

ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE AR COMPRIMIDO OU NITROGÊNIO EM AMORTECEDORES PRESSURIZADOS.

Gabriel Felipe Albino¹

Adelor Felipe Da Costa²

Resumo: Este trabalho tem como objetivo analisar os resultados de eficiência da pressurização do amortecedor FOX FLOAT 3 utilizando ar comprimido (atmosférico) ou nitrogênio como fluido de amortecimento e dissipação de energia cinética. O uso do nitrogênio é justificado por ser um gás ao qual reage menos a mudança de pressão e temperatura, buscando então no decorrer de uma competição diminuir a variação na pressão do amortecedor decorrente das solicitações da pista e do sistema de suspensão, consequentemente aumentando o desempenho do veículo baja SATC Carvoeiro. Já o ar comprimido é formado por uma mistura de gases e partículas sólidas em sua composição e reage a temperatura, pressão e volume. No decorrer de uma carga de estresse o ar comprimido acaba perdendo eficiência em seu desempenho pelo aquecimento. A metodologia consiste em desenvolver e projetar uma bancada hidráulica e instrumental para o estudo do comportamento e desempenho do amortecedor, comprovando através de experimentos a real vantagem do uso de nitrogênio nos mesmos, analisando fatores como temperatura, pressão e deslocamento. Foram observados desafios na coleta de dados, forçando a elaboração de um equipamento com a finalidade de extrair valores de pressão e deslocamento para o estudo de caso.

Palavras-Chave: Amortecedores. FOX FLOAT. Nitrogênio. Ar comprimido. Suspensão, Veículo. Off road.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no mercado existem diversos tipos de amortecedores, sendo os mais comuns amortecedor a gás e hidráulico. Sendo que todos possuem a mesma funcionalidade, absorver a energia do movimento vindo do solo que tenta se propagar pela carroceria do automóvel. Os desafios para uma boa geometria de suspensão começam desde a escolha adequada do tipo de pneu a ser utilizado, pelos fatores de perfil, carga elástica e outras variáveis, até mesmo a um bom amortecedor. Que pode se diferenciar pelo tipo de veículo seja ele de fórmula 1, off-road, veículos urbanos pode se diferenciar pelo tipo de amortecimento, pelo tamanho, comprimento, e pelo quanto ele consegue absorver de energia. (POUSSOUT-VASSAL, 2010).

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. Ano 2021-2 E-mail:gabriefelippe965@gmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail:adelor.costa@satc.edu.br

O projeto Baja SAE é um desafio lançado aos estudantes de engenharia que oferece a chance de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, visando a incrementar sua preparação para o mercado de trabalho.

Ao participar do projeto Baja SAE, o aluno se envolve com um caso real de desenvolvimento de projeto, desde sua concepção, projeto detalhado e construção. (SAE Brasil, 2021)

O objetivo da competição é estigar aos acadêmicos os conhecimentos do setor automobilístico e correlacionar os conhecimentos nas salas de aulas com a prática do dia a dia na oficina. (SAE Brasil, 2021)

Cada equipe deve projetar e construir um protótipo recreativo, fora de estrada (offroad), monoposto, robusto e durável. O veículo deve ser seguro, facilmente transportado e de simples manutenção e operação. Deve ser capaz de vencer terrenos acidentados em qualquer condição climática sem apresentar danos. (SAE Brasil, 2021).

Sendo assim pelo uso do amortecedor em questão, a equipe Baja Satc, notou-se a necessidade de realizar ensaios comparativos entre cada fluido, para um melhor dimensionamento do sistema de suspensão da equipe.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com a (NULTON, 1985) pela lei da compressibilidade dos gases, o nitrogênio tem uma menor sensibilidade a variação em função de temperatura e pressão.

Com a necessidade de melhorar os projetos de suspensão buscou-se estudar o comportamento físico do fluido que pressuriza o amortecedor.

2.1 ESTUDO DOS GÁSES

O ar comprimido é o ar atmosférico pressurizado e acumulado em algum recipiente, seja ele um compressor ou até mesmo em uma câmara de um amortecedor. (WEAST, 1972).

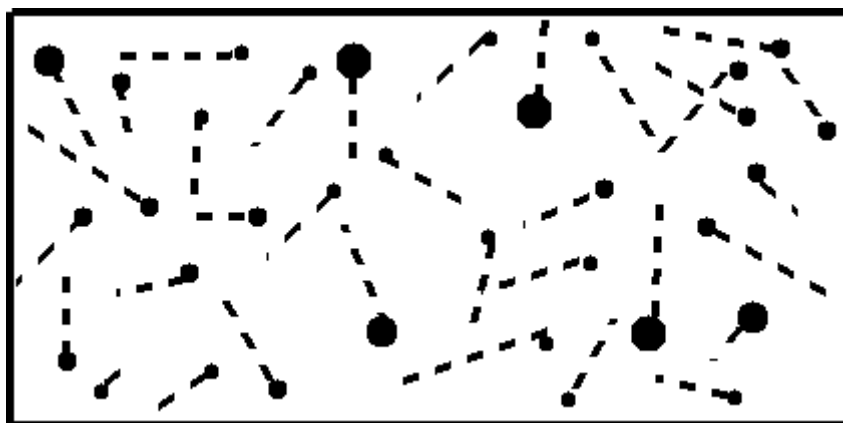
Os gases são compostos por moléculas ou átomos, íons e que possuem uma característica de grande compressibilidade e a capacidade de se expandirem,

porém o ar, está suscetível a três tipos de variações: pressão, temperatura e volume. (NULTON, 1985)

Existem fatores a qual influenciam o comportamento de um fluido, os principais são, pressão, temperatura e volume. (NANCY, 2021)

A pressão é definida como o acúmulo de moléculas de um fluido em um recipiente qualquer, a partir do momento a qual esse recipiente não possui mais a variação do volume, ele começa a ser pressurizado e acumular mais partículas a qual estão em constante movimento aleatório e desordenado, a qual estão colidindo uma com as outras, essas moléculas apresentam um certo momento, dado pelo produto entre a massa e a velocidade da molécula. No momento em que a molécula colide com a parede do local confinado, é transmitido um momento para a superfície, e conseqüentemente produzem uma força perpendicular a superfície. O somatório de todas essas forças dividido pela área da superfície de contato resulta na pressão que o gás exerce sobre a superfície. Sua unidade de medida padrão adotada pelo sistema internacional de medidas (SI) é pascal (Pa). (NANCY, 2021)

Figura 1: Moléculas em constante movimento aleatório.

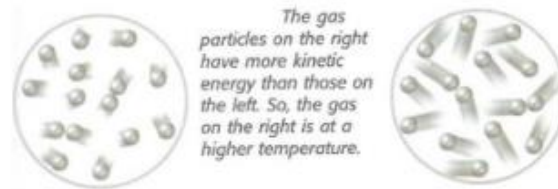


Fonte: GRC NASA (2021)

É tido por temperatura a grandeza física que mensura a energia cinética das partículas em um sistema em equilíbrio térmico. Quanto maior o grau de agitação das moléculas maior será a temperatura, e quanto menor o grau de agitação menor a temperatura até um momento a $-273,15^{\circ}\text{C}$ em que as moléculas cessam o movimento, temperatura a qual é chamada de zero absoluto na escala Kelvin. O calor sempre irá

fluir de um corpo mais quente para um menos quente. Sua unidade de medida no sistema internacional de medidas (SI) é Kelvin (K). (QUINN, 1990).

Figura 2: Energia cinética das partículas.



Fonte: QUINN, T. J, (1990).

O volume é matematicamente um espaço tridimensional com limites nas bordas ou ocupado com um objeto. O volume seria basicamente a quantidade de algum fluido para preencher esse local confinado, é impossível determinar o volume exato de um gás, pois sempre ocupam o volume total do recipiente em que estão confinados. Como toda equação matemática de volume, foram oriundas de uma equação padrão. (EVES, 2011)

$$V(G) = \iiint_G dz dy dx \quad (1)$$

Sendo:

G: Região a se determinar o volume

2.2 GÁS IDEAL

Um gás ideal pode ser caracterizado contendo muitas moléculas que possuem movimento aleatório e desordenado, regido pelas leis de Newton. Essas partículas possuem uma massa maior que zero, porém o seu volume é desprezível comparado com o volume do recipiente a qual esse fluido está. Um gás ideal existe a várias condições de temperatura tendo as moléculas uma força de atração a longas distâncias e força de repulsão a pequenas distâncias, sendo assim um gás real é composto por partículas com uma massa maior que zero, volume maior que zero, e uma força de interação maior que zero. Já um gás ideal é um modelo abstrato, já as

partículas de um gás ideal possuem uma massa maior que zero, volume igual a zero e uma força de interação igual a zero. (DA COSTA, 2006)

O nitrogênio é um gás inerte, ou seja, não é inflamável, não reage e não estimula uma combustão. Possui uma menor sensibilidade a variação de temperatura e pressão. A equação que rege os gases reais possui uma constante que é determinada através do produto da constante de Avogadro e de Boltzmann. (DA COSTA, 2006)

Tabela 1: Constante geral de alguns gases.

GÁS	MASSA MOLAR [M]	R [kJ/kg.K]
Ar	28,97	0,287
Amônia	17,031	0,4882
CO2	44,01	0,1889
Hélio	4,003	2,077
Nitrogênio	28,014	0,2968

Fonte: Do autor (2021)

A constante é utilizada na fórmula de VAN DER WAALS.

$$R * T = \left(P + \frac{a}{V_m^2} \right) * (V_m - b) \quad (2)$$

$$a = \frac{27 * R^2 * T_c^2}{64 * P_c} \quad (3)$$

$$b = \frac{R * T_c}{8 * P_c} \quad (4)$$

Sendo:

P – Pressão (Pa)

T – Temperatura (K)

R – Constante geral dos gases (kJ/kg.K)

V_m – Volume molar (m³/mol)

T_c – Temperatura crítica (K)

P_c – Pressão crítica (Pa)

2.3 AMORTECEDOR

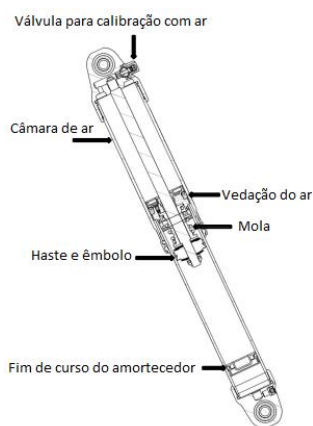
O amortecedor trabalhado em questão é o FOX FLOAT, amortecedores de alta performance utilizados em veículos off-road, o amortecedor usado neste trabalho é o FOX FLOAT 3, com curso de 120mm, câmara dupla, com amortecimento por três componentes sendo eles a mola, o nitrogênio e o óleo na câmara inferior.

Figura 3: Amortecedor FOX FLOAT.



Fonte: Float 3 factory series owners manual (2011)

Figura 4: Seção longitudinal do amortecedor.



Fonte: Float 3 factory series owners manual (2011)

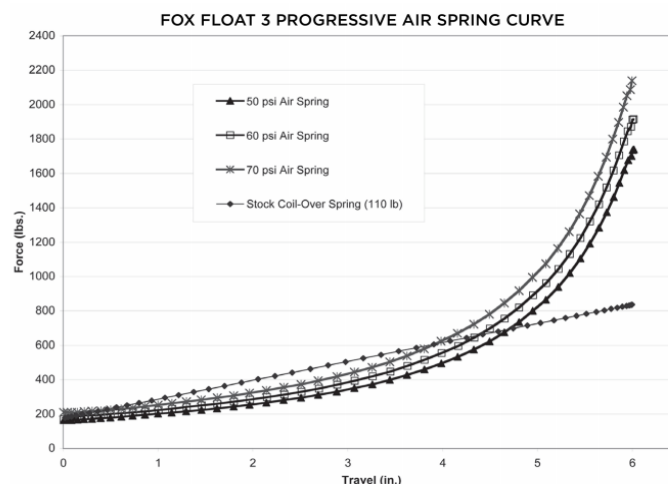
A pressurização da câmara de gás é necessária devido ao efeito mola para o retorno do amortecedor a posição neutra (posição natural a qual ele está fixado), e evitar a cavitação do óleo. A pressão na câmara está diretamente ligada no desempenho do amortecedor, em absorver e dissipar mais ou menos energia transmitida do sistema. O fabricante determina algumas faixas de pressão, porém o

máximo autorizado a ser utilizado é 150 psi. É recomendado o uso de nitrogênio para fazer a pressurização, visto que se trata de um gás com baixa sensibilidade o mesmo fica passível da grande variação de pressão e temperatura. No Entanto raramente é utilizado esse tipo de fluido nas equipes de competição BAJA SAE, devido até a marca em questão, Fox, enviar apenas uma bomba manual para pressurização do amortecedor com ar atmosférico comprimido.

Como a câmara pressurizada varia de volume constantemente com o movimento da haste do amortecedor, o ar atmosférico comprimido está suscetível a mudanças de pressão e temperatura, já que o mesmo gera calor pela redução e expansão do volume, logo, o gás comprimido poderá transformar a umidade do ar em vapor, então deixará de ser gás e passará a ser uma mistura, podendo gerar oxidação na parte interna da câmara. Assim como também em uma alta carga de trabalho o gás sofrerá um aumento de temperatura e conseqüentemente acabará expandindo, sendo o volume fixo a pressão então aumentará, afetando a eficiência do amortecedor pois o mesmo não estará mais trabalhando na pressão pré configurada.

Quanto maior a quantidade horas de trabalho, maior será a temperatura e maior será a diferença entre utilizar o ar comprimido e o nitrogênio, pelo fato de o nitrogênio ser um gás puro ou muito próximo disso, ele está passível de umidade e de criar vapor na câmara, e de uma grande variação de pressão pela expansão do nitrogênio. (CANTARUTTI,2019).

Figura 5: Variação da força(lbs) e do deslocamento(in.) em relação a pressão.



Fonte: Float 3 factory series owners manual (2011)

Conforme indicado no gráfico quanto maior a pressão de ar maior a resistência ao deslocamento.

2.4 SISTEMAS DE SUSPENSÃO

Existem diversos sistemas de suspensão, para diversos tipos de veículos, terrenos podendo ser desde asfaltos extremamente planos como a fórmula 1 até mesmo terrenos com diversos obstáculos como em competições off-road. É definido como suspensão o mecanismo que liga as rodas do carro ao chassi, devem permitir movimentos livres de bump and rebound (subida e descida) das rodas, movimento de rotação e até mesmo o esterço (ato de rotacionar a roda). (JAZAR,2013)

O sistema de suspensão (juntamente com o pneu) é de longe os componentes que mais afetam a estabilidade de um carro. Em todo sistema de suspensão temos um ponto central a qual o sistema rotaciona ao redor, chamado de roll center. Interseccionando o roll center dianteiro e o traseiro temos o eixo de rolagem. É definido que quanto maior a inclinação do ângulo de rolagem maior é a instabilidade do veículo. Porém temos outros fatores que interferem nessa estabilidade, como por exemplo a transferência de carga aos eixos do carro. Ela é influenciada pela massa suspensa do carro, ou seja, são todos os conjuntos que estão sendo apoiados sobre o sistema de suspensão, como por exemplo o motor, transmissão, chassi do carro e até mesmo a massa do piloto. A aceleração lateral também influencia na transferência de carga, ela varia com o raio de curva de uma pista por exemplo e a velocidade a qual se está na mesma.

$$A_y = \frac{V^2}{R} \quad (5)$$

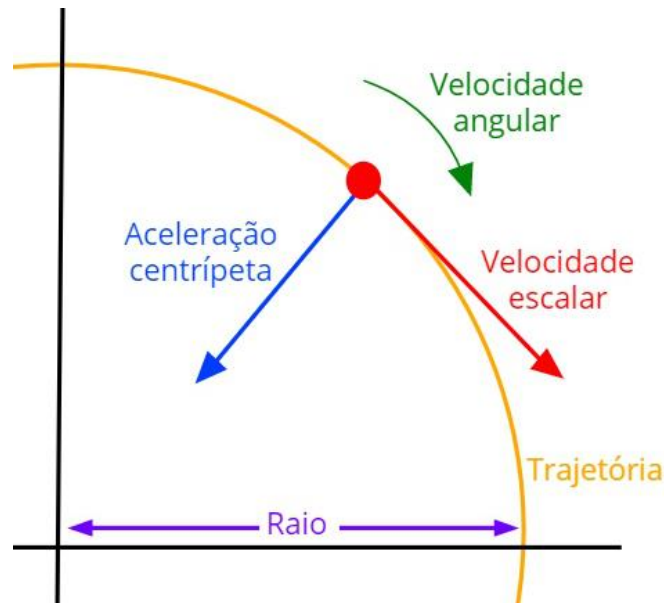
Sendo:

A_y – Aceleração lateral (m/s²)

V – Velocidade escalar (m/s)

R – Raio de curva (m)

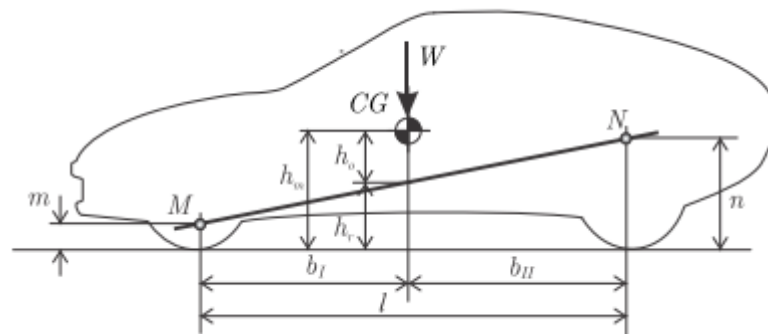
Figura 6: Aceleração lateral



Fonte: mundoeducacao.com (2018)

Dividindo a aceleração escalar a qual está com a unidade em metros por segundo (m/s) pela aceleração gravitacional teremos a aceleração lateral em (g). A transferência de carga é a força que o carro vai transferir para o eixo dianteiro e traseiro em uma curva, e t o comprimento do eixo dado em metros. Braço do momento de rolagem é a distância do centro de gravidade do carro até o ponto do eixo de rolagem na seção transversal do carro.

Figura 7: Distância do centro de gravidade das massas suspensas ao eixo de rolamento.

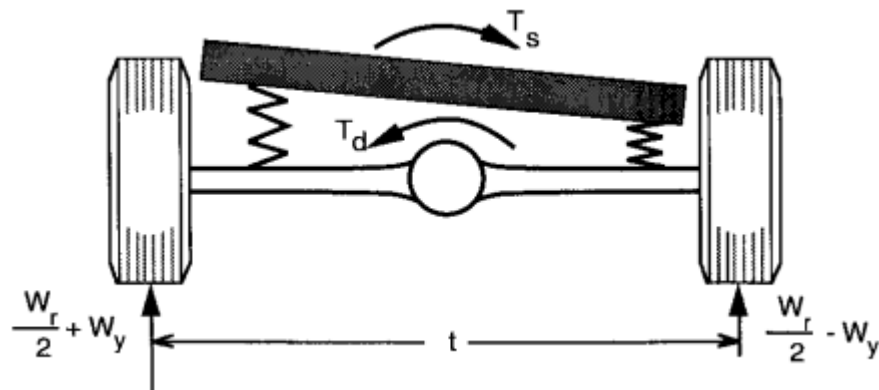


Fonte: Nicolazzi (2012)

Já coeficiente de rigidez da suspensão segundo (GILLESPI, 1992) é a quantidade de força necessária para uma unidade de deslocamento, ou seja, a

quantidade de força necessária para movê-la 1 metro. Sendo assim quanto maior for a rigidez de uma suspensão maior será a força necessária para deslocá-la. Uma suspensão mais rígida está ligada diretamente em uma suspensão que terá um deslocamento fino, ou seja, não fara movimentos de subida e descida de forma desordenada com um movimento em outros eixos a qual não seja somente o eixo vertical. E irá demonstrar um maior desconforto, pois terá uma transferência de carga maior para o eixo do carro. Já um sistema de suspensão menos rígida transmitirá uma menor carga para o eixo e para a estrutura sendo assim tendo um maior conforto.

Figura 8: Rigidez de uma suspensão.



Fonte: Gillespi (1992)

A transferência de carga para o eixo é a quantidade de força que o sistema de suspensão do veículo transmite ao eixo, ou seja, é a parcela de energia neste caso força, que é dissipada para o eixo.

$$\Delta W_{\Phi} = \left(\frac{W_s \cdot a_y}{t} \right) * h_o * \left(\frac{K_{\Phi a}}{K_{\Phi R} + K_{\Phi A}} \right) \quad (6)$$

Sendo:

ΔW_{Φ} – Transferência de carga para o eixo (N)

W_s – Peso da massa suspensa (N)

a_y – Aceleração lateral (g)

t - Tamanho da bitola (m)

h_0 – Braço do momento de rolagem

$K\Phi_a$ – Coeficiente de rigidez da suspensão a qual se vai ser estudada (N/m)

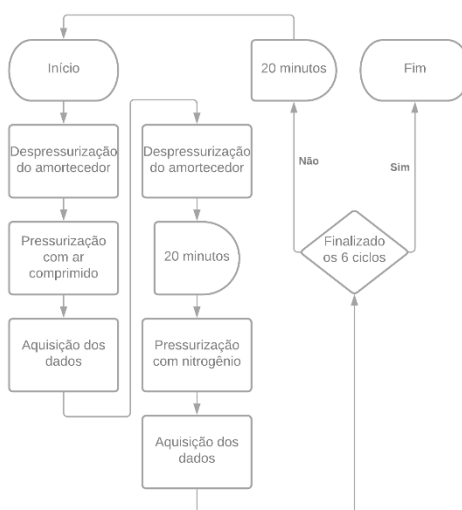
$K\Phi_R$ - Coeficiente de rigidez da suspensão traseira (N/m)

$K\Phi_F$ - Coeficiente de rigidez da suspensão dianteira (N/m)

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesse tópico será informado os procedimentos a qual serão realizados e estudados ao decorrer deste trabalho.

Figura 9: Fluxograma do processo

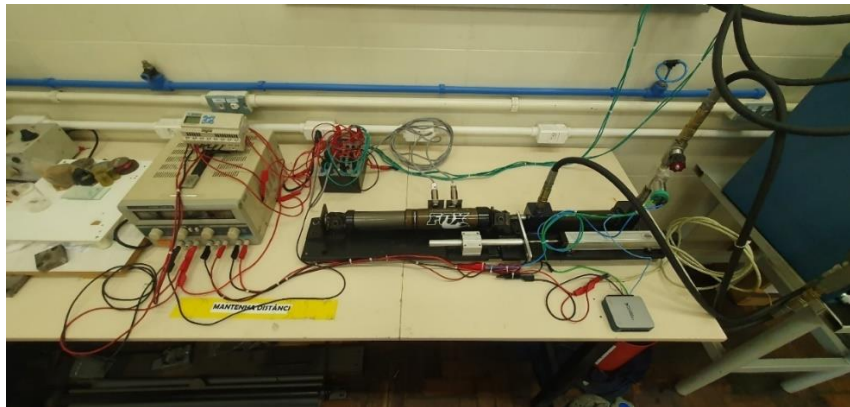


Fonte: Do autor (2021)

A um primeiro momento foi realizado a adaptação de uma bancada hidráulica para realizar o trabalho e ocasionar o estresse no amortecedor, contando com um atuador hidráulico com um embolo de 32mm de diâmetro e uma haste com 200mm de comprimento, sendo acionado por uma válvula de 5/3 vias centro fechado e duplo acionamento por solenoide. Para o controle do acionamento foi utilizado uma CLP (Controlador lógico programável) através dos sensores indutivos simbolizando início e final de curso. Eles estavam a uma distância de 50mm um do outro, então foi colado uma pequena chapa de cobre no amortecedor, suficiente para fechar o contato com o sensor indutivo, mas não grande para colidir com o sensor. Sendo assim o amortecedor será comprimido, no momento que atingir 50mm de deslocamento linear

e fechar contato com o sensor mais distante do atuador hidráulico a solenoide fará o acionamento da outra solenoide da válvula direcional fazendo com que o atuador retorne, e assim que ele retornar e fechar novamente contato no primeiro sensor indutivo ele irá avançar, sendo assim um loop finito que se encerra ao final de 10 minutos.

Figura 10: Máquina para estresse e aquisição dos dados.



Fonte: Do autor (2021)

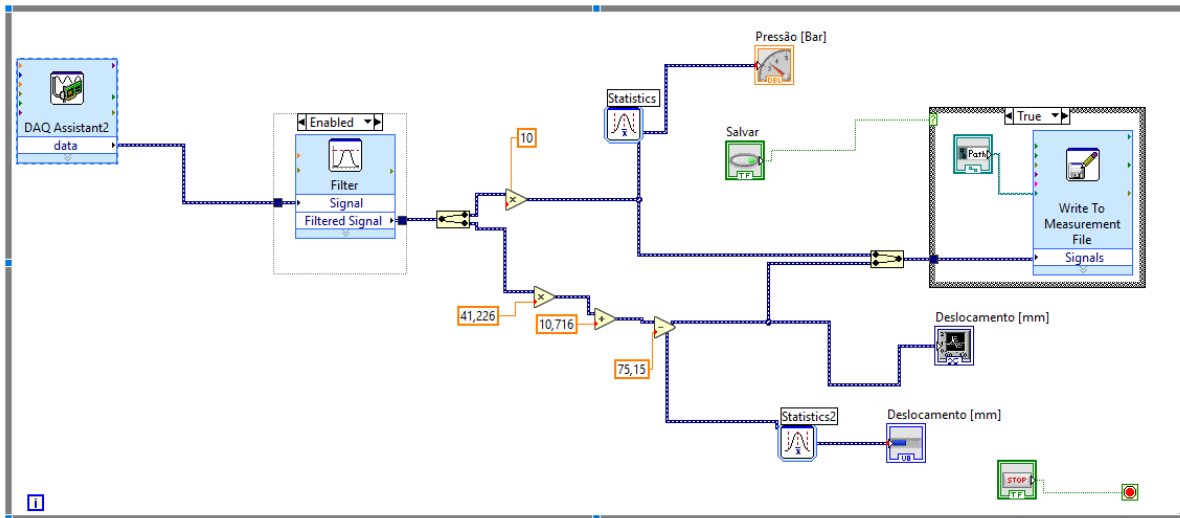
Para a coleta de dados desenvolvido também um sistema para a obtenção do deslocamento através de uma régua potenciométrica e a força através de um transdutor de pressão. E para a captação dos dados foram utilizados alguns equipamentos, se fez necessário também o desenvolvimento de um programa para a coleta dos dados através do software LABVIEW, inicialmente foi feito a calibração da régua potenciométrica e do transdutor de pressão. Em seguida o programa já estava pronto para a coleta dos dados, onde era gerado em arquivos .txt dados de tempo (s), pressão (Bar) e deslocamento (mm).

Tabela 2: Lista de equipamentos para aquisição dos dados

Equipamentos	Quantidade
Fonte de bancada 24V	1
Régua potenciométrica RTC 200	1
Transdutor de pressão gefran tk-n-1-e-b01c-m-v	1
Sensor indutivo	2
Módulo de botões FESTO	1
Placa para aquisição de dados NATIONAL INSTRUMENTS	1

Fonte: Do autor (2021)

Figura 11: Programação por trás da interface



Fonte: Do autor (2021)

Para o controle de aquisição dos dados da temperatura foi utilizado durante os experimentos um celular Caterpillar S60, e feito as análises termográficas no software FLIR, a qual é o mesmo fabricante da lente infravermelha do aparelho.

Figura 12: Aparelho para captação das imagens térmicas.



Fonte: Do autor (2021)

Um dia antes do ensaio com o objetivo de estressar os amortecedores, foram coletados os dados de força x deslocamento do amortecedor.

Tabela 3: Coleta dos dados anterior ao estresse

Antes do estresse		
Pressão	Ar comprimido	Nitrogênio
30 psi	Dados coletados	Dados coletados
60 psi	Dados coletados	Dados coletados
90 psi	Dados coletados	Dados coletados

Fonte: Do autor (2021)

No outro dia após a coleta dos dados anteriores, foi seguido de acordo com o fluxograma, então foi certificado que não havia nenhuma pressão no amortecedor, sendo assim utilizando a bomba de pressurização do amortecedor, cedida pela própria fabricante, foi começado os testes na mesma sequência de pressão. Após colocado 30 psi de pressão foi iniciado o procedimento de estresse que durou exatos 10 minutos, sendo coletado 3 fotos termográficas do procedimento.

Tabela 4: Frequência da coleta dos dados termográficos

Fotos termográficas			
Pressão	Tempo		
30 psi	0 minutos	5 minutos	10 minutos
60 psi	0 minutos	5 minutos	10 minutos
90 psi	0 minutos	5 minutos	10 minutos

Fonte: Do autor (2021)

Figura 13: Bomba de calibração manual dos amortecedores FOX.



FLOAT 3 0-150psi Scale Pump P/N 027-00-007

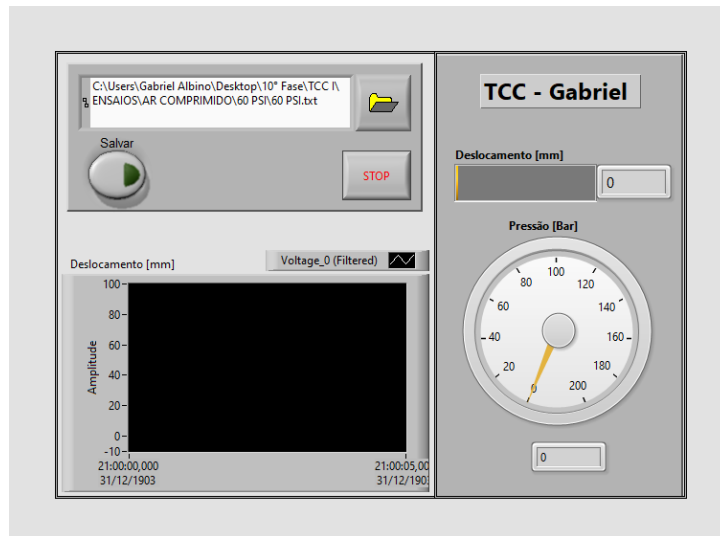


FLOAT 3 EVOL R 0-300psi Dual Scale Pump P/N 027-00-008

Fonte: Float 3 factory series owners manual (2011)

Após os 10 minutos de estresse, o programa da CLP foi desligado e a coleta de dados foi iniciada, utilizando a interface do labview, o atuador hidráulico comprimiu o amortecedor a uma pressão de 60 bar na bomba da central hidráulica, e assim o transdutor de pressão coletou a pressão instantânea e a régua potenciométrica o deslocamento real do mesmo, sendo assim teremos três dados de saída, tempo, pressão e deslocamento.

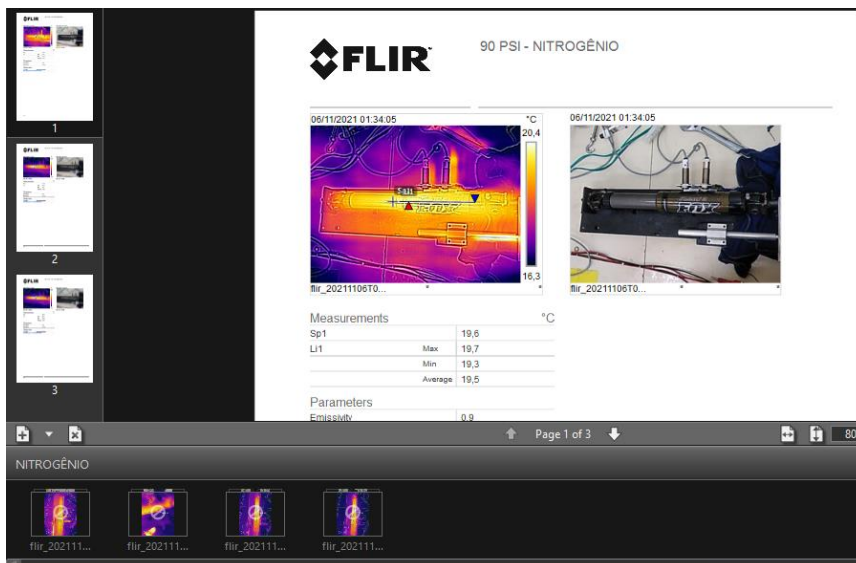
Figura 14: Interface do labview para captação dos dados



Fonte: Do autor (2021)

A aquisição dos dados através do labview gera 500 dados por segundo de tempo, pressão e deslocamento, colocados no Excel, porém antes de gerar os gráficos se fez necessário transformar a pressão que estava em bar para a unidade de força que é em N. Como o transdutor de pressão estava na entrada do atuador e sabendo que o diâmetro do êmbolo é de 32mm temos que a força instantânea para empurrar o atuador é dada pela multiplicação da pressão (Pa) pela área da seção do êmbolo do atuador hidráulico.

Figura 15: Software utilizado para o estudo e análise térmica.



Fonte: Do autor (2021)

Após o término de cada estresse a coleta dos dados, o amortecedor é despressurizado por completo e feito um intervalo de 20 minutos para o resfriamento do amortecedor, para que não possa afetar os ensaios subsequentes. Após os 20 minutos é verificado novamente se o amortecedor está despressurizado e agora foi colocado os mesmos 30psi de pressão, porém com nitrogênio e iniciado novamente o processo de 10 minutos de estresse. Sendo coletado novamente os dados de temperatura e ao final do estresse coletado os dados de pressão e deslocamento. Finalizando assim o primeiro ciclo, após o intervalo de 20 minutos novamente foi inicializado o 2.º ciclo, o ciclo de 60 psi e após ele o 3.º ciclo com 90 psi.

Figura 16: Garrafa de nitrogênio 1m³ com regulador de pressão de alta e manifold



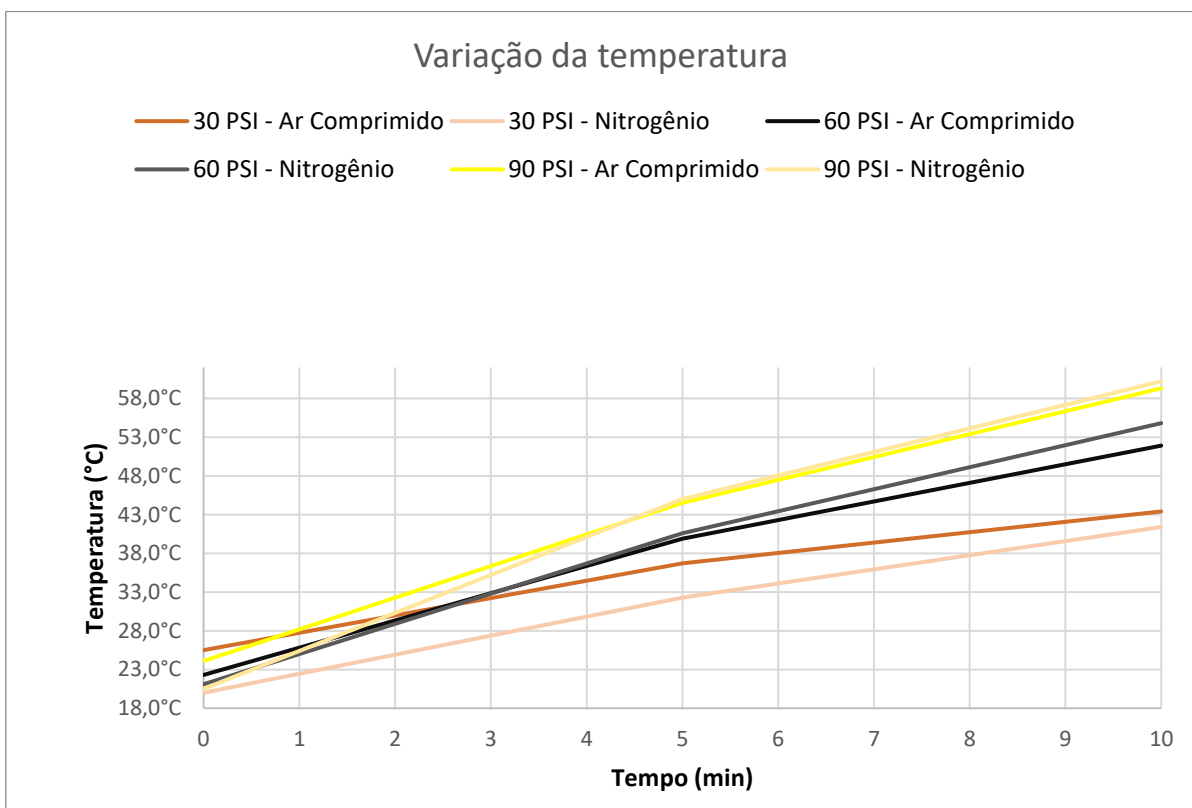
Fonte: Do autor (2021)

Sendo assim ao final de todos os ensaios foram realizados 06 estresses no amortecedor com uma avaliação da temperatura a cada 5 minutos, e 12 coleta de dados de força deslocamento.

4 RESULTADOS E DISCULSÕES

Logo de início já foi visível a diferença da pressurização de nitrogênio e ar comprimido, o amortecedor apresentava velocidade diferente ao decorrer do tempo, e conseqüentemente uma variação de pressão. Com o auxílio das fotos termográficas ficou visível a variação da temperatura em todos os casos,

Figura 17: Variação da temperatura ao decorrer do experimento



Fonte: Do autor (2021)

Através das análises térmicas foi coletados os dados a seguir, sendo visível o aumento da temperatura em cada um dos casos.

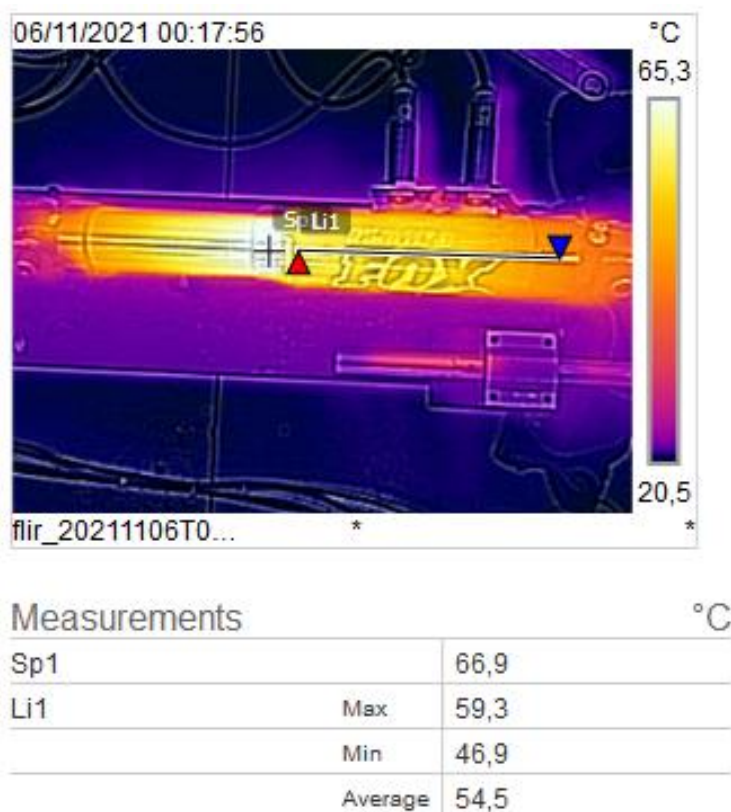
Tabela 5: Variação da temperatura ao decorrer do experimento

Pressão (psi)	Tempo (minutos)			$\Delta T_{\text{Máxima}}(^{\circ}\text{C})$
	0	5	10	
30 - Ar Comprimido	25,5°C	36,70°C	43,40°C	17,90°C
30 - Nitrogênio	20,0°C	32,30°C	41,40°C	21,40°C
60 - Ar Comprimido	22,30°C	39,90°C	51,90°C	29,60°C
60 - Nitrogênio	21,10°C	40,60°C	54,80°C	33,70°C
90 - Ar Comprimido	24,10°C	44,50°C	59,30°C	35,20°C
90 - Nitrogênio	20,50°C	45,00°C	60,20°C	39,70°C

Fonte: Do autor (2021)

Como já era previsto em pressões maiores o amortecedor atingiu temperaturas ainda maiores, tendo em vista que a força de retorno do amortecedor estava sendo maior do que em baixas pressões, sendo assim o trabalho para comprimir o fluido estava sendo maior, sendo assim tendo um trabalho maior temos uma maior energia necessária para deslocar o amortecedor, sendo parte dela dissipada pelo calor.

Figura 18: Variação da temperatura aos 10 minutos do ensaio de estresse com 90 PSI

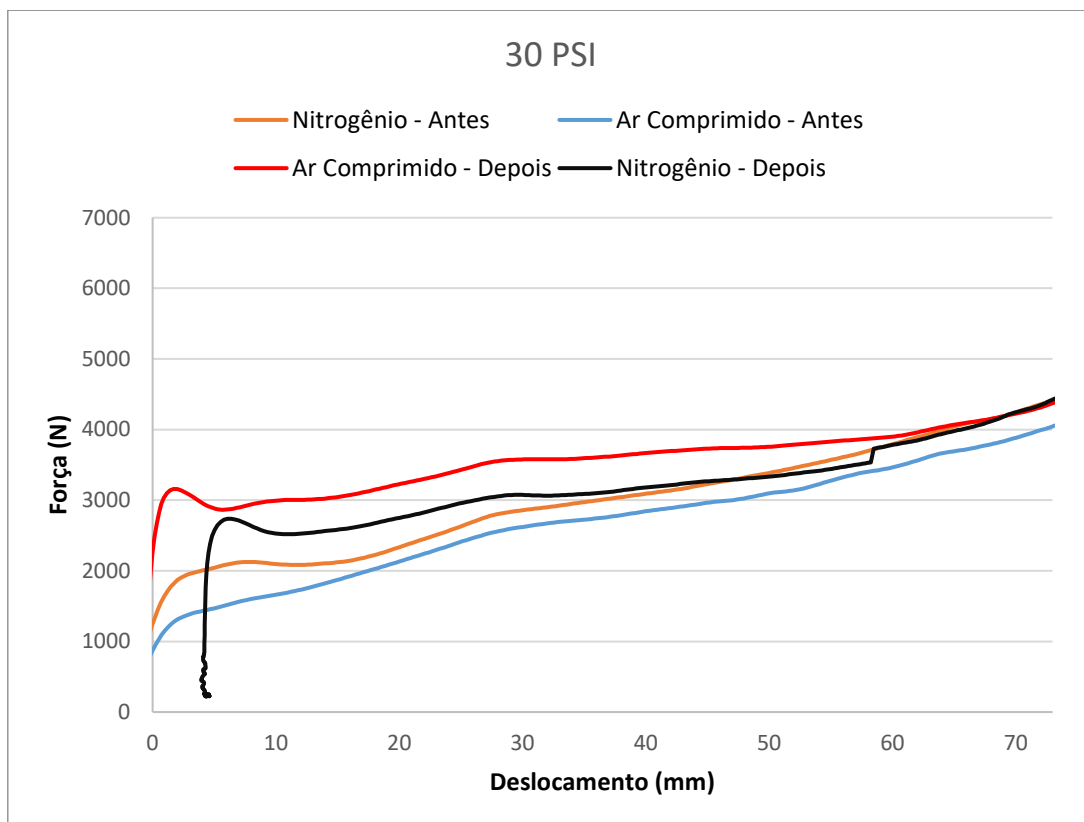


Fonte: Do autor (2021)

Conforme foi analisado na câmara de pressurização temos a temperatura variando de 46,9°C até 59,3°C, já no começo do corpo inferior, o amortecedor atingiu a temperatura de 66,9°C referente ao aquecimento do óleo que também sofre aquecimento.

Foi avaliado também o comportamento do amortecedor antes e depois do stress em mesmas condições, adquirindo assim dados de tempo, pressão e deslocamento. Sendo assim feito os gráficos de força (N) x deslocamento (mm) a seguir.

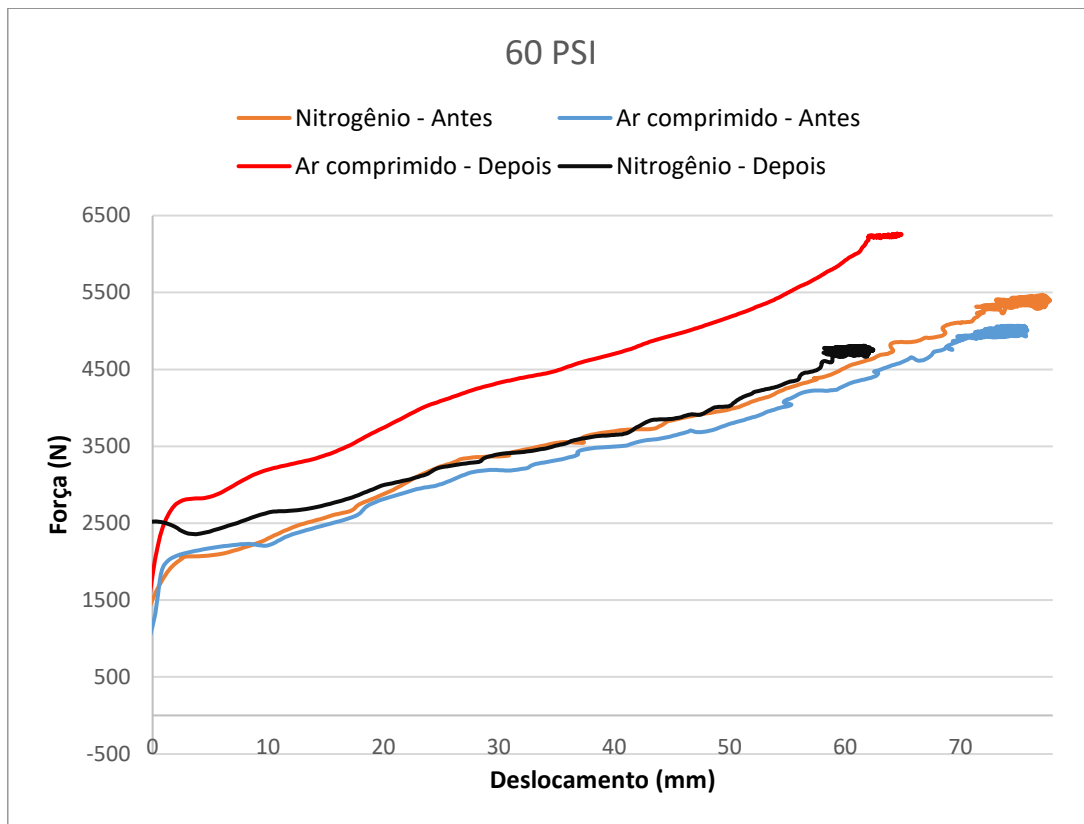
Figura 19: Estudos com o amortecedor pressurizado a 30 PSI



Fonte: Do autor (2021)

Como pode ser observado a linha de desempenho do amortecedor antes do estresse ficaram até próximas, porém com o nitrogênio absorvendo melhor as cargas, ou seja, para deslocar uma mesma medida é necessária mais força quando utilizado nitrogênio ao invés de ar comprimido.

Figura 20: Estudos com o amortecedor pressurizado a 60 PSI



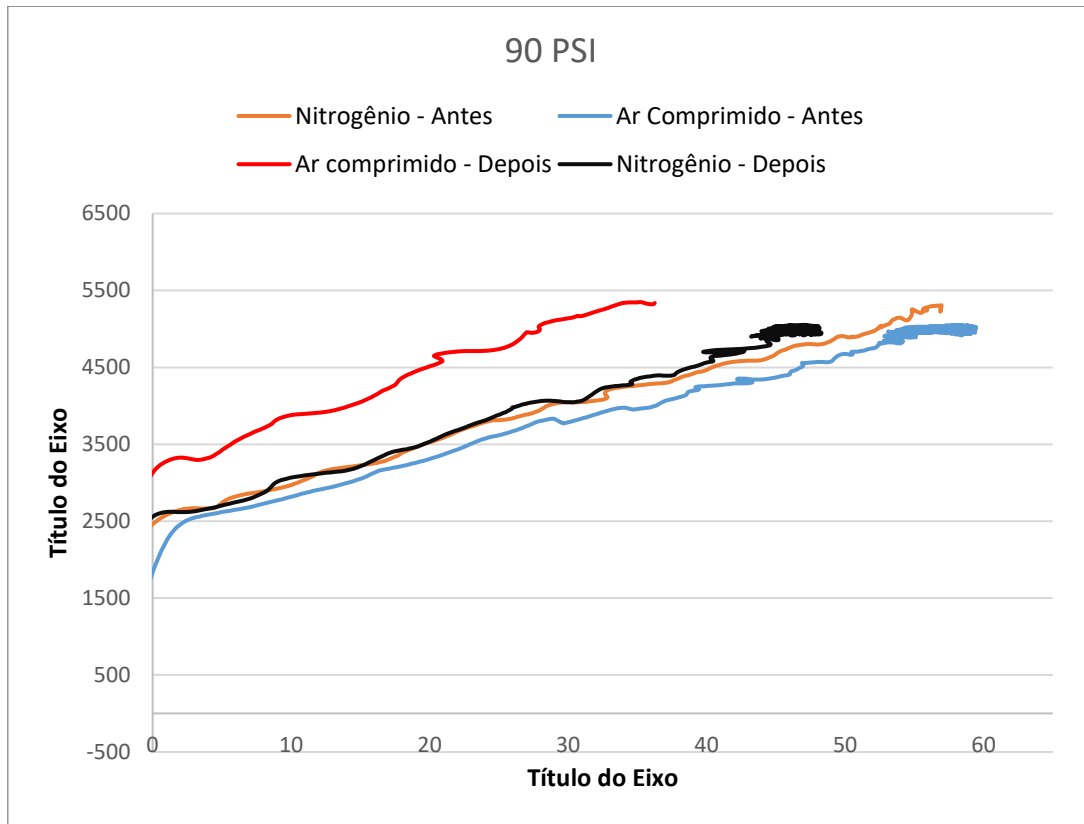
Fonte: Do autor (2021)

Já em pressões mais altas conseguimos ver também a diferença da curva de potência do amortecedor após o estresse, a variação da força necessária para deslocar o amortecedor já fica muito superior comparada a do nitrogênio após o estresse e maior ainda quando comparada com a do ar comprimido anterior ao estresse.

Também observado a pressão de 90 psi o amortecedor apresentou a mesma semelhança de gráfico, porém com valores diferentes, com os dados depois do estresse variando muito mais a pressão do ar comprimido do que do nitrogênio. É visível a variação do nitrogênio também afinal ele também varia, porém sua variação é bem menor.

Ao decorrer do estresse, foi visível que com o passar do tempo o amortecedor pressurizado com ar comprimido ia retardando a velocidade, pelo fato de a carga ser constante e o aumento da temperatura acabar aumentando a pressão interna na câmara do ar.

Figura 21: Estudos com o amortecedor pressurizado a 90 PSI



Fonte: Do autor (2021)

Tabela 6: Variação da força necessária para deslocar 10mm do amortecedor

	Deslocamento (mm)	Força (N)
Ar comprimido - Antes	10	2828,496
Ar comprimido - Depois	10	3879,994
Nitrogênio - Antes	10	2973,227
Nitrogênio - Depois	10	3075,435

Fonte: Do autor (2021)

Logo após o primeiro estresse com ar comprimido a 30psi e a coleta de dados, no momento que a válvula de calibração de pressão foi acionada para despressurizar ela expeliu uma leve camada de água, resíduo da humidade do ar, que ao decorrer do processo de estresse tornou-se vapor e após o resfriamento condensou-se e virou líquido.

Figura 22: Válvula para calibração da pressão do amortecedor



Fonte: Do autor (2021)

Posteriormente a este caso, com um intervalo de 20 minutos para a queda da temperatura, foi realizado o primeiro teste com nitrogênio a mesma pressão (30 PSI) e como citado anteriormente, a diferença foi visível logo nos primeiros minutos, pelo fato de manter a velocidade linear do amortecedor. Após os 10 minutos e a coleta dos dados, o amortecedor foi esvaziado totalmente a pressão de nitrogênio e desta vez, não ocorreu a saída de líquidos pela válvula.

Figura 23: Válvula para calibração da pressão do amortecedor



Fonte: Do autor (2021)

Sendo essa humidade um problema pois com o tempo a mesma pode ocasionar a oxidação dos componentes internos e a variação na pressão do amortecedor e no seu desempenho, pois não será mais somente um fluido dentro da câmara e sim dois, o ar ambiente e água, a qual reagirão de formas diferentes.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista que em um circuito de endurecimento de uma competição baixa os amortecedores trabalham incansavelmente durante 4h ou mais, se viu necessário um estudo no estresse do amortecedor e na influência do tipo de fluido a quando o al ele é pressurizado.

Sendo visível em todos os casos, que pelo nitrogênio ser um gás com uma variação menor da pressão em função da temperatura, tendo assim um melhor desempenho ao decorrer do tempo, pelo fato de o sistema de suspensão ter determinado a pressão ideal para o amortecedor, e caso essa pressão mude o veículo não se comportara mais da mesma forma, pelo motivo da alteração do coeficiente de rigidez do amortecedor, influenciado assim na rolagem do carro. Conforme observado em todos os testes, antes de o amortecedor ser estressado o nitrogênio mostrou ter uma maior resistência a compressão sendo assim, para o mesmo deslocamento, seria necessária mais carga sobre o amortecedor pressurizado com nitrogênio para que possa se igualar com o de ar comprimido.

O amortecedor pressurizado com nitrogênio mostrou uma menor variação de força x deslocamento do que o mesmo teste com ar comprimido sendo assim manteve a pressão para qual foi projetado.

Como pode ser observado na tab.6, anterior ao estresse o amortecedor apresenta uma certa resistência a compressão quando pressurizado com nitrogênio. Posteriormente ao estresse o amortecedor apresentou uma variação de apenas 102,208 N quando pressurizado com nitrogênio, ou seja, após 10 minutos de estresse a carga necessária para deslocar apenas 10mm quando pressurizado a 90 psi teve um aumento de 10,422kg simbolizando um aumento de 3,434%, já sendo um valor considerável. Entretanto quando pressurizado com ar comprimido após o ensaio o amortecedor teve uma variação de 1.051,498 N sendo 107,220kg, e com um aumento de 37,175%.

O nitrogênio apresentou uma maior elevação de temperatura durante os ensaios, sendo na média um aquecimento de 4,03°C a mais de quando pressurizado com ar comprimido. Apesar disso, apresentou um aumento de pressão muito menor do que quando pressurizado com ar comprimido.

Sendo assim com o aumento da pressão ao decorrer de uma longa carga de estresse ocorrerá uma variação significativa no coeficiente de rigidez do sistema de suspensão, sendo assim a geometria que foi projetada para se comportar de uma forma, com o tempo já passara a responder ao movimento do sistema de uma forma diferente, variando a transferência de carga para o eixo, ou seja se a rigidez do sistema de suspensão aumentar, será transferida uma maior carga para o eixo, sendo assim se os outros mecanismos da suspensão não estiverem bem dimensionados ou até mesmo trabalhando no limite, pode ocorrer a quebra ou ruptura de algum componente, ficando também até mesmo desconfortável para o piloto.

REFÊRENCIAS

POUSSOT-VASSAL, Charles. **Semi-Active Suspension Control Design for Vehicles**, 2010

EVES, Howard. **Introdução à História da Matemática**, tradução Higyno H. Domingues, Campinas: UNICAMP, 2011.

FOX FLOAT. **Float 3 factory series owners manual**, United states, 2011

GILLESPIE, Thomas. **FUNDAMENTALS OF VEHICLE DYNAMICS**, volume 1, 1992

GRC NASA. **Kinetic theory of gases** (2021). Disponível em:

<[https://www.grc.nasa.gov/www/k-](https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/kinth.html#:~:text=The%20model%2C%20called%20the%20kinetic,the%20walls%20of%20any%20container)

[12/airplane/kinth.html#:~:text=The%20model%2C%20called%20the%20kinetic,the%20walls%20of%20any%20container](https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/kinth.html#:~:text=The%20model%2C%20called%20the%20kinetic,the%20walls%20of%20any%20container)>. Acesso em: 30 de abril de 2021.

JAZAR, Reza. **VEHICLE DYNAMICS THEORY AND APPLICATION**, volume 2, 2013.

M. A. da Costa, D. **ANÁLISE DO DESVIO DE COMPORTAMENTO ENTRE GÁS REAL E GÁS IDEAL**, 2006

MUNDO DA EDUCAÇÃO. **Aceleração tangencial**. Disponível em:< Aceleração centrípeta: o que é, fórmula, exercícios - Mundo Educação (uol.com.br)> Acesso em: 14/11/2021

NICOLAZZI, Lauro. **Uma introdução à modelagem quase estática de automóveis**, volume 1. UFSC, 2012.

NULTON, J. D., & Salamon, P. (n.d.). **Geometry of the ideal gas**. In PHYSICAL REVIEW A (Vol. 31, Issue 4), April 1985.

QUINN, T. J.: **Temperature**. Academic Press: London, 1990

SAE BRASIL, **Regulamento administrativo e técnico baja sae Brasil**. Brasil, 2021.

VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Termodinâmica**. Editora McGraw-Hill. Portugal, 1992.

WEAST, R. C (Ed.). **Handbook of Chemistry and Physics**. (53rd Edn.), Cleveland: Chemical Rubber Co., 1972.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e capacidade para concluir todos os meus desafios. Aos meus pais pela ajuda nesses 5 anos de faculdade e por todo incentivo que me dão. Ao professor e orientador Adelor Felipe Da Costa, por acreditar no meu empenho e ter destinado seu tempo para me ajudar com dedicação e amizade. Ao



professor Richard de Medeiros Castro pelas orientações na parte de instrumentação e regulagens na bancada, peja ajuda e paciência que teve comigo ao decorrer desse trabalho. Ao bolsista Jackson Marques pelos conhecimentos na área de programação e por ter doado parte do seu tempo para me ajudar na elaboração da bancada.