

INOVAÇÃO NO PROJETO CONCEITUAL DE SISTEMAS MECATRÔNICOS PARA APLICAÇÃO EM PROBLEMAS DE ENGENHARIA

ANTONIO CARLOS VALDIERO¹, ALAN GARCIA MAVIGNIER², RUBEN DARIO SOLARTE BOLAÑOS², TARIK EL HAYEK ROCHA PITTA DE ARAUJO³ e ISAAC VARELA BRITO GUIMARÃES DE SOUZA

¹ Dr. em Eng. Mecânica, Prof. Adjunto, LHW/EMC/UFSC, Florianópolis-SC, antoniocvaldiero@gmail.com;

² Me. em Eng. Mec., LHW/UFSC, Florianópolis-SC, alanmavignier@gmail.com; rubendariosolarte@gmail.com;

³ Estudante de Eng. Mec., UFSC, Florianópolis-SC, pittatarik@gmail.com; isaacdesouza10.11@gmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
4 a 6 de outubro de 2022

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar uma disposição inovadora de técnicas clássicas para o desenvolvimento do projeto conceitual de sistemas mecatrônicos que tem por diferencial a utilização do Nível de Prontidão Tecnológica (*Technology Readiness Level*, TRL) na geração de novas ideias para problemas de engenharia com inovações que agreguem mais eficiência, qualidade, segurança e confiabilidade. Durante o projeto conceitual, esta estratégia permite a busca de soluções criativas para as funções definidas ao permitir que se possa fazer uma previsão de tecnologias futuras que serão obtidas por meio de pesquisa e desenvolvimento. A metodologia deste trabalho consiste em um arranjo inovador a partir de métodos, ferramentas e técnicas já consagrados na literatura científica estruturados de forma a facilitar as atividades do projeto conceitual e a indução do raciocínio lógico e criativo. Como resultados, apresenta-se um exemplo de estudo de caso aplicado à equipamentos militares, onde é possível visualizar uma concepção inovadora de morteiro montado em veículo, apresentando as tecnologias necessárias para que esta concepção seja desenvolvida. Conclui-se que este método auxilia a equipe de projeto na determinação do custo de desenvolvimento e também auxilia a governança como ferramenta de apoio a tomada de decisão.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto conceitual, nível de prontidão tecnológica, inovação tecnológica.

INNOVATION IN THE CONCEPTUAL DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEMS FOR APPLICATION IN ENGINEERING PROBLEMS

ABSTRACT: This work aims to present an innovative arrangement of classical techniques for the development of the conceptual design of mechatronic systems that has as a differential the use of the Technology Readiness Level (TRL) in the generation of new ideas for engineering problems with innovations. that add more efficiency, quality, safety and reliability. During the conceptual design, this strategy allows for the search for creative solutions for the defined functions, allowing for a forecast of future technologies that will be obtained through research and development. The methodology of this work consists of an innovative arrangement based on methods, tools and techniques already established in the scientific literature, structured in order to facilitate the activities of the conceptual design and the induction of logical and creative reasoning. As a result, an example of a case study applied to military equipment is presented, where it is possible to visualize an innovative concept of vehicle-mounted mortar, presenting the necessary technologies for this concept to be developed. It is concluded that this method helps the project team in determining the cost of development and also helps governance as a tool to support decision making.

KEYWORDS: Conceptual design, technological readiness level, technological innovation.

INTRODUÇÃO

Constantemente são gerados projetos para oferecer novos produtos para atender às demandas do mercado, muitas vezes são soluções na forma de sistemas mecatrônicos para problemas de engenharia que requerem maior nível de desempenho, qualidade e confiabilidade. Novos produtos de

qualidade podem ser produzidos por meio de boas práticas na gestão de projetos e no desenvolvimento de produtos. Rosa (2014) apresenta um estudo sobre a contribuição das práticas estabelecidas pelo PMI (*Project Management Institute*) no setor de tecnologia da informação e mostra que o amadurecimento das empresas em gestão de projeto permite a empresa diminuir a resistência ao gerenciamento de projetos, diminuir o descumprimento de prazos e otimizar os recursos.

O nível de prontidão tecnológica (Technology Readiness Level, TRL) é uma ferramenta que permite analisar o nível de maturidade da tecnologia (Inthamoussu, 2015). Esta ferramenta consiste em dividir ciclo de vida da tecnologia em níveis e categorizar cada nível de acordo com uma definição e descrição. A Organização Internacional de Normalização (International Organization for Standardization, ISO) criou a Norma ISO 16290 que define os níveis de maturidade da tecnologia com base nos padrões de órgãos internacionais como a NASA e o Departamento de Defesa dos Estados Unidos. O TRL é uma ferramenta que também pode ser utilizada no projeto conceitual. Por meio desta ferramenta é possível utilizar técnicas de predição para determinar o nível de esforço e investimento necessário para obter o produto idealizado durante o projeto.

Na área militar, pode-se citar o protótipo de robô de combate proposto por Batista e Pereira (2021) como exemplo de aplicações mecâtrônicas para solução de problemas de combate e observação. Outra iniciativa inovadora é o drone de baixo custo projetado por Sarmiento et al. (2021) para aplicações diversas.

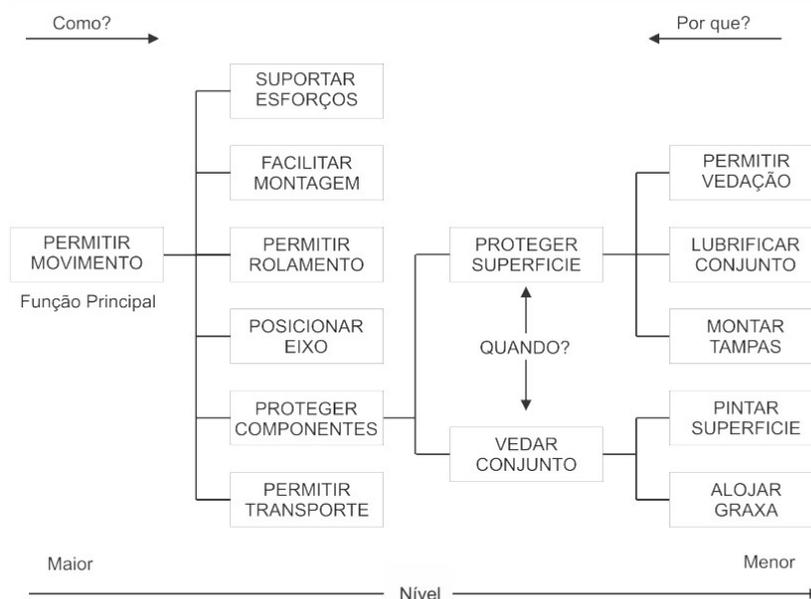
Este trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta métodos, técnicas e ferramentas que são utilizadas durante o projeto conceitual. A Seção 3 apresenta um exemplo de resultados da aplicação em um equipamento militar. Por fim, a Seção 4 apresenta as conclusões.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção apresentam-se alguns métodos, técnicas e ferramentas consagradas que foram escolhidas e utilizadas no desenvolvimento do projeto conceitual de forma a induzir o raciocínio lógico. Considera-se que a fase de Análise das Necessidades já foi realizada e já se dispões da lista de requisitos de projeto e das restrições previstas no ciclo de vida do produto.

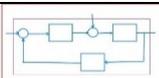
O primeiro passo é a elaboração do Diagrama FAST que é uma técnica que induz o pensamento lógico e ajuda na elaboração da estrutura funcional. Ela tem o objetivo de a partir da função principal fazer desdobramentos em funções parciais até funções elementares. Estas funções devem ser escritas da forma mais simples possível, um verbo e um substantivo. Estes desdobramentos são feitos por meio de perguntas de “como” pode ser realizada tal função. A pergunta “por que” pode ser feita para verificar se a função é adequada. A Figura 1 apresenta um exemplo de desdobramento de uma estrutura de funções para um mancal.

Figura 1. Exemplo de Diagrama FAST de um mancal (Adaptado de Scillag, 1991).



A partir da estrutura de funções elaborada é possível montar a matriz morfológica. Para cada função elementar da estrutura de funções são propostos diversos princípios de soluções. Cada princípio de solução deve ser apresentado por um ideograma que o represente da forma mais simples e intuitiva possível. O conjunto desses princípios de solução formam a matriz morfológica. A Tabela 1 apresenta um exemplo de matriz morfológica para o módulo de mobilidade de um equipamento.

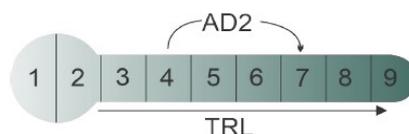
Tabela 1. Exemplo de parte de uma matriz morfológica (Adaptado de Mavignier, 2022).

Módulo de mobilidade	A - Transpor obstáculos	 A-1	 A-2	 A-3	 A-4
	B - Transpor rios	 B-1	 B-2		
	C - Trafegar em rodovias	 C-1	 C-2	 C-3	
	D - Acionar sistema	 D-1	 D-2	 D-3	 D-4
	E1 – Prover hardware	 E1-1	 E1-2		
	E2 – Prover software	 E2-1	 E2-2		

Com base na matriz morfológica, deve-se determinar o nível do TRL de cada princípio de solução. De acordo com Bilbro e Marshall (2006), a Avaliação de Tecnologia é composta de duas partes: uma Avaliação da Maturidade da Tecnologia e uma Avaliação do Grau de Dificuldade de Avanço (AD2). O processo começa com a avaliação da maturidade que é usada para determinar a maturidade tecnológica através da escala TRL. Em seguida, desenvolve uma compreensão do que é necessário para avançar o nível de maturidade por meio de um processo chamado AD2. O AD2 é uma técnica para dar suporte a qual tecnologia deve ser escolhida.

A Figura 2 apresenta a relação entre o AD2 e o TRL. Enquanto o TRL divide o ciclo de vida da tecnologia em diferentes níveis, o AD2 apresentar o nível de dificuldade de avançar a tecnologia do TRL existente ao TRL que se deseja. Há diversas formas de obter o AD2, como exemplo, pode ser citado os métodos desenvolvidos por Malone e Wolfarth (2012), Zhao e Wei (2014), Chang et al. (2014) e Zhang et al. (2012).

Figura 2. Associação entre AD2 e TRL (Mavignier, 2022).

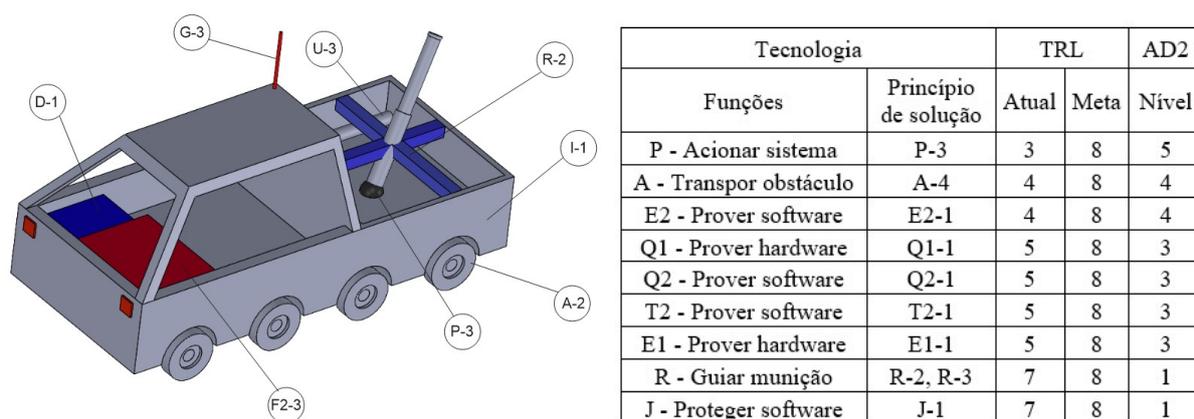


Na seção seguinte, apresenta-se o resultado da aplicação desta proposta metodológica no desenvolvimento e modernização de um moinho montado em veículo para aplicações do Exército Brasileiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

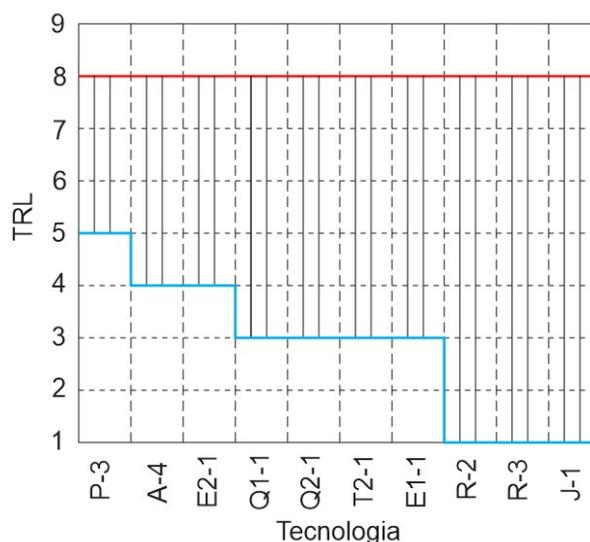
Como exemplo de resultado da aplicação desta proposta de inovação no projeto conceitual de sistemas mecatrônicos, apresenta-se sucintamente a concepção de um morteiro montado em veículo, onde maiores detalhes podem ser obtidos em Mavignier (2022). A partir da definição do problema de engenharia e da aplicação das técnicas descritas anteriormente, são geradas várias concepções e assim pode-se escolher a concepção que possui nível de investimento adequado à estratégia da organização. A análise do nível de investimento é feita por meio do AD2. A Figura 3 apresenta um exemplo de concepção e tecnologias associadas que precisam ser desenvolvidas para a obtenção destas tecnologias.

Figura 3. Exemplo de concepção e tecnologias a serem desenvolvidas (Adaptado de Mavignier, 2022).



De acordo com Olechowski, Eppinger e Joglekar (2015), o TRL possui 15 oportunidades e desafios diferentes que podem ser melhorados. Um deles é a apresentação visual. Aliado a este pensamento, Zhang et al. (2012) constrói um modelo de apresentação visual do AD2. Baseado no modelo de Zhang et al. (2012) e utilizando como referência as informações da tabela da Figura 3 foi construída a Figura 4 abaixo.

Figura 4. Gráfico AD2



O eixo das abscissas apresenta as tecnologias a serem desenvolvidas e o eixo das ordenadas apresenta os níveis de TRL das tecnologias. A linha azul apresenta o estado atual das tecnologias e a linha vermelha apresenta o estado o qual se deseja chegar com o desenvolvimento do produto. A diferença entre as duas linhas é o grau de dificuldade da tecnologia (AD2).

CONCLUSÃO

A associação das ferramentas de análise de TRL e AD2 ao projeto conceitual é muito importante para o sucesso de uma inovação de sistema mecatrônico, pois ajuda a prever o esforço e o tempo necessário de desenvolvimento da tecnologia no planejamento do projeto. Esta decisão tem como base que concepções distintas possuem um conjunto de tecnologias diferentes e assim possuem um conjunto de AD2 diferente, e assim podem envolver diferentes custos e tempos para desenvolvimento até a viabilidade de seu lançamento no mercado ou campo de aplicação. Assim, organização assim pode prever qual concepção exigirá mais investimento e poderá escolher a mais adequada à sua estratégia para solução do problema de engenharia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao Laboratório de Hardware (LHW) do Departamento de Engenharia Mecânica (EMC) da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) pelo apoio ao projeto de pesquisa “Desenvolvimento de Estufa Agrícola Robotizada de Baixo Custo” (SIGPEX: 202203044, CNPq: 306229/2021-8), e também a outros projetos relacionados (SIGPEX: 202023266 e 202002173), por meio de bolsas de iniciação científica, mestrado e doutorado.

REFERÊNCIAS

- Batista, W.; Pereira, L. D. WCOMBAT I: protótipo de robô de combate e observação. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia–CONTECC. 2021.
- Bilbro, J. W.; Marshall, G. C. Systematic Assessment of the Program/Project Impacts of Technological Advancement and Insertion, 2006.
- Chang, W. B.; Liu, W.; Zhou, S. H.; Zhou, S. Q. Technology research & development decision based on Relative Advancement Degree of Difficulty in Large Project, In: 26th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2014, 2014, pp. 2267–2271. doi: 10.1109/CCDC.2014.6852547.
- Inthamoussu, E. M. R. Sistemática para a Integração do Planejamento do Produto com o Planejamento do Projeto: Enfoque no Desenvolvimento de Tecnologias para Eletrodomésticos, 2015.
- Malone, P.; Wolfarth, L. System-of-systems: An architectural framework to support development cost strategies, 2012. doi: 10.1109/AERO.2012.6187427.
- Mavignier, A. G. Sistematização da Concepção Integrada de Sistemas Mecatrônicos para Aplicação no Exército Brasileiro. 2022. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Olechowski, A.; Eppinger, S. D.; Joglekar, N. Technology readiness levels at 40: A study of state-of-the-art use, challenges, and opportunities, In: Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, Sep. 2015, vol. 2015-September, pp. 2084–2094. doi: 10.1109/PICMET.2015.7273196.
- Rosa, Arthur Duarte. Análise Sistemática da Contribuição do PMI nas empresas do setor de TI: baseado nos dados do PMSURVEY entre os anos 2008 a 2012. Revista Computação Aplicada-UNG-Ser, v. 3, n. 1, p. 5–20, 2014.
- Sarmiento, P. P. S.; Fonseca, E. O.; Basdao, J. H.; Souza, M. S. D. de; Conceição, V. T. de F. da. Projeto de um drone de baixo custo: estudos e desenvolvimento. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia–CONTECC. 2021.
- Scillag, João Mario. Análise do valor: metodologia do valor, 1991.
- Zhang, G.; Yang, H.; Jing, X.; Wang, X. The application of visualization technology in advancement degree of difficulty computing process, In: Advanced Materials Research, 2012, vol. 457–458, pp. 1441–1446. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.457-458.1441.
- Zhao, D.; Wei, F. J.; Advancement degree of difficulty assessment method for complex products, In: Proceedings of the 5th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation, IEMI 2014, 2014, pp. 105–109. doi: 10.2991/978-94-6239-100-0_19.