

AVALIAÇÃO REOLÓGICA DA SÍNTESE DA MATRIZ POLIURETÂNICA UTILIZADA EM PROPELENTE SÓLIDO COMPÓSITO

Bolsista: Érika Bomfim dos Santos

Orientador: Luciene Dias Villar

Período: Agosto de 2019 - Julho 2020

Objetivos

→ Realizar um estudo cinético da formação das ligações uretânicas, por meio de medidas reológicas de viscosidade



Reação do polibutadieno líquido hidroxilado (PBLH) de grau militar (Poly bd® R45M) com o isocianato IPDI (diisocianato de isoforona)

→ Comparar os resultados obtidos com o estudo cinético realizado utilizando PBLH de grau comercial



Tendo como objetivo a substituição do polibutadieno líquido hidroxilado (PBLH) grau militar pelo seu homopolímero comercial, avaliando o comportamento reológico

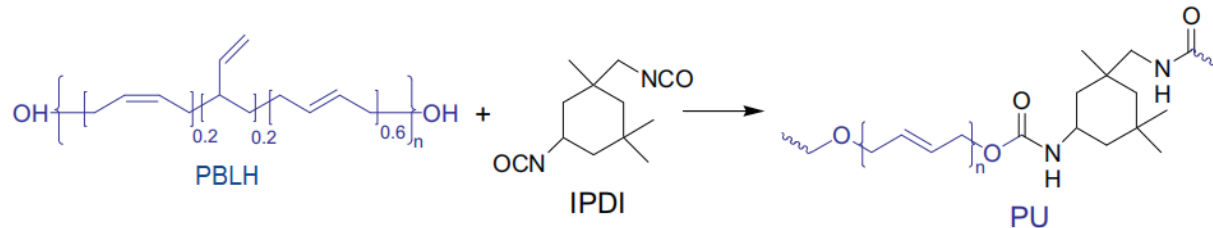
Introdução

O polibutadieno líquido hidroxilado (PBLH) é um pré-polímero **ESTRATÉGICO**

- baixa temperatura de transição vítrea;
- alta resistência à tração;
- resistência ao rasgo;
- baixa viscosidade e
- boa resistência química

O PBLH é amplamente estudado e utilizado na composição da matriz poliuretânica em **PROPELENTE**

Um das principais vantagens da utilização do PBLH é a ausência de subprodutos e de reações secundárias durante a cura do propelente.



Introdução

VARIANTES NA:

- microestrutura,
- massa molar,
- índice de hidroxila e
- funcionalidade

Podem afetar as PROPRIEDADES do PBLH E interferir na TRABALHABILIDADE do propelente não curado (*pot life*)

O PBLH de grau MILITAR, apresenta maior DIFICULDADE de adquirir no comércio internacional comparado com o seu homopolímero COMERCIAL

COMPARAÇÃO do polibutadieno líquido hidroxilado de grau militar (Poly bd® R45M) com o seu homopolímero comercial (PBLH Liquiflex-H)

A CINÉTICA de formação das ligações uretânicas irá interferir diretamente no TEMPO disponível para o carregamento dos envelopes-motores

Materiais e Métodos

TEMPERATURA

30, 45 e 60°C

RAZÃO MOLAR

0,7; 0,8 e 0,9

- Estimar a constante cinética da velocidade de reação (k)
- Determinar a energia de ativação necessária para o processo de síntese do sistema PBLH/DBTDL/IPDI

MATERIAIS

PBLH grau militar
Poly bd® R45M

PBLH grau comercial
(Liquiflex-H)

Diisocianato de
isoforona (IPDI)

Catalisador dilaurato de
dibutil-estanho (DBTDL)

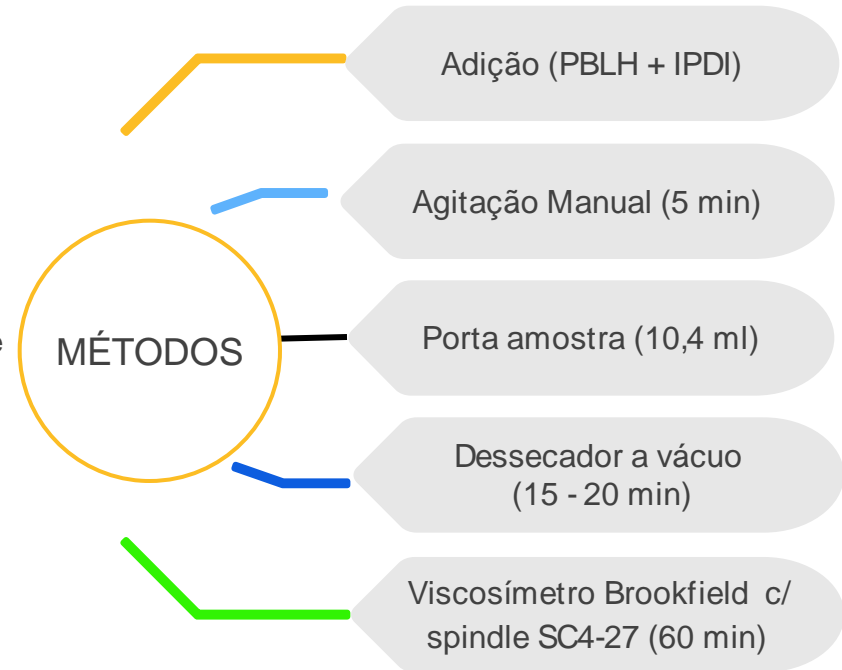
Materiais e Métodos

Tabela 1: Parâmetros dos ensaios para a determinação da constante cinética de reação por medida de viscosidade (PBLH-H).

PBLH-H + IPDI	Temperaturas					
	30°C		45°C		60°C	
	1	2	1	2	1	2
Razão molar [NCO]/[OH]						
0,7	Ensaio 18	Ensaio 7	Ensaio 12	Ensaio 17	Ensaio 21	Ensaio 9
0,8	Ensaio 11	Ensaio 16	Ensaio 22	Ensaio 14	Ensaio 24	Ensaio 15
0,9	Ensaio 19	Ensaio 10	Ensaio 20	Ensaio 13	Ensaio 8	Ensaio 23

Tabela 2: Parâmetros dos ensaios para a determinação da constante cinética de reação por medida de viscosidade (R45M).

R45M + IPDI	Temperaturas					
	30°C		45°C		60°C	
	Duplicata 1	Duplicata 2	Duplicata 1	Duplicata 2	Duplicata 1	Duplicata 2
Razão molar [NCO]/[OH]						
0,7	Ensaio 2	Ensaio 7	Ensaio 9	Ensaio 17	Ensaio 3	Ensaio 11
0,8	Ensaio 10	Ensaio 16	Ensaio 4	Ensaio 12	Ensaio 8	Ensaio 18
0,9	Ensaio 1	Ensaio 13	Ensaio 5	Ensaio 15	Ensaio 6	Ensaio 14



Materiais e Métodos

→ **Determinação da constante cinética da velocidade de reação (k)**

$$n_t = n_0 e^{kt} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\ln(n_t) = \ln(n_0) + kt \quad \text{Eq. 2}$$

Em que, o termo k corresponde à constante cinética da velocidade de reação, equivalente à inclinação da reta.

Parâmetros não ensaiados: Realizou-se a interpolação linear a fim de obter os valores de k nas condições não ensaiadas.

→ **Determinação da energia de ativação da reação poliuretânica**

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}} \quad \text{Eq. 3}$$

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{RT} \quad \text{Eq. 4}$$

As médias dos valores de k para cada duplicata foram colocadas em um plano cartesiano em função de 1/T, obtendo-se a inclinação da reta (m)

$$-E_a = -mR \quad \text{Eq. 5}$$

Resultados

Tabela 3: Comparativo preliminar entre as soluções-mães preparadas para cada PBLH.

PBLH	Índice de OH (mmol/g)	Temperatura (°C)	Velocidade (rpm)	Torque (%)	Viscosidade (cP)
<u>Liquiflex-H</u>	0,88	23	12	44	9125
			20	73	9100
Poly bd® R45M	0,77	23	12	34	7104
			20	57	7063

Nota-se que, inicialmente, o PBLH de grau militar (Poly bd® R45M) possui uma viscosidade menor que o de grau comercial (Liquiflex-H). Para explicar tal comportamento vale ressaltar que o PBLH Liquiflex-H é uma resina produzida em 2008 e, provavelmente, teve todo seu antioxidante consumido, logo, aumentando o número de ligações cruzadas e, por fim, a viscosidade.

Resultados

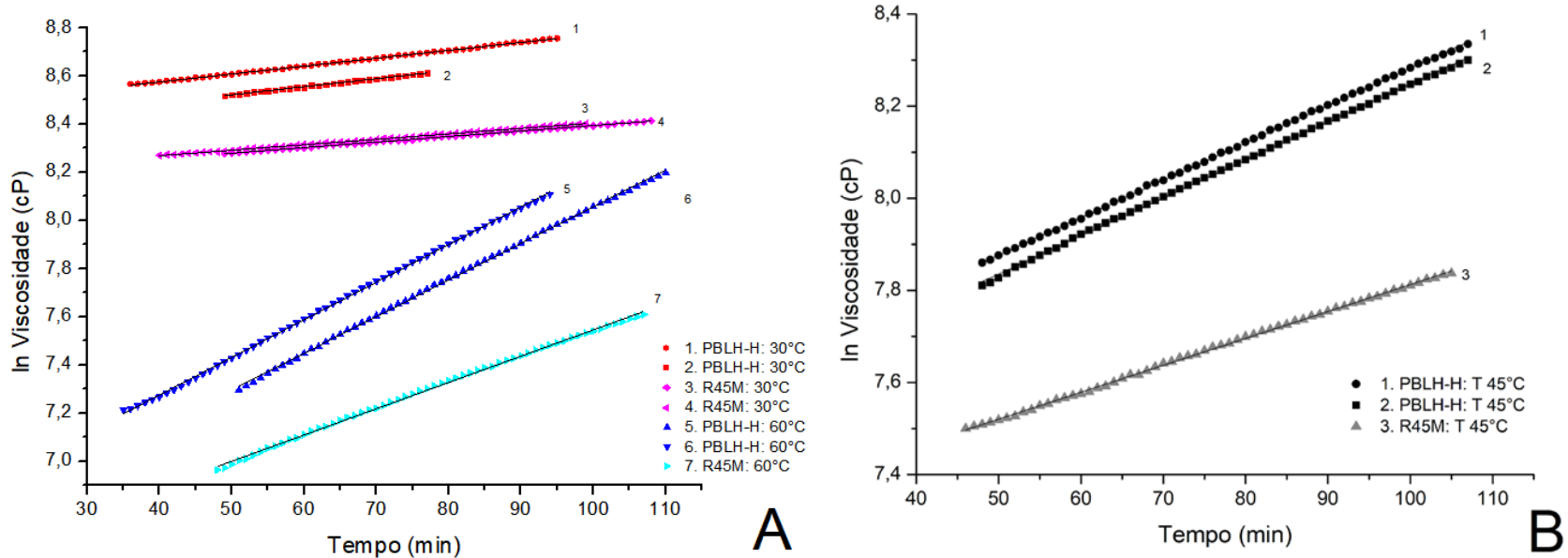


Fig. 1. Linearização da viscosidade em função do tempo para os sistemas PBLH-H/DBTDL/IPDI e Poly bd® R45M//DBTDL/IPDI ensaiados a 30 rpm com razão molar de 0,7 nas temperaturas de 30°C e 60°C (A) e com razão molar de 0,8 na temperatura de 45°C (B).

Resultados

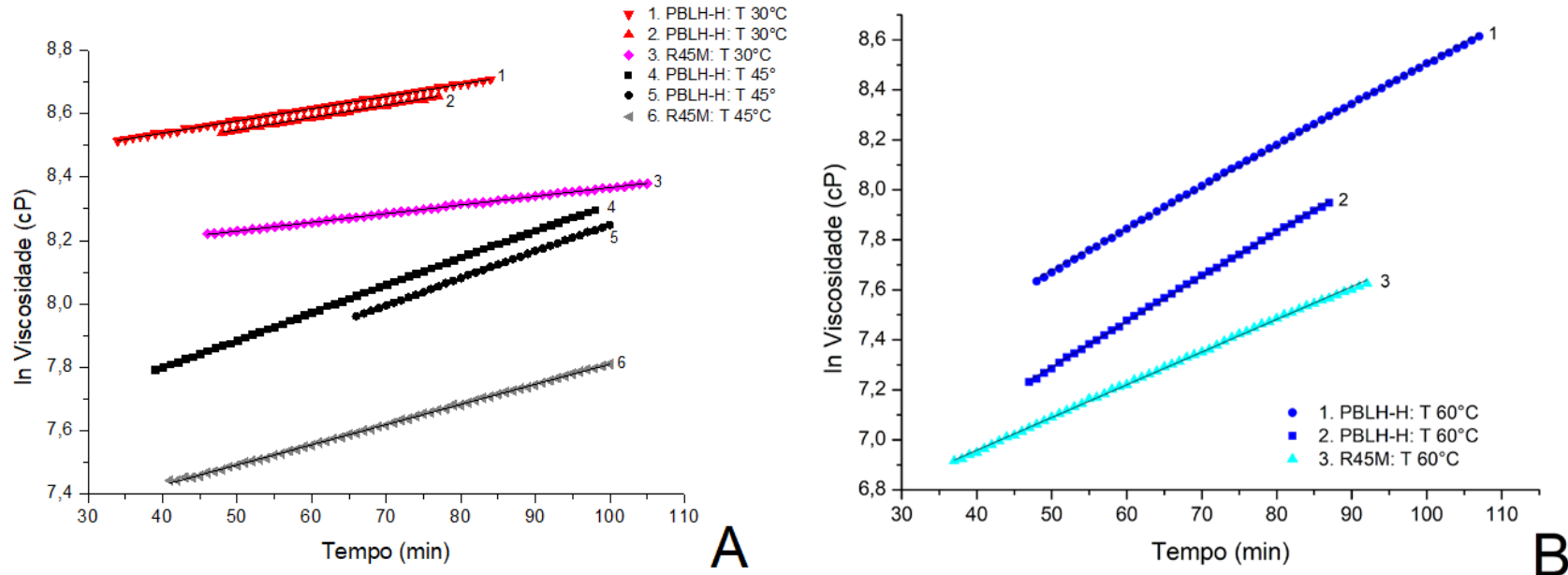


Fig. 2. Linearização da viscosidade em função do tempo para os sistemas PBLH-H/DBTDL/IPDI e Poly bd® R45M/DBTDL/IPDI ensaiados a 30 rpm com razão molar de 0,9 nas temperaturas de 30°C e 45°C (A) e na temperatura de 60°C (B).

Resultados

O efeito da temperatura sobre a cinética da reação de formação das ligações uretânicas pode ser observado a partir dos valores da constante k .

A Figura 3 apresenta a interpolação linear dos valores da constante k em função da temperatura e da razão molar.

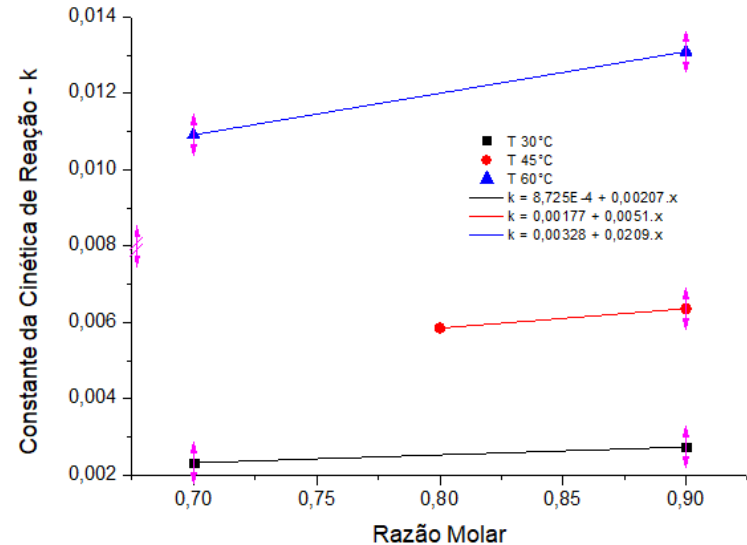
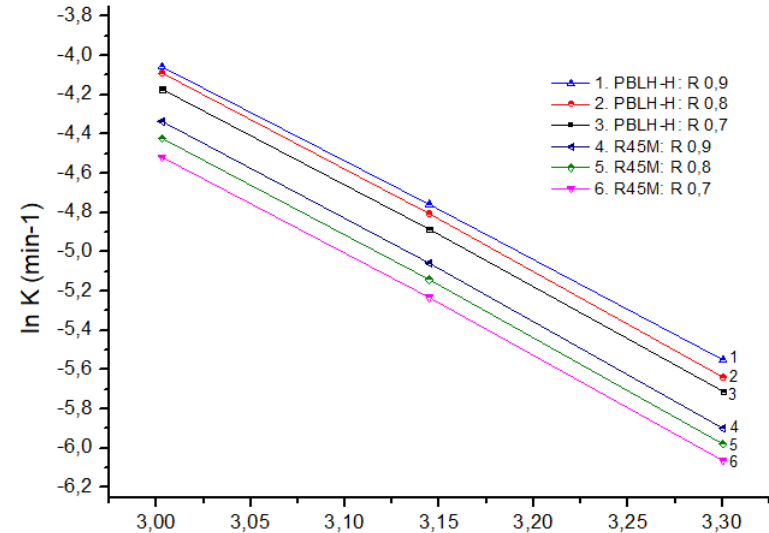


Fig. 3. Variação da constante cinética da velocidade de reação em função da temperatura e da razão molar para o sistema R45M/DBTDL/IPDI.

Resultados

Tabela 4: Efeito da temperatura e da razão molar na cinética da reação dos sistemas PBLH-H/DBTDL/IPDI e R45M/DBTDL/IPDI.

Razão molar [NCO]/[OH]	Sistema	Temperatura (°C)	$k_1 \cdot 10^{-2}$ (min ⁻¹)	$k_2 \cdot 10^{-2}$ (min ⁻¹)	$k_{médio} \cdot 10^{-2}$ (min ⁻¹)	Energia de Ativação (kJ/mol)
0,7	PBLH-H/IPDI	30	0,334	0,328	0,331	43,0 ± 0,7
		45	0,760	0,752	0,756	
		60	1,521	1,561	1,541	
	R45M/IPDI	30	0,238	0,227	0,2325	43,3 ± 0,7
		45	0,534*	(a)	(a)	
		60	1,091	(a)	(a)	
0,8	PBLH-H/IPDI	30	0,360	0,351	0,3555	43,3 ± 0,7
		45	0,825	0,811	0,818	
		60	1,651	1,697	1,674	
	R45M/IPDI	30	0,253*	(a)	(a)	43,6 ± 0,7
		45	0,585	(a)	(a)	
		60	1,200*	(a)	(a)	
0,9	PBLH-H/IPDI	30	0,392	0,385	0,3885	41,7 ± 0,3
		45	0,852	0,863	0,8575	
		60	1,797	1,658	1,7275	
	R45M/IPDI	30	0,274	(a)	(a)	43,8 ± 0,7
		45	0,636	(a)	(a)	
		60	1,309	(a)	(a)	



Conclusões

Nos sistemas apresentados (PBLH-H/DBTDL/IPDI e Poly bd R45M/DBTDL/IPDI) os valores cinéticos associados aos mesmos são extremamente sensíveis à temperatura e pouco sensíveis à variação na razão molar.

Logo, um dos pontos principais para o controle da síntese do poliuretano destinado a propelente sólido composto deve ser o controle da temperatura de síntese, uma vez que esta interfere diretamente na cinética de reação.

Comparando-se os dois sistemas aqui propostos, obtivemos comportamentos semelhantes quanto à energia de ativação.

O diferencial é apontado no valor absoluto de viscosidade e na constante cinética de velocidade de reação, sendo que, ambos, para o sistema com Poly bd R45M, possuem valores menores se comparado ao sistema com o PBLH-H.

Tal fato ocorre devido à funcionalidade da Poly bd R45M que é menor, ou seja, existe um índice menor de hidroxilas, que atua como pontos reativos e suscetíveis a um menor índice de interações intermoleculares.

Agradecimentos



Modelagem e testes de sistema de atuação hidráulico para tubeiras móveis de Foguetes Controlados

Bolsista: Leonardo Monteiro Laino

Orientador: Euler C. M. Gonçalves Barbosa

Período: Agosto 2019 a Julho 2020

Objetivos

- Importar o modelo criado anteriormente para o ambiente do software MATLAB;
- Realizar uma análise dinâmica do modelo através do SIMULINK.

Justificativa

Justificativas gerais do projeto:

- Sistema de extrema relevância em foguetes controlados;
- Brasil atualmente não possui um modelo de atuador hidráulico nacional, dependendo da importação de outros países;
- Importação altamente restrita.

Justificativa

Justificativas dos procedimentos escolhidos para dar continuidade ao projeto:

- Importação do modelo CAD para o MATLAB facilita estudos futuros acerca do modelo;
- Análise dinâmica através do ambiente Simulink permite simular o funcionamento do atuador.

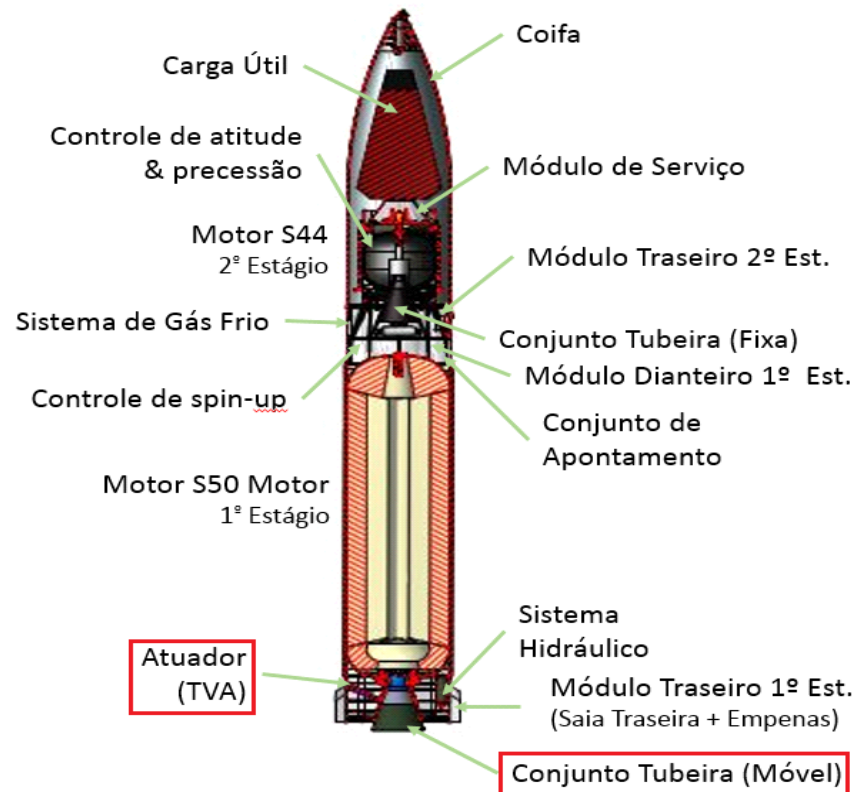
Introdução

O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) possui projetos de Foguetes de Sondagem e Lançadores que são controlados mediante utilização de sistemas de tubeiras móveis para prover a técnica do TVC (Thrust Vector Control).

Em vista das limitações do mercado internacional de atuadores para aplicação espacial, entendeu-se a necessidade do desenvolvimento de um projeto de atuador hidráulico nacional.

Os resultados obtidos neste trabalho ajudarão a consolidar as informações acerca do projeto do atuador hidráulico nacional para que o mesmo avance na fase de desenvolvimento.

Introdução



Fonte: Agencia Espacial Brasileira (AEB), 2017

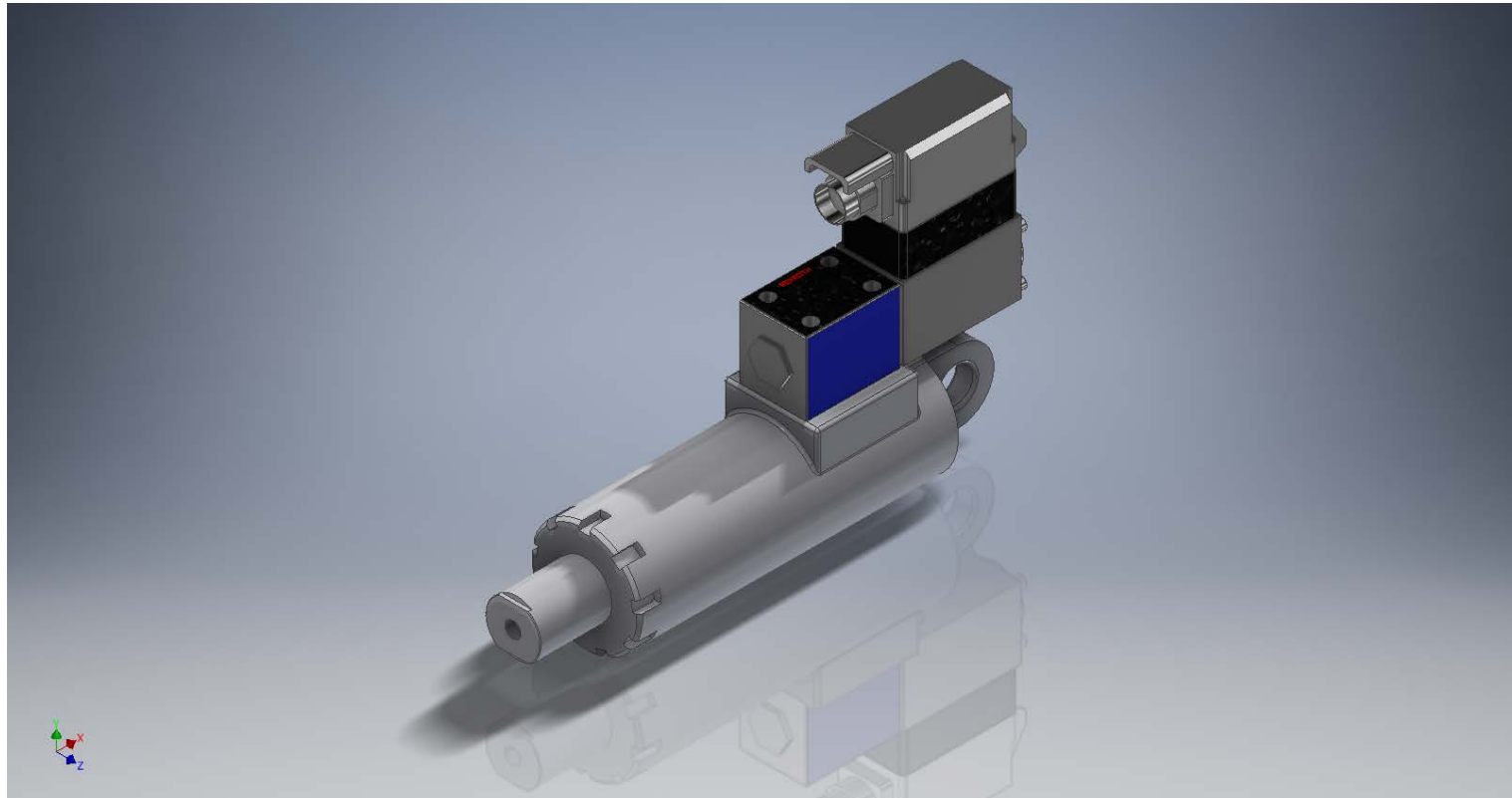
Materiais e Métodos

O modelo proposto do Atuador Hidráulico Nacional foi previamente criado e testado no software Autodesk Inventor, utilizando o recurso de elementos finitos do mesmo para garantir que a câmara do cilindro suporte a pressão de 200 Bar especificada no projeto.

O material utilizado para o corpo do atuador foi o Alumínio 6061, pois apresenta boas propriedades mecânicas e baixa densidade.

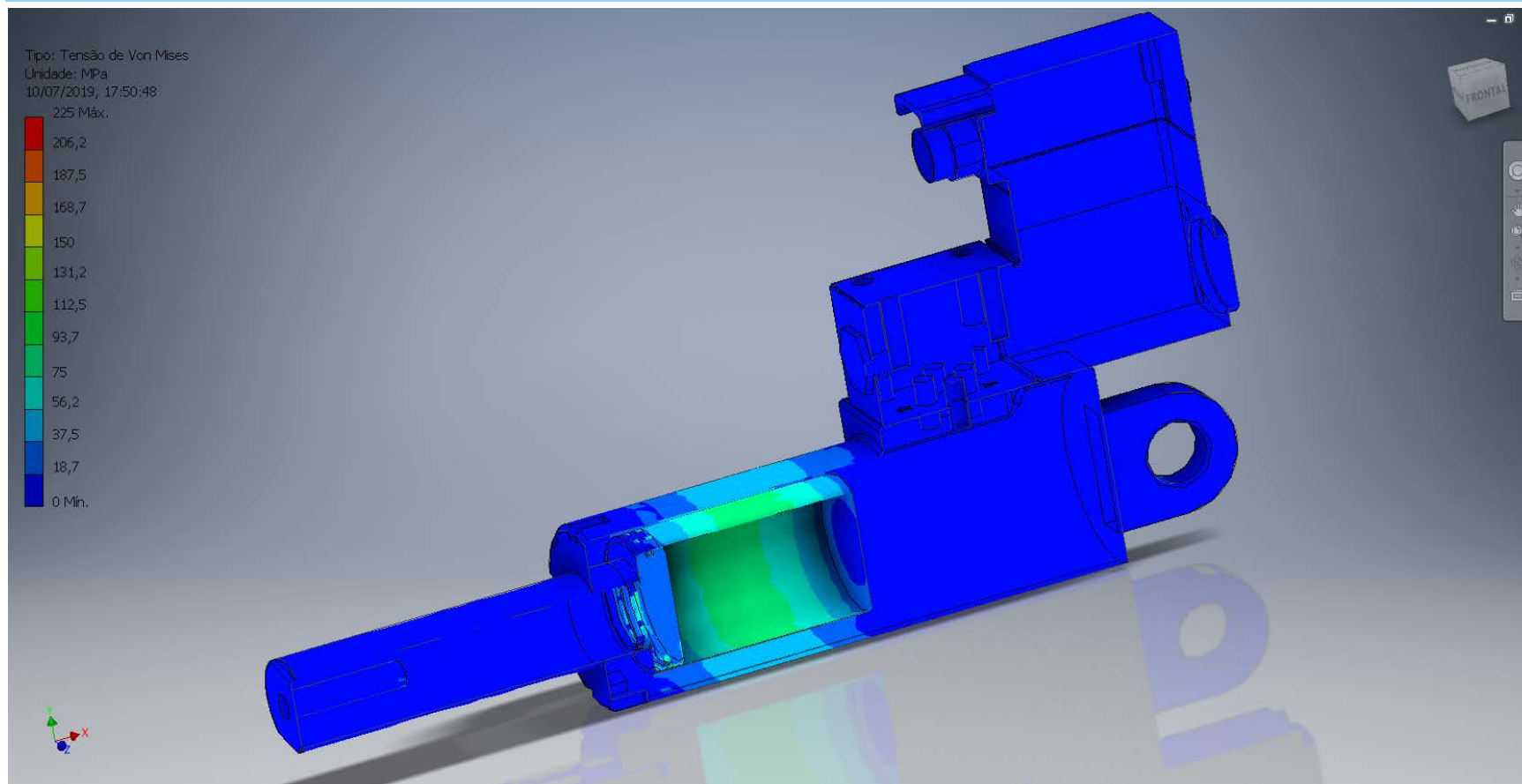
Material	Densidade	Tensão de Escoamento
Alumínio 6061	2,70 g/cm ³	275,00 MPa

Materiais e Métodos



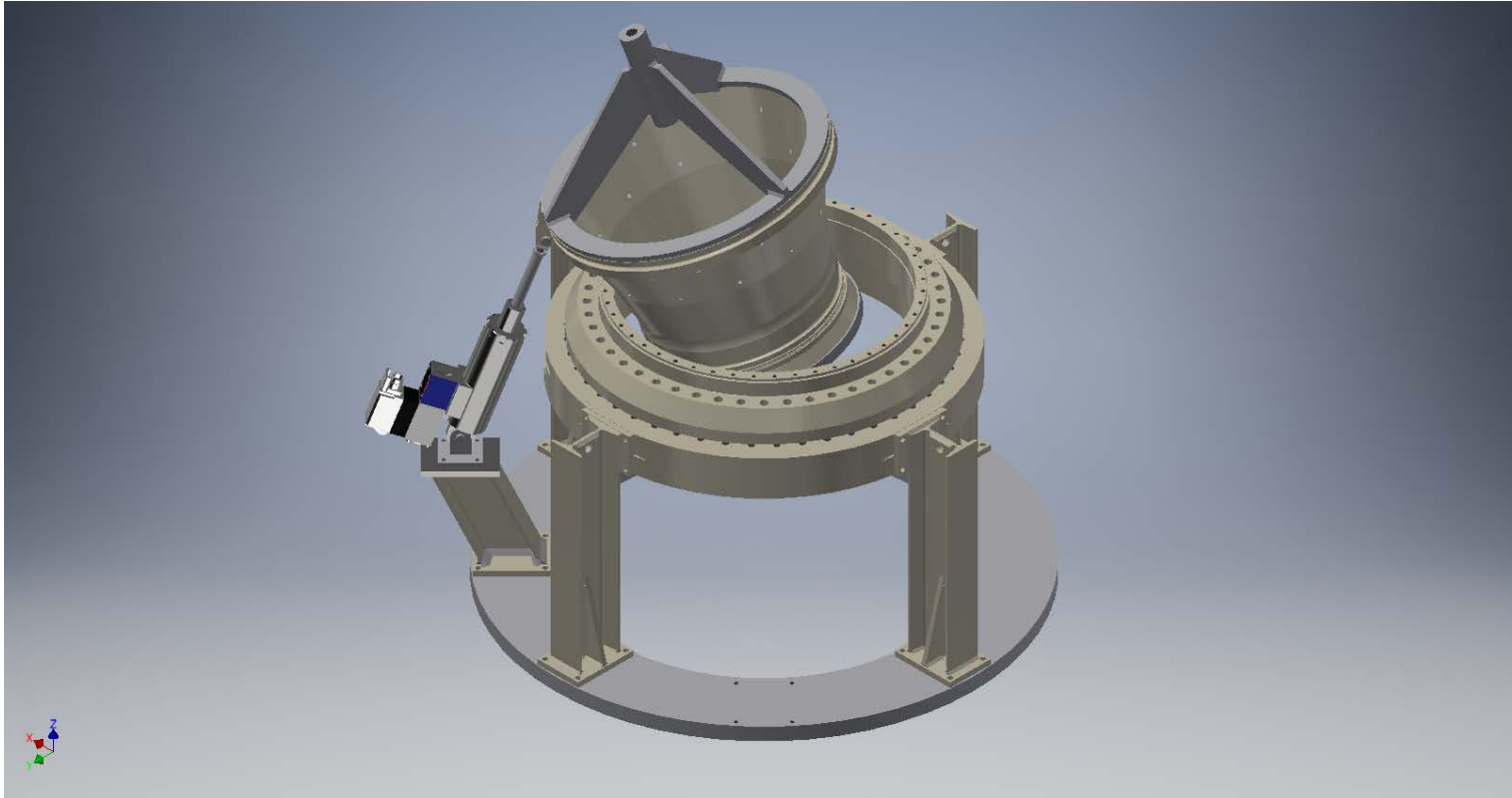
Fonte: Autor, 2020

Materiais e Métodos



Fonte: Autor, 2019

Materiais e Métodos



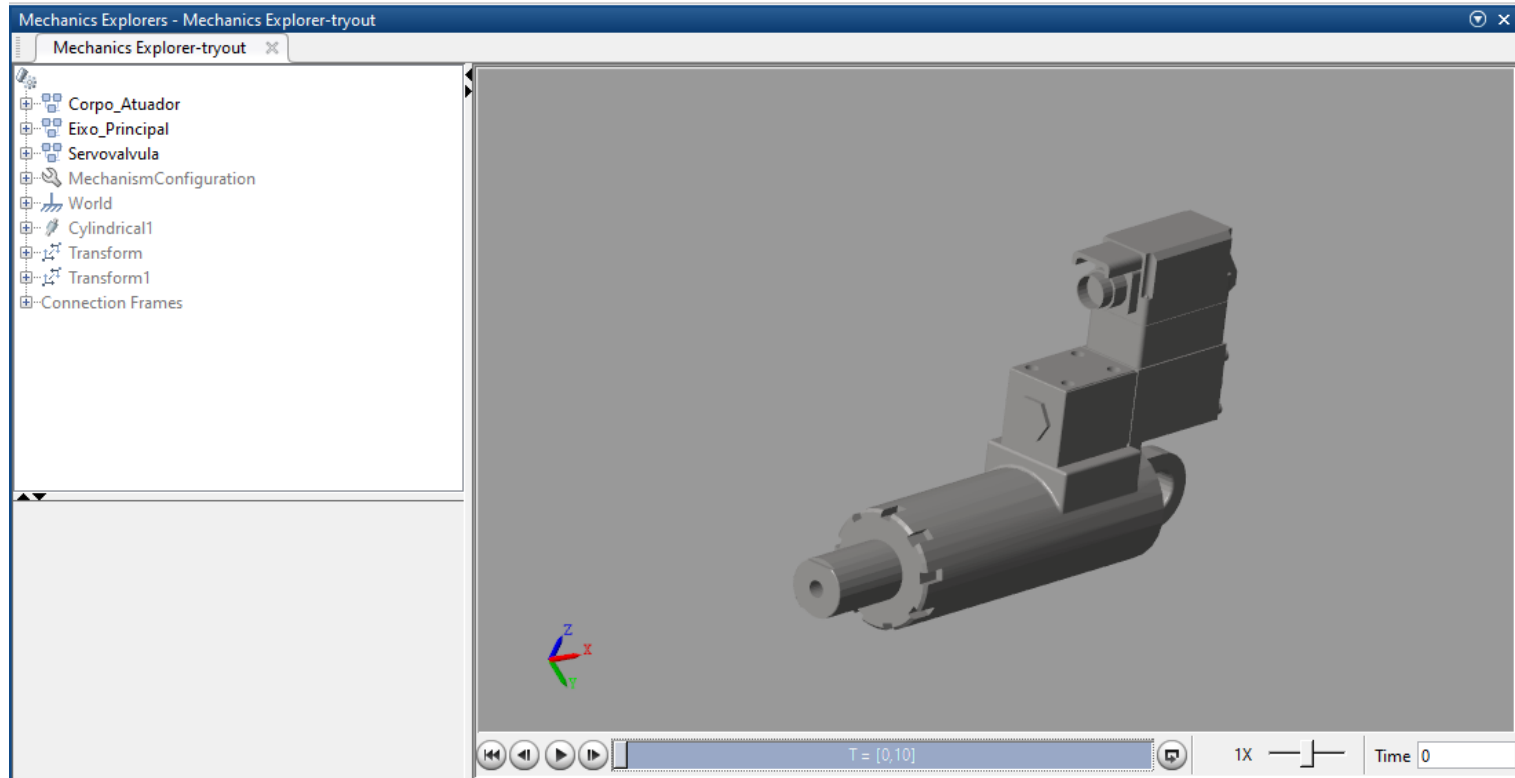
Fonte: Autor, 2020

Materiais e Métodos

O software MATLAB conta com a ferramenta Simulink: Um ambiente em que, através de blocos pré programados, torna possível a realização de análises dinâmicas de sistemas hidráulicos de forma simplificada.

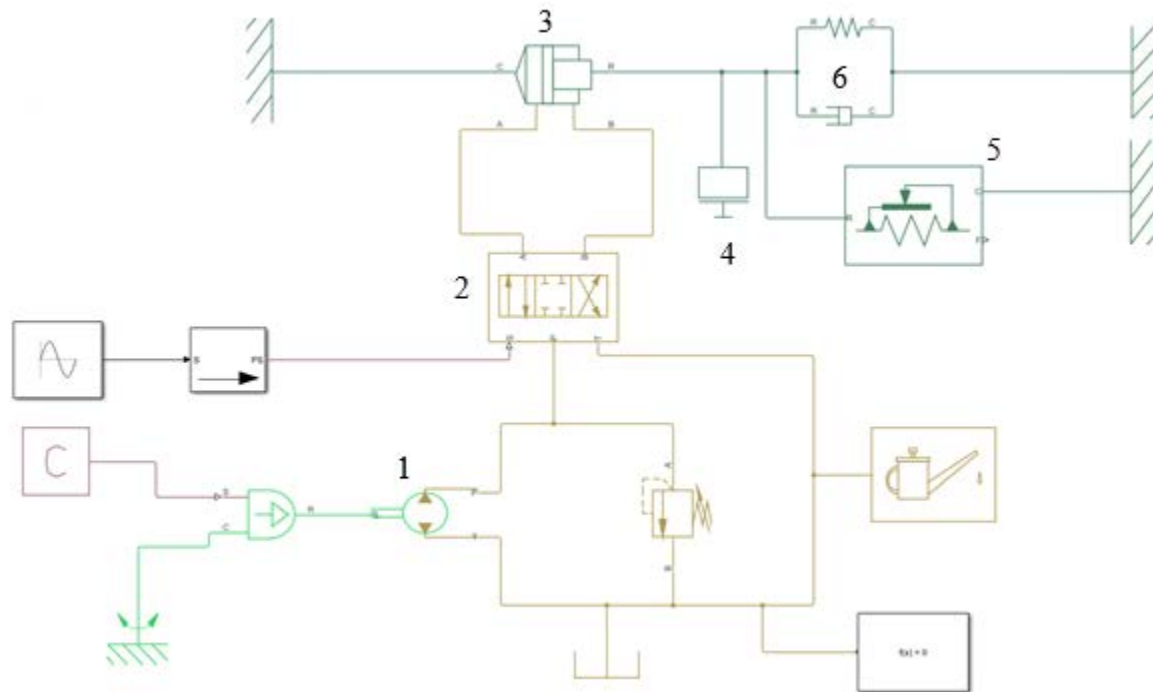
Utilizando a diagramação de blocos adequada e inserindo as condições de funcionamento do projeto do AHN, foi possível simular o funcionamento do Sistema de atuação hidráulica.

Materiais e Métodos



Fonte: Autor, 2020

Materiais e Métodos



Fonte: Autor, 2020

Materiais e Métodos

Índice	Item	Função/Descrição
1	Bomba	Bombeia o fluido hidráulico até a válvula direcional.
2	Válvula Direcional	É responsável por distribuir o fluido hidráulico no atuador. Representa a Servoválvula.
3	Atuador Hidráulico	Movimenta a tubeira ao receber o fluido hidráulico. Representa o eixo do atuador.
4	Bloco de Massa	Bloco de massa padrão acoplado ao eixo do atuador. Representa a tubeira do foguete.
5	Sensor de Força	Checar se o atuador está reproduzindo a força de 17 kN definida no projeto.
6	Mola e Amortecedor	Utilizado para oferecer resistência ao movimento realizado pelo atuador no bloco de massa.

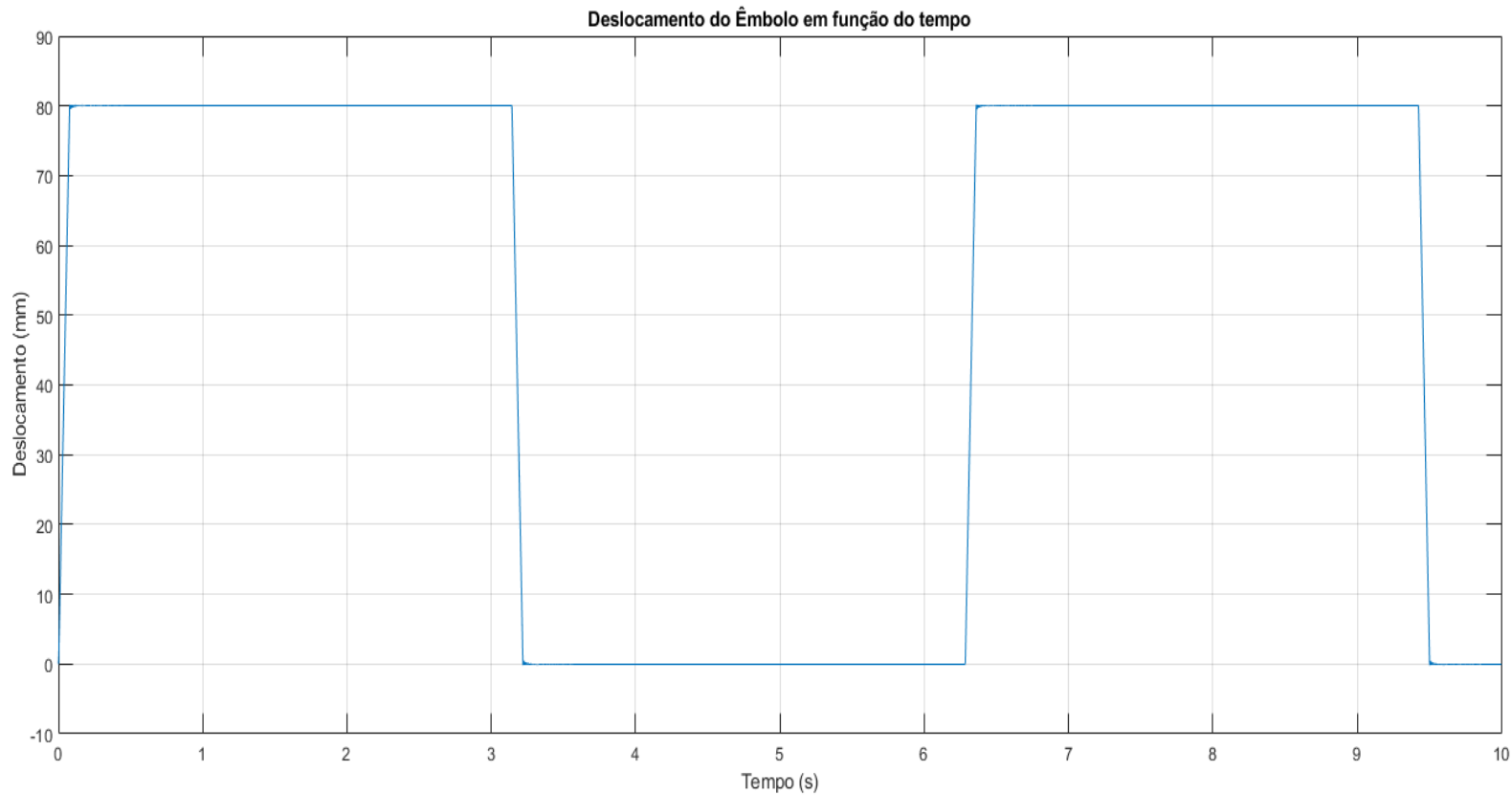
Resultados

Após feita a simulação, foram gerados diversos gráficos do funcionamento de cada componente do modelo proposto para o AHN.

Dentre estes gráficos, três podem ser considerados de grande importância:

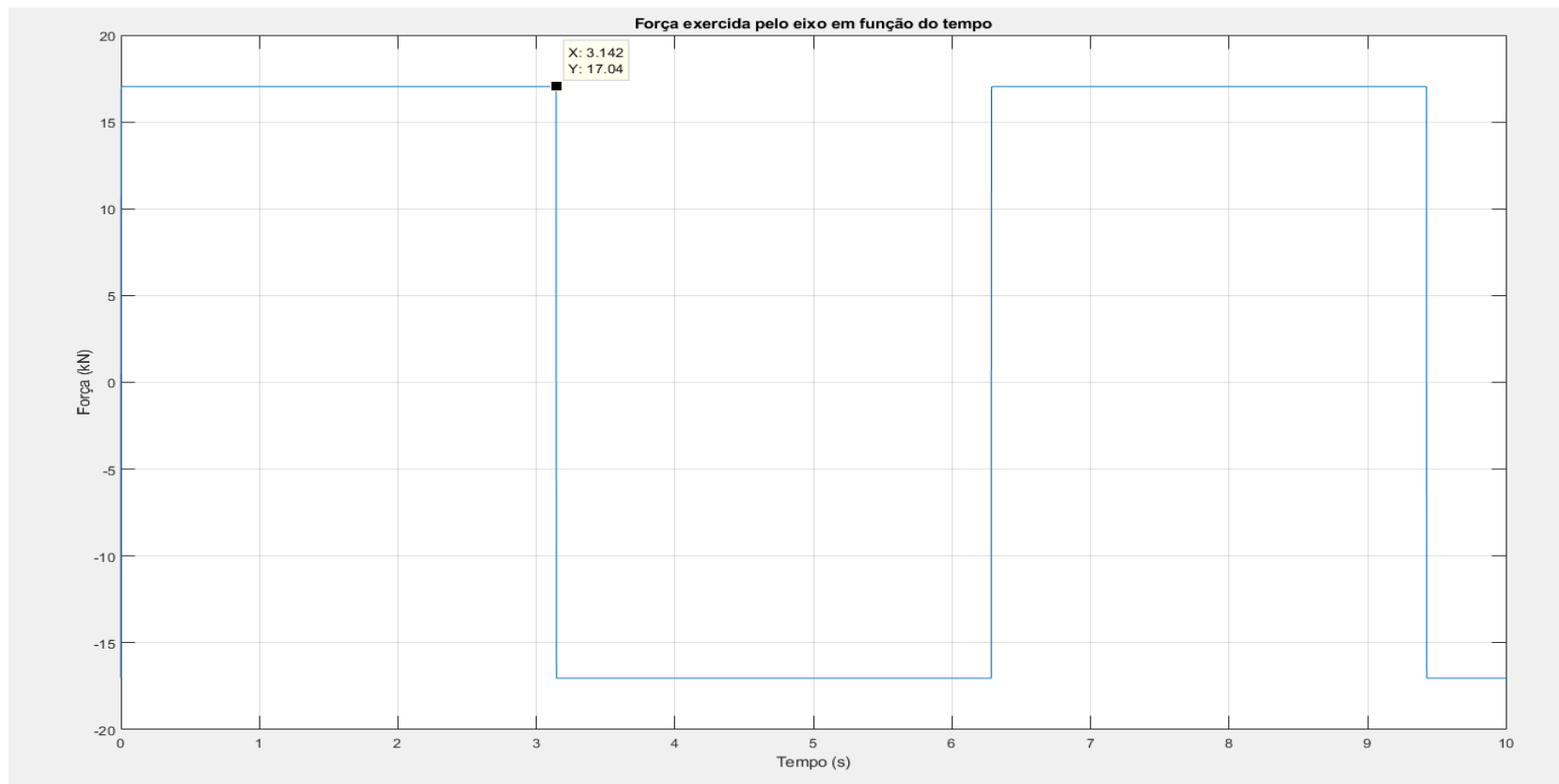
- Deslocamento do embolo versus tempo;
- Força aplicada pelo eixo do atuador versus tempo;
- Pressão na câmara do cilindro versus tempo.

Resultados



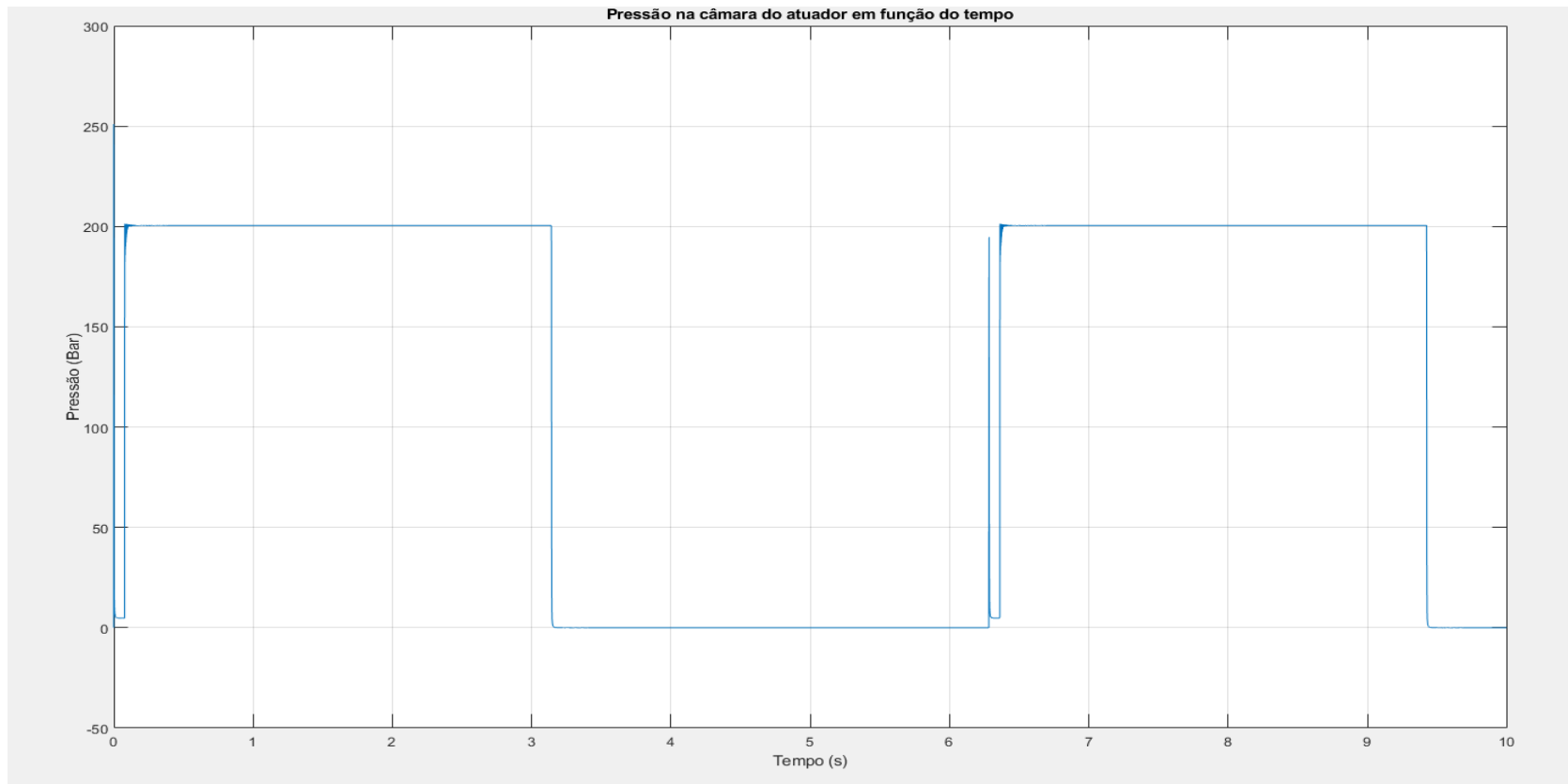
Fonte: Autor, 2020

Resultados



Fonte: Autor, 2020

Resultados



Fonte: Autor, 2020

Conclusões

- Foi possível apresentar um modelo preliminar para o AHN e determinar seu material;
- O modelo preliminar possui peso próximo a de modelos com características de funcionamento semelhantes no mercado;
- Ainda é necessária uma análise de fabricação e verificação de requisitos de desempenho;
- Adição do modelo ao MATLAB permite que novas simulações sejam feitas futuramente, gerando mais informações acerca do projeto.

Agradecimentos

- Ao Dr. Euler Barbosa pelo apoio, disponibilidade e orientação deste trabalho.
- Ao IAE pela oportunidade.
- Ao CNPq pelo apoio financeiro

Estudo da influência do tipo de plastificante na adesão entre mantas de borracha nitrílica

Bolsista: Luan Mizukami

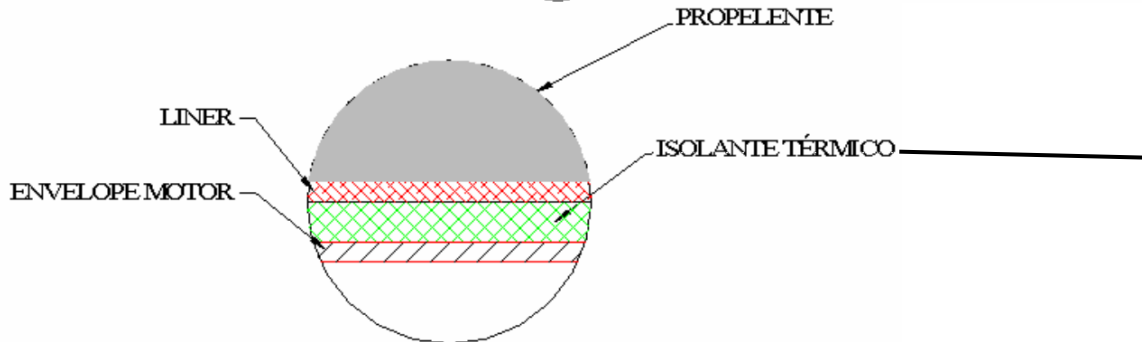
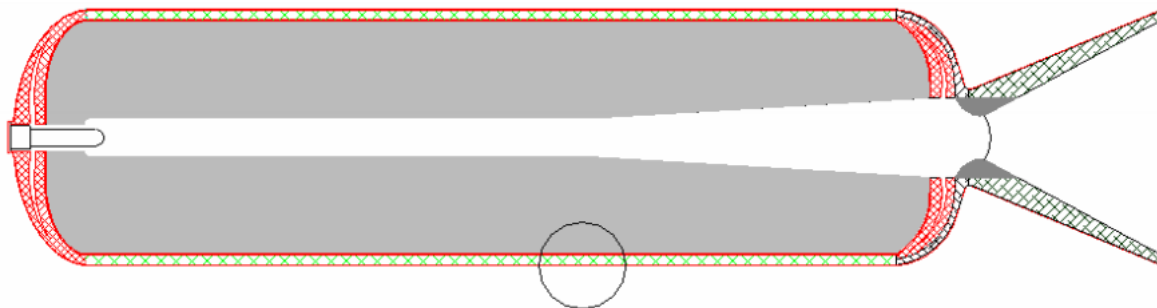
Orientador: Christiane Sales Reis de Souza

Período: Agosto de 2019 a Julho de 2020

Objetivos

Analisar a influência da substituição do plastificante *Dibutyl Phthalate* (DBP) em mantas de borracha nitrílica por um plastificante de composição livre de ftalatos no âmbito da adesão entre mantas de borracha nitrílica.

Introdução

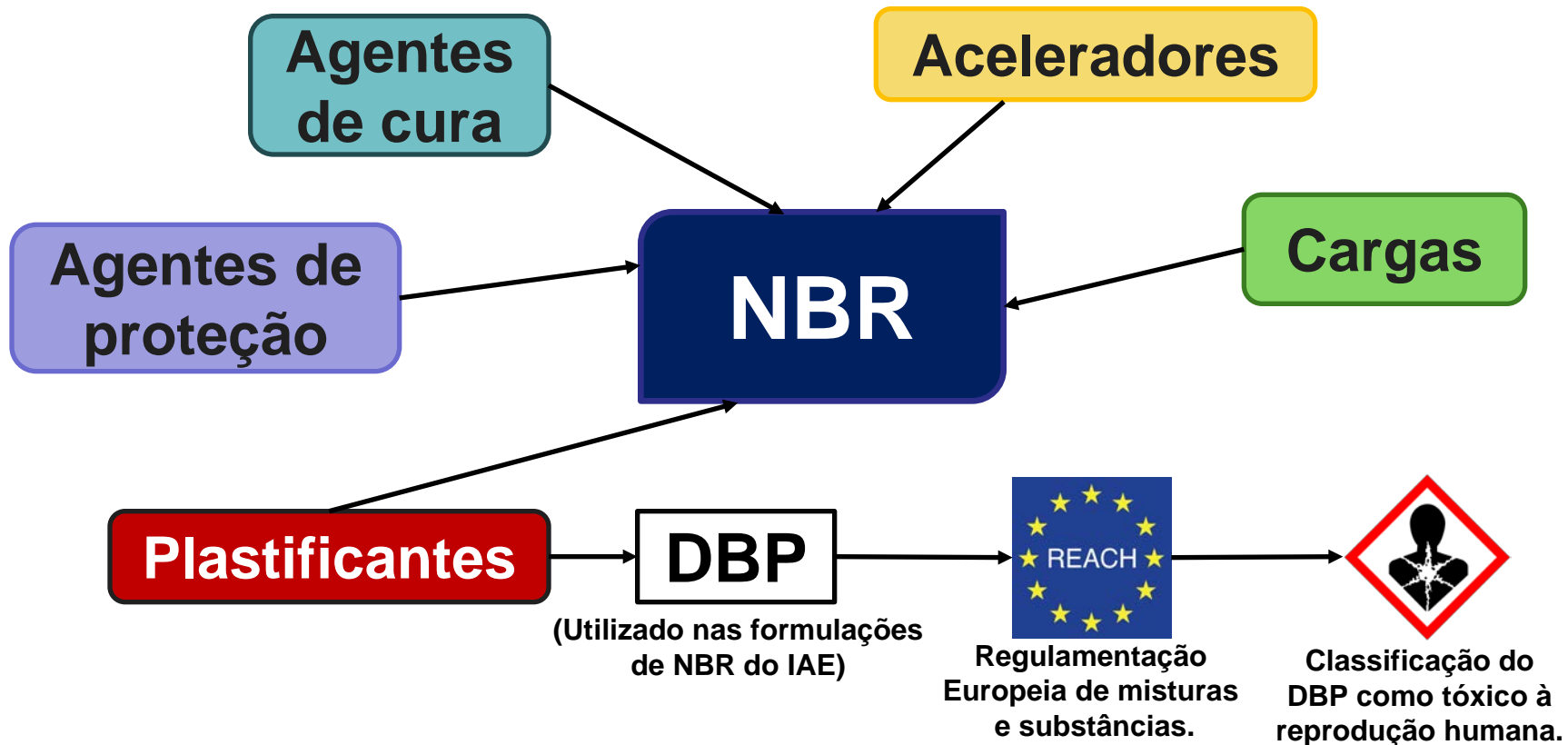


Borrachas de Isolamento Térmico

- **Acrylonitrile Butadiene Rubber (NBR)**
- *Ethylene propylene diene methylene rubber (EPDM)*

**Isolamento por
camadas de borracha**

Introdução



Introdução

L 322/14

EN

Official Journal of the European Union

18.12.2018

COMMISSION REGULATION (EU) 2018/2005

of 17 December 2018

amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), dibutyl phthalate (DBP), benzyl butyl phthalate (BBP) and diisobutyl phthalate (DIBP)

(Text with EEA relevance)

THE EUROPEAN COMMISSION,

Having regard to the Treaty on the Functioning of the European Union,

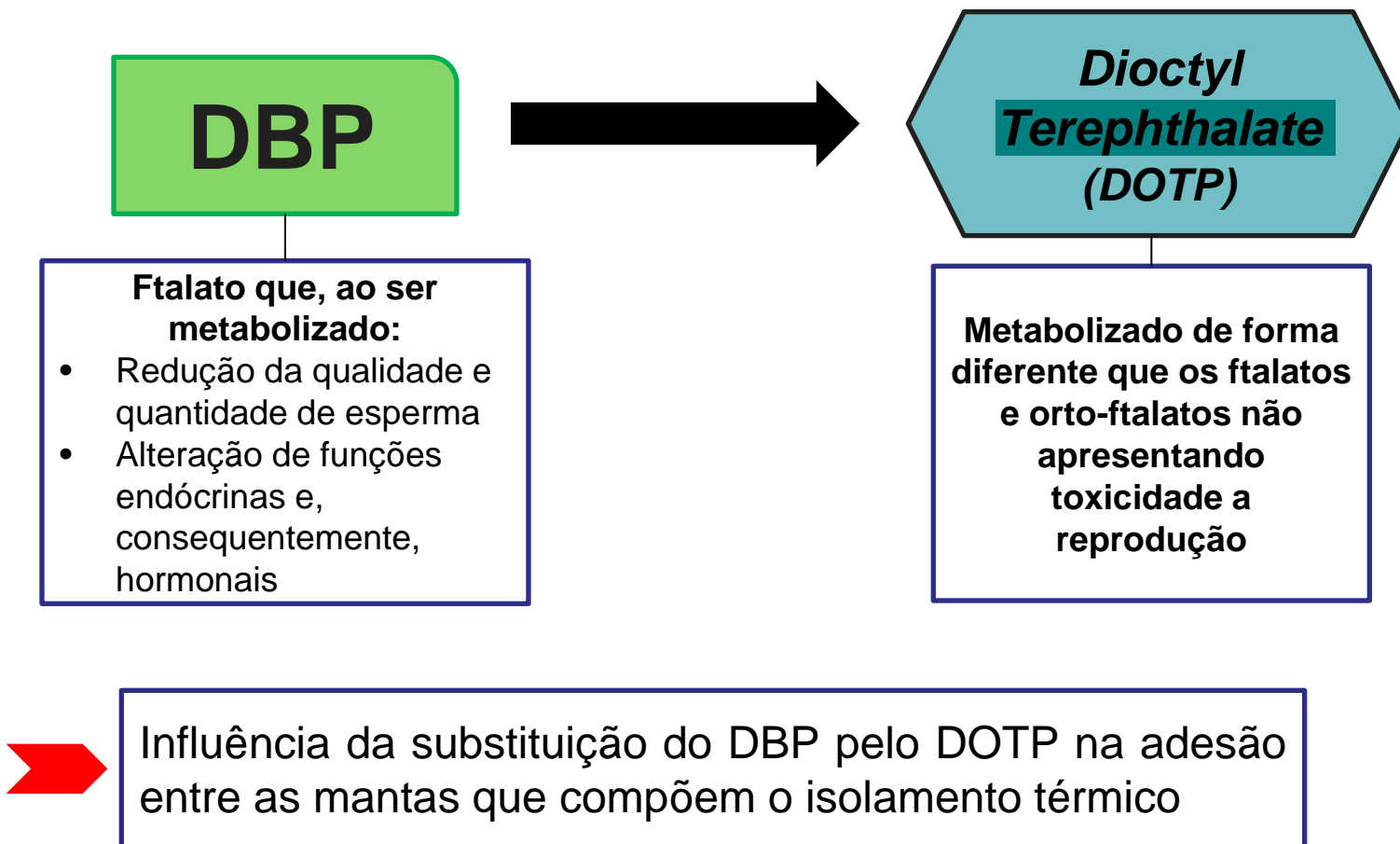
Having regard to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC ⁽¹⁾, and in particular Article 68(1) thereof,

Whereas:

- (1) Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), dibutyl phthalate (DBP), benzyl butyl phthalate (BBP) and diisobutyl phthalate (DIBP) (the four phthalates) are listed in Annex XIV to Regulation (EC) No 1907/2006 as substances toxic for reproduction, category 1B, with a sunset date of 21 February 2015, specified in accordance with Article 58(1)(c)(i) of that Regulation.

[2]

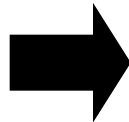
Introdução



Materiais e Métodos

Corte de amostras cilíndricas de mantas de NBR (DOTP)

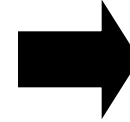
- 28 mm de diâmetro
- ~2 mm de espessura



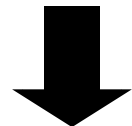
Montagem do CDP de Tração para Adesão (ASTM D897)



Colagem das interfaces de NBR com adesivo X-279

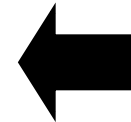


CDP de Tração para Adesão



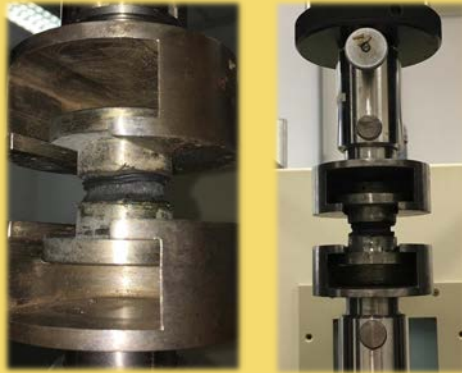
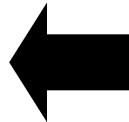
Dois tipos de CDP:

1. NBR crua x NBR crua (NBRc x NBRc)
2. NBR crua x NBR vulcanizada (NBRc x NBRv)



Cura dos CDP em:

- Estufa por 6h a 140°C
- Autoclave por 2,5h a 140°C



Ensaio de Tração

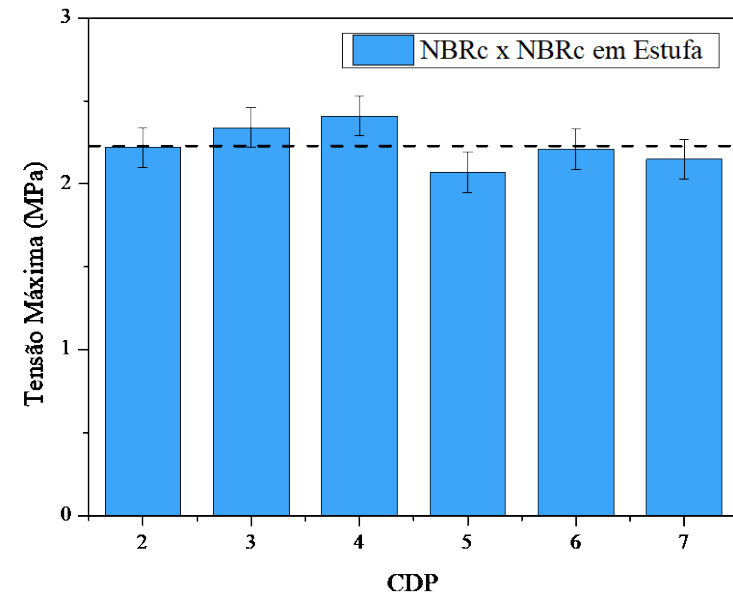
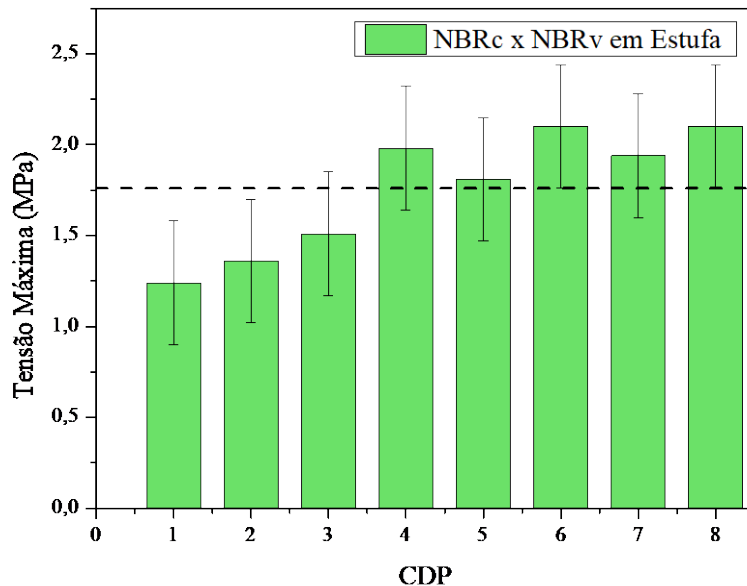
- Velocidade de 1,3 mm/min

Materiais e Métodos

- Foram analisadas as resistências adesivas das mantas de borracha NBR com plastificante DOTP nas configurações NBRc x NBRv e NBRc x NBRc e nos processos de cura estufa x autoclave.
- Comparou-se a resistência adesiva das mantas de NBR com: DBP (ftalato) x DOTP (tereftalato).

Resultados

Comparativo configurações em Estufa: NBRc x NBRv e NBRc x NBRc

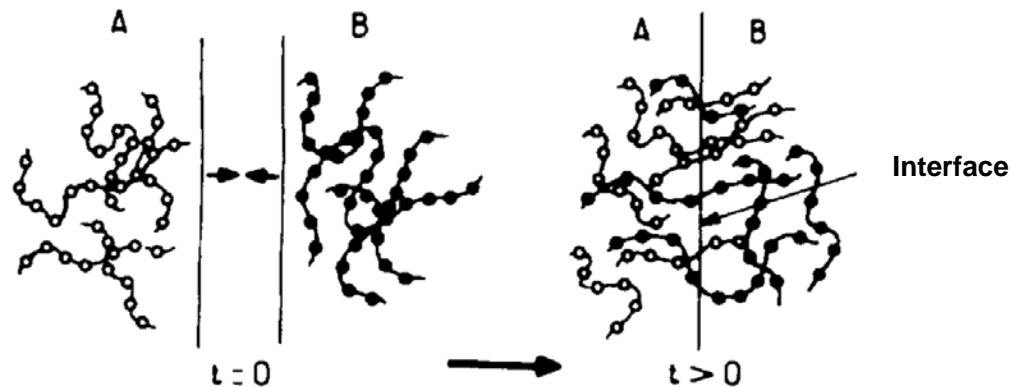


<u>Configuração</u> <u>(Estufa)</u>	<u>NBRc x NBRv</u> Tensão Máxima (MPa)	<u>NBRc x NBRc</u> Tensão Máxima (MPa)
<u>Média</u>	1,76±0,34	2,23±0,12

Resultados

Discussão de Resultados

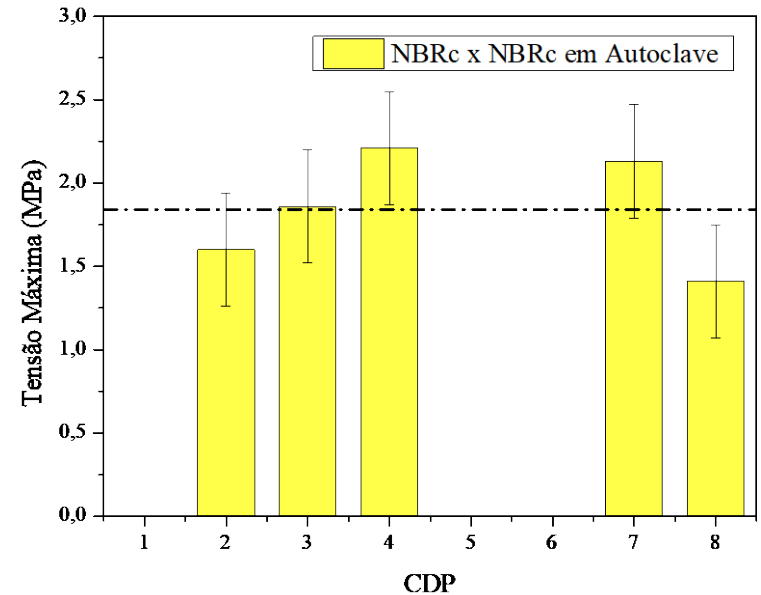
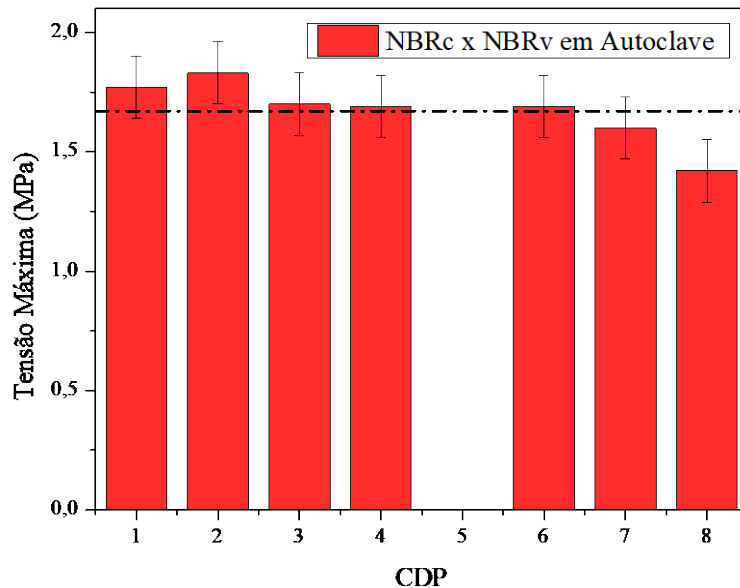
- NBRc x NBRc apresenta melhor interface borracha-adesivo em 21%.
- Fenômeno de interdifusão: Proposto por Voyutskii [3], onde há troca mútua (interdifusão) de segmentos de cadeia entre adesivo e substrato, facilitado pela maior mobilidade dos segmentos de cadeia e pela similaridade adesivo-substrato.
- O processo de vulcanização promove um aumento da rigidez e redução da mobilidade das cadeias poliméricas através da reticulação [4].



Adaptado de [4]

Resultados

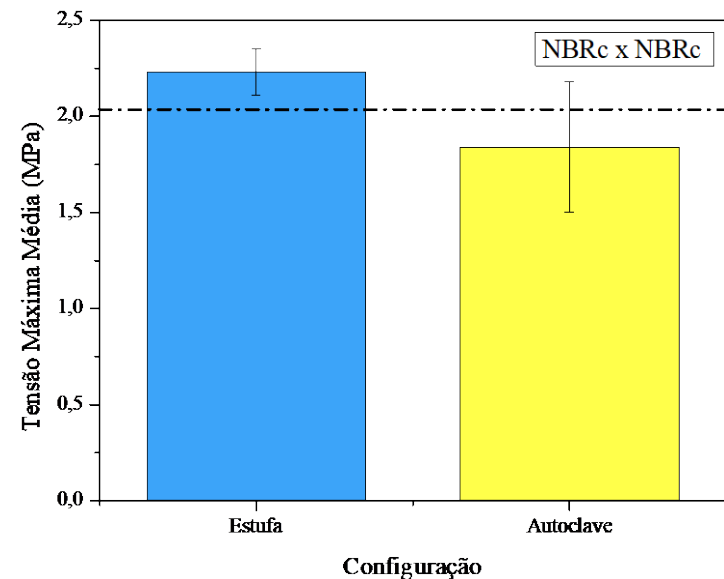
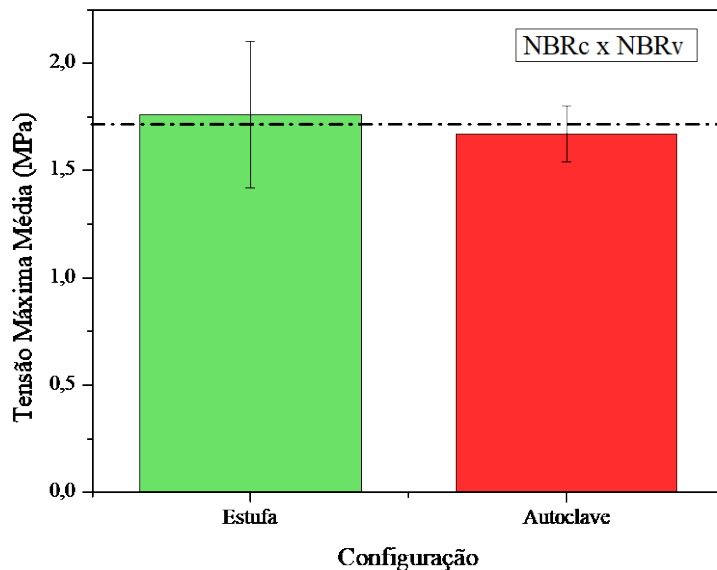
➤ Processos de cura: Estufa x Autoclave (DOTP):



<u>Configuração (Autoclave)</u>	<u>NBRc x NBRv</u> Tensão Máxima (MPa)	<u>NBRc x NBRc</u> Tensão Máxima (MPa)
<u>Média</u>	1,84±0,34	1,67±0,13

Resultados

➤ Processos de cura: Estufa x Autoclave (DOTP):



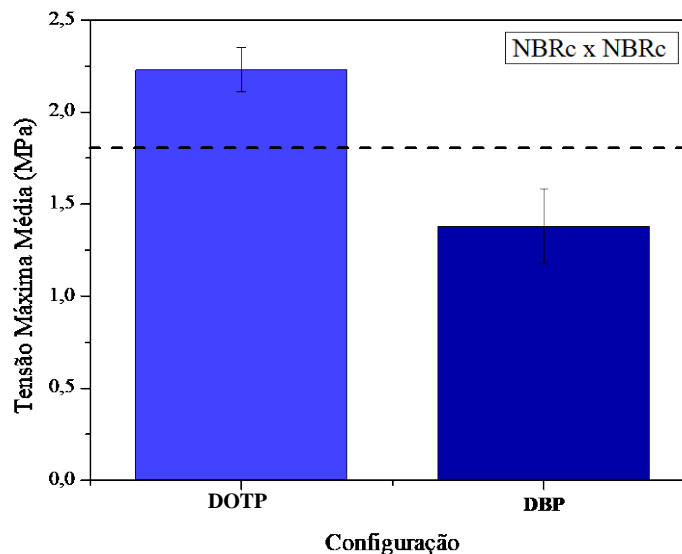
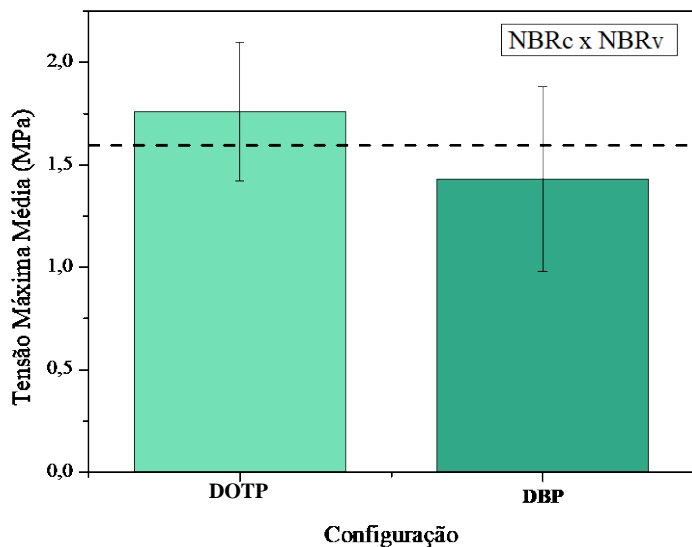
- ❑ **NBRc x NBRc:** Maior resistência adesiva pela cura em Estufa → Pressão aplicada em autoclave reduz a mobilidade das cadeias dificultando a interdifusão de segmentos de cadeia com o adesivo.
- ❑ **NBRc x NBRv:** Resultados próximos entre si. Uma das interfaces é vulcanizada (↓Mobilidade pela reticulação) → pressão induz cristalização. [5]

Resultados

Resistência adesiva: DBP (ftalato) x DOTP (Tereftalato):

Configuração (NBRc x NBRv)	DOTP Tensão Máxima (MPa)	DBP* Tensão Máxima (MPa)
<u>Média</u>	1,76±0,34	1,43±0,45

Configuração (NBRc x NBRc)	DOTP Tensão Máxima (MPa)	DBP* Tensão Máxima (MPa)
<u>Média</u>	2,23±0,12	1,38±0,20



*Resultados de um Relatório interno anterior (amostras sob mesma metodologia).

Resultados

➤ Resistência adesiva: DBP (ftalato) x DOTP (Tereftalato):

→ **NBR/DOTP** apresentou maior resistência adesiva para ambas as configurações (maior reprodutibilidade para NBRc x NBRc).

→ Provável aumento da similaridade entre adesivo e a NBR/DOTP em relação ao DBP, considerando, também, outros compostos em ambos os plastificantes.

→ **Aumento na resistência adesiva nas configurações com DOTP:**

38,1% para NBRc x NBRc e de **20,5%** para NBRc x NBRv.

Conclusões

- Adesão entre mantas de NBR crua é facilitada pela maior mobilidade das cadeias (em relação às mantas vulcanizadas) conforme o modelo de interdifusão para adesão de polímeros [3,4].
- O plastificante DOTP proporcionou um aumento da resistência adesiva das mantas de NBR, com melhor performance na configuração entre mantas cruas.
- A cura em estufa produziu uma maior resistência adesiva entre mantas de borracha em 21,2% quando comparado com a cura em autoclave (mantas cruas). Na cura em Autoclave, a pressão induz cristalização nos segmentos de cadeia reduzindo sua mobilidade [5] semelhantemente à cristalização induzida no estiramento de polímeros e elastômeros.

Referências

- [1] de MORAIS, A.M.F.; PINTO, J. A. R.; de OLIVEIRA, F. R. Desenvolvimento e caracterização de um sistema adesivo para motor foguete a propelente sólido. **Anais do 9º congresso Brasileiro de polímeros**. 2007.
- [2] JUNCKER, J. Amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), dibutyl phthalate (DBP), benzyl butyl phthalate (BBP) and diisobutyl phthalate (DIBP). **Official Journal of the European Union**, Bruxelas, 18 Dez. 2018. p. 14-19.
- [3] VOYUTSKII, S. S.; VAKULA, V. L. The Role of Diffusion Phenomena in Polymer-to-Polymer Adhesion. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 7, n. 2, p. 475-491. Mar. 1963. DOI:10.1002/app.1963.070070207.
- [4] FOURCHE, G. An Overview of the Basic Aspects of Polymer Adhesion. Part I: Fundamentals. **Polymer Engineering and Science**. v. 35, n. 12, p. 957-967. Jun. 1995. DOI:10.1002/pen.760351202.
- [5] THIESSEN, P. A.; KIRCH, W. (1940). The Crystallization of Weakly Vulcanized Rubber by Pressure. **Rubber Chemistry and Technology**. v.13, n. 1, p. 48–48. DOI:10.5254/1.3546517.

Agradecimentos



Metodologia de Análise Aplicada ao Esclarecimento de Áreas em Ensaios de Voo

Bolsista: **Nathália** de Andrade Iroski, EEL-USP
Orientador: **Maurício** Guimarães da Silva, Pesq
Período: 06/19 – 06/20

Objetivos

- Elaborar Metodologia para se Estimar a Probabilidade de Risco de Colisão em Esclarecimentos de Área
- Implementação Computacional da Metodologia de Análise de Risco

Introdução

- Esclarecimento de Área (Descrição)



Materiais e Métodos

- Simulação Balística (Dinâmica do Voo)
- Função Distribuição de Probabilidade (PDF)
- Malha de Cálculo
- Análise de Risco (Probabilidade de Colisão)

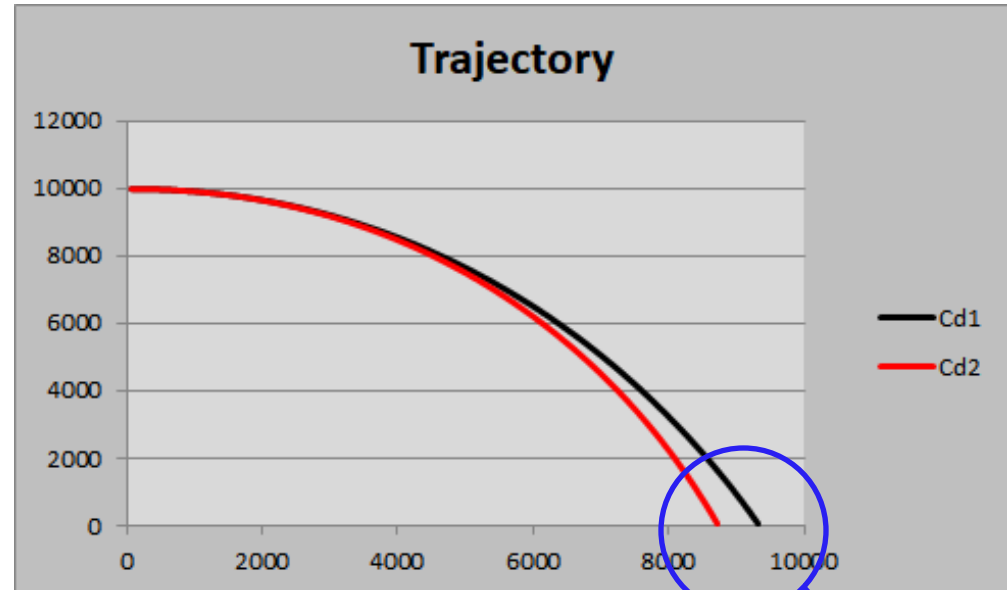
Resultados Simulação Balística

SET RUN	
Parameter	Value
dt	0,0005
Final Time	500,00

INITIAL CONDITION	
Parameter	Value
H	10000,000
Mach	0,80
Ve	3,00
θ	0,00

VEHICLE	
Parameter	Value
d	0,450
Mass	810,00
Cd1	0,83
Cd2	1,20

ATMOSPHERE	
Parameter	Value
g	9,810
P sea level	100000,00
Δ isa	0,00

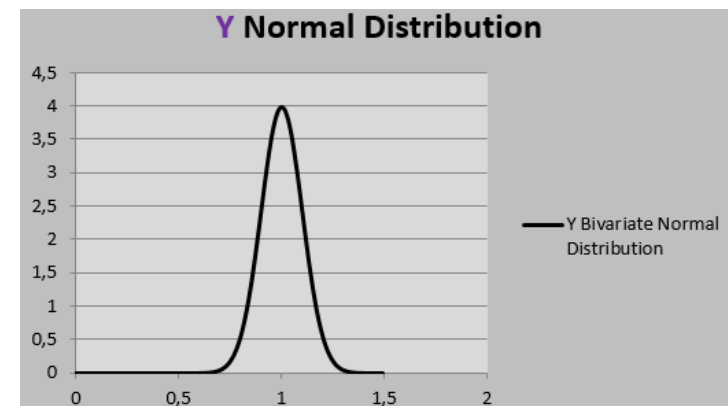
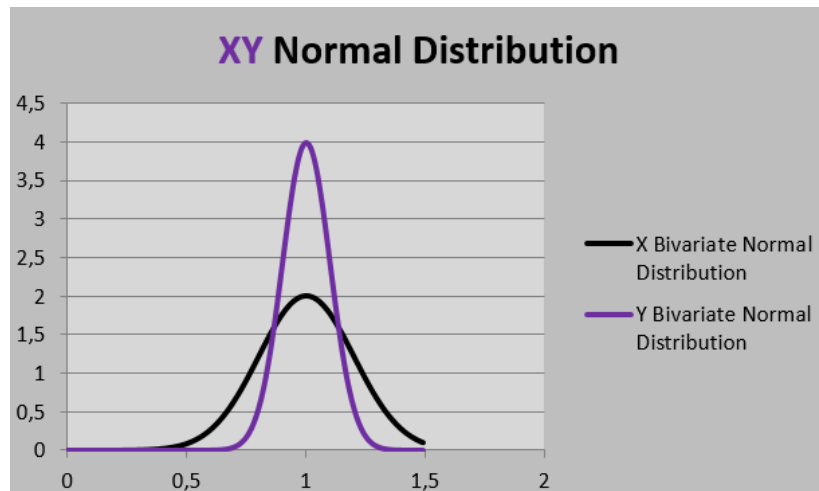
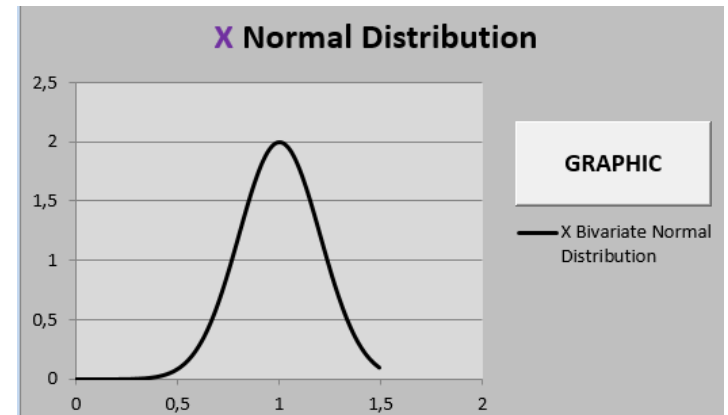


OUPUT		
Parameter	Cd1	Cd2
Time Flight	51,111	53,488
Range	9316,56	8733,94
Impact Angle	-70,86	-74,25
Impact Velocity	325,77	282,45

Determinação do
PONTO DE IMPACTO

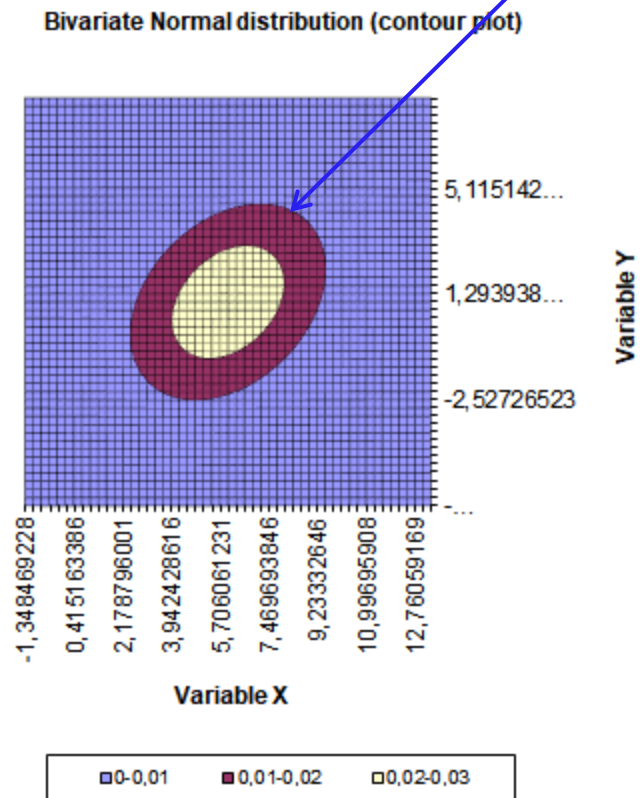
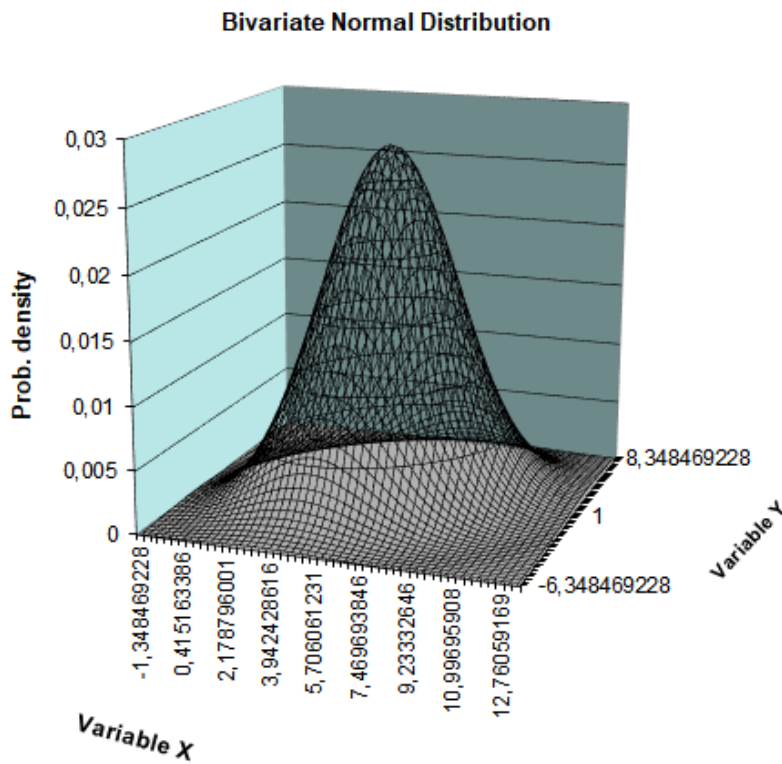
Resultados PDF

Parameter	Value	Output	Value	Parameter	Value
Mean	1,20	$p_x (x_1 < x < x_2)$	0,33638	Mean	1,20
Sigma	0,50			Sigma	0,70
x1	0,00	$p_y (y_1 < x < y_2)$	0,34431	y1	0,00
x2	1,00			y2	1,00
		$p (region)$	0,11582		



Resultados PDF

PDF a ser utilizado na
MALHA DE CÁLCULO



Resultados

Malha de Cálculo

Parameter	Value	Unity
RangeX	1,312E+04	m
SigmaX	1,000E+03	m
RangeY	0,000E+00	m
SigmaY	5,000E+03	m
Xmax	1,749E+04	m
Ymax	1,312E+04	m
Npoints RangeX	10	Número de Pontos até o Ponto de Impacto (direção range)
Npoints	20	Número de Pontos Total na Direção Range

Probabilidades de Colisão (ou impacto)

Ponto de Impacto

	0	1457	2914	4372	5829	7286	8743	10201	11658	13115	14572	16029	17487	18944	20401	21858	23316	24773	26230
11241,4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,34%	0,34%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
9367,9	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%	0,78%	0,78%	0,13%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
7494,3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,26%	1,56%	1,56%	0,26%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5620,7	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,45%	2,72%	2,72%	0,45%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3747,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,68%	4,12%	4,12%	0,68%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1873,6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,90%	5,43%	5,43%	0,90%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	1,03%	6,24%	6,24%	1,03%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1873,6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,90%	5,43%	5,43%	0,90%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3747,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,68%	4,12%	4,12%	0,68%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5620,7	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,45%	2,72%	2,72%	0,45%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
7494,3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,26%	1,56%	1,56%	0,26%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
9367,9	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%	0,78%	0,78%	0,13%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
11241,4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,34%	0,34%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Conclusões

- Os objetivos: (i) Metodologia de Esclarecimento de Área e (ii) Implementação Computacional da Metodologia em Plataforma EXCEL foram realizados.
-
- Os resultados obtidos foram considerados como sendo SATISFATÓRIOS pelo grupo de trabalho da ASD ! Ainda falta a GENERALIZAÇÃO e tornar o código mais amigável.
- **Próximo Passo:** Continuar o desenvolvimento do programa utilizando a malha de cálculo **correspondente a área de lançamento** previsto para o ensaio de voo.

Prêmios e Publicações

- Publicação em adamento

Agradecimentos

- Maurício da Silva Guimarães
- Instituto de Aeronáutica e Espaço

Estudo de microesferas de vidro como carga ablativa em elastômeros

Bolsista: Pamela Rodrigues Passos Severino

Orientador: Dra Sandra Aparecida Coelho de Mello

Período: Agosto de 2019 a Julho de 2020

Objetivo

Avaliar a utilização de microesferas ocas de vidro como carga ablativa na borracha EPDM em materiais utilizados como proteção térmica em motor foguete

Introdução

Setor Aeroespacial

As Proteções térmicas utilizadas em Motor foguete, utilizados em um veículo lançador de satélites sofrem:

- Ações erosivas e térmicas
 - Devido às condições severas de $T^{\circ}\text{C}$ (superior a 2000°C) e abrasão devido ao escoamento de gases quentes, resultantes da combustão do propelente [1]

Assim, as proteções térmicas devem apresentar: resistência mecânica e térmica e baixo peso



Figura 1 –Veículo lançador de satélite VLS-1 [2]

Revisão Bibliográfica

A borracha EPDM

- Boas propriedades de resistência ao ozônio e oxidação, fácil processamento [3]
- Combinada a uma carga ablativa: protege o equipamento por mais tempo (altas temperaturas)



Figura 2 – Exemplo EPDM [5]

Processo de ablação: perda irreversível de massa de um material, ao ser submetido às condições severas, por meio da absorção do calor incidido pela combustão do motor [4]

Revisão Bibliográfica

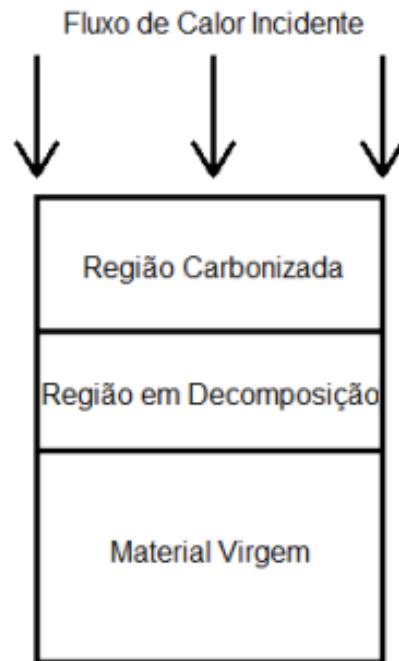


Figura 3- Esquema representativo do processo de ablação no material [4]

Revisão Bibliográfica

Microesferas de vidro

- vantagens: versatilidade de propriedades que podem conferir a uma matriz polimérica (redução da condutividade térmica e da densidade do material) [6]
- desvantagens: pode haver redução nas propriedades mecânicas do produto

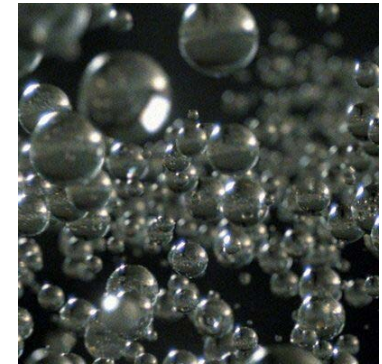


Figura 4 – Microesferas de vidro [8]

Recente estudo da aplicação em elastômeros [7]

Materiais e Métodos

Materiais

- Elastômero EPDM, Keltan K-2650 (46% de etileno, 48% propileno e 6% de norboneno) produzido pela Arlanxeo;
- Dióxido de silício precipitado de grau comercial
- Negro de fumo ASTM N330
- Microesferas ocas de vidro, de grau comercial, produzidas pela empresa 3M.

Materiais e Métodos

Tabela 1: Formulações a base de EPDM propostas

Aditivos	Característica do aditivos	TE15	STE5	STE10	STE0
		(phr) ^(*)			
EPDM	Borracha	100	100	100	100
SiO ₂	Sílica Precipitada Zeosil 185	-	25	25	25
Silanogran HVS	Coagente da sílica	-	1,5	1,5	1,5
Microesferas	Microesferas Ocas de Vidro	15	5	10	0
Óleo parafínico	Facilitador de mistura	2,5	2,5	2,5	2,5
NF (N330)	Negro de fumo	-	5	5	5
T-40	Peróxido	2	2	2	2
ZnO	Óxido de zinco	-	5	5	5
TC40ZP	Coagente do peróxido	8	8	8	8
Total		127,5	154	159	149

(*) partes por cem partes de borracha

Materiais e Métodos

Metodologia

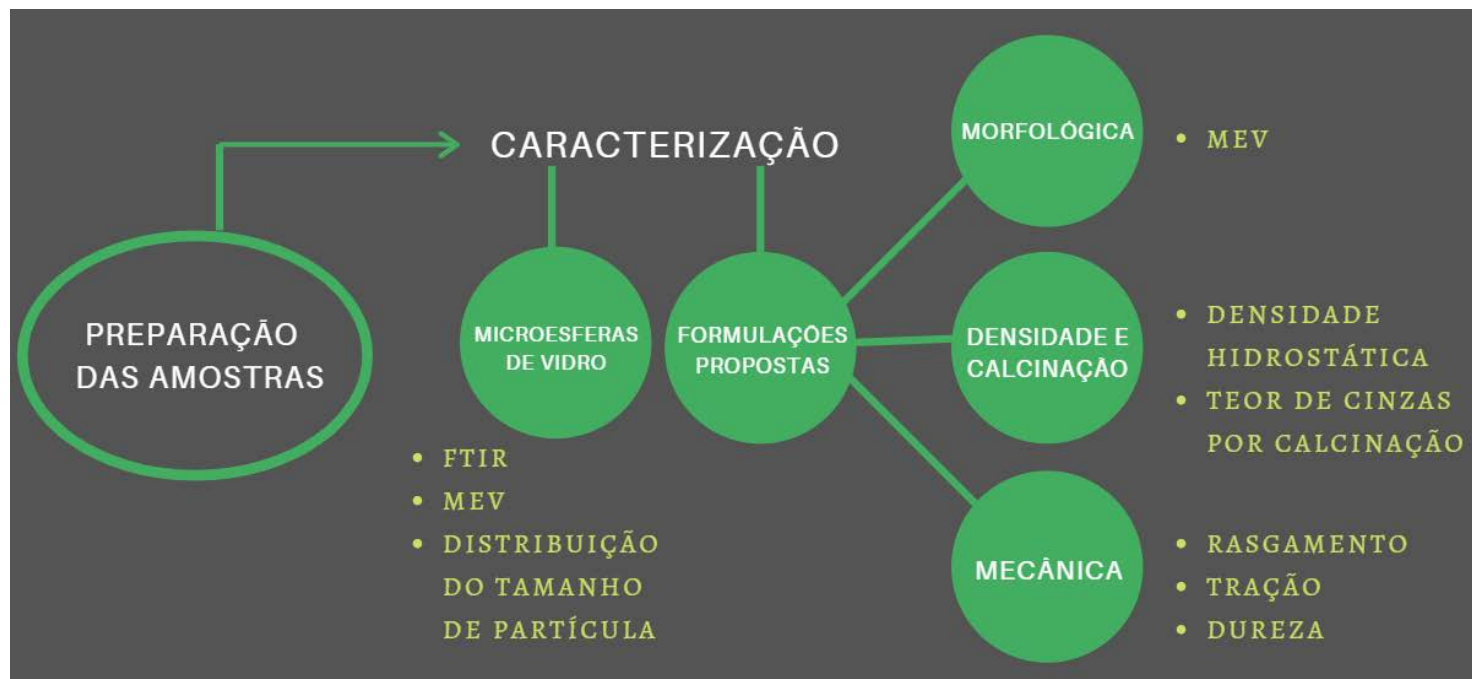


Figura 5 - Fluxograma sobre a metodologia empregada no desenvolvimento do projeto

Resultados

Caracterização das microesferas de vidro

- Análise FTIR

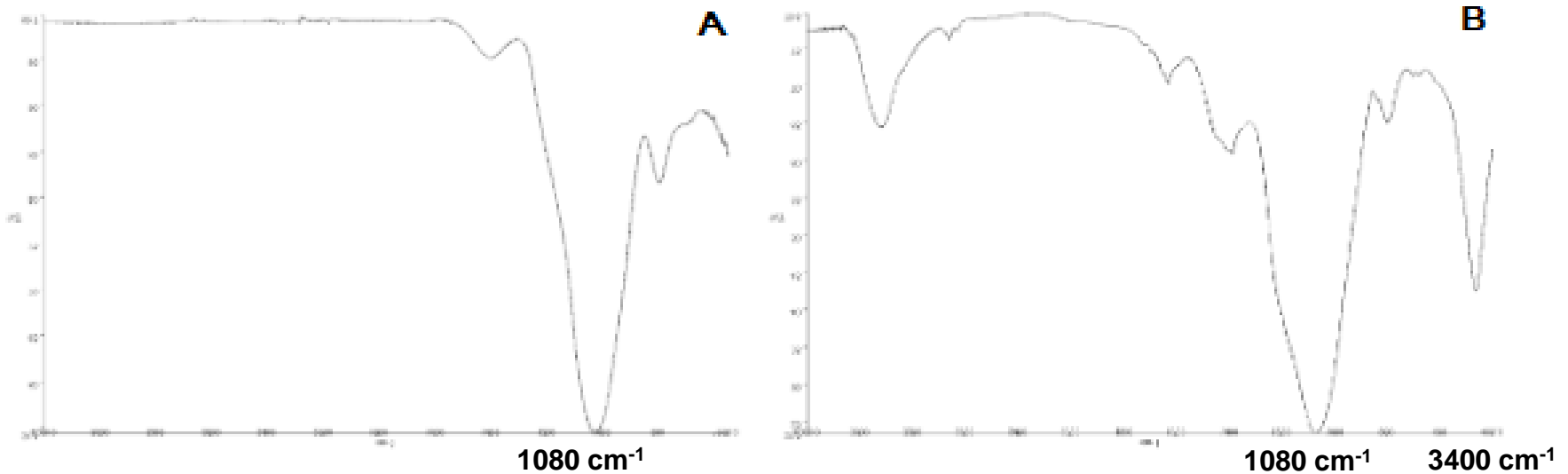


Figura 6: Espectrômetros obtidos para as microesferas de vidro, seguindo as técnicas de (A) absorção, e (B) transmissão, respectivamente.

Resultados

Caracterização das microesferas de vidro

- MEV

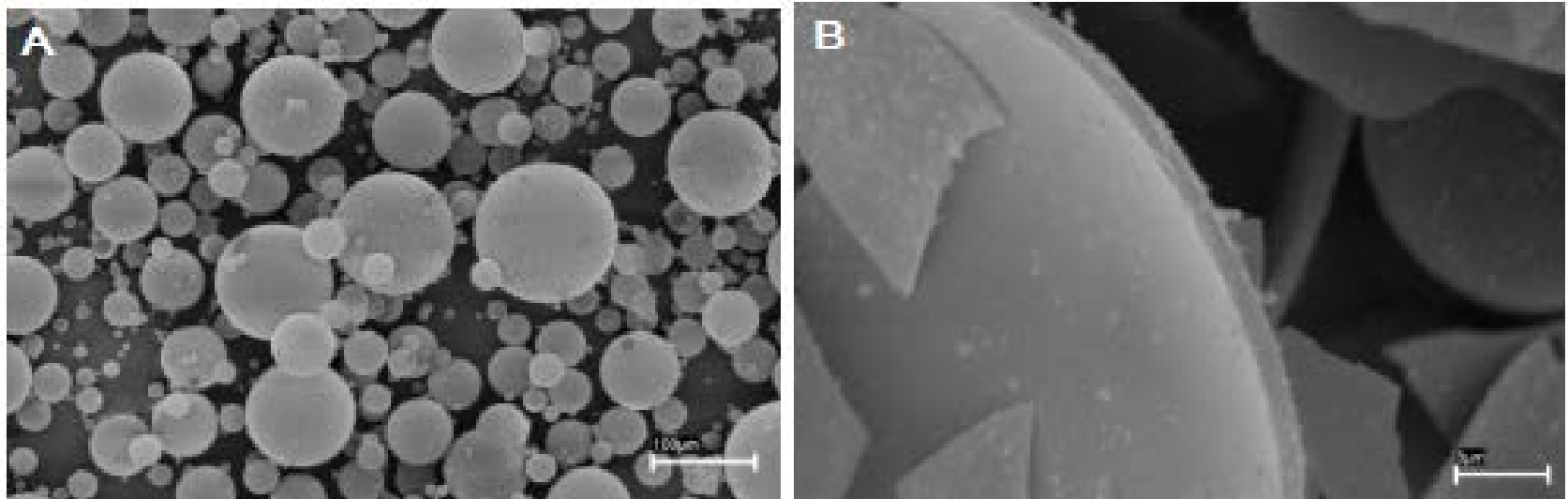


Figura 7: Microesferas de vidro, em (A) inteiras (com ampliações de 500x), e (B) fraturadas (15000x), respectivamente.

Resultados

Caracterização das microesferas de vidro

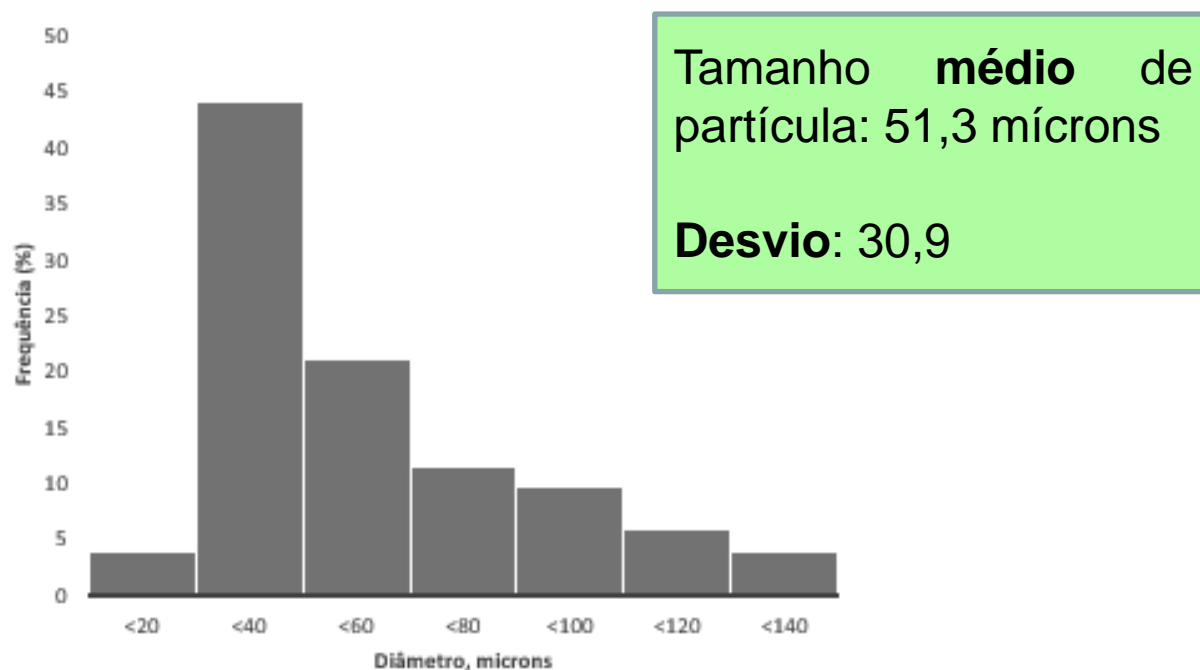
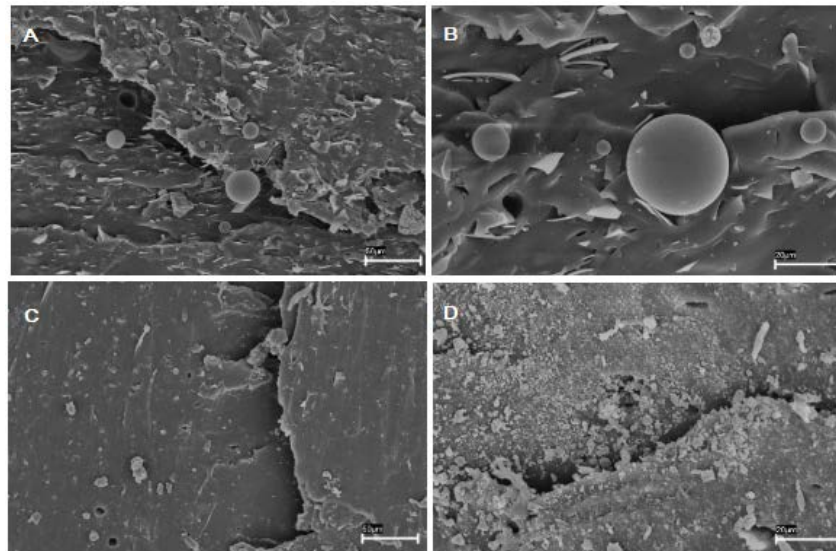


Figura 8: Distribuição de tamanho de partícula das microesferas de vidro

Resultados

Caracterização das formulações da borracha EPDM

Análise morfológica



- Distribuição homogênea de partículas
- Bem dispersas
- Boa interação com EPDM

Figura 9: Borracha EPDM com microsferas, TE15 com ampliações de 1000x (A) e 3000x (B) e EPDM com microsferas, negro de fumo e sílica STE5, com ampliações de 1000x (C) e 3000x (D).

Resultados

Caracterização das formulações da borracha EPDM

Amostra TE15 (A, B)

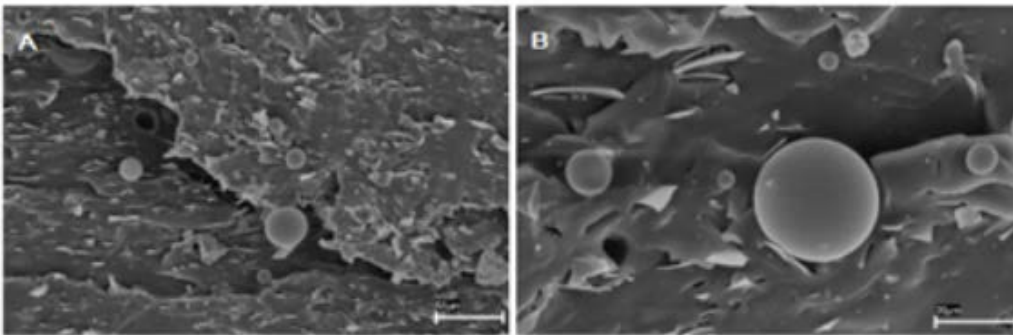


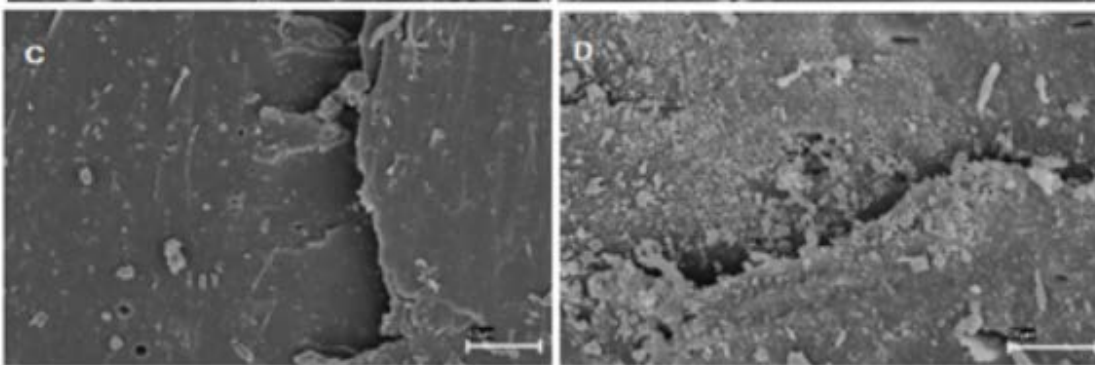
Figura 9 (A,B)

- partículas esféricas
- partículas irregulares (quebra)
- regiões vazias

Resultados

Caracterização das formulações da borracha EPDM

Amostra STE5 (C, D)



- partículas irregulares (quebra ou sílica)
- regiões vazias

Figura 9 (C,D)

*menor quantidade de esferas de vidro na STE5

*necessidade de uma técnica de microscopia não destrutiva

Resultados

Caracterização das formulações da borracha EPDM

Densidade Hidrostática e Teor de Cinzas por Calcinação

Tabela 2 - Massa específica e teor de cinzas para as quatro formulações estudadas

Amostra	Massa específica (g/cm³)	Teor de cinzas (%)
STE0	1,050 ± 0,001	22,83 ± 0,01
STE5	1,0666 ± 0,0005	25,07 ± 0,04
STE10	1,085 ± 0,001	27,55 ± 0,02
TE15	0,968 ± 0,001	15,31 ± 0,01

Resultados

Caracterização das formulações da borracha EPDM

Densidade Hidrostática

A formulação com apenas microesferas de vidro (e em maior quantidade) obteve menor massa específica → esperado

- demais amostras: aumento na densidade conforme houve aumento no teor de esferas → quebra

Teor de Cinzas por Calcinação

Mesmo comportamento anterior → esperado

- microesferas e sílica são compostos inorgânicos

Resultados

Caracterização das formulações da borracha EPDM

Caracterização mecânica

Tabela 3- Resultados mecânicos

Amostra	Resistência ao rasgamento (kN/m)	Dureza Shore A	Tensão máxima (MPa)	Alongamento (%)
STE0	32,59 ± 3,59	60 ± 1	10,75 ± 0,85	543 ± 71
STE5	42,76 ± 3,71	60 ± 1	9,95 ± 1,82	419 ± 31
STE10	36,86 ± 7,71	64 ± 1	9,96 ± 0,97	345 ± 21
TE15	-	53 ± 1	2,87 ± 0,11	168 ± 11

Resultados

Caracterização das formulações da borracha EPDM

Caracterização mecânica

Adição de microesferas de vidro:

- Aumento na resistência ao rasgamento e na dureza
- Diminuição nas demais propriedades mecânicas → esperado
- Quebra das microesferas
 - prejudicando a propriedade de ablação

Conclusões

- Microesferas são ocas, com superfície livre de porosidade, possuem essencialmente sílica em sua composição e tamanhos variados (diâmetro médio de 50 microns)
- Foram bem incorporadas, homogeneamente pela borracha durante o processamento
- Baixa resistência mecânica (quebra durante o processamento), dificultando avaliações mecânicas e reológicas.
- Sugestão para próximas etapas: inserir microesferas com maior resistência mecânica.

Agradecimentos



Referências Bibliográficas

- [1] SILVA, S. F. C. Tecnologia de plasma para estudo das propriedades ablativas em compósitos obtidos por bobinagem para uso aeroespacial. Orientador: Prof. Dr. Edison Bittencourt. 2015. 191 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- [2] VLS1. Disponível em: <http://www.iae.cta.br/index.php/todos-os-projetos/todos-os-projetos-desenvolvidos/projetos-vls1> Acesso em 20 de julho de 2020
- [3] HERMENEGILDO, G.. Desenvolvimento de uma formulação elastomérica de EPDM para aplicação em temperaturas elevadas. Orientadora: Larissa N. Carli .2017. 139 p.Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.
- [4] MILHOMEM, G. P.. Estudos experimentais e numéricos de polímeros ablativos para proteção interna de motores foguete de combustível híbrido. 2018. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília , Brasília, 2018.

Referências Bibliográficas

- [5] Manta EPDM: Como é, como funciona. Disponível em: <https://www.gruporpf.com.br/blog/manta-epdm-o-que-e-e-como-funciona/>
Acesso em: 20 de julho de 2020
- [6] BAPTISTA, C. A.. Grafitação de polipropileno-g-anidrido maleico sobre microesferas ocas de vidro por extrusão reativa. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.
- [7] HEINEMANN, L.. Efeito da silanização de microesferas de vidro ocas e do processamento no desempenho de compostos híbridos de borracha natural. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- [8] Microesferas de Vidro Ocas 3M™ Glass Bubbles S38XHS. Disponível em: https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/3m-do-brasil/todos-os-produtos-3m-do-brasil/~Microesferas-de-Vidro-Ocas-3M-Glass-Bubbles-S38XHS/?N=500238587110173293178666&rt=rud> Acesso em 19 de julho de 2020.

Título

Bolsista: Pedro Henrique Andrade

Orientador: Edson Basso

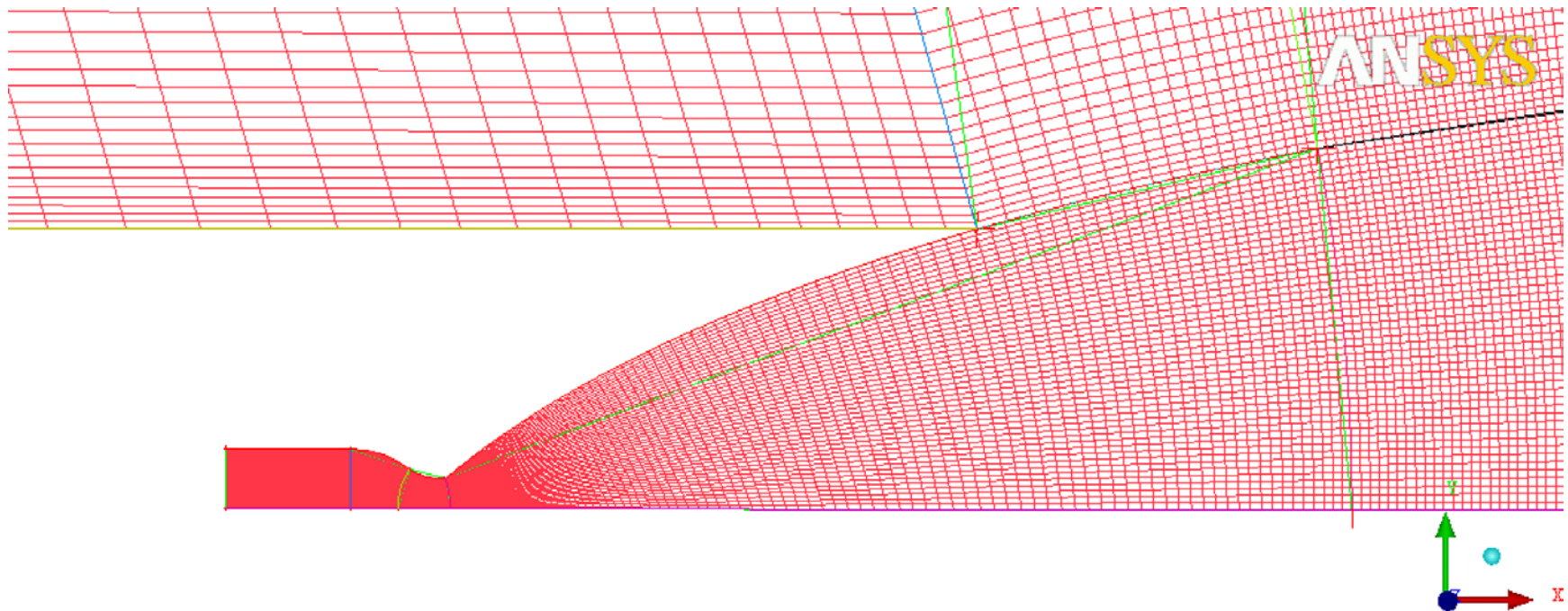
Período: Agosto de 28 a Julho de
2020

Objetivos

- Analisar os tamanhos de Farfield's através do estudo e malhar no ICEM e CFD.
- Analisar o escoamento da tubeira através do CFD.

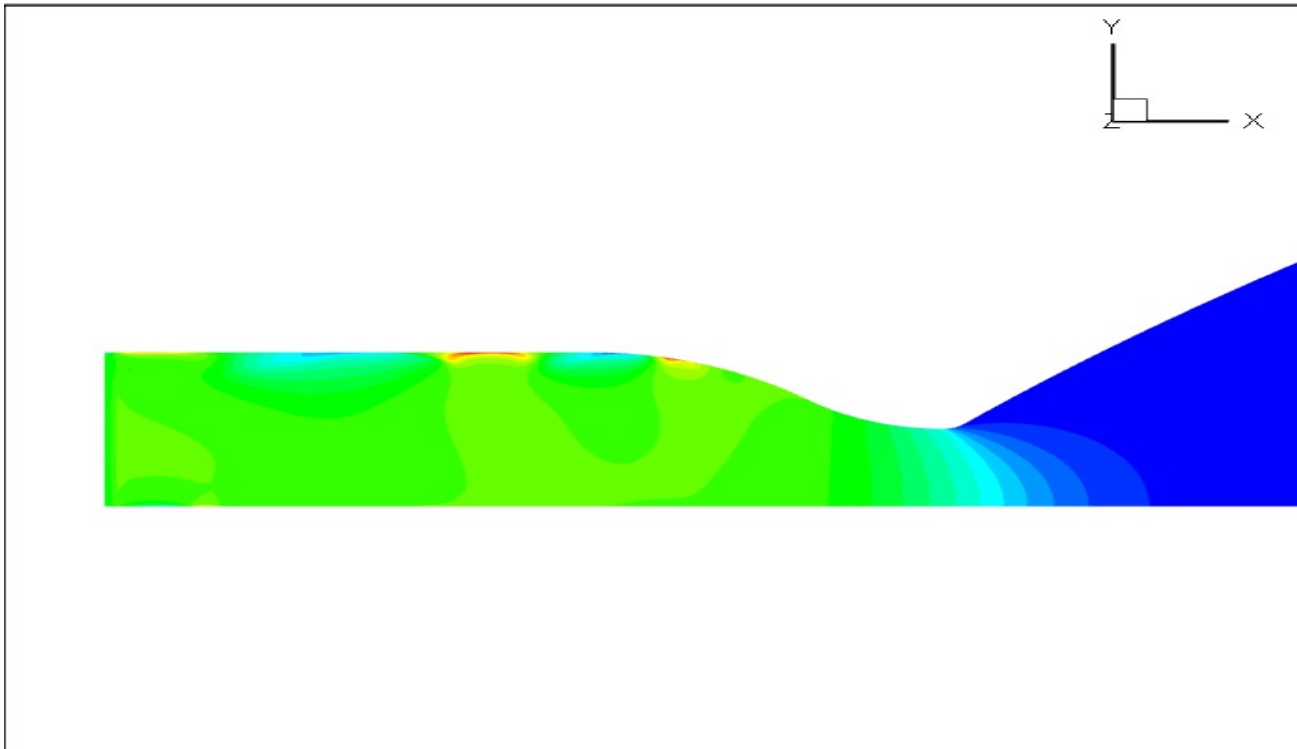
Introdução

- Uso do ICEM para criar a Malha e as Blocagens corretas para as análises futuras.



Introdução

- Uso da Dinâmica dos Fluidos Computacional(CFD) para simulação de escoamentos compressíveis em geometrias aeroespaciais (tuberas supersônicas).

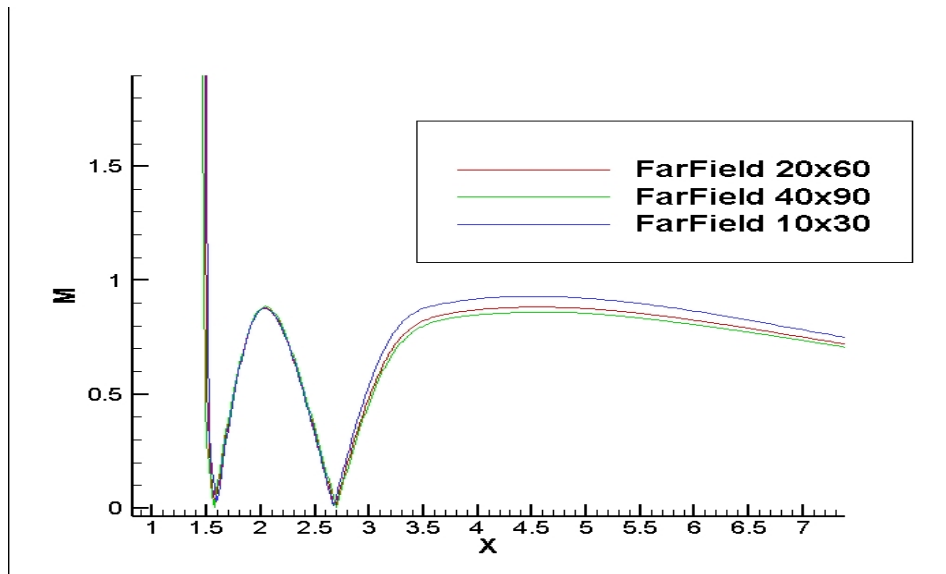


Materiais e Métodos

- Criação de desenho assistido.(AutoCAD)
- Geração de Malhas computacionais destinadas as análises numéricas.(ICEM)
- Para analisar a malha com as condições de contorno características.(CFD++)
- Visualização 2D e 3D dos resultado provenientes do CFD++.(TecPlot 360)

Resultados

- O Resultado do estudo de *Farfield* resultou em uma análise de gráficos onde conclui-se que a distância, ou tamanho, do *Farfield* não influencia no escoamento dentro da tubeira e nem no escoamento de saída da tubeira.



Conclusões

- Foi possível obter uma blocagem de malha que se considera apropriada para os estudos futuros.
- Os resultados apresentam a existência de uma variação mínima na pressão e número de Mach que não influenciam diretamente nos resultados finais.

Agradecimentos

- Agradeço ao meu Orientador Edson Basso e aos Professores Cayo Prado e Maria Luisa Collucci.

Análise de Trajetória de Sistemas de Recuperação em Voo Atmosférico

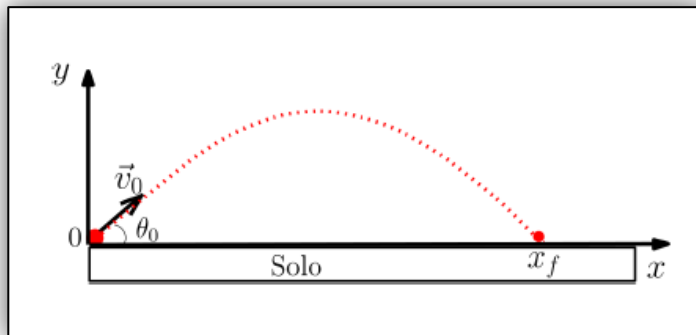
Bolsista: Rafael Andrade E Silva, UNITAU

Orientador: Dr. Maurício Guimarães da Silva (ASD) -
Gerente do Projeto “Módulo de Recuperação de Cargas
Espaciais”.

Período: Agosto/2019 – Julho/2020

Objetivo

- Desenvolver ferramenta capaz de calcular a trajetória de cargas recuperadas por paraquedas (baixa atmosfera, até 30 kft).



Introdução

➤ **Motivações para o desenvolvimento do projeto:**

1. Desenvolver uma nova ferramenta em *Software* de baixo custo operacional e poucos recursos computacionais necessários.
2. Escassez de trabalhos relacionados à recuperação de cargas por paraquedas.
3. Os poucos trabalhos existentes demandam conhecimento específico para manuseio da ferramenta e licenças de alto custo para utilização do *Software* em questão.

Materiais e Métodos

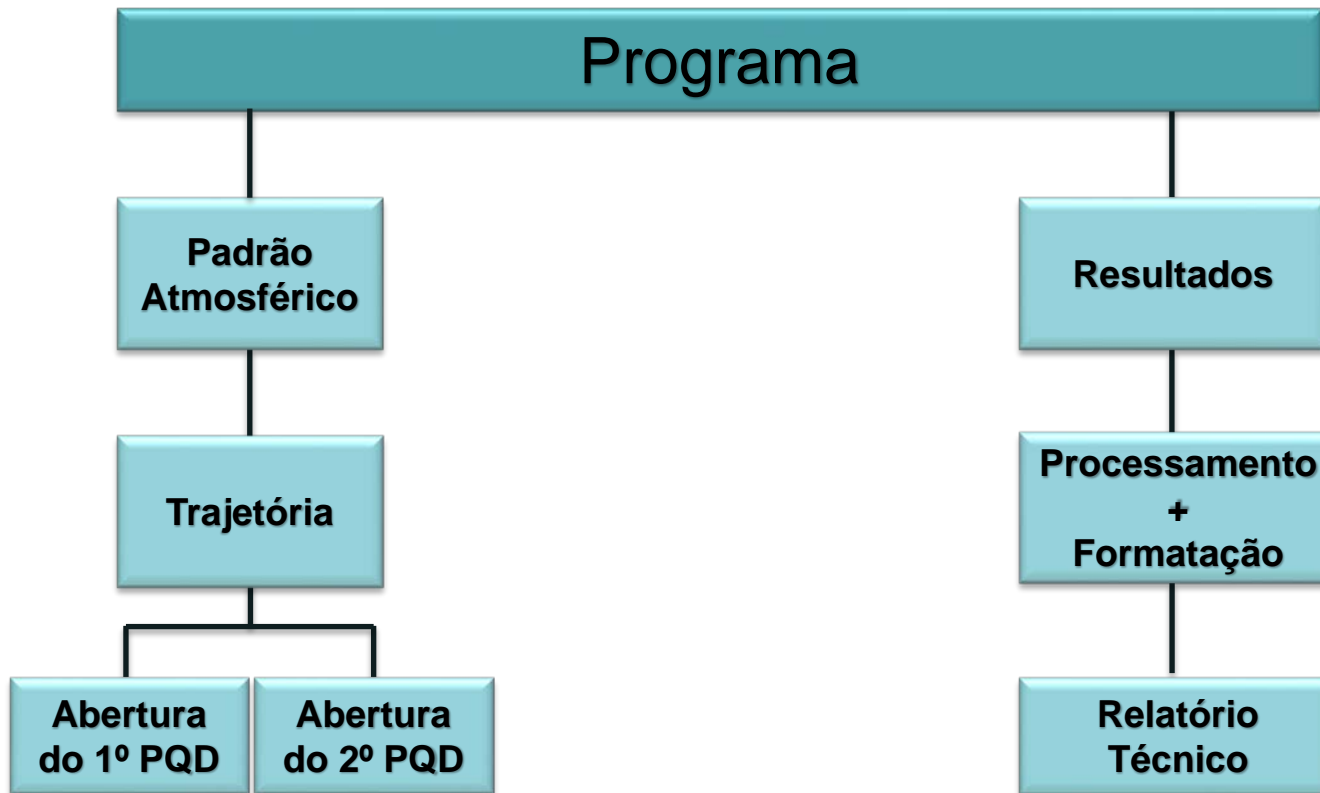
➤ Ferramentas computacionais utilizadas

✓ EXCEL®. 

✓ Visual Basic For Application 

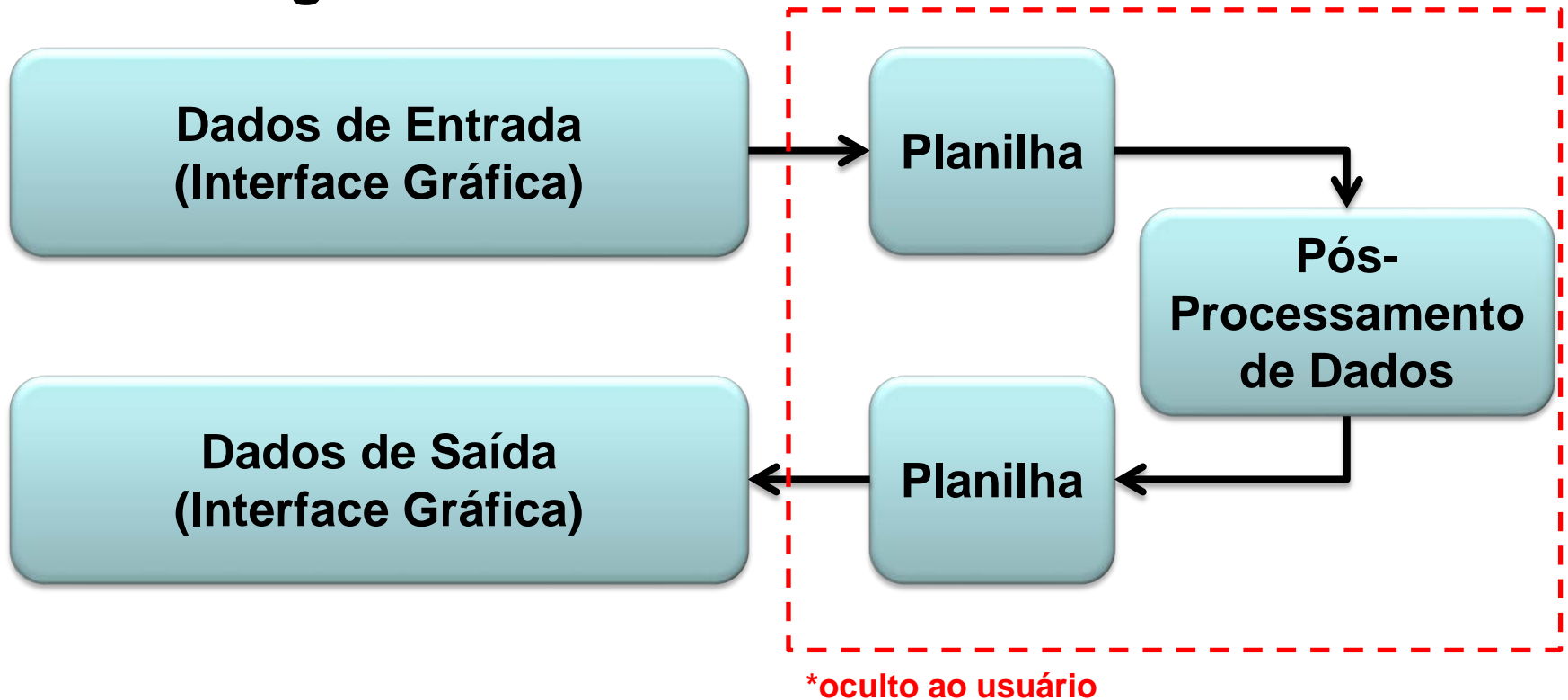
Materiais e Métodos

➤ Estrutura modular do código do programa:



Materiais e Métodos

➤ Estratégia do cálculo de dimensionamento do PQD:



Materiais e Métodos

➤ Embasamentoteórico para cálculo da trajetória:

$$➤ V_{0h} = V_a * \cos(\theta_0) - V_e * \sin(\theta_0) \quad (1)$$

$$➤ V_{0v} = V_a * \sin(\theta_0) + V_e * \cos(\theta_0) \quad (2)$$

$$➤ V_t = \sqrt{V_{0h}^2 + V_{0v}^2} \quad (3)$$

$$➤ \left\{ \begin{array}{l} \frac{du}{dt} = -\frac{D}{m} \cos(\gamma) \\ \frac{dx}{dt} = u \\ \frac{dw}{dt} = \frac{D}{m} \sin(\gamma) + g \\ \frac{dz}{dt} = w \end{array} \right. \quad (4)$$

Materiais e Métodos

➤ Apartir da altitude de abertura do Paraquedas, uma nova Força de Arrasto é calculada com base na área e C_D do Paraquedas.

➤ $F_D = P_{dyn} * S_{refPQD} * C_D$

Resultados

Trajectoria

Input Output Gráficos Informações

DADOS DE ENTRADA

VALORES FIXOS		DADOS DA CARGA	
dt:	0.0005	Diâmetro da Carga (m):	<input type="text"/>
Step Print:	250	Massa da Carga (kg):	<input type="text"/>
Gravidade (m/s ²):	9.81	CD da carga nº1:	<input type="text"/>
Pressão Atmosférica (nível do mar):	100000	CD da carga nº2:	<input type="text"/>
Delta (ISA):	0		

CONDIÇÕES INICIAIS DE VOO	
Altitude de Lançamento da Carga (m):	<input type="text"/>
Velocidade Inicial (Mach):	<input type="text"/>
Velocidade de Ejeção (m/s):	<input type="text"/>
Ângulo de Lançamento (theta):	<input type="text"/>

DADOS DO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO	
Altitude de abertura do 1º Paraquedas (m):	<input type="text"/>
Altitude de abertura do 2º Paraquedas (m):	<input type="text"/>
CD do 1º Paraquedas:	<input type="text"/>
CD do 2º Paraquedas:	<input type="text"/>
Área do 1º Paraquedas (m ²):	<input type="text"/>
Área do 2º Paraquedas (m ²):	<input type="text"/>

Resultados

Trajectoria

Input Output Gráficos Informações

DADOS DE SAÍDA

	CD 1	CD 2
Tempo de voo (s):	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Distancia (m):	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ângulo de impacto (theta):	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Velocidade de Impacto (m/s):	<input type="text"/>	<input type="text"/>

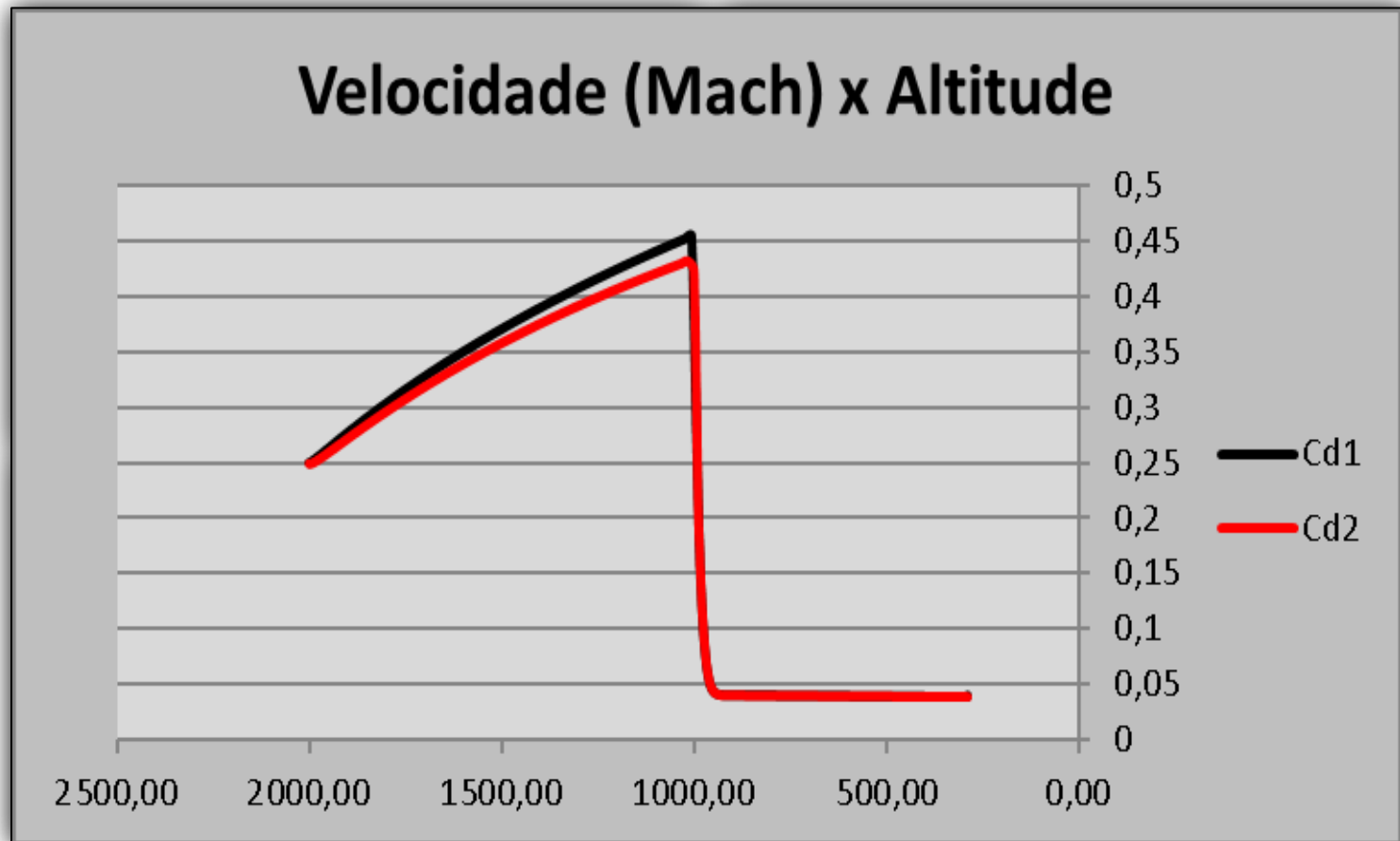
Visualizar Gráficos

GERAR RELATÓRIO TÉCNICO

Resultados

RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DE TRAJETÓRIA			
TRAJETÓRIA			
INPUT		OUTPUT	
Diâmetro da Carga (m):	0,35	Parâmetros	
Massa da Carga (kg):	250,00	Tempo de voo (s):	Carga 1 Carga 2
CD da carga nº1:	0,35	Distancia (m):	66,63 66,63
CD da carga nº2:	0,64	Ângulo de impacto (theta):	1180,09 1150,94
Altitude de Lançamento da Carga (m):	2000	Velocidade de Impacto (m/s):	-90,00 -90,00
Velocidade Inicial (Mach):	0,25		13,07 13,07
Velocidade de Ejeção (m/s):	0,00		
Ângulo de Lançamento (theta):	0,00		
Altitude de abertura do 1º Paraquedas (m):	1000		
Altitude de abertura do 2º Paraquedas (m):	250		
CD do 1º Paraquedas:	1,00		
CD do 2º Paraquedas:	2,00		
dt:	0,0005		
Step Print:	250,00		
Gravidade (m/s²):	9,81		
Pressão Atmosférica (nível do mar):	100000,00		
Delta (ISA):	0,00		

Resultados



Conclusões

➤ Conclusões do Projeto:

- ✓ Redução significativa no tempo de Análise de Trajetória;
- ✓ Novas funcionalidades adicionadas ao toolbox já validado pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço;



Prêmios e Publicações

➤ Artigo Científico em desenvolvimento para:



- ❑ 11º Congresso Internacional Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento (CICTED) - UNITAU

Agradecimentos

➤ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;



➤ Instituto de Aeronáutica e Espaço;



➤ Dr. Mauricio Guimarães (Orientador)



➤ Público Presente.






Envelhecimento Acelerado de Propelente Sólido Compósito para Determinação de Vida Útil

Bolsista: Rodrigo Alexander de O. Castro

Orientador: Luciene Dias Villar

Período: Agosto de 2019 a Julho de 2020

Objetivos

-  Determinar a vida útil de uma formulação de propelente sólido compósito (PSC), que contém óxido de ferro III (Fe_3O_2) como catalisador.
-  Avaliação mais detalhada do modelo cinético com a inserção de novos pontos de temperatura
-  Comparação dos valores de envelhecimento natural confirmando a validação do modelo.

Introdução



Fase 1 (agosto de 2018 a julho de 2019)

Introdução



Fase 1 (agosto de 2018 a julho de 2019)

40 °C

Introdução



Fase 1 (agosto de 2018 a julho de 2019)

40 °C

50 °C

Introdução



Fase 1 (agosto de 2018 a julho de 2019)

40 °C

50 °C

60 °C

Introdução



Fase 1 (agosto de 2018 a julho de 2019)



Fase 2

40 °C

45 °C

50 °C

60 °C

Introdução



Fase 1 (agosto de 2018 a julho de 2019)



Fase 2

40 °C

45 °C

50 °C

55 °C

60 °C

Introdução



Fase 1 (agosto de 2018 a julho de 2019)



Fase 2

40 °C

45 °C

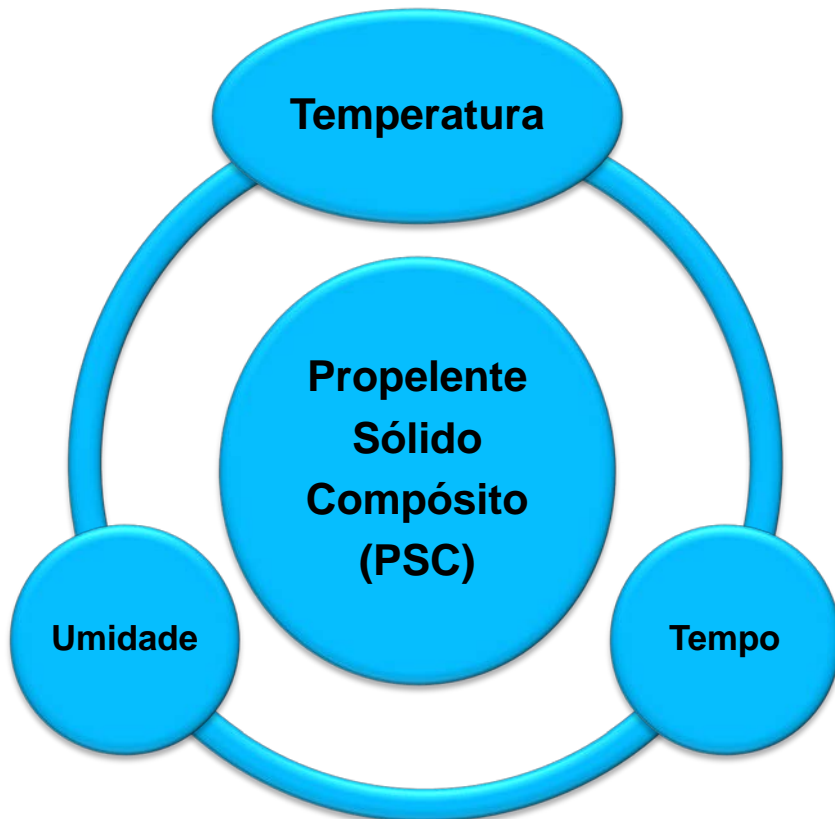
50 °C

55 °C

60 °C

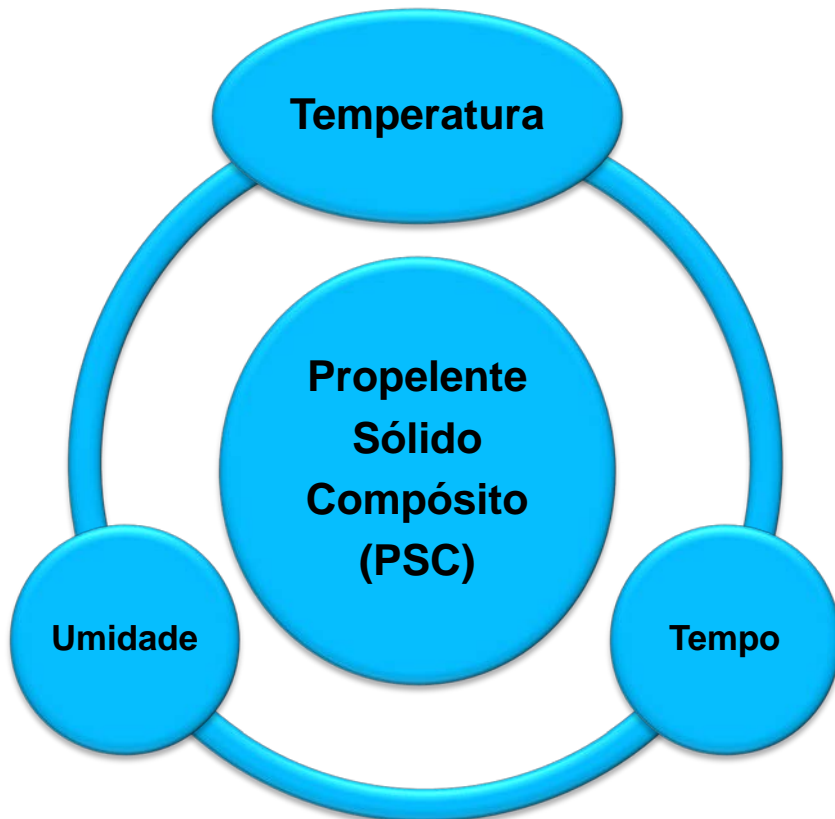
Introdução

ESTOCAGEM



Introdução

ESTOCAGEM



Propriedades
Químicas

Propriedades
mecânicas

Introdução

Constante de velocidade (k)

$$k = A \times e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

- 🚀 A é o fator pré-exponencial
- 🚀 E_a é a energia de ativação
- 🚀 R é a constante universal dos gases perfeitos
- 🚀 T corresponde à temperatura absoluta em Kelvin (K)

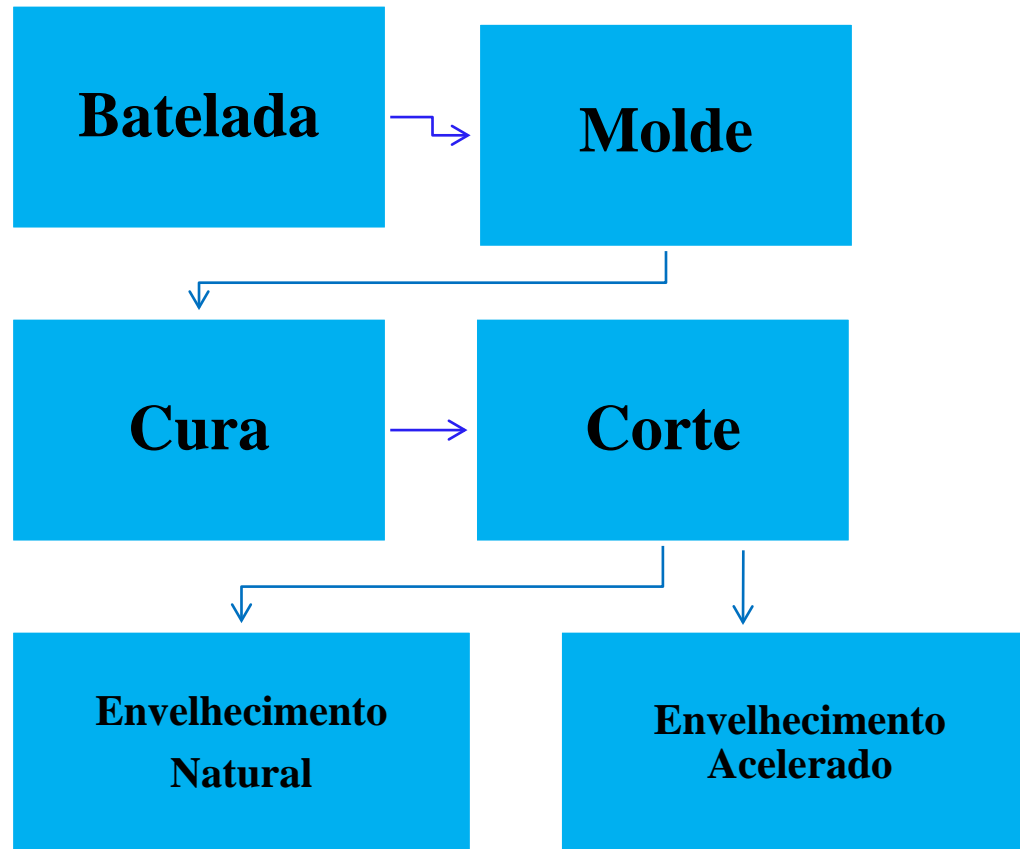
Introdução

Equação Cinética de 1ª ordem

$$\ln P = \ln P_0 + k \cdot (t - t_0)$$

- 🚀 P é a propriedade mecânica final
- 🚀 P_0 é a propriedade mecânica inicial
- 🚀 k é a constante de velocidade
- 🚀 t é o tempo final
- 🚀 t_0 é tempo inicial

Material e Métodos



Material e métodos

**Linearização das propriedades
mecânicas
(em neperiano)
x
tempo (dias)**

Material e métodos

**Linearização das
propriedades mecânicas**

(em neperiano)

x

tempo (dias)



21 °C → k_{21}

45 °C → k_{45}

55 °C → k_{55}

Material e métodos

Determinação da Energia de ativação e fator pré-exponencial

**Linearização do valor de k
X
(1000/T) K**

Material e métodos

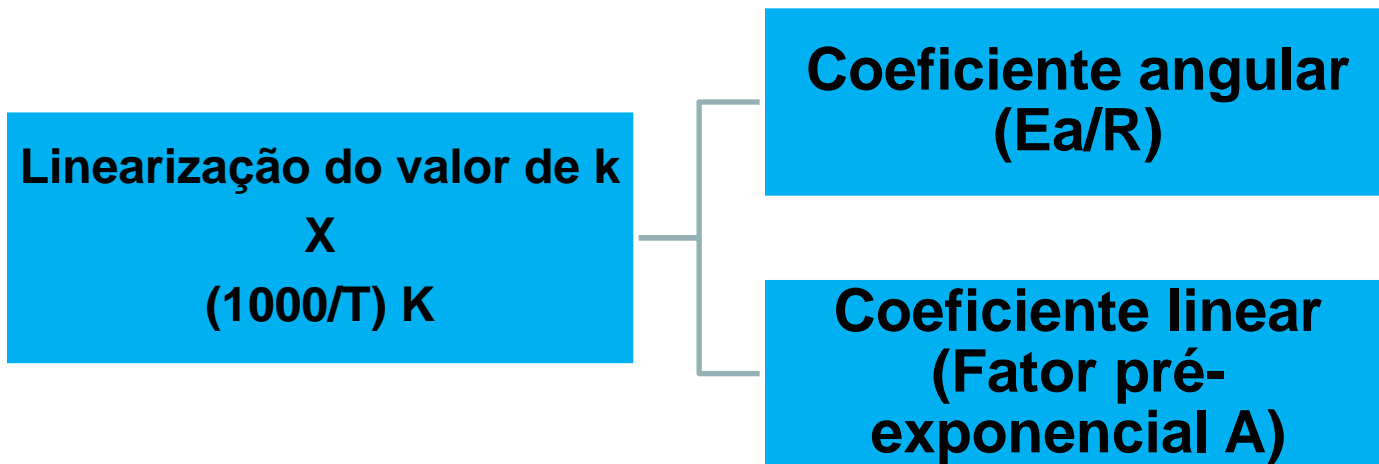
Determinação da Energia de ativação e fator pré-exponencial

**Linearização do valor de k
X
(1000/T) K**

**Coeficiente angular
(Ea/R)**

Material e métodos

Determinação da Energia de ativação e fator pré-exponencial



Resultados

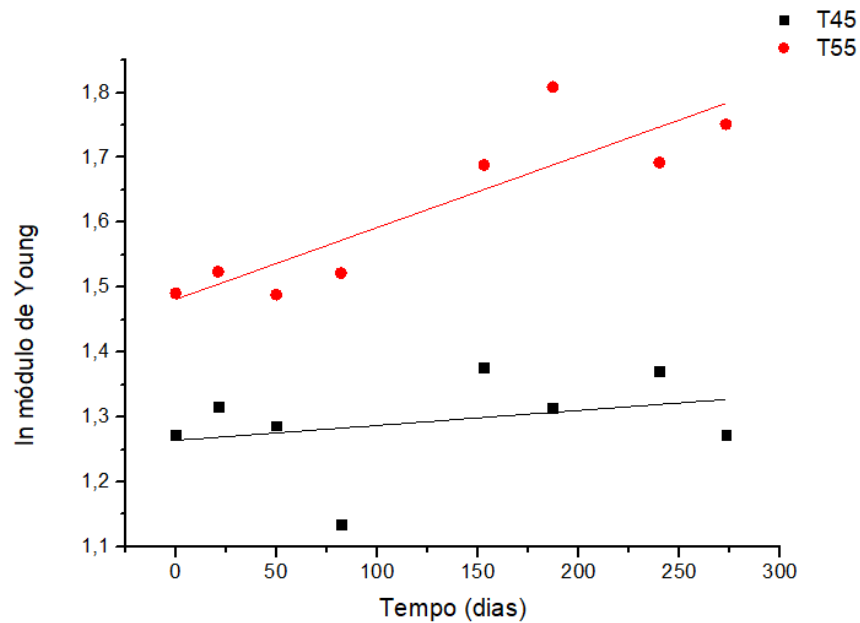


Figura 1. Linearização da propriedade mecânica Módulo de Young durante o envelhecimento acelerado.

Resultados

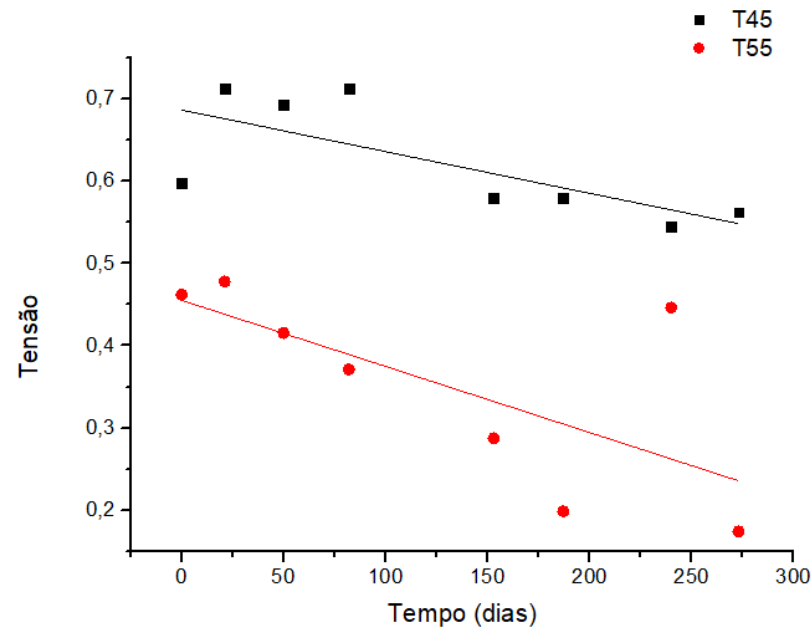


Figura 2. Linearização da propriedade mecânica Tensão durante o envelhecimento acelerado.

Resultados

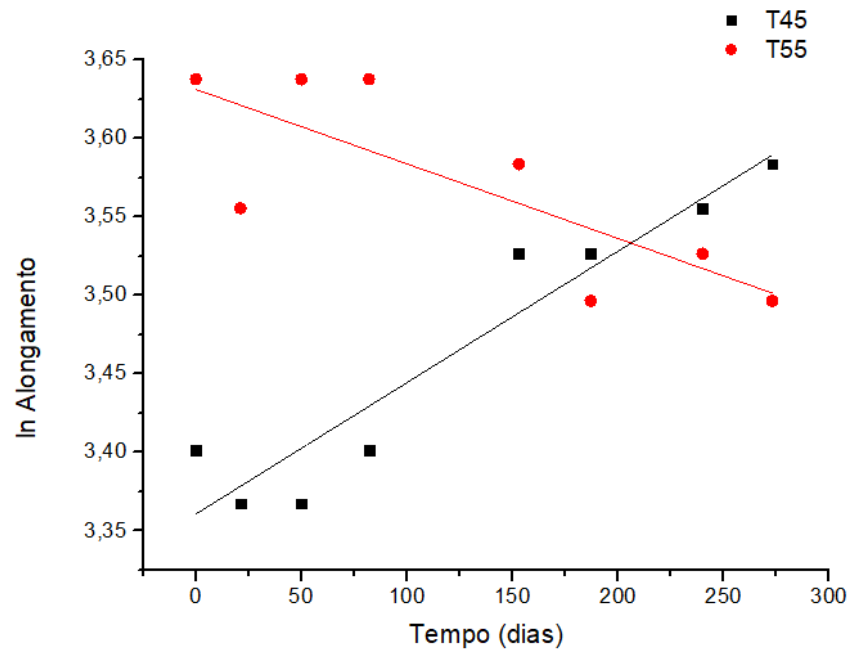


Figura 3. Linearização da propriedade mecânica Alongamento durante o envelhecimento acelerado.

Resultados

Tabela 1. Valores dos parâmetros de Arrhenius.

	Alongamento		Módulo de Young		Tensão máxima	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
E_a (kJ/mol)	133 ± 12	115 ± 43	100 ± 34	107 ± 38	52 ± 41	49 ± 26
A (dia⁻¹)	2,83.10 ¹⁸ ± 8,24.10 ¹	2,15.10 ¹⁵ ± 7,53.10 ⁶	1,94.10 ¹³ ± 2,78.10 ⁵	1,62 .10 ¹⁴ ± 1,39.10 ⁶	2,21.10 ⁵ ± 5,06.10 ⁶	7,31.10 ⁴ ± 1,74.10 ⁴

Resultados

Tabela 2. Valores de predição de vida útil para o propelente estudado.

	Alongamento		Módulo de Young		Tensão máxima	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
Vida útil (anos)	76	58	42	74	5	6





Conclusões

- 🚀 Apresentou-se a predição de vida útil de uma formulação de PSC que possui óxido de ferro III como catalisador de queima e que foi submetida às temperaturas de 40, 45, 50, 55 e 60 °C
- 🚀 Os valores obtidos da energia de ativação e do fator pré-exponencial, possibilitaram estimar a vida útil desse propelente como sendo de 5 a 6 anos, em função da Tensão máxima.

Conclusões

- ✈ Não foi possível validar o modelo obtido para determinação da vida útil do propelente em questão utilizando os resultados de envelhecimento natural devido as propriedades do propelente sob envelhecimento natural não possuírem mudanças significativas que permitissem estabelecer a cinética desse envelhecimento.

Agradecimentos

-  Ao CNPq pela bolsa PIBIC;
-  À Agência Espacial Brasileira;
-  A minha orientadora Luciene Dias Villar;
-  Aos técnicos da Divisão de Propulsão do IAE.