

ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA NA FABRICAÇÃO DA FUSELAGEM DE FOGUETES ACADÊMICOS

Rafael Bonioli Kneip, rafael.kneip@engenharia.ufjf.br¹
Washington Orlando Irrazabal Bohorquez, wirraz@engenharia.ufjf.br¹

¹Universidade Federal de Juiz de Fora, Rua José Lourenço Kelmer, CEP: 36036-900, Juiz de Fora - MG - Brasil

Resumo. *Devido a sua combinação de propriedades mecânicas, laminados de resina epóxi e fibra de vidro são populares na fabricação da fuselagem de foguetes acadêmicos. A criticidade dessas operações indica a importância de mitigar riscos existentes durante o processo de fabricação. Desse modo, o presente trabalho apresenta a Análise de Modo e Efeito de Falha conduzida no processo de laminação realizado pela Supernova Rocketry, equipe de foguetemodelismo da Universidade Federal de Juiz de Fora. Foi possível concluir que erros durante o processo de preparo para a fabricação apresentam grande criticidade e, portanto, devem ser prioritariamente eliminados. Como possível forma de fazê-lo, deve-se oferecer um melhor treinamento aos operadores.*

Palavras chave: *Foguetemodelismo, materiais compósitos, FMEA*

Abstract. *Due to their excellent combination of mechanical properties, epoxy resin and fiberglass laminates are popular in the manufacture of the fuselage of academic rockets. The criticality of these operations implies the importance of mitigating existing risks during the manufacturing process. Thus, this work presents the Failure Mode and Effect Analysis conducted in the lamination process carried out by Supernova Rocketry, a rocketry team from the Federal University of Juiz de Fora. It was possible to conclude that errors during the preparation process are highly critical and therefore must be eliminated as a priority. As one possible way to do so, a better training should be provide for the operators.*

Keywords: *Rocketry, composite materials, FMEA*

1. INTRODUÇÃO

Entende-se por material compósito um material não natural, formado pela união de dois ou mais materiais em fases distintas, criado para promover uma melhor combinação de propriedades mecânicas (Callister Jr and Rethwisch, 2021). Com aplicação vasta, esforços vem sendo continuamente realizados no estudo de materiais compósitos, seja através da determinação de suas propriedades (Retailleau *et al.*, 2022), do impacto nelas a partir da variação de parâmetros do processo de fabricação (Amaral and Calado, 2022), da combinação de materiais diferentes como reforços (Dasari *et al.*, 2022) e (Narváez-Muñoz *et al.*, 2022) ou da possibilidade de alternativas mais sustentáveis, como compósitos reforçados com fibras naturais sem tratamento químico (da Silva Neto *et al.*, 2022).

Entre as combinações existentes para a formação de um material compósito, ganha destaque a utilização de resina epóxi reforçada com fibra de vidro. Ainda que a utilização da fibra de vidro em compósitos resulte em propriedades inferiores quando comparada com a utilização da fibra de carbono (Zimmermann and Silva, 2022), ela mostra-se uma popular opção de material de reforço. A fibra de vidro apresenta um custo mais baixo que a fibra de carbono e os compósitos que fazem o seu uso apresentam boa resistência, inércia química e baixa resistência específica (Callister Jr and Rethwisch, 2021). Estudos acerca da utilização e melhoria das propriedades mecânicas de materiais compósitos com fibra de vidro vêm sendo conduzidos em diferentes indústrias (Alshahrani *et al.*, 2022) e (Saadatmorad *et al.*, 2022).

Ne setor aeroespacial, a utilização de tais compósitos não é recente, tendo sido popularizada a partir da década de 60 (Rezende and Botelho, 2000). Uma vez que os materiais compósitos podem ser produzidos em menor escala de forma manual, sua aplicação também se difundiu na prática do foguetemodelismo, sendo comumente utilizada no projeto de foguetes acadêmicos para a fabricação de sua fuselagem (Corrêa *et al.*, 2021). A fuselagem de um foguete é responsável por comportar todos os outros sistemas, bem como permitir que sejam alocadas as aletas e a coifa.

É necessário garantir que as peças utilizadas em foguetes acadêmicos sejam produzidas com um rigor correspondente a importância de sua aplicação. Com a fabricação manual da fuselagem, tornam-se necessárias discussões acerca da melhoria do processo. Neste trabalho, será utilizada a técnica de Análise de Modo e Efeito de Falha (do inglês, *Failure Mode and Effect Analysis*, FMEA) para o estudo do processo de fabricação da fuselagem dos foguetes acadêmicos desenvolvidos e construídos pela Supernova Rocketry, equipe de competição de foguetemodelismo da Universidade Federal de Juiz de Fora. Tal análise tem como objetivo entender acerca de falhas que podem acontecer no processo, identificando aquelas que apresentam uma maior criticidade.

2. METODOLOGIA

A utilização da FMEA para análises de falhas em sistemas teve início em meados dos anos 60 no setor aeroespacial, devido ao já mencionado rigor inerente aos projetos desse setor (Mikulak *et al.*, 2017). Os resultados positivos da metodologia permitiram sua consolidação e popularização ao longo das próximas décadas. Tal popularização culminou, ainda, para que a FMEA fosse aplicada em áreas distantes do setor aeroespacial: trabalhos recentes relatam acerca de sua utilização na área da saúde (Micheletta *et al.*, 2022), bem como para a análise de estações de tratamento de esgoto (Alizadeh *et al.*, 2022). Não obstante, a metodologia ainda se mantém uma importante e usual ferramenta para análises do setor na qual foi originada (Lakshmiapuram and Thomas, 2021) e (Srivastava *et al.*, 2022), sendo também utilizada para o estudo da aplicação de compósitos em estruturas (Wang *et al.*, 2020), como aqui proposto.

Quanto a estruturação de uma FMEA de um processo, deve-se criar uma tabela que aborde os seguintes pontos: especificação da etapa a ser analisada; modos potenciais de falha; efeitos potenciais de falha; severidade (S); causas/mecanismo de falha; ocorrência (O); controles de prevenção e detecção; detecção (D) e risco (R) (de Oliveira, 2019). Para os campos S, O e D, devem ser atribuídas notas de 1 a 10 para a falha analisada. Notas mais baixas para esses parâmetros indicam situações favoráveis ao processo, com falhas pouco severas, que raramente ocorrem e que são facilmente detectáveis. Por fim, o parâmetro R pode ser calculado através da multiplicação dos parâmetros S, O e D (Eq. 1). Os modos de falha que obtiverem os maiores valores para R são, portanto, os modos mais críticos para o processo, devendo ser priorizada sua mitigação e, eventualmente, eliminação.

$$R = S \cdot O \cdot D \quad (1)$$

Para a aplicação da FMEA em um processo, torna-se imprescindível o entendimento das etapas existentes nele. Desse modo, para possibilitar melhores discussões acerca dos resultados obtidos por meio da aplicação da FMEA de processo, esse será apresentado e detalhado nas seções a seguir. As imagens não se encontram em proporções reais.

2.1 Descrição do processo de laminação da fuselagem dos foguetes

Compósitos de fibra de vidro e resina epóxi podem ser fabricados através de um processo conhecido como laminação, definido como um "processo de manufatura aditiva em que folhas de material são ligadas para formar uma peça" (Associação Brasileira de Normas Técnicas). A disposição dessas folhas - nesse caso, camadas de fibra de vidro impregnadas com resina - pode ser realizada de forma manual.

O número de processos de laminação para um dado foguete varia com base em alguns fatores. Primeiramente, o corpo pode ser dividido em duas ou mais partes, o que pode gerar a necessidade de duas ou mais laminações. Além disso, para as competições acadêmicas, constitui-se uma prática comum a fabricação de corpos extras por precaução, pois a fuselagem do foguete pode ser danificada durante testes ou durante o transporte.

2.1.1 Preparação do molde

É utilizado como molde um tubo de metal. Para facilitar o desmolde após a cura da resina, o tubo deve ser preparado antes do início da disposição das lâminas de fibra de vidro. Para isso, dispõe-se, nessa ordem: uma camada de cera desmoldante (Fig. 1a); uma camada de papel (Fig. 1b); uma segunda camada de cera (Fig. 1c); uma segunda camada de papel (Fig. 1d) e, por fim, uma terceira camada de cera (Fig. 1e). Essas camadas devem abranger uma região maior que aquela a ser coberta por lâminas de fibra de vidro, de modo a facilitar o desmolde.

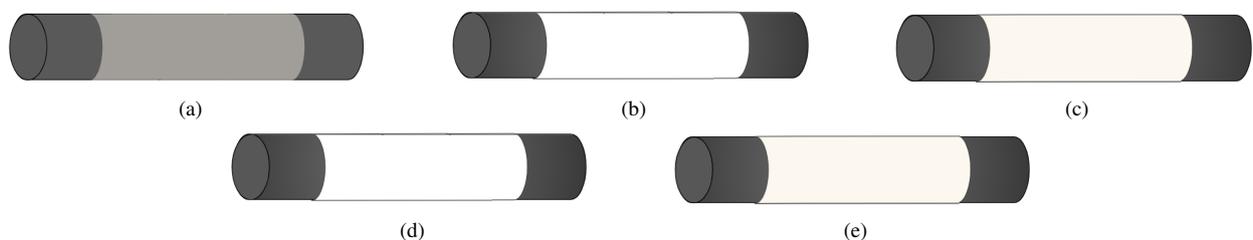


Figura 1: Preparação do tubo utilizado como molde

Ainda que baixas, as espessuras das camadas de cera e de papel não são nulas e, portanto, o diâmetro interno do corpo fabricado não é exatamente igual ao diâmetro externo do molde. A escolha do molde é realizada visando diminuir tal diferença, restringindo-a às espessuras das camadas de papel e cera: por isso é utilizado um tubo de diâmetro externo o mais próximo possível do diâmetro interno projetado pela fuselagem, sendo esses, preferencialmente, os mesmos. Essa diferença ainda deve ser considerada no projeto, sobretudo para estruturas do foguete que serão fixadas internamente na fuselagem, de forma a evitar problemas de integração devido a tolerância.

Uma outra parte da preparação do processo consiste no corte das lâminas de fibra. Elas são cortadas em retângulos que apresentam comprimento e largura maiores que o comprimento e o diâmetro do corpo projetado, respectivamente. Para o comprimento, esse excesso de material tem como objetivo permitir operações de acabamento, como será apresentado posteriormente, ao passo que o excesso de diâmetro tem como objetivo facilitar a aderência das lâminas ao papel e tubo.

2.1.2 Disposição das camadas

Para a correta curagem, a resina epóxi deve ser misturada com endurecedor em uma proporção que pode variar de acordo com o fornecedor. Os retângulos de fibra de vidro devem, então, ser completamente impregnados com a mistura (Fig. 2a), garantindo que cada camada possua resina uniformemente disposta (Fig. 2b).

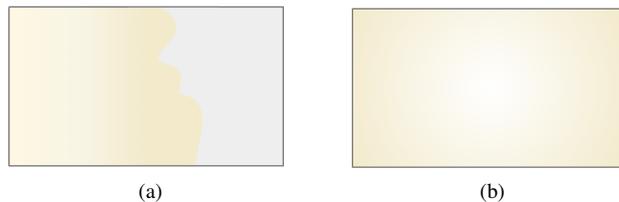


Figura 2: Preparação das lâminas

Cada uma das lâminas é preparada individualmente e alocada imediatamente no molde. O processo se repete, pois, para cada uma das n camadas a serem dispostas no molde. Cada lâmina fibra de vidro impregnada deve ser disposta precisamente sobre a anterior, de forma a garantir a uniformidade do corpo (Fig. 3). A disposição deve ser cuidadosa e realizada paulatinamente, de forma a garantir que não sejam geradas bolhas entre uma camada e outra.

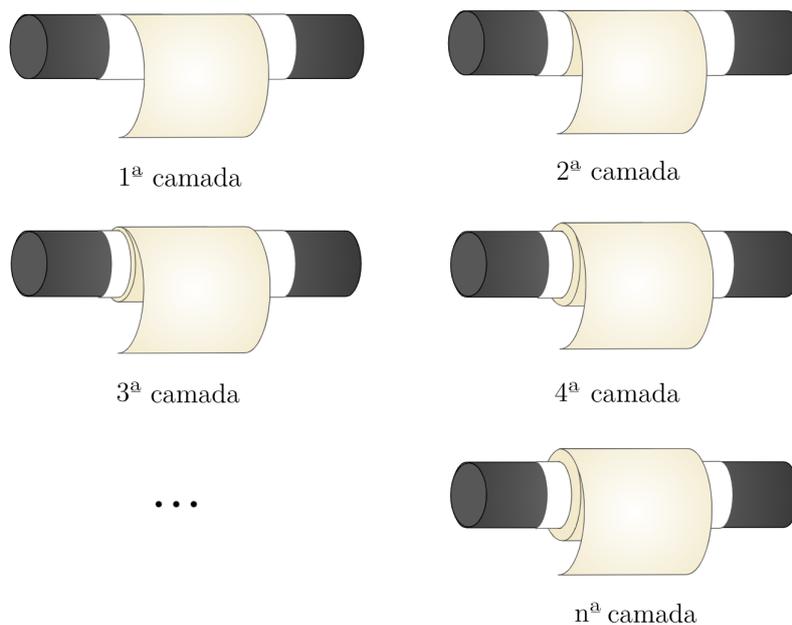


Figura 3: Alocação das lâminas no molde

2.1.3 Acabamento

Após a curagem completa do corpo, ele é retirado do molde de metal (Fig. 4a) e, em seguida, as camadas de papel também são retiradas (Fig. 4b). As extremidades do corpo precisam ser serradas (Fig. 4c).

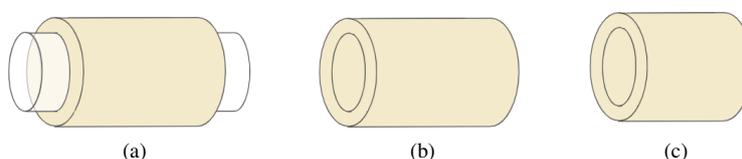


Figura 4: Corte do corpo na etapa de acabamento

O corte se deve ao fato de que as extremidades do corpo podem se apresentar intensamente irregulares, uma vez que a extremidade da fibra de vidro facilmente se desfia durante sua manipulação. Desse modo, essa parte do corpo precisa ser retirada. Justificam-se, assim, os cortes de fibra em um tamanho maior que o comprimento do corpo, como discutido anteriormente. Por fim, o corpo de material compósito é lixado e pintado.

2.2 FMEA do processo

Neste trabalho, os valores de severidade traduzem classificações qualitativas de falhas observadas durante a fabricação de um foguete de pouso de um quilômetro, considerando que a mais severa das falhas é a perda do corpo. Para os outros fatores, considerou-se o número de vezes que as falhas ocorreram e foram detectadas para cinco processos de laminação conduzidos durante esse período em laboratório. Os valores são, então, resultados da discussão acerca do processo pela equipe responsável por ele. Além dos modos de falha efetivamente observados, também são citados aqueles que podem ser preditos. Controles de precaução, mencionados anteriormente, não foram incluídos.

Os códigos utilizados na primeira coluna da Tab. 2 são referentes às etapas mostradas na seção 2.1., isto é, o código 1 se refere à preparação do molde, o 2, à disposição de camadas e o 3, ao acabamento. Quanto ao componente no qual a falha está sendo analisada, foram utilizados códigos que os representam. Os códigos são mostrados na Tab. 1.

Tabela 1: Códigos representativos dos componentes.

Código	Componente
P	Papel
Ce	Cera desmoldante
M	Molde
L	Lâminas de fibra de vidro
Co	Corpo

Desse forma, por exemplo, o código 1-M, indica que a falha em questão é referente ao molde e está sendo analisada na etapa 1 do processo, a preparação do molde.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figs. 5 e 6, são apresentadas fotos de uma série de falhas mencionadas na Tab. 2.

Tabela 2: Análise de Modo e Efeito de Falha.

Etapas-Componente	Modo de falha	Efeito	S	Causa da falha	O	Controles de detecção	D	R
1-P	Camada de papel mal dimensionada (Fig. 5a)	Dificuldade em retirar o corpo do molde: eventuais danos ao corpo durante o desmolde	8	Descuido do operador no corte da camada de papel	2	Inspeção antes do início da deposição das lâminas: verificação das dimensões do molde	2	32
1-Ce	Uso de cera desmoldante inapropriada	Umidificação do papel, que se enrugou e rasgou (Fig. 5b): impossibilidade de desprender o corpo do molde e perda total	10	Escolha errada de insumo	4	Inspeção antes do início do processo de deposição de lâminas: correto segmento do processo	2	80
1-P	Camada de papel enrugada	Geometria final do corpo comprometida: perda total ou parcial do corpo	10	Descuido do operador na deposição da camada de papel	2	Inspeção antes do início da deposição de camadas: busca por regiões com papel enrugado ou amassado, ou outras avarias	2	40

1-M	Molde com superfície irregular (gotas de resina endurecidas, amassados, entre outros)	Irregularidades no: corpo perda total ou parcial do corpo	10	Escolha errada de insumo: molde fora do padrão necessário	2	Inspeção antes do início do processo: busca por irregularidades e medição do diâmetro	4	80
2-L	Camadas irregulares: existência de lâminas maiores que o padrão	Montagem prejudicada: material não uniforme por acúmulo de fibra	6	Descuido do operador no corte da fibra de vidro	1	Inspeção antes do início da deposição de lâminas: dimensões das lâminas	2	12
2-L	Camadas irregulares: existência de lâminas menores que o padrão	Problema estrutural: material não uniforme enfraquecido	10	Descuido do operador no corte da fibra de vidro	1	Inspeção antes do início da deposição de lâminas: dimensões das lâminas	2	20
2-L	Escassez de resina para o volume de fibra de vidro	Camadas descoladas do material formam bolhas: perda total ou parcial do corpo (Fig. 6a)	10	Falta de treinamento do operador: uso de menos resina que o necessário para impregnação da lâmina	2	Inspeção visual: falta de uniformidade na superfície da lâmina, com regiões sem resina	2	40
2-L	Excesso de resina para o volume de fibra de vidro	Superfície apresenta acúmulos de resina, que devem ser retirados (Fig. 6b)	4	Falta de treinamento do operador: uso de mais resina que o necessário para impregnação da lâmina	6	Inspeção visual: falta de uniformidade na superfície da lâmina, com regiões com resina acumulada ou formação de gotas	2	48
2-L	Formação de bolhas entre as camadas	Irregularidades no corpo: perda total ou parcial do corpo	10	Falta de treinamento do operador: incorreta sobreposição das camadas, realizada sem uniformidade	2	Inspeção visual: bolhas entre as camadas	2	40
3-Co	Desmolde realizado com curagem da resina incompleta	Perda total do corpo	10	Falta de treinamento do operador: desconhecimento sobre o processo realizado	2	Inspeção visual: partes deformadas do corpo, bem como medição do diâmetro corpo	2	40
3-Co	Lixamento insuficiente: superfície ainda áspera	Retrabalho	6	Falta de treinamento do operador: uso de materiais ou técnicas erradas	2	Inspeção tátil: falta de uniformidade na rugosidade do corpo	2	24
3-Co	Cortes irregulares	Retrabalho	6	Falta de treinamento do operador: cortes realizados fora de um padrão	2	Inspeção do ângulo formado entre uma superfície reta e a superfície do corte	2	24

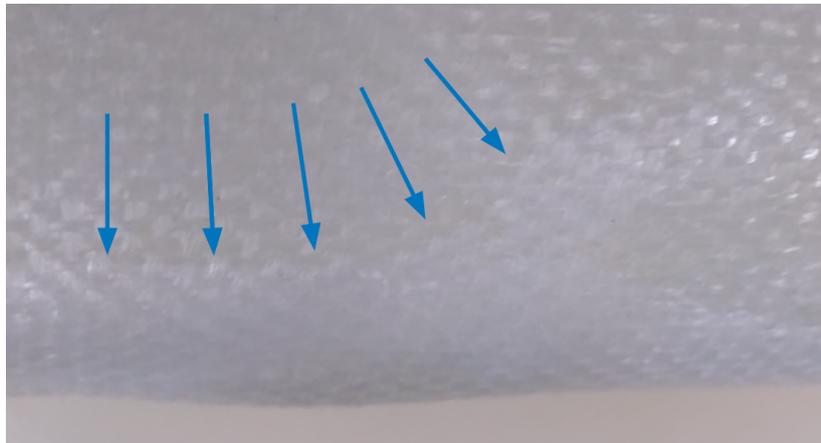


(a) Papel utilizado como base cortado em tamanho menor

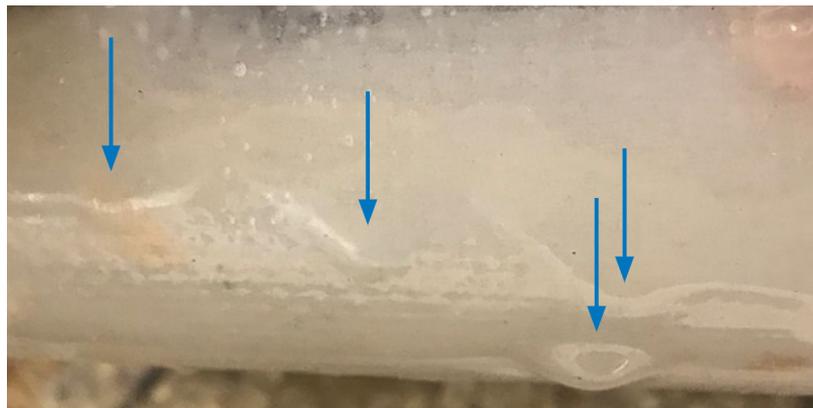


(b) Papel rasgado antes do retirada do corpo

Figura 5: Falhas ocorridas no processo de laminação durante a etapa de preparo



(a) Escassez de resina: camadas descoladas



(b) Excesso de resina: formação de gotas

Figura 6: Falhas ocorridas no processo de laminação durante a etapa de deposição de camadas

Avaliando os valores calculados para o risco, o maior deles, 80, foi obtido para as falhas correspondentes ao uso incorreto de cera e à superfície irregular do tubo, ambas relacionadas à etapa de preparação do processo de laminação. Outros modos de falha que também possuem criticidade para o processo são o excesso de resina e a formação de bolhas entre as camadas. Os resultados evidenciam a importância da etapa de preparo, que, se não realizada rigorosamente, pode resultar na necessidade de descarte do corpo. Nesse sentido, na fabricação de um corpo laminado, a correta disposição das lâminas de fibra de vidro não deve ser a única preocupação. Entretanto, ainda que existam modos de falha com riscos maiores, essa etapa do processo não deve ser negligenciada, uma vez que se encontra diretamente relacionada às propriedades finais do material e, em última análise, ao projeto do foguete como um todo.

A maioria dos modos de falha apresenta efeitos que resultam na perda total do corpo, uma consequência grave, que representa a perda recursos e esforços. Mediante a esse cenário, é interessante observar que a maioria dos modos são de fácil identificação, uma característica positiva do processo, uma vez que possibilita que corpos danificados não sejam, de fato, utilizados nos foguetes, comprometendo a segurança do lançamento.

As causas das falhas se resumem em problemas com operador. Uma vez que o processo de laminação aqui estudado é manual, ele é inerentemente dependente de quem o conduz. Em equipes em que a rotatividade de membros é grande, um processo anteriormente realizado com excelência por antigos membros pode ser de grande dificuldade para os atuais. Neste trabalho, "falta de treinamento do operador" se refere a insuficiente transmissão de conhecimento entre os antigos membros da equipe responsáveis pelo processo para os atuais. Assim, a matriz FMEA representa o estado atual da equipe no que tange aos modos de falha percebidos por seus membros, sua ocorrência e a habilidade deles de detectá-los. Nesse sentido, os resultados aqui obtidos podem variar caso o estudo seja replicado posteriormente na equipe, mesmo sem mudanças no processo. Entre possíveis falhas não abordadas nesse trabalho, podem ser citadas aquelas relacionadas a efeitos mais graves, como problemas de segurança no trabalho ou dano à componentes.

4. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados obtidos com a aplicação da matriz FMEA, foi possível determinar quais são os modos de falha que apresentam os maiores valores de risco. Concluiu-se que a etapa de preparação é de extrema importância para o restante do processo, podendo resultar no desperdício de insumos e esforços, uma vez que os modos de falha associados a ela podem causar perda do corpo por completo. A existência de um grande número de modos de falha que apresentam como sua causa a falta de treinamento do operador indica que uma potencial melhoria no processo encontra-se na preparação dos membros da equipe responsáveis pela sua execução, relacionando-se a discussão anteriormente levantada quanto a rotatividade dos membros em equipes acadêmicas.

O trabalho aqui apresentado torna-se importante ao possibilitar que a Supernova Rocketry avalie o processo de fabricação da fuselagem de seus foguetes e espera-se que, de fato, o estudo seja replicado continuamente, permitindo, inclusive, a avaliação da variação das competências da equipe ao longo do tempo. Como sugestões de trabalhos futuros, podem ser desenvolvidos planos de ação para a mitigação das falhas aqui apresentadas, bem como podem ser avaliados outros processos de fabricação realizados pela equipe. Este trabalho pode ser útil para outras equipes de competição que necessitam de realizar o processo de laminação manualmente para partes dos seus projetos e espera-se que represente um esforço na melhoria contínua dos foguetes acadêmicos produzidos no país.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Juiz de Fora; ao Laboratório de Sistemas de Propulsão Aeroespacial, Satélites e Processos de Combustão (LASPASCO); à Faculdade de Engenharia e à equipe de foguetes acadêmicos Supernova Rocketry pelo apoio recebido para o desenvolvimento do trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Alizadeh, S.S., Solimanzadeh, Y., Mousavi, S. and Safari, G.H., 2022. "Risk assessment of physical unit operations of wastewater treatment plant using fuzzy fmea method: a case study in the northwest of iran". *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 194, No. 9, pp. 1–15.
- Alshahrani, H., Ahmed, A., Kabrein, H. and Prakash, V.A., 2022. "Mechanical properties study on sandwich composites of glass fiber reinforced plastics (gfrp) using liquid thermoplastic resin, elium®: preliminary experiments". *Coatings*, Vol. 12, No. 10, p. 1423.
- Amaral, I.M. and Calado, C.R., 2022. "Influência da pressão de cura na compactação de camadas de fibra de carbono/epóxi e seus efeitos na resistência mecânica".
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018. "ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018: Manufatura aditiva - princípios gerais - terminologia". Standard.
- Callister Jr, W.D. and Rethwisch, D.G., 2021. "Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução, 10 edição". São Paulo.
- Corrêa, A.C.L., Zuchi, E.L., Fischer, M.J., Batschauer, D.V., Ribeiro, M.M., Rauta, L.R.P. and Justino, M., 2021. "Desenvolvimento de foguetes de baixa altitude para auxiliar no ensino". *Anais do Computer on the Beach*, Vol. 12, pp. 547–550.
- da Silva Neto, V.U., del Pino, G.G., dos Santos Setubal, C.H., Bezazi, A., Rodrigues, S.G.A., Kieling, A.C., dos Santos, M.D. and Torres, A.R., 2022. "Desenvolvimento de compósitos de resina epóxi com fibra vegetal de curauá sem tratamento químico: Development of epoxy resin composites with curauá vegetable fiber without chemical treatment". *Latin American Journal of Development*, Vol. 4, No. 2, pp. 343–357.
- Dasari, S., Lohani, S. and Prusty, R.K., 2022. "An assessment of mechanical behavior of glass fiber/epoxy composites

- with secondary short carbon fiber reinforcements”. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 139, No. 12, p. 51841.
- de Oliveira, D.d.P.R., 2019. *Administração de Processos*. Editora Atlas, 6th edition.
- Lakshmpuram, R.S. and Thomas, L.D., 2021. “Model based failure mode, effects and criticality analysis (mbfmecca) for the rs-25 engine using sysml”. In *AIAA Scitech 2021 Forum*. p. 0305.
- Micheletta, F., Ferrara, M., Bertozzi, G., Volonnino, G., Nasso, M. and La Russa, R., 2022. “Proactive risk assessment through failure mode and effect analysis (fmea) for perioperative management model of oral anticoagulant therapy: A pilot project”. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 19, No. 24, p. 16430.
- Mikulak, R.J., McDermott, R. and Beauregard, M., 2017. *The basics of FMEA*. CRC press.
- Narváez-Muñoz, C., Zamora-Ledezma, C., Ryzhakov, P., Pons-Prats, J., Elango, J., Mena, C., Navarrete, F., Morales-Flórez, V., Cano-Crespo, R. and Segura, L.J., 2022. “Improving glass-fiber epoxy composites via interlayer toughening with polyacrylonitrile/multiwalled carbon nanotubes electrospun fibers”. *Journal of Applied Polymer Science*, p. e53400.
- Retailleau, F., Allheily, V., Merlat, L., Henry, J.F. and Randrianalisoa, J.H., 2022. “Temperature dependent radiative properties of semi-transparent fiberglass-epoxy composite materials from 20° c to 200° c”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 184, p. 122319.
- Rezende, M.C. and Botelho, E.C., 2000. “O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial”. *Polímeros*, Vol. 10, pp. e4–e10.
- Saadatmorad, M., Jafari-Talookolaei, R.A., Pashaei, M.H., Khatir, S. and Wahab, M.A., 2022. “A robust technique for damage identification of marine fiberglass rectangular composite plates using 2-d discrete wavelet transform and radial basis function networks”. *Ocean Engineering*, Vol. 263, p. 112317.
- Srivastava, L., Krishnanand, L., Behera, S. and Nath, N.K., 2022. “Failure mode effect analysis for a better functional composite rocket motor casing”. *Materials Today: Proceedings*.
- Wang, Q., Xia, R., Liu, Q. and Hu, Q., 2020. “An application of failure mode, effects and criticality analysis (fmecca) for composite structures of airplanes’ wings”. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, Vol. 784, p. 012010.
- Zimmermann, M.V.G. and Silva, G.A.T., 2022. “Avaliação de materiais utilizados em compósitos com estrutura sanduíche para aplicação em pranchas de surfe”. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, Vol. 19, pp. 0–0.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.