



Otimização do quadro de *powertrain* de um protótipo de alta eficiência energética

Optimization of the powertrain frame of a high energy efficiency prototype

João Ikeda Mazaro

joao.mazaro@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Bruno Bellini Medeiros

brunomedeiros@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

RESUMO

A indústria automotiva vem buscando obter veículos cada vez mais eficientes nos últimos anos, principalmente pela implementação de medidas cada vez mais restritivas com relação a consumo de energia e emissão de gases de efeito estufa desses veículos. Por isso, a equipe Pato a Jato desenvolve veículos individuais de alta eficiência energética que participam de competições nacionais e internacionais de eficiência energética de modo a melhor compreender os fatores que influenciam a eficiência de um veículo. Portanto, nesse trabalho foi proposto um novo projeto para o quadro do protótipo Popygua de modo a aumentar sua eficiência energética por meio da redução de peso do componente e para solucionar problemas do componente atual. Para isso, foi utilizado a análise estrutural pelo método dos elementos finitos de modo a auxiliar no desenvolvimento do projeto e analisar o comportamento do componente sob os esforços solicitados para assim obter uma estrutura altamente otimizada para sua aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética. Análise estrutural. Elementos finitos.

ABSTRACT

The automotive industry has been seeking to obtain increasingly more efficient vehicles in recent years, mainly due to the implementation of increasingly restrictive measures in relation to energy consumption and greenhouse gas emissions from these vehicles by several countries around the world. For this reason, the Pato a Jato team develops high energy efficiency individual vehicles that participate in national and international energy-efficiency competitions in order to better understand the factors that influence the efficiency of a vehicle. Therefore, in this work a new design for the Popygua prototype frame was proposed in order to increase its energy efficiency by reducing the component's weight and to solve problems of the current component. For this, structural analysis with the finite element method was used to assist in the development of the project and to analyze the behavior of the component under the required loads, thus obtaining a highly optimized structure for its application.

KEYWORDS: Energy efficiency. Structural analysis. Finite element method.



1 INTRODUÇÃO

A Pato a Jato é uma equipe de eficiência energética formada por acadêmicos da UTFPR campus Pato Branco e participa de competições nacionais e internacionais, sendo tricampeã da Shell Eco-Marathon Brasil, alcançando a marca de 720,4 km/l na categoria etanol em 2019 com o protótipo de eficiência energética Popygua. (SHELL, 2019)

Para se obter tal resultado, a equipe utiliza diversos conceitos de engenharia de modo a se obter um veículo mais eficiente possível, sendo um dos principais focos na construção do protótipo, a obtenção de estruturas altamente otimizadas para que possuam a menor massa possível atendendo os requisitos necessário já que é possível obter um aumento de até 6,8% na eficiência de um veículo ao reduzir 10% de sua massa total. (JOOST, 2012)

Desta forma, este trabalho teve como objetivo selecionar um componente do protótipo atual e realizar um projeto de otimização de forma a obter uma redução de massa total, que é atualmente de 1,37 kg, mantendo ou melhorando sua funcionalidade e atendendo aos critérios de falha selecionados. Para isso, foi utilizado o *software* de CAE Ansys para auxiliar no processo de design do componente selecionado e para analisar o comportamento do mesmo sob os esforços atuantes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 SELEÇÃO DO COMPONENTE

Para a definição do componente a ser projetado, foram realizadas diversas reuniões com os membros da equipe de modo que fosse escolhido aquele que acarretasse no maior benefício para o protótipo, levando em consideração o alívio de peso possível de ser alcançado, os problemas encontrados nos componentes atuais e a facilidade de fabricação de tal substituto.

Após estas reuniões, foi decidido realizar o projeto de um novo quadro, mostrado na Figura 1, componente que fica na parte traseira do protótipo e que possui grande função estrutural por ser diretamente conectado a uma das três rodas e suportar grande parte do peso do veículo, também é neste componente que é fixado todo o sistema de *powertrain* e parte do sistema elétrico.

Figura 1 — Quadro atual do protótipo



Fonte: Autoria própria (2021).



O principal motivo para a escolha deste componente foi o fato de que o projeto atual apresenta constantes falhas, principalmente nas soldas onde ocorre a formação de trincas, na região onde as gancheiras são fixadas que acabam deformando plasticamente e eventualmente rompendo o perfil e nas furações do quadro que sofrem deformações com o tensionamento dos parafusos de fixação, sendo exemplificado na Figura 2.

Fazendo assim necessário que o componente inteiro seja trocado em intervalos curtos de tempo, normalmente próximo a um ano de uso, isso se dá principalmente pela construção do componente, que é composta por perfis de alumínio utilizados em esquadrias, ou seja, não possui as propriedades mecânicas adequadas para os requisitos estruturais do quadro e são de difícil soldagem por possuírem paredes finas, o que acarreta em empenamentos durante o processo de fabricação e trincas posteriores nas regiões soldadas.

Figura 2 — Exemplos de falhas do quadro.



Fonte: Autoria própria (2021)

2.2 MATERIAL

O material escolhido para o novo quadro foi a liga de alumínio 6061-T6 por possuir uma relação de resistência-peso excelente, possuir uma boa soldabilidade e ser facilmente encontrado no mercado em chapas e barras de diferentes espessuras, tendo suas principais propriedades mecânicas retiradas da *Aerospace Specification Metals Inc* e mostradas na Tabela 1. (ASM, 2021)

Tabela 1 – Propriedades do 6061-T6

Propriedade	Valor	Unidade
Densidade	2,7	g/cm ³
Módulo de Elasticidade	68,9	GPa
Limite de Resistência a Tração	310	MPa
Limite de Escoamento	276	MPa

Fonte: Autoria própria (2021)



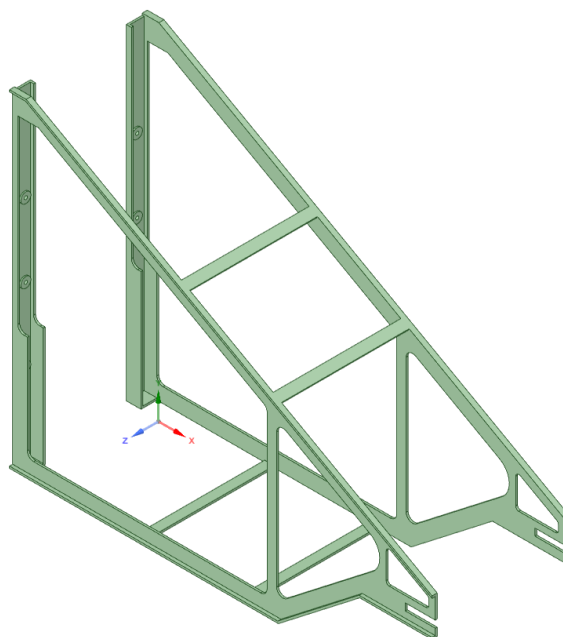
2.3 GEOMETRIA

A geometria do novo quadro levou em consideração o espaço disponível dentro da carenagem do protótipo e o posicionamento de outros componentes como o eixo traseiro e o *powertrain* do veículo, optamos por manter a posição destes dois conjuntos para que não seja necessário realizar outras modificações além do quadro, também foram utilizadas as mesmas furações de fixação do quadro no monocoque do veículo.

Para a criação do modelo 3D, foi utilizado o *software* de CAD *SpaceClaim* versão 2020.2.0.06012 desenvolvido pela *SpaceClaim Corporation*. (ANSYS, 2020)

Durante a concepção da geometria, levou-se em consideração a viabilidade de fabricação, sendo possível fabrica-lo com chapas de 3 mm de espessura e processos simples de usinagem e soldagem, gerando o modelo 3D demonstrado na Figura 3.

Figura 3 — Modelo 3D do quadro



Fonte: Autoria própria (2021)

2.4 ANÁLISE ESTRUTURAL POR ELEMENTOS FINITOS

Com o material e geometria definidos, foi utilizado o *software* *Ansys Workbench* versão 2020 R2 junto com o módulo *Mechanical* para a análise estrutural por elementos finitos da estrutura. (ANSYS, 2020)

2.4.1 Condições de Contorno

As condições de contorno utilizadas foram escolhidas de modo a melhor modelar a situação real em que o quadro estará submetido, mas que não adicione uma complexidade desnecessária e aumento no tempo de processamento.



Para isso, foram utilizadas como condições contorno o suporte cilíndrico e bloqueio de deslocamento no local em que o quadro estará fixado com parafusos na parte traseira do monocoque do protótipo para assim simular o suporte dos parafusos e da superfície traseira.

Também foram consideradas duas cargas para o modelo, uma força de 580 N na direção positiva do eixo Y aplicada nas gancheiras traseiras, simulando a reação do peso suportado pela roda traseira, e uma força de 30 N na direção negativa do eixo Y aplicada nas barras inferiores, simulando o peso do conjunto do *powertrain*.

2.4.2 Malha

Pela geometria complexa da estrutura, foram utilizados elementos tetraédricos de segunda ordem para a geração da malha, sendo realizado um estudo de convergência para a definição do refino de malha ideal, sendo avaliado a variação entre iterações da tensão máxima e deformação máxima da estrutura, sendo os resultados apresentados na Tabela 2.

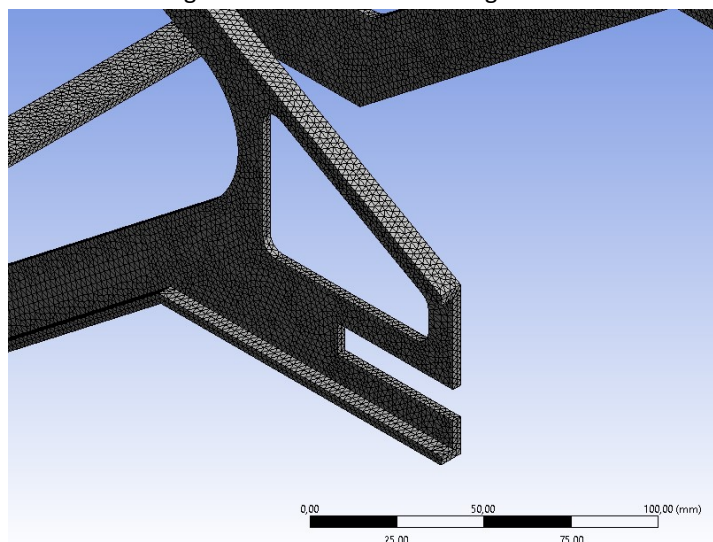
Tabela 2 — Estudo de convergência da malha.

Número de Elementos	Tensão Máxima (MPa)	Variação Tensão (%)	Deformação Máxima (mm)	Variação Deformação (%)
11848	77,3	-	1,97	-
40847	90,4	14,5	2,02	2,5
148275	100,29	9,9	2,03	0,5
533710	102,16	1,8	2,04	0,5

Fonte: Autoria própria (2021).

Assim, foi utilizado um tamanho de elemento igual a 2 mm, demonstrado na Figura 4, por obter uma variação de tensão e deformação entre iterações menor que 5%, podendo assim ser considerada suficientemente refinada para este caso. (MADIER, 2020)

Figura 4 — Detalhe da malha gerada.



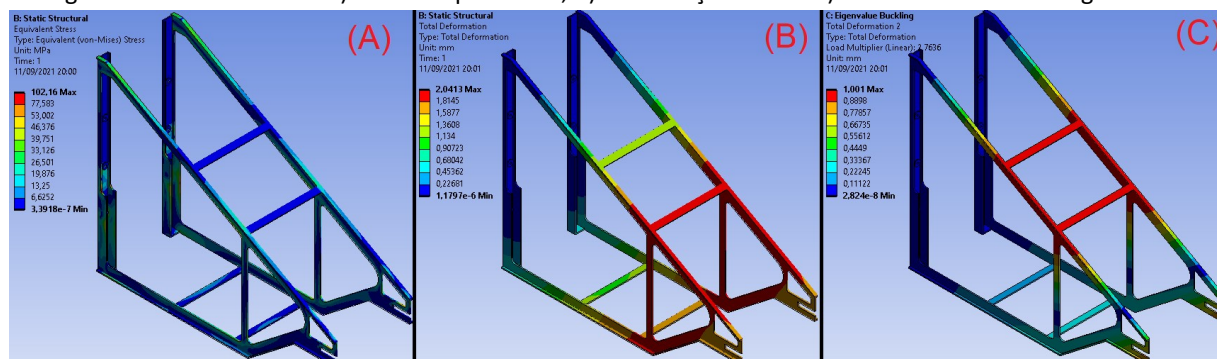
Fonte: Autoria própria (2021).



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o modelo gerado, foram realizadas duas análises, sendo uma estrutural estática e outra de avaliação de carga crítica de flambagem, tendo os resultados demonstrados na Figura 5.

Figura 5 — Resultados de a) tensão equivalente, b) deformação total e c) sensibilidade a flambagem.



Fonte: Autoria própria (2021).

Portanto, foi obtido um valor de tensão máxima equivalente (Von-Mises) igual a 102,16 MPa, uma deformação total máxima de 2,04 mm e um multiplicador de carga crítica igual a 2,76. Resultando então em um fator de segurança ao escoamento igual a 2,70, um fator de segurança a flambagem igual a 2,76 e uma massa estimada de 1,25 kg.

4 CONCLUSÃO

A estrutura final do quadro se mostrou bem otimizada, obtendo coeficientes de segurança adequados tanto para o escoamento quanto para flambagem e um deslocamento total aceitável sendo 9,6% mais leve que o quadro atual.

Também foi possível obter um componente que possui uma maior facilidade de fabricação por possuir chapas mais grossas, possuindo 3 mm de espessura ao invés de 1,5 mm como os perfis do quadro atual, e um número menor de partes soldadas, como por exemplo a lateral do quadro que era composta de 5 segmentos de perfil soldados que foram substituídos por um único componente usinado, o que diminui o risco de empenamento e de falhas nas regiões soldadas durante o processo de fabricação.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela concessão da bolsa PROREC e os membros e professores coordenadores da equipe Pato a Jato pelo apoio.



REFERÊNCIAS

ANSYS. **Ansys Workbench**. Versão 2020 R2, 15 jul. 2020. Disponível em:
<https://www.ansys.com/products/release-highlights>. Acesso em: 13 set. 2021.

ASM. Aluminum 6061-T6; 6061-T651. **Aerospace Specification Metals Inc.**, 2021. Disponível em:
<<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061t6>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

JOOST, W. J. Reducing Vehicle Weight and Improving U.S. Energy Efficiency Using Integrated Computational Materials Engineering. **JOM**, 2012.

MADIER, D. **Practical Finite Element Analysis for Mechanical Engineers**. 1ª. ed. Hamilton: Valerie Paterson, 2020.

SHELL. Pato A Jato é tricampeã na quarta edição da Shell Eco-marathon Brasil. **Shell**, 19 Setembro 2019. Disponível em: <<https://www.shell.com.br/imprensa/comunicados-para-a-imprensa-2019/pato-a-jato-e-tricampea-na-quarta-edicao-da-shell-eco-marathon-brasil.html>>. Acesso em: 17 Julho 2021.