



PIBIC PIBITI IAE

ANAIS do XVII ENICT/IAE Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica do IAE

**2021
vol. 2**

**- Comitê Institucional do PIBIC-PIBITI-IAE -
DIR-CPA-ICT**

PIBIC-RELATÓRIO FINAL

Título do projeto de pesquisa: Análise Dinâmica de um Dispositivo de Ensaio de Vibrações
Bolsista: Leonardo Henrique Silva Missio
Orientador(a): Carlos d'Andrade Souto
Período a que se refere o relatório: Fevereiro de 2021 a Agosto de 2021

Resumo:

Equipamentos, aeroespaciais são submetidos a elevadas cargas dinâmicas ao longo de suas vidas úteis. Para verificar se um equipamento suportará as cargas dinâmicas previstas, ensaios de vibração são realizados. Em um ensaio de vibração o equipamento a ser testado deve ser fixado à parte móvel de um vibrador eletromecânico (“shaker”) que ensaiará o equipamento aplicando os movimentos previstos para ensaios de qualificação ou aceitação. É necessária uma estrutura que faça a interface entre o equipamento a ser testado e a parte móvel do “shaker”, o dispositivo de vibração. Um dispositivo de vibração deve transmitir o movimento do “shaker” ao equipamento a ser testado o mais fielmente possível sem reduzir ou amplificar a carga dinâmica. Para que isso ocorra o dispositivo deveria apresentar a mais elevada rigidez possível, porém isto significaria um aumento proibitivo de massa. Assim sendo, os dispositivos apresentam um grau de flexibilidade que pode fazer com que a dinâmica do dispositivo interfira no ensaio. Nesta etapa deste projeto, uma progressão do trabalho realizado no período agosto/2020-fevereiro /2021, foi calculada a resposta dinâmica da versão modificada do dispositivo a uma excitação no domínio do tempo (um pulso) aplicada à base do dispositivo por meio de um modelo de elementos finitos gerado pelo software FEMAP.

1. Introdução

Um dispositivo de vibração deve ser capaz de transmitir completamente o movimento gerado pelo vibrador para o componente a ser testado. Para que a dinâmica estrutural do equipamento não interfira no teste, ele deve ser o mais rígido possível. No entanto, isso pode

levar a dispositivos muito pesados, restringindo a massa do equipamento a ser testado. Portanto, o design de um equipamento deve equilibrar alta rigidez com a menor massa possível, e suas frequências naturais e transmissibilidade devem ser avaliadas, como apontado em [1]. Várias características dinâmicas necessárias dos equipamentos de teste são discutidas em [2]: o equipamento deve ter um mínimo de massa, um máximo de rigidez, transmissibilidade unitária e frequências de ressonância acima da faixa de frequência investigada, podendo assim transmitir a dinâmica que deve ser aplicada ao equipamento em teste sem distorção, amplificação ou atenuação.

A transmissibilidade unitária é a situação ideal, mas difícil de alcançar na prática sem considerar o desempenho do sistema de controle do "shaker". O sistema de controle pode manter a resposta do dispositivo muito próxima do movimento aplicado pelo "shaker". No entanto, essa capacidade será fortemente influenciada pelo posicionamento do acelerômetro de controle do "shaker" no dispositivo [3].

Modelos de elementos finitos permitem estimar as propriedades dinâmicas de um dispositivo existente ou ainda em fase de projeto.

O mesmo dispositivo pode ser montado em um "shaker" para sofrer excitações em direções diferentes. Portanto pode ser necessário analisar a transmissibilidade considerando várias direções possíveis de movimento.

Neste relatório são apresentados resultados da análise modal realizada com o software de elementos finitos FEMAP de uma configuração modificada de um dispositivo de vibrações analisado anteriormente.

2. Materiais e Métodos

2.1 Objeto de estudo

A geometria do dispositivo analisado é mostrada na Figura 1.

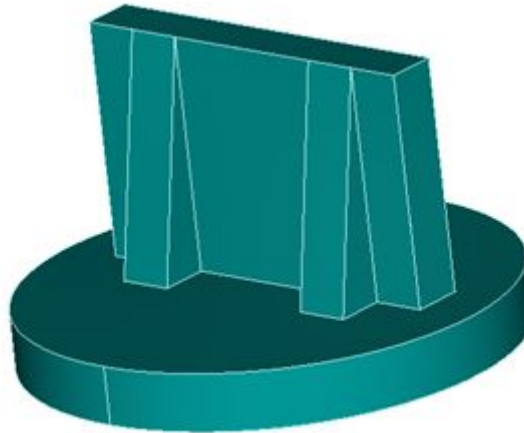


Figura 1- Dispositivo analisado

2.2-Método

Para realizar a análise do dispositivo se utilizou o software de elementos finitos FEMAP com as seguintes propriedades do material :

Material	Alumínio
Módulo de elasticidade	$7,5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Massa específica	2700 Kg/m^3
Coefficiente de Poisson	0,33

Tabela 1- Material

Título	Propriedade sólida
Matrial	Alúminio

Tabela2- Propriedades do Material

2.3 Análise Modal

Para a análise modal, a base do disco foi considerada com deslocamentos nulos, uma vez que essa região é rigidamente fixada à mesa do shaker em um ensaio. As dez primeiras frequências naturais estão listadas na tabela 3 abaixo.

Mode	Frequencies [Hz]
------	------------------

1	4500,323
2	5913,702
3	8065,473
4	10017,06
5	15681,41
6	17110,69
7	17455,09
8	18384,63
9	18945,9

Tabela 3- Frequências naturais

2.4 Resposta à excitação transiente na base

Para se aplicar a aceleração na base do dispositivo, foi usado o método “grande massa” disponível no FEMAP. Um nó fora da malha posicionado abaixo do dispositivo foi criado e associado a uma massa pontual muito elevada (neste caso foi utilizada uma massa de 1×10^{13} Kg, seguindo o manual de instruções do FEMAP). Esse nó com grande massa foi conectado a base do dispositivo (os deslocamentos deste nó e dos nós da base do disco são iguais) e submetido a restrições de forma que seu deslocamento foi permitindo apenas na direção direção x conforme a análise realizada. O nó com a massa pontual e suas conexões ao dispositivo podem ser observados na figura 2. Nesse mesmo nó localizado na parte inferior do dispositivo se aplicou uma força na direção do eixo “X” onde se aplicou uma aceleração mostrada na Figura 3.

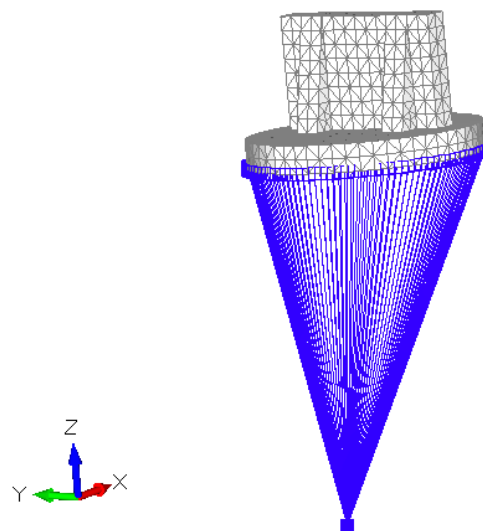


Figura 2– Malha utilizada na análise com detalhe da massa pontual

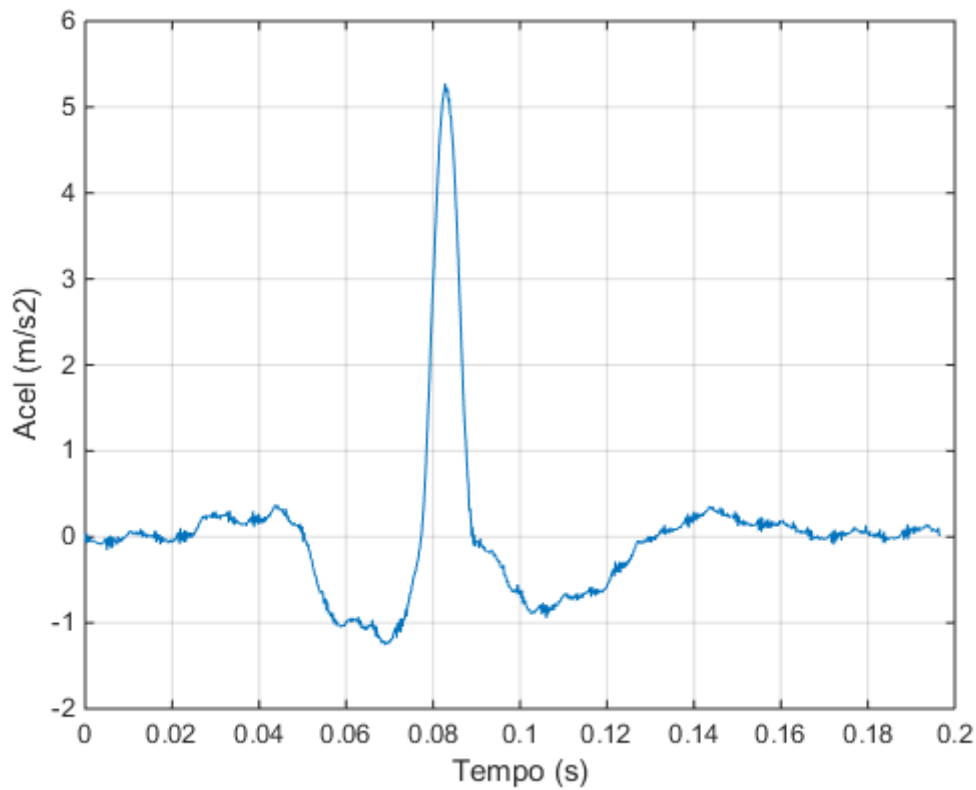


Figura 3 – Pulso de aceleração aplicado ao nó com a grande massa conectada à base do dispositivo.

3. Resultados

Na figura 4 podemos ver a resposta em aceleração na direção 'Z' (pico de aproximadamente $5,3 \text{ m/s}^2$ no instante $t=0,0082$ segundos) calculada em um ponto na parte superior do dispositivo.

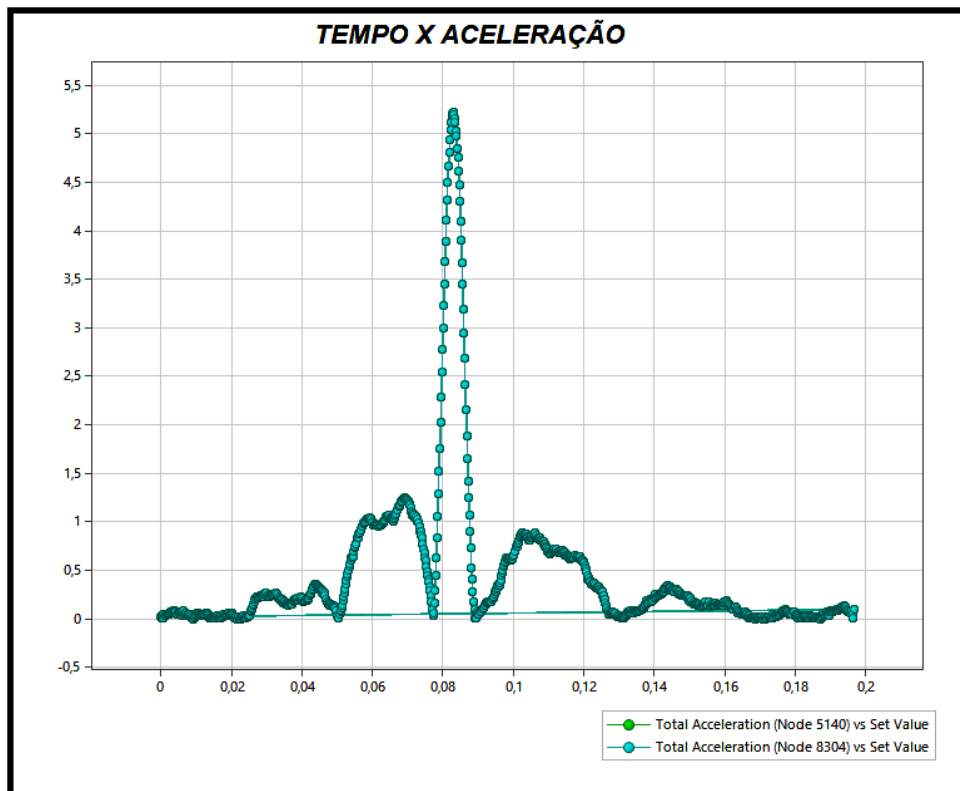


Figura 4- Resposta tempo x Aceleração

4. Próximas Etapas

O projeto foi concluído.

5. Conclusões

A grande semelhança entre a curva de resposta mostrada na Fig.4 e a aceleração aplicada mostrada Fig.3 mostra que a rigidez do dispositivo é adequada para o uso em ensaios de vibrações que utilizem este perfil de força de excitação.

6. Divulgação dos Resultados

ENICT/I.A.E

Referências

1] McConnell, K. G. (1995). *Vibration Testing: Theory and Practice*. John Wiley & Sons, New York, Estados Unidos.



- [2] Reddy, T. Srinivas and Reddy, K. Vijaya Kumar (2010). *Design and Analysis of Vibration Test Bed Fixtures for Space Launch Vehicles*. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 3, No. 5, pp. 592-595.
- [3] Barros, Everaldo; Souto, Carlos d’Andrade (2017) *Evaluation of a vibration test fixture*, *International Journal of Acoustics and Vibration*, Vol. 22, No 3, pp348-352
- [4] Rao, Singeresu: *Vibrações Mecânicas* . Pearson Education, New Jersey, Estados Unidos
- [5] Notas de aula da disciplina “TE-205 Métodos computacionais em vibrações e acústica”, pós graduação em Ciência e Tecnologia Espaciais, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [6] Manual do métodos de elementos finitos FEMAP.



PIBIC/PIBITI-RELATÓRIO FINAL

Título do projeto de pesquisa: Atualização da Página da SDPJ (APJ) na Intraiae
Bolsista: Lidiane Rocha de Faria
Orientador(a): Glauco da Silva
Período a que se refere o relatório: Agosto de 2020 a Julho de 2021

Resumo

A gestão do conhecimento é muito importante para as organizações, pois gerencia todo conhecimento gerado pela organização, auxiliando no armazenamento, distribuição e divulgação de tudo que é produzido, exceto informações que possuam sigilo. No IAE, o setor responsável por gerir o conhecimento é a Coordenadoria da Gestão do Conhecimento, enquanto a APJ elabora, controla, implementa e orienta as diretrizes para condução de projetos de PD&I, que geram o conhecimento do IAE. A APJ possui uma página na Intraiae para divulgar os trabalhos realizados e documentos e vídeos importantes para a Instituição. Esta pesquisa buscou realizar um levantamento de ferramentas que implementam um mecanismo de proteção de acesso a documentos e vídeos, impedindo a cópia e distribuição não autorizada desses conteúdos. A pesquisa foi dividida em duas fases: 1) estudo do setor e da página atual, bem como de sua estrutura e documentos que serão disponibilizados; 2) levantamento e estudo de ferramentas de gerenciamento de direitos, analisando características de cada uma com o intuito de indicar uma melhor alternativa para proteger o conteúdo disponibilizado. Com a implementação da ferramenta selecionada será possível restringir cópias e impressões não autorizadas dos documentos, bem como o *download* dos vídeos.

1. Introdução

A Ciência é o conjunto organizado dos conhecimentos disponíveis, o que a torna o maior patrimônio da humanidade, obtido ao longo da evolução, numa trabalhosa conquista por meio do constante aperfeiçoamento do pensamento e dos resultados de pesquisas e desenvolvimentos. As Instituições de PD&I e as empresas em geral apresentam um grande



desafio que é a capacidade de criarem sistemas que as permitam gerir os conhecimentos construídos no âmbito da organização.

A Gestão do Conhecimento é vista, hoje, como fonte fundamental de riqueza, investindo valorizando cada vez mais esta matéria-prima, que é resultado da inteligência agregada à organização. O conhecimento que hoje é visto como um ativo de valor que vem sendo disseminado, desenvolvido e transformado em capital intelectual, unindo as inovações tecnológicas e as informações individuais, em competitividade e sucesso organizacional. Um dos principais pontos deste complexo sistema é determinar a forma como esta informação necessária flui ao longo de toda a Instituição. Neste ponto é fundamental saber usar o papel integrador da comunicação por meio das ferramentas de Tecnologia da Informação.

A Subdiretoria de Projetos (SDPJ) do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) é a Casa dos Projetos do IAE e a ela compete:

1. Elaborar, controlar, implementar e orientar as diretrizes para condução de projetos de PD&I;
2. Coordenar os procedimentos de abertura, planejamento, coordenação, execução, acompanhamento, controle, encerramento dos Projetos de PD&I e salvaguarda de documentação, em consonância com as orientações da Subcomissão Permanente de Avaliação de Documentos Sigilosos (SPADS);
3. Coordenar as Chamadas de Projetos de PD&I;
4. Promover *workshops*/seminários dos projetos, das respectivas ações, quando aplicável;
5. Planejar e controlar a implementação da Estratégia Tecnológica para os futuros desenvolvimentos, em consonância com as Diretrizes do COMAER e do DCTA.

Portanto para agilizar a execução é fundamental a disseminação de informações inerentes a Gestão de Projetos. Este trabalho tem como objetivo aplicar ferramentas de Tecnologia da Inovação no sentido de aprimorar a página da SDPJ (APJ) na Intraiae. Neste sentido busca-se utilizar *frameworks* de desenvolvimento de páginas e linguagens de programação para *web*. Todo conteúdo fornecido pela SDPJ será formatado e configurado para ser disponibilizado na *web*. O trabalho consiste na formatação do texto, adição de imagens, configuração da página de *login* e na autenticação do usuário logado no sistema.

2. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas ferramentas de programação que envolvem as tecnologias já adotadas nas páginas existentes, como a linguagem de páginas *web* html (*Hyper Text Markup Language*), o *framework* Joomla [1] e os configuradores de estilo css (*Cascadind Style Sheet*).

Além disso, foi necessário realizar a instalação de uma máquina virtual com o WAMP Server (Windows, Apache, Mysql e PHP) [2], que é composto por um conjunto de ferramentas necessárias para o desenvolvimento do *site*. As ferramentas utilizadas podem ser vistas na Figura 1.



Figura 1: Ferramentas utilizadas com o WampServer

O WAMP instala no sistema operacional Windows o servidor *web* Apache, o gerenciador de banco de dados MySQL e a linguagem de programação PHP. Estes componentes são utilizados para se desenvolver as páginas *web*, armazenar as informações em um banco de dados e utilizar trechos de programação inseridos nas páginas.

3. Resultados



Nas primeiras atividades de pesquisa, procurou-se conhecer as ferramentas e o conteúdo já disponível nas páginas da SDPJ. Além disso foi necessário preparar o computador para utilizar as ferramentas propostas.

Após a instalação do computador, foi necessário entender como o conteúdo disponível estava disponibilizado e as formas utilizadas no design da página existente.

O *framework* Joomla foi estudado posteriormente, permitindo entender como construir e configurar um *site* por meio deste gerenciador de conteúdo. As páginas originais foram disponibilizadas para que se pudesse realizar o aprendizado e a configuração no ambiente virtual.

O gerenciador de documentos permitiu que se realizasse a publicação dos conteúdos disponíveis na página de forma imediata, assim o que era alterado ou criado já era visualizado da forma que ficará disponível no *site*.

Os resultados encontrados nesta primeira fase da pesquisa foram:

- 1) Conhecimento do ferramental utilizado para o desenvolvimento e armazenamento das informações do *site*
 - 1.1) Apache - Servidor *web* para hospedar as páginas e todos os conteúdos do *site*
 - 1.2) MySQL - Gerenciador de banco de dados utilizado para armazenar informações de *login* nas páginas, acesso aos documentos e vídeos
 - 1.3) PHP - Linguagem de programação *web* utilizada para se criar conteúdo dinâmico em *sites*
 - 1.4) Joomla - Sistema livre de código aberto utilizado para gerir conteúdo *web* desenvolvido em PHP e com uma base de dados MySQL
- 2) Conhecimento da estrutura da página e do conteúdo disponibilizado para acesso do público interno do IAE
- 3) Identificadas as necessidades dos responsáveis pela página quanto ao acesso restrito aos conteúdos sensíveis (documentos e vídeos) e a necessidade de registro dos usuários que visualizaram os conteúdos

Na segunda fase da pesquisa foi realizado um levantamento de ferramentas que implementam o gerenciamento de direitos em documentos disponibilizados em páginas *web*. As características de cada ferramenta foram elencadas para se identificar qual seria a melhor opção para ser implementada na página da SDPJ.



As ferramentas levantadas foram:

- 1) NetX (<https://www.netx.net>)
- 2) Vitrium Security (<https://www.vitrium.com>)
- 3) Digify (<https://digity.com>)
- 4) MemberSpace (<https://www.memberspace.com>)
- 5) Intellock LMS (<http://intellock.in>)
- 6) FADEL ARC (<https://fadel.com>)
- 7) Bynder (<https://www.bynder.com>)
- 8) CapLinked (<http://www.caplinked.com>)

Das ferramentas levantadas, somente a Digify, Intellock LMS e FADEL ARC possuem versões gratuitas, porém com recursos limitados. Todas as ferramentas possuem versões de teste gratuita para análise de suas funcionalidades.

Uma característica importante que deve ser considerada na ferramenta é a utilização em servidores locais, uma vez que grande parte delas é executada em nuvem. A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as ferramentas encontradas.

Tabela 1 - Comparativo das ferramentas DRMs

	NetX	Vitrium Security	Digify	MemberSpace	Intellock LMS	FADEL ARC	Bynder	CapLinked
ata for Recursos	Controles/permissões de acesso			X	X	X		
	Gestão de distribuição digital							
	Imagem de marca personalizável				X	X		
	Marca d'água			X	X	X		
	Proteção de PDF					X		
	Proteção de Imagens					X		
	Proteção de áudio e vídeo							
Nuvem								



	Windows				X	X	X	X	X
	Mac				X	X	X	X	X
	iOS		X		X		X		X
	Android		X		X		X		X
Assistência	E-mail/Help Desk				X	X	X		
	FAQs/Fórum				X	X	X		
	Base de conhecimento	X			X	X	X		
	Suporte por telefone				X	X	X		
	24 h (representante ao vivo)		X	X	X		X		
	Bate-papo					X	X		
	Versão Gratuita	X	X		X			X	X
	Teste Grátis								

Pode se observar pelas características apresentadas, que as ferramentas MemberSpace, Intellock LMS e FADEL ARC não atendem a demanda da SDPJ, pois nenhuma delas realiza controle e/ou permissão de acesso ao conteúdo. Além disso, a ferramenta FADEL ARC não protege documentos PDF.

As ferramentas Bynder e CapLinked não são recomendadas por não possuírem opções para serem executadas em servidores locais, somente em nuvem ou em dispositivos móveis (iOS e Android), o que não atende a demanda, pois os documentos serão disponibilizados em um servidor local no IAE.

As três ferramentas restantes, NetX, Vitrium Security e Digify, atendem a demanda necessária da SDPJ, portanto são as indicadas para testes e análises. Sugere-se como principal ferramenta a Digify, pois é a única das três que possui uma versão gratuita disponível.

4. Próximas Etapas

Para continuidade desta pesquisa, sugere-se implementar uma ferramenta de DRM (*Digital Rights Management*), visando evitar que o conteúdo disponibilizado seja copiado ou baixado



do site sem autorização. Com o uso dessa ferramenta, será possível proteger o acesso aos conteúdos disponibilizados no site (documentos e vídeos).

As ferramentas que implementam DRM buscam proteger conteúdos digitais contra cópias não autorizadas [3, 4, 5]. É uma das formas mais completas e eficientes de proteção, pois emprega múltiplas camadas de segurança ao mesmo tempo, como criptografia e *fingerprints* [5].

Assim, sugere-se que uma das ferramentas levantadas seja implementada e que o DRM seja aplicado aos conteúdos disponibilizados nas páginas da SDPJ, principalmente nos documentos em formato PDF e nos arquivos de vídeo, que contém informações históricas e importantes para o público interno do IAE, não sendo de interesse do Instituto que este conteúdo seja copiado ou distribuído livremente.

5. Conclusões

A proteção dos direitos de conteúdos digitais é importante e necessária para se garantir a autoria e propriedade dos conteúdos compartilhados e disponibilizados em sites internos e externos.

O estudo das páginas existentes permitiu que se conhecesse a estrutura do setor e do modo como o *site* foi construído. Assim, é possível identificar modos de se buscar garantir o direito de propriedade do conteúdo disponível, evitando que cópias indevidas sejam feitas e também que o conteúdo de vídeos sejam distribuídos sem autorização.

A utilização de uma ferramenta DRM permitirá que os conteúdos existentes sejam protegidos para que não ocorra a impressão ou cópia dos documentos e também para evitar que os vídeos sejam baixados ou copiados da página.

Sugere-se a implementação da ferramenta Digify para proteção dos conteúdos que serão disponibilizados para o público interno na página da SDPJ. É importante ressaltar que todas as ferramentas possuem versões de avaliação gratuita, porém para utilização de forma contínua é necessária a aquisição de uma licença. Algumas versões que possuem versões gratuitas não atendem as necessidades da página da SDPJ.



Referências

- [1] SHREVES, Ric. **Joomla! bible**. Wiley, 2013.
- [2] IPSWICH, David. Setting up a WAMP server on your windows desktop. **Technology Now at Smashwords**, 2011.
- [3] SUBRAMANYA, S. R.; YI, Byung K. Digital rights management. **IEEE potentials**, v. 25, n. 2, p. 31-34, 2006.
- [4] LIU, Qiong; SAFAVI-NAINI, Reihaneh; SHEPPARD, Nicholas Paul. Digital rights management for content distribution. In: **Proceedings of the Australasian information security workshop conference on ACSW frontiers 2003-Volume 21**. 2003. p. 49-58.
- [5] KUNDUR, Deepa; KARTHIK, Kannan. Video fingerprinting and encryption principles for digital rights management. **Proceedings of the IEEE**, v. 92, n. 6, p. 918-932, 2004.



PIBIC/PIBITI-RELATÓRIO FINAL

Título do projeto de pesquisa: Obtenção de pó microesférico de óxido de grafeno reduzido para aplicação de armazenamento de energia

Bolsista: Lucas Silva Vaz

Orientador(a): Emerson Sarmiento Gonçalves

Período a que se refere o relatório: Agosto de 2020 a Julho de 2021

Resumo

Neste projeto, foi demonstrada uma estratégia de secagem por spray-dryer para a obtenção fácil e escalável de grafeno em pó microesférico compacto através de modificação superficial e redução química/térmica de óxido de grafeno (GO) usando cianamida que desempenha papel muito importante no processo de obtenção. Foram estudadas as propriedades morfológicas e estruturais do material obtido, onde foi possível observar uma microestrutura 3D de óxido de grafeno reduzido. Estruturalmente, as nanofolhas de óxido de grafeno são montadas com cianamida evitando que o óxido de grafeno interaja com a água e reempilhe, onde esta se polimeriza em uma forma de nitreto de carbono grafítico, e por ação térmica, libera nitrogênio, restando apenas estrutura carbonosa. Os principais desafios são a montagem do grafeno na forma de partículas microesféricas, a densificação das microesferas de grafeno com alta densidade de empacotamento e a geração de mesoporos nas microesferas de grafeno.

1. Introdução

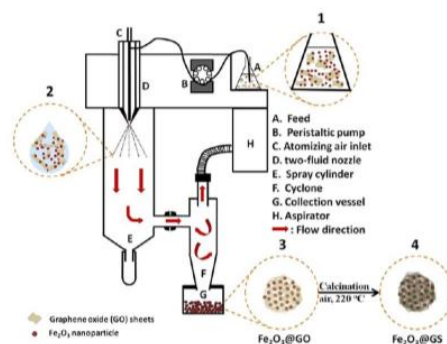
O grafeno pertence a uma classe emergente de materiais de membrana de carbono ultrafinos com alta área de superfície específica, estabilidade química e alta condutividade elétrica e térmica. Devido a essas características físico-químicas intrínsecas, o grafeno tem sido



extensivamente investigado para aplicações generalizadas em nanodispositivos, sensores, catálise, sistemas de armazenamento de energia e biomedicina como uma alternativa ao carbono poroso [1]. Recentemente, materiais de grafeno tridimensional (3D) têm chamado muita atenção, uma vez que não possuem apenas as propriedades intrínsecas das folhas de grafeno 2D, mas também fornecem funções avançadas com desempenho aprimorado em várias aplicações. Em particular, devido as suas características mecânicas exclusivas, excelente condutividade elétrica e grande área de superfície, grafenos 3D surgiram como candidatos promissores para supercapacitores [3]. Para explorar ainda mais as aplicações macroscópicas do grafeno, um pré-requisito essencial é a síntese controlada em grande escala de grafeno bidimensionais (2D) e a transferência de suas propriedades inerentes em estruturas tridimensionais (3D). Além disso, o grafeno precisa ser produzido em uma forma de pó micrométrico considerando a morfologia do pó de carvão ativado, que é atualmente usado como um material de eletrodo para capacitores eletroquímicos de dupla camada (EDLCs). Apesar do recente progresso na realização de sínteses de grafeno usando estratégias bem estabelecidas, como filtração a vácuo, síntese camada por camada [1], montagem hidrotérmica seguida de secagem em forno [5], e secagem por spray [2, 6, 7], a síntese controlável e escalonável dos grafenos tridimensionais em pó micro-dimensionado com uma alta densidade de empacotamento permanece um desafio significativo [1].

Atualmente, várias tecnologias de secagem para a produção de pó de grafeno foram desenvolvidas. Dentre elas, a secagem por *spray* tem sido amplamente utilizada na fabricação de pós, devido ao seu baixo custo, secagem eficaz, fácil escalonamento e rápida perda de solvente, que são todos benéficos para a produção de grafeno microesférico em grande escala [2]. Como exemplo, a Fig. 1 ilustra o processo de secagem por pulverização para formar nanopartículas de Fe_2O_3 em folhas de óxido de grafeno ($\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{GS}$) [8], uma vez que esse material é utilizado no desenvolvimento de eletrodos de armazenadores de energia. A suspensão mista (alimentação) é pulverizada em gotículas finas através do bico de dois fluidos usando ar comprimido ou N_2 . No cilindro de secagem, o solvente evapora das gotículas e as partículas solidificam. As partículas secas são separadas do gás de secagem no ciclone e são recuperadas em um recipiente de coleta [4].

Fig. 1: Processo da secagem por pulverização de nanopartículas de Fe_2O_3 encapsuladas com grafeno ($\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{GS}$).



Neste estudo, demonstramos uma nova estratégia de secagem por pulverização para obtenção de pó de grafeno com estrutura semiesférica semelhante a folhas amassadas e porosas, como material para eletrodo de EDLCs por meio da modificação da superfície de óxido de grafeno (GO) com cianamida. Nossa estratégia é utilizar a cianamida para desempenhar as seguintes funções: (1) a prevenção da interação química do GO com a água e o reempilhamento por meio da modificação da superfície do GO com cianamida; (2) a montagem de GO modificado com cianamida no pó de grafeno semiesférico usando secagem por pulverização; (3) a polimerização de cianamida no pó semiesférico de GO pulverizado, para atingir o empacotamento denso de grafeno na formação das folhas amassadas semiesféricas; e (4) a geração de mesoporos nas partículas de grafeno compactas via decomposição térmica de cianamida.

2. Materiais e Métodos

Inicialmente, o GO foi preparado pelo método Hummers modificado e subsequente processo de esfoliação ultrassônica [9]. Uma solução aquosa de GO ($1,0 \text{ g L}^{-1}$) foi preparada e misturada a uma solução aquosa de cianamida (CH_2N_2) (50% em massa, Sigma Aldrich) originando a solução de trabalho com razão em massa de GO/ CH_2N_2 na proporção de 1: 5. As soluções aquosas misturadas foram mantidas em agitação a 90°C por 12h para a obtenção de compósitos de GO/ CH_2N_2 com ligação química entre a cianamida e o GO. Os compósitos de GO/ CH_2N_2 preparados apresentaram alta dispersibilidade em soluções aquosas, semelhante à do GO em soluções aquosas. A solução aquosa do compósito de GO/ CH_2N_2 foi

seca por pulverização a 200° C para produzir um pó microesférico de GO/CH₂N₂ usando um mini spray-dryer (B-290, BUCHI). As microesferas de GO/CH₂N₂ pulverizadas foram então tratadas termicamente a 550° C em uma atmosfera de Argônio por 2h para polimerizar a cianamida e reduzir o GO a óxido de grafeno reduzido (rGO) nas microesferas, o que resultou em microesferas de rGO/CH₂N₂. Finalmente, as microesferas de grafeno com razão de rGO/CH₂N₂ de 1: 5 (denotadas como GMs) foram preparadas após o tratamento térmico das microesferas em 900° C em uma atmosfera de Argônio por 2h para decompor termicamente a cianamida polimerizada. Para fins de comparação, uma solução aquosa de óxido de grafeno (GO) foi seco por pulverização a 200° C para produzir um pó microesférico de GO/H₂O usando um mini spray-dryer (B-290, BUCHI).

A morfologia da superfície do material obtido foi investigada com auxílio de microscópio eletrônico de varredura com canhão de elétrons por emissão de campo (MEV-FEG) com o equipamento TESCAN MIRA3. Analisou-se a morfologia e cristalinidade por Difração de Raios-X (DRX) (Panalytical Xpert PRO), sob feixe emitido por cobre a 0,154 nm e $0 \leq 2\theta \leq 90^\circ$.

3. Resultados

A Fig. 2 refere-se ao material obtido no vaso coletor do spray-dryer.

Fig. 2: vaso coletor de amostra sólida contendo material obtido em forma de pó e filme.

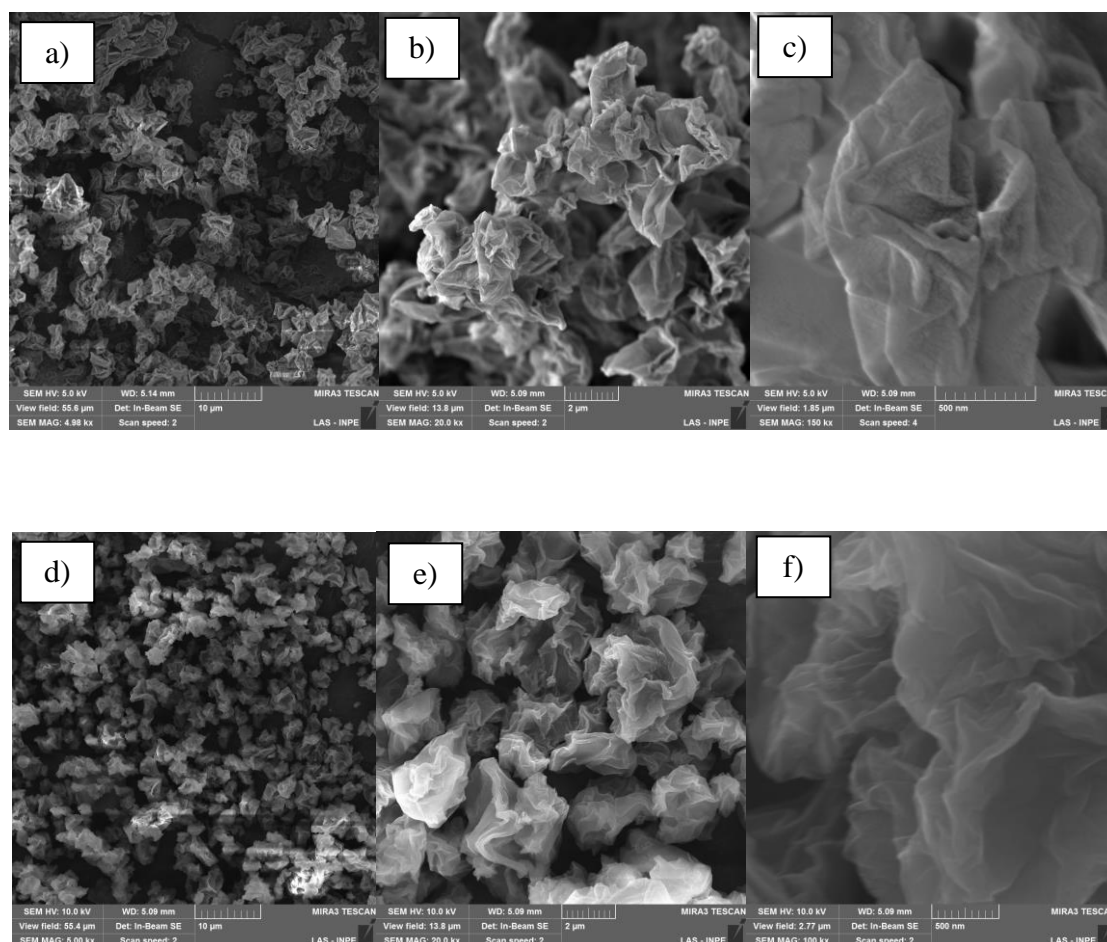


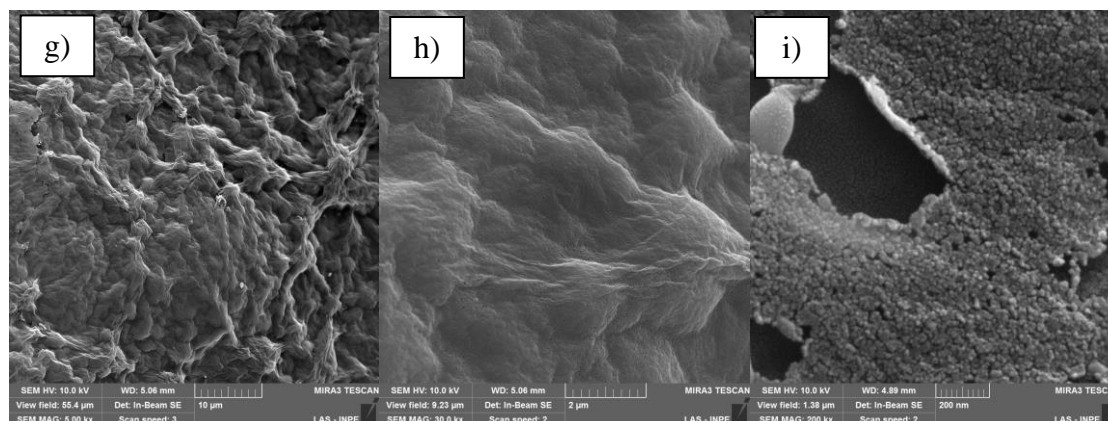
Qualitativamente, pode-se observar a adesão e acúmulo de material em forma de pó extremamente fino, seco e microesférico nas paredes e no fundo do vaso coletor, além do

acúmulo de material em forma de filme fino, seco e flexível. Os filmes do compósito de GO/CH₂N₂ foram formados durante o processo de secagem pela deposição excessiva de partículas sobre partículas, formando uma camada fina e posteriormente o filme de GO/CH₂N₂. À medida que a umidade diminui, a remoção da água induziu uma compressão significativa. Uma vez que o solvente na gota evapora de todas as direções, o compósito GO/CH₂N₂ obtido só pode ser o resultado da montagem relativamente orientada das folhas GO [2].

A Fig. 3 apresenta a morfologia dos pós de GO sob duas condições: puro (GO/H₂O), compósito com cianamida (GO/CH₂N₂) e morfologia dos filmes de grafeno (GMs) em diferentes ampliações obtidas através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-FEG).

Fig. 3: a-c) GO/H₂O; d-f) GO/CH₂N₂; g-i) GMs





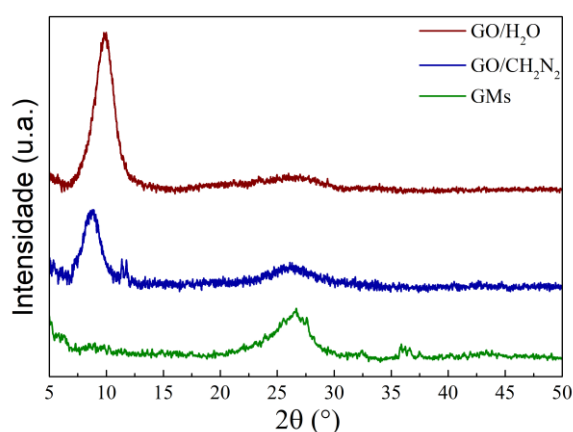
As micrografias apresentadas na Fig. 3 (a-c) exibiram morfologia composta por algumas dezenas de folhas de óxido de grafeno 2D amassadas, de estrutura densa e aglomerada [10]. O óxido de grafeno amassado é formado por causa da forte interação química entre o GO e a água usada como solvente. Especificamente, a ligação de hidrogênio entre os grupos funcionais de oxigênio no GO e as moléculas de água causa o comportamento de "agarrar e arrastar" do GO, resultando na formação de dobras durante a evaporação do solvente, o que resulta no amassamento do GO em estruturas assemelhando-se a sacos colapsados de GO com estruturas abertas [1]. Como sabemos, as folhas de óxido de grafeno são facilmente empilhadas para formar uma estrutura grafítica, o que torna a dispersão de materiais de grafeno secos extremamente difícil [3]. A Fig. 3 (d-f) indicou que o compósito GO/CH₂N₂ formou uma arquitetura 3D do tipo bola de papel amassado [2, 5,11]. A rápida evaporação causa o encolhimento das gotas, dessa forma, o óxido de grafeno experimenta uma compressão isotrópica e a redução térmica para formar bolas de grafeno amassadas de tamanho submicrométrico [5, 12]. Notou-se que há espaço livre dentro de cada bola amassada individual, bem como entre elas que deve favorecer o contato do eletrodo e eletrólito para sistemas de eletrodos ultracapacitores [13]. Ao analisar a Fig. 3 (g-i), verificou-se uma estrutura de rede de grafeno, com morfologia de filme fino e espesso [10]. Notou-se um agregado de partículas de grafeno 3D distribuídas uniformemente por toda extensão do filme [13]. A morfologia microesférica do grafeno foi preservada e a formação de rugas tornou-se mais pronunciada durante os tratamentos térmicos [1]. Materiais à base de grafeno 3D foram comprovados como candidatos promissores para supercapacitores. As propriedades exclusivas e estruturas porosas de GMs não apenas melhoram a acessibilidade



do eletrólito à superfície do eletrodo, mas também fornecem canais eletricamente condutores para os materiais ativos decorados neles, o que melhora o desempenho de EDLCs, pseudocapacitores e baterias de íon-lítio, ou seja, os resultados obtidos anteriormente sugerem um material promissor para o desenvolvimento de novos armazenadores de energia [3].

A Fig. 4 apresenta o difratograma de raios-x das amostras de GO/H₂O, GO/CH₂N₂ e GMs. Uma comparação dos padrões de DRX das microesferas GO/H₂O e GO/CH₂N₂ revela claramente uma mudança no pico (001) de $2\theta = 10^\circ$ para $8,7^\circ$, indicando que a cianamida ligada ao GO agiu como um nanoespaçador nas quase-esferas de GO/CH₂N₂. O padrão de DRX das microesferas de GMs mostra um pico em $2\theta = 26,27^\circ$ indicando a redução do óxido de grafeno a óxido de grafeno reduzido após o tratamento térmico a 900°C [1, 14 e 15]. O tratamento térmico a 550°C causa a polimerização da cianamida e conseqüentemente a redução química de GO. O tratamento adicional a 900°C causou a decomposição térmica da cianamida nas microesferas de GMs, resultando em microesferas de grafeno compactas como produto final [1].

Fig. 4: difratograma de raios-x das amostras de GO/H₂O, GO/CH₂N₂ e GMs.



O número de camadas dos materiais pode ser obtido pela equação que resulta da relação entre a lei de Bragg (espaçamento d de cada plano) e a equação de Scherrer (altura dos cristalitos) [16], descritos na Tabela 1:



Tabela 1. Parâmetros estruturais dos aditivos carbonosos.

	GO/H ₂ O	GO/CH ₂ N ₂	GMs
2 θ (°)	10	8,7	26,27
d ₀₀₂	3,3822	3,4226	3,3886
L _c	11,599	7,151	24,531
N _c	4	3	8

A Tabela 1 confirma que a distância interplanar foi praticamente inalterada para esses materiais. Houve uma diminuição na altura dos cristalitos de GO/CH₂N₂ em comparação com o GO/H₂O. Ligações covalentes são formadas entre os grupos amina na cianamida e os grupos epóxido no GO por meio da aminação de abertura do anel de epóxidos através do mecanismo de substituição nucleofílica S_N2 quando a solução aquosa da mistura de cianamida e GO foi mantida a 90° C, podendo prevenir efetivamente as fortes interações químicas entre os grupos funcionais de oxigênio no GO e as moléculas de água do solvente, justificando o uso da cianamida no processo de obtenção das microsferas [1]. Além disso, houve um aumento da altura dos cristalitos para o GMs, gerada no processo de decomposição da cianamida polimerizada entre as camadas de grafeno. Isso indica que ainda existe algum grau de intercalação devido aos grupos de oxigênio não serem removidos mesmo após o tratamento térmico a 900°C [1, 16]. O aumento no número de camadas do GMs pode ser justificado pela aglomeração de partículas semiesféricas umas sobre as outras, formando um filme fino [1].

4. Próximas Etapas

Finalizar as caracterizações dos materiais obtidos, por espectroscopia Raman, análise de tamanho de partícula, volume e tamanho de poros, análises termogravimétricas, desempenho eletroquímico por espectroscopia de impedância eletroquímica, voltametria cíclica e carga-descarga galvostática, otimização do rendimento do processo, além da aplicação do material obtido em testes de eletrodos de baterias de chumbo-ácido, com potencial para estender a



sensores, supercapacitores e células de deionização capacitiva, que são objetos em franco desenvolvimento no Grupo de Pesquisa em Materiais Carbonosos e Poliméricos Eletroativos.

5. Conclusões

Uma análise sistemática foi utilizada para determinar a influência da cianamida na obtenção do GMs, monitorando suas propriedades estruturais e morfológicas. As micrografias mostraram a evolução da morfologia do material após o tratamento térmico. A rugosidade aumentou devido à formação de um filme fino de partículas microesféricas aglomeradas umas sobre as outras. De acordo com os padrões de DRX, foi possível verificar mudanças no empilhamento de folhas entre os materiais. O GMs apresentou maior número de camadas mesmo sob tratamento térmico mais alto do que o GO/H₂O e GO/CH₂N₂, porém um número típico de materiais formalmente considerados grafenos, com provável característica condutora, devido ao tratamento térmico que expulsa heteroátomos. A altura dos cristalitos também foi maior para o GMs, que pode estar associada à expulsão da cianamida entre as camadas e indicar a presença de grupos volumosos de oxigênio.

6. Divulgação dos Resultados

Pretende-se publicar um artigo em revista internacional de impacto acima de 3,0 a partir do conteúdo deste trabalho e algumas de suas decorrências.

Referências

- [1] Y. H. Kim, B. H. Park, Y. J. Choi, G. Lee, H. K. Kim, K. B. Kim; “Compact graphene powders with high volumetric capacitance: Microspherical assembly of graphene via surface modification using cyanamide”, *Energy Storage Materials* 24 (2020) 351–361.
- [2] Y. Shi, C. Li, L. Shen, N. Bao; “Structure-dependent re-dispersibility of graphene oxide powders prepared by fast spray drying”, *Chinese Journal of Chemical Engineering* (2020).
- [3] X. Cao, Z. Yin, H. Zhang; “Three-dimensional graphene materials: preparation, structures and application in supercapacitors”, *Energy Environ. Sci.* 7 (2014) 1850–1865.
- [5] J. Luo, H. D. Jang, T. Sun; “Compression and Aggregation Resistant Particles of Crumpled Soft Sheets”, *ACS Nano* 5 (2011) 8943–8949.



- [6] H. Cao, X. Zhou, Y. Zhang, L. Chen, Z. Liu; “Microspherical polyaniline/graphene nanocomposites for high performance supercapacitors”, *Journal of Power Sources* 243 (2013) 715-720.
- [7] T. Yu, P. Zhu, Y. Xiong, H. Chen, S. Kang, H. Luo, S. Guan; “Synthesis of microspherical polyaniline/graphene composites and their application in supercapacitors”, *Electrochimica Acta* 222 (2016) 12–19.
- [8] C. Arpagaus, A. Collenberg, D. Rütli “Laboratory spray drying of materials for batteries, lasers, and bioceramics”, *Drying Technology* (2018).
- [9] S. N. Alam, N. Sharma, L. Kumar; “Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (rGO)”, *Graphene* 6 (2017) 1-18.
- [10] E. H. Jo, J. Cho, S. Park; “Size and Structural Effect of Crumpled Graphene Balls on the Electrochemical Properties for Supercapacitor Application”, *Electrochimica Acta* 222 (2016) 58–63.
- [11] C. Lee, S. K. Kim, J.-H. Choi, H. Chang, H.D. Jang; “Electrochemical performances of iron-cobalt oxides nanoparticles loaded crumpled graphene for supercapacitor”, *Journal of Alloys and Compounds* 735 (2018) 2030-2037.
- [12] S. Deng, V. Berry; “Wrinkled, rippled and crumpled graphene: An overview of formation mechanism, electronic properties, and applications”, *Materials Today* 19 (2016).
- [13] J. Luo, H. D. Jang, J. Huang; “Effect of Sheet Morphology on the Scalability of Graphene-Based Ultracapacitors” *ACS Nano* 7 (2013) 1464–1471.
- [14] G. Yasin; “Exploring the Nickel–Graphene Nanocomposite Coatings for Superior Corrosion Resistance: Manipulating the Effect of Deposition Current Density on its Morphology, Mechanical Properties, and Erosion-Corrosion”, *Adv. Eng. Mater.* (2018).
- [15] F. T. Johra, J. Lee, W. Jung “Facile and safe graphene preparation on solution based platform”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20 (2014) 2883–2887.
- [16] C. B. Souza; “Evolution of dielectric properties of thermally reduced graphene oxide as a function of pyrolysis temperature”, *Diamond & Related Materials* 93 (2019) 241–251.



PIBIC/PIBITI-RELATÓRIO FINAL

Título do projeto de pesquisa: Projeto de dispositivo de sopro de asa para
hipersustentação
Bolsista: Luiz Felipe Marcondes Tavares
Orientador(a): Cayo Prado Fernandes Francisco
Período a que se refere o relatório: Junho de 2021 a Agosto de 2021

Resumo

Este trabalho tem finalidade comparar resultados experimentais e numéricos de configurações de dispositivos de sopro para controle de camada limite na superfície de asas, através da coleta de imagens em testes PIV e tomadas de pressão. O projeto de um modelo de asa constituída por superfícies hipersustentadoras (slat e flap, a parte anterior e posterior da asa consecutivamente) que foi elaborado em software comercial 3D tendo como geometria o perfil RAE 102, considerando as dimensões da seção de ensaios do túnel de vento subsônico TA-3. O sopro é alimentado por dutos de ar comprimido conectados a compressores das instalações do Túnel Transônico Piloto, TTP. As velocidades do jato nas fendas são grandezas de entrada do coeficiente de taxa de momento de sopro seccional, que quantifica a porção do escoamento de saída do sistema de sopro que chega na superfície da asa.

1. Introdução

O objetivo da presente pesquisa é o ensaio do projeto de dispositivo de sopro de asa para fins de hipersustentação, para um melhor desempenho na decolagem e aterrissagem de aeronaves, comparando os valores numéricos obtidos com imagens e testes em dispositivo PIV. Esta pesquisa faz parte de um trabalho conjunto entre o Brasil, China e Rússia, com a participação de pesquisadores da Subdivisão de Aerodinâmica do Instituto de Aeronáutica e Espaço, IAE/ACE-L, o Chinese Aerodynamics Research Institute, AVIC ARI e o Russian Central Aerohydrodynamic Institute, TsAGI. Alunos de graduação e de pós-graduação estão inseridos nas pesquisas. Neste projeto trilateral, estão planejados estudos experimentais e numéricos em aeronaves que utilizam sistemas de controle por sopro. O domínio sobre a



aplicação deste sistema tem o intuito de ampliar as possibilidades de utilização de aviões, visto que, aumentando a eficácia dos dispositivos de sustentação as aeronaves ganham mobilidade, especialmente em áreas territoriais de difícil acesso, pois permite aviões de maior porte pousarem em aeroportos com pista de decolagem/pouso reduzidas, em abordadas proporções. Para este relatório, foram feitas análises qualitativas para escolha de materiais de impressão para o modelo 3D da asa e quantitativas considerando documentação especializada em aerodinâmica, mecânica dos fluidos e sistemas de controle de descolamento de camada limite. Um modelo de aerofólio foi fabricado com base na referência [1], o RAE 102, que foi determinado pelos membros do projeto internacional para os estudos iniciais. Essa referência foi escolhida pois há dados experimentais que podem ser reproduzidos nos túneis aerodinâmicos do Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE. Além disso, os dados podem ser comparados com os resultados de simulação obtidos a partir de diferentes códigos de Dinâmica dos Fluidos Computacional, CFD. As proporções adotadas foram: bordo de ataque slat/corda 12,5% e bordo de fuga flap/corda 25%. Para todos os testes, a posição definida do sopro é que o jato incida tangencialmente à superfície do aerofólio. Os dispositivos são alimentados com ar por meio de dutos instalados de modo a atuar no bordo de ataque e bordo de fuga. As profundidades nominais das fendas foram de 0,028 pol (0,71 mm) e 0,04 pol (1,03 mm), respectivamente. Estes dados serão visualmente retratados por imagens obtidas de uma classe de técnicas de medição de velocidade de fluidos derivada diretamente da visualização dos escoamentos, geralmente chamada de velocimetria por imagem de partículas (PIV).

2. Materiais e Métodos

Uma asa foi construída seguindo os parâmetros de dimensionamento da asa RAE 102 na impressora 3D do instituto, um suporte foi posicionado no CG (Centro de Gravidade) da asa para fixação durante os testes. Os testes serão realizados no túnel de vento TA-3, ambos na Divisão de Aerodinâmica do Instituto de Aeronáutica e Espaço, IAE/ACE/TA3 (Figura 1a). O túnel aerodinâmico nº 3, TA-3, possui circuito aerodinâmico fechado. A seção de ensaios pode ser aberta ou fechada. Como mostra a Figura 1, o túnel apresenta seção de ensaios Instituto de Aeronáutica e Espaço Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica 4 aberta. A dimensão da seção de ensaios é de 0,69 m x 0,47 m. O escoamento atinge velocidades entre 0 e 60 m/s, ou seja, o número de Mach máximo é em torno de 0,18



Figura 1. a) Vista externa do circuito aerodinâmico TA-3. A seta indica a seção de ensaios. A asa impressa recebeu um suporte no CG (Centro de Gravidade) para fixação durante os testes e foi impressa em três partes seccionadas e receberam dutos de passagem de ar para passagem de fluxo ativo assim como mostra na figura 2.



Figura 2. Seções da asa impressas (desmontadas) e passagens de fluxo ativo. As estruturas foram montadas, coladas, lixadas assim como demonstrado na figura 3.

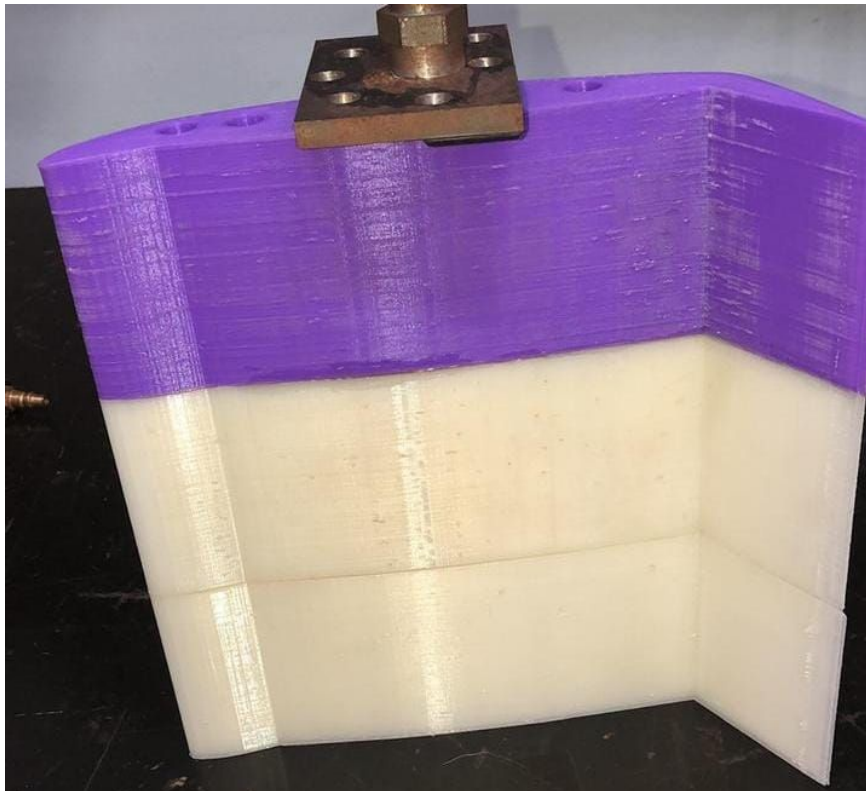


Figura 3. Peças coladas e lixadas para redução de rugosidade. O Solidworks foi o software usado para projetar o modelo 3D mais elaborado. Nele a peça foi montada com as dimensões externas de um modelo de asa RAE 102 e projetada internamente para tomada de pressão estática e alimentação de fluxo ativo com saída para o slat e flap externo para a experimentação de fluxo ativo, assim como demonstrada na figura 4, nele os cantos vivos foram reduzidos visando a otimização do efeito Coand e reduzir o descolamento de fluxo e ganho de força de sustentação a asa.

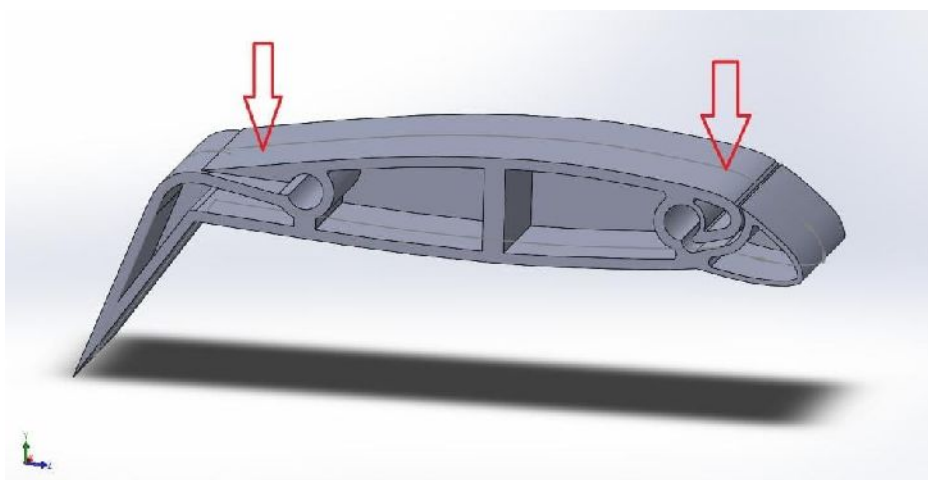


Figura 4. As setas indicam o posicionamento dos atuadores de fluxo ativo.

3. Resultados

Testes de sopro foram feitos utilizando fios de lã para visualização de colamento de fluxo na superfície da asa utilizando valores obtidos por relatórios anteriores e com fluxo de ar contínuo assim como demonstrado na Figura 5.



Figura 5. Asa com fios de lã para visualização do efeito Coandã. Após os primeiros testes em túnel de vento foi observado que o material usado na asa apresentava rugosidade na superfície e apresentava alguns cantos vivos na saída do slot atrapalhando o pleno funcionamento do mecanismo e uma nova peça foi construída usando um software de modelagem 3D. É estimado que a correção dos erros apresente uma representação mais fiel aos efeitos em voo. A nova peça foi construída e moldada para passagens internas de tubos de tomada de pressão que serão fixadas no intradorso e extradorso da asa. A matéria prima usada na impressão foi PLA (Polylactic Acid ou

Poly lactide) e o modelo 3D foi dimensionado no software solidworks como mostra na Figura 6.

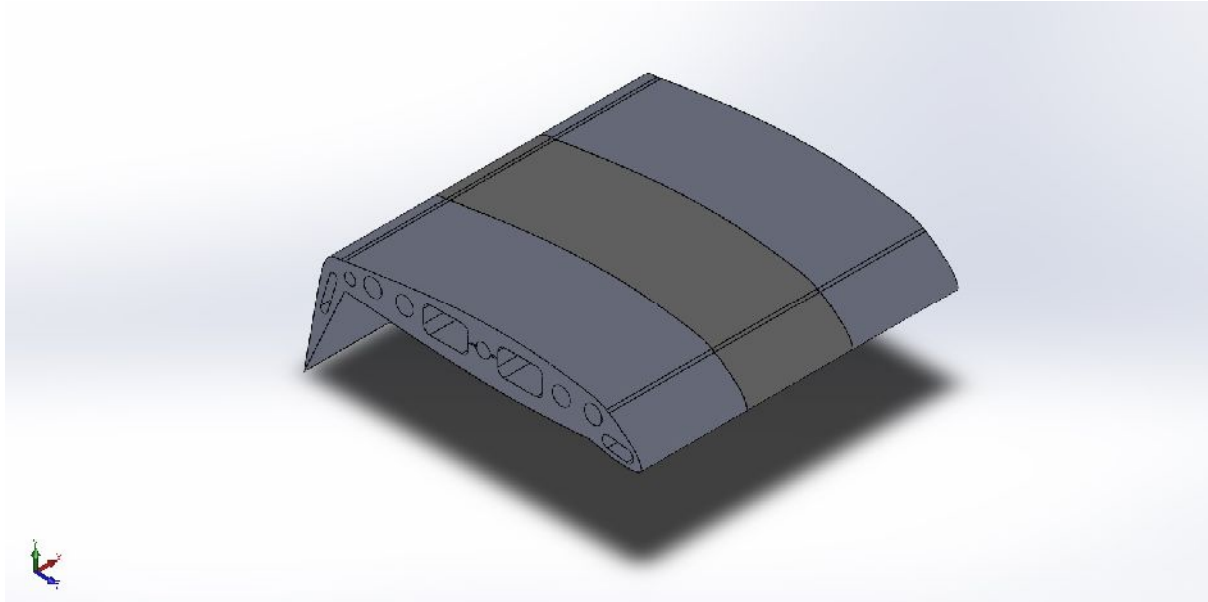


Figura 6. Asa montada corrigindo os problemas de canto vivo e adição de espaço interno para dutos de tomada de pressão. A Peça central tem um furo passante em ambos enquanto a peça de fixação é sólida para melhor estrutura e aumento na resistência do material. Assim como mostram as Figura 7 e Figura 8 Respectivamente.

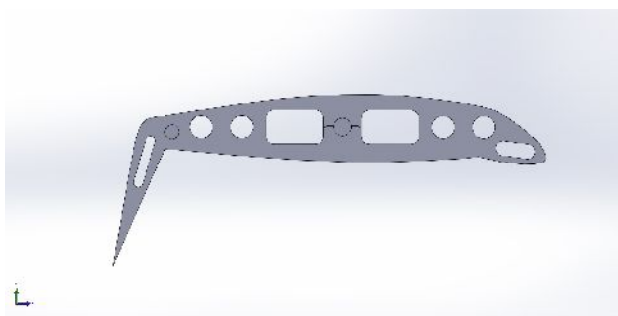


Figura 7. Peça central com abertura para os dutos de alimentação do sistema e tomada de pressão.

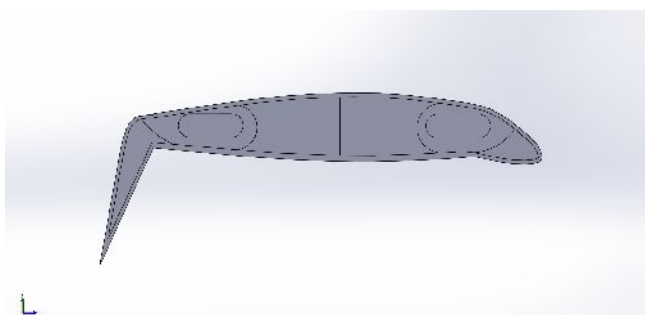


Figura 8. Peça lateral com isolamento interno da Asa.

4. Próximas Etapas

O projeto passará por testes em uma versão bi-dimensional de PIV que consiste na determinação do deslocamento de partículas traçadoras dispersas no fluido iluminadas externamente por um plano de luz pulsada, produzidas por laser. Uma câmera fotográfica alinhada ortogonalmente ao plano de luz registra a posição das partículas, ou grupo de partículas, em dois ou mais instantes de tempo consecutivos e precisamente conhecidos. Algoritmos especializados de processamento de imagens são utilizados para determinar o campo de deslocamento das partículas ou grupo de partículas, fornecendo o campo de velocidade específico uma vez que o intervalo de tempo entre as imagens é conhecido.

5. Conclusões

Após análise de imagens obtidas em PIV será possível a comparação entre os dados numéricos obtidos e a visualização experimental. Podendo formar uma margem de confiabilidade entre os valores numéricos obtidos por artigos anteriores e fundamentações práticas experimentais. Um projeto de sistema de sopro foi proposto para ser posicionado no interior de um aerofólio que está sendo ensaiado no túnel de vento TA-3. O modelo foi elaborado em um software e impresso em uma impressora 3D.

6. Divulgação dos Resultados

Não se aplica para o presente período.

Referências

- [1] LAWFORD, J. A.; FOSTER, D. N. Low-Speed Wind-Tunnel Tests on a Wing Section with Plain Leading and Trailing-Edge Flaps having Boundary-Layer Control by Blowing. Reports and Memoranda No. 3639. April 1969, London.
- [2]<https://www.iae.cta.br/index.php/laboratorios/257-laboratorio-de-anemometria-ta-3>,



acessado em 21 de julho de 2021.

[3] ANDERSON Jr, J. D. Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill, 3rd ed, 2001. 892 p.

[4] FOX, R. W.; McDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. Introdução à Mecânica dos Fluidos. 8ª ed, LTC.

[5] CARMO, BRUNO S.; ASSI, GUSTAVO R. S.; MENEGHINI, JULIO R.; ARANHA, JOSÉ A. P.; VOLPE ARNANI V.; Turbulência Volume 8 EPPT 2012 SÃO PAULO 8ª Escola de Primavera de Transição e Turbulência.



RELATÓRIO FINAL - PIBIC/PIBITI

Título do projeto de pesquisa: Desenvolvimento de materiais promissores para eletrodos de célula de Deionização capacitiva.
Bolsista: Rafael Claro Firmino
Orientador(a): Emerson Sarmiento Gonçalves
Período a que se refere o relatório: Fevereiro 2021 à Agosto 2021

Resumo

1. Introdução

A falta de água potável é eminente no planeta Terra, a costa oeste dos Estados Unidos, a Índia, a China e alguns países da África já vivenciam a escassez de água. Cerca de 4 bilhões de pessoas enfrentam dificuldade com a falta deste recurso, e os números tendem a aumentar, tendo em vista o crescimento populacional [1]. Com isso há grande interesse no estudo das células de deionização capacitiva, que consiste basicamente na presença de dois eletrodos porosos e uma água de alimentação que flui entre ou através os eletrodos. Os eletrodos são carregados com uma diferença de tensão entre 1-1,4V, assim os sais presentes na água de alimentação são atraídos para os eletrodos carregados, removendo, portando, os sais da água de alimentação (processo conhecido como eletrossorção) e transformando-a em água dessalinizada [2]. Dessa forma, neste trabalho foram sintetizados e caracterizados polímeros condutores para utilização em eletrodos de células de deionização capacitiva. A escolha do material do eletrodo influencia diretamente na performance dos dispositivos, neste trabalho foi escolhida a polianilina, sintetizada por sínteses química e eletroquímica.

A Polianilina (PANI) tem muito reconhecimento principalmente pelo seu processo de polimerização ser simples e por ter como característica porosidade e boa condutividade, além de obter facilidade de síntese, elevada estabilidade ambiental e possibilidade de ter sua condutividade alterada por meio de dopagem por protonação ou da variação de seu estado de oxidação. Comparado com outros eletrodos de materiais provenientes do carbono a PANI teve um desempenho muito melhor em termos de dessalinização e eletrossorção. Apesar de muitos outros eletrodos conseguirem chegar em um resultado próximo ou até melhor eles não têm uma longevidade de ciclos grande, e são muito mais caros que a PANI [3].



2. Materiais e Métodos

2.1 Obtenção de Materiais e Compósitos: Polianilina – síntese química e eletroquímica

Para a obtenção de PANI por síntese química foram adicionados 0,1 M de anilina e 0,001 M de ácido dodecilbenzenossulfônico (DBSA) a 200 mL de solução de NaCl 3 M/HCl 1 M sob agitação a -7°C durante 04 h. Gotejou-se solução de persulfato de amônio (APS) 0,35 M no sistema. Em seguida, o material foi filtrado e lavado com HCl 1 M e seco em estufa a 60°C . A síntese eletroquímica da PANI foi executada em 8 tipos de amostras, sendo 4 tratadas a 1000°C e 4 tratadas a 2000°C , logo nomeou-se em FC 1000 E, F, G e H e FC 2000 E, F, G e H para diferir as amostras. A diferença entre as amostras preparadas, além do tempo de síntese, podendo ser 450s ou 1350s, é a concentração do monômero perante a concentração do eletrólito, variando de 1:1 e 2:1, e para cada uma dessas amostras realizou-se em quadruplicata. As sínteses foram feitas em H_2SO_4 0,5M e 1M em banho a frio (4°C).

2.2 Análises dos Materiais

2.2.1 FEG (síntese química) e MEV (síntese eletroquímica)

As imagens foram registradas utilizando-se o equipamento FEG-MEV da *Tescan Mira 3*, da *scientific LabRAM Horiba*.

2.2.2 Eletroquímicas

Para realizar esses ensaios, por síntese química, os eletrodos foram previamente preparados usando uma solução com fluoreto de polivinilideno (PVDF) e dimetilformamida (DMF), onde foi adicionado o material ativo sintetizado e Negro de Fumo (NF), e então, mergulhou-se feltro de fibra de carbono (CFF) de 1 cm^2 no sistema. Os ensaios eletroquímicos, tanto para síntese química quanto para eletroquímica, foram realizados através do uso de potenciostato galvanostato *Metrohm Autolab PGSTAT 302*, utilizando o programa *NOVA 2.1*. Tais caracterizações foram realizadas com sistema de 3 eletrodos, o qual teve Ag/AgCl (3 M KCl) como eletrodo de referência (RE), uma cesta de Pt como contraeletrodo (CE) e os materiais sintetizados como eletrodo de trabalho (WE), em uma solução de H_2SO_4 1 mol.L^{-1} utilizada como eletrólito. Para a Voltametria Cíclica (VC) a janela de potencial foi de -0,1 a 0,8 V (síntese química) e -0,1 a 0,9 (síntese eletroquímica) vs Ag/AgCl, e as velocidades de varredura

foram de 5, 10, 25, 50, 75 e 100 $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ para síntese química e 10, 25, 50, 75 e 100 $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ para síntese eletroquímica. As caracterizações realizadas por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) foram realizadas usando o potencial de circuito aberto (PCA), com amplitude de perturbação de 10 mV, na faixa de frequência de 10 MHz a 1 mHz para ambas as sínteses. Os testes de Carga e Descarga (CDG) foram realizados utilizando-se a densidade de corrente de $500 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$. Os potenciais de corte foram definidos a partir das curvas voltamétricas em -0,1 e 0,8 V (síntese química) e -0,1 a 0,9 V (síntese eletroquímica) vs. Ag/AgCl visando não degradar o polímero em potenciais muito próximos do estado pernigranilina da PANI.

3. Resultados

3.1 Canhão de Emissão de Campo FEG (síntese química)

A Figura 1 mostra a morfologia da PANI obtida pela síntese química em diferentes magnitudes, na qual apresentou formas aglomeradas e granulares, com aspectos de esponjas, conforme observadas em estudos prévios de polimerização química da PANI [6]. Além disso, evidenciam-se nanofios de polímeros, indicando uma eficiente polimerização direcional. A morfologia da PANI muda de acordo com o método de síntese e o meio de dispersão [5]. Percebe-se também que a PANI apresentou vazios, dando indícios que o material apresentou uma morfologia mais porosa, que resulta em altas áreas de superfície. Esse efeito interliga-se ao aumento de capacidade de carga, favorecendo o desempenho eletroquímico para a aplicação requerida.

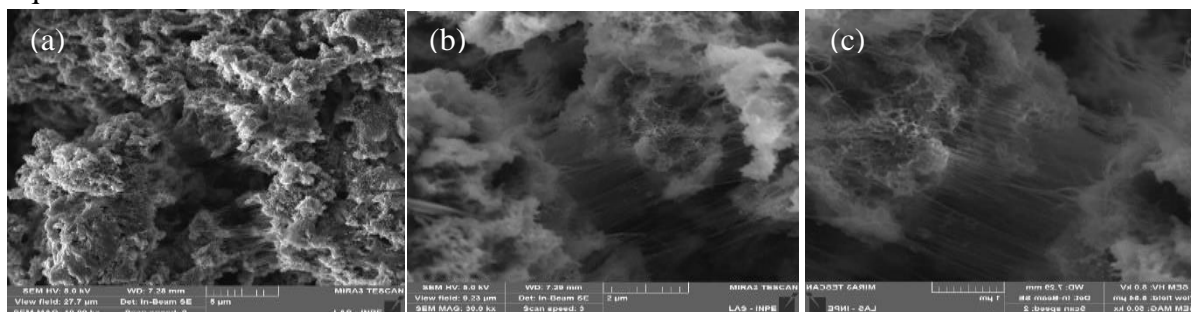
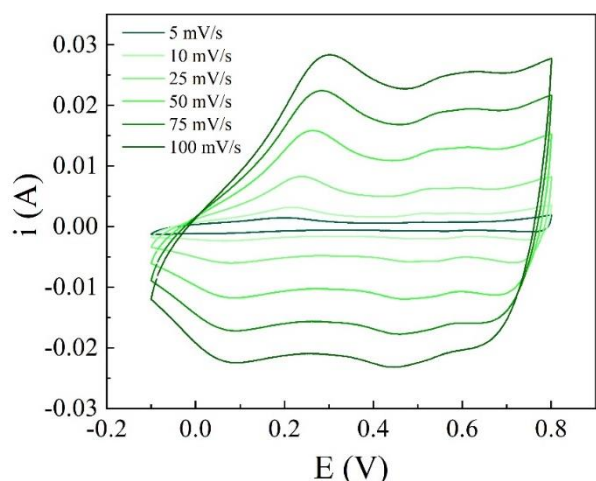


Figura 1: Imagens de FEG para a PANI (a-c) com aumentos de 10, 30 e 50 kx.

3.2 Voltametria Cíclica VC (síntese química)

A Figura 2 ilustra os voltamogramas correspondentes em uma janela de potencial de -0,1 a 0,8 V vs Ag/AgCl.



A PANI obtida pela síntese química apresentou voltamogramas de formas pseudocapacitivas, referentes ao acúmulo de carga, associadas às reações faradaicas, que são evidenciadas pelos ombros nas regiões entre 0,2/0,05V e 0,6/0,45V, referentes as transições leucoesmeraldina/esmeraldina e grupos p-benzoquinonas/ hidroquinonas, respectivamente; e a transição entre esmeraldina e pernigranilina, que ocorre acima de 0,6 V [8], presentes nas cadeias poliméricas da PANI [7].

Figura 2: Voltamograma da PANI a 5, 10, 25, 50, 75 e 100 mV s⁻¹.

A capacitância específica C_s , do eletrodo de PANi foi calculada por meio da Equação 1:

$$C_s = \frac{\int IdV}{m \cdot v \cdot \Delta V} \quad \text{Equação 1}$$

Onde, I e V são a corrente e o potencial medidos, respectivamente, m ativa é a massa do eletrodo, v é a velocidade de varredura e ΔV , a janela de potencial. A Tabela 1 apresenta esses dados energéticos obtido por CV. Para efetuar os cálculos foram descontados os valores de massa da FC que foram imersas na solução de PVDF e DMF contendo NF e os materiais sintetizados e do PVDF.

Tabela 1: Valores de Grandezas Elétricas obtidos por VC a 10 mV s⁻¹ de -0,1 a 0,8 V para a PANI por síntese química

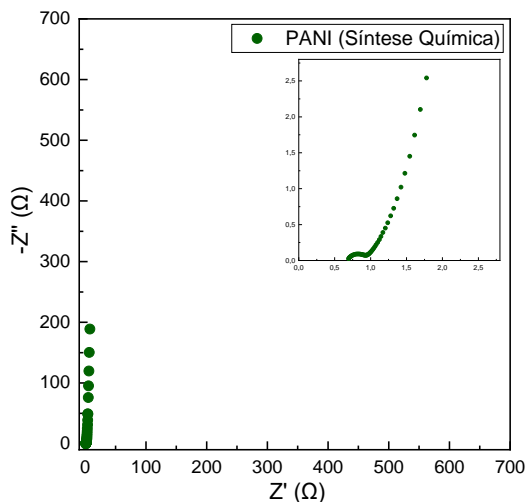
Material	Massa Ativa (g)	$\int IdV$	C_s (F.g ⁻¹)	$\int IVdt$
PANI	0.0070	3.30×10^{-3}	52.38	3.70×10^{-5}

Foi obtido para a PANI, com a equação 1, uma $\int IdV = 3.30 \times 10^{-3}$ e uma capacitância específica de 52.38 F/g.

3.3 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica EIE (síntese química)

Para estudar a interação do eletrodo com o eletrólito nos sistemas eletroquímicos, o eletrodo foi submetido à EIE. A Figura 3 contempla os Diagramas de *Nyquist* nas regiões de altas e baixas frequências. Por meio da Figura 3 observa-se o diagrama de *Nyquist* para a PANI. Nas regiões de altas frequências, foi observado deslocamento da origem do diagrama no eixo real,

cuja intersecção com o eixo x, R_s , corresponde à resistência da solução eletrolítica. Percebe-se que na região de altas frequências, a PANI apresentou processos de relaxação (presença de semicírculo).



Eletrodo	R_s ($\Omega \text{ cm}^2$)	R_{ct} ($\Omega \text{ cm}^2$)	CPE ₁		CPE ₂		CPE ₃	
			$Y_0 \times 10^{-4}$ ($\Omega^{-1} \text{ s}^n$)	n	$Y_0 \times 10^{-2}$ ($\Omega^{-1} \text{ s}^n$)	n	$Y_0 \times 10^{-3}$ ($\Omega^{-1} \text{ s}^n$)	n
PANI	0,65	0,219	8,74	0,84	47,6	0,47	184	1

Figura 3: Diagramas de Nyquist para PANI e valores dos elementos de circuito presentes nas regiões de altas e baixas frequências da EIE para a PANI (síntese química) representados por um circuito $[R_s([R_{ct}CPE_1]CPE_2)CPE_3]$.

A PANI apresentou um semicírculo nas regiões de altas frequências, assim como observado na Figura 3, que foi relacionado ao fenômeno da Dupla Camada Elétrica, isto é, com efeitos da interface, de modo que a capacitância relacionada a dupla camada, C_{dl} , e a resistência à transferência de carga, R_{ct} (equivalente à resistência à polarização), são evidenciadas. Para os materiais pseudocapacitivos, o semicírculo também se relaciona à densidade de corrente de troca dos processos de oxirredução.

3.4 Carga e Descarga CDG (síntese química)

A Figura 4 mostra as curvas dos dez ciclos e do terceiro ciclo de CDG para a PANI, a uma densidade de corrente de $500 \mu\text{A cm}^{-2}$.

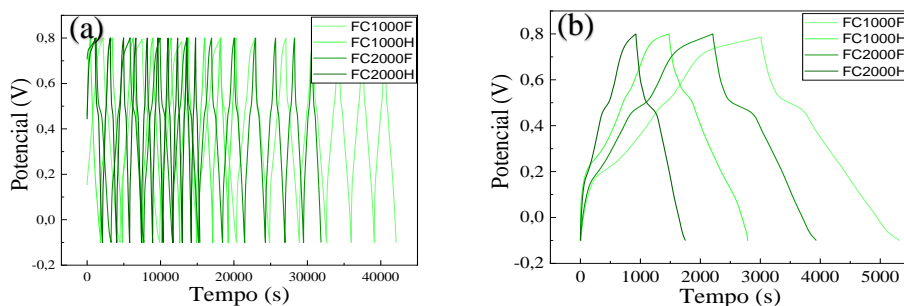
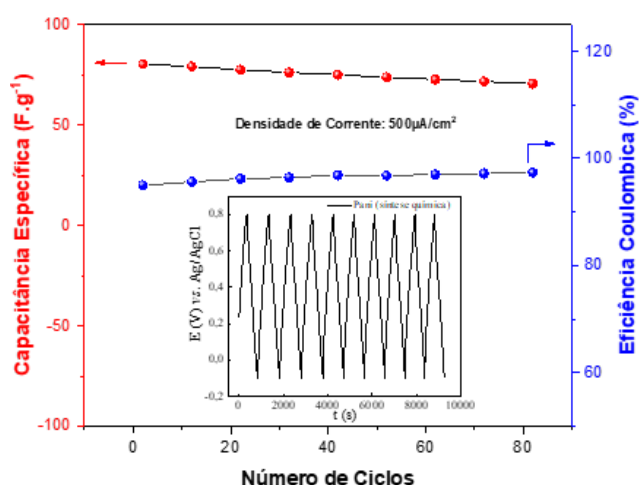


Figura 4: Curvas de CDG realizadas a $500 \mu\text{A cm}^{-2}$, dez ciclos da PANI (a) e terceiro ciclo da PANI (b).

Por meio Figura 4 (b) evidenciando o terceiro ciclo da análise, observa-se que as curvas dos materiais apresentam desvios de perfis triangulares, pois não são muito simétricas, caracterizando materiais pseudocapacitivos, e é possível notar perfil de ombros relacionados aos processos faradaicos. Assim como no voltamograma é possível calcular-se a capacitância específica, com intuito de medir a capacitância do material, através da Equação 2:

$$C_s = \frac{I \Delta t}{m \Delta V} \quad \text{Equação 2}$$



Foi obtido para a PANI, com a Equação 2, uma $I \Delta t = 0.2494 \text{ A.s}$ e uma capacitância específica de 39.59 F/g . Analisando-se a Figura 5 é possível observar uma eficiência coulombica bem próxima de 100% após os primeiros ciclos, assim como a capacitância específica que apesar de ter uma queda nos últimos ciclos, tende a permanecer constante.

Figura 5: gráfico de eficiência coulombica e capacitância específica com relação a 10 ciclos de CDG

3.5 Microscopia Eletrônica de Varredura MEV (síntese eletroquímica)

Para a PANI sintetizada por eletroquímica foi feita a análise morfológica, MEV, com aumentos de 1; ,5 e 5 kx para analisar o comportamento do polímero.

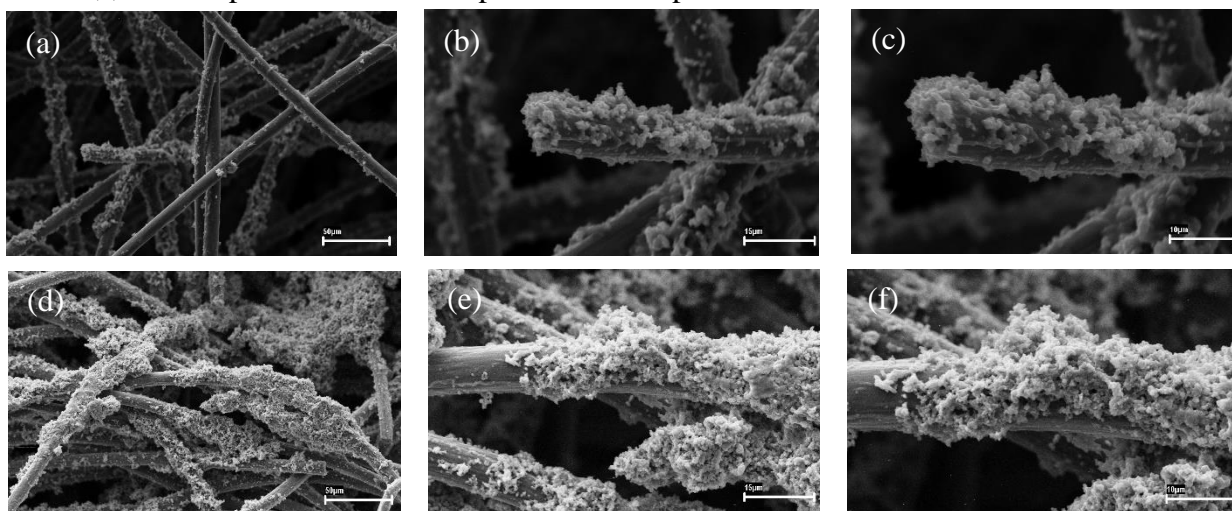
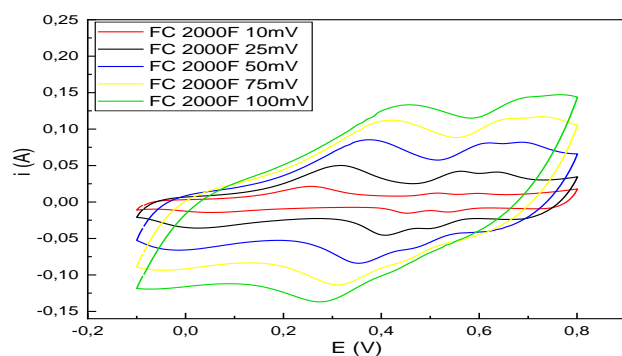


Figura 6: Imagens de MEV para a PANI (a-f) com aumentos de 1; 3,5 e 5 kx para as amostras 2000 F (a-c) e 2000 H (d-f).

A síntese eletroquímica da PANI fora executada em oito tipos de amostras de Fibra de Carbono (FC), sendo quatro delas tratadas a 1000°C e as outras tratadas a 2000°C. Optou-se por dois tratamentos térmicos para avaliar o desempenho perante as duas condições em que as fibras se encontram. A tratada a 2000°C é considerada de alto módulo, apresentando cadeia polimérica mais ordenada e, devido à alta temperatura do tratamento térmico, não apresenta significativa presença grupos heteroatômicos (oxigenados) no material. As tratadas a 1000°C apresentam baixo módulo e baixa resistência mecânica. Logo nomeou-se em FC 1000E, F, G e H para as tratadas a 1000°C e FC 2000E, F, G e H para as tratadas a 2000°C. Assim como na síntese química, a morfologia da PANI, por meio da eletroquímica, apresentou também uma estrutura granular com a presença de alguns vazios que contribuem com uma maior superfície de contato, bem como o aumento da área eletroquímica.

3.6 Voltametria Cíclica VC (síntese eletroquímica)

Por meio da Voltametria Cíclica, foi analisada o comportamento eletroquímico das 4 amostras denominadas: FC 1000F, 1000H, 2000F e 2000H. A Figura 7 ilustra os voltamogramas correspondentes em uma janela de potencial de -0,1 a 0,9 V vs Ag/AgCl.



Através dos voltamogramas obtidos é visível que há aproximação à idealidade, os caracterizando como quase reversíveis, devido à altura observada dos picos anódicos e catódicos bem como a proximidade dos picos redox.

Figura 7: Voltamograma da amostra FC 2000F a 10, 25, 50, 75 e 100 mV s⁻¹.

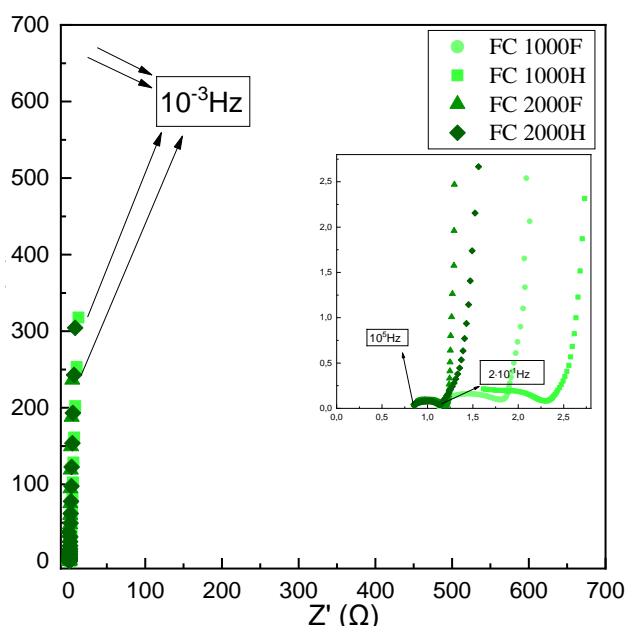
É possível também observar a minimização dos efeitos capacitivos, bem como a maior proximidade com os critérios de reversibilidade em velocidades de varredura mais baixas, podendo observar também que a partir de 75 mV/s há uma perda nos critérios de reversibilidade. Para avaliar esses fatores que tornam os voltamogramas próximos ao ideal foi calculada a capacitância específicas por meio da Equação 1, assim como feito na PANI da síntese química.

Tabela 2: Valores de Grandezas Elétricas obtidos por VC a 10 mV s^{-1} de $-0,1$ a $0,9 \text{ V}$ para as amostras FC 1000F, 1000H, 2000F e 2000H.

Material	Massa Ativa (g)	$\int IdV$	$C_s (\text{F}\cdot\text{g}^{-1})$	$\int IVdt$
FC 1000F	0,05	$1,963 \times 10^{-2}$	39,26	$2,128 \times 10^{-4}$
FC 1000H	$2,1767 \times 10^{-2}$	$1,272 \times 10^{-2}$ <td>58,44</td> <td>$1,345 \times 10^{-4}$</td>	58,44	$1,345 \times 10^{-4}$
FC 2000F	$9,0 \times 10^{-3}$	$1,786 \times 10^{-2}$	198,4	$1,929 \times 10^{-4}$
FC2000H	$4,16 \times 10^{-2}$	$4,685 \times 10^{-3}$	11,26	$4,995 \times 10^{-5}$

3.7 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica EIE (síntese eletroquímica)

A fim de observar a interação do eletrodo com o eletrólito nos sistemas eletroquímicos, foi executada uma EIE. A Figura 9 evidencia os Diagramas de *Nyquist* nas regiões de altas e baixas frequências para as amostras FC 1000F, 1000H, 2000F e 2000H. Em altas frequências é possível observar a formação de um semicírculo saindo aproximadamente de $0,8 \text{ W}$ para a FC2000F (o que se sugere que a resistência da solução é baixa) até aproximadamente $1,2 \text{ W}$ (eixo real), seguido de uma ascendente (observada em baixas frequências) quase linear (ângulo próximo de 90 graus). Observando-se o Diagrama de *Nyquist* e a Literatura, é possível atribuir



um circuito equivalente (*fitting*) que corresponda a esse comportamento, observado também na síntese química podendo afirmar que, de forma análoga, os efeitos descritos se repetem para os circuitos equivalentes dos demais sistemas. Em altas frequências é possível observar a formação de um semicírculo saindo aproximadamente de $0,8 \text{ W}$ para a FC2000F (o que se sugere que a resistência da solução é baixa) até aproximadamente $1,2 \text{ W}$ (eixo real), seguido de uma

ascendente (observada em baixas frequências) quase linear (ângulo próximo de 90 graus).

Figura 8: Diagramas de *Nyquist* para as amostras FC 1000F, 1000H, 2000F e 2000H.

3.8 Carga e Descarga CDG (síntese eletroquímica)

Para CDG realizaram-se 10 ciclos utilizando-se a densidade de corrente de $500 \mu\text{A cm}^{-2}$. Os potenciais de *cutoff* foram definidos a partir das curvas voltamétricas em -0,1 a 0,9 V (síntese eletroquímica) vs. Ag/AgCl visando não degradar o polímero em potenciais muito próximos do estado pernigranilina da PANI. A Figura 9 apresenta um perfil de ciclagem dos materiais.

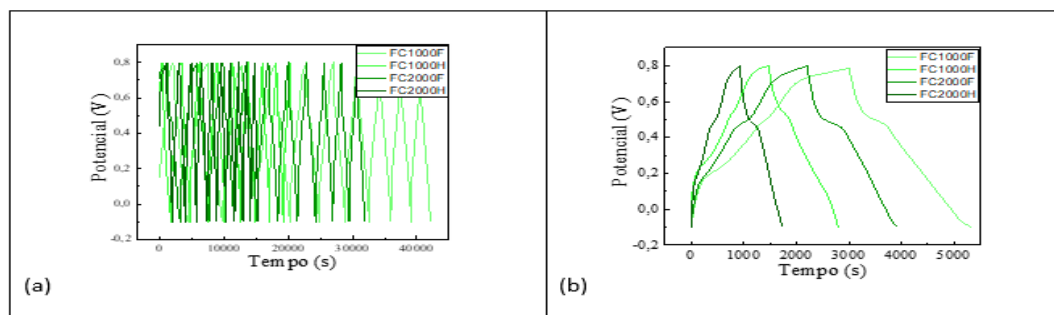
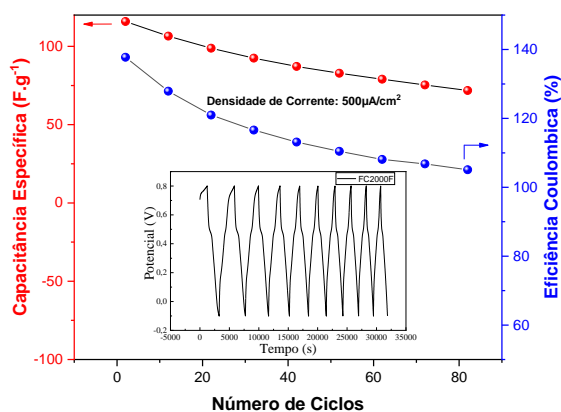


Figura 9: Curvas de CDG realizadas a $500 \mu\text{A cm}^{-2}$, dez ciclos das 4 amostras (a) e terceiro ciclo das 4 amostras (b).



Como é possível observar, ocorre uma queda ôhmica em potencial próximo de 0,9 a 0,5V. Com os valores obtidos na CDG e na pesagem do eletrodo após a síntese, é possível calcular os valores de capacitância específica e eficiência coulombica para cada amostra com intuito de conhecer as características eletroquímicas do eletrodo.

Figura 10: gráfico de eficiência coulombica e capacitância específica em relação a 10 ciclos de CDG para as amostras FC2000F

Destaca-se a amostra FC2000F que por sua vez apresentou valores inicialmente maiores seguido de uma linearidade em valores de capacitância em torno de 75F/g . O condicionamento dos eletrodos, nos primeiros ciclos, faz com que a eficiência coulombica seja distante do 100%, tendo assim tempo de carga maior, sendo que a carga não será dispersa uniformemente no material, porém após o quinto ciclo o valor da eficiência coulombica fica mais próxima de 100%, proporcionando uma certa linearidade e característica mais próxima ao ideal. Já com



relação a capacitância específica a tendência se repete, assim como a PANI por síntese química, há uma queda com o passar dos ciclos, entretanto tende a ser mais linear.

4. Próximas Etapas

Como próximos trabalhos, na síntese química recomenda-se a obtenção de compósitos, em que, por meio da sinergia, aprimoram-se os valores de capacitância. A essa PANI pode-se adicionar óxidos metálicos ou materiais carbonosos como grafeno visando uma melhora na capacitância do material. Uma opção para avaliar de forma mais significativa os efeitos (eficiência coulombica e da capacitância específica) é efetuar a caracterização CDG acima de 100 ciclos, favorecendo o condicionamento dos eletrodos bem como a linearidade (como observado) após os primeiros ciclos. Além de efetuar a caracterização dos eletros em meio salino (atendendo a critérios de água salobra) para posteriormente utilizá-los como eletrodos de trabalho em uma célula de CDI de fluxo.

5. Conclusões

Portanto, observa-se que a síntese química tem uma maior quantidade de material, devido a presença do PVDF que por sua vez fixa melhor o polímero na fibra. Já o compósito por síntese eletroquímica, apresenta melhor ordenamento das cadeias, possibilidades de filmes mais finos, melhor condutividade e porosidade, no entanto tem menor resistência mecânica, podendo soltar dos feltros de fibra de carbono durante a ciclagem. Destaca-se, também, que há uma vantagem em relação as Fibras tratadas a 2000°C em relação as tratadas a 1000°C (ensaios em ácido), porém os ensaios foram efetuados em meio ácido (H₂SO₄ 1M) e deverão ser analisados, também, em meio salino para que seja possível avaliar se esse comportamento também se repete.

Referências

- [1] M.M. Mekonnen, A.Y. Hoekstra, Four billion people facing severe water scarcity, *Sci. Adv.* 2 (2016)
- [2] M. E. Suss, S. Porada, X. Sun, P. M. Biesheuvel, J. Yoon and V. Presser, *Energy Environ. Sci.*, 2015, 8, 2296.
- [3] S.F. Evans, et al. Carbon polyaniline capacitive deionization electrodes with stable cycle life, *Desalination* 464 (2019) 25–32
- [4] S. Shreepathi, Dodecylbenzenesulfonic Acid: a Surfactant and Dopant for the Synthesis of Processable Polyaniline and its Copolymers, Chemnitz University of Technology, PhD thesis, 2006.
- [5] BILAL, S. et al. Synthesis and characterization of completely soluble and highly thermally stable PANI-DBSA salts. *Synthetic Metals*, v. 162, n. 24, p. 2259–2266, 2012.
- [6] BILAL, S. et al. Effect of Synthesis Temperature on Properties of Polyaniline. *Journal of Scientific and Innovative Research*, v. 9, n. 1, p. 22–27, 2020.
- [7] SCHACHL, K. et al. Amperometric Determination of Hydrogen Peroxide With a Manganese Dioxide-modified Carbon Paste Electrode Using Flow Injection Analysis. *Journal Analyst*, 1997, 122, 985-989
- [8] Fonseca, C. P., Almeida, D. A. L., Baldan, M. R. & Ferreira, N. G. Influence of the PANi morphology deposited on the carbon fiber: An analysis of the capacitive behavior of this hybrid composite. *Chem. Phys. Lett.* 511, 73–76 (2011).
- [9] Kujawa, J. et al. Carbon nanohorn improved durable PVDF membranes - The future of membrane distillation and desalination. *Elsevier, Desalination*, Volume 511, 1 September 2021, 115117.



RELATÓRIO FINAL - PIBIC/PIBITI

Título do projeto de pesquisa: Modelo Padrão de Túnel de Vento
Bolsista: Ronaldo Marinho da Silva
Orientador: Carlos Eduardo Grossi Campos
Período a que se refere o relatório: Setembro de 2020 a Agosto de 2021

Resumo

A análise estrutural é essencial para entender o comportamento que poderá ocorrer na estrutura analisada, tal como, falhas estruturais decorrentes do acoplamento de frequência com cargas de voo. Para esse estudo é de fundamental importância uma análise dinâmica modal da estrutura. O objetivo deste relatório é determinar os modos de vibração e frequências naturais de um modelo padrão de túnel de vento, através de uma análise dinâmica modal pelo método de elementos finitos (MEF). O método consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos para que assim sejam obtidos os resultados desejados através da minimização da energia potencial total de um sistema genérico. Devido a sua grande aplicabilidade e eficiência, o MEF, pode ser utilizado em diversas áreas em que se deseja analisar tensões e deslocamentos em análises estáticas ou dinâmicas. Seu contínuo uso acadêmico e industrial permite trazer resultados confiáveis do comportamento da estrutura hoje disponível em softwares comerciais. Este relatório tem por objetivo solucionar por meio do software comercial NX NASTRAN, o cálculo da análise modal de um modelo padrão de túnel de vento.

1. Introdução

No campo de estruturas mecânicas o método de elementos finitos (MEF) é uma ferramenta de cálculo utilizada para determinar deslocamentos e tensões em componentes sujeitos a um determinado carregamento seja mecânico e/ou térmico. Esses elementos são descritos e resolvidos por equações matemáticas para que assim sejam obtidos os resultados desejados (Avelino, 2013).



Esse método teve suas origens no final do século XVIII, quando Gauss propôs a utilização de funções de aproximação para a solução de problemas matemáticos. Matematicamente, em se tratando de problemas da teoria de elasticidade, suas soluções gerais são representadas por um sistema de equações diferenciais parciais com as respectivas condições de contorno (Avelino, 2013).

Em termos práticos, antigamente, só se eram viáveis em casos unidimensionais ou bidimensionais com alguma hipótese simplificadora, pois um sistema real tridimensional traz um conjunto de equações muito grande e complexo.

Por mais de um século, diversos matemáticos desenvolveram teorias e técnicas analíticas para solucionar esse problema de forma eficiente, entretanto, pouco se evoluiu por conta das limitações e dificuldades relacionadas ao processamento de equações algébricas. Com o advento da computação, por volta de 1950, o desenvolvimento prático do método de elementos finitos e da solução encontrada permitiram a elaboração e a resolução de sistemas de equações complexas (Avelino, 2013).

Em 1956, Turner, Clough, Martins e Topp, trabalhando em aeronaves para Boeing, propuseram o primeiro método de análise estrutural, similar ao método atual. Mas apenas em 1960 que por meio destes autores, que se chamou pela primeira vez de método de elementos finitos. Desde então seu desenvolvimento foi exponencial, sendo usado em aplicações estruturais, mecânica dos fluidos e também eletromagnetismo.

Atualmente a solução encontrada por meio dos softwares comerciais é baseada na solução de um sistema complexo de equações diferenciais em formulações de princípio variacional energético. Esta solução permitiu ao MEF se provar muito eficiente. Principalmente na engenharia de estrutura e em diversas especialidades como análise dinâmica e estática.

No campo de engenharia estrutural esta análise é chamada de análise modal, que é caracterizada como efeito físico inerente e presente em todos os corpos.

Segundo Meirovitch (1986), objetivo de uma análise modal é descrever a estrutura em características naturais, ou parâmetros dinâmicos, intrínsecos daquele sistema, são eles: frequência, amortecimento e seu modo de vibração.

Ou seja, cada corpo seja ele qual for, possui características vibracionais, isto é, vibram em determinada frequência e modos independentemente de estar ou não submetido à determinada carga.



Esta análise é importante para identificar quais as frequências naturais e modos de vibração que o corpo possa ter quando submetido a mudanças de massas e servem também de base a um conjunto de conhecimentos, métodos e análises na área mecânica computacional, estruturas aeroespaciais e modos de vibração.

Nos últimos vinte anos as análises modais têm sido muito utilizadas como ferramentas de engenharia, isto se deve ao fato de melhor entendimento e maturidade no campo de engenharia de estruturas.

A recente aplicação de análises modais na identificação de sistemas de engenharia de estruturas tem colaborado com engenheiros e projetistas para definir características específicas de cada sistema (Peeters, 2000).

Variações de massa e inércias acarretam nas mudanças dos modos de vibração e frequências naturais do sistema, podendo resultar em fenômenos desconhecidos, tais como: acoplamento de frequências.

Acoplamento de frequências é a combinação de duas ou mais frequências, o que pode levar o sistema a uma falha estrutural. Assim as frequências naturais do sistema precisam ser obrigatoriamente conhecidas para cada estimativa de massa.

Uma possível solução para este relatório seria a utilização de MEF, pois o método possui a capacidade de modelar matematicamente estruturas complexas, como exemplo: o modelo padrão de túnel de vento.

Este relatório visa solucionar por meio de software comercial, uma análise modal do método de elementos finitos, onde é possível determinar quais os modos vibração e frequências naturais do modelo padrão.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Este relatório está sendo realizado como o auxílio do programa computacional Femap com NX NASTRAN. O modelo criado representará a estrutura mais próxima possível da realidade, para isso serão utilizados os desenhos CAD do modelo.

2.2 Métodos

A análise modal consiste na determinação dos modos de vibração e frequência. Para a solução é necessário, primeiramente, obter a modelagem matemática dinâmica do sistema, deixando de maneira clara os resultados obtidos via software de elementos finitos e sua respectiva verificação.

Pelas leis do movimento pode-se representar que muitos sistemas mecânicos possuem um modelo matemático equacionado por:

$$f(t) = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde,

m é a massa do modelo;

c é o coeficiente de amortecimento do modelo;

k é o coeficiente de rigidez do modelo;

$x=x(t)$ é o deslocamento da massa m na direção do movimento;

$\dot{x} = \dot{x}(t) = \frac{\partial x}{\partial t}$ é a velocidade da massa m na direção do movimento;

$\ddot{x} = \ddot{x}(t) = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}$ é a aceleração da massa m na direção do movimento e

$f = f(t)$ é a força externa aplicada na massa m na direção do movimento.

Uma vez que não há força externa sendo aplicada, $f(t) = 0$, portanto:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo a solução geral da seguinte forma:

$$x = A_1 e^{\lambda_1 t} + A_2 t e^{\lambda_2 t}, \text{ para } \lambda_1 = \lambda_2 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde λ_1 e λ_2 são raízes da equação:

$$m\lambda^2 + c\lambda + k = 0 \quad (\text{Eq. 4})$$

Assumindo que o sistema em análise não possui amortecimento, $c=0$.

$$\lambda_{1,2} = -\sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{Eq. 5})$$

A partir dessa expressão, é possível determinar a frequência natural do sistema, dependendo apenas da rigidez e massa da estrutura. Assim como, a rigidez não depende da carga aplicada, apenas das propriedades de inércia e massa da estrutura. Esta característica por sua vez depende da geometria e material aplicado no corpo.

3. Resultados

Os resultados foram obtidos por Modelo de Elementos Finitos por meio do software de pré/pós-processamento FEMAP com solver NX NASTRAN e o modelo 3D é idealizado com elementos sólidos do tipo tetraédrico com nós intermediários (Parabolic Tetra, 10-noded), a fim de se obter melhores resultados com baixo tempo computacional. A Figura 1 apresenta o Modelo de Elementos Finitos a ser desenvolvido.

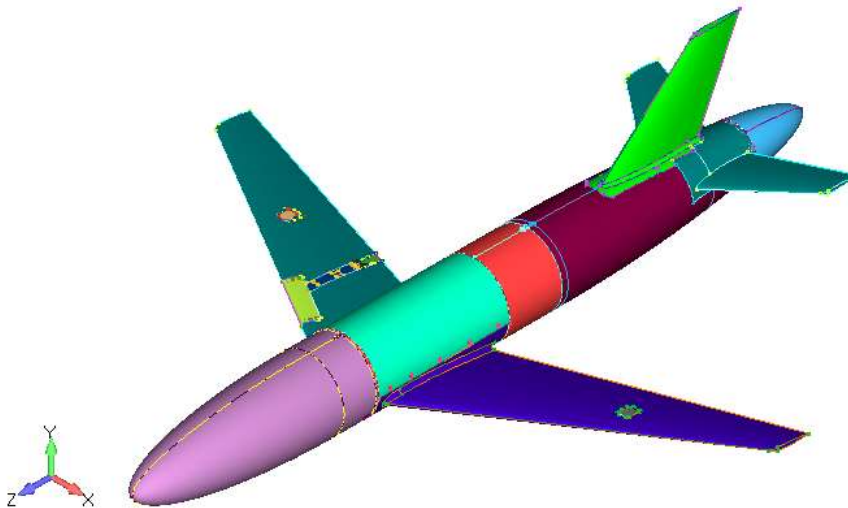


Figura 1: Modelo de Elementos Finitos do Modelo Padrão de Túnel de Vento.

Os resultados obtidos pelo método de elementos finitos podem ser diferentes da realidade, podendo este erro ser minimizado com o aumento no número de elementos e/ou utilizando elementos de grau mais elevado. Como o modelo analisado já tem o tipo de elementos definidos se optou por estudar a convergência dos resultados em função da variação no número de elementos.

Nas figuras 8 até 29 do anexo estão apresentados os estudos de convergência para cada componente do modelo padrão.

Verifica-se que os resultados da simulação convergem conforme a malha de elementos finitos é refinada, porém quanto maior o número de elementos, maior o tempo computacional, logo se optou pelo menor número de elementos com resultados convergidos para cada componente do modelo. Após a análise de convergência de cada componente se iniciou a montagem global do modelo padrão.

Para a condição de contorno se buscou usar a configuração mais realista, para isto o modelo foi fixado conforme o posicionamento dos mastros no túnel de vento (Figura 2).

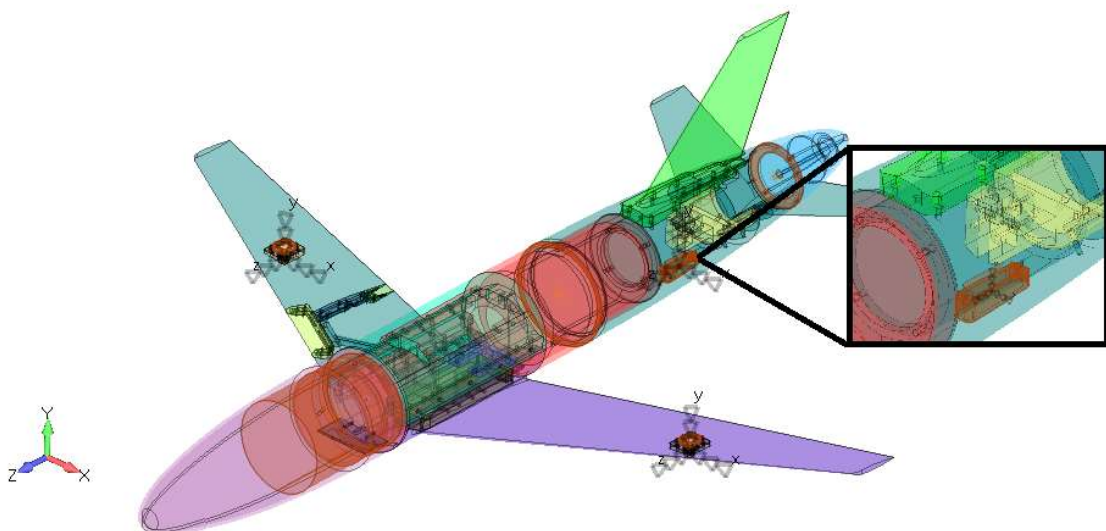


Figura 2: Fixação do Modelo Padrão nos Mastros do Túnel de Vento.

3.1 Estimativa Prévia do Primeiro Modo de Vibrar do Modelo de Elementos Finitos

Para efeito de aplicação no Modelo de Elementos Finitos será realizada a fim de estimar a primeira frequência natural de flexão da estrutura na direção y.

Conforme apresentado por INMAN (2014), considerando um sistema de um grau de liberdade (Figura 1), onde o movimento se dá apenas na direção transversal à coluna de comprimento L, com rigidez de flexão EI, e uma massa m em sua extremidade. É considerado também que a massa da coluna é muito menor que a massa da extremidade.

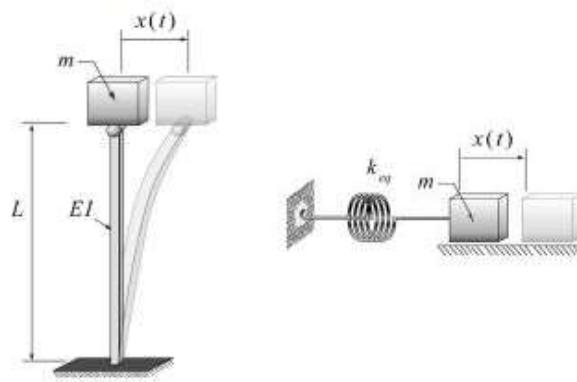


Figura 1: Solução para um sistema com um grau de liberdade em flexão.

Fonte: INMAN.

A solução assume a seguinte forma:

$$\omega = \sqrt{\frac{3EI}{mL^3}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Para tal estimativa são feitas as seguintes considerações:

- Semi-asa fabricado em aço (AISI 4340) com o respectivo módulo de elasticidade (E=200 GPa).
- Momento de Inércia relativo à secção do meio da asa em que $b = 0,018$ m e $h = 0,176$ m. O momento é calculado da seguinte forma:

$$I = \frac{h \cdot b^3}{12} = 8,50 \cdot 10^{-8} m^4 \quad (\text{Eq. 7})$$

- Massa da semi-asa = 34 kg.
- Comprimento do mastro esquerdo ao mastro direito dividido por 2, $L = 0,599$ m.

Substituindo na Eq. 6:

$$\omega = \sqrt{\frac{3 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 8,50 \cdot 10^{-8}}{34,06 \cdot 0,599^3}} = 83,28 \text{ Hz} \quad (\text{Eq. 8})$$

As figuras 4 até 7 apresentam os resultados do modelo de elementos finitos desenvolvido. Nas análises modais mostradas a seguir são apresentadas as frequências naturais correspondentes para os primeiros modos de vibração. Os modos de 1 a 6 não foram incluídos por serem modos de corpo rígido.

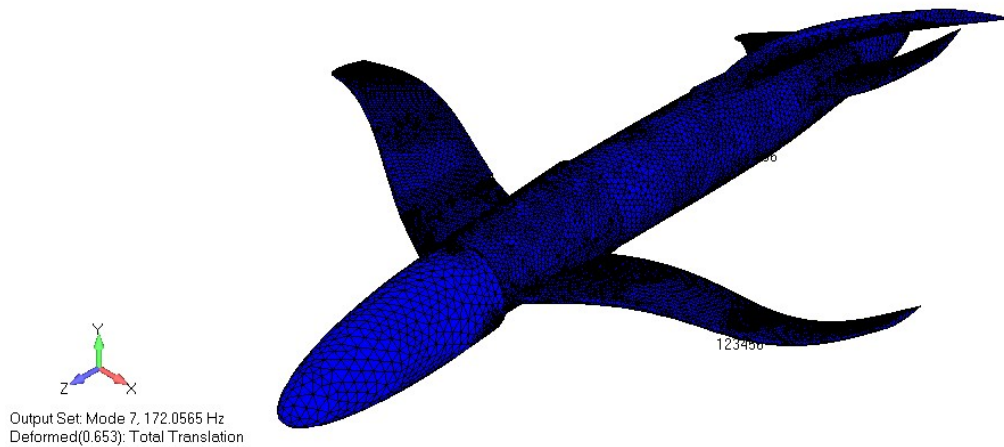


Figura 4: Modo de vibração (172,05 Hz) do Modelo Padrão - Modo 7

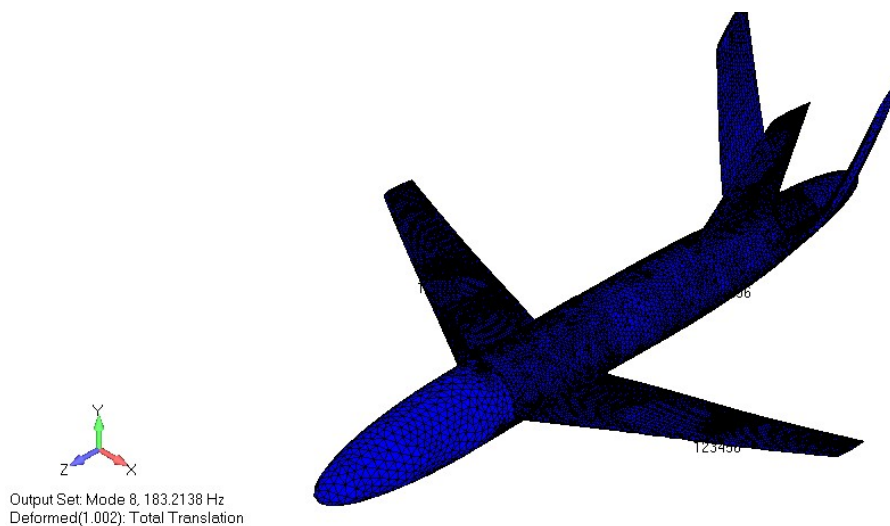


Figura 5: Modo de vibração (183,21 Hz) do Modelo Padrão - Modo 8.

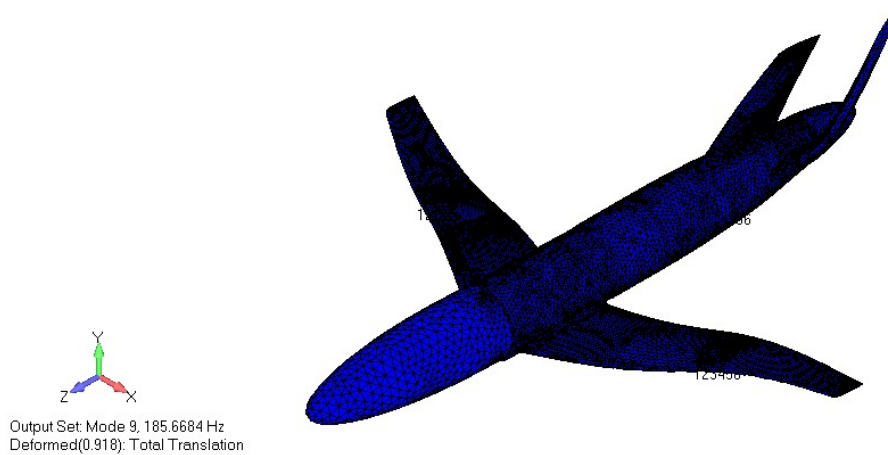


Figura 6: Modo de vibração (185,66 Hz) do Modelo Padrão - Modo 9.

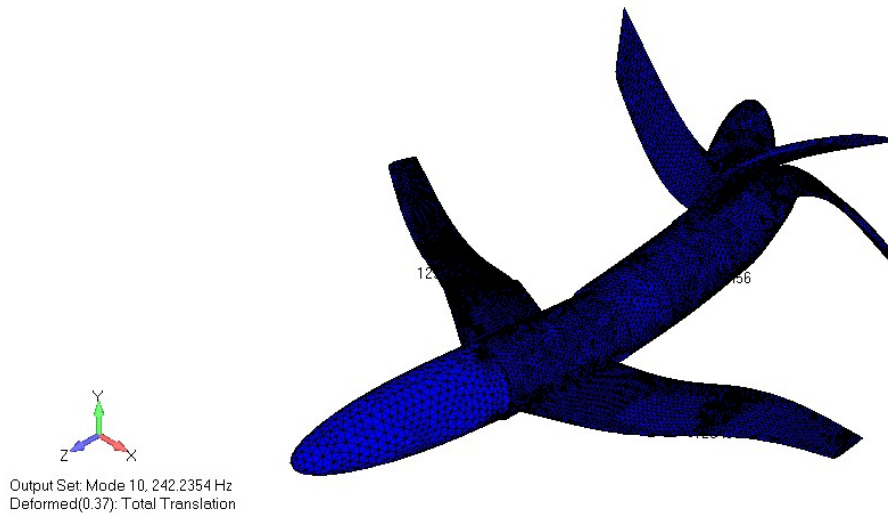


Figura 7: Modo de vibração (242,23 Hz) do Modelo Padrão - Modo 10.

Os resultados das frequências naturais obtidas estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 1: Resumo das Frequências Naturais (Hz).

Modo 7	Modo 8	Modo 9	Modo 10
172,05	183,21	185,66	242,23

Pode-se observar que a frequência natural pelo cálculo analítico (83,28 Hz) diverge em 51,6% do método de elementos finitos desenvolvido (172,05 Hz), apesar de um valor de divergência alto, em uma comparação qualitativa são aceitáveis como parâmetro de ordens de grandeza para a estrutura do modelo padrão, ainda mais com hipóteses tão simplificadoras assumidas no cálculo analítico.



Ainda assim, o cálculo analítico considerado despreza as massas de todo o modelo, são atendidas somente as massas da semi-asa. Sendo a matriz de rigidez inversamente proporcional à massa, o resultado encontra-se dentro do esperado, visto que o cálculo analítico resultaria em uma frequência natural menor do que o modelo de elementos finitos.

4. Próximas Etapas

Mesmo o modelo provando-se representativo à estrutura do modelo padrão é necessário durante etapa final de projeto comparar os resultados da modelagem com resultados de uma análise modal experimental.

Para trabalhos futuros, ideal fazer uma remodelagem na estrutura do modelo padrão, focando suas uniões e juntas mecânicas, essas rigidezes afetaria de modo significativo nas frequências e modos de vibrar do modelo, uma vez que não teriam mais modos locais ao longo do corpo do veículo.

A remodelagem poderia envolver também a modificação da representação da estrutura de viga dos parafusos por elementos sólidos, aumentando o tempo computacional, porém discretizando melhor o comportamento real da estrutura do modelo.

5. Conclusões

Neste relatório foi apresentada uma análise pelo método de elementos finitos da estrutura de um modelo padrão de túnel de vento, analisando os modos e frequências naturais resultantes do software NX NASTRAN.

Os resultados das análises modais realizadas, mostraram que com a combinação de cálculos teóricos e softwares de tecnologia CAE é possível reduzir significativamente os ensaios estruturais e assim reduzir o tempo de projeto.

Uma vez que o modelo é representativo, servirá de dados de entrada para futuros trabalhos de cálculos estruturais, assim como, possíveis análises de respostas dinâmicas; também qualquer possível modificação da estrutura poderá ser facilmente reanalisada.

Conclui-se também que este projeto possa gerar trabalho futuro no sentido de se obter respostas dinâmicas geradas pelo modelo padrão quando submetidos às cargas aerodinâmicas, por exemplo.



6. Divulgação dos Resultados

Serão apresentados no Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica do IAE (XVII ENICT/IAE).

Referências

A. BOKAIAN, Natural Frequencies of Beams under Tensile Axial Loads, Journal of Sound and Vibration, 1990.

AVELINO ALVES, F., Elementos Finitos – A Base Da Tecnologia CAE, Editora Érica, 6ª Ed. 2013.

DANIEL J. INMAN, Engineering Vibration, Fourth Edition, University Of Michigan, 2014.

MEIROVITCH, L., 1986, Elements of Vibration Analysis, New York, McGraw-Hill.

M.J. TURNER, R. W. CLOUGH, H. C. MARTIN AND L. J. TOPP, Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures, Journal of Aero, 1956.

PEETERS, B., 2000, System Identification and Damage Detection in Civil Engineering, Tese Ph.D, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium.



ANEXO

(Estudos de convergência para cada componente do modelo padrão)

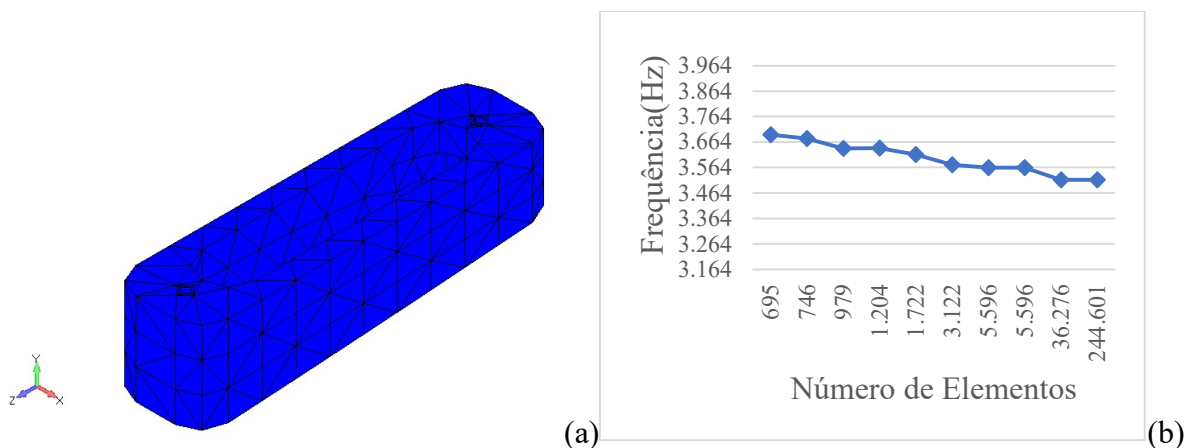


Figura 8: Malha (2a) e gráfico de convergência (2b) da tampa traseira inferior furada.

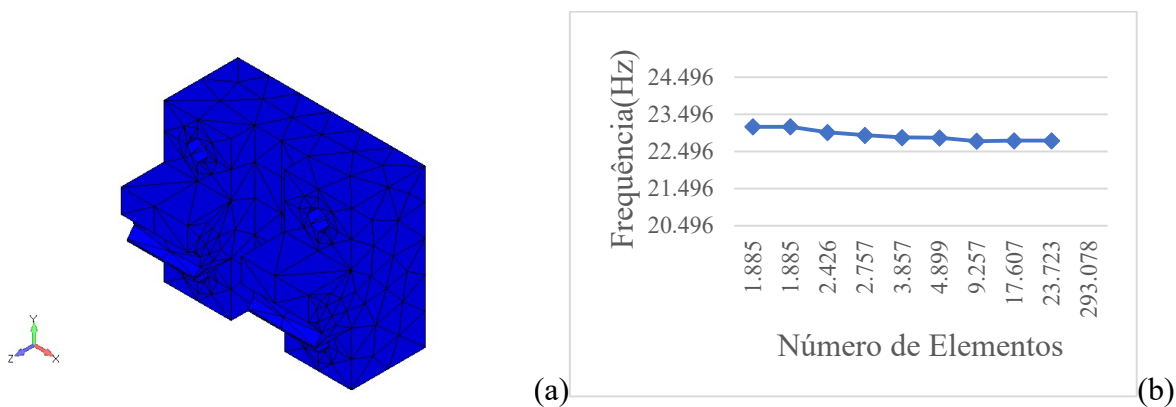


Figura 9: Malha (3a) e gráfico de convergência (3b) do encosto.

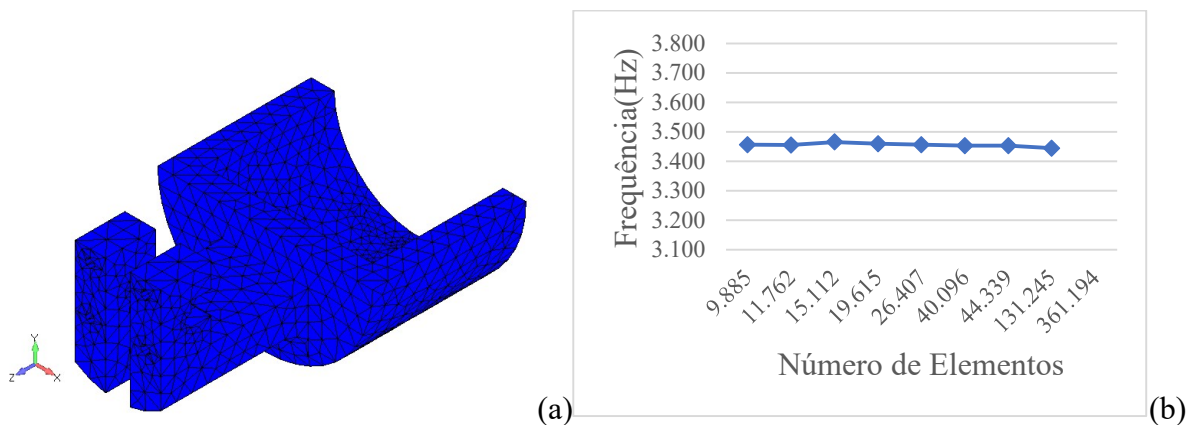


Figura 10: Malha (4a) e gráfico de convergência (4b) do suporte baioneta traseiro.

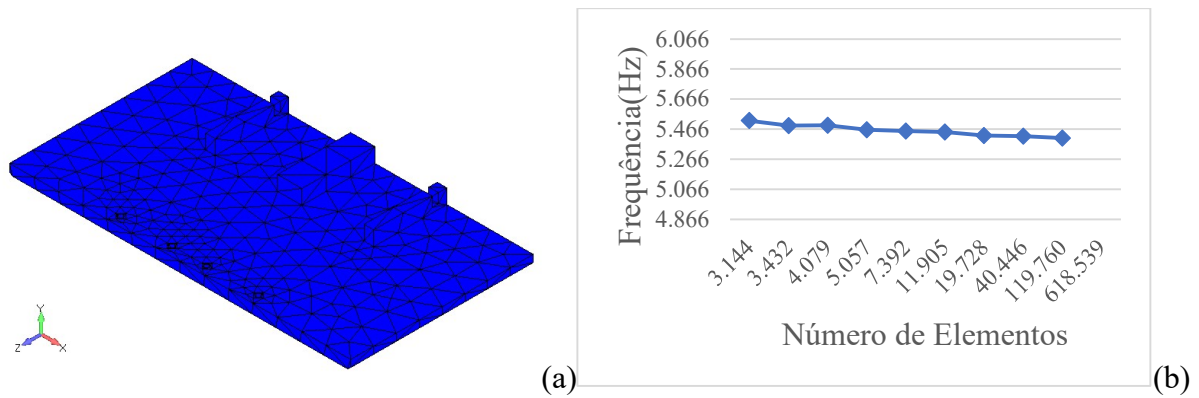


Figura 11: Malha (5a) e gráfico de convergência (5b) do suporte sensores de pressão.

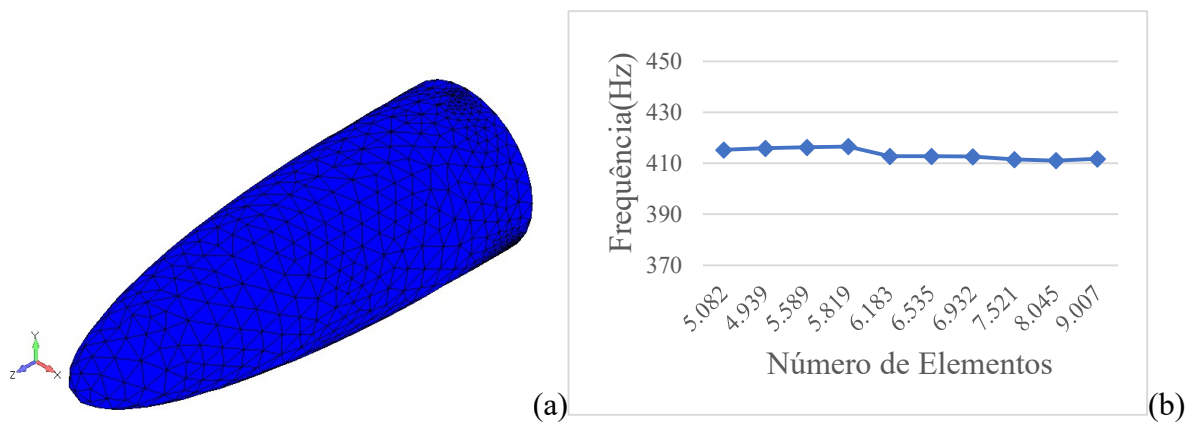


Figura 12: Malha (6a) e gráfico de convergência (6b) da ogiva.

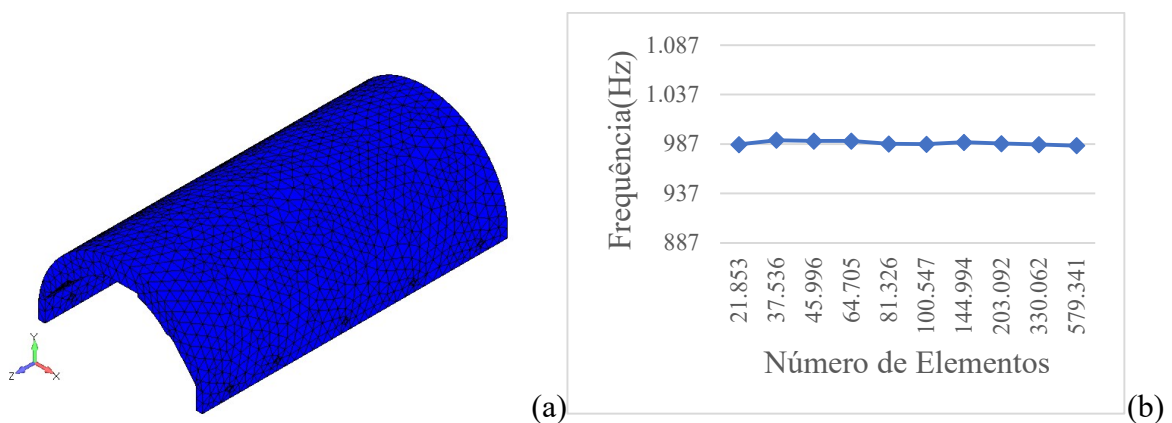


Figura 13: Malha (7a) e gráfico de convergência (7b) da capa.

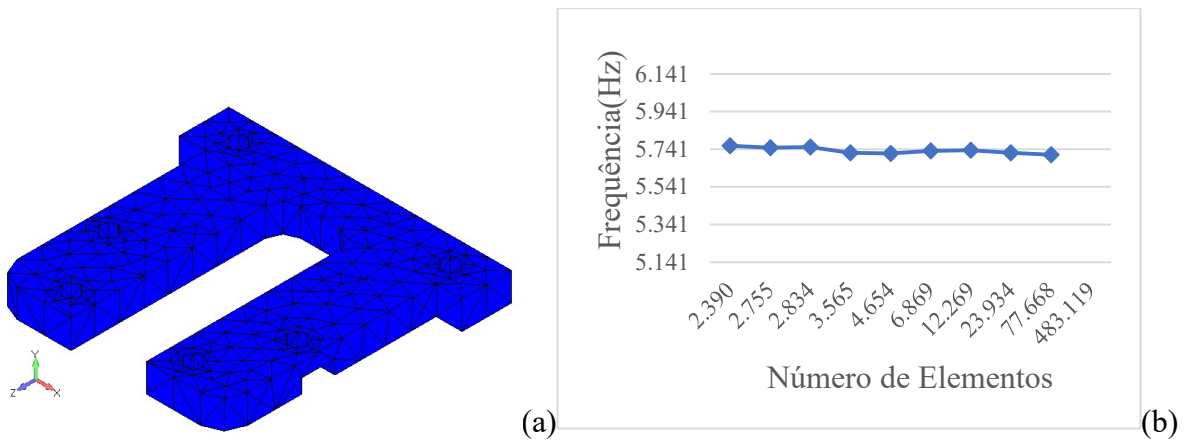


Figura 14: Malha (8a) e gráfico de convergência (8b) do complemento suporte mastro único.

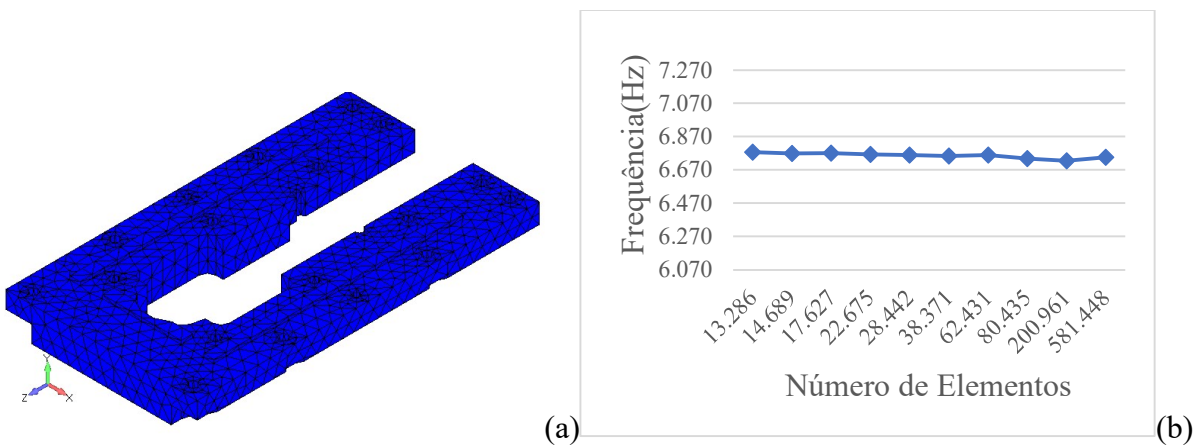


Figura 15: Malha (9a) e gráfico de convergência (9b) do Suporte mastro único.

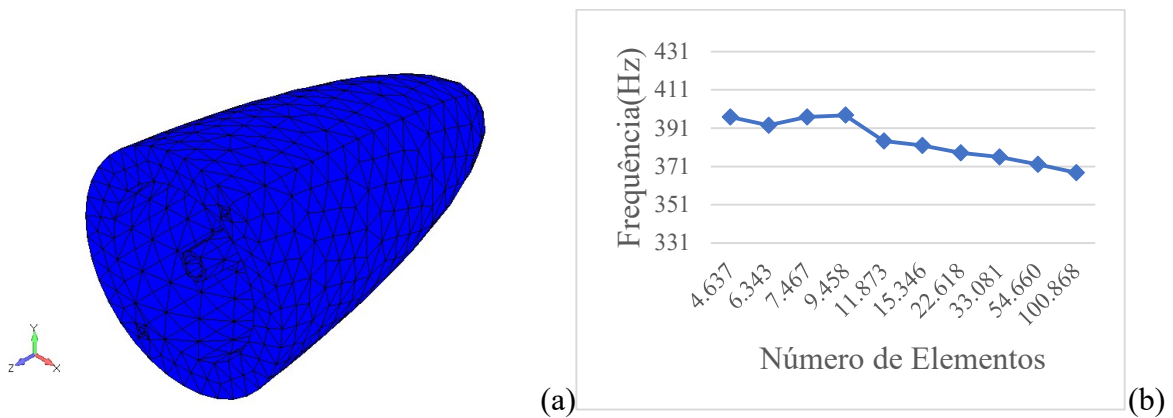


Figura 16: Malha (10a) e gráfico de convergência (10b) do complemento cone de cauda.

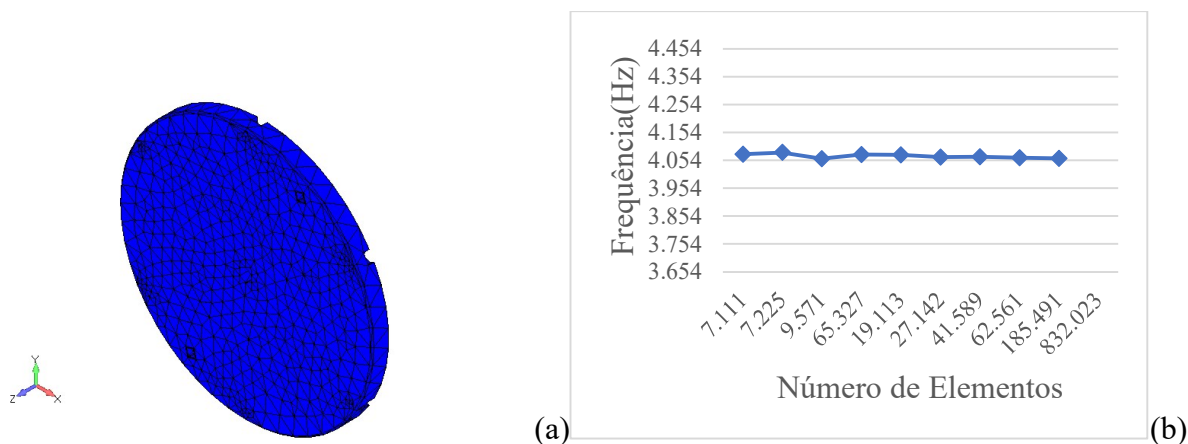


Figura 17: Malha (11a) e gráfico de convergência (11b) do disco.

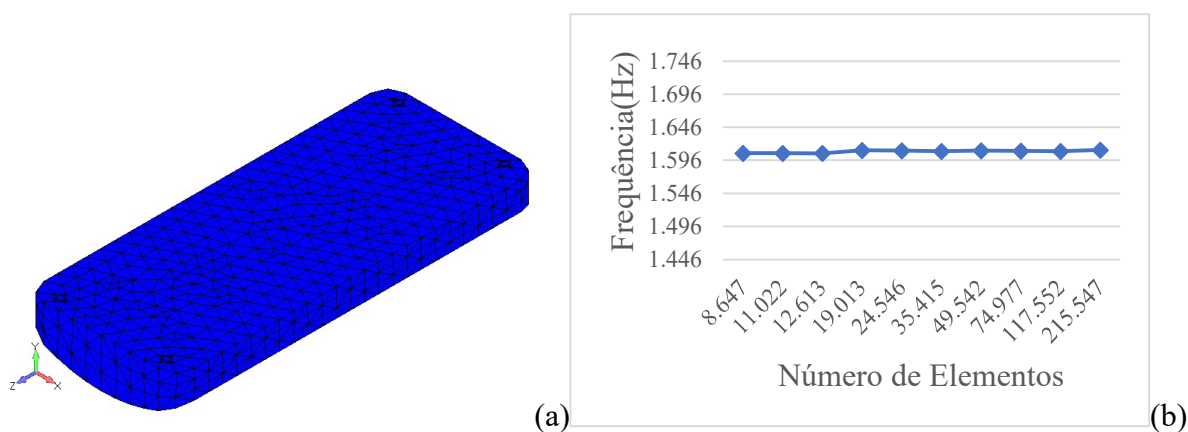


Figura 18: Malha (12a) e gráfico de convergência (12b) da tampa central.

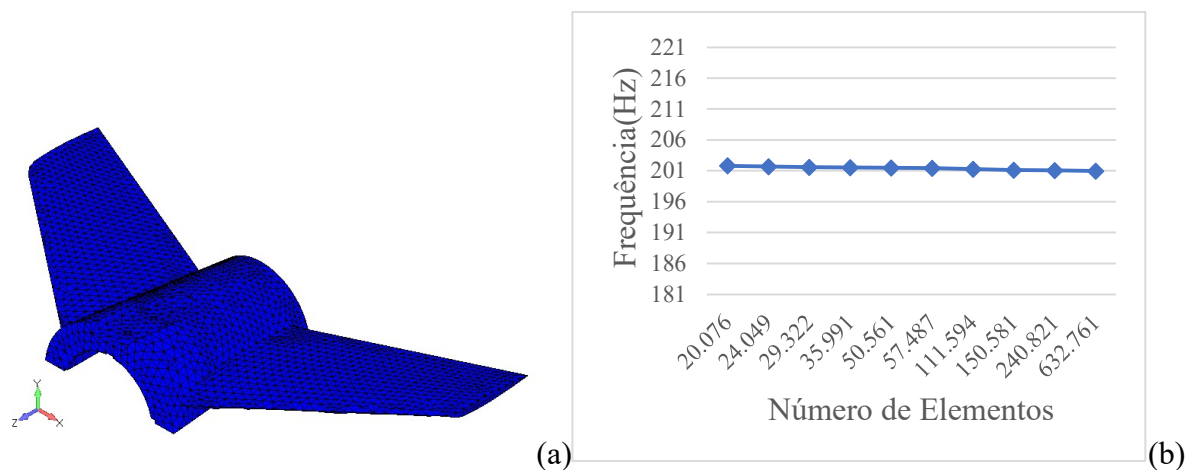


Figura 19: Malha (13a) e gráfico de convergência (13b) da empennagem horizontal.

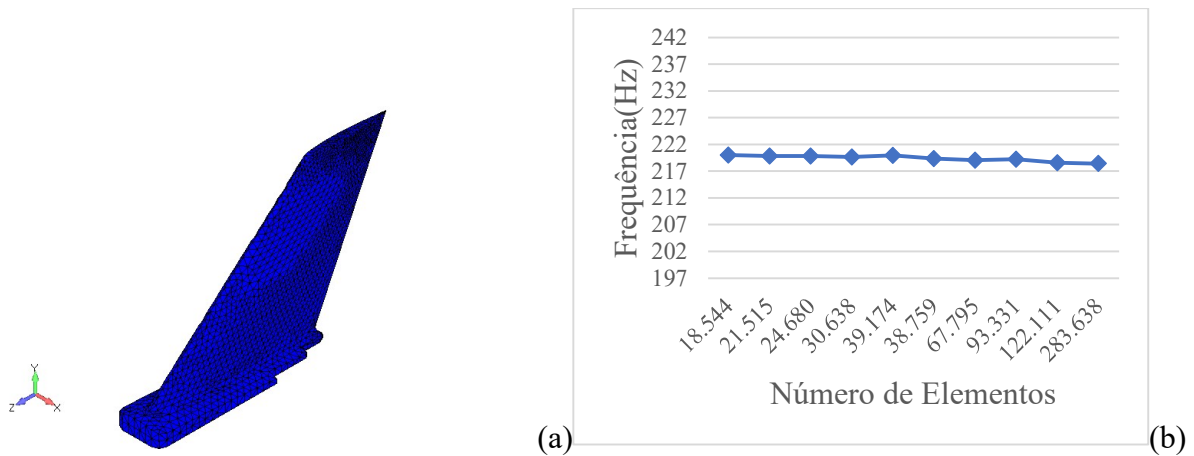


Figura 20: Malha (14a) e gráfico de convergência (14b) da empenagem vertical.

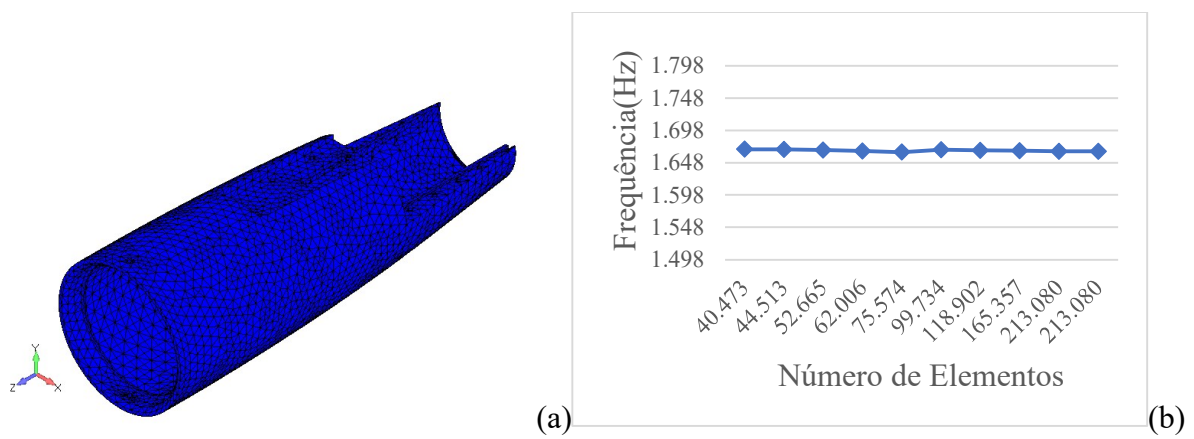


Figura 21: Malha (15a) e gráfico de convergência (15b) do cone de cauda.

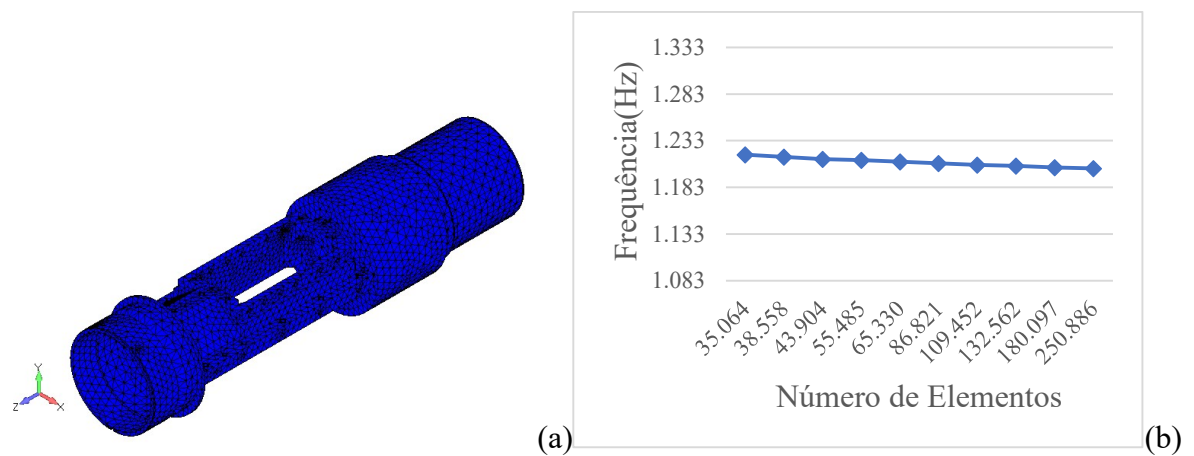


Figura 22: Malha (16a) e gráfico de convergência (16b) da estrutura central.

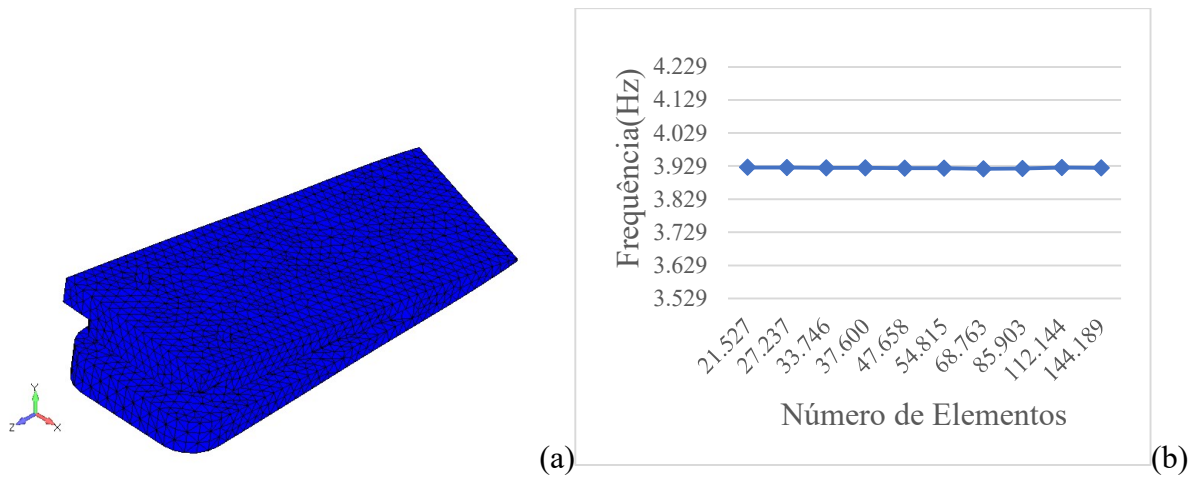


Figura 23: Malha (17a) e gráfico de convergência (17b) do segmento traseiro.

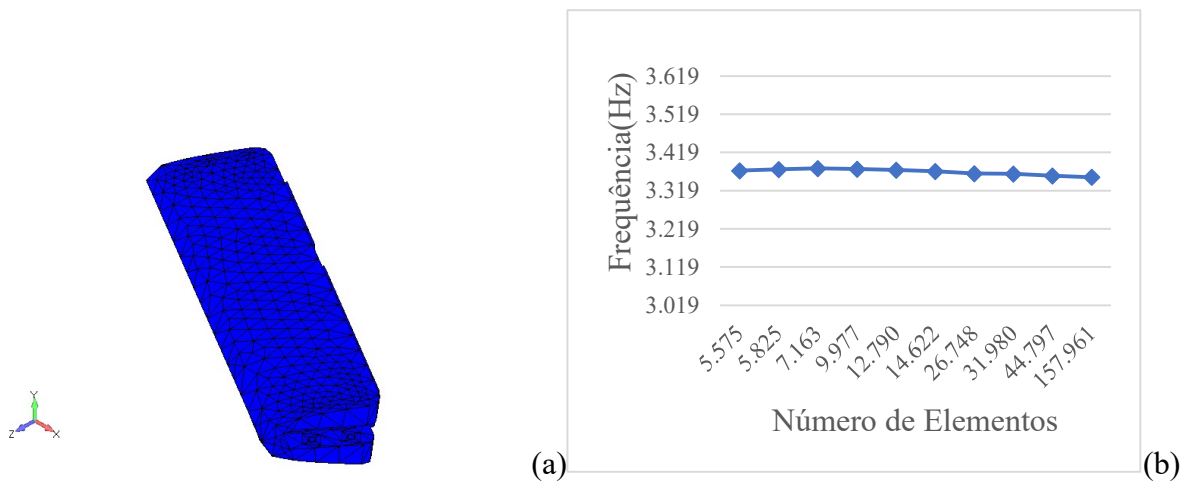


Figura 24: Malha (18a) e gráfico de convergência (18b) do segmento frontal.

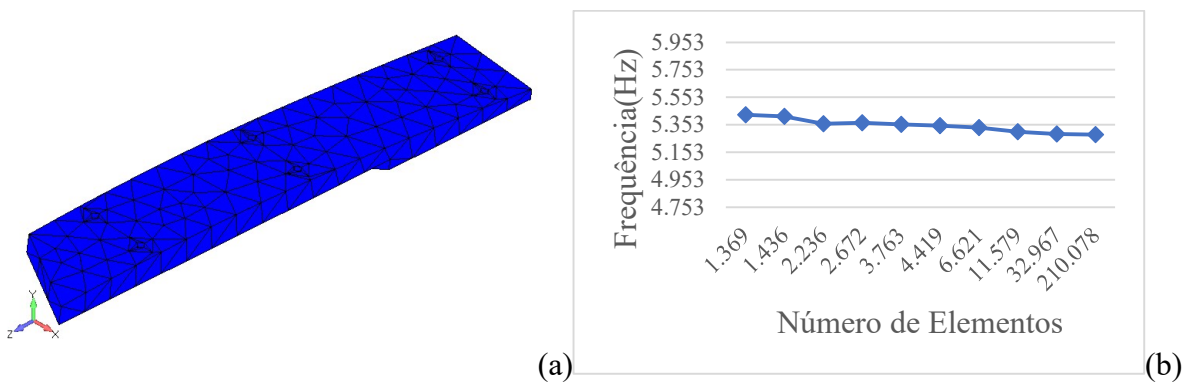


Figura 25: Malha (19a) e gráfico de convergência (19b) do segmento central.

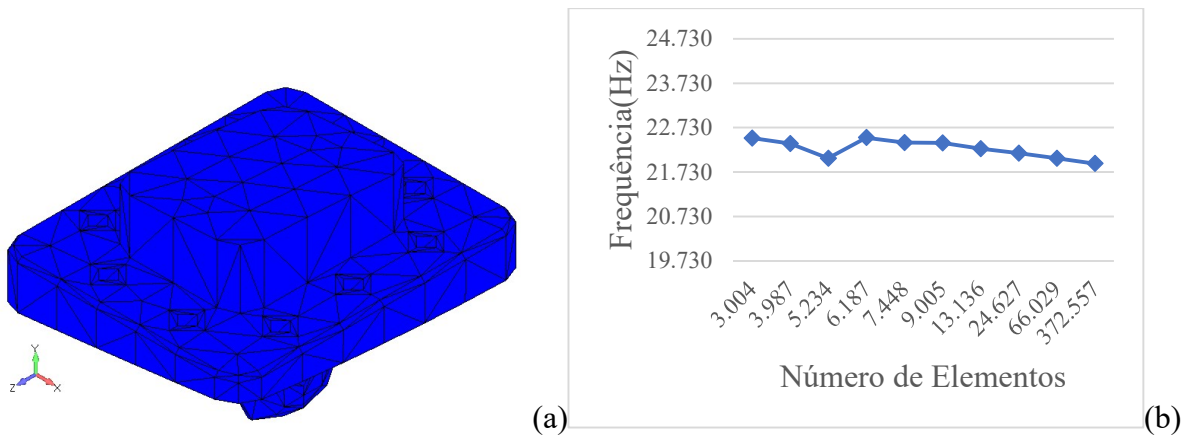


Figura 26: Malha (20a) e gráfico de convergência (20b) do suporte baioneta esquerda.

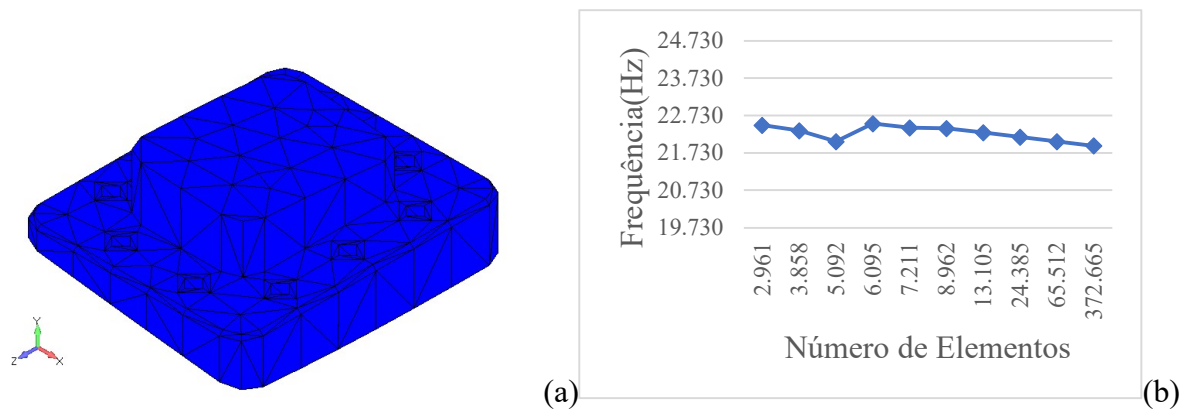


Figura 27: Malha (21a) e gráfico de convergência (21b) do suporte baioneta direita.

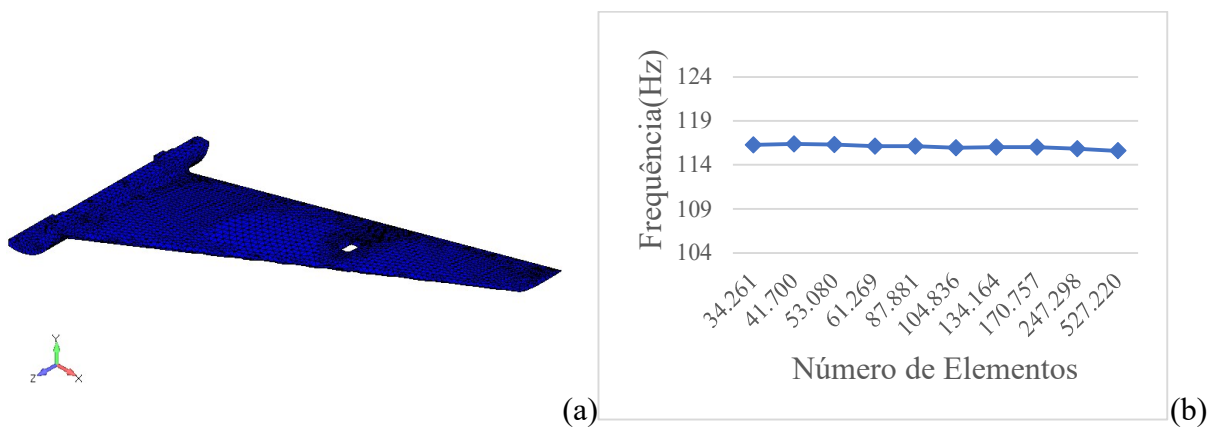


Figura 28: Malha (22a) e gráfico de convergência (22b) da asa esquerda.

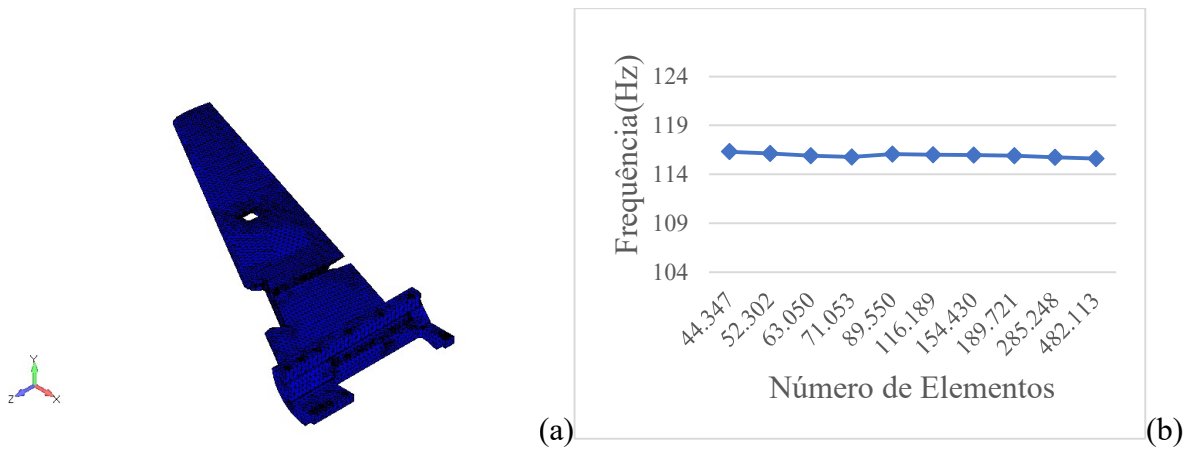


Figura 29: Malha (23a) e gráfico de convergência (23b) da asa direita.



RELATÓRIO PARCIAL - PIBIC/PIBITI

Título do projeto de pesquisa: Estudo do Comportamento em Fadiga do Aço
Maraging 300 Solubilizado

Bolsista: Sabrina Fernandes Rezende

Orientador (a): Tiago Alegretti Zucarelli

Período a que se refere o relatório: Setembro de 2020 a julho de 2021

Resumo

Os aços maraging pertencem a uma classe de aços de ultra-alta-resistência que diferem da maioria dos aços pelo mecanismo de endurecimento. Enquanto nos aços convencionais o endurecimento é obtido por transformação martensítica, nos aços maraging o aumento das propriedades mecânicas ocorre pela precipitação de compostos intermetálicos. A presente pesquisa tem o objetivo de estudar a propriedade mecânica, através dos ensaios de tração, e o comportamento em fadiga do aço maraging 300 (18Ni300) solubilizado, visto que o material é processado (cortado, conformado e usinado) nesta condição, sendo fundamental, portanto, o conhecimento das características mecânicas desse material para a determinação das ferramentas, equipamentos e cargas necessárias à fabricação. Para um amplo conhecimento do comportamento em fadiga do aço maraging é necessário também o estudo na condição envelhecida. Os ensaios serão referenciados pelas normas ASTM E8, ASTM A370, ASTM E-466 e ASTM E-739 para confecção dos corpos de prova, metodologia de ensaio e análise estatística dos resultados. O material utilizado foi fornecido pela Divisão de Mecânica do Instituto de Aeronáutica e Espaço e os resultados obtidos serão utilizados pela subdivisão de Fabricação na confecção de envelopes motores em aço maraging 300.

1. Introdução

O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), pertencente ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), projeta, desenvolve e fabrica veículos espaciais, e dentre os projetos estão veículos de sondagem e veículos lançadores, que possuem envelope motor fabricado em aço 300M, SAE 4140 e SAE 4340. [1]



Contudo, sabe-se que a diminuição do peso em um veículo espacial ou mesmo em aeronaves, implica em um grande impacto nos seus custos de operação, uma vez que resultam em economia significativa de combustível. Por este motivo, é de interesse da indústria aeronáutica e aeroespacial o desenvolvimento e estudo de materiais que apresentem elevada relação resistência/peso. Neste contexto, são estudados os aços maraging, considerados aços de ultra-alta resistência, que recebem essa denominação devido a combinação de duas outras palavras da língua inglesa: *martensite* e *aging*, termos que significam respectivamente martensita e envelhecimento, sugerindo a microestrutura esperada e o tratamento térmico empregado nesse tipo de aço.[2]

Entre as inúmeras vantagens do aço maraging, pode-se destacar sua excelente soldabilidade, alta resistência à fratura associada à alta tenacidade e boas características de tratamento térmico. No entanto, segundo Lopes (2007), a principal desvantagem desse aço é o seu custo elevado, que torna a aplicação deste material restrita às indústrias aeronáutica, aeroespacial, militar e a área nuclear.[3] Para aplicações no setor aeroespacial, é importante o estudo da fadiga nestes aços, uma vez que diversos carregamentos estão presentes na fuselagem de um foguete, quaisquer sejam suas dimensões, entre elas vibrações causadas pelo vento e pelo motor. E sendo a fadiga uma alteração estrutural permanente, progressiva e localizada, que ocorre sob tensões consideravelmente menores que o limite de resistência ou a tensão de escoamento do material em componentes sujeitos a condições que provocam flutuações de tensões ou deformações, as falhas por fadiga comumente ocorrem em componentes que vibram, tendo início com a nucleação de trincas em pontos de concentração de tensões. Essas trincas se propagam durante uma fase de crescimento formando estrias ou ondulações até que a peça deixe de suportar a tensão aplicada e, geralmente, de forma repentina e, portanto, bastante perigosa, culmine na fissura ou fratura total da peça após um número suficiente de ciclos. [4]

Os objetivos deste trabalho são o estudo do comportamento em fadiga do aço maraging 300 solubilizado, o qual será analisado por meio dos ensaios de fadiga e da elaboração de um esboço da sua curva S-N, e a análise das propriedades mecânicas desse material obtidas através dos ensaios de tração para um conhecimento mais amplo sobre o comportamento desses aços, assim como da influência do alongamento dos grãos no sentido da laminação sobre essas propriedades, para um estudo inicial sobre a anisotropia do aço maraging 300.

2. Materiais e Métodos

Os ensaios foram realizados na Divisão de Integração e Ensaios (AIE), em uma máquina de ensaio MTS® (*Material Test System*), servo-hidráulica, modelo 810, em temperatura ambiente, utilizando o software *Station Manager* com controlador MTS® *Flex Test 40*. Em ambos os ensaios – fadiga e tração – foram utilizados corpos de prova retirados de chapas de aço maraging 300 com espessura de 3,33 mm, fabricadas pela empresa BÖHLER, e solubilizadas após a laminação.

Os ensaios de tração foram realizados seguindo as orientações da norma ASTM A370 [5], nos sentidos perpendicular e paralelo a laminação da chapa de aço maraging, com o objetivo de determinar a tensão de escoamento, tensão máxima e a tensão de ruptura do material em ambas as direções, aplicando-se uma carga máxima de 21708N com velocidade de deslocamento constante igual a 1 mm por minuto. Os corpos de prova foram fabricados com as dimensões apresentadas na figura 1, tendo o mesmo *sub-size* da norma ASTM E8 [6], sendo confeccionados três corpos de prova em cada condição.

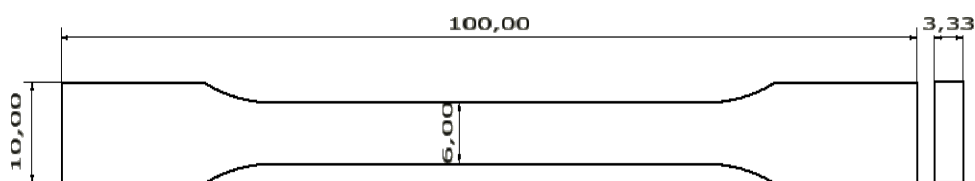


Figura 1 - Corpo de prova utilizado para o ensaio de tração. Fonte: Adaptado [5].

Para os ensaios de fadiga todos os corpos de prova foram retirados perpendicularmente ao sentido de laminação da chapa e suas dimensões estão representadas na figura 2. Os ensaios de fadiga basearam-se nos critérios estipulados pela norma ASTM E466 [7], para a obtenção de um esboço da curva S-N do aço maraging 300 solubilizado, que corresponde a curva da tensão aplicada pelo número de ciclos, como resultado de um tratamento estatístico e que representa uma probabilidade de ruptura do material após um número determinado de ciclos.

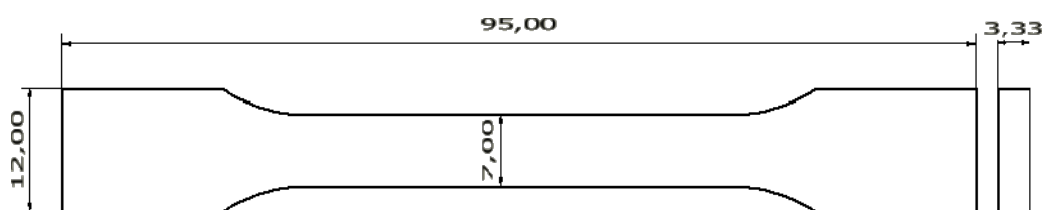


Figura 2 - Corpo de prova utilizado para o ensaio de fadiga. Fonte: Adaptado [7].

Foram utilizados seis carregamentos diferentes com três ensaios cada, totalizando 18 ensaios de fadiga realizados em temperatura ambiente com aplicação de uma carga flutuante, utilizando como parâmetros de ensaio a razão (r) de 0,1 e a frequência de 25Hz.

A fim de obter-se uma caracterização mais completa do aço maraging 300 solubilizado, foram tiradas medidas de dureza de acordo com a norma ASTM E18-20 [8], utilizando a escala de dureza Rockwell C medida em um durômetro Wilson analógico série 1JR-870. Foram realizadas 10 indentações na amostra da chapa de aço maraging solubilizado com um penetrador cônico de diamante, aplicando-se uma carga de 150kgf, com pré-carga de 10kgf.

3. Resultados

3.1. Ensaio de Tração

Os ensaios de tração forneceram dados que possibilitaram estimar um valor a ser utilizado nos ensaios de fadiga, assim como analisar a influência do sentido de laminação no comportamento mecânico do aço maraging 300 solubilizado. Para tal análise foram ensaiados três corpos de prova retirados na direção longitudinal (L1, L2 e L3) e três corpos de prova na direção perpendicular à laminação (P1, P2 e P3), e seus respectivos resultados podem ser vistos nas figuras 3 e 4.

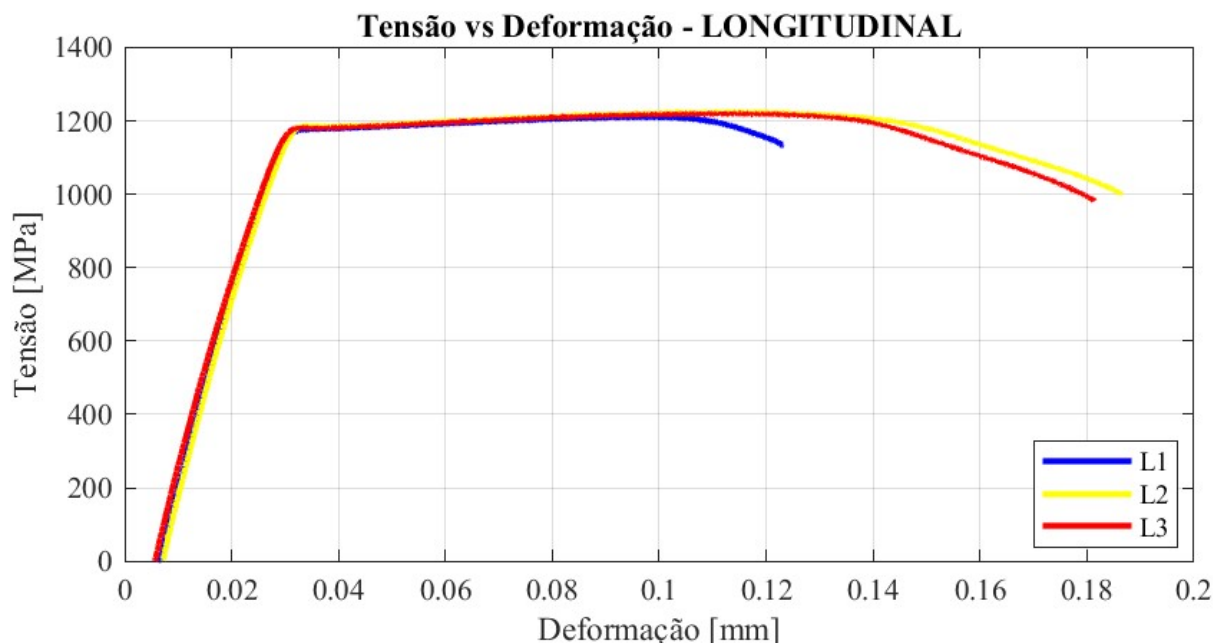


Figura 3 – Curva Tensão vs Deformação – CDP na direção longitudinal. Fonte: Autor.

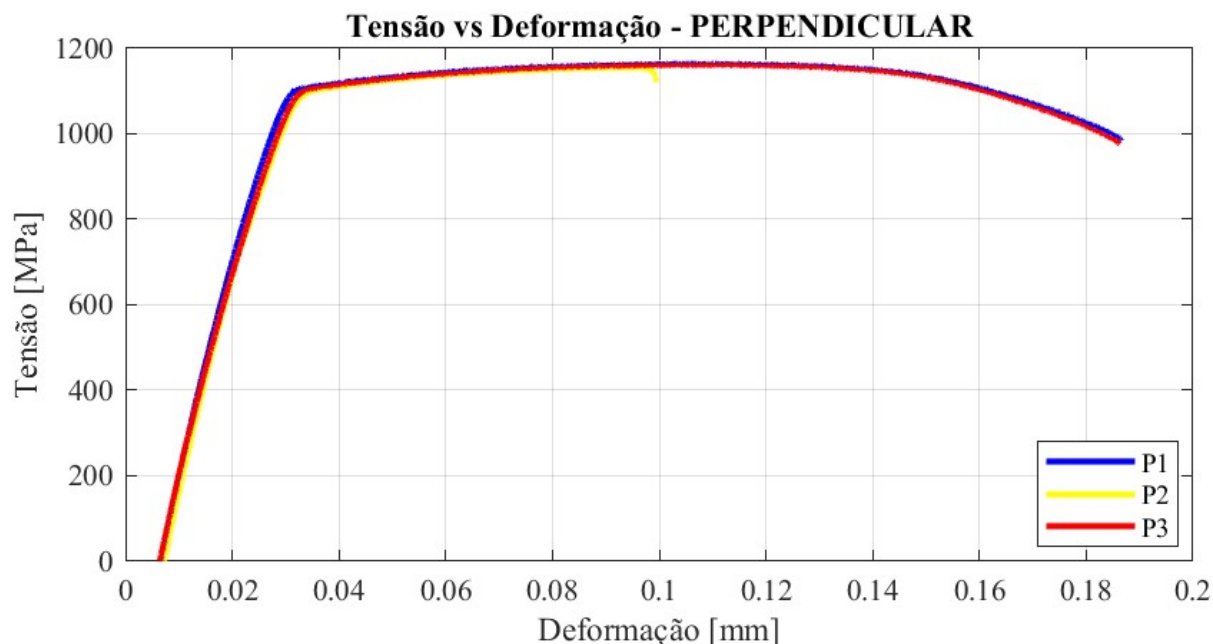


Figura 4 – Curva Tensão vs Deformação – CDP na direção perpendicular. Fonte: Autor.

Para a obtenção das curvas de tensão vs deformação, foram usadas as deformações registradas diretamente durante os testes de tração. Enquanto para a obtenção da tensão dividiu-se o carregamento pela área transversal dos corpos de prova. Observou-se que as curvas apresentaram características comuns aos metais dúcteis, com uma região linear no início do ensaio, seguida de um escoamento, a partir do qual o comportamento torna-se não linear, diferenciando, assim, as regiões elástica e plástica do material. A partir dos ensaios de tração realizados também foram obtidos os dados observados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Propriedades dos corpos de prova na direção longitudinal

Identificação do CDP	L1	L2	L3	Média
Tensão escoamento [MPa]	1158,73	1168,1	1156,82	1161,22
Tensão máxima tração [MPa]	1214,6	1228,99	1222,84	1222,14
Tensão ruptura [MPa]	1129,66	1000,06	981,046	1036,92

Tabela 2 - Propriedades dos corpos de prova na direção perpendicular

Identificação do CDP	P1	P2	P3	Média
Tensão escoamento [MPa]	1080,45	1068,21	1065,08	1071,25
Tensão máxima tração [MPa]	1167,57	1158,55	1164,43	1163,52
Tensão ruptura [MPa]	983,008	1119,95	975,694	1026,22

Através da análise dos dados apresentados nas tabelas 1 e 2, assim como dos gráficos de Tensão vs Deformação representados nas figuras 3 e 4, foi possível realizar as observações a seguir sobre o comportamento do aço em estudo.

- Quanto ao módulo de elasticidade:

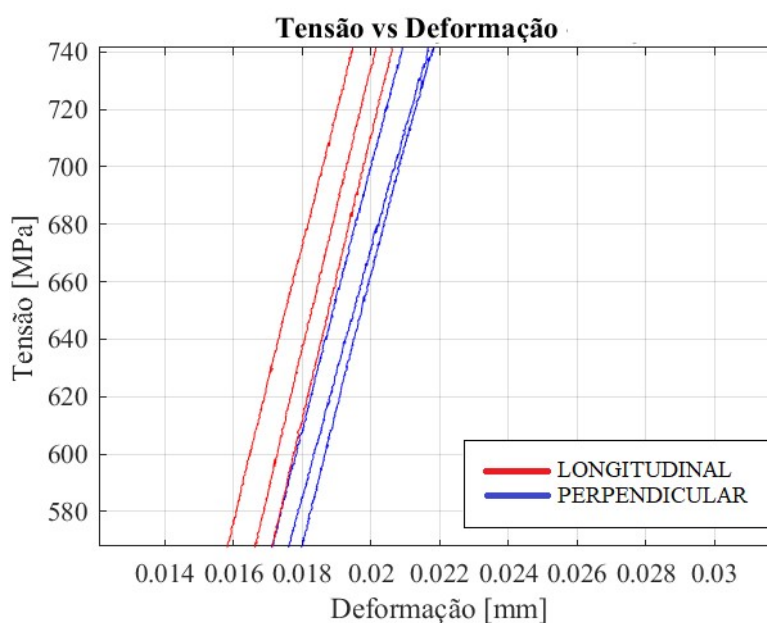


Figura 5 – Inclinação das curvas Tensão vs Deformação. Fonte: Autor.

O módulo de elasticidade obtido pela inclinação da curva na região linear no gráfico mostrou uma pequena diferença encontrada entre os valores obtidos para os corpos de prova retirados no sentido longitudinal e perpendicular à laminação, indicando um aumento da resistência do material à deformação elástica no sentido longitudinal a laminação próxima a 9,9%. O que significa dizer que os corpos de prova retirados nesse sentido apresentaram uma maior rigidez, obtendo uma menor deformação elástica para um mesmo nível de tensão aplicada.

- Quanto ao limite de escoamento:

A tensão limite de escoamento representa a medida da resistência de um material à deformação plástica e pode ser determinada pelo ponto de interseção entre a curva de tensão vs deformação, traçada uma reta paralela à sua porção linear que dista 0,2% da origem do eixo das deformações. Os valores para as tensões limite de escoamento encontrados para os corpos de prova na direção longitudinal e perpendicular podem ser vistos, respectivamente, nas tabela 1 e 2, nas quais observa-se que os corpos de prova na direção longitudinal à

laminação da chapa apresentaram uma resistência à deformação plástica cerca de 8,4% maior que aqueles retirados na direção perpendicular. A título de comparação, o valor obtido é aproximadamente 35% maior que a tensão limite de escoamento apresentada pelos aços SAE 4340 normalizados utilizados em aplicações similares. [9]

- Quanto ao limite de resistência à tração e ao limite de ruptura:

A tensão máxima ocorre quando a carga atinge o seu valor máximo, correspondente ao ponto imediatamente anterior ao início da estricção que causa a diminuição da seção resistente do material, enquanto a tensão de ruptura corresponde a última tensão suportada pelo material antes da fratura. Essas tensões demonstraram baixa anisotropia entre os corpos de prova, com variações próximas a 5% e 1%, respectivamente encontradas na comparação das tensões máximas e limite de ruptura entre os corpos de prova ensaiados na direção longitudinal e perpendicular, como é possível observar através das tabelas 1 e 2.

3.2. Ensaio de Fadiga

Os resultados obtidos através dos ensaios realizados com solicitação do tipo tração-tração nos corpos de prova retirados perpendicularmente ao sentido de laminação da mesma chapa utilizada nos ensaios de tração, sentido que apresentou a menor resistência mecânica, podem ser vistos na tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios em tração-tração

Tensão [MPa]	Número de Ciclos			Nº de Amostras Consideradas	Média	Desvio padrão
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3			
450	1000000	1000000	1000000	3	1000000	0
500	642467	320580	771677	2	707072	91365
550	704042	570404	329545	2	637223	94496
600	302761	268034	252989	3	274595	25526
700	83131	88056	100905	3	90697	9177
800	37632	35245	62056	2	36439	1688

Por tratar-se de um esboço da curva S-N, o gráfico apresentado na figura 6 foi elaborado com base nos valores médios, descartando-se os valores em destaque na tabela 3, pois estes apresentaram uma grande variação em relação aos outros corpos de prova, indicando que podem ter ocorrido anomalias durante o experimento ou defeitos superficiais pré-existent

que podem ter contribuído para uma fratura precoce no caso das amostras 2 e 3, referentes, respectivamente, as tensões de 500 e 550MPa.

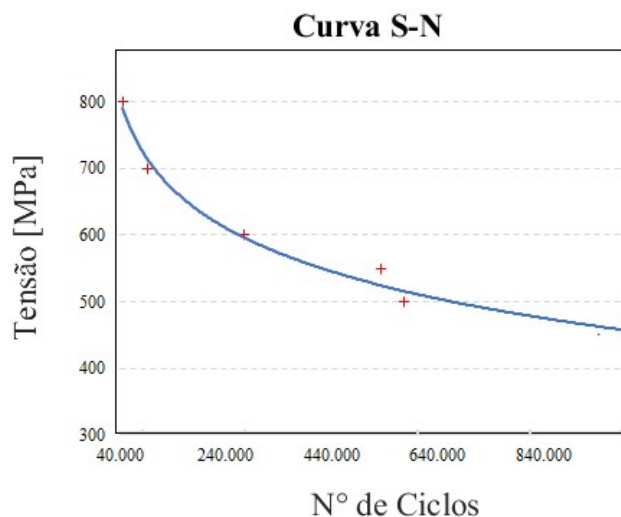


Figura 6 – Curva S-N obtida com os valores médios. Fonte: Autor

Os corpos de prova foram ensaiados com amplitude de tensão de 450 a 800 MPa, utilizando como critério para vida infinita valores iguais ou superiores a 10^6 ciclos. Visto que os aços maraging são classificados como ligas ferrosas, para uma exemplificação do comportamento em fadiga de alto ciclo esperado para estes aços também foi elaborado um segundo gráfico com base nos valores da tabela 3, plotado em escala logarítmica mostrado na figura 7.

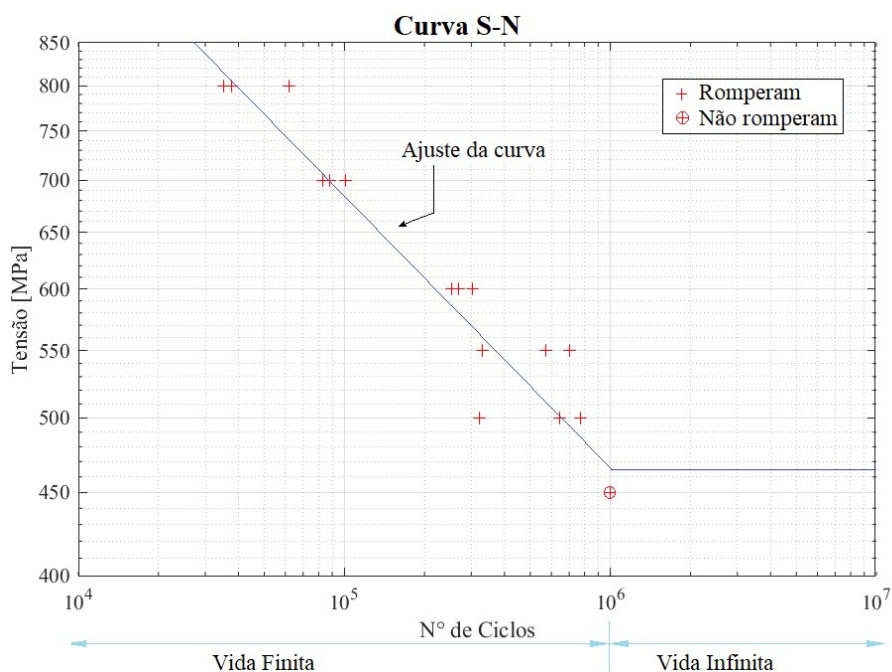


Figura 7 – Curva S-N em escala logarítmica. Fonte: Autor



3.3. Dureza

Realizou-se um estudo estatístico em torno da dureza obtida nas dez indentações realizadas na amostra de aço maraging 300 solubilizado através do método Rockwell, construindo-se um intervalo de confiança (aplicando a distribuição *t-student*) para a média da dureza com 99% de confiabilidade. Os resultados estatísticos efetuados encontram-se na tabela 4.

Tabela 4 – Ensaio de Dureza

Média	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança
34 HRC	0,70	[33; 35]

5. Conclusões

Os diversos ensaios realizados no aço maraging 300 solubilizado permitem registrar as conclusões seguintes:

- Os ensaios de tração mostraram que os corpos de prova retirados na direção longitudinal à laminação apresentaram valores superiores aos retirados na direção perpendicular, como esperado devido ao alinhamento e alongamento dos grãos (criando uma estrutura similar à fibra) que fornecem maior resistência contra a propagação de trincas.
- A elaboração das curvas S-N permitiu entender melhor o comportamento do aço maraging 300 quando submetido a carregamentos cíclicos do tipo tração-tração. Pode-se inferir através da sua observação que a tensão limite de resistência a fadiga encontra-se próxima a 450 MPa e que o aço maraging se comporta como o esperado para metais e ligas metálicas ferrosas. Contudo, para uma caracterização mais completa, recomenda-se que sejam ensaiados corpos de prova com carregamentos entre 500 e 450 MPa, para obtenção de um valor mais preciso da tensão limite de fadiga do material estudado. Cabe ressaltar a grande dispersão de resultados no ensaio de fadiga, sendo sugerido a realização de cinco ensaios por condição de carregamento, para obtenção de um valor médio com maior confiabilidade.
- Os ensaios de dureza superficial apresentam-se dentro da faixa dos valores experimentais presentes na literatura e próximos da faixa de dureza da martensita.[2]



6. Divulgação dos Resultados

Após a conclusão os resultados isoladamente ou em conjunto com outros trabalhos de mesma orientação serão submetidos a congressos internacionais.

Referências

- [1] PALAU, José Carlos Fortes. **A fabricação de envelopes motores foguete para utilização no veículo lançador de satélites brasileiro VLS-1**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté, 2011. Acessado em: 2020-11-20.
- [2] CAMARINHA, Maria Gabriela Galvão. **Avaliação do comportamento em fadiga do aço maraging 300 submetido a processo de soldagem a laser**. 2014. Dissertação (Mestrado em Materiais Metálicos, Cerâmicos e Poliméricos) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014. Acesso em: 2020-11-21.
- [3] LOPES, Julio C. O. Os aços maraging. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**, Guarulhos, São Paulo, v. 19, n. 1/2, 2007.
- [4] SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de engenharia e ciências dos materiais**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2012. 712 p.
- [5] ASTM A370-20, Métodos de teste padrão e definições para testes mecânicos de produtos de aço, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org
- [6] ASTM E8 / E8M-21, Métodos de teste padrão para teste de tensão de materiais metálicos, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, www.astm.org
- [7] ASTM E466-21, Prática Padrão para Realização de Testes de Fadiga Axial de Amplitude Constante Controlada por Força de Materiais Metálicos, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, www.astm.org
- [8] ASTM E18-20, Métodos de teste padrão para dureza Rockwell de materiais metálicos, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org
- [9] **MANUAL DE AÇOS**. Piratini, Rio Grande do Sul: Gerdau, v. 1, 2003.



PIBIC/PIBITI - RELATÓRIO FINAL

Título do projeto de pesquisa: Investigação do efeito do superenvelhecimento em aço maraging 300

Bolsista: Samir Ribeiro Salim

Orientador (a): Tiago Alegretti Zucarelli

Período a que se refere o relatório: Agosto de 2020 a julho de 2021

Resumo

Os aços maraging despertam interesse em aplicações estratégicas no setor aeroespacial e nuclear, por aliar alta resistência mecânica à bons valores de tenacidade. São ligas oriundas do sistema ferro-níquel, com baixo teor de carbono (aproximadamente 0,03%). O tratamento térmico de envelhecimento do aço maraging pode proporcionar dureza de até 56 HRC e tensão de escoamento na ordem de 2800 MPa. O projeto de pesquisa investiga o efeito do superenvelhecimento (*overaging*) em aço maraging 300, fenômeno que pode ocorrer devido a exposição do material a altas temperaturas por longo período, não sendo uma condição de tratamento desejável por diminuir a resistência mecânica. Na investigação foram tratadas amostras nas temperaturas de 500 °C, 550 °C, 600 °C por 3, 5 e 6 horas, obtendo nove condições diferentes de tratamento térmico. As propriedades mecânicas das amostras tratadas foram avaliadas com ensaio de tração e ensaio de dureza Rockwell C. O comportamento mecânico foi mais influenciado pelo parâmetro temperatura, dentro das condições averiguadas. As amostras tratadas sob o regime de 550°C e 600°C forma as mais afetadas pelo superenvelhecimento. Com aumento da temperatura de condição de tratamento térmico, foi observado o aumento da tenacidade, acompanhando de uma diminuição do limite de escoamento e do limite de resistência à tração.

1. Introdução

O aço maraging é uma liga Fe-Ni que tem alto teor de componentes de liga e baixo carbono, abaixo de 0.03%. *Maraging* é uma expressão em inglês derivada do nome da fase microestrutural predominante no material martensita (*Mar*) e do mecanismo de endurecimento por precipitação sólida advinda do tratamento térmico de envelhecimento



(aging). A combinação de mecanismos possibilita a liga atingir características físicas pouco usuais, como ultra alta resistência atrelada a boa ductilidade e tenacidade. [1]

As ligas de aço maraging são classificadas de acordo com o limite de escoamento convencional (em ksi). As principais classes são 200, 250, 300 e 350, a Tabela 1 apresenta a composição química média do aço maraging 300. O Projeto de pesquisa tem o intuito de trabalhar com o aço maraging classe 300, sendo assim o limite de resistência dessa liga é de 300 ksi [2].

Tabela 1. Aços Maraging. *Adaptado de [2].*

Serie	Limite de escoamento	Principais elementos (% em peso)				
	ksi	Ni	Co	Mo	Ti	Al
18Ni300	300	18	9	5	0.6	0.1

A ausência de carbono (0,003% Max.) nos aços maraging diferencia esse material das demais ligas de aço estrutural. Nessa liga a presença de teores de carbono maiores que 0,03%, em peso, surte o efeito oposto do que é comumente observado nas ligas de aço estrutural, ao invés de aumentar a resistência, fragiliza a microestrutura pois esse elemento em maiores quantidades participa na formação de precipitados de carboneto de titânio (TiC), diminuindo a resistência ao impacto, ductilidade e tenacidade.[1]

O primeiro mecanismo de endurecimento que pode ser destacado na microestrutura dessa liga é a transformação martensítica, prévia ao tratamento térmico, que causa a formação de uma matriz de ripas de martensita com alta densidade de discordâncias em uma rede cristalina com a presença de elementos de liga. [3]

Nos aços maraging a funcionalidade do microconstituente martensita é diretamente relacionado a diferente morfologia possibilitada pelo teor de níquel presente na liga. A martensita macia, com estrutura cúbica e corpo centrada (CCC), que apresenta alta ductilidade e tenacidade, atingindo valores de dureza HV entre 280 e 320 [4], qualidades que possibilitam uma boa usinabilidade do material.

O envelhecimento nos aços maraging é responsável por outro mecanismo de endurecimento, endurecimento por precipitação de compostos intermetálicos na matriz martensítica. O envelhecimento ocorre na faixa temperatura que vai de 400°C até 500°C. Os componentes intermetálicos que são precipitados de Ni₃(Mo,Ti) e Fe₂Mo nas discordâncias. [5]



A prolongação de um tratamento térmico de envelhecimento, acima de 500°C, leva a condição de superenvelhecimento (*overaging*). As características mecânicas e magnéticas dos aços maraging são alteradas graças ao fenômeno microestrutural de reversão da martensita macia para a austenita. O limite de escoamento e o limite de ruptura podem diminuir em função da presença da austenita, em contrapartida a resistência a fratura pode aumentar. [6]

Segundo Rao [7] sobre o fenômeno de superenvelhecimento: “Os precipitados intermetálicos formados durante o envelhecimento não são fases de equilíbrio estável, no sentido de que o envelhecimento prolongado levaria a formação de austenita e ferrita em equilíbrio. A resposta para reversão austenítica depende na composição da liga”.

A pesquisa tem o intuito de investigar o efeito do superenvelhecimento (*overaging*) em aço maraging 300, apesar de não ser uma condição de tratamento desejável em aplicações que exijam alta resistência, o fenômeno do superenvelhecimento pode ocorrer devido a problemas técnico do forno e, mais comumente, devido a exposição das peças por longo tempo a altas temperaturas, tornando assim imprescindível o conhecimento as propriedades mecânicas do aço maraging para aplicação aeroespacial.

2. Materiais e Métodos

O aço maraging 300 que foi utilizado no presente trabalho foi fornecido pela Divisão de Mecânica (AME) do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). A principal metodologia para estudar o efeito do tratamento térmico de superenvelhecimento no aço maraging é a investigação das suas propriedades mecânicas. As amostras foram retiradas de chapas laminadas, na espessura de 3,3 mm. Devido à geometria das amostras foi selecionado os ensaios de tração e dureza para o estudo da evolução das propriedades mecânicas em diferentes condições de superenvelhecimento. A Subdivisão de Fabricação (AME-F) foi responsável pela usinagem e confecção dos 27 corpos de prova de tração conforme a norma ASTM E-8 *subsize* [8]. As amostras com espessura de 3,3 mm têm comprimento total de 100,00 mm, comprimento útil para ensaio de 35 mm, largura da área útil de ensaio de 6,0 mm e largura da seção da alça (cabeça) de 10,00 mm.

As amostras passaram por tratamento térmico de superenvelhecimento nas temperaturas de 500°C, 550°C, 600°C por 3, 5 e 6 horas, obtendo nove condições diferentes de tratamento térmico, todos os corpos de prova foram resfriados em temperatura ambiente. Três corpos de prova foram submetidos a cada uma das nove condições. As condições foram atingidas no

Laboratório de Tratamento Térmico (LTTE), da Divisão de Material (AME). O forno Brasimet KOe 25/15/40, tipo forno câmara industrial, foi utilizado para o tratamento das amostras a 500°C. O forno Brasimet KOe 40/25/65 foi designado para o tratamento das amostras a 550°C. Já as amostras tratadas a temperatura de 600°C utilizaram forno FORTLAB ML 1400.

Após o tratamento térmico de superenvelhecimento todos os corpos de prova submetidos a medição de dureza Rockwell C (HRC), conforme a norma ASTM E18 [9]. O ensaio de dureza foi realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEME), da Divisão de Material (AME), utilizando o Durômetro Wilson 1JR. Foram realizadas quatro medições de dureza em cada corpo de prova.

O Laboratório de Ensaios Estruturais, da Divisão de Ensaios (AIE-S), foi utilizado para a realização dos ensaios de tração, após o ensaio de dureza. O ensaio de tração seguiu a norma ASTM A370 [10]. A Máquina Universal de Testes MTS 810.25 foi responsável pelo ensaio, com a aquisição de dados sendo realizada pelo MTS FlexTest 40 (MTS Systems Corporation, Eden Prairie, Minnesota, USA).

As curvas tensão-deformação de engenharia foram geradas no software OriginPro 8.5.1 SR2 (OriginLab Corporation, Northampton, Massachusetts, USA) com os dados adquiridos no ensaio de tração. A tenacidade teórica também foi determinada a partir dos resultados do ensaio de tração. Ela é a área sob a curva tensão-deformação até o ponto de fratura [11]. A integração das curvas foi realizada no OriginPro 8.5.1 SR2.

3. Resultados

A tabela 2 apresenta a média e o desvio padrão das medições de dureza Rockwell C.

Tabela 2. Média dos valores de dureza em função do tratamento térmico.

Temperatura do Tratamento Térmico	Tempo	Dureza Rockwell C (HRC)
500°C	3h	51,6 ± 1,9
	5h	51,7 ± 2,4
	6h	52,3 ± 2,9
550°C	3h	48,5 ± 2,4
	5h	48,3 ± 1,2
	6h	47,2 ± 1,4

600°C	3h	46,4 ± 2,0
	5h	45,6 ± 1,7
	6h	45,9 ± 3,4

Os maiores valores de dureza são observados na condição de 500°C, enquanto os menores valores médios de dureza se encontram quando os corpos de prova são submetidos à condição de 600°C. A figura 1 apresenta o comportamento gráfico dos valores médios de dureza Rockwell C em função do tempo do tratamento térmico, nas condições de temperatura 500°C, 550°C e 600°C.

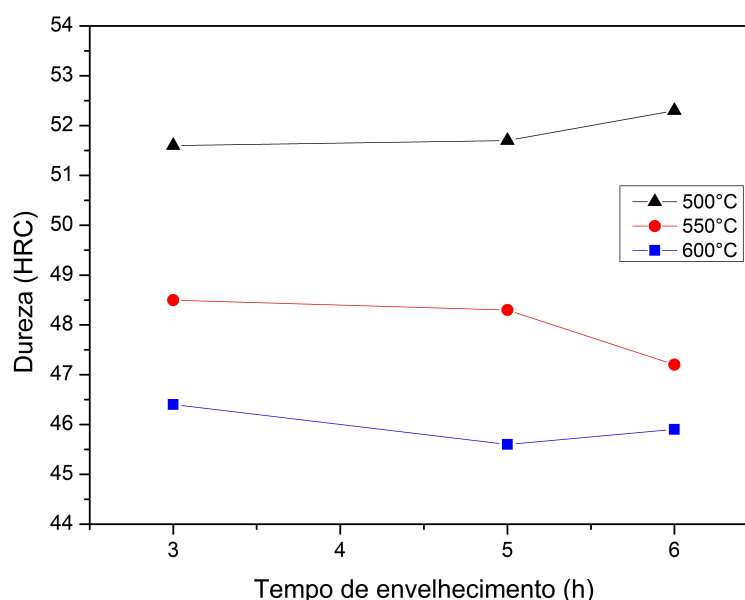


Figura 1. Variação da dureza em diferentes condições de tratamento térmico.

Observa-se que a Dureza Rockwell C é fortemente influenciada pela temperatura nas condições propostas. A variação de dureza em função do tempo de envelhecimento, em um mesmo patamar de temperatura, pode ser considerada pequena, considerando o desvio padrão. A diminuição da dureza nas amostras sob condição de temperatura de tratamento térmico de 550°C e 600°C pode ser atribuída ao fenômeno de superenvelhecimento.

O ensaio de tração possibilitou a construção da curva de tensão-deformação, portanto o comportamento mecânico específico de cada uma das amostras pode ser observado e comparado. As figuras 2, 3 e 4 apresentam a compilação das curvas tensão-deformação de cada uma das amostras 27 tratadas termicamente. As curvas estão associadas por temperatura específica de tratamento térmico.

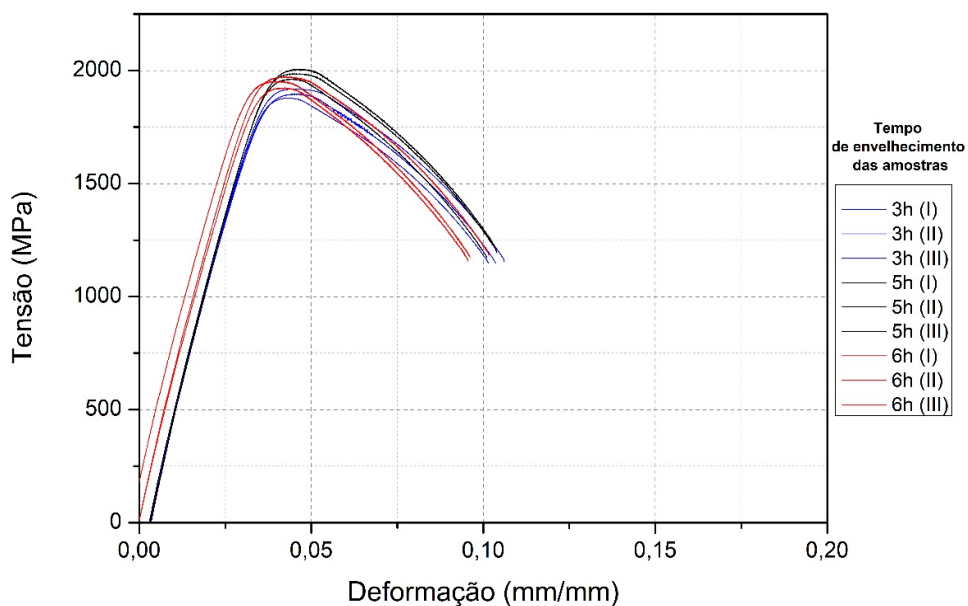


Figura 2. Curvas tensão x deformação na temperatura de 500°C sob diferentes tempos de envelhecimento.

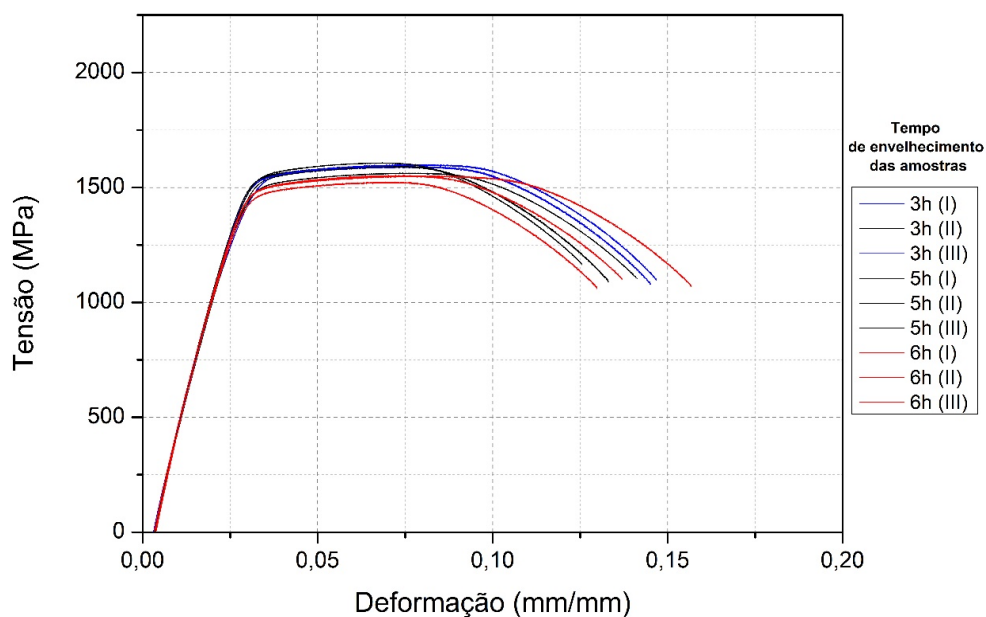


Figura 3. Curvas tensão x deformação na temperatura de 550°C sob diferentes tempos de envelhecimento.

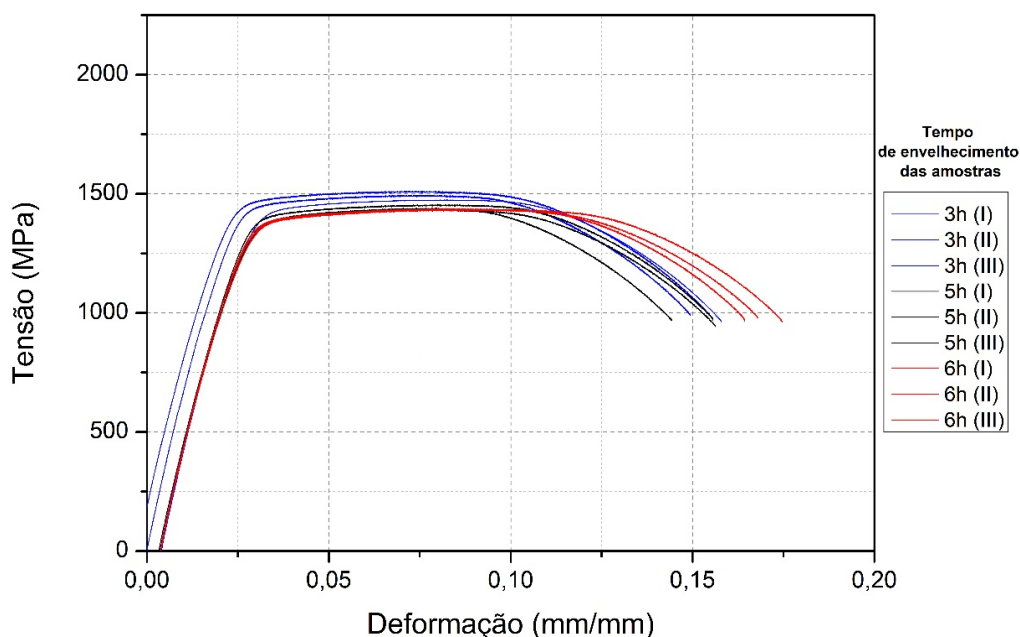


Figura 4. Curvas tensão x deformação na temperatura de 600°C sob diferentes tempos de envelhecimento.

A mudança de comportamento das curvas tensão-deformação pode ser bem observada quando se compara as diferentes temperaturas de tratamento térmico. Os maiores limites de resistência são apresentados no conjunto de curvas de amostras tratadas a 500°C, em contrapartida os menores valores são observados no conjunto de 600°C.

Todas as curvas sob o regime de 550°C e 600°C apresentam características específicas do processo de superenvelhecimento do aço maraging 300. Com o aumento da temperatura de tratamento térmico no intervalo de tempo de envelhecimento estudado, a tenacidade aumenta, enquanto o limite de escoamento e limite de resistência a tração diminuem. A relação apontada é um indicador importante de mudança microestrutural pelo fenômeno de superenvelhecimento.

A tabela 3 apresentam a média das propriedades mecânicas obtidas com o ensaio de tração: limite de escoamento, limite de resistência à tração, limite de ruptura e tenacidade.

Tabela 3. Média dos dados de Tensão-Deformação em Tração.

Temperatura do Tratamento Térmico	Tempo	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência à Tração (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Tenacidade teórica (MPa)
500°C	3h	1792,59 ± 31,70	1897,68 ± 20,32	1150,78 ± 4,14	144,17 ± 5,61
	5h	1857,44 ± 3,84	1985,98 ± 22,10	1193,68 ± 25,34	147,77 ± 4,40
	6h	1849,79 ± 18,64	1950,10 ± 24,20	1171,30 ± 15,37	143,47 ± 7,25
550°C	3h	1433,65 ± 40,19	1596,62 ± 3,62	1088,37 ± 10,09	188,00 ± 11,46
	5h	1437,77 ± 25,97	1586,95 ± 22,27	1140,28 ± 32,78	173,10 ± 9,94
	6h	1406,63 ± 11,30	1543,36 ± 16,43	1076,40 ± 20,10	182,13 ± 21,89
600°C	3h	1318,36 ± 29,85	1493,60 ± 18,85	980,09 ± 14,80	198,40 ± 6,52
	5h	1281,52 ± 27,21	1443,44 ± 11,81	959,93 ± 15,40	185,37 ± 9,59
	6h	1262,80 ± 9,70	1437,67 ± 1,37	969,03 ± 9,21	208,70 ± 6,95

O maior limite de escoamento é encontrado nas amostras tratadas em 500°C por 5h, o valor é de 1857,44 ± 3,84 MPa. As propriedades mecânicas das amostras sob o regime de 500°C apresentam menor influência do superenvelhecimento, pois apresentam limite de escoamento e limite de resistência que estão na faixa de uso para aplicações que exigem aço maraging de alta resistência.

O menor valor encontrado de limite de escoamento corresponde a 1262,80 ± 9,70 MPa, valor da faixa de tratamento térmico de 600°C por 6h. O menor limite de resistência é encontrado nessa mesma faixa, sendo 1437,67 ± 1,37 MPa. Os resultados corroboram a teoria que as amostras tratadas nessa faixa, por experimentarem o maior tempo de envelhecimento, em paralelo a maior temperatura, seriam as amostras mais afetadas pelas mudanças microestruturais ocasionadas pelo fenômeno de superenvelhecimento.

Os maiores valores médios de tenacidade são verificados nas condições com parâmetro de temperatura de 600°C. O maior valor foi encontrado especificamente na condição de 600 °C por 6h, sendo 208,70 ± 6,95 MPa. Já o menor valor é 144,47 ± 7,25 e pertence a condição de 500°C por 6h. A figura 5 apresenta a comparação gráfica entre os valores médios de tenacidade teórica.

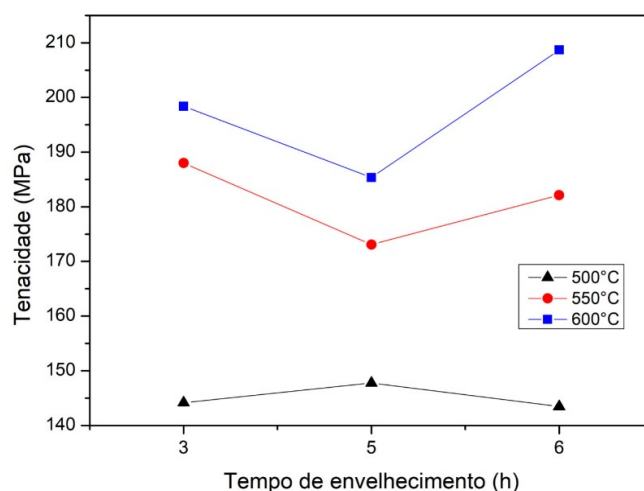


Figura 5. Tenacidade teórica em diferentes condições de tratamento.

A condição de superenvelhecimento aumenta a ductilidade do aço maraging 300 dentro da faixa de valores estudada, apesar da diminuição de limite de escoamento e limite de resistência à tração.

4. Conclusões

O comportamento mecânico foi mais influenciado pelo parâmetro temperatura, dentro das condições averiguadas. Foi possível observar o decréscimo da resistência mecânica devido a condição de superenvelhecimento. As amostras que foram submetidas as condições de tratamento térmico na faixa de temperatura de 500°C apresentaram pouca influência do superenvelhecimento sobre suas propriedades mecânicas se comparadas as amostras expostas as condições na faixa de 550°C e 600°C, que enfrentaram diminuição de dureza, do limite de escoamento e do limite de resistência à tração. A condição de superenvelhecimento averiguada, apesar de influenciar no decréscimo de propriedade mecânicas do aço maraging 300, aumenta a sua tenacidade estimada.

5. Divulgação dos Resultados

A pesquisa deverá apresentada no Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica 2021 (XVII ENICT/IAE). Prospecta-se que os resultados também poderão ser integrados a outros trabalhos de Iniciação Científica, do mesmo orientador, para participação em eventos acadêmicos nacionais.



Referências

- [1] MOURITZ, Adrian P. Introduction to aerospace materials. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012.
- [2] NICKEL DEVELOPMENT INSTITUTE. 18 per cent nickel maraging steels. Engineering properties. Inco Europe Limited, 1976.
- [3] TAMURA, I.; TSUZAKI, K.; MAKI, T. Morphology of lath martensite formed from deformed austenite in 18% Ni maraging steel. *Journal de Physique Colloques*, v. 43, n. C4, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/jphyscol:1982486i>
- [4] MAGNÉE, A. DRAPIER, J.M. COUTSOURADIS, D. HABRAKAN, L., DUMONT, J. Cobalt Monograph Serie: Cobalt-Containing High-Strength Steels. Centre d'information du Cobalt, Brüssel 1974. 128 S.
- [5] PARDAL, J. M.; TAVARES, S.S.M.; FONSECA, M.P.C.; DA SILVA, M.R.; NETO, J.M; ABREU, H.F.G. Influence of temperature and aging time on hardness and magnetic properties of the maraging steel grade 300. *Journal of Materials Science*, v. 42, n. 7, p. 2276–2281, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10853-006-1317-8>
- [6] DE CARVALHO, Leandro Gomes *et al.* Kinetics of martensite reversion to austenite during overaging in a maraging 350 steel. *ISIJ International*, v. 59, n. 6, p. 1119–1127, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-610>
- [7] RAO, Muktinutalapati Nageswara. Progress in understanding the metallurgy of 18% nickel maraging steels. *International Journal of Materials Research*, v. 97, n. 11, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.3139/146.101418>
- [8] ASTM E8/E8M. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. Annual Book of ASTM Standards, 2010.
- [9] ASTM E18/18M-11. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. ASTM International, 2018.
- [10] ASTM A370-20, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, ASTM International, 2020.
- [11] CALLISTER Jr., W. D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.



PIBIC/PIBITI-RELATÓRIO FINAL

Título do projeto de pesquisa: UTILIZAÇÃO DE CFD NO ESTUDO E NO PROJETO DE UMA ASA FINITA COM CONTROLE DE CAMADA LIMITE POR SOPRO PARA A GERAÇÃO DE HIPERSUSTENTAÇÃO

Bolsista: SAULO VITOR ZONFRILLI

Orientador(a): RICARDO GALDINO DA SILVA

Período a que se refere o relatório: Agosto de 2020 a Julho de 2021

Resumo

Diversos estudos mundo afora indicam que um jato de ar, tangente a face de asas, de suas superfícies de comando ou hipersustentadoras, é capaz de aumentar significativamente a capacidade da asa em gerar sustentação e reduzir o arrasto, superando os modos tradicionais e atualmente utilizados pela aviação global. Esse fenômeno, explicado pelo efeito *Coand*, vai de acordo com demandas cada vez mais presentes no mercado da aviação, quanto a novos produtos: aeronaves capazes de levar certa quantidade de carga, ou pessoas, e capazes de operar em locais não preparados. Este trabalho foi proposto para investigar o impacto do controle de camada limite por sopro aplicado em uma aeronave, buscando aproximar-se de um caso real, de uma aeronave de transporte, que terá um tópico dedicado ao projeto conceitual de um veículo de transporte, utilizando uma metodologia de projeto multidisciplinar.

1. Introdução

Superfícies sustentadoras e estabilizadoras são os principais elementos que diferenciam as aeronaves dos demais veículos de transporte de pessoas e/ou carga. Aeronaves, em sua maioria, têm requisitos operacionais bem restritos, que exigem que o avião seja capaz de decolar e pousar em curtas distâncias e baixas velocidades, e em contrapartida, ter em voo de cruzeiro velocidades elevadas, muitas vezes próximas da velocidade do som, apresentando a



menor resistência possível com o ar. Em outras palavras, asas precisam apresentar a maior eficiência possível para fazer com que um avião seja economicamente viável e competitivo no mercado da indústria aeronáutica.

O que define se um avião terá decolagens de alta performance, ou seja, curtas distâncias e baixa velocidade, é sua capacidade de geração de sustentação ou de aceleração, o que exigiria motores muito potentes. Já em voo de cruzeiro, o que define se o avião é eficiente, é a alta eficiência da asa, ou seja, geração da sustentação necessária para o voo reto e nivelado, com a menor geração de arrasto (força de resistência da aeronave contra o ar), além da necessidade de um motor com baixo consumo de combustível. Essa diferença das operações de uma mesma aeronave exige que sua asa seja adaptável para cada etapa de voo, e isso é possível com a alteração da geometria do perfil aerodinâmico aplicado no projeto dessa superfície.

Existem inúmeras ferramentas para o aumento de sustentação de uma asa ou de hipersustentação. Tem-se, localizado no bordo de ataque (parte dianteira de uma asa), o *slat* (*leading edge flap*), e no bordo de fuga o *flap* (*trailing edge flap*), que são superfícies móveis e trabalham independentemente ou em conjunto para o aumento de sustentação, alterando o arqueamento (*camber*) do perfil e a corda (distância entre o bordo de ataque e o bordo de fuga), conseqüentemente alterando a área da asa em algumas configurações destes dispositivos. Além dos modelos convencionais de dispositivos hipersustentadores, existem aqueles com controle ativo de camada limite (*BLC – Boundary Layer Control System*), [1], que consiste em um sistema de sopro de ar em alta velocidade, tangente à superfície dos dispositivos móveis, adicionando movimento ao escoamento naquela região e conseqüentemente aumentando a sustentação e o ângulo de ataque. Este efeito pode ser explicado pela teoria de *Coandă*, que fala sobre a tendência de um jato de fluido, tangente a uma superfície, de se manter colado nela, [2].

Existem aeronaves que são capazes de decolar e pousar em curtas distâncias, com baixas velocidades de operação. O que garante essa característica a esses aviões, são uma simples construção, de baixo peso, asas capazes de gerar muita sustentação, e motores fortes o suficiente. Estas aeronaves são classificadas pela sigla *STOL* (*Short Take-off and Landing*). O problema dos aviões do tipo *STOL* é que sua capacidade de carga é inferior ao de uma



aeronave convencional, além de um alcance menor. Uma solução para tornar um avião capaz de transportar cargas e voar longas distâncias, seria o uso de um sistema de *BLC*.

Para o desenvolvimento de aeronaves e asas capazes de satisfazerem todas as necessidades mencionadas, tem-se ferramentas de otimização de projeto multidisciplinar, ou *MDO* (*Multidisciplinary Design Optimization*). Matematicamente, o *MDO* tem como função encontrar a melhor solução possível para determinado problema, com a alteração de algumas variáveis, comumente sujeitas a restrições, [3].

Este trabalho teve como objetivo fazer o estudo do conceito de uma asa finita com *BLC*, a fim de entender os efeitos desse sistema aplicado a uma aeronave real. Para tal, teve como objetivo secundário o desenvolvimento de metodologia baseada em *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) capaz de ser utilizada na concepção de uma asa de uma aeronave cargueira com as características necessárias para o estudo, bimotor a jato, capaz de levar 6.000 kg de carga paga (*PLW – Payload Weight*).

2. Materiais e Métodos

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em duas partes, sendo estas o tópico 2.1, abordando o *MDO*, juntamente ao desenvolvimento da asa, e o tópico 2.2, relativo às análises de *CFD*.

2.1 MDO e Projeto de Asa

O desenvolvimento de uma asa leva em consideração um número elevado de variáveis, geralmente oriundas de requisitos de missão, mercado ou restrições variadas. A melhor maneira de relacionar estas variáveis é com o uso de cálculos iterativos, os quais podem ser desenvolvidos em diversas ferramentas, desde o *MS Excel*, até linguagens de programação mais avançadas.

Para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se pela criação de um *MDO* capaz de conceber uma aeronave completa, a fim de garantir que a asa estudada estivesse o mais próxima

possível de um caso real. A aeronave é composta de fuselagem, asa, nacele e pilone, carenagem do trem de pouso e empenagens.

Para o dimensionamento do compartimento de carga, fez-se uma análise de aeronaves com missão semelhante (transporte de carga), de onde obteve-se o *PLW* e volume do compartimento de carga, que relacionados, resultaram em uma razão média de carga por volume de 120 kg/m^3 . Considerou-se dimensões de um compartimento de carga capaz de levar um *PLW* de 6.000 kg.

As empenagens(estabilizadores) foram dimensionadas de acordo com os volumes de cauda horizontal V_{HT} de 0,3 até 0,6, e volumes de cauda vertical V_{VT} de 0,03 até 0,06,[4], a fim de garantir que as superfícies estabilizadoras sejam seguras. Neste trabalho não foram abordadas análises de Estabilidade e Controle. Demais valores de alimentação do *MDO* tiveram como ponto de partida valores obtido de análises de aeronaves de missão semelhante. Após as primeiras análises de *CFD*, houve realimentação dos parâmetros aerodinâmicos considerados nos cálculos do *MDO*, com finalidade de refinamento das geometrias da aeronave. Fez-se aproximadamente 100 variações dos parâmetros do *MDO* a fim de encontrar a aeronave que melhor satisfizesse os requisitos definidos no início deste trabalho.

O eixo de rotação (*hingeline*) superfícies hipersustentadoras foram posicionadas em 20% da corda para o *slat* (linha tracejada verde), e 25% da corda para *flap* (linha tracejada azul), baseando-se em estudos cujos resultados foram satisfatórios, [5], investigando o mesmo tipo de efeito (*BLC*) em uma aeronave de transporte, (Figura 1).

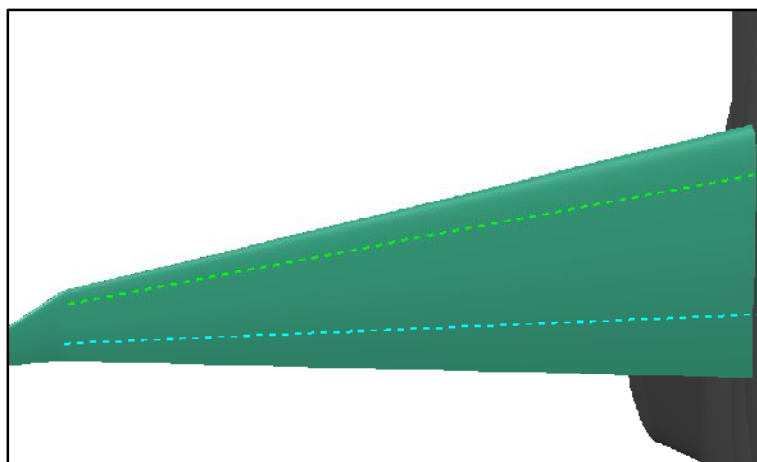


Figura 1. Posicionamento das *hingelines* das superfícies hipersustentadoras.

Com a configuração da aeronave definida pelos cálculos, fez-se o modelo 3D em *software* de CAD, *DassaultSystèmesCatia V5R21*, partindo das dimensões e posição dos componentes da aeronave.

2.2CFD

Com a finalidade de validar a asa obtida do *MDO*, assim como investigar os fenômenos aerodinâmicos presentes no modelo com *flap* e *slatretraídos* (voo de cruzeiro) e estendidos (decolagem e pouso), optou-se pelo uso de uma ferramenta mais robusta de análise computacional de fluidos, *AnsysFluent*.

Fez-se, a partir do modelo 3D obtido no *MDO*, um segundo modelo com as adaptações necessárias para uma análise de *CFD*, como: ponta de asa, fechamento do bordo de fuga, corte das superfícies excedentes, e fechamento do modelo no plano de simetria, uma vez que para fins de redução de custo computacional, analisou-se meio modelo, cortado no plano de simetria. Superfícies estabilizadoras (empenagem vertical e empenagem horizontal) não fizeram parte dessa etapa do estudo, sendo deixados para próximas etapas. O modelo resultante para análises pode ser observado (Figura 2).

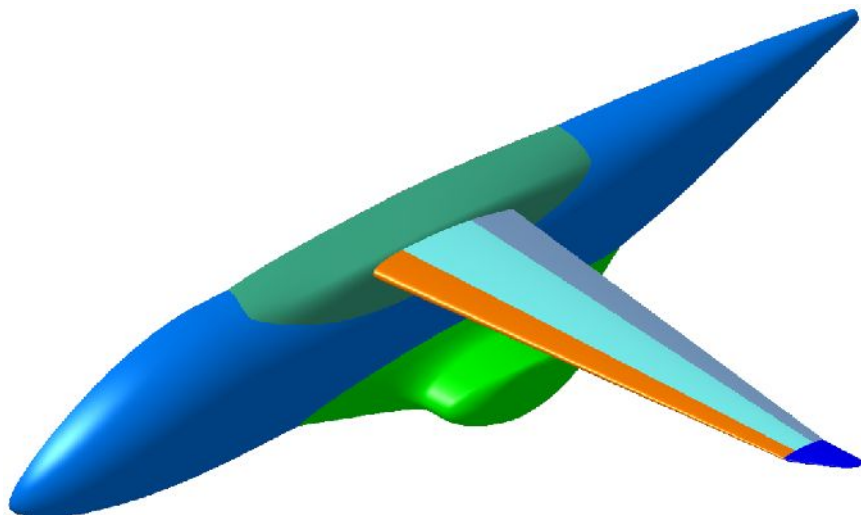


Figura 2. Modelo da aeronave com as simplificações para análise de *CFD*.

O *farfield* (região de delimitação da construção da malha e análise) foi definido ao redor da aeronave com a geometria apresentada na (Figura 3), com um raio de *inlet* (face de adição das propriedades do escoamento) de 25 m, o que limitou uma altura de 50 m, comprimento 50m e a largura total de 30 m.

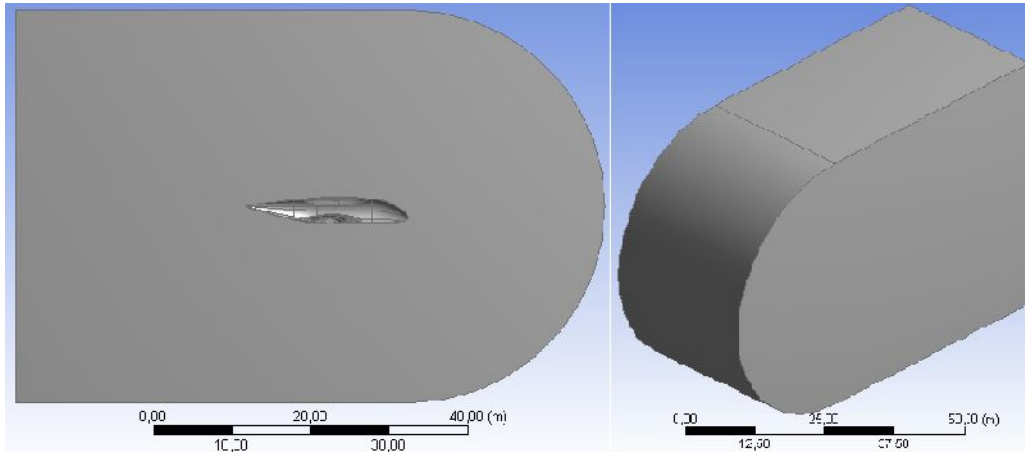


Figura 3. *Farfield* do estudo fluidodinâmico.

A malha foi feita, com refinamento dos elementos nas regiões de bordo de ataque e fuga, e carenagem asa-fuselagem (*WFF – Wing-Fuselage Fairing*), o que resultou em uma malha com 2.105.423 elementos e 338.051 nós, (Figura 4).

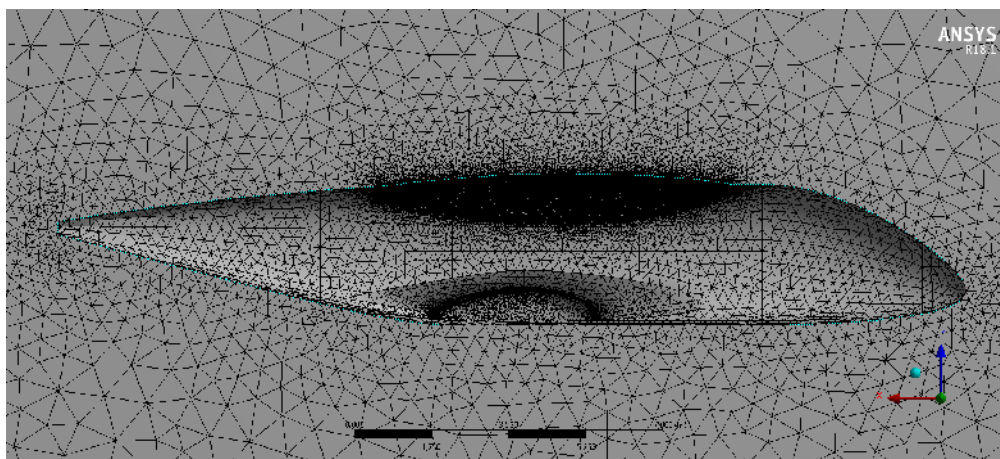


Figura 4. Imagem aproximada da malha na região da aeronave, mostrando o refinamento dos elementos na região do *WFF* e asa.



As configurações da análise foram definidas de tal modo a realimentar o MDO, considerando o voo de cruzeiro. Utilizou-se propriedades de atmosfera padrão a 10.000 metros de altura (aproximadamente 32.800 pés), com uma densidade de 0,4127 kg/m³, e uma velocidade de 830 km/h (230,55 m/s). O modelo de cálculo utilizando dentro do *CFD* foi o *K-epsilon (2 eqn)*, do tipo turbulento.

3. Resultados

3.1 MDO

A partir das análises do *MDO* obteve-se um conceito de aeronave de transporte de carga, (Figura 5), com as seguintes características:

- Asa alta, devido questões operacionais de carregamento e descarregamento de carga, esta configuração de asa mostrou-se a mais adequada;
- Dois motores do tipo *turbofan*, *General Eletrics GE CF34*, com 64 kN por apresentarem uma relação *T/W* (tração por peso da aeronave) que satisfizesse as características da aeronave. Análise detalhada do grupo moto-propulsor faz-se necessária e deve ser desenvolvida em etapas seguintes a esse trabalho;
- Empenagens do tipo “*T*”, buscando deixar a empenagem horizontal o mais distante possível da região do escoamento oriundo da asa, mesmo em elevados ângulos de ataque;
- Envergadura de 23,4 m, comprimento de 20,8 m, altura de 6,7 m, e um *MTOW* (peso máximo de decolagem) de 24.500 kg.



Figura 5. Aeronave resultante do *MDO*.

3.2 CFD

A análise inicial mostrou que o escoamento ao redor do modelo apresenta bom comportamento, com boa distribuição de pressão com baixo índice de turbulência. Pode-se visualizar na (Figura 6) que tem-se uma região de grande pressão na parte dianteira da carenagem do trem de pouso, o que pode ser resolvido com uma remodelagem da região em destaque.

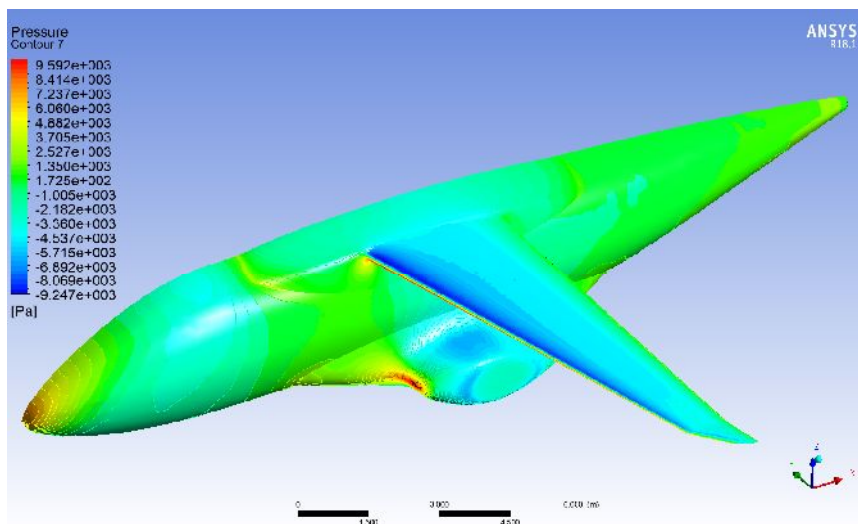


Figura 6. Visualização da distribuição de pressão na aeronave.

Notou-se um coeficiente de arrasto c_D um pouco elevado para a configuração da aeronave e condições atmosféricas. Uma análise mais detalhada pode indicar o causador desse c_D

elevado, porém, o comportamento dos vetores de velocidade(Figura 7), assim como visualizações do resultado podem indicar que o escoamento na asa está muito próximo da velocidade do som, o que ocasiona o surgimento de ondas de choque, que por sua vez causam um aumento significativo do arrasto.

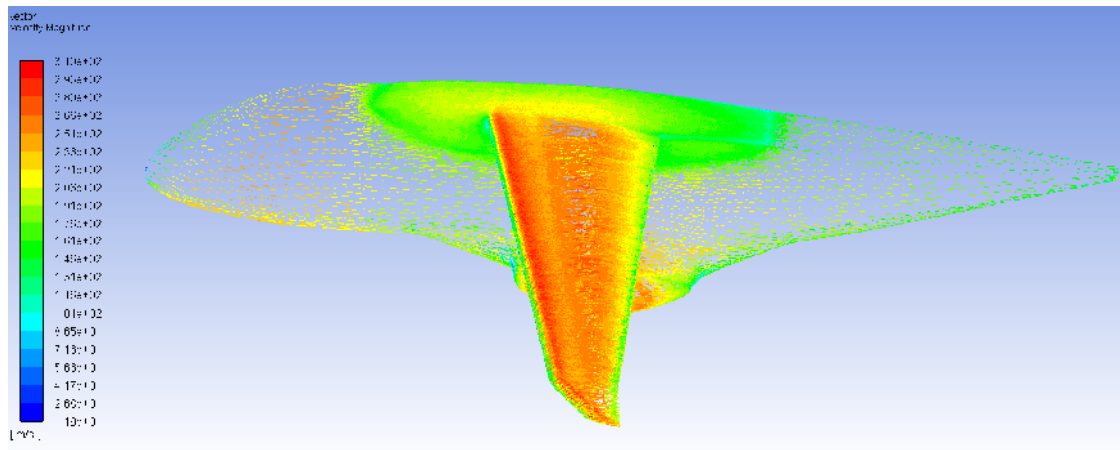


Figura 7. Visualização dos vetores de velocidade.

4. Próximas Etapas

Uma análise fluidodinâmica tridimensional, do tipo abordada neste estudo, onde observam-se os efeitos de ponta de asa, interação entre componentes do modelo, tem-se grande número de fenômenos aerodinâmicos presentes. Para que melhorias possam ser feitas, faz-se necessário análises mais detalhadas do modelo, englobando as empenagens horizontal e vertical, buscando atenção nos pontos de interação dos componentes, principalmente nas regiões do vão entre superfícies hypersustentadoras e asa.

Faz-se necessário analisar as configurações de *flap* e *slat*, para entender como diferentes combinações das posições das superfícies impactarão na eficiência do modelo em etapas de decolagem e pouso, e se é necessário a aplicação de freios aerodinâmicos, a fim de garantir uma frenagem curta e segura.

Com um conhecimento maduro sobre as características aerodinâmicas do modelo em questão, análises de Desempenho, Estabilidade e Controle são importantes, e devem ser feitas, com



intuito de obter-se dados sobre alcance da aeronave, teto operacional, além de suas características de estabilidade e controlabilidade, para garantir um voo de qualidade.

5. Conclusões

Como observado em diversos exemplos, ferramentas de *MDO* mostram-se essenciais para o desenvolvimento de aeronaves, e na resolução de problemas muito complexos, os quais tem-se a variação de muitas variáveis. A aeronave obtida mostrou-se boa, quanto aos resultados obtidos como dimensões, peso máximo, peso vazio, peso de combustível e carga paga, assim como, com os resultados de CFD nota-se que a geometria final apresenta boa qualidade de escoamento.

Como já sabido, análises de fluidos demandam grande tempo e capacidade computacional, o que foi impactado devido as condições globais do *SARS-CoV-2*, entretanto os resultados obtidos mostram-se satisfatórios, o que é um grande indicativo de uma pesquisa bem direcionada.

Referências

- [1] Pavlenko, O.; Petrov, A.; Pigusov, E., 2018. **Concept of medium twin-engine STOL transport airplane**, In Proceedings of the 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, Belo Horizonte, Brazil.
- [2] Dumitrache, A.; Frunzulica, F.; Ionescu, T. C., 2012. **Mathematical Modeling and Numerical Investigation on the Coanda Effect**, INTECH.
- [3] MARTINS, J. R. R. A; NING, A. **Engineering Design Optimization**. First electronic edition, January, 2020. 441 p.
- [4] Gudmundsson, S., 2014. **General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures**. First edition, 2014. 1034 p.
- [5] Marco, B.; Keller, D., 2015. **Numerical Assessment of a High-Lift Configuration with Circulation Control and Flexible Droop Nose**. *HochauftriebKunftigerVerkehrsflugzeuge*.



PIBIC/PIBITI-RELATÓRIO FINAL

Título do projeto de pesquisa: Planejamento do processo de obtenção de compósitos formados por polianilina, grafeno esfoliado eletroquimicamente e carbono vítreo reticulado, para ser aplicado em supercapacitores.

Bolsista: Tatiane Lopes Ribeiro

Orientador(a): Emerson Sarmento Gonçalves

Período a que se refere o relatório: Agosto de 2020 a Julho de 2021

Resumo

A polianilina (PANI) é um dos polímeros condutores mais estudados para aplicação como eletrodos em dispositivos para armazenamento de energia, tais como supercapacitores e baterias. A PANI quando associada com materiais carbonosos pode resultar em um eletrodo compósito com excelente desempenho eletroquímico. Portanto, este trabalho propôs encontrar os melhores parâmetros para obtenção desse compósito. Foram utilizados carbonos vítreos reticulados tratados à 1300, 1500, 1800 e 2000°C, onde foram feitas as eletrodeposições de polianilina com velocidade de varredura de 10 mVs⁻¹ e 9 ciclos, em amostras com e sem tratamento prévio com solução de ácido sulfúrico. As caracterizações das amostras foram feitas por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica e Voltametria Cíclica, onde foi observado que a amostra AT97, preparada com Carbono Vítreo Reticulado tratado à 1300°C e com pré-tratamento com ácido sulfúrico 1M, foi a que apresentou melhores resultados para a aplicação desejada. Assim, o eletrodo compósito AT97 formado por polianilina e carbono vítreo reticulado se mostrou um material com grande potencial para aplicação como eletrodos em supercapacitores.

Palavras-chave: polianilina, carbono vítreo reticulado, supercapacitor.

1. Introdução

Atualmente os dispositivos do tipo supercapacitores tem sido amplamente estudados como meios alternativos de armazenamento de energia de forma sustentável. Esses dispositivos possuem arquitetura similar as baterias, no entanto, apresentam alta densidade energética e de



potência específica. Um dos materiais mais estudados para produção de eletrodos para supercapacitores são os polímeros condutores, dentre eles, destaca-se a Polianilina (PANI), cujos estudos de sua condutividade elétrica iniciou-se por volta da década de 80 [1,2,3]. Além disso, outras características interessantes, tais como: estabilidade química em condições ambientais normais, facilidade de síntese, reversibilidade de propriedades elétricas, entre outras, torna esse polímero bastante promissor [4,5]. Os materiais carbonosos também tem sido alvos de intensa pesquisa para aplicação em eletrodos de supercapacitores comerciais e baterias de lítio, devido custo relativamente baixo, longa vida útil e condutividade elétrica. Esses materiais geralmente apresentam estruturas porosas que nas dimensões adequadas (mesoporos e microporos) favorecem as reações eletroquímicas, que contribuem para a maior capacidade de armazenamento de carga [6,7,8].

A preparação de eletrodos formados por polímeros condutores e materiais carbonosos resulta em eletrodos compósitos com sinergismo de propriedades que torna o desempenho dos dispositivos superiores em relação aos comerciais disponíveis no mercado.

O carbono vítreo reticulado é um material extremamente poroso, que quando associado a PANI pode resultar em eletrodos com melhores propriedades eletroquímicas. Portanto, o objetivo desse trabalho foi estudar os parâmetros eletroquímicos relacionados à faixa de potencial, velocidade de varredura, concentração de soluções e ciclos voltamétricos para realizar a eletropolimerização de PANI sobre carbono vítreo reticulado. Os materiais obtidos também foram caracterizados quanto à sua morfologia, estrutura e atividade eletroquímica através de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IT), Impedância Eletroquímica (EIS), Voltametria Cíclica (VC) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

2. Materiais e Métodos

2.1 Síntese do CVR e eletrossíntese da PANI

A obtenção do CVR foi feita a partir da impregnação da resina furfúrica em espuma de Poliuretano, que por sua vez foi envolta por camadas de plástico e tecidos absorventes e desmoldantes. O CVR foi tratado no forno a 1300, 1500, 1800 e 2000°C por 48 horas cada, obtendo-se CVR com porosidade de 70 ppi (poros por polegada).

Foi utilizada uma célula eletroquímica de 3 eletrodos acoplada a um potenciostato-galvanostato Metrohm Autolab PGSTAT 302 para realização da eletrodeposição, onde foi



utilizado o CVR como eletrodo de trabalho, uma cesta de platina como contra eletrodo e para o eletrólito foi utilizada uma solução feita a partir de solução 1:1 de duas soluções, a primeira de 0,5 M de anilina destilada e a segunda de 1 M de ácido sulfúrico. A janela de potencial utilizada foi de -0,2 V a 1,05 V, com velocidade de varredura de 25 mVs⁻¹ e 9 ciclos. Em algumas amostras foi feito um pré-tratamento com solução 1:1 de ácido sulfúrico. Todas as amostras foram secas em temperatura ambiente. Algumas amostras foram feitas em duplicadas, para melhor análise dos resultados e todas as informações acima estão compiladas na Tabela 1.

Temperatura CVR	Amostras	
	Com pré-tratamento	Sem pré-tratamento
1300°C	AT96	AT79
	AT97	AT107
1500°C	AT101	AT83
	AT102	AT84
1800°C	AT116	AT86
		AT87
2000°C	AT122	AT90
	AT123	AT91

Tabela 1: parâmetros utilizados na preparação das amostras.

2.2 Caracterização por impedância eletroquímica e por voltametria cíclica

A impedância eletroquímica e a voltametria cíclica foram realizadas utilizando uma célula eletroquímica de 3 eletrodos acoplada ao potenciostato-galvanostato Metrohm Autolab PGSTAT 302, tendo os dados analisados nos *softwares* NOVA 1.11 e ORIGIN 9. As análises de impedância eletroquímica foram feitas com amplitude de perturbação de 10mV, na faixa de frequência de 10⁵ a 10⁻³ Hz. Nos testes de voltametria cíclica foi utilizada uma janela de potencial de -0,2 a 1,5 V e velocidade de varredura de 10 mvs⁻¹ em solução de ácido sulfúrico 1M. Os valores de capacitância, energia e potência foram calculados de acordo com as fórmulas 1, 2, 3, 4, 5 e 6, descritas a seguir.

Capacitância específica

$$C = \frac{\int I \cdot dv}{m} \quad (1) \quad C = \frac{I \cdot t}{m \cdot \Delta V} \quad (2)$$



Energia específica

$$E = \frac{\int I.v dt}{m} \quad (3) \quad E = \frac{C.\Delta V^2}{2} \quad (4)$$

Potência específica

$$P = \frac{\int I.dv}{m} \quad (5) \quad P = \frac{E}{t} \quad (6)$$

Onde as variáveis são: Corrente (I), Capacitância específica (C), Massa (m), Velocidade de varredura (v), Potência específica (P), Energia específica (E), Tempo (t) e Área (A).

3. Resultados

3.1 Caracterização por impedância eletroquímica

As Figuras 1, 2, 3 e 4 apresentam as medidas de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica realizadas com as amostras e na Tabela 2 estão apresentados os dados de alta e baixa frequência obtidos através da análise dessas impedâncias.

Amostra	Alta frequência	Baixa frequência
AT96	7943,3 / 3162,3 / 1995,3	0,12589
AT97	2511,9 / 39,811 / 31,623	0,12589
AT79	3162,3 / 63,096 / 7,9433	0,12589
AT107	1995,3 / 251,19 / 100	0,12589
AT101	5011,9 / 1258,9 / 251,19	0,12589
AT102	5011,9 / 6,3096 / 5,0119	0,12589
AT83	3162,3 / 501,19 / 398,11	0,12589
AT84	3162,3 / 501,19 / 398,11	0,12589
AT116	5011,9 / 1584,9 / 100	0,12589
AT86	5011,9 / 501,19 / 398,11	0,12589
AT87	2511,9 / 100 / 79,433	0,12589
AT122	1995,3 / 39,811 / 31,623	0,12589
AT123	3981,1 / 12,589 / 10	0,12589
AT90	2511,9 / 6,3096 / 5,0119	0,12589
AT91	3162,3 / 31,623 / 25,119	0,12589

Tabela 2: Valores de alta e baixa frequência para amostras

As amostras de cada temperatura de tratamento do CVR que apresentaram menor frequência, menor impedância e, conseqüentemente, maior condutividade, são as amostras: AT97, em

laranja na Figura 1a, preparada com CVR de 1300°C e pré-tratamento com ácido sulfúrico; AT102, em rosa na Figura 1b, preparada com CVR de 1500°C e com pré-tratamento; AT87, em rosa na Figura 1c, preparada com CVR de 1800°C e sem pré-tratamento; AT123, em roxo na Figura 1d, utilizando CVR de 2000°C e com pré-tratamento.

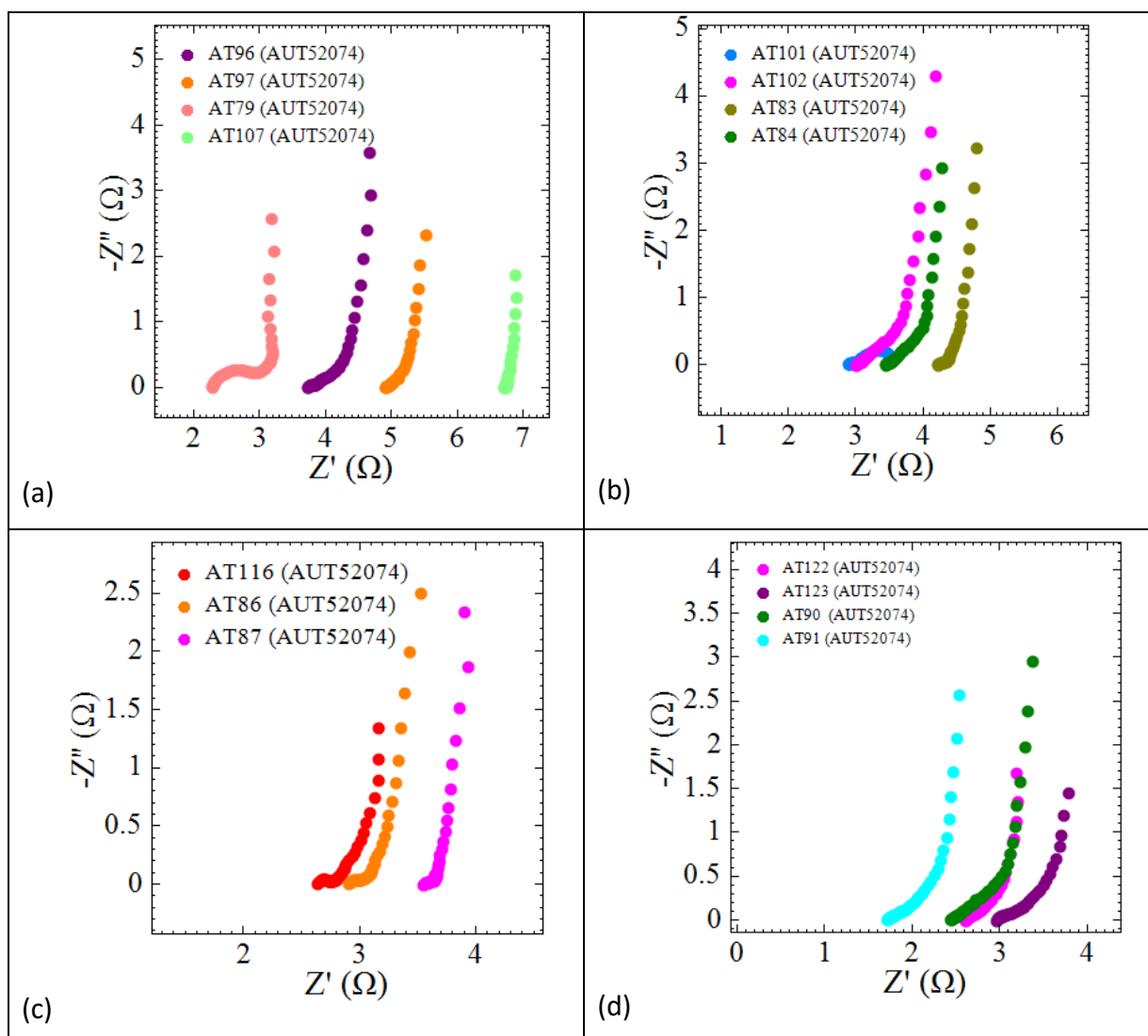


Figura 1: Medidas de impedância das amostras de CVR tratadas à (a) 1300°C, (b) 1500°C, (c) 1800°C e (d) 2000°C.

Analisando a Figura 2 e a tabela 2, percebe-se que, entre as quatro amostras mais condutoras, a amostra AT97 é a que apresenta menor frequência e menor impedância sendo, portanto, a mais condutora entre elas, um indicativo de que no CVR de 1300°C e com o pré-tratamento de ácido sulfúrico 1M ocorre maior polimerização de PANI.

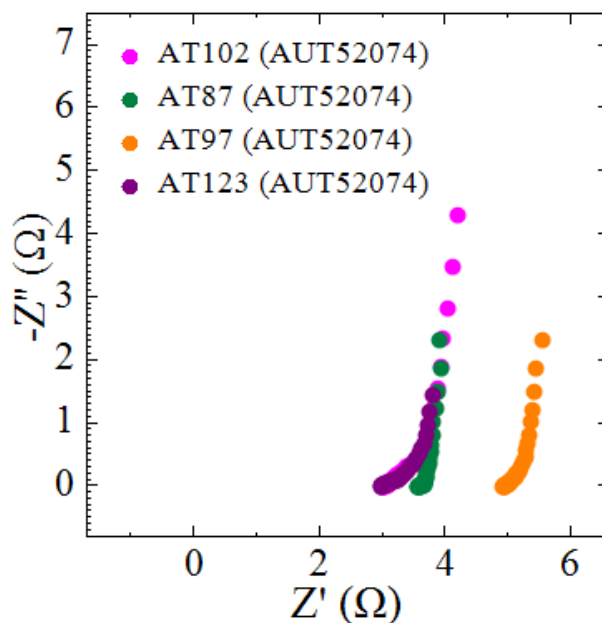


Figura 2: medidas de impedância eletroquímica das amostras com maiores condutividades.

3.1 Caracterização por voltametria cíclica

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 estão os voltamogramas das amostras, através da análise deles e dos dados obtidos através das equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 pode-se calcular a capacitância, potência e energia, que estão apresentadas na Tabela 3.

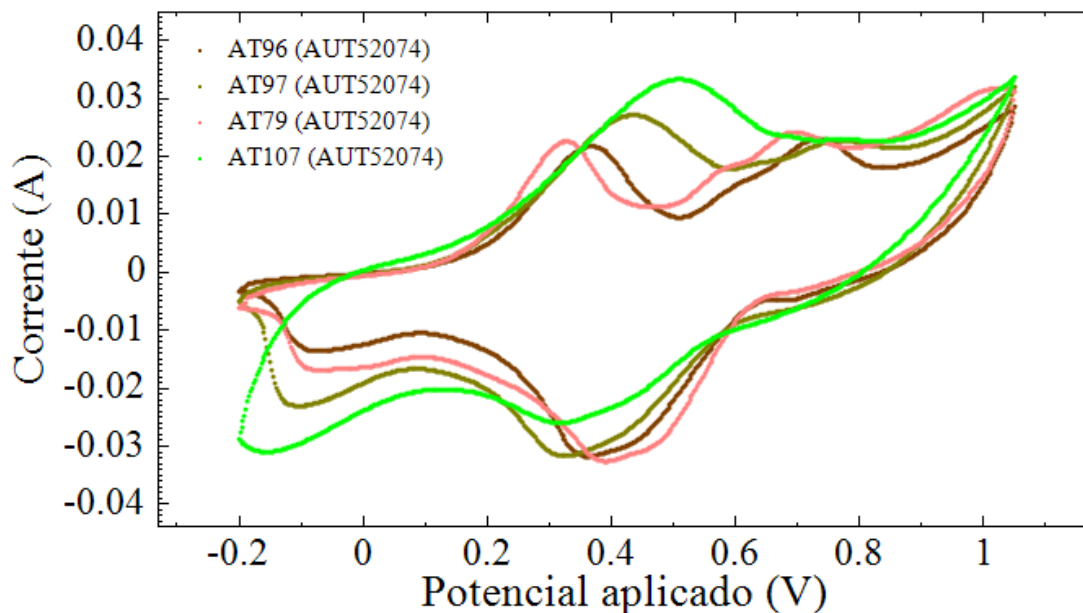


Figura 3: Medidas de ciclagem das amostras de CVR tratadas a 1300°C

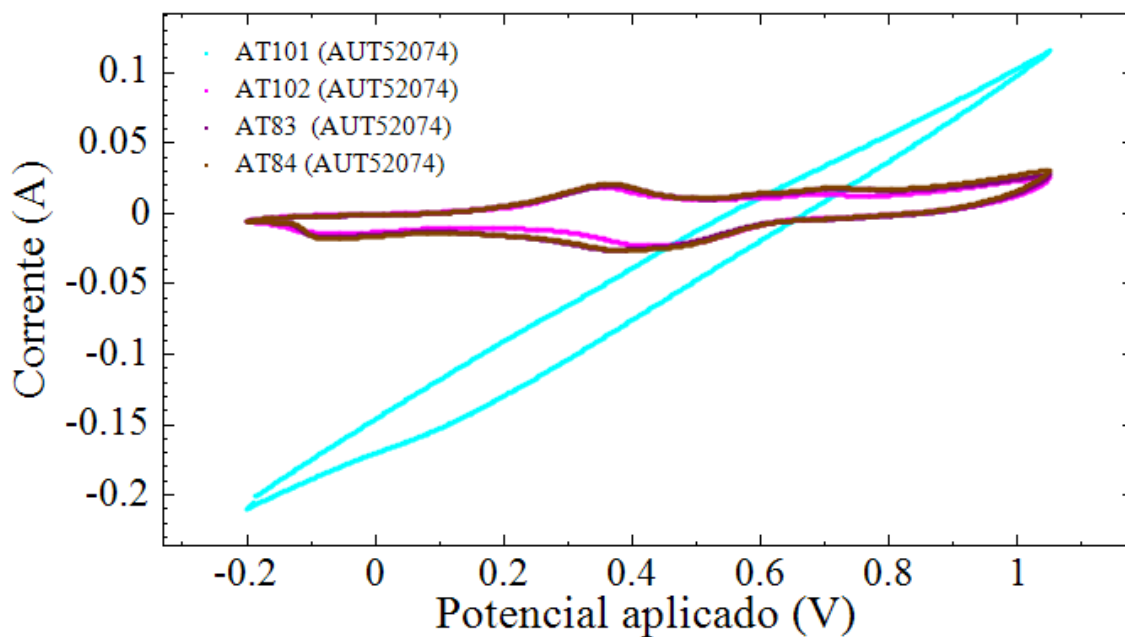


Figura 4: Medidas de ciclagem das amostras de CVR tratadas a 1500°C

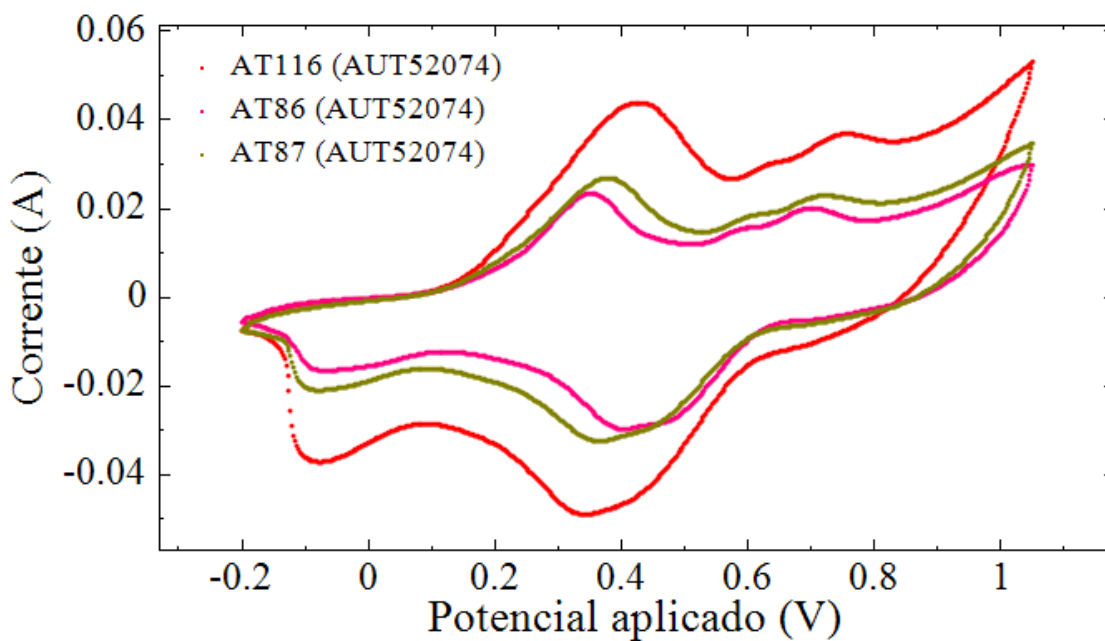


Figura 5: Medidas de ciclagem das amostras de CVR tratadas a 1800°C

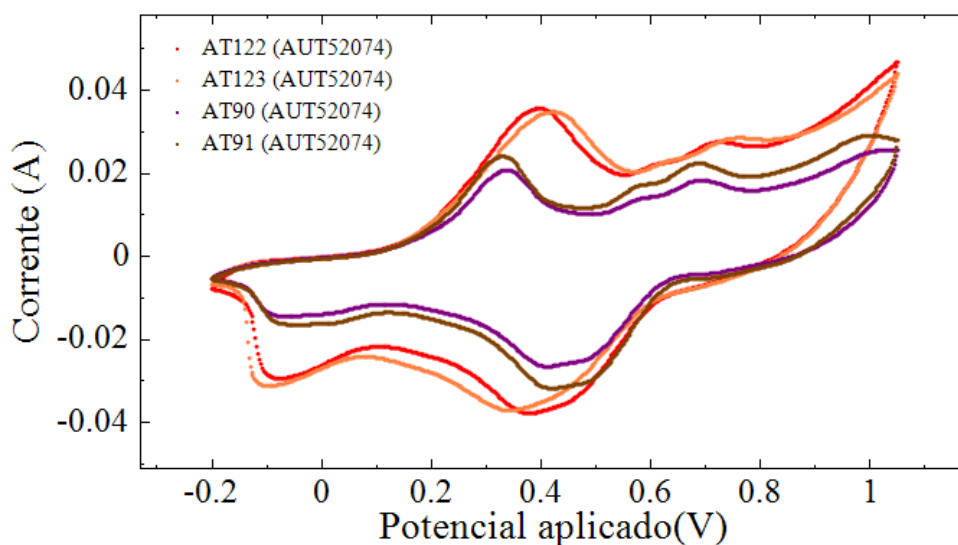


Figura 6: Medidas de ciclagem das amostras de CVR tratadas a 2000°C

Para calcular a capacidade de armazenamento de carga das amostras foi utilizada a integral da área do voltamograma, de acordo com as equações 1, 3 e 5, que permitiram calcular a capacitância, energia e potência. Também foi necessário analisar a inclinação da curva, sendo esta inversamente proporcional à condutividade. Dessa forma, analisando os voltamogramas das Figuras 3, 4, 5 e 6, e a Tabela 3, em cada temperatura de CVR analisado, as amostras com melhores valores de capacitância, potência e energia são: AT97, curva verde escuro na Figura 3, preparada com CVR de 1300°C e com pré-tratamento; AT102, curva rosa na Figura 4, utilizando CVR de 1500°C e pré-tratamento; AT87, curva verde escura na Figura 5, preparada com CVR de 1800°C e sem pré-tratamento; e AT123, em rosa claro na Figura 6, preparada a partir de CVR tratado à 2000°C e com pré-tratamento com ácido sulfúrico.

Através da análise da Figura 7 e da tabela 3, observa-se que a amostra AT97 é a que apresentou melhores valores para capacitância, potência e energia. Para essa amostra foi utilizado CVR tratado à 1300°C e não foi realizado pré-tratamento com ácido sulfúrico para eletrossíntese.

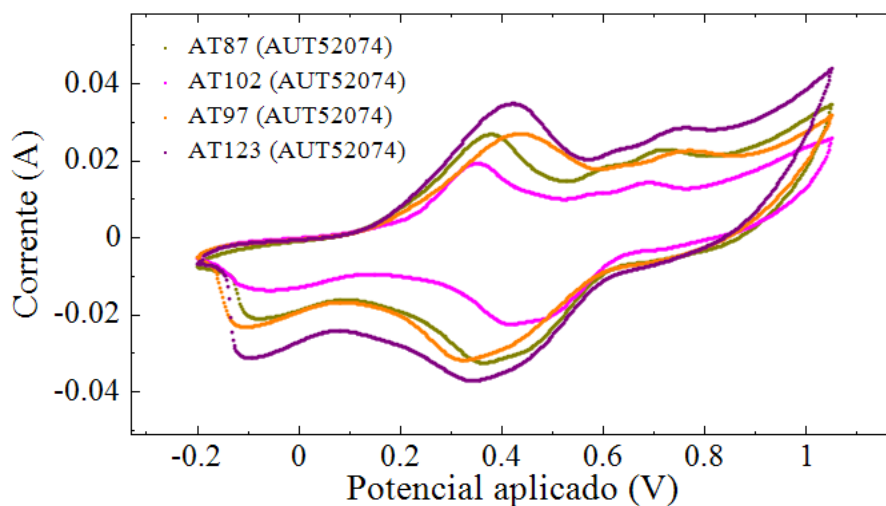


Figura 7: Medidas de ciclagem das amostras com melhores valores de capacitância, potência e energia.

Nome	Capacitância (F/g)	Potência (W/Kg)	Energia (Wh/Kg)
AT96	153,39	1917,36	32,91
AT97	201,71	2521,32	41,52
AT79	99,55	1244,32	21,51
AT107	122,24	1528,03	26,34
AT101	87,73	1096,62	70,13
AT102	116,99	1462,34	25,51
AT83	99,85	1248,07	21,25
AT84	93,78	1172,20	20,52
AT116	65,79	822,31	13,71
AT86	101,68	1271,01	21,19
AT87	147,17	1839,64	30,58
AT122	124,59	1557,35	26,69
AT123	132,69	1658,68	27,65
AT90	87,21	1090,06	18,08
AT91	131,19	1639,82	27,32

Tabela 3: Capacitância (F/g), Potência (W/Kg) e Energia (Wh/Kg) das amostras



4. Próximas Etapas

Serão preparadas mais amostras dos compósitos para fazer mais testes de impedância eletroquímica e de voltametria cíclica, a fim de se obter duplicata de todos os resultados, além de também serem feitas amostras com adição de grafeno eletroquimicamente esfoliado. Bem como também serão feitas outras caracterizações utilizando as técnicas de Difração de raios-x, Microscopia eletrônica de varredura e Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier.

5. Conclusões

Os resultados obtidos através de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica e de Voltametria Cíclica permitiram chegar à conclusão de que a amostra AT97 é a mais indicada para utilização em supercapacitores, já que apresentou maior condutividade, capacitância, potência e energia. Com isso percebe-se que a temperatura de 1300°C é a mais indicada para tratamento do Carbono Vítreo Reticulado que será utilizado nesse tipo de dispositivo, bem como o pré-tratamento também é importante, assim ocorrerá maior polimerização de PANI no eletrodo.

Referências

- [1] PENG, C.; ZHANG, S.; JEWELL, D.; CHEN, G. Z.; **Carbon nanotube and conducting polymer composites for supercapacitors**, Prog. Nat. Sci. 18, p.777–788, 2008.
- [2] SNOOK, G. A.; KAO, P.; BEST, A. S.; **Conducting-polymer-based supercapacitor devices and electrodes**, J. Power Sources 196, p.1–12, 2011.
- [3] ZHANG, R.; PANG, H.; **Application of graphene-metal/conductive Polymer based composites in supercapacitors**. Journal of Energy Storage, v.33, 2021
- [4] SYED, A. A. e DINESAN, M. K. “**Review: Polyaniline-A Novel Polymeric Material**,” Talanta, vol. 38, pp. 815–837, 1991.
- [5] HORNG, Y. Y.; LU, Y. C.; HSU, Y. K.; CHEN, C. C.; CHEN, L. C.; CHEN, K. H. **Flexible supercapacitor based on polyaniline nanowires/carbon cloth with both high gravimetric and area-normalized capacitance**, Journal of Power Sources, v.195, p. 4418–4422, 2010.
- [6] CANDELARIA, S. L.; SHAO, Y. Y.; ZHOU, W.; LI, X. L.; XIAO, J.; ZHANG, J. G.; WANG, Y.; LIU, J.; LI, J. H.; CAO, G. Z.; **Nanostructured carbon for energy storage and conversion**, Nano, Energy, p.195-220, 2012.
- [7] ZHANG, L. L.; ZHAO, X. S.; **Carbon-based materials as supercapacitor electrodes**, Chem. Soc. Rev. 38, p.520-525, 2009.
- [8] MONDAL, A. K.; KRETSCHMER, K.; ZHAO, Y.; LIU, H.; FAN, H.; WANG, G.; **Naturally nitrogen doped porous carbon derived from waste shrimp shells for high-performance lithium-ion batteries and supercapacitors**. Microporous and Mesoporous Materials, v.246, p.72–80, 2017.



PIBIC-RELATÓRIO

Título do projeto de pesquisa: **Método de Monte Carlo/Markov Chain aplicado à Análise Estrutural**

Bolsista: THALIS Otávio Siqueira de Oliveira

Orientador: MAURÍCIO Guimarães da Silva, Pesq

Período a que se refere o relatório: Agosto de 2020 a Julho de 2021

Resumo

Neste trabalho foi implementado numericamente o cálculo da confiabilidade de uma rede de dispositivos, para qualquer que seja a disposição dos mesmos, além da possibilidade de expansão do código. A metodologia a ser apresentada envolve a utilização do **Método de Monte Carlo/Markov Chain** na inclusão das incertezas associadas à confiabilidade de cada dispositivo. Este trabalho foi implementado em um formato normalizado, na plataforma MATLAB™ e o código computacional desenvolvido gerou funções que podem auxiliar nos trabalhos da Divisão de Tecnologias Sensíveis e de Defesa.

1 Introdução

A confiabilidade estrutural se preocupa com a natureza aleatória dos parâmetros que definem um sistema estrutural, principalmente com a variabilidade das mesmas. Esta variabilidade será presente nos sistemas estruturas sob a forma de incertezas físicas, devido a fatores humanos, do modelo estrutural adotado, etc.

Esta pesquisa tem como objetivo principal o desenvolvimento de um método numérico capaz de, a partir de amostras geradas de diversas simulações numéricas de confiabilidade de uma rede, estimar a chance de um evento futuro acontecer, mediante a fatores adversos. O método de Monte Carlo/Markov Chain (MCMC) é uma das ferramentas estatísticas que pode ser adaptado para esta aplicação.

A ideia principal do trabalho é utilizar dados de média e desvio padrão de N dispositivos dispostos tanto em série quanto em paralelo - assim como ambos - para encontrar a confiabilidade da rede. Para resolver esse problema, foi utilizado o método MCMC e, a partir destes, estimar a correspondente função distribuição de probabilidade (PDF).



1.1 Objetivo

- Implementação do **Método Monte Carlo Markov Chain** (MCMC) na quantificação das incertezas associadas à confiabilidade de um sistema/rede.

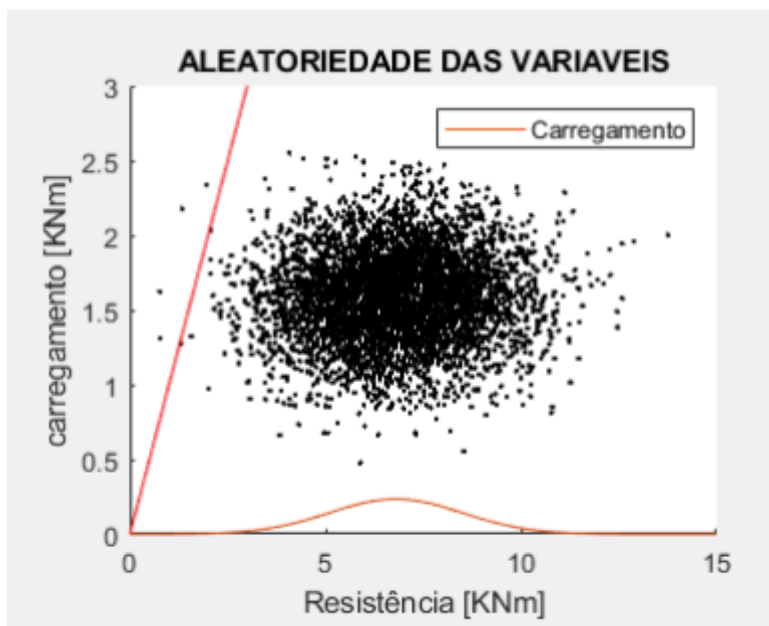
2 Materiais e Métodos

2.1 Método MCMC para confiabilidade de um sistema de componentes

O método a ser utilizado é baseado na tentativa e erro, e pode ser chamado de um método exato quando $n \rightarrow \infty$, onde n equivale ao número de iterações utilizados. Este método constitui de alguns passos:

- É gerado um conjunto de variáveis aleatórias que representam as variáveis básicas do problema mas que apresentam erros associados. No MATLAB™ as funções *rand* e *randn* podem ser utilizadas [1].
- De acordo com a função proposta para o problema, pode ser gerado um gráfico ou uma lista que mostra as regiões/tentativas nas quais as variáveis aleatórias resultaram em uma falha ou não.
- Por fim, contabilizar a falha sendo a razão do número de vezes que o teste falhou pelo número de testes realizados, a confiabilidade é o complemento deste valor. Para um caso carregamento x resistência, a Figura 1 ilustra o resultado dos passos apresentados.

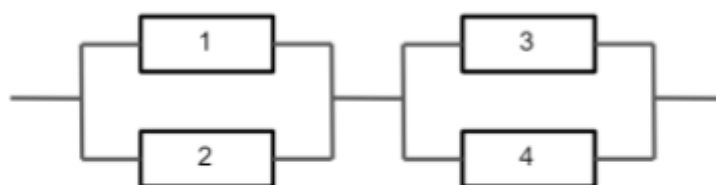
Figura 1: Exemplo da aplicação do método MCMC



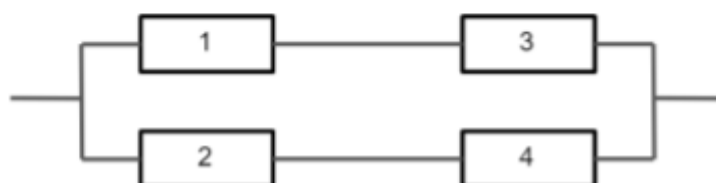
Neste exemplo, a reta diagonal representa o limite da função na qual ocorre a falha deste caso ou não. À esquerda apresentam algumas amostragens por MCMC que representam a falha do sistema. Para quantificar a falha, bastaria fazer a razão entre a soma da quantidade de amostras que caíram à esquerda da função limite pela quantidade total de amostras.

A mesma lógica apresentada da aplicação do Método de Monte Carlo/Markov Chain para o cálculo da confiabilidade pode ser utilizada em componentes de um sistema.

Figura 2: Exemplo de rede de dispositivos para cálculo da confiabilidade
Série-Paralelo



Paralelo-Série





Na Figura 2, cada componente enumerado pode apresentar erros intrínsecos de funcionamento, a depender da fabricação, da utilização, das propriedades do meio, etc. Tendo em mente isso, o propósito é então estimar a chance de funcionamento pleno do sistema, mediante a fatores adversos. A confiabilidade está relacionada com a representação de algoritmos combinatórios para o cálculo do funcionamento para qualquer combinação geral de componentes, dadas as confiabilidades dos componentes individuais [2].

Algumas hipóteses precisam ser consideradas em todos os sistemas:

- A confiabilidade do sistema é avaliado em um ponto t no tempo, ou seja, componentes apresentam confiabilidades estáticas.
- Os componentes do sistema apresentam dois estados: operantes e não-operantes.
- Componentes falham individualmente.

Num dado tempo $t > 0$:

$$X_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{se o } i\text{-ésimo componente está funcionando,} \\ 0, & \text{se o } i\text{-ésimo componente não está funcionando} \end{cases}$$
$$X(t) = \begin{cases} 1, & \text{se o sistema está funcionando,} \\ 0, & \text{se o sistema não está funcionando} \end{cases}$$

Seja $p_i(t) = P\{X_i(t) = 1 | p_i(t)\}$ a confiabilidade do i -ésimo componente e $P_i(t) = P\{X_i(t) = 1\}$ a confiabilidade esperada onde

$P_i(t) = E(p_i(t)) = \int p_i(t) \pi(p_i(t)) dp_i(t)$. A quantidade $\pi(p_i(t))$ é uma distribuição de probabilidade no intervalo unitário e descreve a incerteza sobre $p_i(t)$. Sob certas condições, $P(t)$ depende de $h(P_1(t), \dots, P_n(t))$ onde h depende da estrutura do sistema sendo série ou paralelo [2].

2.2 Componentes em série

Para a confiabilidade da rede na Equação 1 na disposição em série dos componentes, o funcionamento só ocorrerá se individualmente todos os componentes funcionarem.



$$R_S = P(E_1) \times P(E_2) \times \dots \times P(E_n) \quad (1)$$

ou

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2)$$

onde $P(E_n)$ equivale à confiabilidade do componente n e R_S é a confiabilidade do sistema. Neste caso, o funcionamento do sistema consiste no funcionamento de cada componente individual (interseção de eventos).

É uma característica de um sistema em série que a confiabilidade decresce rapidamente à medida que aumenta o número de componentes. Um limite superior de confiabilidade equivale a confiabilidade do componente mais fraco.

2.3 Componentes em paralelo

Para a confiabilidade da rede apresentada na Equação 4 na disposição em paralelo, todos os componentes precisam falhar para que aconteça a falha no sistema, logo:

$$Q_S = P(\bar{E}_1) \times P(\bar{E}_2) \times \dots \times P(\bar{E}_n) = \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (3)$$

$$R_S = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (4)$$

onde Q_S equivale a não-confiabilidade do sistema, sendo que $R_S = 1 - Q_S$

É uma característica de um sistema em paralelo que a confiabilidade do sistema aumenta rapidamente à medida que aumenta o número de componentes. A confiabilidade é maior que a maior confiabilidade de um componente individual.

Utilizar de disposição em paralelo dos componentes é benéfica pois possibilita a adição de componentes em “standby”, ou seja, componentes que só funcionarão caso algum componente do sistema falhar [2].



2.4 Combinações Paralelo-Série

Para sistemas com combinações de componentes em paralelo-série, basta decompor e resolver separadamente cada bloco de componentes. A confiabilidade de um bloco de componentes em paralelo torna a confiabilidade de um componente em série com outro, a lógica inversa também pode ocorrer.

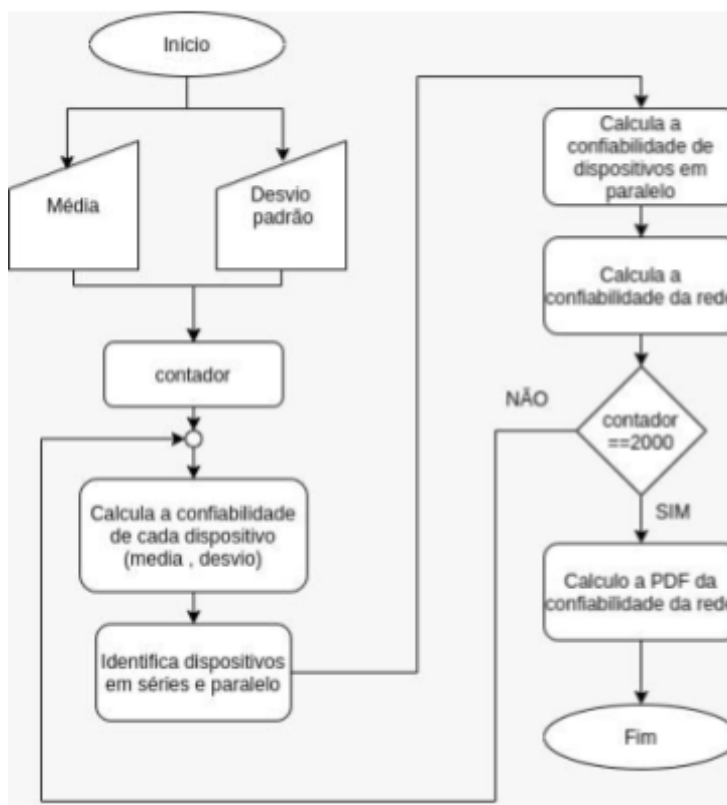
As combinações paralelo-série serão estudadas neste trabalho para desenvolver um código que implemente desvios nos valores de confiabilidade dos componentes individuais. Outras disposições são encontradas na literatura, que compreendem sistemas nas quais não se encaixam nem em séries e nem paralelos, e são resolvidos desenvolvendo uma análise Bayesiana para este sistema complexo de componentes [2].

Por fim, além da confiabilidade do sistema encontrada, será obtido um gráfico relativo a PDF (Probability Density Function) do problema, que envolve teorias de estatísticas previamente estudadas em Neto(2002) na proposta anterior de pesquisa [3].

3. Resultados

A lógica utilizada para o desenvolvimento do código foi a seguinte:

Figura 3: Fluxograma do código desenvolvido

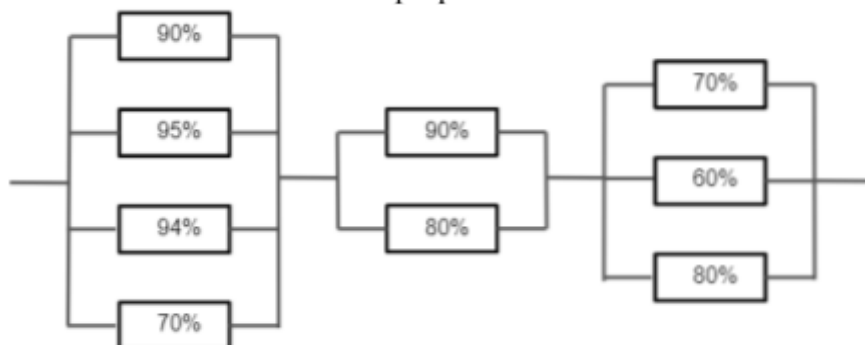


O código desenvolvido necessita a entrada manual da confiabilidade média e desvio padrão de cada componente do sistema. Primeiramente para o método MCMC, encontra-se a confiabilidade individual dos componentes levando-se em conta os desvios, por meio de uma função *rand* ou *randn* do MATLAB. Existe um procedimento computacional para encontrar a confiabilidade da rede, gerando por fim o gráfico da PDF em questão.

Um exemplo da utilização do código, considerando rede série-paralela, cada componente abaixo apresenta uma média da confiabilidade além de um desvio padrão específico, configurados da seguinte maneira.

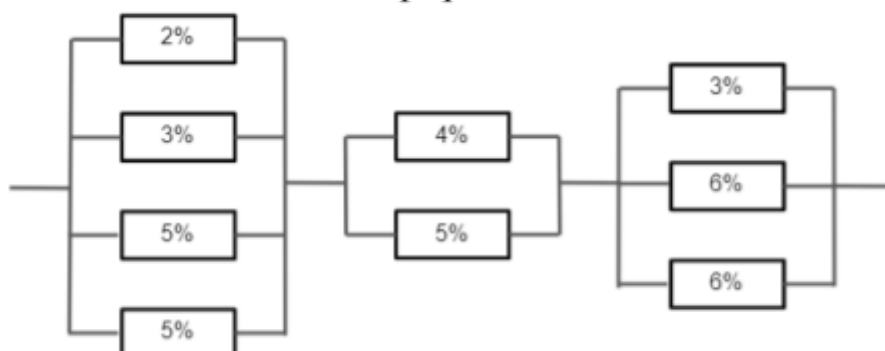
- Média da confiabilidade dos componentes individuais.

Figura 4: Média de confiabilidade da rede de dispositivos proposta



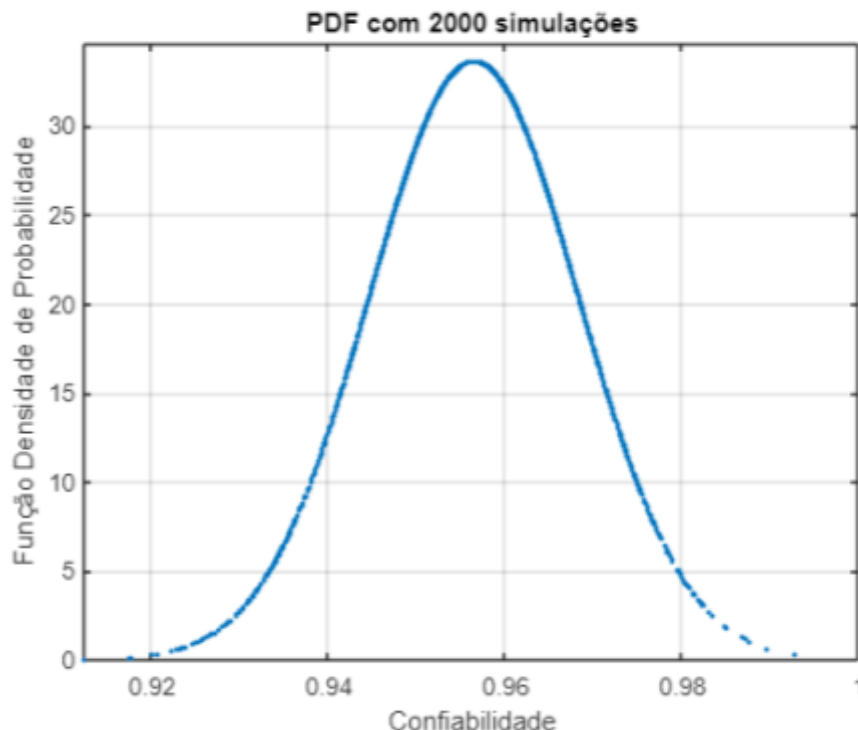
- Desvio padrão da confiabilidade dos componentes individuais.

Figura 5: Desvio padrão de confiabilidade da rede de dispositivos proposta



O código tem como resultado para esse caso uma confiabilidade média de **95,73%** e fornece o seguinte gráfico da função densidade de probabilidade (PDF).

Figura 6: Função densidade de probabilidade do exemplo proposto



4. Próximas Etapas

5. Conclusões

Este projeto disponibiliza um código computacional que permite quantificar o risco verificado a sistemas de dispositivos que envolvem variações nas suas confiabilidades individuais. O código desenvolvido neste projeto pode ser utilizado de forma direta em diversas análises de engenharia quando necessárias, havendo a possibilidade de expansão do mesmo. Este trabalho pode também ser utilizado para verificar a eficiência em adicionar dispositivos em paralelo, levando-se em conta a confiabilidade da rede e do investimento. Esta implementação foi avaliada pelo grupo de trabalho da Divisão de Sistemas Sensíveis e de Defesa (ASD) e foi considerada satisfatória.



6. Divulgação dos Resultados

NA

Referências

- [1] Introdução ao MATLAB para Engenheiros - 3.ed.. (2013). (n.p.): AMGH Editora.
- [2] Fogliatto, F. S., Ribeiro, J. L. D. (2009). Confiabilidade e manutenção industrial. Brasil: Elsevier.
- [3] Costa Neto, P. L. d. O. d. (2002). Estatística. Brasil: Edgard Blücher.



RELATÓRIO FINAL- PIBIC/PIBITI

Título do projeto de pesquisa: Avaliação das propriedades mecânicas do aço maraging 300 em diferentes parâmetros de envelhecimento

Bolsista: Thayná Rodrigues do Prado

Orientador (a): Tiago AlegrettiZucarelli

Período a que se refere o relatório: Agosto 2020 a julho 2021

Resumo

O aço maraging é uma liga de ultra resistência utilizada em produto que necessita da combinação de resistência mecânica e tenacidade. Apesar de apresentar um processo de fabricação complexo, que onera expressivamente o material, o tratamento térmico desse aço apresenta ciclo de baixa temperatura e tempo, em comparação ao tratamento térmico dos aços tradicionais (têmpera e revenimento) aliada a baixa perda de produção devido à ausência de deformação do material durante o tratamento térmico, resultando em um material economicamente viável. Atualmente o Instituto de Aeronáutica e Espaço estuda a utilização do aço maraging na fabricação de envelopes motores para foguete de sondagem, em substituição ao aço SAE 4140. O presente trabalho tem como objetivo estudar a evolução das propriedades mecânicas do aço maraging 300 em diferentes condições de tratamento térmico para contribuir com o desenvolvimento deste processo nos produtos com este aço. Foram estudadas nove condições de envelhecimento, nas quais variaram os parâmetros de tempo de envelhecimento (3h, 5 h e 6h) e temperatura (420 °C, 450 °C e 480 °C), sendo possível observar a melhor progressão das propriedades mecânicas na condição de 480°C em 6 h, apresentando uma dureza média de 54 HRC, seguido de uma tensão de escoamento média de 1832,32 MPa.

1. Introdução

O aço maraging possui alto teor de elemento de liga e pouquíssimo teor de carbono (<0,03%), os principais elementos da sua composição são: ferro, níquel, cobalto, molibdênio



e titânio. Este aço é dividido em séries que variam de acordo com a resistência mecânica, sendo os mais comuns: 200, 250, 300 e 350, sendo as séries referentes a resistência em ksi (limite de escoamento) alcançado após o envelhecimento [1, 2, 3]. O seu nome vem em relação a sua matriz martensítica (martensite) e pelo seu tratamento térmico, que é por envelhecimento (aging).

O endurecimento deste aço ocorre pela precipitação de compostos intermetálicos (Ni_3Ti , Ni_2Mo , Fe_2Mo , Fe_6Mo_6 , entre outras) em sua matriz martensítica. As colaborações dos elementos de liga é de extrema importância, o titânio (Ti), junto com o níquel (Ni) tem a função de formar os primeiros precipitados (Ni_3Ti) que aumenta expressivamente; o molibdênio (Mo), não solubilizado, também precipita com o níquel, formando Ni_2Mo e com a matriz de ferro, gerando Fe_2Mo , Fe_6Mo_6 e o cobalto (Co), tem a função de diminuir a solubilidade do molibdênio (Mo) (aumentando sua precipitação com o níquel e ferro). [2, 3, 4, 5].

Os tratamentos térmicos aplicados no aço maraging são a solubilização e o envelhecimento. Na solubilização, o material é aquecido acima da temperatura de austenitização (obtendo uma única fase, a austenita), nesse momento é colocado todos os elementos em solução sólida, seguido de resfriamento, garantindo a existência de uma fase predominante. Devido a concentração de níquel (aproximadamente 18,5%) a estrutura martensítica é obtida em praticamente em todas as taxas de resfriamento[4, 6].

Na etapa do envelhecimento, o material é aquecido em temperaturas inferiores a 600°C , visando a precipitação de fases intermetálicas (ocorrendo interações nos elementos de liga). Nesse procedimento é elevada a resistência mecânica e eliminadas as tensões no material [7, 8]. A precipitação inicia nas discordâncias e depois há o crescimento dos precipitados por difusão [3, 6, 9].

Quando se mantêm o envelhecimento por períodos longos, ou alta temperatura, acontece o fenômeno de superenvelhecimento, resultando no coalescimento do precipitado e levando a perda de resistência mecânica, isso acontecendo pelo excesso de níquel que irá estabilizar a austenita, chamada de austenita revertida [1, 10].

Agregando os seus componentes químicos e seu tratamento térmico, o aço maraging apresenta uma estrutura maleável e de fácil processamento na condição solubilizada e após o envelhecimento, alta resistência mecânica aliada a uma expressiva tenacidade. Por essas



características este material tem aplicações na área aeroespacial, aeronáutica, nuclear e militar [10].

O presente trabalho tem como objetivo estudar o tratamento térmico de envelhecimento do aço maraging 300 em condições diferentes de temperatura e tempo, visando avaliar suas propriedades mecânicas e obter os parâmetros ideais para o seu tratamento térmico.

2. Materiais e Métodos

2.1 Material

O material utilizado é o aço maraging 300, cedido pela Subdivisão de Fabricação (AME-F). Foram confeccionados 27 corpos de prova para ensaio de tração, retirados perpendicularmente ao sentido de laminação da chapa, com geometria *subsize* conforme a norma ASTM E8 [11].

2.2. Tratamento térmico

O tratamento térmico de envelhecimento foi executado na Divisão de Materiais (AMR), no Laboratório de Tratamento Térmico (LTTE). Foram utilizados três fornos: Forno BrasimetKOe 40/25/65, Forno FORTLAB ML 1400 e Forno KOe 25/15/40. O envelhecimento foi realizado nas temperaturas de 420°C, 450°C e 480°C, e para cada temperatura houve três tempos diferentes: 3h, 5h e 6h. E para cada tempo, foram usados três corpos de prova. Após o tratamento térmico, os corpos de prova foram resfriados ao ar até a temperatura ambiente.

2.3 Ensaio de dureza

A medição de dureza foi realizada na metodologia Rockwell C, conforme a norma ASTM E18 [12], efetuada na Divisão de Materiais (AMR), do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). No ensaio foi utilizado o durômetro Wilson Rockwell Hardness Tester. O valor da faixa de dureza foi obtido por quatro impressões realizadas na cabeça de cada corpo de prova de tração, totalizando 12 valores por condição de envelhecimento.

2.4 Ensaio tração

O ensaio de tração foi realizado conforme a norma ASTM A370 [13] na Divisão de Integração e Ensaio (AIE) X-20, sendo utilizada uma máquina universal de ensaio 810 Material Test System (MTS) com garra hidráulica, assistido pelo software MTS Flex Test 40 (MTS Testing Solutions).

3. Resultados

3.1 Ensaio de Dureza

A Figura 1 apresenta os valores de dureza nas diferentes condições de tratamento térmico e a Tabela 1 apresenta a faixa das durezas na escala Rockwell C.

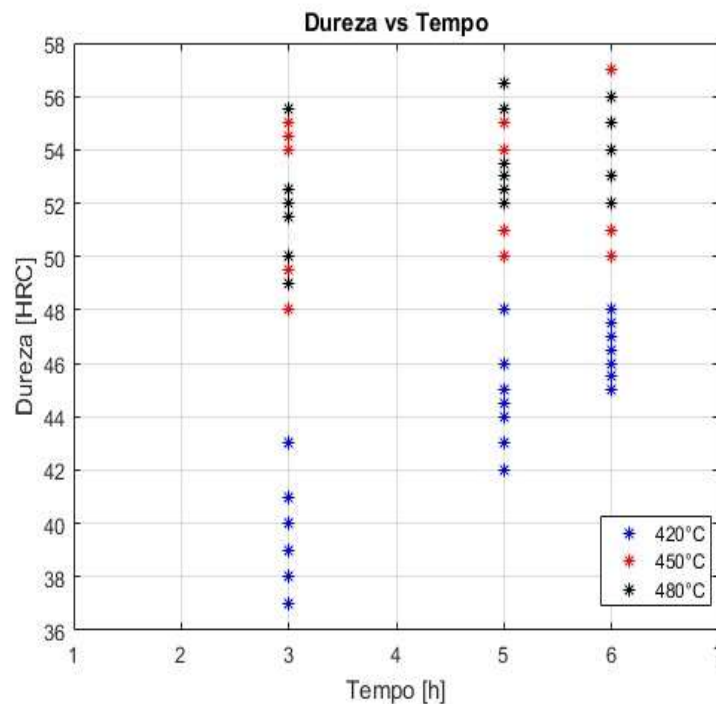


Figura 1. Gráfico de dureza por tempo de envelhecimento

Tabela 1. Faixa de dureza na escala HRC.

T(°C)	3h	Média (3h)	5h	Média (5h)	6h	Média (6h)
420	37-43	40	42-48	45	45-50	47
450	48-55	51	50-55	52	50-57	53
480	49-56	51	52-56	53	52-56	54



A aluna Sabrina Fernandes Rezende (aluna do grupo de trabalho do orientador da presente pesquisa), em seu trabalho do programa PIBIC 20-21, caracterizou o mesmo material, porém estando apenas solubilizado, a dureza média obtida foi de 34 HRC e já na primeira condição de envelhecimento (420°C), o material atingiu 40, 45 e 47 HRC.

Observa-se que o principal parâmetro que contribui para o aumento da dureza é a temperatura. Para todas condições de tempo (3h, 5h e 6h) a temperatura 420°C apresentou a menor dureza. As temperaturas de 450 °C e 480 °C apresentaram valores similares, apesar do maior valor ter sido medido na condição de 450 °C por 6h (57 HRC), destaca a combinação de parâmetros de 480 °C por 6h como a condição que oferece a dureza mais homogênea, apresentando uma menor faixa de variação.

3.2 Ensaio de Tração

Por meio do ensaio de tração foram avaliadas as seguintes propriedades: limite de escoamento (σ_e), limite de resistência à tração (LRT) e limite de fratura (σ_f). O valor médio máximo do limite de resistência mecânica encontrado foi de 1988,45 MPa (parâmetro de 450°C em 6h) e o valor médio máximo do limite de escoamento encontrado foi de 1845,61 MPa (parâmetro de 480°C em 5h). Os valores médios obtidos no ensaio de tração a temperatura ambiente são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado do ensaio de tração

Condição (°C)	Tempo (h)	σ_e (MPa)	LRT (MPa)	σ_f (MPa)
420	3	1105,98	1188,74	607,30
	5	1381,21	1459,76	866,61
	6	1453,43	1550,21	947,13
450	3	1823,88	1931,36	1186,86
	5	1834,44	1944,74	1195,12
	6	1866,65	1988,45	1210,49
480	3	1784,08	1875,18	1121,48
	5	1845,61	1936,93	1169,00
	6	1832,32	1949,33	1251,87

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam respectivamente as curvas tensão x deformação para as temperaturas de 420 °C, 450 °C e 480°C.

Na condição de 420 °C ocorre um fenômeno que merece destaque. Diante do aumento do tempo de 3 h para 5 h, a tenacidade (área abaixo da curva) aumenta expressivamente junto com o aumento da resistência mecânica, tal ocorrência não é comum nos materiais metálicos. No incremento de 5 h para 6 h, é constatado o aumento da resistência, acompanhado de uma redução na deformação (manutenção da tenacidade).

As curvas para a temperatura de 450 °C, apresentaram um formato similar. Para a temperatura de 480 °C, houve uma curva no tempo de 6 h que apresentou um comportamento diferente das demais, provavelmente devido alguma anomalia na execução do ensaio.

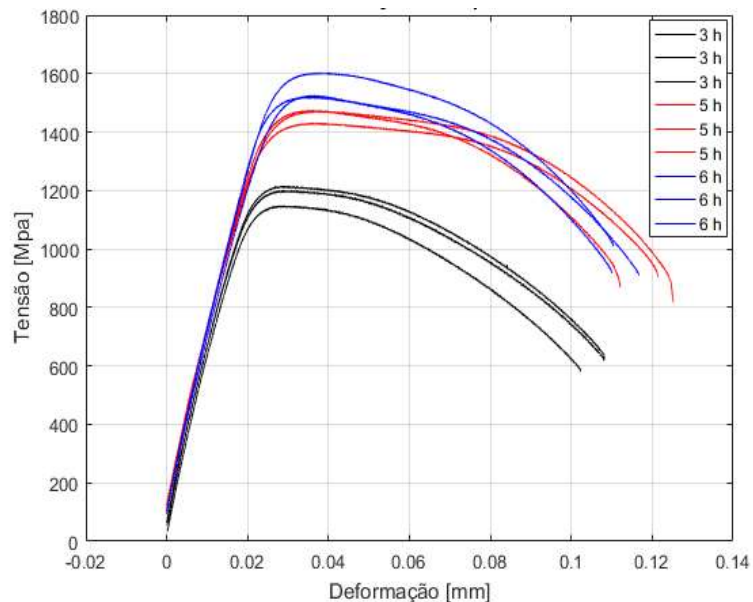


Figura 2. Tensão vs deformação- Temperatura 420°C.

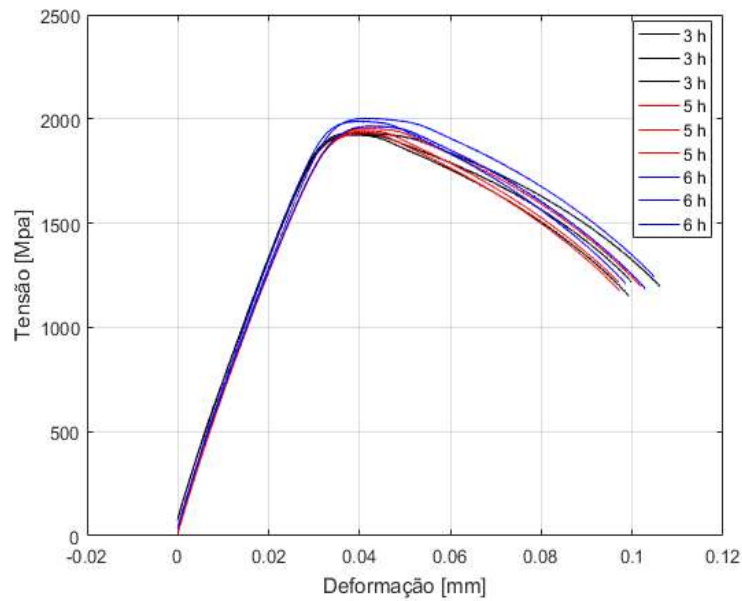


Figura 3. Tensão vs deformação- temperatura 450°C.

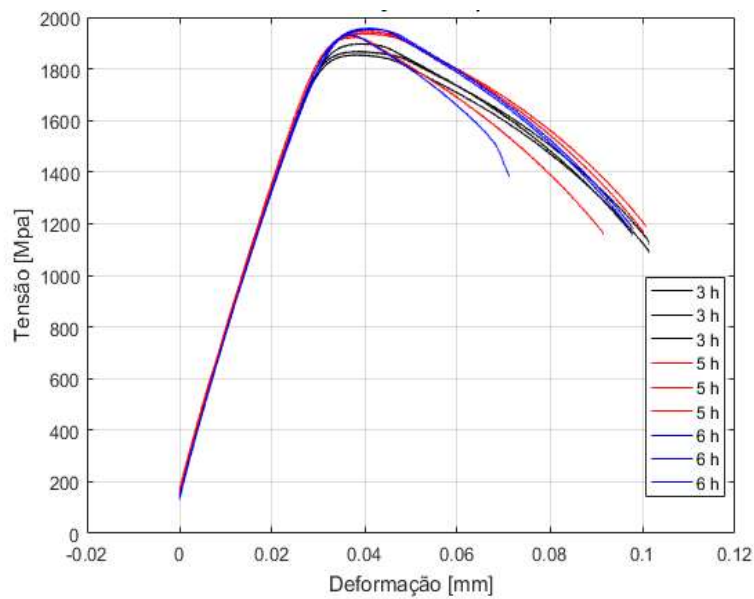


Figura 4. Tensão vs deformação- temperatura 480°C.

3.3 Relação entre dureza e resistência

Considerando que o limite de resistência à tração e a dureza são indicadores da resistência de um metal mediante a uma deformação plástica, podemos afirmar que por consequência, eles são aproximadamente proporcionais [12]. Para a maior parte dos aços, a dureza HB (Dureza Brinell) e o limite de resistência à tração estão associados de acordo com:



$$LRT = K \cdot HB \quad (1)$$

Onde:

LRT= Limite de resistência (MPa).

HB = Dureza na escala Brinell

K = Constante de correlação (3,45)

Para determinar a constante de correlação (K) do aço maraging 300 foram analisados os limites de resistência para todas as condições ensaiadas com os valores de dureza convertidos para a escala Brinell, conforme norma ASTM E140 [14], sendo os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros para a correlação do limite de resistência a tração e a dureza.

Tempo (°C)	T (h)	LRT (MPa)	Dureza média (HRC)	Dureza média (HB)	Constante (K)
420	3	1188,74	39,67	371	3,20
	5	1459,78	44,96	421	3,47
	6	1550,21	46,92	443	3,50
450	3	1931,36	51,25	496	3,89
	5	1944,74	52,42	512	3,80
	6	1988,45	53,17	525	3,79
480	3	1875,19	51,42	496	3,78
	5	1936,93	53,08	525	3,69
	6	1949,33	53,75	543	3,59
					Média: 3,6 ± 0,2

Utilizando os valores de limite de resistência à tração e da sua respectiva dureza com a Equação (1), foi encontrado o valor médio da constante de proporcionalidade, resultando em K= 3,6. Para mais, em relação a aços doce (baixo teor de carbono) vale o mesmo valor de 3,6 [15]. Portanto, a correlação para o aço maraging 300 é dado por

$$LRT \text{ (MPa)} = (3,6) \text{ HB}$$



4. Conclusões

O tratamento térmico de envelhecimento é o mecanismo de endurecimento, e consequentemente um mecanismo de aumento da resistência, do aço maraging 300. O principal parâmetro que incrementa o aumento da resistência mecânica é a temperatura. Entre as condições aplicadas, a que resultou maior dureza e as melhores propriedades mecânicas foi o tratamento a 480°C em 6 h.

5. Divulgação dos Resultados

O presente trabalho foi apresentado no Congresso Acadêmico da Unifesp 2021: Universidade em Defesa da Vida, 2021 (Sala 7 Sessão 171) e será apresentado no XVII ENICT/IAE – Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica do IAE, que ocorrerá no dia 02 de setembro de 2021.

6. Referências

- [1]NUNES, Glécilla C. S. Síntese e caracterização do aço maraging-350 tratado termicamente sob diferentes condições. Pós-graduação em física, Universidade Estadual de Maringá. Maringá- PR, 2015
- [2]LOPES, Julio C. O. Os aços Maraging. C.Tecn. Mat., Lisboa , v. 19, n. 1-2, p. 41-44, jan. 2007.
- [3]RABELO, Alexsandro et al. Influência do tratamento térmico sobre a microestrutura e propriedades mecânicas do aço maraging C300 obtido por fusão seletiva a laser (FSL).m 2016.
- [4]PADIAL, Armando G. F. Caracterização microestrutural do aço maraging de grau 400 de resistência mecânica ultra-elevada. 2014.
- [5]Camarinha, Maria G. G. Avaliação do comportamento em fadiga do aço Maraging 300 submetido a processo de soldagem a laser. Diss. Dissertação (Mestre em Ciências–Materiais Metálicos, Cerâmicos e Poliméricos)–Escola de Engenharia de Lorena-Universidade de São Paulo. Lorena, 2013.
- [6]CARVALHO, Leandro G. Estudo dilatométrico das transformações de fase em aços maraging M300 e M350. 2012. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2012



- [7]SANTOS, Pedro L. L. et al. Caracterização e envelhecimento do aço maraging C300 processado por fusão seletiva a laser (SLM). 2019.
- [8]CARVALHO, Leandro G. Um estudo cinético da precipitação de compostos intermetálicos e da reversão da martensita em aços maraging 300 e 350. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016
- [9]MELO, Ricardo V. et al. Efeito da deformação à frio da martensita, do tempo e da temperatura de envelhecimento sobre a microestrutura e dureza do aço maraging 300. 2015.
- [10]SILVA, André L. V. C. e MEI, Paulo R. Aços e ligas especiais.3. ed. São Paulo: Blucher, 2014.
- [11]ASTM E8/E8M. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. Annual Book of ASTM Standards, 2010.[12]ASTM E18/18M-11. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. STM International, p. 38, 2018.
- [12] CALLISTER Jr., W. D.. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9ª edição. Rio de Janeiro: LTC, pag 178, 2016.
- [13]ASTM A370-20, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.
- [14]ASTM E140-12B: Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness. 12 ed. West Conshohocken: ASTM International; pag 3, 2013.
- [15]CANALE, L. Ensaio de dureza e de impacto: Relação entre Dureza e Limite de Resistência. Universidade de São Paulo; Departamento de Engenharia de Materiais de São Carlos, pag 12, 2021.



RELATÓRIO PARCIAL - PIBIC/PIBITI

Título do projeto de pesquisa: Projeto de Rede de Sensores
Bolsista: Vinicius Leite Lemes
Orientador(a): Alison de Oliveira Moraes
Período a que se refere o relatório: Agosto de 2020 a julho de 2021

Resumo

Internet das Coisas é o modo como equipamentos estão conectados e se comunicam entre si e com usuários. Na atualidade, este conceito abre caminho para a utilização de sensores inteligentes e aplicativos que trabalham de forma eficiente em rede. Os benefícios desta tecnologia incluem a possibilidade de troca de informações entre múltiplos usuários além do uso benéfico dos dados, permitindo a previsão de falhas e a extração de características do sistema através do uso de inteligência artificial. Este projeto visa integrar uma instrumentação de meteorologia com uma plataforma de Internet das coisas. As principais metas deste trabalho são a prova de conceito deste tipo de tecnologia, a possibilidade de acesso remoto a informações e também o uso de sensores e sistemas de processamento, para garantir a eventual implementação em larga escala. Ao longo desta iniciação científica foi montada com sucesso uma estação meteorológica capaz de adquirir dados de temperatura, umidade e CO₂ e como sequência do trabalho, foi implementado um anemômetro que permite adquirir dados referentes a velocidade do vento. Esta estação pode ser acessada através de uma conexão Wi-Fi e os dados coletados são enviados diretamente a um banco de dados em uma nuvem. Através do banco de dados os usuários podem ter o acesso remoto aos dados climáticos para consulta em tempo real ou extração de parâmetros de longo prazo.



1. Introdução

Durante a operação de lançamento de foguetes o conhecimento dos parâmetros meteorológicos nos momentos que antecedem o lançamento é de suma importância. No caso de foguetes de sondagem, os quais o IAE tem tradição de muitas décadas, os dados sobre vento são o principal fator de decisão de lançamento. O conhecimento para um período específico bem como a variação sazonal dos dados meteorológicos é de grande interesse para as atividades operacionais nos lançamentos de foguetes. A tecnologia de Internet das Coisas (IoT) já é uma realidade que vem transformando a vida da sociedade, abrindo possibilidade para serviços e produtos que até recentemente não eram viáveis. Neste relatório será descrita a pesquisa realizada sobre o desenvolvimento de uma estação meteorológica, baseada em tecnologia de IoT, que futuramente pode ser utilizada em média e larga escala nos centros de lançamentos brasileiros para auxiliar nos estudos e também apoiar a decisão durante campanhas de lançamento. A plataforma aqui desenvolvida tem potencial ainda para ser utilizada em cidades e instalações industriais para monitorar a qualidade do ar, por meio das medidas de umidade e CO₂. Este relatório é organizado da seguinte maneira, na seção 2 os materiais e métodos utilizados na construção da plataforma meteorológica são descritos em detalhes. A seção 3 mostra os resultados obtidos, bem como exemplo das potenciais aplicações deste sistema que usa tecnologia de IoT. Na seção 4 serão apresentados os próximos passos deste projeto e finalizando a conclusão descreve as principais considerações deste trabalho.

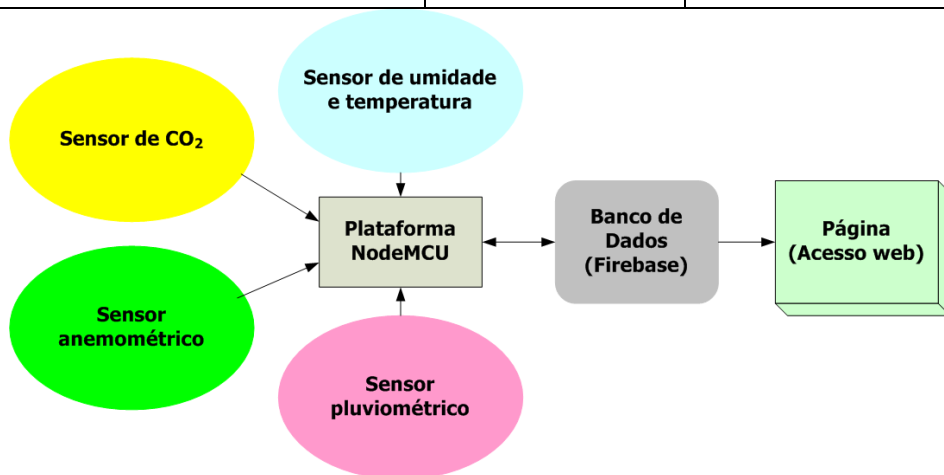
2. Materiais e Métodos

A plataforma de desenvolvimento deste projeto é placa de desenvolvimento modelo NodeMCU. Esta placa opera com um microprocessador com interface de rede ESP8266. No NodeMCU será embarcado o código que realizará a aquisição dos sensores e a comunicação remota. O NodeMCU tem como característica principal as possibilidades de conexão via Wi-Fi que faz com que seja a plataforma de conexão de IoT do projeto. Para o desenvolvimento da estação meteorológica foram utilizados os sensores de CO₂ (CcS-811), umidade relativa do ar e temperatura (DHT11), o sensor Anemômetro. A Figura 1(a) apresenta a arquitetura do sistema desenvolvido e a Tabela 1 lista as respectivas especificações técnicas da plataforma.

Os painéis (b) e (c) da Figura 1 mostram detalhes da montagem dos sensores que integram a plataforma.

Tabela 1: Especificação elétrica da plataforma meteorológica.

Característica	Valor	Unidade
Tensão de alimentação	3,3	volt [V]
Corrente	500	mili ampere [mA]
Escala de medição de temperatura	0° a 50°	celsius [°C]
Escala de medição de umidade	20% a 95%	porcentagem [%]
Escala de medição da velocidade do vento	0km/h a 200km/h	quilometro por hora [km/h]
Escala de medição de pluviosidade	0mm a 145mm	milímetro [mm]
Escala de medição de CO ₂	400 a 8192	partículas por milhão [ppm]
Tipo de conexão	Wi-Fi	802.11 b/g/n
Taxa de transmissão	2.4	giga hertz [Ghz]



(a)



(b)



(c)

Figura 1: (a) Arquitetura da estação meteorológica baseada em IoT. (b) Detalhe da montagem dos sensores, (b) Detalhes da montagem da plataforma de armazenamento a comunicação dos sensores com o ESP8266. Fonte: Autor.

2.1 Sensores utilizados

Esta subseção descreve os detalhes dos sensores utilizados no desenvolvimento da plataforma meteorológica.

2.1.1 Sensor de CO₂

O sensor de CO₂, modelo CCS-811: que pode ser visualizado em detalhes na Figura 2(a). Este sensor opera com baixa potência (1.2mW) e é alimentado com 3.3V. Este sensor integra um sensor de gás de óxido de metal (MOX) que detecta uma ampla variedade de compostos orgânicos voláteis (COV), de tal modo que realiza o monitoramento da qualidade do ar com medidas na faixa de 400ppm a 8192ppm. Este sensor inclui um conversor analógico para digital (A/D) e uma interface I²C para envio dos dados ao NodeMCU. Na Figura 2(b) é possível visualizar o diagrama em bloco do sensor e como ele deve ser integrado com o NodeMCU.

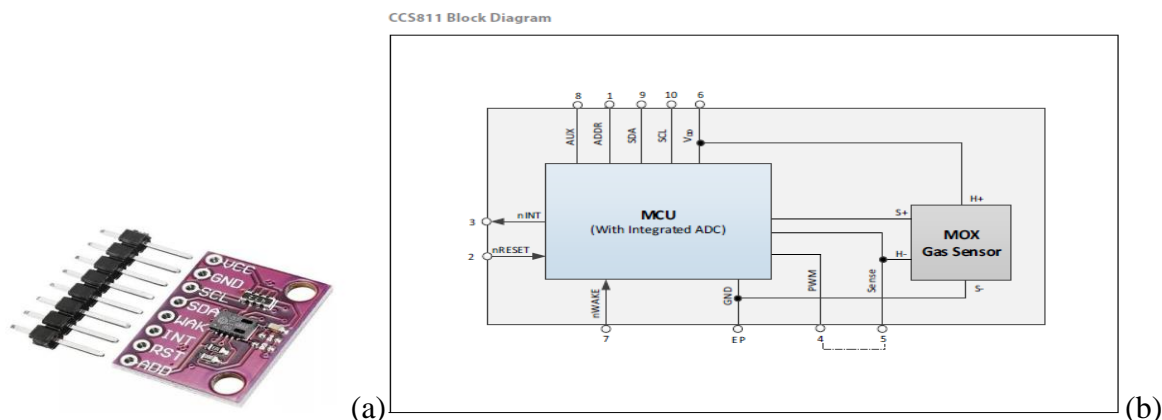


Figura 2: (a) Sensor de CO₂ modelo Ccs-811. (b) Diagrama de conexão entre o sensor Ccs-811 e a plataforma NodeMCU. Fonte: Internet

2.1.2 Sensor de umidade e temperatura

O sensor de umidade e temperatura modelo DHT11 pode ser visualizado na Figura 3(a). Este sensor é capaz de medir a temperatura e umidade relativa do ar. Este sensor, assim com o sensor de CO₂ também é alimentado com 3.3 V. Conforme listado na Tabela 1, a faixa de temperatura deste sensor é de 0° a 50° e sua precisão é de 2°C. A umidade é medida na faixa

entre 20% a 95% com precisão de 5%. Na Figura 3(b) é apresentada a conexão deste sensor com o NodeMCU.

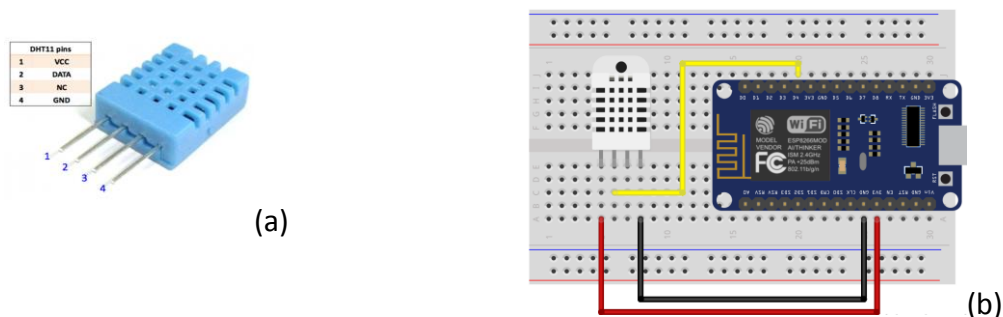


Figura 3: (a) sensor de umidade e temperatura modelo DHT11. (b) Diagrama de conexão entre o sensor DHT11 e a plataforma NodeMCU. Fonte: Internet.

2.1.3 Sensor anemométrico

O sensor anemômetro é composto por um *Reed Switch* que funciona como uma chave, que a cada volta completa emite um pulso. Este sensor é alimentado com 3.3V, a capacidade de leitura da velocidade do vento vai de 0 km/h até aproximadamente 200 km/h. O anemômetro bem como seu esquema de ligações com a plataforma NodeMCU é mostrado na Figura 4.

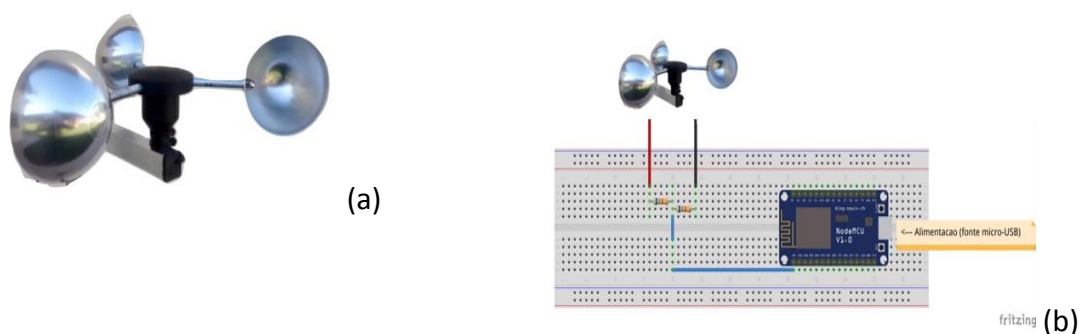


Figura 4: (a) Anemômetro digital, (b) Diagrama de conexão entre o sensor anemômetro e o NodeMCU. Fonte: Internet e Autor.

2.1.4 Sensor pluviométrico

O sensor pluviométrico assim como o sensor anemométrico é composto por um *Reed Switch*, dentro do sensor existe um compartimento piramidal comumente chamado de balsa, que se enche de água até certo nível e faz com que o mesmo oscile gerando assim um chaveamento

que é utilizado para computar o volume de chuva captado. O sensor pluviométrico assim como seu esquema de ligações com a plataforma NodeMCU é mostrado na Figura 5.

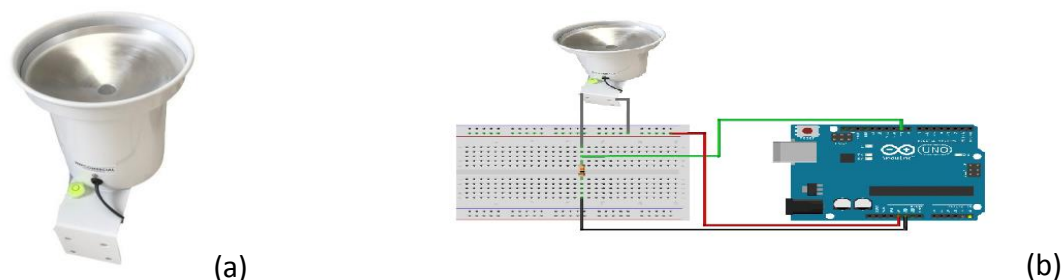
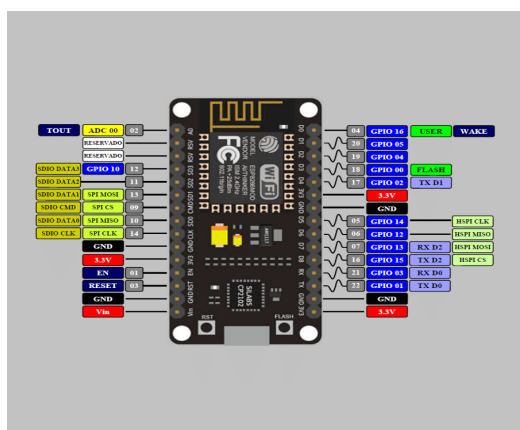


Figura 5: (a) Sensor Pluviométrico, (b) Diagrama de conexão entre o Sensor Pluviométrico e o NodeMCU. Fonte: Internet e Autor.

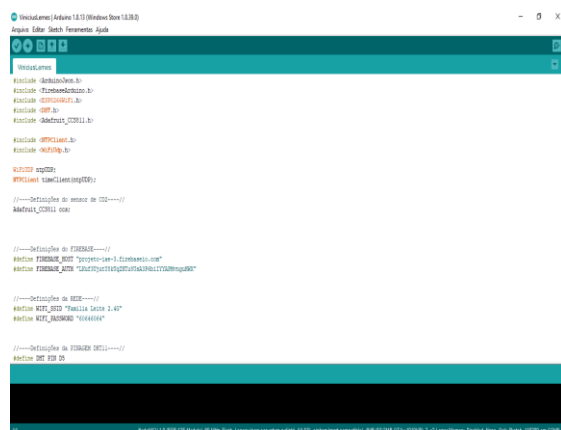
2.2 Plataforma de Internet das Coisas e processamento dos dados

A Figura 6 (a) detalha a plataforma NodeMCU com o chip ESP8266 [2]. Este dispositivo é alimentado com tensão nominal de 3,3 V. Esta plataforma possui 17 interfaces do tipo GPIO (General Purpose Input/Output) que podem ser configuradas como entrada ou saída digitais. Existem ainda 4 interfaces de saída PWM e uma entrada para leitura de dados analógicos. O consumo de corrente desta plataforma é de 170 mA. Há ainda a possibilidade de operação com bateria, neste caso, considerando uma bateria de 3,7V com 1000mAh. Neste caso o NodeMCU tem uma autonomia de 20 horas desconsiderando o consumo dos dispositivos periféricos (sensores).

O NodeMCU permite a conexão Wi-Fi exige 20% da sua capacidade de processamento para operação. Para a tarefa de programação foi utilizada a IDE (Integrated Development Environment) do Arduino que pode ser visualizada na Figura 6 (b) e que utiliza a linguagem C/C++ para programação.



(a)



(b)

Figura 6: (a) Plataforma de Internet das Coisas NodeMCU. (b) Interface de programação IDE-Arduino utilizada no desenvolvimento do projeto (Versão 1.8.39.0). Fonte: Internet e Autor.

2.3 Acesso Web e Banco de dados

A página Web criada para acessar os dados da plataforma foi construída utilizando a IDE Atom, que é mostrada na Figura 7(a). A linguagem de programação adotada foi o Java Script que comunica o Banco de Dados com a interface Web. O layout da página foi feito usando as linguagens HTML e CSS que são duas das principais tecnologias para a criação de páginas da Web.

O banco de dados escolhido para armazenar os dados adquiridos pelos sensores da estação meteorológica foi o Firebase [1]. A Figura 7(b) mostra o banco de dados do projeto. Além do armazenamento, este banco de dados permite a leitura e acesso aos dados em tempo real.

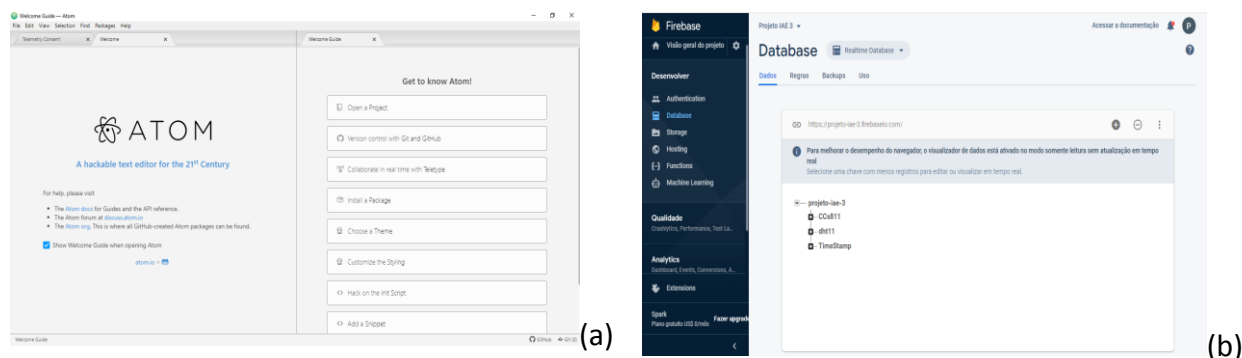


Figura 7: (a) Interface de desenvolvimento da página Web utilizando a IDE Atom (Versão 1.48.0). (b) Banco de dados do projeto da estação meteorológica utilizando o Firebase.

Fonte: Autor.

3. Resultados

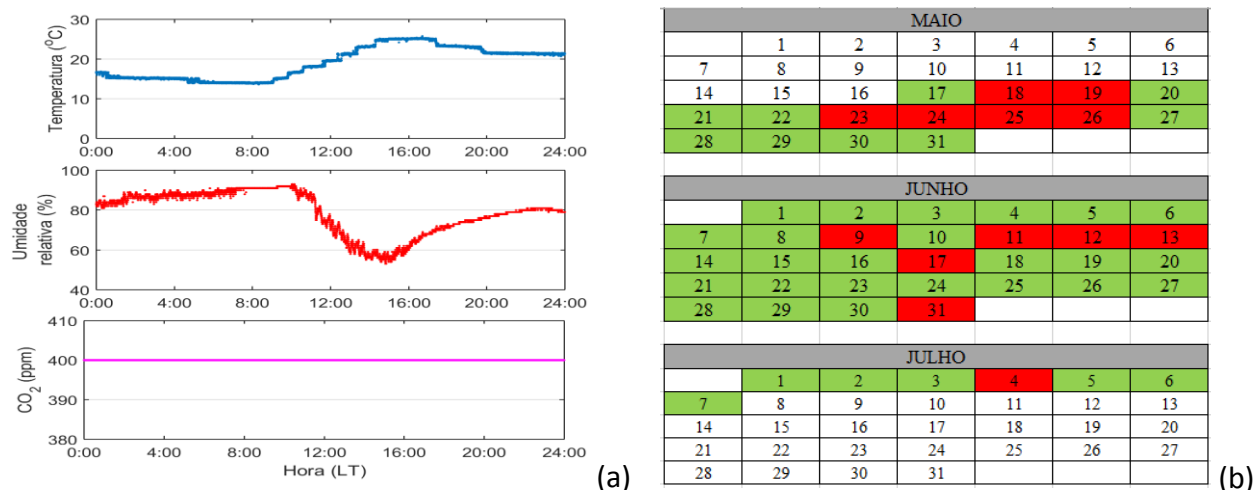
Nesta seção são apresentados os resultados obtidos neste projeto. A Figura 8 mostra um diagrama de contexto da plataforma integrada aos sensores sendo acessada remotamente.



Figura 8: Diagrama de contexto do projeto mostrando a estação meteorológica baseada em Internet das Coisas. Fonte: Autor

Pode-se observar na Figura 9 (a) os dados de temperatura, umidade relativa e CO₂ para um período de 24 horas durante o dia 6 de julho de 2020. Os valores e comportamento das curvas estão coerentes com o esperado, de acordo com o verificado no site do Instituto Nacional de Meteorologia (IBMET), endereço <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosDiarios/A728>. A estação estava instalada na cidade de Taubaté. Nos gráficos observa-se que a temperatura máxima atingida foi de 25.8 °C aproximadamente as 16:00 enquanto que a umidade relativa mínima foi de 53% em torno das 15:00. Os valores de CO₂ mantiveram-se constantes ao longo deste dia. Este exemplo mostra que este tipo de estação nos centros de lançamento poderia realizar estas medidas e os dados poderiam ser acessados pelos especialistas do IAE de forma remota e instantânea.

Além disto, o sistema foi testado continuamente entre os dias 17/05/2020 até 07/07/2020. Durante este período, de 53 dias, a plataforma operou de forma esperada a maior parte do tempo. A Figura 9(b) mostra o calendário com a classificação de operação dos dias. Nesta figura a cor verde representa que a estação operou nominalmente como se esperava e em vermelho os dias onde houve algum problema na captura, envio ou armazenagem dos dados.



Fonte: Autor.

A Figura 10 apresenta a interface Web desenvolvida onde se observa na estação os valores de mínimo, máximo, médio e atual de medição para os dados de umidade temperatura e pressão. Juntamente dessas informações, no cabeçalho são mostrados os dados relativos a data e hora. Estes dados podem ser acompanhados em tempo real, para isto basta acessar o link <https://projeto-iae-3.firebaseio.com/>.



Fonte: Autor.

Importante mencionar que o projeto foi desenvolvido pensando em uma arquitetura de Internet das Coisas que prevê a possibilidade do uso de múltiplas estações no futuro.



4. Próximas Etapas

Nas próximas etapas, serão validados os dados do sensor pluviométrico e anemométrico. Pretende-se também expandir o projeto para uma rede de estações.

5. Conclusões

Este trabalho mostrou o desenvolvimento de uma estação meteorológica de pequeno porte e de baixo custo baseada em plataforma de Internet das Coisas. Os resultados obtidos com esta plataforma mostraram a efetividade do projeto com relação à coleta de uma alta taxa de dados, que é alocada em um banco de dados, de forma remota e instantânea. Claramente este desenvolvimento foi uma prova de conceito de um sistema que pode no futuro auxiliar o lançamento de foguetes no CLA e CLBI.

Este trabalho trouxe uma vivência singular, por parte do aluno, de temáticas da área espacial, relacionadas às áreas de eletrônica e computação, neste caso aplicado a temática da meteorologia. Vale citar, por exemplo, que ao longo deste projeto o aluno se familiarizou com três linguagens de programação diferentes além da bagagem obtida com a utilização de circuitos integrados e instrumentação. Fica aqui o registro de agradecimento ao IAE e CNPq pelo apoio durante esta iniciação científica que foi uma grande oportunidade.

6. Divulgação dos Resultados

Foi conferido ao Projeto a 2º colocação no congresso (CICTED) da Universidade de Taubaté.

Referências

- [1] INTERNET of Things prototyping with Firebase: how to do more with less. [S. l.], 5 jul. 2020. Disponível em: <https://medium.com/free-code-camp/iot-prototyping-with-firebase-doing-more-with-less-2f5c746dac8b>. Acesso em: 5 jul. 2020.
- [2] NODEMCU – ESP12: Guia completo – Introdução (Parte 1). [S. l.], 2018. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/nodemcu-esp12-introducao-1/>. Acesso em: 5 jul. 2020.



PIBIC-RELATÓRIO PARCIAL

Título do projeto de pesquisa: Aprendizado de Máquina para Análise de dados de equipamentos e Sensores

Bolsista: William Roberto de Almeida Firmino.

Orientador(a): Wilson Francisco Moreira de Souza Seron.

Período a que se refere o relatório: Março de 2021 a Julho de 2021.

Resumo

Esta pesquisa tem por objetivo aplicar técnicas de aprendizado de máquina em uma base de dados que simula informações provenientes de sensores e equipamentos do IAE, permitindo o monitoramento e controle de equipamentos em tempo real. Aprendizado de Máquina é uma área de estudo da Inteligência Artificial que tem como objetivo criar técnicas para que máquinas possam aprender quando expostas à algumas informações e situações. Com isso, as máquinas seriam capazes de reconhecer determinados padrões e extrair informações a partir dos dados coletados, aprendendo de forma independente ao realizar inúmeras tarefas. Atualmente, com o grande volume de dados gerados por diversos tipos de equipamentos, como: sensores, é essencial que sejam utilizadas técnicas específicas de aprendizado de máquina para análise, gerenciamento e tomada de decisões em tempo real.

1. Introdução

Atualmente, dispositivos eletrônicos capazes de processar informações são cada vez mais usados. Mas, sua origem remete principalmente aos trabalhos de George Boole em 1854 (Matemático) e Claude Shannon (Engenheiro Eletrônico e Matemático) em 1938, o primeiro foi responsável por toda assimilação de álgebra booleana considerando dois estados possíveis, verdadeiro e falso, enquanto o segundo provou a aplicabilidade da álgebra proposta por Boole através da eletrônica[1] com uso de zeros e uns (valores discretos) para representar verdadeiro e falso. Além disso, em 1950 o matemático Alan Turing propôs em seu artigo:



Computadores e Inteligência¹ o que seria o escopo de processamento inteligente dos dados digitais. O Aprendizado de Máquina (ML: *Machine Learning*) é um dos diferentes campos de pesquisa da Inteligência Artificial, pois com ele podemos utilizar-se de diferentes técnicas e algoritmos para processar e analisar grandes volumes de dados[2]. Esses dados podem ser provenientes de diversas fontes interligadas, como computadores, aparelhos de rede, sensores de microcomputadores e microcontroladores. Desta forma, com base na análise dos algoritmos, os sistemas inteligentes podem extrair informações preditivas de maneira mais rápida que a de humanos, com isso podem acelerar ou introduzir novos pontos de vista acerca dos dados provindos dos pesquisadores do IAE (Instituto de Aeronáutica e Espaço). Ademais, aliando-se a segurança da informação e aplicada ao apuramento dos logs (registros que armazenam eventos ocorridos no passado) o aprendizado de máquina pode ser mais um reforço trazido a rede interna do IAE.

2. Materiais e Métodos

Nesta seção será abordada inicialmente alguns aspectos teóricos sobre Aprendizado de Máquina e os materiais para sua elaboração, em seguida a visualização da base de dados e seu pré-processamento, e por fim, o funcionamento de cada um dos algoritmos propostos.

2.1. Linguagens e Bibliotecas Utilizadas

A linguagem escolhida foi Python, pois ela é amplamente utilizada pela sua versatilidade, além de ser uma linguagem interpretada e apoiada pelo Google. Orange é uma biblioteca (Conjunto de códigos contendo os algoritmos) utilizada para fazer um classificador baseado em regras, todos os demais algoritmos utilizaram-se da biblioteca Sklearn. Os dados sofreram manipulação pelas bibliotecas Numpy (Pacote para a linguagem Python que suporta arrays e matrizes multidimensionais) e Pandas (Oferece estruturas e operações para manipular tabelas numéricas e séries temporais). Os gráficos foram criados por meio das bibliotecas Matplotlib, Plotly e Seaborn. O ambiente de desenvolvimento é o do Google Colaboratory

¹ TURING, Alan Mathison. *Computing Machinery And Intelligence*. *Mind*, Londres, Volume LIX, Issue 236, Pages 433–460, 1950.

disponibilizado pela própria empresa e de acesso livre para pesquisa na área de Aprendizado de Máquina.

2.2. Fundamentação do Aprendizado de Máquina

A necessidade de fazer com que programas aprendam com seus dados e possam executar tarefas autônomas é um o motivo pelo qual esse campo tem sido pesquisado. Ao longo do tempo foram segmentados diferentes vertentes de pensamento, tais como Simbolistas (Uso de dedução reversa para resolver problemas), Conexionista (Uso de *backpropagation*), Evolucionários (Programação Genética), Analogistas (Uso de máquinas núcleo) e por fim Bayesianos (Inferência Estatística)[2].

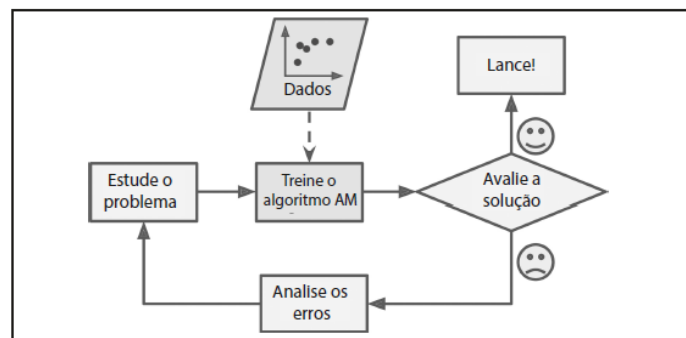


Figura 1: Abordagem do Aprendizado de Máquina [3].

Esse trabalho é fundamentado nos algoritmos Bayesianos, há quatro modos pelos quais geramos programas aprendizes [4] são eles: Aprendizagem Supervisionada, Não Supervisionada, Semi Supervisionada e por Reforço[3].

O termo supervisionado é referente ao modo pelos quais os dados de treinamento (etapa de aprendizagem) são preparados e rotulados, na aprendizagem supervisionada (utilizada) os dados são preparados por nós e em seguida treinados, ou seja, nós temos o papel de ensinar o algoritmo do que ele deve classificar, enquanto nos demais eles podem aprender sem precisar da classificação, seja por meio de dados não rotulados, mescla dos dois ou penalizações de erro (Reforço)[2][3].

2.3. Base de Dados Utilizada



Os dados são registros de eventos do mundo real guardados em formatos de tabelas[2], assim como na estatística os mesmos podem ser divididos em numéricos (Contínuo ou Discreto) e categóricos (Ordinal ou Nominal)[5]. O envio desses dados pode acontecer de maneira online (Contínua) ou em lote (Primeiro ele é treinado e depois utilizado)[2][3], nosso estudo utiliza-se do aprendizado em lote[2][3], logo os dados já estão armazenados em tabelas no formato CSV (CSV:Comma-separated values). A base de dados utilizada é de acesso livre e está contida na plataforma Kaggle² a Figura abaixo mostra como está estruturada:

#clientid	income	age	loan	c#default
1	66155.9250950813	59.017015066929204	8106.53213128514	0
2	34415.1539658196	48.11715310486029	6564.745017677379	0
3	57317.1700630337	63.10804949188599	8020.953296386469	0
4	42709.534200839706	45.751972352154596	6103.642260140699	0
5	66952.68884534019	18.5843359269202	8770.09923520439	1
6	24904.064140282597	57.4716071025468	15.498598437827198	0
7	48430.3596126847	26.809132419060898	5722.58198121271	0
8	24500.1419843175	32.8975483207032	2971.00330971188	1
9	40654.8925372772	55.496852539479704	4755.8252798016	0
10	25075.872770976297	39.7763780555688	1409.23037111453	0

Mostrar 10 por página

Figura 2: Base de dados Crédito Bancário. Fonte: Autor.

Os dados providos poderiam ser de sensores reais e coletados diretamente do IAE, nesse caso formando uma tabela similar a essa. Porém, dado a pandemia a utilizamos para conseguirmos estudar e aplicar os algoritmos. Temos as seguintes colunas: *i#clientid* (atributo identificador único para cada pessoa), *income* (renda), *age* (idade), *loan* (dívida) e *c#default* (0 a pessoa pagou a dívida e 1 não pagou). As colunas *income*, *age* e *loan* formam nossos atributos previsores (numéricos contínuos) e *c#default* nossa classe (numérico discreto). A Aprendizagem de Máquina pode prever classes (rótulos, exemplo: pagou ou não pagou o empréstimo, tem ou não uma doença, é ou não um carro na imagem) ou regressão (valores numéricos, como estimativa de preço de um carro dado suas características, valor de temperatura e umidade dados imagens de satélites, etc)[4]. Desta forma, como desejamos classificar se um novo indivíduo (fora da base dados) pagou ou não um empréstimo iremos gerar diferentes classificadores em cada algoritmo.

² Disponível em: <<https://www.kaggle.com/laotse/credit-risk-dataset>> Acesso: 23 de maio 2021.

2.4. Pré-processamento dos dados

O ato de preparar seus dados para realizar o treinamento e assim gerar um classificador, isto é, algoritmo aprendiz capaz de prever a classe final dado uma nova entrada[2][3][4] é a etapa mais importante e demorada em todos os projetos de Aprendizado de Máquina[2]. Quando salvamos as informações elas podem conter erros, tais como estarem com valores ausentes, sinais contrários, foras de escala, entre outros possíveis problemas.

```
▶ base_credit.isnull().sum()

i#clientid    0
income        0
age           3
loan          0
c#default     0
dtype: int64
```

Figura 3: Valores faltantes base de crédito. Fonte: Autor.

A Figura 3 remete a quantidade de valores que estão ausentes, ou seja, temos 3 idades que não foram preenchidas em nossos 2000 registros.

Quando formamos nossos dados para treino devemos avaliar também se há valores destoantes (*outliers*)[5], para isso plotamos gráficos que facilitam a visualização (ver Figura 4).

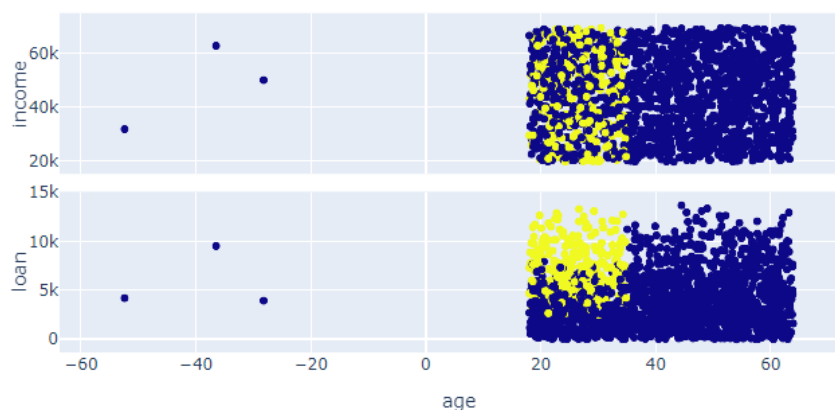


Figura 4: Gráfico de dispersão da idade com renda e dívida. Fonte:Autor.

Os amarelos representam todas as amostras que não pagaram sua dívida, ademais podemos perceber que há 3 valores que estão abaixo de 0, todos os algoritmos levam em consideração cálculos matemáticos e são sensíveis a valores extremos, por isso tal situação acima precisa



ser tratada. Segundo a literatura, quando os valores faltantes são poucos e a variável for numérica podemos substituir pela média da base de dados (40.80755 nesse caso) [2][3]. Caso haja muitos valores faltantes ou destoantes o ideal seria eliminar o atributo *age*, pois teria impacto negativo se tentássemos repor os mesmos.

2.5. Aprendizagem Baseada em Naïve Bayes

Um dos primeiros algoritmos de Aprendizado de Máquina é o de chance condicional pelo Teorema de Bayes (Ver Figura 5)[5][2].

$$\begin{array}{c}
 \text{Probabilidade a posteriori} \quad \text{Probabilidade a priori} \quad \text{Verossimilhança} \\
 \mathbf{P(A|B)} = \frac{\mathbf{P(A)} * \mathbf{P(B|A)}}{\mathbf{P(B)}} \\
 \text{Marginalização}
 \end{array}$$

Figura 5: Teorema de Bayes[6]

Após a separação dos atributos previsores e classes, o algoritmo irá gerar um classificador no formato de tabela de probabilidades[2].

Idade		Quitação	
➤	18	➤	pagou
➤	40	➤	pagou
➤	40	➤	pagou
➤	40	➤	não pagou
➤	18	➤	não pagou
➤	18	➤	não pagou

Tabela de Probabilidade Priori			
Pagou: 18 anos 1/3		Não Pagou: 18 anos 2/3	
Pagou: 40 anos 2/3		Não Pagou: 40 anos 1/3	

Figura 6: Base de dados segmentada hipotética. Fonte: Autor.

A Figura 6 nos mostra um caso com 6 registros de idade e quitação, porém essa tabela irá aumentar conforme o número de amostras de teste, além disso será feito em cada um dos nossos atributos previsores (*income*, *age*, *loan*) no final teremos uma tabela total de



probabilidades a priori. Quando um novo registro fora da base de dados for submetido ao nosso classificador ele irá consultar essa tabela e realizar a conta de probabilidade de Bayes.

2.6. Aprendizagem Baseada em Árvores de Decisão e Floresta Randômica

Uma árvore de decisão é um dos algoritmos considerados simbolistas[2], ela se baseia em raízes e nós formadas por ganho de informação[2][3][4], ou seja, o quanto aquele atributo é relevante para fazer a classificação de um rótulo ou a regressão de um valor numérico. A Figura 7 mostra como é calculado o ganho de informação.

$$Entropia = \sum_{i=1}^c -P(i) \log_2 P(i)$$

$$GanhoInfo = EntropiaTotal - \sum_{i=1}^c -\frac{|P_i|}{|P|} \log_2 P(i)$$

Figura 7: Ganho de Informação é Entropia Total menos parcial dos Previsores. Fonte: Autor.

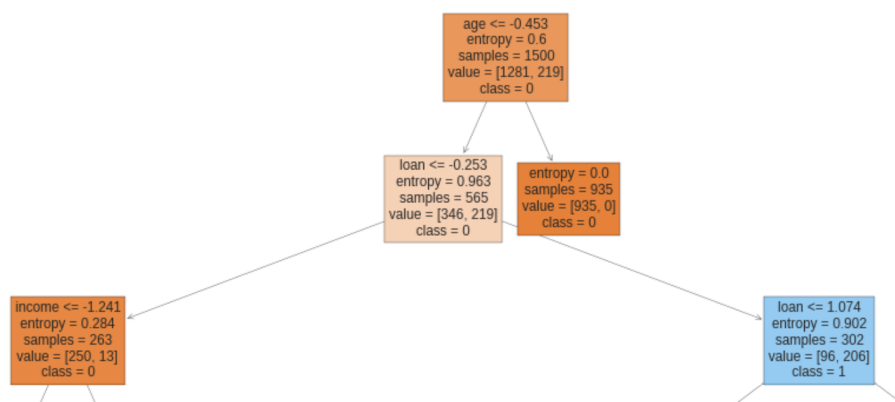


Figura 8: Pedaco da Raiz aplicado a nossa base de dados. Fonte: Autor.

Como pode-se perceber, *age* é o atributo com maior ganho de informação, conforme um novo registro passe por esse classificador (árvore de decisão) ele irá terminar em um nó folha e assim será classificado[2][3][4]. As Florestas Randômicas utilizam-se de diversas árvores para prever o resultado da classificação, algumas vão dizer que pagou (0), outras não (1), o

resultado que será escolhido é o voto da maioria, esse algoritmo é uma evolução das árvores de decisão tradicionais[3] e pode lidar com problemas complexos.

2.7. Aprendizagem Baseada em Instâncias

A origem desse algoritmo está concentrada na questão de distância entre pontos, muitas vezes utilizada a Distância Euclidiana[2][4][7] (ver Figura 9)

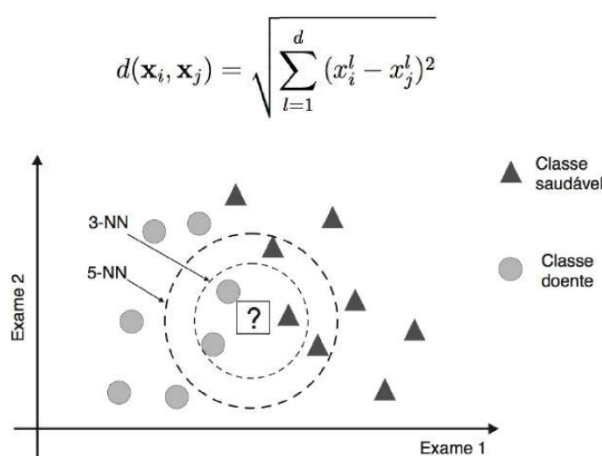


Figura 9: Raio de Alcance da Distância Euclidiana[7]

Quando aplicada a nossa base de dados, o algoritmo irá utilizar os valores de cada um dos atributos previsores para calcular a distância em relação ao novo registro de teste e com base na menor distância entre um raio de alcance irá decidir se ele pagou ou não sua dívida.

2.8. Aprendizagem Baseada em Regressão Logística

Neste tipo de aprendizagem nossos atributos previsores são plotados em gráficos cujos valores do eixo y são probabilidades contidas entre 0 e 1[2][3] e o algoritmo busca encontrar a função sigmóide mais próxima dos dados alterando os pesos da equação da reta. Encontrar pesos requer o uso de cálculo em várias variáveis para encontrar o mínimo global com a descida do gradiente, para isso diversos valores são testados a cada descida do mesmo[7].

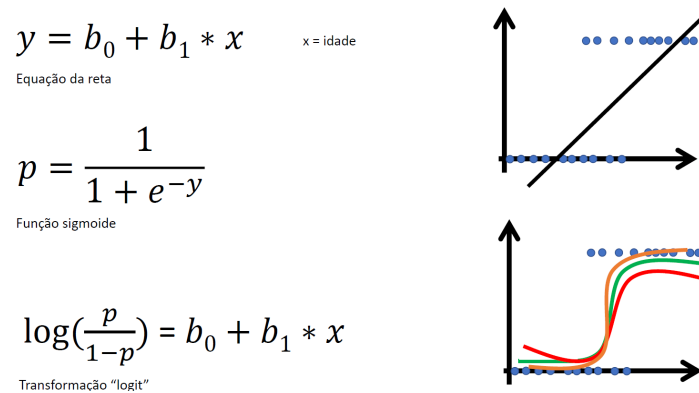


Figura 10: Algoritmo tenta prever valores de b_0 e b_1 de cada predictor. Fonte: Autor.

2.9. Aprendizagem Baseado em Máquina de Vetores de Suporte

Uma das técnicas mais robustas abaixo das redes neurais, ela consiste na busca pelo melhor hiperplano que separe os atributos previsoers e com base nisso realizam a classificação se ele pertence ou não ao grupo[2][3][4][7]. Quando os dados do problema não são lineares utiliza-se funções que transformem o espaço (*kernel trick*) obtendo uma nova dimensão.

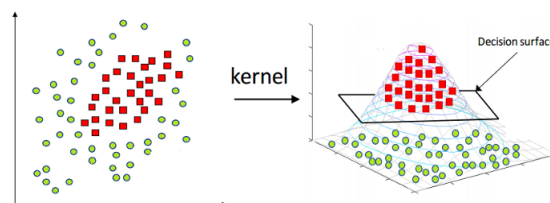


Figura 11: Kernel elevando de R^2 para R^3 e formação do hiperplano[8].

3. Resultados

A etapa de testes dos algoritmos aprendizes constituiu de 500 registros separados da base de dados utilizada e não entram nos treinamentos, logo são dados que servem de validação (como gabarito) para testar a precisão dos algoritmos[2][3]. Em ordem crescente de acertos temos Naïve Bayes (93.80%), Regressão logística (94.60%), Árvore de decisão (98.20%), Floresta Randômica (98.40%), Aprendizagem Baseada em Instâncias (98.60%) e Máquina de Vetores de Suporte (98.8%). Quanto maior a quantidade de amostras mais próximo da população[5]. Ademais, não existe um único modelo correto *free lunch* (Almoço Grátis)[3] e



devemos supor diferentes resoluções, pois um algoritmo tido como mais simples pode funcionar melhor do que um complexo.

5. Conclusões

Ao longo do estudo conseguimos explorar e visualizar os dados, criar diferentes modelos de aprendizagem (classificação) e todos podem ser utilizados para aplicações em tempo real. Além disso, conseguimos nos preparar para a Aprendizagem Profunda (técnicas mais complexas), dentro da proposta conseguimos alcançar quase todos os tópicos, exceto o de testar nos sensores do IAE (atrasado devido ao isolamento social).

Referências

- [1] GABRIEL, C. F.; IVAN, I. V. Elementos de Eletrônica Digital. 4th edition. ed. São Paulo, Brasil: [s.n.], 2018.
- [2] MUELLER, John Paul; Massaron, Luca. Aprendizado de Máquina Para Leigos. 1º edição, Rio de Janeiro:Alta Books, 2019.
- [3] GÉRON, Aurélien. Mãos à Obra Aprendizado de Máquina com Scikit-Learn & TensorFlow: Conceitos, Ferramentas e Técnicas Para a Construção de Sistemas Inteligentes. 1º edição, Rio de Janeiro : Alta Books, 2019.
- [4] RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. Inteligência Artificial. 3º Edição, Rio de Janeiro:Elsevier, 2013.
- [5] BRUCE, Peter; BRUCE, Andrew. Estatística Prática para Cientistas de Dados: 50 Conceitos Essenciais. 1º Edição, Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.
- [6] Teorema de Bayes: <https://www.ibpad.com.br/blog/o-que-e-estatistica-bayesiana/> - - acesso em : 25 de Julho de 2021.
- [7] FACELI, Katti *et al.* Inteligência Artificial: Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- [8] <https://medium.com/analytics-vidhya/how-to-classify-non-linear-data-to-linear-data-bb2df1a6b781> Acesso em: 24 de Julho de 2021.