

CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS EXPERIMENTAIS VIA MANUFATURA ADITIVA – INOVAÇÃO EM SISTEMAS DE SEGURANÇA VEICULAR

Marcelo Lopes – Universidade de Taubaté

E-mail: marcelolopes5x@gmail.com

Filipe Wiltgen – Universidade de Taubaté

E-mail: LFWBarbosa@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@unitau.br

Resumo: Este artigo descreve a importância da fabricação de protótipos experimentais aplicando diferentes técnicas de Manufatura Aditiva (MA) para o desenvolvimento de sistemas complexos e inovadores de sistema de segurança veicular dentro dos processos de Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR). A indústria automotiva conhece bem a importância dada atualmente para sistemas de segurança veicular, conforme avança tecnologicamente em seus produtos e projetos de novos veículos, externamente e internamente, diversos são os sistemas que necessitam de atualizações, porém o desenvolvimento técnico é oneroso, em tempo e custo quanto aplicado processos tradicionais de construção de protótipos experimentais. Dentre os sistemas de segurança veicular, o cinto de segurança se destaca nas melhorias de funcionamento e fabricação. Nesta pesquisa é apresentado o desenvolvimento de uma nova peça para compor o sistema de cinto de segurança veicular através da construção de protótipos experimentais em MA utilizando ESR. Os resultados obtidos com a fabricação de novos protótipos experimentais, tem inovado a forma de projetar e desenvolver novos componentes na indústria de segurança veicular.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva; Protótipos Experimentais; Engenharia de Sistemas & Requisitos; Segurança Veicular.

CONSTRUCTION OF EXPERIMENTAL PROTOTYPES VIA ADDITIVE MANUFACTURING – INNOVATION IN VEHICLE SAFETY SYSTEMS

Abstract: This paper describes importance of manufacturing experimental prototypes applying different Additive Manufacturing (AM) techniques for development of complex and innovative vehicle safety systems within Systems & Requirements Engineering (SRE) processes. The automotive industry is well aware of importance currently given to vehicle safety systems, as technological advances in its products and new vehicle projects, externally and internally, there are several systems that need updates, but technical development is costly, in time and cost as applied traditional processes of building experimental prototypes. Among vehicle safety systems, seat belts stand out in terms of operational and manufacturing improvements. This research presents the development of a new part to compose the vehicle seat belt system through construction of experimental prototypes in MA using ESR. The results obtained with manufacture of new experimental prototypes have innovated way to design and develop new components in vehicle safety industry.

Keywords: Additive Manufacturing; Experimental Prototypes; Systems & Requirements Engineering; Vehicle Security.

1. Introdução

A inovação no desenvolvimento de novos produtos é um processo cujo objetivo é melhorar um item, quer seja com uma reformulação completa, um novo projeto diferente na essência, quer seja com a melhoria localizada de um determinado item em um sistema para melhorar sua funcionalidade, praticidade ou eficiência.

Sendo que qualquer projeto de inovação necessita de testes e análise, e quase sempre com protótipos físicos reais. Porém, a construção de protótipos físicos reais em

processos convencionais possui prazo e custos que podem vir a inviabilizar um novo projeto (OCDE, 2005).

Nesta pesquisa tem-se a Manufatura Aditiva (MA) como técnica de construção de protótipos físicos reais de forma rápida e de baixo custo (ALCALDE; WILTGEN, 2018; WILTGEN; ALCALDE, 2019; WILTGEN, 2020A; GOMES; WILTGEN, 2020; SANTANA, 2019; COMENALE; WILTGEN, 2021). Soluções inovadoras necessitam de ideias e técnicas inovadoras. Seguir os requisitos impostos a cada fase do desenvolvimento metódico e moroso dos projetos e da produção de peças de segurança automotivas não é trivial.

A evolução da MA nos últimos anos tornou capaz a utilização de diferentes tecnologias o que possibilita encurtar a construção de protótipos físicos reais, e a união da MA com as técnicas de Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) na análise do problema (Domínio do Problema), permite o desenvolvimento baseado na maturidade tecnológica (*TRL – Technology Readiness Level*) e no desenvolvimento de diversas opções técnicas (Domínio da Solução) que podem ser construídas na forma de protótipos físicos reais e devidamente experimentadas e testadas (WILTGEN, 2019; WILTGEN, 2020A, WILTGEN, 2020B, WILTGEN, 2021A; WILTGEN, 2021B; INCOSE, 2015; NASA, 2018; DoD, 2001; KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998).

Sistemas de segurança veiculares precisam da realização de diversos testes de validação do produto, sendo que os ensaios e análises realizados nesta pesquisa são para a validação da ideia de um novo produto, que depois de experimentado em ensaios e devidamente analisado e verificado poderá seguir para a fabricação e testes de funcionamento em ambiente controlado, teste em laboratório (*DT&E – Developmental Test and Evaluation*) e posteriormente em ambiente relevante ou operacional, teste em campo (*OT&E – Operational Test and Evaluation*) que compõem plano de ensaios completo (*RTD&E – Research Testing Development and Evaluation*).

Nessa pesquisa foi proposto o desenvolvimento de uma peça do sistema de cinto de segurança veicular com inovação na construção, na montagem e na funcionalidade. Para o desenvolvimento foram aplicadas técnicas do domínio do problema e no domínio da solução, com objetivo claro de redução de custo e prazo de fabricação, além de obter maior eficiência operacional e de montagens. Com todas as peças fabricadas, foi possível delinear as opções para ensaios e testes que permitiram seguir o desenvolvimento baseado em ESR para obter as análises e resultados para corroborar com o projeto para a sua evolução e maturidade.

O objetivo e a relevância desta pesquisa vêm do fato de que há a necessidade de aplicar a inovação nos processos de transformação de ideias de peças na forma de protótipos funcionais de maneira ágil. A utilização de tecnologias de MA viabiliza a construção rápida de peças protótipos para a realização dos ensaios com ESR, e com isso é possível acelerar o processo de desenvolvimento inventivo, com base na inovação de componentes e de peças no setor automobilístico de segurança veicular.

No decorrer desse artigo, tem-se a aplicação da metodologia construção de protótipos utilizando a MA. O desenvolvimento do projeto de uma peça inovadora cujo objetivo principal é realizar a função o travamento do sistema de cinto de segurança veicular. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados obtidos das análises destes testes com os protótipos referentes aos ensaios realizados durante o desenvolvimento e as perspectivas de avanços tecnológicos advindos da união da MA com ERS na construção e estruturação dos testes a serem aplicados, respectivamente. Levando a discussão dos resultados e as conclusões.

2. Inovação com Manufatura Aditiva na Indústria Automotiva

A solução técnica adotada nesta pesquisa para o dispositivo do cinto de segurança veicular em questão não apresenta problemas de desempenho técnico, e tão pouco de deficiência no processo produtivo ou mesmo problemas com o cliente final, porém, este é o sistema destinado a esta pesquisa com a intenção clara de obter inovação. O desenvolvimento de um novo produto começa com uma nova ideia ou com a identificação de uma nova oportunidade, como neste caso não existe um problema explícito de projeto a possibilidade de inovação se torna ainda mais desafiadora.

Sendo que a solução inovadora exposta aqui nesta pesquisa é considerada incremental, por se tratar de uma melhoria significativa das funções do produto existente. É fundamental que na etapa inicial do projeto se explore o entendimento e domínio do problema, assim, tem-se a obtenção de ideias criativas de forma mais robusta, as quais devem ser transformadas em projetos e protótipos cujo critérios de teste, nesta fase, muitas vezes podem ser subjetivos.

O setor de autopeças utiliza métodos tradicionais de desenvolvimento, as quais quase nunca contemplam inovação, sem atender as necessidades solicitadas pelos clientes e pelo mercado (AMORIM, 2013; BROWN, 2010; DESCONSI, 2012; HAUBERT *et al.*, 2019; LIEDTKA, 2018; SANTOS, 2018; SIMON, 2015).

Em um processo criativo a execução de *brainstorming* para soluções é ampla em função do conhecimento tácito e técnico dos participantes e da experimentação de protótipos que quase sempre corrobora as tomadas de decisões que acarretam mudanças interessantes no projeto (LIEDTKA, 2018; MACEDO, 2015). A aplicação da MA neste processo é dinâmica, isso significa que serão necessárias muitas interações, e construções de diversos e diferentes protótipos.

Conseqüentemente a prototipagem em projetos de engenharia é sem dúvida uma fase imprescindível no desenvolvimento de novos produtos, técnicas, itens na indústria e na academia e pesquisas tecnológicas (WILTGEN, 2019; WILTGEN, 2021B; AMORIM, 2013).

A MA proporciona a fabricação de peças complexas sem a necessidade de outras máquinas, com a vantagem de redução do número de etapas e de processos de fabricação e ainda economizando matéria-prima (GIORDANO, 2016).

A construção do protótipo via MA em diferentes fases do projeto impõe uma agilidade e eficiência importantes (FEOLA, 2016; JALONEN, 2012). Desta forma, diferentes protótipos são utilizados e testados até que a maturidade tecnológica de cada etapa seja satisfeita (WILTGEN, 2019; WILTGEN, 2021B; ALCALDE, E.; WILTGEN, 2018).

3. Protótipos Experimentais de Cintos de Segurança Veicular Via Manufatura Aditiva

Os automóveis são projetados para ter segurança dentro e fora do veículo. Existem dois tipos de soluções com relação à segurança veicular, a segurança do tipo passiva e do tipo ativa. A segurança ativa atua na prevenção de um acidente, sistema de frenagem ABS (*Anti-lock Braking System*), que impede que as rodas travem, e assim, o pneu não perca a aderência na pista.

Existe também, a segurança do tipo passiva que está relacionada com sistemas que atuam no momento de uma colisão, com objetivo de reduzir, ou mesmo, evitar as lesões nos ocupantes do veículo como os cintos de segurança. Os cintos de segurança, *airbags*

e elementos estruturais da carroceria reforçados, servem para obter segurança (MATSUMOTO, 2010; WILHELM, 2018).

Essa pesquisa se limita ao desenvolvimento de um conceito e validação de um componente do cinto de segurança veicular inovador. De acordo com a *Highway Traffic Safety Administration (HTSA)*, entidade dos EUA, a utilização correta do cinto de segurança é o maior responsável pela segurança do condutor e dos passageiros nos veículos (KAHANE, 2015; WILHELM, 2018), sua principal função é manter o ocupante fixo no assento durante todo o um evento de colisão.

Dentre os modelos de cintos de segurança que existem, o modelo com 3 (três) pontos de fixação é o mais amplamente utilizado em veículos de passeio. Conforme pode ser visto na Figura 1 esse item de segurança é composto de um cadarço (cinto propriamente dito) que passa pela região pélvica e torácica do corpo do ocupante do veículo, ancorado por três pontos distintos. O sistema completo é composto por quatro subsistemas chamados de retratores (1), cadarço (2), lingueta (3) e ancoragem (4).

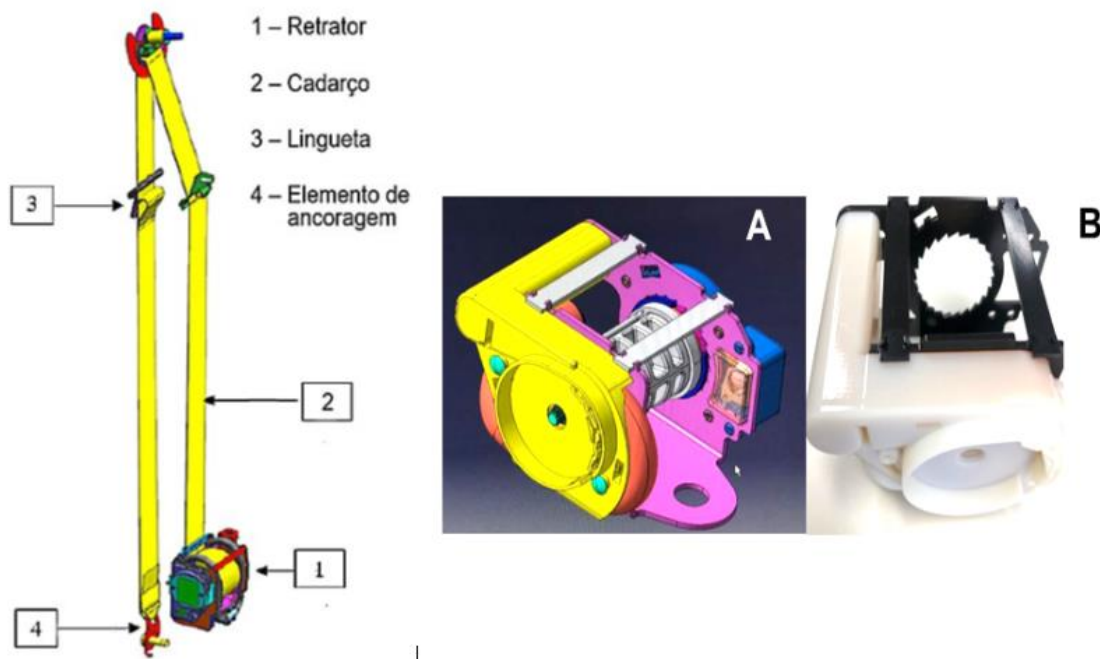


Figura 1 – Sistemas que compõem o cinto de segurança de três pontos. Projeto do retrator desenhado em CAD (A) e o protótipo do retrator construído via Manufatura Aditiva (B).

Fonte: Próprios Autores.

Esses sistemas de segurança são os responsáveis para atender a função primária de um cinto de segurança, que é reter o usuário no momento de desaceleração do veículo, porém, o subsistema que define as principais características de um cinto de segurança é o conjunto retrator (Figura 1 n°1 – ilustrações A e B).

O retrator é o subsistema que acomoda o cadarço do cinto de segurança, oferecendo liberdade ao ocupante, extraindo e recolhendo o cadarço em função da movimentação do usuário. Este tipo de retrator atende os requisitos da norma NBR 7337 (2014) o qual é baseada na norma europeia *ECE R16* (modelo 4N) que tem como principal característica o sistema duplo de travamento automático, que é acionado em duas situações, por desaceleração do veículo e por extração do cadarço de dentro do retrator.

Isso significa que em condição de uso normal o catarço está livre para ser extraído do retrator, porém, quando ocorre uma colisão o catarço fica travado dentro do retrator impedindo sua extração, e assim, impedindo o deslocamento do usuário do assento do veículo. Na Figura 2 pode ser observado o sistema de travamento do retrator do cinto de segurança. No detalhe, com círculo na cor vermelha, indica a exata posição de travamento do sistema com o bloqueio do movimento do catarço.

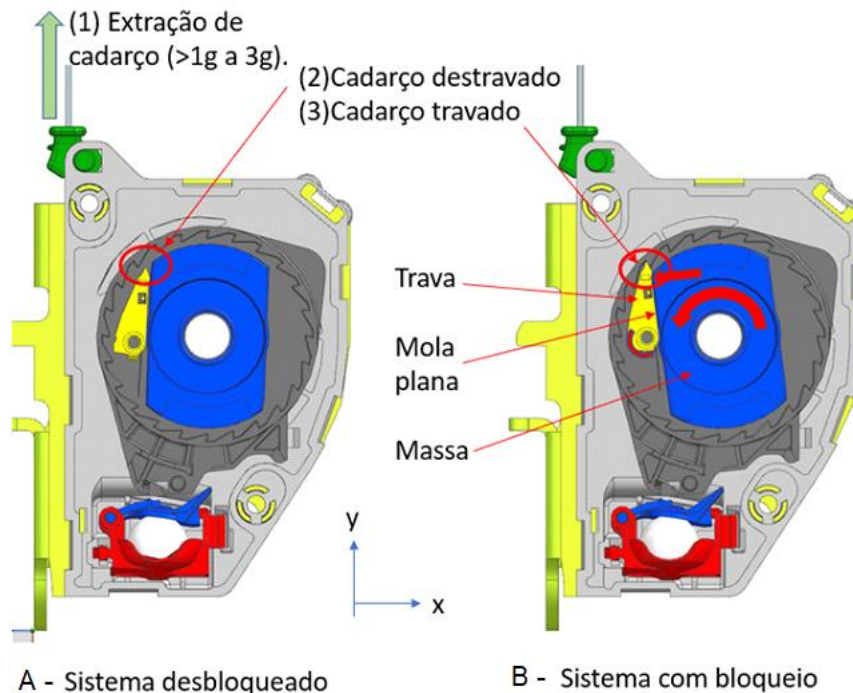


Figura 2 – Sistema de bloqueio para cintos de segurança (A – Sistema Desbloqueado e B – Sistema Bloqueado).

Fonte: Próprios Autores.

O bloqueio de travamento do catarço por desaceleração ocorre quando o veículo sofre uma colisão ou uma frenagem severa no qual os valores de aceleração ficam acima de 0,45G (G é a constante gravitacional referente a aceleração ou desaceleração). A outra forma de travamento do sistema retrator funciona quando o catarço é extraído do retrator com uma aceleração entre 1 a 3G.

O objetivo do artigo não é explorar detalhadamente o conjunto funcional do cinto de segurança, porém, para uma melhor compreensão da pesquisa é demonstrado o funcionamento básico deste sistema de bloqueio.

O acionamento de travamento por extração de catarço segue o princípio da primeira Lei de Newton, também conhecida como princípio da inércia (todo corpo permanece em seu estado de repouso até que as forças que atuem sobre ele se anulem). No sistema retrator, a peça de nome “Massa” possui liberdade de rotação em torno do eixo Z, apoiada diretamente na peça chamada de “Trava” e sob ação da peça de compressão com nome de “Mola Plana”, como podem ser observadas na Figura 2.

No centro da “Massa” existe o “Carretel” que é a peça responsável por condicionar o catarço enrolado. Quando o catarço é extraído do retrator com uma aceleração entre 1 a 3G a peça “Massa” rotaciona devido a inércia, comprimindo a peça “Mola” que faz que a peça “Trava” se desloque e se trave em um dos “dentes” no segmento dentado do retrator, bloqueando o movimento do catarço. Para melhor compreensão do

funcionamento deste sistema pode ser visto na Figura 3 uma técnica de ESR conhecida como *Árvore Funcional* que permite entender o funcionamento simplificado do sistema de bloqueio de cinto de segurança veicular.

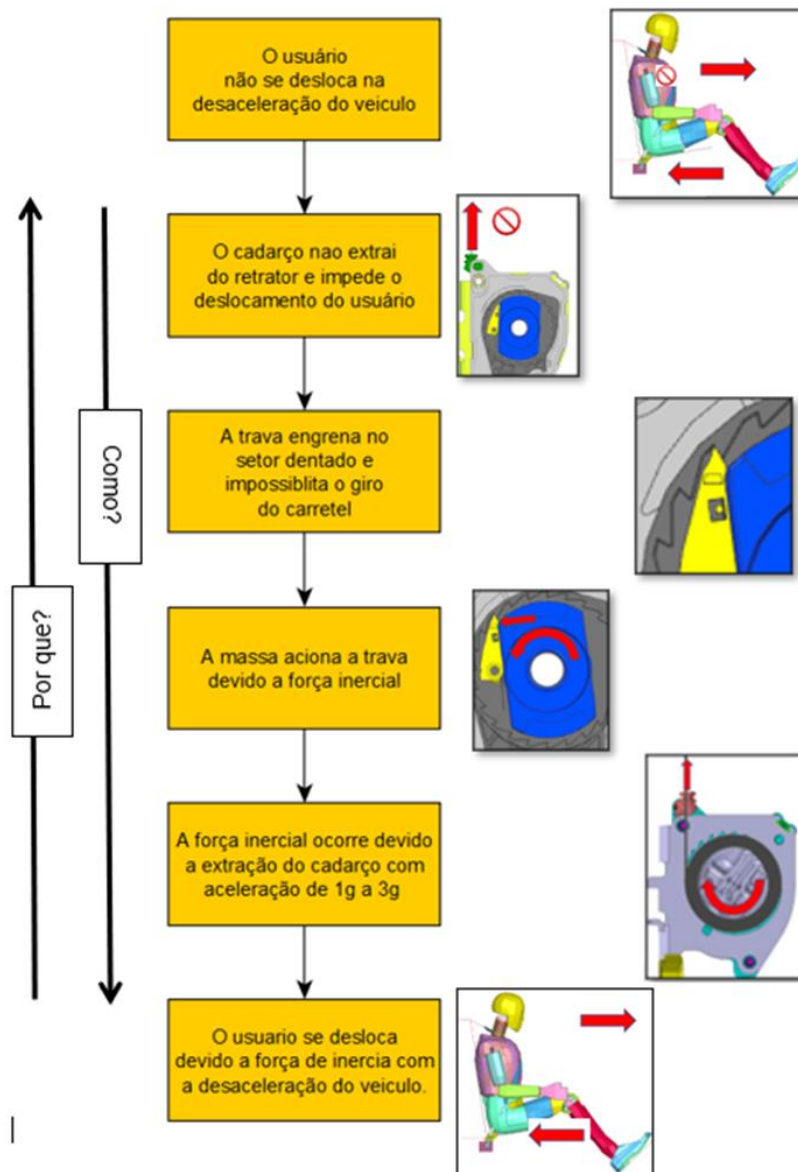


Figura 3 – Técnica de *Árvore Funcional* do sistema de bloqueio do cinto de segurança.

Fonte: Próprios Autores.

4. Resultados e Discussão

O sistema atual de retratores de cintos de segurança consistem em uma peça de nome “Massa” que é produzida em uma liga metálica chamada de *Zamak* (liga de Zinco (Zn), Alumínio (Al), Magnésio (Mg) e Cobre (Cu)). Existe também, nesse dispositivo, uma mola de aço em forma de lâmina, e outra peça chamada de “Trava” fabricada em polímero. Na Figura 4 podem ser apreciadas as 03 (três) propostas para melhoria do retrator do cinto de segurança:

- **Proposta 1:** Para uma melhor solução acústica a Massa (Figura 4 n°1) passa a ser produzida em polímero e a Trava está incorporada, tornando-se uma única

peça. Para isso a geometria foi modificada consideravelmente para aumentar o momento inercial. A mola (Figura 4 n°3) passa a ser helicoidal, esta geometria torna a carga de acionamento mais estável podendo garantir a sensibilidade de bloqueio próximo dos valores máximos permitidos pela norma (1 a 3G), aumentando o conforto do usuário.

- **Proposta 2:** Nesta solução, igualmente com a solução 1, a massa e a trava se tornam uma única peça construída em polímero, a mola também é helicoidal, a diferença entre elas está na geometria que favorece o momento inercial, a mola (Figura 4 n°3) além de compressão possui flexão.

- **Proposta 3:** A massa (Figura 4 n°3) é produzida em *Zamak*, e a trava é de polímero com mola helicoidal. Esta solução favorece a precisão do acionamento e o momento inercial devido ao peso específico do *Zamak*, porém, provavelmente fica em desvantagem na resposta acústica.

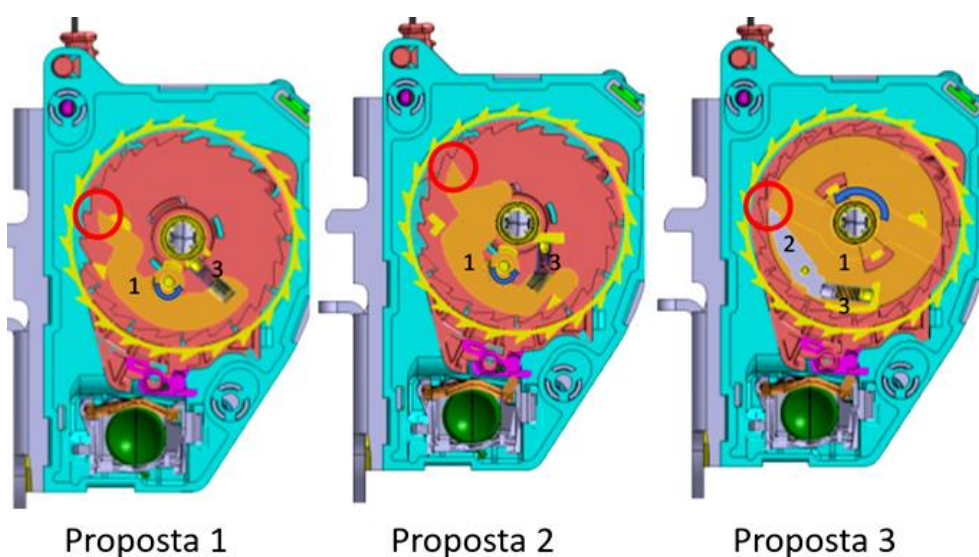


Figura 4 – Propostas de melhorias de retratores de cintos de segurança (Proposta 1, Proposta 2 e Proposta 3).

Fonte: Próprios Autores.

Quando um projeto possui muitos requisitos, a construção de protótipos funcionais para testes se torna ainda mais importantes para o desenvolvimento. A utilização de MA se mostra uma boa alternativa para a fabricação dos protótipos para a realização de ensaios físicos que podem influenciar o desempenho da peça, além disso é necessário análise dos resultados dos testes para determinar as ações futuras no desenvolvimento.

A realização de testes e ensaios em protótipos permitem verificar e alcançar níveis de maturidade tecnológica (*TRL*) os quais podem permitir que uma ideia se transforme em um produto (WILTGEN, 2019; WILTGEN, 2020; WILTGEN, 2021A WILTGEN, 2021B).

O processo de MA refere-se à construção a partir de um desenho 3D elaborado em CAD, no qual a principal diferença da manufatura subtrativa é que as peças são fabricadas com a adição de matéria-prima camada por camada, ao invés de remover a matéria-prima para produzir uma peça de interesse (WILTGEN, 2019).

Existem diferentes tecnologias na construção 3D que se diferenciam em função do processo e do tipo de matéria-prima empregada (GOMES; WILTGEN, 2020; SANTANA, 2019), possuem vantagens e desvantagens nenhuma dessas tecnologias é completa em todas as características (ABDULHAMEED *et al.*, 2019).

Para peças que necessitam ensaios com solicitação de força mecânica, como é o caso apresentado nesta pesquisa, é necessário avaliar a tecnologia de MA a ser aplicada devido a propriedade física de anisotropia que algumas tecnologias causam no material, por exemplo no processo de Modelagem por Deposição Fundida (*FDM – Fused Deposition Modeling*) possibilita o aparecimento anisotropia (ALMEIDA, 2007). A tecnologia de manufatura aditiva adotada nesta pesquisa é a de Jateamento de Material (*PolyJet*) que faz uso de matéria-prima do tipo polímero líquido e satisfaz esta propriedade física dos protótipos do projeto.

Essa técnica consiste em uma extrusora (cabeça de impressão) que deposita gotas de matéria-prima no estado líquido preenchendo a área de uma camada com espessuras de até ~30 μm (trinta micrômetros) movendo-se no plano XY. O processo se repete e camada por camada até que a peça seja totalmente construída. Em cada camada é aplicado um feixe de luz ultravioleta (UV) que faz o material se solidifique pelo processo de cura (cristalização). A propriedade física da peça depois de pronta é semelhante ao polímero do tipo ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno). Na Figura 5, é possível observar os protótipos construídos para os testes físicos de desempenho de funcionamento com essa técnica.

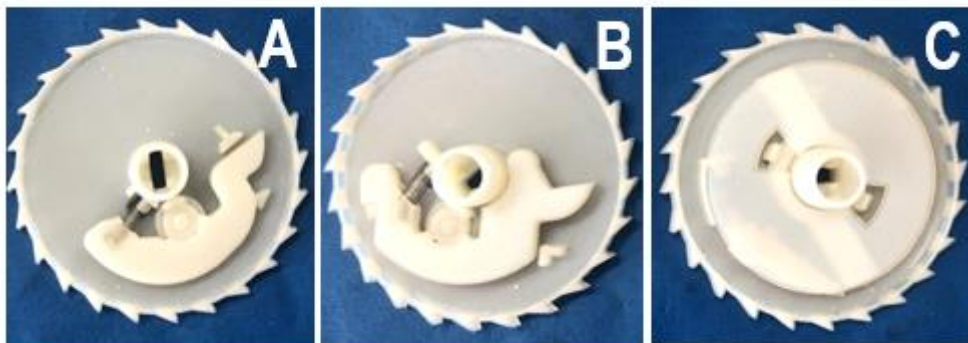


Figura 5 – Protótipos funcionais da trava de cintos de segurança construídos via Manufatura Aditiva em Polímero.

Fonte: Próprios Autores.

A característica física e geométrica dos protótipos funcionais possibilitou a execução dos testes de avaliação do conforto acústico das propostas, além da análise ergonômica de montagem de cada peça. A aplicação de métodos de desenvolvimento com inovação possibilitou desenvolver diferentes soluções, principalmente quando aliada a MA para a fabricação dos protótipos para testes o processo se torna dinâmico e viável.

O estudo de caso apresentado nesta pesquisa contempla as principais premissas dos clientes (externos e internos), a viabilidade técnica comercial e a praticidade construtivas.

Para avaliar de forma justa as propostas de melhoria dessa pesquisa, utilizou-se uma Matriz de Posicionamento (MP), que tem por objetivo subsidiar o processo de decisão a partir do nível de atendimento dos critérios propostos nos requisitos de projeto, no qual

cada ideia é avaliada de forma objetiva observando sempre o atendimento dos requisitos de projeto (aceitos e validados), conforme pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Matriz de Posicionamento para avaliação das três propostas de desenvolvimento testadas.

Cliente	Critérios (necessidade)	Soluções propostas	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3
Cliente final	Conforto	Acionamento acima de 2g	✗	✓	✓
		Aplicação de mola helicoidal	✓	✓	✓
		Momento de inercia maior	✗	✗	✓
	Ruído	Aplicação de matéria-prima com absorção de ruído	✓	✓	✗
		Restrição de grau de liberdade	✓	✓	✗
		Menor número de peça	✓	✓	✗
Cliente da fábrica	Ergonomia	Geometria com facilidade de montagem	✓	✓	✗
			71%	86%	43%

Fonte: Próprios Autores.

Como pode ser observado no Quadro 1, a Proposta 2 foi considerada a melhor solução conforme sua viabilidade e praticidade, atendendo a maioria dos critérios e requisitos expressos pelos clientes (interno e externos) alcançando ~86% do esperado como solução de projeto.

5. Conclusão

O desenvolvimento de novos produtos incorporados com inovações na área de engenharia exige a construção de muitos protótipos e de muitos testes, o que demanda de muito tempo para sua execução e análise dos resultados.

A aplicação de técnicas de Manufatura Aditiva, permite o desenvolvimento de peças diferentes, pensadas e executadas de forma inovadora flexibilizando a construção e permitindo a criatividade em projetos.

Nessa pesquisa fica explícito o sucesso de um projeto de uma nova peça do sistema de segurança veicular que fez uso deste conceito para o desenvolvimento e manufatura.

A indústria automotiva tem muito a se beneficiar com a aplicação deste tipo de conceito de fabricação, que permite unir os esforços com criatividade e dinamismo na manufatura, construção de protótipos, testes e análises conforme a Engenharia de Sistemas & Requisitos propõe. Diferentes tecnologias de Manufatura Aditiva para a construção de protótipos experimentais com características muito próximas às peças produzidas no processo definitivo durante o desenvolvimento de novos projetos podem trazer uma oportunidade ímpar para a inovação eficaz na indústria automobilística no futuro próximo.

Referências

- ABDULHAMEED O.; AL-AHMARI A.; AMEEN W.; MIAN S.H.** *Additive Manufacturing: Challenges, Trends, and Applications*. Advances in Mechanical Engineering. v.11(02), p.1-27. 2019.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 7337. Veículos Rodoviários Automotores - Cintos de segurança - Requisitos e Ensaio, 2014. 65p.
- ALCALDE, E., WILTGEN, F.** *Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro*. Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté, Taubaté, v.24(2), p.1-9. 2018.
- ALMEIDA W.J.** *Otimização Estrutural de Protótipos Fabricados pela Tecnologia FDM Utilizando o Método de Elementos Finitos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007. 110p.
- AMORIM, A. G.** *Processos Criativos Sistemáticos como Fator-Chave para a Diferenciação das Empresas: Abordagem do Design Thinking*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto. 2013. 53p.
- BROWN, T.** *Design Thinking: Uma Metodologia Poderosa para Decretar o fim das Velhas Ideias*. Starlin Alta, 2010. 239p.
- COMENALE, W., WILTGEN, F.** *Automação Industrial para a Manufatura Avançada com Apoio da Engenharia de Sistemas & Requisitos*. 11º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), Curitiba-PR, 24-26 maio, p.1-8, 2021.
- DESCONSI, J.** *Design Thinking como um Conjunto de Procedimentos para a Geração da Inovação: Um Estudo de Caso do Projeto G3*. Dissertação Mestrado, Centro Universitário Ritter dos Reis, Porto Alegre, 2012. 126p.
- DoD System Engineering Fundamentals (Department of Defense – DoD 22060-5565)**. Defense Acquisition University Press Fort Belvoir, Virginia, 2001. 223p.
- FEOLA, J. L.** *Avaliação da Contribuição do Design Thinking para a Redução de Incertezas em Projetos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nove de Julho. São Paulo, 2016. 126p.
- GIORDANO C. M.; ZANCUL E. S.; RODRIGUES V. P.** *Análise dos Custos da Produção por Manufatura Aditiva em Comparação a Métodos Convencionais*. Revista Produção Online, v.16(02), p.499-523. 2016.
- GOMES, J., WILTGEN, F.** *Avanços na Manufatura Aditiva em Metais: Técnicas, Materiais e Máquinas*. Revista Tecnologia, v.41(01), p.1-16. 2020.
- HAUBERT, B., SCHREIBER, D., PINHEIRO, C. M. P.** *Combinando o Design Thinking e a Criatividade no Processo de Inovação Aberta*. Revista Gestão e Planejamento, v.20, p.73-89. 2019.
- INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities (INCOSE-TP-2003-002-04)**. Version 4, Wiley, 2015. 304p.
- JALONEN, H.** The Uncertainty of Innovation: A Systematic Review of the Literature. Turku University of Applied Sciences. **Journal of Management Research**, v.4(01), p.1-53. 2012.
- KAHANE, C. J.** *Lives Saved by Vehicle Safety Technologies and Associated Federal Motor Vehicle Safety Standards, 1960 to 2012*. National Highway Traffic Safety Administration. Washington, 2015. 525p.
- KOTONYA, G., SOMMERVILLE, I.** Requirements Engineering: Process and Techniques. John Wiley and Sons, 1998. 294p.
- LIEDTKA, J.** *Why Design Thinking Works*. Magazine Harvard Business Review, September–October, p.1-14, 2018.
- MATSUMOTO, A. T.** *Estudo do Desempenho de Reforços Poliméricos em Estruturas Veiculares Submetidas a Impacto*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2010. 149p.
- MACEDO, M. A., MIGUEL, P. A., FILHO, N. C.** *Caracterização do Design Thinking como um Modelo de Inovação*. Revista de Administração e Inovação, v.12(03), p.157-182, 2015.
- NASA NASA Systems Engineering Handbook. Revision 2 (SP-6105)**. 2018. 298p.

OCDE *Manual de Oslo: Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados para a Inovação*. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), Paris, 2005. 184p.

SANTANA, L. *Avaliação das Capacidades da Impressão 3D de Baixo Custo na Fabricação de SNAP*. Tese de Doutorado, Universidade do Porto, Porto. 2019. 251p.

SANTOS, A. P., BAIA, A. P. *Inovação no Processo de Desenvolvimento de Produto através do Design Thinking*. Revista Empreender e Inovar, v.1(01), p.33-46, 2018.

SIMON, E. *The Application of Design Thinking in the Automotive Industry - An Exploratory Study*. Tese de Doutorado, Universität Berlin. Berlin. 2015. 133p.

WILTGEN, F., ALCALDE, E. *Prototipagem Rápida Aditiva Aplicada em Dispositivos Funcionais de Auxílio Humano*. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), São Carlos-SP, 5 a 7 agosto, p.1-6, 2019.

WILTGEN, F. *Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico*. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), São Carlos-SP, 5 a 7 agosto, p.1-5, 2019.

WILTGEN, F. *A Manufatura Avançada Precisa de uma Engenharia Avançada*. Revista Tecnologia, v.41(02), p.1-11, 2020A.

WILTGEN, F. *Técnica de Ensaios de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos*. Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas, v.4(01), p.51-60, 2020B.

WILTGEN, F., *Manufatura Aditiva em Metais – Leve, Forte e Inovador*. Revista de Engenharia e Tecnologia, v.13(02), p.47-58, 2021A.

WILTGEN, F. *Testing Plan in Systems & Requirements Engineering for Strategic Engineering Areas*. 26th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Curitiba-PR, 22-26 November, p.1-10, 2021B.

WILHELM F. GARCIA R. L. *Equipamentos de Segurança Veicular: Uma Análise da Legislação Brasileira*. Revista Eletrônica Científica da UERGS, v.4(02), p.283-298, 2018.