Válvula globo e válvula borboleta;
- Válvulas que permitem o fluxo em um só sentido. Exemplos: válvulas de retenção e válvulas de pé;
- Válvulas que controlam a pressão de montante. Exemplos: Válvulas de segurança e alívio e válvulas de excesso de vazão;
- Válvulas que controlam a pressão à jusante. Exemplos: Válvulas redutora e reguladora de pressão.

2.1.1 Válvulas controladoras de pressão

Segundo (PARKER), essas válvulas são utilizadas com a finalidade de:

- Limitar a pressão de um sistema;
- Regular a pressão que se reduz em partes do sistema;
- Controlar operações sequenciais;
- Contrabalancear forças mecânicas externas;
- Operar em atividades que envolvem mudanças na pressão de operação.

O funcionamento delas está atrelado a um ajuste de uma mola de acordo com a pressão de trabalho. Elas podem assumir diversas posições entre totalmente fechadas e totalmente abertas. (PARKER) diz que elas podem ser acionadas diretamente em um ponto do sistema que esteja ocorrendo aumento ou diminuição de pressão, ou este ponto

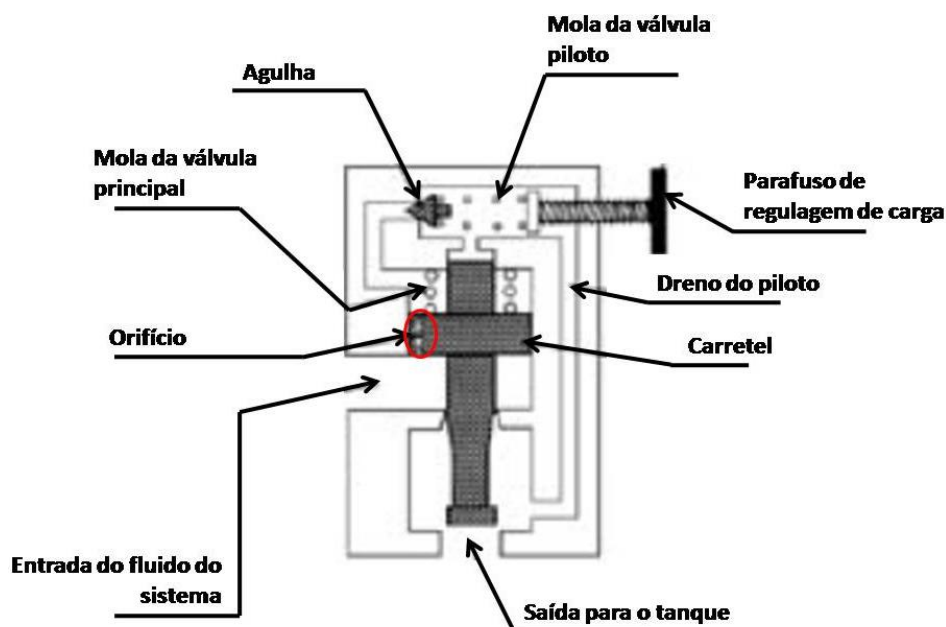
também pode estar localizado em outra parte do sistema, e a válvula ser acionada devido a alteração de pressão em outro ponto do sistema, através de uma linha secundária. No primeiro caso, diz-se que a válvula possui atuação direta e no segundo, atuação remota.

As válvulas citadas anteriormente possuem uma mola exercendo pressão sobre um carretel, o que acaba por sobrecarregar este tipo de válvulas. Para que seja diminuída essa sobrecarga, (PARKER) mostra que existem válvulas que operam através de um piloto.

Ainda de acordo com (PARKER), as válvulas que possuem o piloto são constituídas de duas partes: uma válvula principal e uma válvula secundária.

Para explicar o funcionamento das duas válvulas em conjunto, (PARKER) separou a válvula principal como um corpo composto de um orifício e mola comprimindo o carretel e a válvula piloto como um corpo composto de uma agulha, mola e parafuso de regulagem de carga, conforme mostrado na figura 14.

Figura 14 – Esquemática de uma válvula piloto e uma válvula principal.

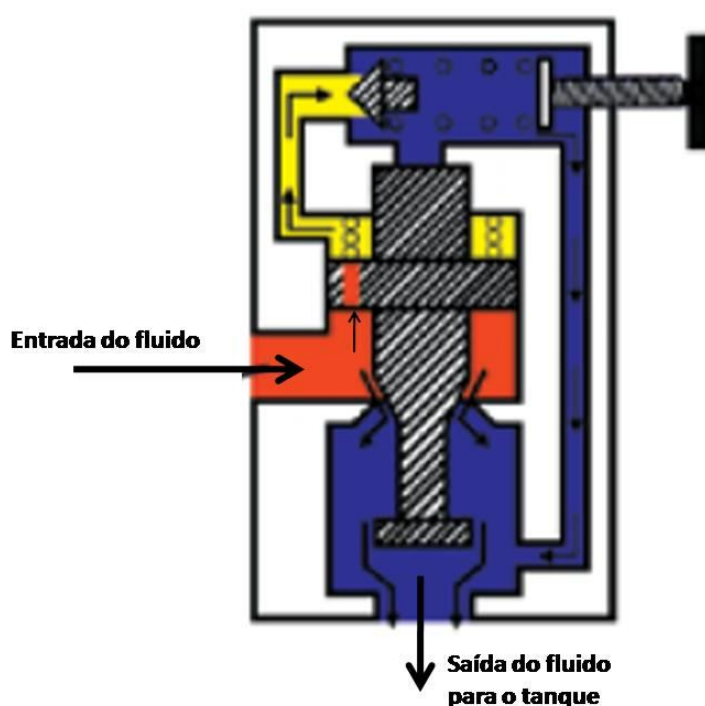


Fonte: (PARKER).

A mola da válvula piloto é regulada sob uma elevada pressão e a mola da válvula principal sob baixas pressões. Assim, de acordo com a figura 15, o fluido entra na válvula e comprime o carretel da principal e, através de um orifício no carretel, esse fluido passa até chegar à agulha, que se desloca quando a pressão regulada na mola do piloto for ultrapassada.

Com essa pressão ultrapassada, a agulha se desloca e o fluido é drenado para o tanque, mantendo a pressão regulada no sistema. O carretel da principal só sofre deslocamento quando a agulha da válvula piloto também se deslocar. Antes disso, o carretel permanece em repouso, pois o fluido que está entre o carretel e a agulha exerce uma contrapressão no carretel, mantendo-o em equilíbrio.

Figura 15 - Esquema de funcionamento de uma válvula controladora de pressão operada por piloto.



Fonte: (PARKER).

2.1.2 Semelhanças e diferenças com a situação a ser estudada

Neste último caso, pode-se observar que a válvula piloto e a válvula principal estão ligadas diretamente e que o fluido a ser controlado entrava em contato com os diversos componentes do sistema.

Para a válvula piloto utilizada no CCAIG, o que ocorre é que ela é acionada através de conexões na linha principal à montante. O fluido, que no caso é o querosene de aviação, não entra em contato com as partes que acionam a válvula principal, pois fica restrito a um flange e um diafragma, que se deforma e exerce a ação sobre a haste. Já o fluido que atua

junto com as molas da válvula principal, neste caso, é o ar, que regula o orifício de passagem do combustível de acordo com a diferença de pressão da pré-carga e da linha, conforme explicado na seção 1.2. Assim, observa-se que na situação de exemplo, a válvula se encontra fechada e atua como uma reguladora de pressão, e na situação do CCAIG, ela se encontra aberta e atua como uma válvula de alívio.

A semelhança está no princípio de funcionamento e nos componentes utilizados, uma vez que ambas são dotadas de um regulador de carga, uma mola e um componente que será deslocado, como a haste ou a agulha, sendo este o motivo para explicar o funcionamento dessa configuração de válvula de controle de pressão utilizando o exemplo de (PARKER).

2.2 PROJETO DE COMPONENTES MECÂNICOS UTILIZANDO O COMPUTADOR

Com o avanço da tecnologia e na busca por métodos que visam desenvolver novas técnicas de análise e que otimizem o tempo e reduzam os custos com a fabricação de peças para ensaios, têm sido adotadas técnicas de análise via softwares, que solucionam diversos problemas com um estudo que pode durar minutos e até horas, sendo necessário um maior preparo por parte dos usuários que buscam solucionar seus problemas com esse tipo de ferramenta. Dessas ferramentas que auxiliam os engenheiros, existem dois tipos de softwares, citados a seguir.

2.2.1 Software CAD

Os softwares de CAD são responsáveis por realizar a modelagem ou projeto de peças, componentes mecânicos, plantas de construção civil, entre outros, substituindo o antigo desenho à mão feito desde antigamente com equipamentos como a prancheta. De acordo com (NORTON, 2004), os sistemas de CAD originais tinham por função a simples substituição de dos desenhos feitos à prancheta por outros mais sofisticados, sendo retratadas as vistas, porém apenas em um plano bidimensional, sendo as peças 3D representadas por projeções nesses planos 2D. Este modelo possuía a denominação de Aramado ou *Wireframe*.

Diferentemente do aramado, (NORTON, 2004) ainda diz que grande parte dos softwares CAD atuais são capazes de gerar modelos tridimensionais, ou modelos sólidos,

onde se definem os volumes de um componente, sendo que esses softwares também possuem uma ferramenta ou opção de plotar as três vistas convencionais de um desenho.

NORTON (2004) ainda ressalta a importância desses softwares na obtenção de parâmetros até então de difícil medição, como CG, momentos de inércia, massa, volume, entre outros.

Pode-se dizer que os softwares CAD permitem a criação de uma geometria em formato vetorial. Assim, segundo (SILVA, 2011) esses softwares executam desenhos de conjuntos de peças, geram desenhos bidimensionais a partir de sólidos, possuem funções paramétricas para a modelagem de sólidos, facilitam na modificação de um modelo, verificam a cinemática e interferência de peças e conjuntos criados e ainda permitem a execução de imagens semelhantes a fotografias antes de se fabricar um componente.

Dentre alguns exemplos de Softwares CAD, podem ser citados o Autocad®, Solidwork®, Solid Edge®, Inventor®, Catia®, mostrados na figura 16.

Figura 16 - Exemplos de softwares de CAD.



Fonte: Autor.

De acordo com (SILVA, 2011), existe uma diferença entre os softwares de CAD 2D e os softwares de CAD 3D. O CAD 2D é uma representação do conceito de desenho, pois ele simula o desenho em uma folha de desenho, ou seja, constituída de duas dimensões, enquanto que o CAD 3D representa o conceito de modelagem, utilizado para representar sólidos em modelos tridimensionais e, caso haja a necessidade ou vontade do usuário, este também pode optar por uma representação em 2D.

Ainda de acordo com (SILVA, 2011), as funções básicas dos softwares de CAD disponíveis são quatro:

- Função Modelagem;
- Função Análise;
- Função Renderização;

- Função Conectividade.

Na função modelagem faz-se uma distinção entre os métodos de modelagem e os métodos construtivos. Podem ser utilizados diversos tipos de modelagem, entre eles:

- Modelagem por sólidos, com a geração de objetos 3D através de operações booleanas entre os elementos geométricos;
- Modelagem por superfícies, com a geração de fórmulas matemáticas para gerar superfícies, com possibilidade de edição em quaisquer pontos das superfícies;
- Modelagem por malha de polígonos, que é uma coleção de faces geralmente constituídas de triângulos e quadriláteros, definindo um objeto tridimensional;

Dentre os métodos construtivos, citam-se:

- Extrusão, onde será criado um objeto tridimensional a partir de uma curva via comando de extrusão ou *extrude*;
- Revolução, no qual uma curva será revolucionada, gerando o sólido tridimensional;
- Migração ou *loft*, que permite a migração de perfis distintos através da seleção destes perfis, sendo o software o responsável por criar as superfícies de ligação;
- Conjunto de curvas, podendo ser criadas curvas de alta complexidade;
- Curva diretriz, representando a extrusão não-linear de um objeto 2D;

Na função análise, podem ser encontrados recursos clássicos, como a estimativa de massa, momentos de inércia, centro de gravidade, área e volume, além de outros recursos mais específicos e que utilizam o software CAE para obtenção dos resultados, como é o caso das simulações e verificações de interferência.

Na função renderização ocorre a transformação do modelo em uma imagem sem que seja necessário a fabricação deste.

Por fim, a função conectividade faz com que o CAD possa interagir com outras ferramentas para o desenvolvimento de um produto, como é o caso do CAE e do CAM.

2.2.2 Software CAE

NORTON (2004) estabelece que o CAE é o conjunto de utilização do software CAD e do pacote FEA juntos, com o uso de análise de forças, deflexões, tensões, temperaturas, entre outros fatores que simulem o comportamento físico de um componente.

Dentre os softwares de CAE, podem ser citados o Ansys®, ADAMS® e o Pro Engineer®, mostrados na figura 17. Deve-se lembrar também que alguns softwares citados anteriormente como CAD também possuem o pacote FEA e podem ser utilizados como CAE, como é o caso do Solidworks®.

Figura 17 - Exemplos de softwares de CAE.



Fonte: Autor.

(NORTON, 2004) ainda cita outro grupo de softwares CAE: os solucionadores de equações, dos quais citam-se TKSolver®, Mathcad® e Excel®. Estes têm por finalidade a análise de planilhas de cálculo e soluções de equações de extrema complexidade para se resolver da maneira convencional, sendo necessário o uso de métodos iterativos na obtenção de soluções aproximadas e aceitáveis.

Segundo (FIGUEIRA, 2003), os softwares CAE simulam modelos físicos através de métodos numéricos aproximados. O método mais utilizado é o por elementos finitos, dividindo-se o modelo CAD em pequenas partes e aplicando carregamentos e suportes conforme a necessidade, o que faz com que o resultado seja obtido por meio da resolução de conjuntos de equações algébricas.

Um problema comum para esse tipo de software está em saber quais são os valores das cargas a serem utilizadas nas simulações, uma vez que essas cargas não são conhecidas e para que se obtenham esses valores, seriam necessários testes práticos ou a adoção de hipóteses.

Para solucionar esse problema, utiliza-se a tecnologia de simulação de eventos mecânicos, visto que ela adiciona movimento à análise de elementos finitos, o que faz com que sejam desnecessários os conhecimentos prévios das forças.

2.2.3 Importância da utilização dessas ferramentas

NORTON (2004) ressalta que importância está no fato de que um software CAD aliado de um pacote FEA, ou um conjunto CAE é útil no momento em que se está na fase de projeto de certo componente, onde são necessárias suposições de medidas em peças ou até mesmo o estudo de diferentes materiais, o que faz com que os resultados sejam exibidos na tela e as ações possam ser tomadas pela pessoa responsável pela interpretação dos dados. Assim, de acordo com (FIGUEIRA, 2003), no caso do CAE, pode-se testar, simular e inclusive validar um projeto com a utilização desses softwares.

Vale ressaltar que o problema da utilização desse tipo de solução está relacionado ao custo elevado dos softwares e também do hardware necessário para esse viabilizar esse tipo de análise. Além disso, outro problema é a capacitação e conhecimento de quem faz uso dessa ferramenta, uma vez que cabe ao usuário fazer a análise e interpretação dos dados obtidos com os programas. Portanto, se faz necessário um sólido conhecimento em resistência dos materiais e elementos de máquinas para que se evite esse erro.

2.3 TEORIA DE FALHAS ESTÁTICAS

A falha de materiais é algo indesejado na engenharia e cabe ao projetista prever e evitar tais acontecimentos. (CALLISTER, 2000) cita entre as causas usuais de falhas a seleção e o processamento de materiais de uma maneira não apropriada, além do projeto inadequado do componente e a sua má utilização.

(CALLISTER, 2000) mostra também que qualquer processo no qual ocorra uma fratura decorre do fato de se haver formação e propagação de trincas, em resposta a um determinado carregamento. A fratura dúctil é consequência de uma deformação plástica na vizinhança de uma trinca que avança de maneira lenta, e por isso é denominada inclusive de trinca estável. Já a frágil possui trincas instáveis, que se espalham de maneira rápida pelo material, o que explica o fato deste tipo de material falhar repentinamente.

(NORTON, 2004) estabelece também que o carregamento exerce importância considerável no tipo de falha. Ele pode ser estático ou dinâmico. As cargas estáticas são aplicadas lentamente e possuem caráter constante no tempo, enquanto que as cargas dinâmicas apresentam periodicidade e podem fazer com que um material falhe mesmo se submetido a tensões menores que o limite de escoamento. Dessa forma, a falha gerada por cargas dinâmicas descaracterizam o comportamento dúctil e frágil dos materiais, uma vez que

um material dúctil submetido a esse tipo de carregamento pode falhar sem que ocorra qualquer aviso visual.

2.3.1 Teoria da energia de distorção de von Mises-Hencky

Dentre as teorias que existem para explicar a falha por materiais dúcteis, a teoria da energia de distorção de von Mises-Hencky é, segundo (NORTON, 2004), a aproximação mais precisa para o que ocorre e que foi utilizada no restante do trabalho.

Segundo (NORTON, 2004), o mecanismo de deformação é causado pelo deslizamento de átomos na estrutura cristalina devido a tensões cisalhantes, com mudança de forma.

Assim, (NORTON, 2004) define a energia de deformação “U” como sendo a energia total de deformação armazenada no material e seu valor descrito conforme a equação (5), que corresponde a uma área abaixo da curva tensão-deformação em sua faixa linear.

$$U = \frac{1}{2} \sigma \epsilon \quad (5)$$

Essa energia total é dividida em duas componentes: uma devido ao carregamento hidrostático, que, segundo (NORTON, 2004), é um carregamento responsável pela mudança de volume de um material sem que ocorra alteração da forma do objeto; e outra devido ao carregamento originado de uma energia de distorção, na qual ocorre mudança de forma, o que dá a noção da tensão de cisalhamento. A equação (6) representa o que foi citado anteriormente.

$$U = U_h + U_d \quad (6)$$

Considerando o estado triplo de tensões, (NORTON, 2004) descreve as tensões principais em uma peça como compostas de uma componente hidrostática e outra de distorção. Para uma mudança volumétrica sem distorções, (NORTON, 2004) demonstra uma equação que fornece a medida de U_h , que aplicada na equação (6) e com o valor no estado triplo de tensões para a equação (5), fornece uma equação geral que mede a energia U_d .

Comparando o resultado obtido em U_d com o ensaio de tração de um corpo de prova, (NORTON) estabelece que a tensão de falha de interesse seja a representada por S_y , e neste

ensaio, a tensão está aplicada apenas em uma direção, o que simplifica a equação geral de U_d para a equação (7):

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} S_y^2 \quad (7)$$

Dessa forma, (NORTON,2004) descreve um critério de falha igualando a equação geral e a equação (7). Para um estado duplo de tensão, a equação obtida descreve uma elipse, que define a região de combinação de tensões segura contra o escoamento para o carregamento estático.

Para o caso tridimensional, a equação representa um cilindro de mesmo significado que a elipse citada anteriormente.

Assim, define-se a tensão equivalente de von Mises como sendo “A tensão de tração uniaxial que criaria a mesma energia de distorção que é criada pela combinação atual das tensões aplicadas” (NORTON, 2004, p.243).

Isso significa que essa teoria define uma tensão capaz de mensurar o valor de todas as outras tensões exercidas no corpo de maneira combinada e representada por σ' . Portanto, em termos das tensões aplicadas, podem-se escrever, respectivamente, as equações (8) e (9) para os estados tridimensional e bidimensional, respectivamente.

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \quad (8)$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (9)$$

Para que o estado de tensões esteja dentro da elipse de falha por tensão, define-se um coeficiente de segurança “N”, representado pela equação (10):

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (10)$$

Nas análises realizadas com o softwares Ansys®, obteve-se um gráfico com os valores das tensões equivalentes de von Mises e, de acordo com essa teoria, esses valores não deveriam ultrapassar os valores estabelecidos pelo limite de escoamento dos materiais

pesquisados, garantindo que o valor da equação (10) seja maior que 1, aprovando o componente segundo o critério por falha estática.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, foi necessário um contato com uma válvula piloto que se encontrava desmontada para que, através de um paquímetro e uma escala, fossem tiradas as cotas correspondentes a cada peça da montagem. Com isso, cada componente foi modelado utilizando o software Solidworks® e, por fim, foi feita uma montagem de componentes, utilizando os posicionamentos do Solidworks® de tal maneira que eles refletissem a real condição de montagem das peças.

Para as etapas de modelagem, primeiramente foram analisados os formatos das peças para que fossem utilizadas estratégias de desenho que pudessem facilitar tanto o desenho quanto a montagem final. Para isso, foram utilizados os recursos de extrusão e de sólido por revolução. Para se fazer os furos passantes, foi utilizado o recurso de corte extrudado e para se fazer os furos dos parafusos que fixam o corpo de bronze à torre, foi utilizado o assistente de perfuração. A mola foi desenhada com um recurso de varredura, sendo a superfície escareada feita com cortes extrudados. Parafusos, porcas e arruelas também foram desenhadas, visto que houve problemas com o uso da ferramenta de toolbox.

Na montagem dos componentes, a peça que foi inteiramente fixada na montagem de tal forma que seus planos de desenho coincidissem com os planos da montagem foi a torre. Assim, foram utilizados posicionamentos básicos, como por exemplo “concêntrico”, “coincidente”, especialmente para o posicionamento de furos em duas peças diferentes e também em peças que possuíam a sua superfície cilíndrica, como é o caso do regulador e da haste. O posicionamento de “distância” foi utilizado para colocar o regulador de carga em uma posição que correspondesse à utilizada em campo.

Por fim, utilizou-se a ferramenta de renderização para que imagens com características mais realistas fossem obtidas tanto para a montagem final, mostrada na figura 18, quanto para as vistas em corte, mostradas nas figuras 19 e 20. Ainda foi feita uma vista explodida, através do “ConfigurationManager” localizado na “Árvore de Projeto” do software. A vista explodida é mostrada na figura 21.

Figura 18 - Montagem da válvula piloto utilizando Solidworks® renderizada.



Fonte: Autor.

Figura 19 - Vista em seção da válvula piloto renderizada (1).



Fonte: Autor.

Figura 20 - Vista em seção da válvula piloto renderizada (2).



Fonte: Autor.

Figura 21 - Vista explodida da válvula piloto.



Fonte: Autor.

Nem todos os componentes foram fielmente desenhados, como por exemplo as conexões que ligam o corpo de bronze à rede de ar comprimido, pois sabia-se que eles não

iriam afetar os resultados obtidos nas simulações estáticas. Assim, buscou-se fazer uma geometria que pudesse ser a mais próxima da real, em cotas e posicionamentos, visando um resultado que estivesse de acordo com a situação que ocorre em campo.

Dessa forma, com o desenho em 3D pronto, iniciou-se uma busca pelas propriedades dos materiais dos componentes da válvula piloto através do que estava descrito no desenho em corte da figura 11 e utilizando (CALLISTER, 2000), além da ferramenta online MATWEB, que é um site que possui informações de propriedades físicas e mecânicas de diversos materiais existentes para diversas condições físicas a que estão submetidos, bem como o tratamento ou condição utilizada para a sua fabricação, para que fossem obtidas as suas propriedades mecânicas e físicas. Os materiais utilizados e suas propriedades são mostrados por meio da tabela 2.

Tabela 2 - Materiais utilizados na simulação e suas propriedades.

	Aço Inox 304	Bronze	ASTM A216 Gr. WCB	Aço SAE 1020
S_{ut} (MPa)	505	255	480	420
S_y (MPa)	215	69	275	350
E (GPa)	193	115	193	186
ν	0,29	0,307	0,29	0,29
ρ (g/cm³)	8	8,8	8	7,87
Componente Utilizado	Sede Inferior Sede Superior Obturador	Corpo	Torre	Haste Regulador

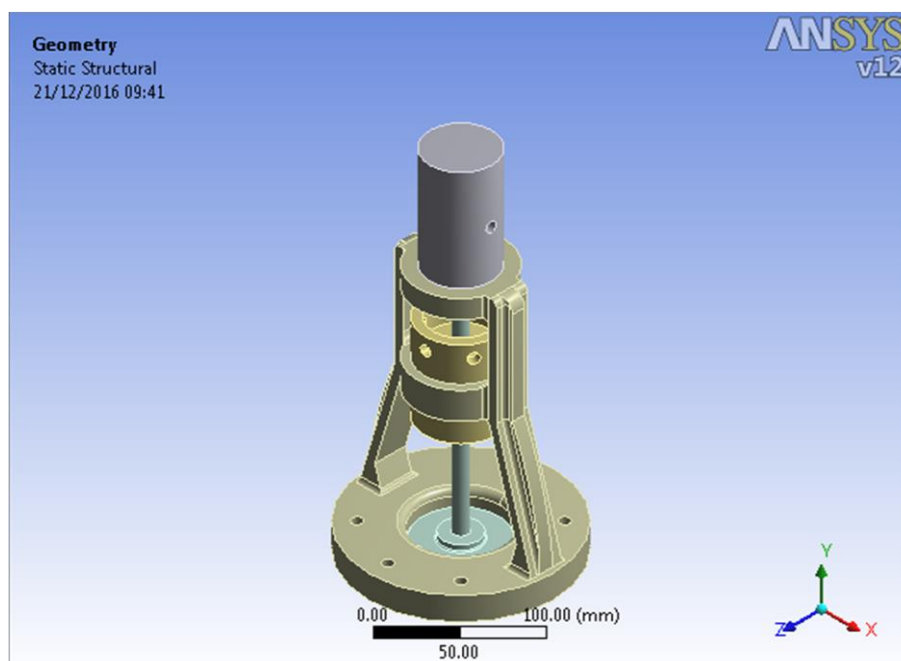
Fonte: Autor.

Nota 1 – Propriedades dos materiais retirados do MATWEB e de (CALLISTER, 2000).

Com os dados dos materiais, o primeiro passo para a simulação no Ansys® foi cadastrar as propriedades mostradas na tabela 2 no programa.

Em seguida, como a montagem em Solidworks® foi salva em um formato compatível com o Ansys®, foram importadas as geometrias e relações de montagem na plataforma de geometria deste programa. Vale ressaltar que certos componentes foram retirados da geometria que foi desenhada, como por exemplo as borrachas de vedação no corpo, a mola, o diafragma, os parafusos, porcas e arruelas e a parte inferior do flange, visto que buscou-se analisar o impacto da pressão e seus efeitos sobre os componentes da haste da válvula, e a resposta dos carregamentos na torre, regulador, obturador e corpo. A geometria utilizada no Ansys® é mostrada na figura 22.

Figura 22 – Geometria da válvula piloto utilizada no software Ansys®.



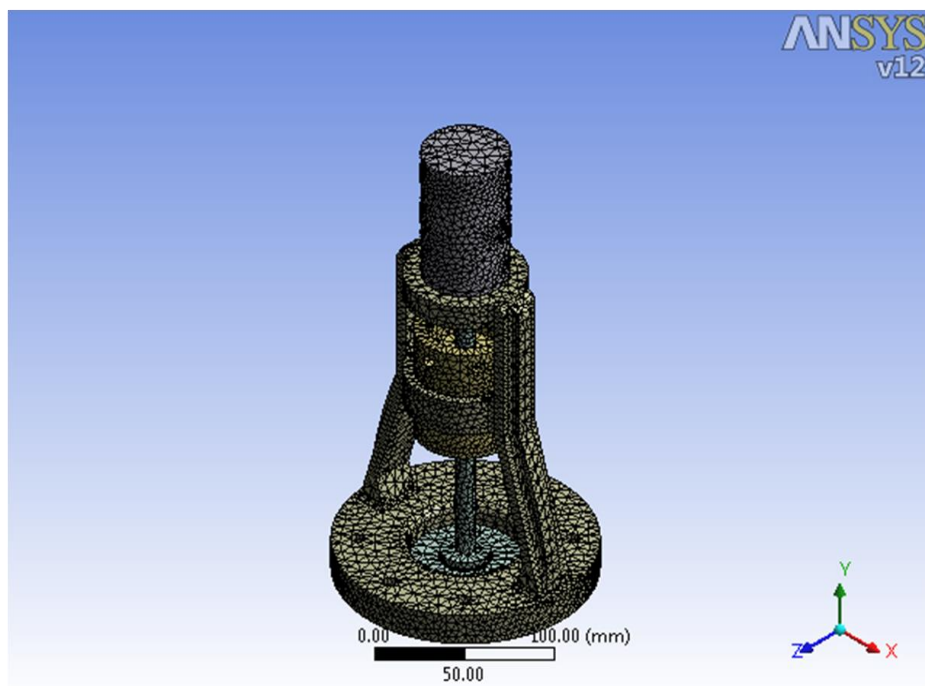
Fonte: Autor.

Para a importação dessa geometria, foi utilizado como operação “Add Material” e os campos “Simplify Geometry?” e “Simplify Topology?” foram marcados como “Yes”, diferente do padrão “No” utilizado pelo Ansys®. Os outros campos foram mantido conforme o padrão.

Com relação aos contatos utilizados, foi utilizado o contato “Bounded”, que é o padrão do Ansys®.

Para a obtenção da malha, mostrada na figura 23, foram utilizados elementos com tamanho de 4 mm, sem que fosse necessário a utilização de qualquer tipo de refinamento de malhas, sendo obtidos 78672 nós e 42771 elementos.

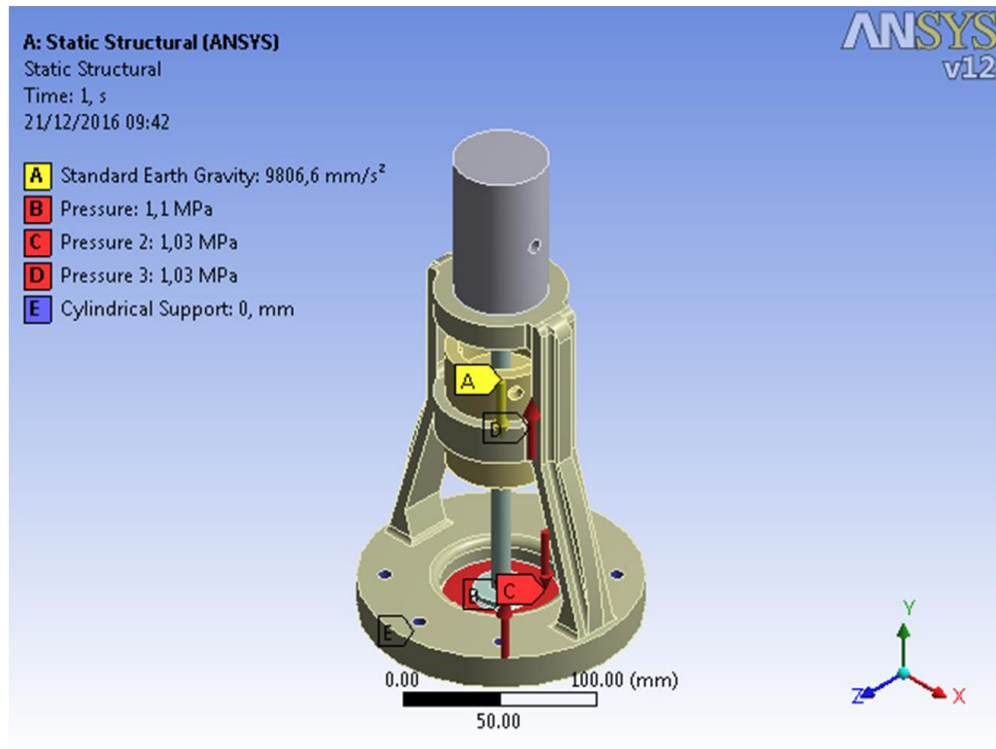
Figura 23 - Malha obtida no Ansys® com elementos de 4 mm.



Fonte: Autor.

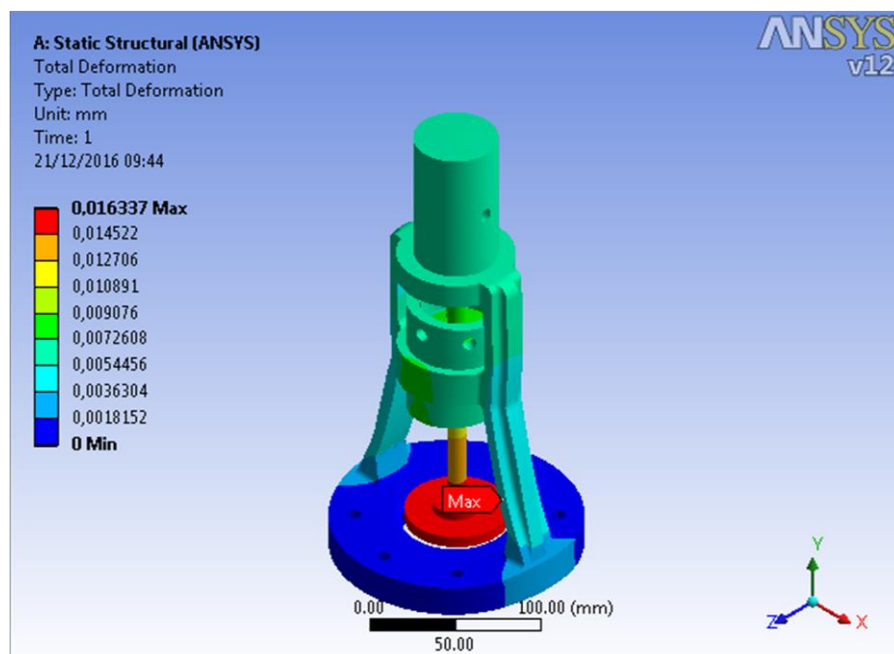
Com isso, foram realizados dois ensaios no Ansys®: o primeiro simulando as condições de uso no CCAIG e o segundo simulando a condição máxima descrita por (KINTECH). Para as condições do CCAIG, foi utilizada uma carga de pressão de 1,1 MPa, correspondente a 160 psi, que simulou uma carga superior à necessária e distribuída nos hidrantes de abastecimento, que é de 150 psi ou 1,03 MPa e foi representada no binário correspondente à mola de pré-carregamento. Nos 6 furos da base da torre, foi utilizado o suporte cilíndrico, simulando que essa estrutura estava travada pelos furos. Além disso, foi adicionada uma aceleração da gravidade no sentido de “-y”. O carregamento é mostrado na figura 24. O resultado para a deformação da estrutura pode ser observado na figura 25 e, para as tensões principais de acordo com o critério de von Mises, foi obtido o que se segue na figura 26.

Figura 24 - Carregamento utilizado para cargas nas condições do CCAIG.



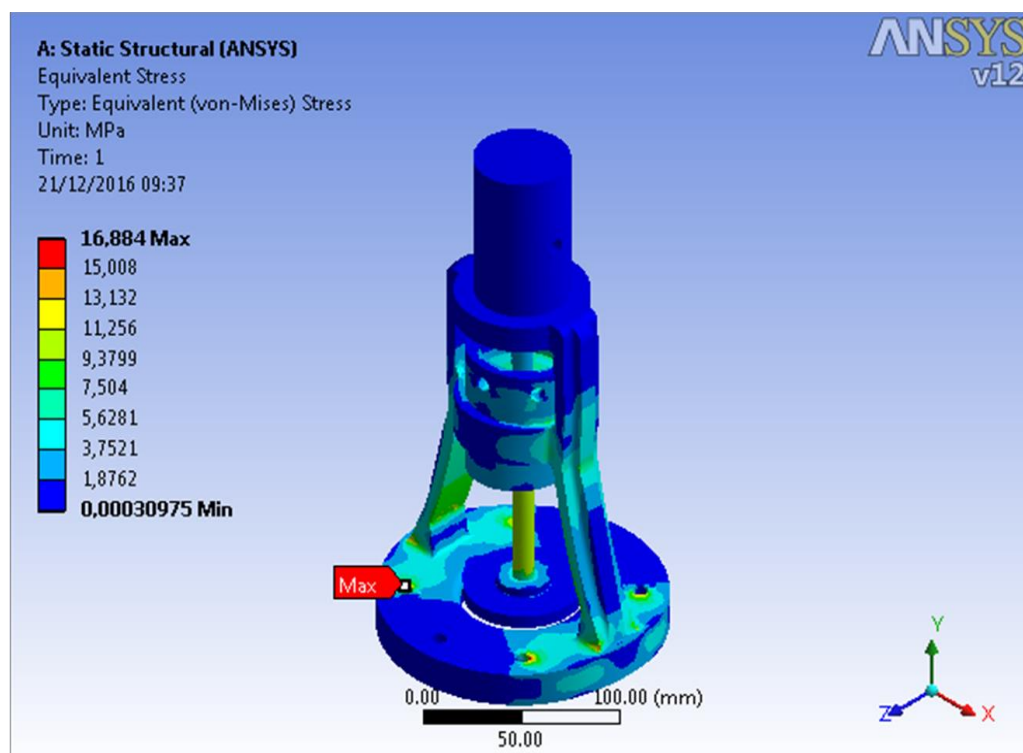
Fonte: Autor.

Figura 25 - Deformação total sob as condições de carga do CCAIG.



Fonte: Autor.

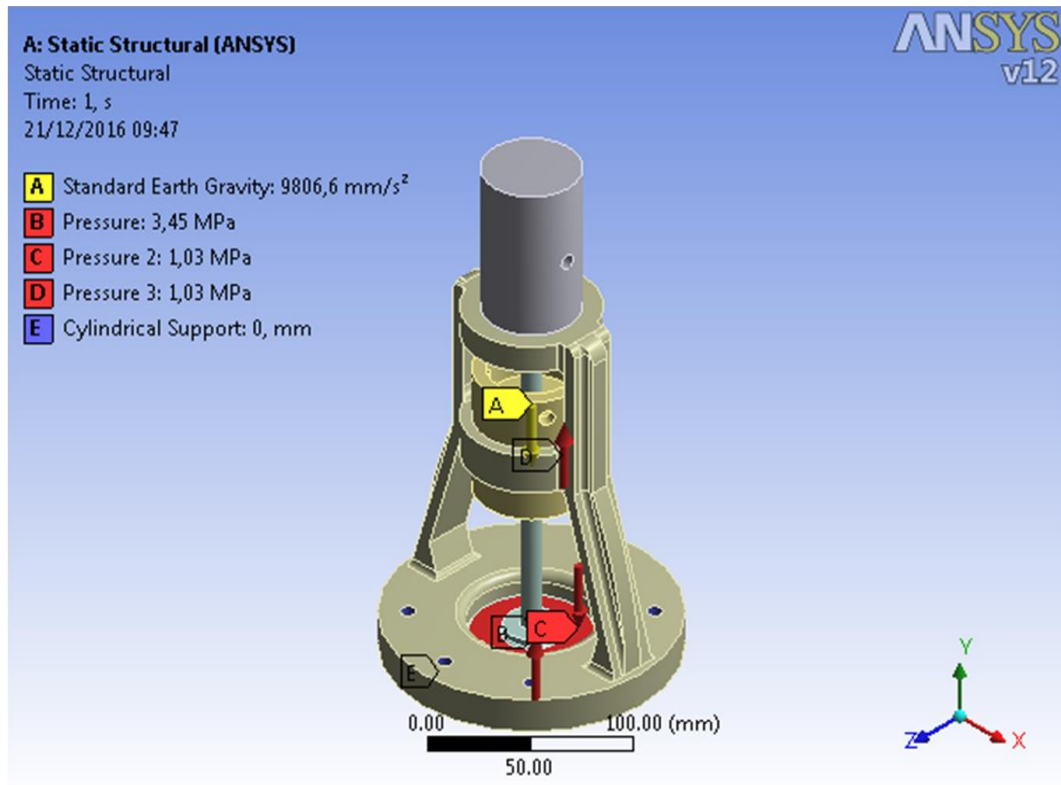
Figura 26 - Tensão equivalente de von Mises para a condição de carga do CCAIG.



Fonte: Autor.

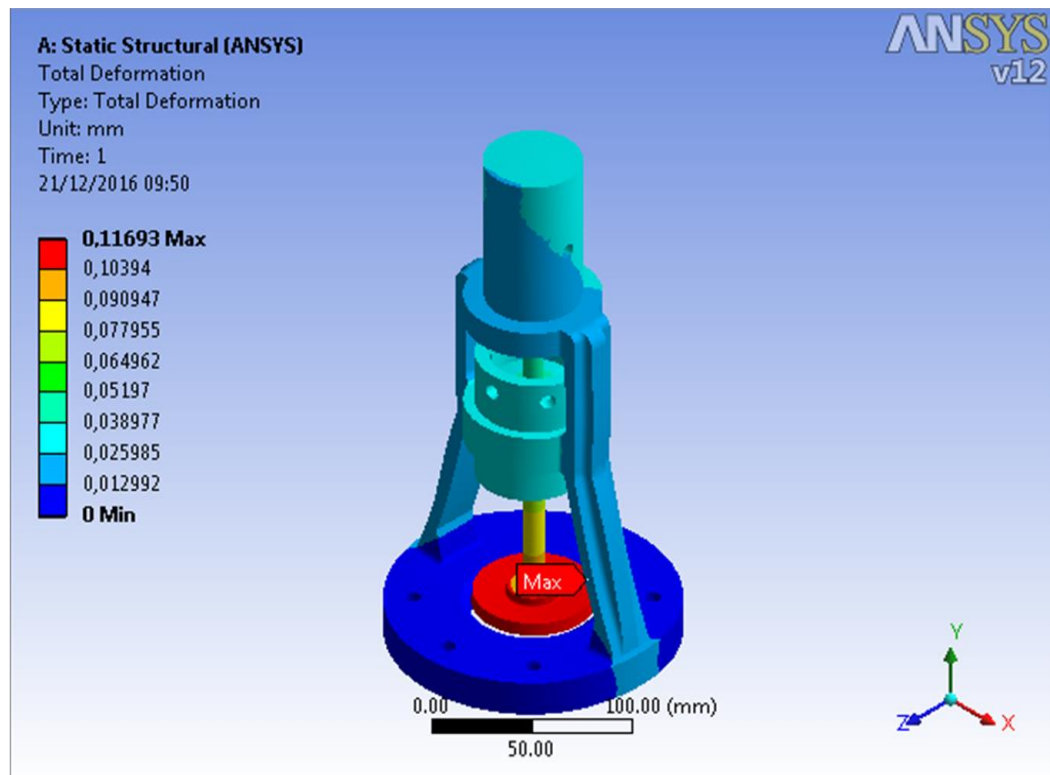
De maneira análoga, na simulação para a condição máxima descrita pelo manual, o valor da pressão exercida pelo fluido foi equivalente a 500 psig, equivalente a 3,45 MPa. As cargas correspondentes para a mola foram mantidas em 150 psi ou 1,03 MPa, os suportes cilíndricos continuaram os mesmos e a gravidade também, conforme mostrado na figura 27. Assim, obteve-se a deformação mostrada na figura 28 e as tensões principais de acordo com o critério de von Mises na figura 29.

Figura 27 - Carregamento utilizado para cargas nas condições máximas descritas em manual.



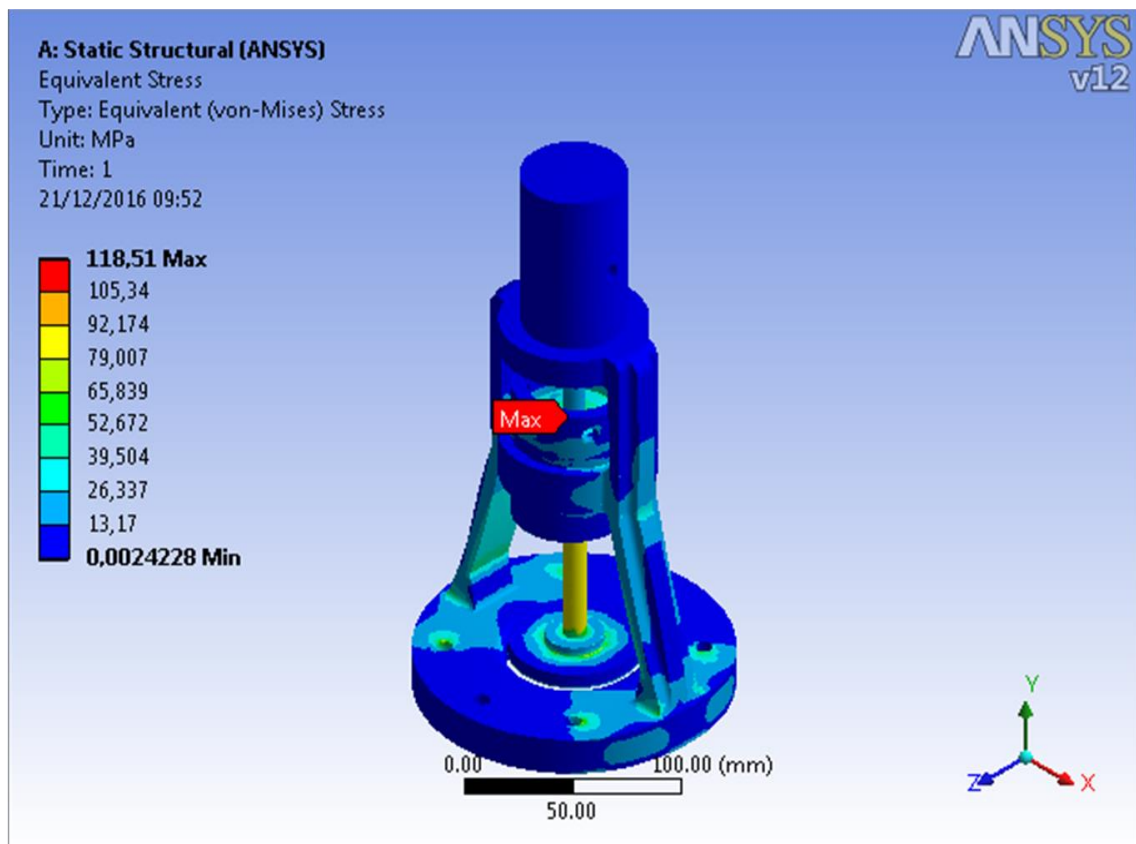
Fonte: Autor.

Figura 28 - Deformação total sob as condições de carga máxima descritas em manual.



Fonte: Autor.

Figura 29 - Tensão equivalente de von Mises para a condição de carga máxima descrita em manual.



Fonte: Autor.

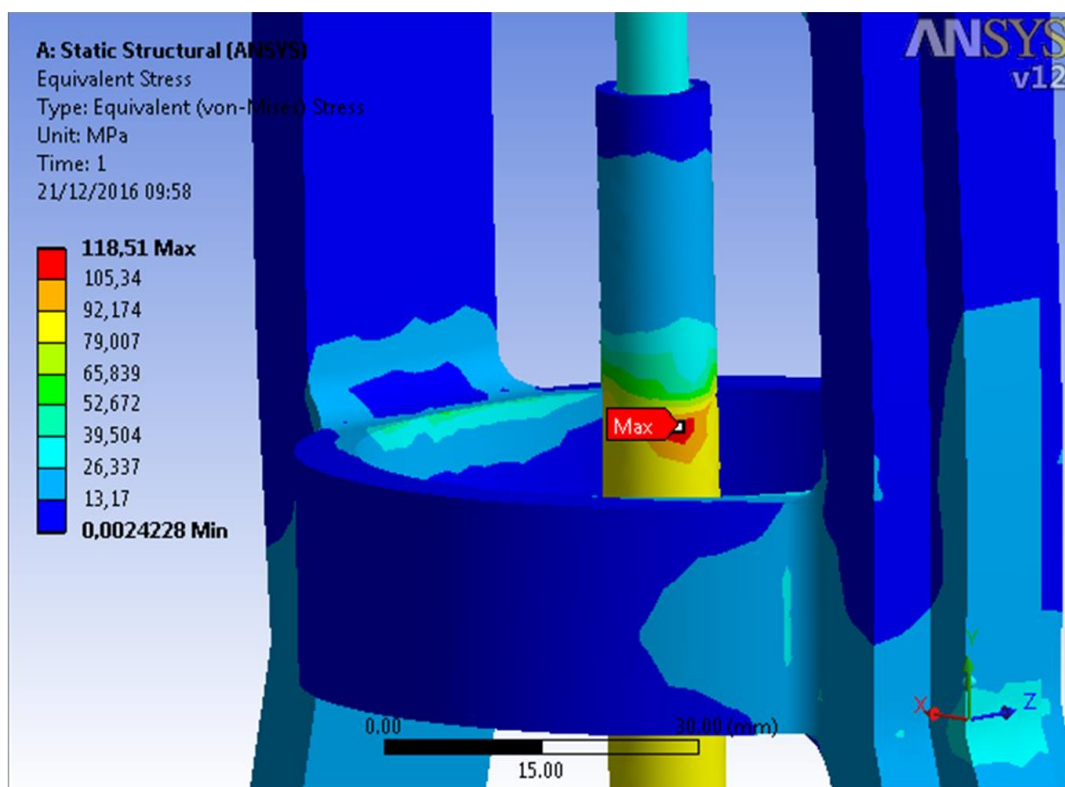
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com as análises geradas pelo software Ansys® e observando-se a deformação total, pode-se concluir que as deformações que tendem a ocorrer na peça são as esperadas de acordo com as considerações que foram levadas em conta para a aplicação das cargas e apoios na peça, uma vez que a haste deveria se deslocar de forma a comprimir a mola, que no Ansys® equivaleria ao deslocamento em “+y”, o que fez com que todos os componentes unidos a haste tendessem a se deformar na mesma direção.

Assim, a partir dos valores de tensão obtidos para ambas as simulações pode-se verificar que o componente está aprovado para o critério de falha estática. No primeiro caso, para os valores de carregamentos que ocorrem no CCAIG, o ponto em que ocorre um maior valor de tensão de von Mises é o furo da torre, de material ASTM A216 Gr. WCB e com limite de escoamento em 275 MPa, sendo que a máxima tensão, neste caso, possui um valor de 16,884 MPa, o que representa um coeficiente de segurança de 16,28 para este caso.

Para o carregamento mais crítico sobre a haste, mas mantendo o pré-carregamento da mola utilizado pelo CCAIG, pode-se observar que para um aumento da pressão em 3,14 vezes, considerando as unidades do SI, elevou-se o valor da tensão máxima em aproximadamente 7 vezes, sendo que dessa vez o ponto de valor máximo de tensão de von Mises foi observado na haste, conforme mostrado na figura 30, ocultando-se o regulador de carga. Dessa forma, o coeficiente de segurança para esta peça, sujeita a um carregamento de 118,51 MPa possui um valor de 2,95. Uma vez que seu material, o aço SAE 1020 possui um limite de escoamento de 350 MPa.

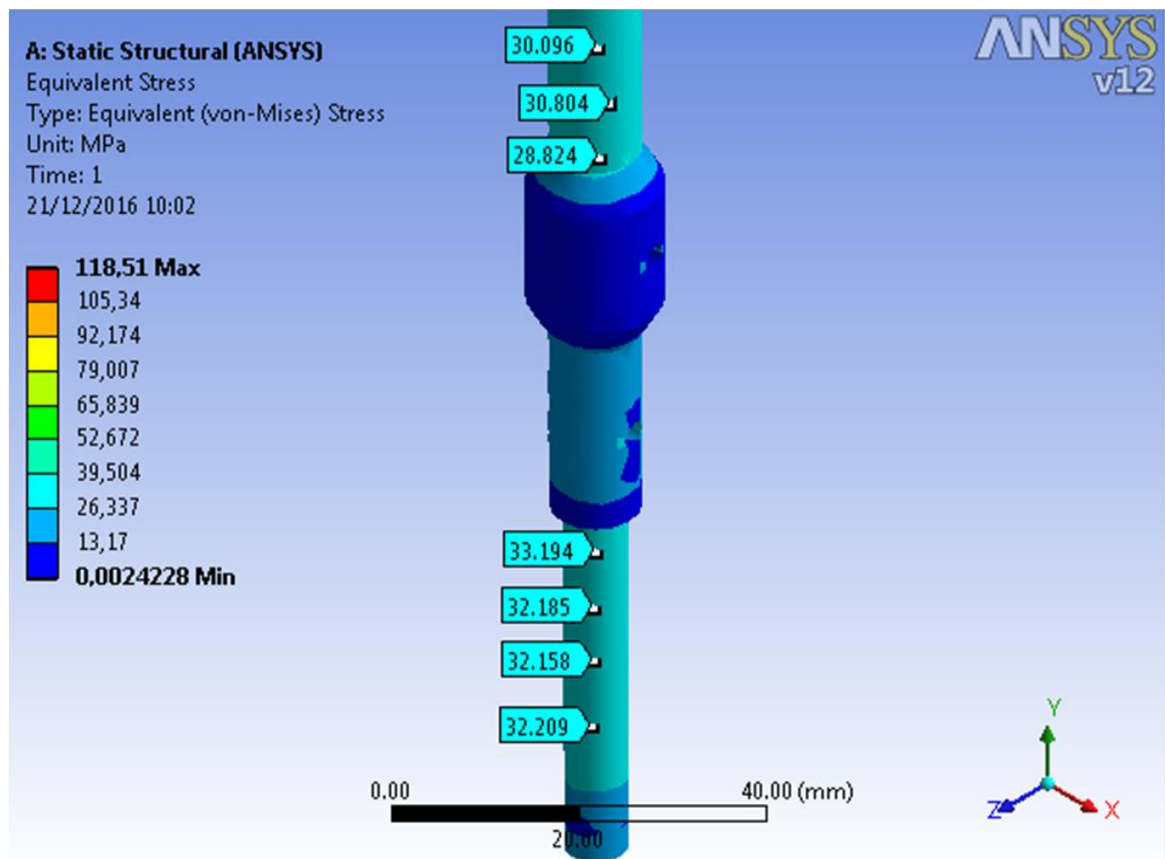
Figura 30 - Tensão de von Mises na haste e sob o carregamento máximo descrito no manual.



Fonte: Autor.

Ainda neste último caso, que está sendo mais detalhado por ser o mais crítico, pode-se observar que as cargas obtidas no obturador ficaram na faixa de 30 a 35 MPa, conforme mostrado na figura 31. Assim, como o material, o aço Inox 304, possui um limite de escoamento de 215 MPa, o coeficiente de segurança desse componente se encontra em uma faixa de 6 a 7, aproximadamente.

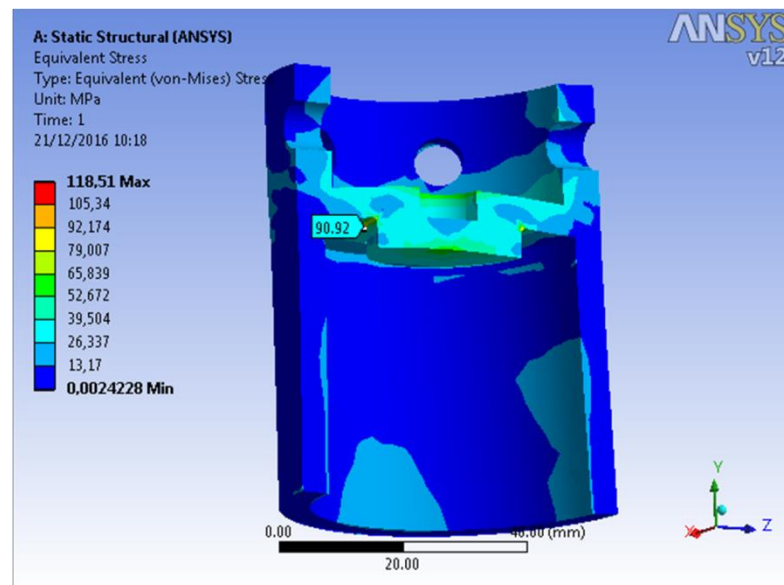
Figura 31 - Tensões de von Mises no obturador sob o carregamento máximo descrito no manual e com os outros componentes ocultos.



Fonte: Autor.

Outro componente que sofreu uma elevada tensão de von Mises foi o regulador. Sua tensão não é crítica, comparado com a haste, mas as maiores tensões foram localizadas próximo ao ressalto que tem por função alojar a mola, como mostrado na figura 32.

Figura 32 - Tensões de von Mises no regulador sob o carregamento máximo descrito em manual, com os outros componentes ocultos.



Fonte: Autor.

Comparando-se as duas análises, pode-se observar ainda a diferença da localização da maior tensão de von Mises, sendo que para o carregamento no CCAIG este valor se encontrou nos furos da torre e para o carregamento crítico se encontrou na haste. Assim, foi realizada uma análise variando a carga aplicada na haste e mantendo a pré-carga constante, de tal maneira que se pudesse chegar a uma conclusão sobre as causas de este fato ter ocorrido. Os resultados obtidos são mostrados na tabela 3, onde se analisou a pressão aplicada na haste, a diferença dessa pressão em relação ao pré-carregamento da mola, o valor máximo de tensão obtido e a sua localização.

Tabela 3 - Análise da influência do carregamento sobre o ponto de máxima tensão von Mises na válvula, com a pré carga constante de 1,03 MPa (150 psi).

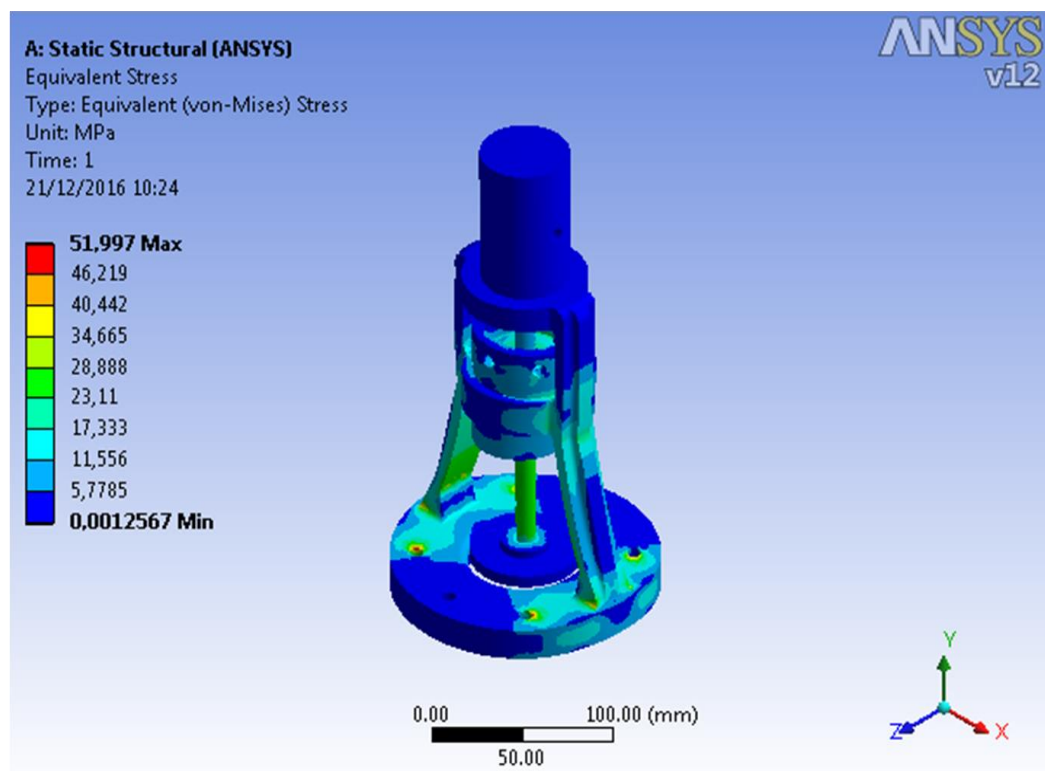
Influência do Carregamento sobre a tensão de von Mises								
Carregamento (MPa)	1,10	1,20	1,25	1,30	1,40	1,69	2,28	3,45
Diferença em relação à pré-carga (MPa)	0,07	0,17	0,22	0,27	0,37	0,66	1,25	2,42
Tensão Máxima de von Mises	16,88	19,34	20,57	22,710	26,89	39,98	66,15	118,51
Peça	torre (furo)	torre (furo)	torre (furo)	haste	haste	haste	haste	haste

Fonte: Autor.

Desses resultados, duas conclusões puderam ser obtidas: ou a tensão máxima se localiza ora no furo e ora na haste devido à magnitude do carregamento ou devido à diferença entre a pré-carga da mola e o carregamento aplicado.

Para verificar essas hipóteses, foi realizada mais uma análise, dessa vez alterando-se o valor do pré-carregamento para 3,40 MPa e mantendo a carga máxima em 3,45 MPa. O resultado obtido é mostrado na figura 33.

Figura 33 - Tensões de von Mises utilizando uma carga de 3,45 MPa e pré-carga de 3,40 MPa.



Fonte: Autor

Com isso, conclui-se que para pequenas diferenças de carregamento, da ordem de 0,20 MPa ou menor, o ponto de tensão de von Mises máximo se encontra no furo da torre e para diferenças maiores que esse valor, a tensão máxima se encontra na haste.

5 CONCLUSÕES

De acordo com as análises e estudos realizados no presente trabalho, pode-se dizer que o objetivo pré-estabelecido no início foi atingido, sendo possível a realização da modelagem e a simulação estática da válvula piloto, além de se adquirir um aprendizado sobre o funcionamento do conjunto e a situação na qual ela está envolvida.

Pode-se verificar que os componentes da válvula piloto estão aprovados para a condição de falha estática, uma vez que nenhuma das tensões de von Mises nos diversos corpos ultrapassou o limite de escoamento para cada material. Com os valores das tensões equivalentes de von Mises máximas e com o limite de escoamento do material, pode-se verificar também os valores de coeficiente de segurança, sendo o menor valor o de 2,95 localizado na haste e sob as condições máximas de carga, segundo o manual da válvula piloto.

Adicionalmente ao objetivo do trabalho, uma análise mais apurada foi realizada visando entender o motivo de em determinados estudos a tensão máxima de von Mises se localizar no furo da torre ou na haste, chegando-se à conclusão de que para carregamentos com pequena diferença de pressão entre a carga aplicada pelo fluido na haste e a carga de pré-carregamento da mola, da ordem de 0,20 MPa, a máxima tensão de von Mises se encontra nos furos da torre e para valores maiores, ela se encontra na haste.

Uma sugestão para futuros trabalhos relacionados a esse tipo de válvula seria a análise da válvula principal, podendo ser realizada uma análise de seus componentes. Outra análise que pode ser de grande interesse envolve um estudo sobre se ocorrem problemas no momento em que se fecha a válvula principal, visto que a redução de pressão é um valor muito elevada.

Por fim, ainda pode ser destacada a comodidade e praticidade que o bom e correto uso de um software de CAE pode proporcionar para a realização de análises de componentes, uma vez que puderam ser realizadas diversas análises sob diversas condições de carga, fato este que poderia ser inviável de se realizar em condições reais devido ao número de parâmetros a serem controlados e também devido à quantidade de válvulas disponíveis.

REFERÊNCIAS

AEROPORTO Internacional de São Paulo-Guarulhos. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_Internacional_de_S%C3%A3o_Paulo-Guarulhos Acesso em 13 dez 2016.

CALLISTER, William. D. J. **Ciência e Engenharia dos materiais: uma introdução** – 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

FIGUEIRA, Ricardo. J. C. de M. **CAD/CAE/CAM/CIM**. 2003. 123 f. Dissertação (Licenciatura em Computadores e Sistemas) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politécnico do Porto, Porto, 2003. Disponível em: http://www.dei.isep.ipp.pt/~paf/proj/Julho2003/CAD_CAE_CAM_CIM.pdf Acesso em 21 dez 2016.

KINTECH, **Manual de Instruções – Válvula Piloto Série PI – tipos= B-M-A**.

MATWEB. **304 Stainless Steel**, Disponível em <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c929222370da&ckck=1> Acesso em 13 dez 2016.

MATWEB. **Commercial Bronze, UNS C22000 (90-10 Bronze), OSO50 Temper flat products**, Disponível em <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=bf3eb7415f5d451f9e344c5e923a050b> Acesso em 13 dez 2016.

MATWEB. **AISI 1020 Steel, cold rolled**, Disponível em <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=10b74ebc27344380ab16b1b69f1cffbb> Acesso em 13 dez 2016.

MATWEB. **MetalTek WCB UNS J13345 Cast Alloy Steel**, Disponível em <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3494026c59a94a579b7c90ce86f8b667&ckck=1> Acesso em 13 dez 2016.

NORTON, Robert. L. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada** – 2ª edição – Porto Alegre: Bookman, 2004.

PARKER, **Válvulas de Controle de Pressão**, Disponível em https://www.parker.com/static_content/literature/Brazil/M2001_2_P_12.pdf Acesso em 14 dez 2016.

RIOINOX, **Válvulas**, Disponível em <http://www.rioinox.com/Tipos%20de%20v%E1lvulas.pdf> Acesso em 14 dez 2016.

SILVA, Francisco D. M. **O CAD aplicado ao projeto de produto: o ponto de vista dos designers industriais**. 2011. 142 f. Dissertação (mestrado em ciências em engenharia de produção) – Coppe – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/FranciscoDuarteMagalhaesSilva.pdf> Acesso em 21 dez 2016.