

Proposta de um guia para prototipação de veículos tipo Fórmula SAE

Igor Gabriel Santos Souza

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

e-mail: the.higor97@gmail.com

Emerson Cleister Lima Muniz

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

e-mail: eng.prod.emerson@gmail.com

Resumo

Nos últimos anos, competições automobilísticas universitárias têm ganhado cada vez mais destaque, sendo uma delas a Competição Fórmula SAE. Ela desafia universitários a criarem pequenos veículos tipo Fórmula e competirem em equipes por suas universidades, ganhando a competição a equipe que se melhor se destacar na avaliação dos projetos conforme os requisitos estabelecidos pelo regimento da competição. Assim, cabe às equipes gerenciarem e desenvolver protótipos de veículos, que por sua vez, envolvem uma minuciosa gestão de recursos. Dito isto, este trabalho teve como objetivo criar um guia para equipe de competição Fórmula SAE para nortear estudantes no desenvolvimento de seus protótipos, carro tipo Fórmula para a competição. Para isso, foi realizado estudo de caso junto à equipe Escuderia UFSAE, da Universidade Federal de Sergipe, conjuntamente com pesquisas bibliográficas para construção do guia. Ao final, foi proposto um guia denominado “Da Ideia ao Pódio” com orientações para auxílio da equipe na competição e desenvolvimento do projeto.

Palavras-chave: Competições universitárias; Equipes; Fórmula SAE; Guia; Processo de Desenvolvimento de Protótipo.

Abstract

In recent years, university motorsport competitions have gained increasing prominence, one of which is the Formula SAE Competition. This event challenges university students to create small Formula-type vehicles and compete in teams representing their universities. The competition is won by the team that excels the most according to the evaluation of projects based on the established competition requirements. Thus, it is up to the teams to manage and develop vehicle prototypes, which in turn involve meticulous resource management. That said, this work aimed to create a guide for a Formula SAE competition team to guide students in the development of their Formula-type car prototypes for the competition. For this purpose, a case study was conducted with the Escuderia UFSAE team from the Federal University of Sergipe, along with bibliographic research to construct the guide. In the end, a guide titled "From Idea to Podium" was proposed, providing guidance to assist the team in the competition and project development.

Keywords: University competitions; Teams; Formula SAE; Guide; Prototype Development Process.

1. Introdução.

Veículos, em geral, são exemplos claros da evolução tecnológica no mundo. Em virtude da alta concorrência na indústria automotiva, Qin *et al.* (2013) alegam que melhorar a eficiência do processo de *design* e diminuir o período de lançamento de um produto no mercado estão se tornando elementos cruciais para o êxito de uma corporação.

Diante desse cenário, a Sociedade dos Engenheiros Automotivos (SAE - *Society of Automotive Engineers*) organiza anualmente o Fórmula SAE, uma competição exclusivamente para estudantes universitários de graduação e pós-graduação do Brasil, cujo objetivo é conceber, projetar, fabricar e competir com pequenos veículos de fórmula. A SAE é responsável por avaliar o projeto e o desempenho do protótipo, os quais são desenvolvidos e idealizados por acadêmicos de engenharia. Este processo é guiado pelos padrões e normas de segurança estabelecidos no regulamento da própria competição. Além disso, o projeto de veículo a ser desenvolvido deve apresentar excelentes desempenho quanto aos aspectos de aceleração, frenagem e agilidade, além de apresentar baixo custo de construção, facilidade de montagem e dar segurança ao piloto que o guiará na competição nos testes em pista (Benini; Almeida, 2016).

Os veículos inscritos nas competições devem ser projetados e fabricados de acordo com boas práticas de engenharia (SAE Brasil, 2022a). Nesse sentido, segundo Carollo *et al.* (2022), os projetos são julgados e avaliados por provas Estáticas e Dinâmicas abrangendo inspeções técnicas no veículo, análise dos relatórios de custo, apresentação dos projetos aos avaliadores, desenho técnico, testes de desempenho e resistência sob alta performance na pista. Todas estas etapas de avaliação são pontuadas individualmente para se ter uma análise detalhada de todos os projetos em teste na competição e selecionar aquele que atenda aos objetivos da competição, sendo assim considerado um projeto de execução viável pela comissão avaliadora.

Existem algumas provas que não somam pontos, mas são requisitos fundamentais para que os veículos inscritos possam participar das provas dinâmicas. Essas provas incluem a Inspeção Técnica, *Tilt Table*, Ruído e Frenagem. Ao final de cada uma dessas etapas, a equipe recebe um selo que comprova a aprovação do protótipo em cada uma dessas verificações. A Inspeção Técnica é composta por um *checklist* dos itens que compõem o regulamento oficial, no intuito de verificar se o protótipo atende aos requisitos.

Segundo Moritz (2015), o sucesso de uma equipe é fruto de uma gestão eficiente desses recursos, de forma que cada subsistema seja desenvolvido sem comprometer sua confiabilidade e durabilidade. Assim, constata-se que o veículo tipo fórmula é um projeto complexo com problemas que envolvem administração de recursos e diversos ramos do conhecimento de engenharia, a citar: Estruturas, Materiais, Processos, Simulações e Planejamento de Atividades.

Diante disso, esta pesquisa identifica como problema a real necessidade de sistematizar o processo de desenvolvimento dos protótipos destas competições, em especial da Fórmula SAE, que entrega produtos para competição anualmente, bem como organizar a ordem lógica da concepção dos veículos, mediante criação de fases e atividades, elaborando assim um guia que suporte o atendimento dos requisitos e objetivos da competição de maneira efetiva.

Com isto, busca-se responder como equipes de competição universitária podem estruturar eficientemente seus processos de concepção de protótipos de veículos tipo fórmula para as competições? Em vista disso, a pesquisa objetivou estruturar um guia para auxiliar equipes universitárias na gestão dos processos de concepção de veículos. Tendo como o atendimento aos requisitos do regulamento oficial da Competição SAE (Fórmula SAE *Rules* 2023, 2022a) e às necessidades dos *stakeholders*. Com o guia, espera-se auxiliar equipes na redução de custos e tempo de produção do protótipo, compreender aplicação de elementos de gestão de projetos de produtos em atividades acadêmicas relacionadas à criação de protótipos físicos.

Em cima destas discussões, pode-se constatar que a competição considera em sua avaliação praticamente todas as características que um veículo deve ter. O sucesso do projeto está relacionado com a forma de trabalho das equipes, pois é essencial que os alunos trabalhem de forma organizada para desenvolver ideias e, então, aplicar princípios e análises de engenharia para desenvolver seu protótipo e todos os componentes relacionados.

2. Processo de desenvolvimento de produtos (PDP).

Conceber produtos é uma missão complexa dada a quantidade e variedade de elementos envolvidos nisso. Além disso, inúmeras expectativas de diversos stakeholders devem ser consideradas, incluindo aqui tanto os clientes internos, intermediários e externos à empresa. Neste sentido, o Processo de Desenvolvimento de Produtos – PDP torna-se essencial na concepção de novos produtos, auxiliando as empresas a encontrarem um equilíbrio entre especificações que satisfaçam necessidades e expectativas destes envolvidos (Oehmen *et al.*, 2010).

Dito isto, Back *et al.* (2008) o definem como um processo que coleta, trata e analisa um vasto conjunto de informações para estruturar a demanda, produção e uso de um dado produto, dispondo de uma série de etapas a serem executadas. Dentre as principais características do PDP, Rozenfeld *et al.* (2006, p. 6) listam o elevado grau de incertezas nas etapas iniciais dele onde decisões importantes precisam ser tomadas e principalmente a multiplicidade de requisitos técnicos que o produto deve ter para atender necessidades de todos ao longo do ciclo de vida.

Para execução do PDP destaca-se que o Modelo *Stage Gate* de Cooper (2001) foi um dos pioneiros neste ponto, sendo ele exposto na Figura 1, e que serviu de base para a criação de outros modelos ao longo do tempo.

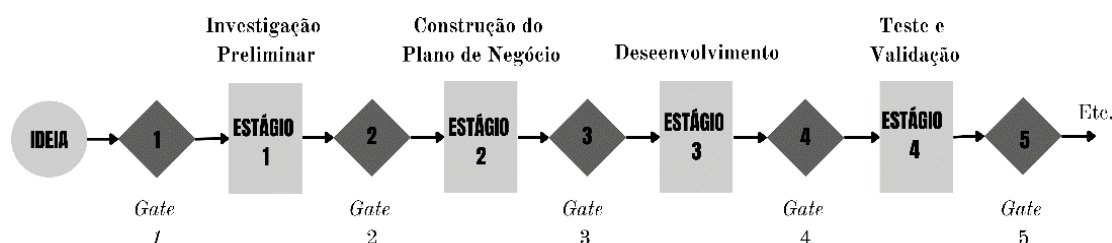


Figura 1 - Modelo *Stage Gate*. Fonte: Cooper (2001).

Segundo Cooper (2001), o modelo *Stage-Gate* é uma abordagem estruturada de desenvolvimento de produtos que visa ajudar as empresas a gerenciarem os processos e a aumentar a taxa de sucesso dos novos produtos no mercado. Esse modelo é baseado na ideia de que o desenvolvimento de produtos deve ser dividido em etapas distintas, com cada etapa sendo avaliada antes de o projeto progredir para a próxima fase.

Neste sentido, para facilitar o gerenciamento do desenvolvimento do produto e reduzir riscos e incertezas, o PDP é comumente dividido em três macrofases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. Tal divisão auxilia as empresas a se organizar e difundir as melhores práticas. E elas podem ser divididas nestas três fases para expor maior nível de detalhamento e controle de suas atividades (Rozenfeld *et al.*, 2006).

De acordo com De Sousa Mendes (2008), há diversas maneiras de estruturar o PDP podendo haver diferentes denominações e divisões para as etapas que o compõem, como os modelos propostos por Back *et al.* (2008) e (Rozenfeld *et al.*, 2006). Os quais podem ser utilizados como guias na orientação das atividades de desenvolvimento de produtos, dispondo de elementos distintos que visam apoiar as atividades em cada fase. Assim, cabe as empresas decidirem qual modelo aplicar ou adaptar, sendo importante que eles sejam avaliados cuidadosamente frente às necessidades e objetivos dela, bem como o tipo de produto a produzir, mercado que pretende adentrar, sua concorrência, cultura organizacional, dentre outros.

Para o desenvolvimento de projetos de produtos, diferentes metodologias são adotadas, desde modelos tradicionais de gestão de projetos até práticas mais contemporâneas. Entre estas, destacam-se as metodologias ágeis de projeto, cuja ampla adoção tem sido observada na indústria de desenvolvimento de software. Neste contexto, os métodos ágeis são projetados para minimizar a documentação e priorizar a flexibilidade e a capacidade de adaptação a mudanças, resultando em uma abordagem com menos planejamento e mais flexibilidade em relação ao gerenciamento tradicional de projetos (Serrador; Pinto, 2015).

De acordo com Conforto e Amaral (2016), as metodologias de gerenciamento ágil de projetos têm como objetivo principal a gestão das necessidades do cliente e a evolução dos requisitos, utilizando ciclos curtos de desenvolvimento e adaptação contínua ao longo do ciclo de vida do projeto. No entanto, em ambientes de desenvolvimento de produtos altamente complexos e inovadores, essas práticas podem ser inadequadas para lidar com requisitos em constante mudança. Em comparação com modelos tradicionais de desenvolvimento de novos produtos, que pressupõem um grande esforço dedicado à fase de planejamento inicial para identificar e detalhar requisitos e especificações do produto, o autor argumenta que a adoção de metodologias ágeis de gerenciamento de projetos como abordagem pura pode ser arriscada. Além disso, o autor alerta que a utilização dessas metodologias em produtos altamente integrados com componentes e sistemas interdependentes pode gerar retrabalho, falhas e excessos de custos.

Neste sentido, Gardone (2016) adota o modelo de Rozenfeld *et al.* (2006) para elaborar um sistema de direção do protótipo da equipe Escuderia UFJF. No estudo, o desenvolvimento do projeto é dividido em três macrofases, propostas pelo modelo, porém adotam-se somente as fases: Planejamento do Projeto, Projeto Preliminar, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado. Com isso, é possível observar que o modelo não inclui a fase de manufatura do veículo, bem como é um projeto isolado de um subsistema, sem integração com os outros subsistemas, o que pode causar falhas na montagem final do produto.

Em resumo, no período em que este estudo foi conduzido, não foram identificados outros modelos de desenvolvimento de produtos além dos modelos clássicos de desenvolvimento de produto e das metodologias ágeis de projeto citados neste estudo. E observou-se que sua aplicação em outros projetos é geralmente uma combinação dos modelos clássicos entre si ou uma combinação com métodos ágeis. Além disso, a literatura apresenta uma escassez de estudos que investigam o desenvolvimento de produtos em equipes acadêmicas, o que limita a possibilidade de comparação entre diferentes contextos de aplicação.

Assim, considerando uma versão completa para o PDP, que se enquadra nas necessidades da equipe estudada, tem-se o modelo proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), detalhado melhor na próxima subseção.

2.1. Modelo de Referência do PDP.

Este modelo é dividido em três macrofases principais, as quais agrupam um conjunto de fases, conforme ilustra a Figura 2.

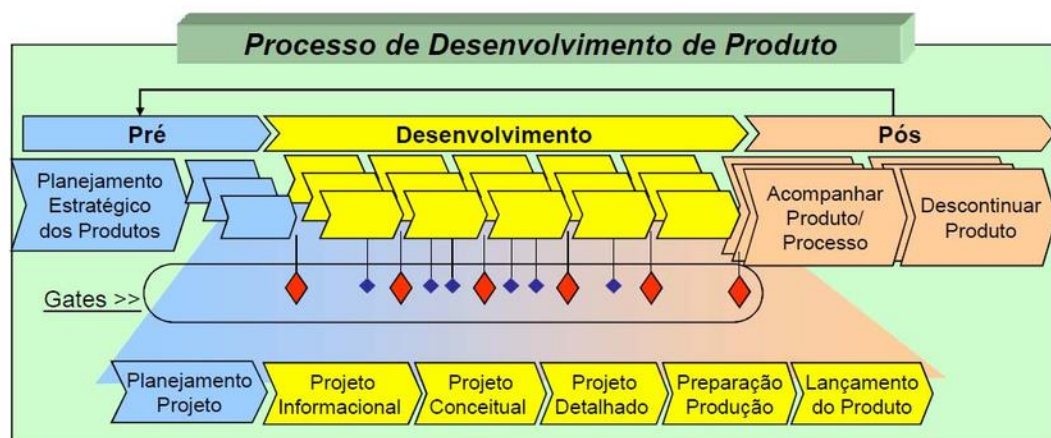


Figura 2 - Visão geral do modelo de referência de PDP. Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

No modelo, cada fase possui seu próprio resultado e metas a alcançar. Ele é dividido em três macrofases, sendo a de pré-desenvolvimento com duas fases, na qual a estratégia da empresa é traçada, a fim de determinar o seu portfólio de produtos. Assim como a fase de Planejamento do Projeto, que engloba definição do escopo do projeto, sua viabilidade econômica, recursos necessários, prazos

(cronograma), custos esperados, riscos, dentre outros elementos essenciais para sua execução. A macrofase de Desenvolvimento divide-se nas fases de Planejamento do Projeto, Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Detalhado, Preparação da Produção e finaliza com o Lançamento do Produto.

Das explanações feitas pode-se então constatar que o modelo de Rozenfeld *et al.* (2006) se adere bem ao desenvolvimento do protótipo de veículo para fins acadêmicos juntamente com o Regulamento Oficial do Fórmula SAE. Já que suas características, como abrangência ao cobrir todas as fases do processo, o tornam essencialmente útil em projetos de desenvolvimento de veículos Fórmula SAE. Além disso, sua abordagem sistemática e integrada pode facilitar o avanço organizado do projeto, garantindo que todas as atividades dele sejam concluídas e revisadas antes de se iniciar outra.

Além disso, uma das suas principais características é permitir a utilização de diversas ferramentas e técnicas para auxiliar no desenvolvimento do produto em cada fase. Nesta lista de ferramentas, pode-se mencionar, por exemplo, técnicas de criatividade para criar ideias para o conceito do produto; ferramentas de modelagem e simulação para criar protótipos; ferramentas de gestão de projetos para planejar e controlar todo o processo, dentre outras.

Essa flexibilidade na escolha e utilização das ferramentas é essencial para o guia em construção, ao permitir que a equipe da competição selecione aquelas mais adequadas para cada fase do processo, considerando as especificidades do projeto e habilidades e conhecimentos da equipe. Uma vez que a utilização de ferramentas pode ajudar a aumentar a eficiência do processo, reduzir custos e minimizar riscos de falhas no projeto.

Todavia, o modelo não vai ser aprofundado neste estudo, pois não é o foco do trabalho. O modelo apenas serve como embasamento para a construção do guia juntamente com as documentações pertinentes à competição Fórmula SAE.

3. Metodologia de pesquisa.

Esta pesquisa é um estudo de caso aplicado junto a discentes e docentes envolvidos na competição Fórmula SAE. Enquadra-se como pesquisa aplicada, ao buscar construir um guia para uso de estudantes envolvidos na competição Fórmula SAE, sendo este guia uma solução para um problema real identificado, convergindo assim com Cervo, Bervian e Silva (2007) ao elucidarem ser este um dos focos deste tipo de pesquisa.

O uso do estudo de caso como estratégia metodológica ocorrer mediante realização de uma análise detalhada da equipe Escuderia UFSAE e seus elementos da competição para desenvolver o guia prático supracitado. Neste ponto, Filippo, Pimentel e Wainer (2011) afirmam que esta estratégia metodológica é muito empregada para examinar o uso de um sistema por um grupo específico, avaliando tanto resultados obtidos quanto opiniões dos envolvidos. Dessa forma, este trabalho buscou gerar um conhecimento aplicável, que possa ser utilizado pelos estudantes envolvidos no desenvolvimento do protótipo.

Quanto à abordagem é qualitativa, ao explorar e compreender experiências e percepções dos estudantes envolvidos na competição. Além de utilizar-se de pesquisa bibliográfica, entrevistas semiestruturadas e análise documental para construção do guia que são instrumentos estes típicos de pesquisas qualitativas.

3.1. Etapas da pesquisa.

A pesquisa foi desenvolvida conforme Figura 3.

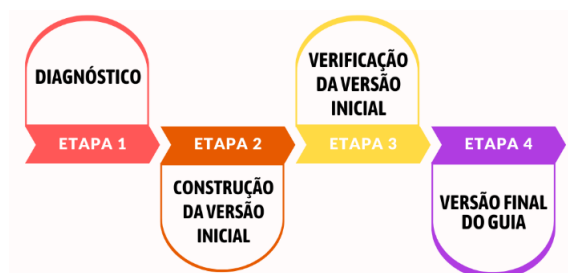


Figura 3 - Etapas da pesquisa. Fonte: Elaborado pelos autores.

Na primeira etapa (Diagnóstico) identificou-se a situação atual da equipe Fórmula SAE da Universidade Federal de Sergipe, denominada Escuderia UFSAE e fundada em 2011. A realização desta etapa contou com uso da Análise Documental, uma técnica de coleta para obter informações significativas que contribuem na elucidação do objeto de estudo e solução dos problemas de pesquisa (Lima Junior, 2021). Ela faz consulta a várias fontes de dados sendo usada nesta pesquisa os projetos anteriores desenvolvidos pela equipe Escuderia nos anos de 2016, 2017, 2019 e 2022.

Além da análise documental, a pesquisa realizou Observações Diretas como método complementar na coleta de dados. As quais foram usadas por permitir a imersão dos pesquisadores na realidade do objeto de estudo e identificar comportamentos e interações difíceis de se capturar por outras técnicas de coleta (Angrosino, 2009). As observações foram feitas de dezembro/2022 a março/2023.

A segunda etapa, Construção da Versão Inicial, construiu a primeira versão do guia, mediante pesquisa bibliográfica em livros, dissertações, teses e artigos. A principal ideia foi a identificação de boas práticas recomendadas na gestão do PDP com ênfase em projetos automotivos. Nesta etapa, a pesquisa adotou como base o modelo de PDP proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), por trazer visão completa do PDP, especialmente fases mais relacionadas ao Planejamento do Projeto. Ponto crucial para a equipe Escuderia, pois, de acordo com o Regulamento Fórmula SAE *Rules* 2023 (2022a), esta etapa vem ganhando peso na análise dos projetos na competição ao longo dos anos.

Assim, a primeira versão foi elaborada na junção entre elementos do PDP com requisitos e diretrizes extraídos da competição SAE e da análise documental de documentos da equipe. Destaca-se que a análise documental e as observações realizadas junto a equipe e seus documentos ampliaram as informações pré-existentes sobre PDP extraídas da literatura e auxiliou na definição de quais melhores soluções seriam possíveis para auxiliar a equipe.

Com a primeira versão do Guia construído, a pesquisa executou a terceira etapa, Verificação da Versão Inicial, suportada por entrevistas com membros da equipe e o Gerente de Projetos dela por estar no cargo há 04 anos e dispor de muita experiência na competição. Ao total foram realizadas 06 entrevistas, com duração média de 60 minutos cada uma, usando como base para sua realização o roteiro com perguntas exposto no Quadro 1.

Quadro 1 - Roteiro de perguntas.

Quais pontos alteraria ou incluiria no Guia Quais processos do Guia são diferentes do que era usado em sua época na equipe Quais processos do Guia são diferentes do que era usado na sua época na equipe Qual seria o impacto do Guia se ele fosse aplicado na sua época Quais as vantagens e desvantagens que observa no Guia

Fonte: Elaborado pelos autores.

As perguntas foram abertas e focadas em identificar objetivos almejados pela equipe, sua situação atual, possíveis caminhos a seguir na competição, ferramentas usadas e a sequência ideal dos processos para concluir o veículo. Assim como foram direcionadas para permitir que seus participantes expressassem livremente suas ideias, explorando pontos de vista que ultrapassassem os temas questionados. Essa abordagem possibilitou uma compreensão mais aprofundada dos principais desafios do projeto, bem como das metas tanto da competição quanto da equipe, gerando *insights* que auxiliaram no desenvolvimento da próxima e última etapa.

A última etapa, Versão Final do Guia, concentrou-se na elaboração da versão consolidada do guia, com um conjunto de melhorias advindas da etapa anterior de verificação. Esta etapa permitiu à pesquisa expor mais detalhadamente entradas e saídas do guia, além da criação da seção ‘Como’, que descreve um conjunto de documentos necessários a cada uma das fases do guia e quais ferramentas podem ser utilizadas nelas. Logo, o guia que, inicialmente, era visto como um modelo conceitual, passa a incorporar a visão empírica advinda das perspectivas da Equipe Escuderia, clientes foco do guia construído. Frente a isto, as seções seguintes apresentam os principais resultados obtidos em cada uma das etapas elencadas aqui.

4. Construção do guia.

Esta seção apresenta a construção do guia, desde o diagnóstico da equipe para suporte em sua construção até a exposição de sua versão final.

4.1. Diagnóstico da equipe.

A Escuderia UFSAE existe na Universidade Federal de Sergipe desde 2011, tendo, no momento desta pesquisa, 19 membros oficiais e 20 em processo de *trainee* para ingresso futuro. Em sua maioria, é composta por discentes do curso de Engenharia Mecânica, mas também possui dos cursos de Engenharias Elétrica/Eletrônica e Produção. A construção do protótipo de veículo, aqui denominado Projeto, é dividido em cinco subsistemas: Gestão, *Powertrain*, Suspensão, Chassi e Eletrônica.

Da análise documental, observação e reuniões, constatou-se uma lacuna no conhecimento da equipe frente às etapas e padronização dos processos que envolvem o desenvolvimento do produto e exigidos pela competição. Foi possível notar a inexistência de padronização nos projetos, de uma estrutura de projeto definida e de documentações, assim como a presença de uma fase para pré-projeto, uma das etapas propostas no guia.

Dado que esta ação ocorreu apenas na competição de 2017, durante a qual foi criado um documento contendo concepções do produto, subsistemas a acoplar e desenhos iniciais do protótipo, o que permite constatar a falta de direcionamento das etapas dos projetos executados. Para melhor compreensão, a lógica atual da equipe em seus projetos é: (i) alinhamento dos conceitos gerais; (ii) pré-projeto; (iii) projeto; (iv) fabricação; (v) testes.

Logo, constatou-se ausência de um *modus operandes* padrão ou estrutura instituídos e de *templates* para guiar membros e de uma forma de validar a conclusão das entregas em cada etapa. Foram identificados o uso de modelos de relatório, cujo líder de cada subsistema, de forma independente, decide o que incluir no documento, assim como sua finalização, baseada em sua *expertise* e experiência na competição.

Ademais, a decisão de iniciar próxima fase, como a transição do projeto para fabricação, geralmente, é tomada por pressão do tempo da competição, pois frequentemente, os prazos são extrapolados e comprometem a qualidade e desempenho dos processos de manufatura. Tal prática abre margem para muitos erros de projeto, elevando bruscamente todos os riscos relacionados à confecção do protótipo.

Desse modo, notou-se que a equipe não consegue concluir suas atividades ao longo das etapas de modo satisfatório, o que, por sua vez, gera falhas gravíssimas e, consequentemente, desclassificam a equipe da competição, o que ocorreu nas últimas competições como, em 2016, quando veículo não passou nos testes da Inspeção em vários aspectos, sendo um deles o não atendimento da regra do regulamento sobre conter todas as partes dos sistemas de controle de combustível e ar do motor na superfície definida pelo topo da barra de proteção e borda externa dos quatro pneus. Tal fato poderia ser evitado, caso houvesse verificação da integração dos subsistemas no desenho final, sendo esta outra etapa incluída no guia proposto.

Frente a isso, a equipe Escuderia nunca conseguiu competir nas provas dinâmicas do evento nas edições de que participou. Dessa maneira, é crucial que projetistas direcionem o foco do desenvolvimento do protótipo nos requisitos da Inspeção Técnica demandada, pois ela é fase que define a participação do veículo integralmente na competição e uma das etapas mais trabalhadas no guia

proposto. Nela, o veículo deve ser projetado estritamente dentro das normas do regulamento, para que sejam validados seus requisitos, antes mesmo do início da fabricação do carro.

4.2. Versão piloto do guia “Da Ideia ao Pódio”.

Do exposto até aqui, foi possível construir a primeira versão do guia, que conta com 3 macro fases e 6 fases, conforme Figura 4, que traz uma versão resumida dele, com maiores detalhes nas seções seguintes.



Figura 4 - Macrofases e Fases da versão preliminar do Guia. Fonte: Elaborado pelos autores.

A divisão do guia em partes decorre da necessidade de expor uma visão clara de todos os pontos necessários para executar o projeto e garantir melhor compreensão dos membros da equipe. Essa abordagem visa não apenas demonstrar em qual estágio do projeto a equipe se encontra, buscando assim, garantir atendimento de todas as especificações necessárias para participar das duas etapas da competição, principalmente as provas dinâmicas. Além disto, busca-se expor quais são os focos principais em cada macrofase, de modo a direcionar e mensurar os esforços necessários.

Na primeira macrofase, intitulada “Ready”, o foco está na elaboração do planejamento geral do projeto, visando atender às necessidades tanto internas da equipe quanto dos *stakeholders* (competição, principalmente). Já na macrofase “Set” inicia-se o processo de concepção do protótipo, sendo fundamental para testar e validar as ideias do projeto. Por fim, na macrofase “Go”, é o momento de efetivar o projeto, passando da teoria para a prática por meio da fabricação do veículo e da realização de testes destinados a assegurar sua adequação para a competição.

Com base nas informações obtidas das entrevistas e discussões com a equipe, algumas modificações foram propostas. Uma delas é a inserção da atividade de “validação” na seleção de materiais dentro da fase Prototipagem, dentro da macrofase “Set”. Nessa etapa, é necessário realizar cálculos e simulações no veículo para verificar se os materiais selecionados atendem às especificações exigidas, antes de proceder com a fabricação. Algo que, atualmente, não é feito, e já retirou a equipe de competições anteriores, por não ter uma previsão de custos do projeto.

Na fase Mão Na Graxa, dentro da macrofase “Go”, foi incluída novas entradas relacionadas à capacitação dos membros da equipe e obtenção de recursos para produzir o veículo. Esta inclusão poderá criar um bom fluxo dentro da fabricação do veículo, assegurando um melhor manuseio do maquinário e ferramentas pelos membros. Além disto, deve-se assegurar que os membros tenham acesso aos recursos necessários para produção do veículo, a citar materiais, peças e componentes, evitando atrasos no cronograma.

Além disso, foram incluídas atividades obrigatórias de revisão da integração dos subsistemas do veículo, para se evitar a ocorrência de diversas falhas e erros de montagem na fabricação. Essas tarefas foram incluídas nas fases de Alinhamento e Prototipagem da macrofase “Set”, uma vez que todas as decisões nela tomadas impactam diretamente nos subsistemas envolvidos.

Um dos entrevistados apontou a importância do guia especialmente para os novos membros da equipe, destacando que: “Se tivesse isso na época que entrei eu não ficaria tão perdido e poderia entender quais fases vieram antes e quais estavam por vir”. Esse relato enfatiza a relevância do guia na orientação, especialmente, deste perfil de membros novatos da equipe e facilita o contato e desempenho deles na competição. Portanto, é importante que as saídas de cada fase sejam documentadas de forma padronizada, a fim de garantir uma gestão eficaz do conhecimento.

Ainda nesse contexto, outro entrevistado apontou: “A principal vantagem em usar o guia é poder reduzir tempo de cada etapa”, corroborando com o propósito do guia ao permitir que as tarefas sejam desempenhadas de modo eficiente, com clareza sobre os métodos a serem empregados. Em adição, todos os entrevistados atestaram que o formato do guia auxilia na construção do veículo, havendo divergência somente no nível de benefícios pós-implementação, devido à natureza complexa do projeto e à realidade da equipe.

Da análise das respostas dos entrevistados nota-se que o sucesso do guia dependerá da união e estruturação da equipe com pessoas responsáveis por aplicar e monitorar as atividades propostas. Deste modo, o sucesso de sua aplicação está atrelado ao cenário atual da equipe, sendo necessária uma avaliação da estrutura organizacional dela antes de introduzir o material. Ou seja, é necessário balizar e discutir propostas de melhorias em sua cultura organizacional, sendo isto um dos pontos de limitação do guia.

Em vista disso, o guia se revela como um recurso de valor inestimável para a equipe. A ausência de orientações claras sobre quais ferramentas utilizar, como utilizá-las e em que fase do projeto, pode resultar em um aumento significativo da complexidade na tomada de decisões e no gerenciamento de riscos, especialmente para os membros mais novos da equipe. Adicionalmente, frisa-se que as entrevistas desempenharam papel crucial garantindo a adaptação do guia à realidade da equipe reforçando sua aplicabilidade na resolução dos problemas enfrentados pela equipe.

4.3. Versão Final do guia “Da Ideia ao Pódio”.

A seguir, é apresentada a versão final do Guia “Da Ideia ao Pódio” na Figura 5, que além de destacar as macrofases e fases, também identifica as principais entradas e saídas das fases, com o intuito de auxiliar a equipe na execução e acompanhamento das atividades. Além disso, ao longo da exposição de cada uma das fases, serão expostas, em quadros diversos, outras informações relevantes para execução do guia.

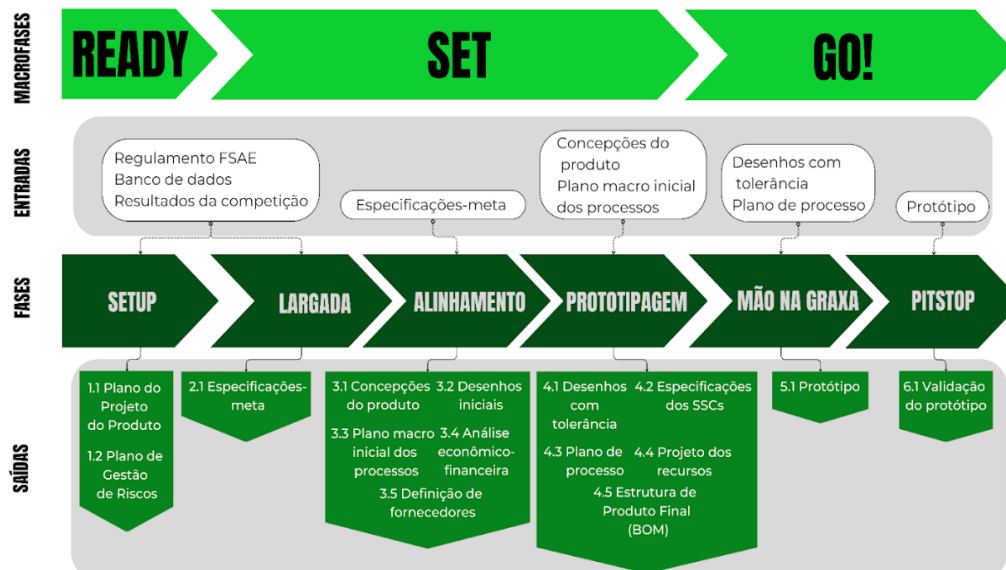


Figura 5 - Versão final do Guia. Fonte: Elaborado pelos autores.

A primeira delas, denominada ‘Como’, vai apresentar *modus operandes* para cada uma das fases, demonstrando com a fase pode ser concluída, *stakeholders* envolvidos em cada fase e principalmente, os documentos necessários para início e conclusão de cada uma delas. Com isto, a ideia é auxiliar a equipe a criar marcos para saber, exatamente, quando uma fase acaba e a outra começa. Bem como quais documentos são necessários para isto. Isto é proposto por saber que a Escuderia demanda de um conjunto de entregas tangíveis para que consigam concluir o projeto no prazo estipulado pela competição, elimine falhas e melhore a gestão de todo este processo de desenvolvimento.

A segunda é a exposição de um conjunto de ferramentas, ressaltando que sua utilização será determinada pela equipe. São fornecidas diversas ferramentas que podem contribuir para o desenvolvimento do projeto de veículo do tipo Fórmula SAE, incluindo aquelas destinadas à criatividade e gestão de projetos, entre outras. Elas não serão detalhadas por possuírem literatura específica, sendo algumas delas citada no texto para consulta.

Além disso, algumas das ferramentas propostas já são de conhecimento da equipe, sendo inseridas pela existência desta familiaridade, visando a minimizar conflitos entre o guia e seus executores. As próximas subseções irão descrever os detalhes de cada uma das fases do Guia Final.

4.3.1. Fase “Setup”.

A primeira fase do guia é a *Setup*, que tem como principal saída um documento, o Plano de Projeto, conforme detalhes expostos no Quadro 2.

Quadro 2 - Detalhamento da fase Setup

FASE	SETUP
Como	- Definir Plano de Projeto, documento contendo: • Objetivos • Stakeholders • Premissas e Restrições • Cronograma Geral • Estimativa de Custos, riscos e aquisições • Escopo do produto
Ferramentas	- <i>Brainstorming</i> - Matriz SWOT - <i>Benchmarking</i> - PFMEA - EDT/EAP - <i>Software Notion</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Essa fase inicia com reuniões da equipe para definir objetivos estratégicos para a temporada. Assim, propõe-se uso da Matriz SWOT combinada com a ferramenta *Brainstorm*, sendo a primeira usada por empresas para determinar estratégias (Gurel; Tat, 2017) e a segunda, para gerar ideias para soluções em equipe (Sawyer, 2012). Das reuniões, devem emergir metas a serem alcançadas na competição nacional, levando em consideração orçamento e tempo disponível para o projeto. Estas metas ajudarão no planejamento de melhorias em cada subsistema do veículo baseado em parâmetros de performance e qualidade, por exemplo. A proposição destas ferramentas advém do fato de o capitão e os líderes de subsistemas não possuírem total autoridade e liberdade para tomar decisões isoladamente.

Para definir metas, propõe-se uso de técnicas de *Benchmarking*, a qual busca identificar oportunidades e adotar práticas já validadas no mercado por outras empresas (Carlini; Vital, 2004). Assim, é válido que a Escuderia explore resultados e ações desenvolvidas por outras equipes Fórmula SAE do Brasil para identificar tendências, melhores práticas, oportunidades de melhoria em seu projeto. A entrega da fase é o Plano do Projeto do Produto, um documento que deve englobar informações gerais de desenvolvimento do projeto, visando evitar desvios de foco das metas e objetivos traçados.

Destaca-se que, para a Escuderia UFSAE, a definição de custos no Plano de Projeto é fundamentada no histórico orçamentário de projetos anteriores da equipe. Cada subsistema é responsável por estimar custos para todas as peças, recursos e maquinários necessários. Ao final, os custos dos subsistemas devem ser agrupados em um só documento para aprovação. Além dos custos dos elementos do protótipo, deve-se ter uma estimativa de investimentos de patrocinadores externos, a qual pode ser obtida mediante análise do histórico de investimentos obtidos em competições passadas.

Quanto à construção do cronograma, propõe-se utilizar a Estrutura de Divisão do Trabalho (EDT), técnica de gestão de projetos que decompõe o trabalho em partes menores e mais gerenciáveis, facilitando planejar e controlar cada atividade dele. A criação da EDT permitirá uma definição mais precisa do tempo necessário para fazer as atividades, recursos requeridos, responsabilidades dos membros, riscos associados, dentre outros. Para mais detalhes, deve-se consultar o PMBOK® *Guide* (2021) que traz mais detalhes sobre operacionalização. Um ponto crucial neste ponto é ter claro que a duração máxima do projeto é de 01 (um) ano, conforme prazo e regras estabelecidas pela competição.

O Plano deverá conter também o escopo do produto, um documento que sintetiza características básicas e funções do produto. Sendo esta descrição avaliada, validada e detalhada nas fases de Alinhamento e Prototipagem na macrofase “Set”. Já o planejamento das aquisições consiste em definir aquilo que será adquirido externamente para executar o projeto, incluindo aqui bens ou serviços de fornecedores ou parceiros (patrocinadores, Universidade etc.). É importante identificar quais partes do projeto devem ser terceirizadas, sob quais condições e em que momento isto deve ocorrer. Lembrando que a equipe pode escolher produzir as peças do veículo ou comprar de terceiros.

Para estimar e avaliar riscos do projeto, o guia propõe aplicar a *Process of Failure Mode and Effects Analysis* - PFMEA, em português, Análise de Modo e Efeitos de Falha. Ferramenta que definirá com detalhes os riscos associados ao projeto e identificará ações a serem implementadas para eliminar/minimizar a ocorrência de falhas (Johnson; Khan, 2003). Cabe destacar que a FMEA pode ser aplicada em todas as fases do projeto e não somente para o protótipo de veículo.

Para a gestão das atividades, propõe-se uso do *software Notion*, o qual possibilita inclusão de tarefas e documentos e acompanhar o progresso do projeto de acordo com indicadores definidos. Esta é uma das ferramentas já em uso pela equipe. Por fim, com a documentação pronta, a equipe deve aprová-la para que a próxima macrofase “Set” inicie.

4.3.2. Fase “Largada”.

A primeira fase dentro da macrofase Set é a Largada, marcando o início efetivo da criação do produto. Seu principal resultado é a elaboração de um documento contendo todas as especificações-meta do veículo, que consistem em parâmetros quantitativos e mensuráveis que o protótipo deve atender. Além das unidades de medida, elas devem ter valores-meta, que orientam a criação de soluções para o problema de projeto, fornecendo base para gerar critérios de avaliação e tomar decisão mais embasadas. Frisa-se que elas são construídas com base nas necessidades e requisitos dos clientes, e para a Escuderia, estes elementos são compreendidos pelas regras, parâmetros, indicadores e demais elementos contidos no regulamento SAE. Para melhor compreensão, o Quadro 3 traz os detalhes das fases inclusas na macrofase “Set”.

Quadro 3 - Detalhamento da fase Largada.

FASE	LARGADA
Como	- Detalhar ciclo de vida e clientes - Definir necessidades dos clientes e transformar em requisitos dos clientes - Identificar requisitos do produto - Definir especificações-meta
Ferramentas	- <i>Brainstorming</i> - Observação direta - Entrevistas - Matriz de atributos - QFD (Casa da Qualidade) - Matriz de <i>Mudge</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

O ciclo de vida do veículo é uma representação visual da trajetória que o protótipo percorrerá ao longo de sua vida. Embora existam diversos modelos disponíveis na literatura, o objetivo aqui foi a

criação de um ciclo de vida que seja o mais próximo da realidade da competição. Assim, etapas como projeto, fabricação, montagem, transporte, armazenamento, reciclagem e descarte são algumas das que devem ser consideradas. Por outro lado, etapas voltadas à venda e compra do protótipo não devem ser consideradas, uma vez que o projeto é estritamente acadêmico e não visa à comercialização.

Após compreender o ciclo de vida do veículo, o próximo passo é identificar os clientes do protótipo e suas necessidades, quais serão convertidas em requisitos dos clientes. Para realizar essa identificação, sugerem-se aplicar diversas ferramentas, tais como listas de verificação, observação direta e entrevistas, que permitem explorar mais detalhadamente as características dos clientes. Vale ressaltar que o regulamento da competição desempenha um papel crucial nessa etapa, pois é considerado um dos principais clientes do protótipo, cujas necessidades devem ser integralmente atingidas.

Após a identificação das necessidades, estas são convertidas em requisitos dos clientes, proporcionando uma interpretação mais técnica das necessidades. Para selecionar e valorar esses requisitos, propõe-se aplicar a Matriz de Mudge, um método mais sistemático, menos influenciável pela opinião pessoal dos membros, que confronta pares de requisitos para estabelecer uma hierarquização deles em grau de importância (Michels; Forcellini, 2020).

Para garantir uma comunicação precisa e sem falhas, recomenda-se criação de requisitos do projeto ou de Engenharia. Estes requisitos consistem em parâmetros mensuráveis associados à descrição do desempenho esperado, possibilitando a definição de parâmetros mensuráveis associados às características definitivas do veículo. É importante destacar que esses requisitos devem ser formulados em linguagem técnica, garantindo que todos os envolvidos possam compreendê-los adequadamente.

Na sequência, requisitos do produto e do cliente deverão ser inseridos na *Quality Deployment Function – QFD*, em português Matriz da Casa da Qualidade, deve ser aplicada. Ela auxiliará a equipe a manter o foco nos requisitos dos clientes, priorizando melhor qualidade e satisfação dos clientes (Da Silva & Gonçalves, 2016). Além deles, os concorrentes do protótipo, aqui definidos como outras equipes de competição SAE e já analisados na etapa inicial do guia (*Setup*). Ao final destas ações, será possível obter um documento com um conjunto de especificações-meta que será a entrada para a segunda fase, Alinhamento, da macrofase “*Set*”.

4.3.3. Fase “Alinhamento”.

Nesta segunda fase, serão criadas as concepções do veículo, ou seja, protótipos virtuais que permitam visualizar o veículo completo, seus subsistemas e componentes, para que, na sequência (próxima fase), a fabricação ocorra efetivamente. O nome da fase, Alinhamento, foi definido pelo fato de ela ser prioritária para garantir a aprovação do protótipo para as provas dinâmicas e seus elementos são descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Detalhamento da fase Alinhamento.

FASE	ALINHAMENTO
Como	- Estabelecer estrutura funcional - Desenvolver princípios de solução - Selecionar concepção do produto - Selecionar materiais - Definir plano macro do processo - Analisar integração entre subsistemas - Analisar viabilidade financeira
Ferramentas	- <i>Brainstorming</i> - Pesquisa bibliográfica - Análise de sistemas existentes - Matriz Morfológica - Matriz de <i>Pugh</i> - Metodologia de Seleção de Materiais de <i>Ashby</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, sua principal ideia é assegurar o cumprimento de todas as regras da competição. Inicialmente, deve-se criar a estrutura funcional do protótipo identificando sua função global, a qual representa o principal objetivo definido para o produto (protótipo), no caso em questão da competição, cita-se seu funcionamento e operação em pista, por exemplo, para que possa realizar as provas dinâmicas.

Na sequência, sugere-se destrinchar a função global em subfunções para que se conheça a fundo o funcionamento do produto, as quais podem ser geradas com *Brainstorming*, supracitado anteriormente. Estas subfunções podem ser criadas pelos membros pertencentes ou responsáveis pelos subsistemas do veículo como um todo. E, ao final, reunião de alinhamento deve ser feita, para que toda a equipe analise conjuntamente e possam propor melhorias.

Com a função global destrinchada, recomenda-se o uso da Matriz Morfológica, um método que divide um problema complexo em partes mais simples, ou seja, em parâmetros e busca soluções específicas para cada um deles (Pahl *et al.*, 2005). Com este método, múltiplas alternativas poderão ser criadas para cada parâmetro, gerando diversas opções para solucionar o problema como um todo, ou seja, atender a função global do veículo. A base desta matriz é identificar alternativas físicas, ou seja, componentes dotados de efeitos físicos que possam atender o cumprimento das subfunções listadas.

Essa abordagem apresenta diversas vantagens, pois cada parâmetro pode ser tratado de forma independente, sem necessidade de resolver o problema completo de uma só vez, o que é especialmente útil em grandes projetos como é a Fórmula SAE. E por meio dela poderão ser criadas possíveis combinações de elementos que garantam a execução da função global do veículo. Neste momento, propõe-se ainda o uso de outras técnicas como Pesquisa Bibliográfica, *benchmarking* de sistemas de outras equipes SAE, assim como um olhar interno para a equipe Escuderia e extrair dela conhecimentos e soluções já aplicados em projetos anteriores.

A visualização das interdependências entre os subsistemas do protótipo e a garantia de sua integração são cruciais a partir dessa etapa. Essa análise histórica é crucial, pois ajuda a evitar diversos problemas para a equipe durante a competição, como reforçado por membros no diagnóstico realizado anteriormente, facilitando assim a fabricação e montagem do veículo.

Com a criação de diversas soluções para executar a função global, cada subsistema da equipe pode criar soluções distintas. Quando essas soluções são reunidas, uma nova solução pode surgir. Nesse contexto, a literatura de Projeto de Produto enfatiza o uso da Matriz de Pugh, uma técnica sistemática para avaliar alternativas disponíveis em uma discussão. Essa matriz compara alternativas geradas baseado em requisitos específicos relacionados aos requisitos dos clientes, aqui representados pelas especificações da competição, principalmente. Em outras palavras, ela possibilita triagem e seleção de ideias de projeto de modo objetivo e direcionado, tornando a seleção de soluções mais dinâmica, onde toda a equipe opina e decide conjuntamente, podendo reduzir tempo gasto nestas ações.

Na sequência, deve-se iniciar o processo de seleção de materiais para o veículo, sendo aqui proposto o uso da metodologia *Ashby*, a qual auxiliará, nesta etapa, ao permitir uma caracterização de cada material mediante uma série de atributos definidos para o protótipo, a citar densidade, módulo de elasticidade e resistência destes materiais. Uma maior descrição da metodologia está disponível em Ashby (2017). Além dos atributos técnicos, propõe-se a análise de disponibilidade do material, custo e tempo para aquisição junto a fornecedores, elementos estes que podem atrasar a conclusão do veículo.

Depois, propõe-se identificar possíveis processos para fabricar os Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSCs) do veículo, assim como quais serão as ferramentas necessárias para isto. Algumas delas, obviamente, já foram previamente listadas no planejamento de aquisições na fase *Setup* da macrofase anterior. A escolha de um processo específico de fabricação depende não apenas da parte a ser fabricada do veículo, mas de vários outros fatores, a citar as propriedades de cada material utilizado nos componentes dos SSCs.

Dentre os atributos possíveis para análise, incluem-se condições superficiais, precisão dimensional, forma e complexidade, taxa de produção, custos e tamanhos envolvidos, uma vez que são elementos, obrigatoriamente, analisados na competição. No entanto, é importante ressaltar que essa lista não esgota todas as possibilidades de atributos a serem considerados.

Paralelamente a isso, deve-se definir os fornecedores do projeto, uma vez que eles foram pré-listados na fase *Setup*. Envolver esses fornecedores é crucial na melhoria de desempenho dos SSCs, especialmente no que diz respeito à produtividade, velocidade e qualidade do protótipo. Portanto, é

essencial detalhar cuidadosamente os critérios de seleção, como confiabilidade, qualidade, logística e competência dos fornecedores, a fim de mitigar imprevistos e problemas que possam afetar a equipe na competição e prejudicar a qualidade do protótipo. Da mesma forma, a busca de parcerias, como patrocinadores para o projeto, é fundamental, pois não é possível realizar toda a fabricação do veículo na universidade. Decisões como essa serão recorrentes nesse estágio e precisam ser definidas com clareza para evitar retrabalhos e outros problemas.

Para validar esta fase e seguir para a próxima, a Escuderia deve verificar se orçamento definido inicialmente (no *Setup*) está de acordo com o planejado. Para isto, propõe-se sempre comparar o custo-meta estabelecido no planejamento com o real, a cada fase executada no guia. Estas ações ajudarão na definição do orçamento do projeto com um maior nível de detalhamento e precisão, facilitando assim a aprovação de toda a documentação da fase de Alinhamento e início consecutivo da próxima fase, a Prototipagem.

4.3.4. Fase “Prototipagem”.

Nessa fase, serão detalhados todos os Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSCs) do protótipo, produzir suas documentações finais e detalhadas. As quais conterão todos os desenhos dos SSCs, com suas respectivas cotas e tolerâncias finais, bem como a configuração final do veículo. Destaca-se que todos os componentes dele estarão descritos na Estrutura de Produto, conhecida por *Bill of Material* - BOM. E o Quadro 5 traz as informações desta fase.

Quadro 5 - Detalhamento da fase Prototipagem

FASE	ALINHAMENTO
Como	- Detalhar os SSC's - Realizar testes e simulações - Definir tolerâncias - Detalhar os processos de fabricação - Revisar integração entre subsistemas - Validar seleção de materiais - Analisar viabilidade financeira
Ferramentas	- <i>FMEA</i> (Análise de falhas) - <i>SolidWorks</i> - <i>Ansys- Lótus</i> - <i>MathLab</i> - <i>MickroC</i> - <i>Visual Studio</i> - <i>Octave</i> - <i>Catia</i> - <i>Protheus</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para isso, deverão ser realizados cálculos de dimensionamento e/ou otimização baseados nas especificações do desenho inicial para que seja possível verificar as especificações feitas na fase anterior. Desde a criação do “esboço” do produto, deve-se utilizar o CAD, por representar o protótipo em vista tridimensional de modelos sólidos e seus componentes. Estes sistemas permitem realizar vários tipos de análises, incluindo as térmicas, de tensões, de fluxo de material, estudos de montagem etc.

Dentre os *softwares* propostos aqui, listado aqueles que contribuem na realização de testes e simulações computacionais como *SolidWorks*, *Ansys*, *MathLab* etc. Sendo estes softwares definidos por serem de uso comum da equipe, o que torna sua adaptação aos novos membros mais fácil. Sem mencionar o fato de os membros mais antigos da Escuderia possuir habilidade e conhecimento de seus funcionamentos e melhores usos.

Além disso, uma análise das interfaces entre SSCs deve ser feita. Nesse sentido, o Plano Macro dos Processos deve ser elaborado, fornecendo a sequência de operações, especificação de máquinas e equipamentos, e tempo, sendo utilizado pelo Planejamento e Controle da Produção para programar de forma correta a fabricação de cada um dos componentes que pertencem ao veículo. Assim, o plano conterá instruções de trabalho com textos explicativos dos processos e operações a realizar, para que seus executores saibam exatamente o que fazer. O uso de ilustrações e desenhos na instrução de trabalho também é aconselhável.

Além dos itens citados, deve-se assegurar que qualquer mudança feita no projeto seja cuidadosamente avaliada frente seus impactos, bem como aprovada por todos da equipe e documentada. Com isto, propõe-se uma revisão final da integração entre SSCs do veículo, onde todas as decisões serão validadas. Antes de iniciar efetivamente a manufatura do veículo, propõe-se refazer a análise de custos, para garantir exequibilidade do projeto. Até este ponto, deixa-se claro que o veículo não foi produzido fisicamente, sendo esta ação iniciada com a execução da próxima fase, Mão Na Graxa da macrofase “Go”, e passando pela fase seguinte, *PitStop*,

4.3.5. Fases “Mão na Graxa” e “PitStop”.

As duas últimas fases do Guia são apresentadas em conjunto e seus elementos descritos no Quadro 6.

Quadro 6 - Detalhamento das fases Mão Na Graxa e *PitStop*.

FASE	MÃO NA GRAXA	PITSTOP
Como	- Realizar fabricação de peças e componentes - Realizar montagem	- Planejar testes - Adquirir dados - Analisar resultados dos testes - Coletar feedback do piloto
Ferramentas	- Fluxograma - WBS (Estrutura de Projeto) - <i>Notion</i>	- <i>Checklists</i> - Inspeção visual - <i>MathLab</i> - <i>ECU Protune</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

O nome da fase Mão na Graxa foi escolhido por representar, efetivamente, a fabricação do protótipo físico, onde será seguido todo o plano definido anteriormente. Para melhor visualização da fabricação por toda a equipe, propõe-se aqui criar a *Work Breakdown Structure (WBS)*, em português, Estrutura Analítica de Projetos. A qual trará o fluxo de execução do projeto em si, as interdependências entre os processos e facilitará acompanhar sua construção do protótipo (SILVA *et al*, 2010).

Geralmente, ela começa pela fabricação da estrutura do carro, o chassi. Em paralelo, fabricam-se outras peças, que, quando finalizadas, seguem para ser acopladas à estrutura supracitada. Esta etapa não é muito detalhada aqui pois suas ações já foram previamente definidas nas fases anteriores, especialmente a construção de seu plano de fabricação na fase de Prototipagem.

Já a última fase, *PitStop*, inicia após a conclusão do veículo, o qual será testado de diversos modos, iniciando pelo planejamento deles embasado nos critérios da competição. Definem-se ainda quais ferramentas serão utilizadas nos testes e quem serão seus responsáveis, para que relatórios de desempenho possam ser estruturados. Um destes testes a ser feito é o de Feedback Instantâneo do piloto quanto à dirigibilidade, conforto e outros aspectos do veículo que são críticos na etapa de Inspeção Visual da competição, por exemplo.

A partir dos testes, será possível adquirir informações de desempenho do veículo, sendo possível, antes da competição, realizar alterações nele visando melhorias de qualidade, garantia de cumprimento do cronograma estabelecido e participação na competição. Neste ponto, propõe-se a criação de Checklists, englobando todas as regras da competição a serem analisadas nos testes.

De modo geral, frisa-se ser essencial que a equipe preconize seguir fases estipuladas no guia, pois cada uma delas criará e demandará um conjunto rico de informações que podem garantir a exequibilidade do projeto e alcance de seu objetivo.

5. Conclusões.

Após a elaboração do guia "Da Ideia ao Pódio", destinado a auxiliar no desenvolvimento de projetos de produtos do tipo Fórmula SAE, pode-se afirmar que o objetivo inicial da pesquisa foi alcançado ao disponibilizar esse recurso para a equipe Escuderia e para a literatura de Projeto de Produtos. Frisa-se que o diagnóstico realizado inicialmente foi crucial para a estruturação do guia, ao identificar áreas passíveis de melhoria e elementos que podem afetar a qualidade de sua aplicação.

A pesquisa demonstrou uma correlação significativa entre diferentes áreas disciplinares de Engenharia, como a Mecânica e a Produção, ao desenvolver um guia que proporciona suporte em ambas as áreas, sendo seu principal foco o uso de metodologias da Engenharia do Produto, umas das Grandes Áreas da Engenharia de Produção, dentro da Engenharia Mecânica. Além disso, destaca-se a contribuição deste trabalho na comunidade acadêmica e literatura relacionada ao tema em estudo. É importante ressaltar que o guia será aplicado na equipe Escuderia da Universidade Federal de Sergipe para a competição 2023.

Quanto as suas limitações, lista-se o viés que o guia pode conter, por ter apenas uma equipe SAE como objeto de estudo e contribuição em sua construção. Isto, por sua vez, pode limitar sua aplicabilidade em equipes ou competições estudantis, frente às realidades de cada uma. Entretanto, esta limitação também é um ponto para trabalho futuro desta pesquisa, ao priorizar agora o foco de aplicação deste guia em outras equipes, sendo realizado antes, um balizamento dele para a realidade atual, por meio de estudos de caso. Outro trabalho futuro reside na aplicação de estudos de casos múltiplos junto às equipes de todo Brasil, visando criar ao final, um guia único e adaptado às equipes existentes.

Outra limitação reside na não aplicação do guia ainda, em decorrência dos prazos da competição Fórmula SAE serem anuais. Contudo, este guia será utilizado para auxiliar a equipe da UFS na competição subsequente.

Certamente, a principal contribuição para a literatura da pesquisa reside na sua capacidade de servir como referência para a elaboração de guias introdutórios destinados a diversas outras competições presentes no contexto acadêmico. Esse material pode ser particularmente útil dentro da Engenharia Mecânica, em que barcos, outros tipos de veículos, foguetes e aviões são também construídos em competições específicas para tal. Isso evidencia a interdisciplinaridade da pesquisa ao envolver áreas de engenharia correlatas e pode potencialmente abranger outras, que até o momento não foram mencionadas, como a aeroespacial, naval etc.

Ademais, frisa-se que não foram identificados na literatura outros guias relacionados a este ou com perfil similar. Sendo encontrado apenas modelos clássicos de PDP, conforme supracitado no referencial teórico. Ou seja, este trabalho tem potencial precursor dentro do campo da Engenharia de Produto e pode ser utilizado como referência para pesquisas futuras.

Assim sendo, o trabalho pode servir como base para pesquisas futuras sobre o desenvolvimento de protótipos de veículos de fórmula para competições estudantis, com sugestões para estudos adicionais de implementação prática e suas implicações. Além disso, tende a contribuir na adaptação de novos membros às equipes de competição.

Referências.

ANGROSINO, Michael. **Etnografia e observação participante**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

ASHBY, Michael. F. **Materials selection in mechanical design**. Butterworth-Heinemann, 2017.

BACK, Nelson *et al.* **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BENINI, Lucas; DE ALMEIDA, Anna Laura Teixeira. Sistema de gestão de desenvolvimento de produto para uma equipe de competição de Fórmula SAE. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 2, n. 4, p. 7-9, 2016.

CARLINI JUNIOR, Reginaldo José; VITAL, Tales Wanderley. A utilização do benchmarking na elaboração do planejamento estratégico: uma importante ferramenta para a maximização da competitividade organizacional. **RBGN: Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 6, n. 14, p. 60-66, 2004.

CAROLLO, Filippo *et al.* A. Dynamic Tests of Formula SAE Car Bodies. **WSEAS Transactions on Systems**, v. 21, p. 104-114, 2022.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CONFORTO, Edivandro C; AMARAL, Daniel C. Agile project management and stage-gate model: a hybrid framework for technology-based companies. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 40, p. 1-14, 2016.

COOPER, Robert Gravlin. **Winning at new products: accelerating the process from idea to launch**. MA: Perseus Books, 2001.

DA SILVA, Danielle Gomes; GONÇALVES, Rafael Capriolli. Desenvolvimento de novos produtos: o uso do Quality Function Deployment (QFD). **Revista Brasileira de Administração Científica**, v. 7, n. 1, p. 31-42, 2016.

DE SOUSA MENDES, Glauco Henrique. **O processo de desenvolvimento de produto em empresas de base tecnológica: caracterização da gestão e proposta de modelo de referência**. Tese (doutorado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

ESCUERIA UFSAE. **Protótipo de veículo para a competição Fórmula SAE** [SolidWorks 3D CAD]. Aracaju-SE, Brasil: Universidade Federal de Sergipe, 2019.

FILIPPO, Denise; PIMENTEL, Mariano; WAINER, Jacques. Metodologia de pesquisa científica em sistemas colaborativos. **Sistemas Colaborativos**, v. 1, p. 379-404, 2011.

GARDONE JUNIOR, Artur Corrêa. **Processo de desenvolvimento de produto aplicado no projeto da caixa de direção para veículos Fórmula SAE**. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

GURL, Enerst. SWOT analysis: A Theoretical Review. **Journal of International Social Research**, v. 10, 51, p. 994-1006, 2017.

JOHNSON, KG; KHAN, Mohammed Khurshid. A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 139, n. 1-3, p. 348-356, 2003.

LIMA JUNIOR, Eduardo Brandão Lima *et al.* Análise documental como percurso metodológico na pesquisa qualitativa. **Cadernos Da FUCAMP**, v. 20, n. 44, 2021.

MICHEL, Everton; FORCELLINI, Fernando Antônio. Vantagens e desvantagens da utilização do método Mudge na análise de importância de desperdício de software. In: **X Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Curitiba, Paraná, 2020.

MORITZ, Henrique. **Desenvolvimento de motor de combustão interna para Fórmula SAE**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

OEHMEN, Josef *et al.* Risk management in product design: Current state, conceptual model and future research. In: **International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference**, p.1033-1041, 2010.

PAHL, Gerhard *et al.* **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)** – 7 ed. Project Management Institute, 2021.

QIN, Hao *et al.* A knowledge model for automotive engineering design. In: **XIX International Conference on Engineering Design (ICED13)**, Seoul, Korea, 2013.

ROZENFELD, Henrique *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo, SP: Saraiva, 2006.

SAE BRASIL. **Fórmula SAE BRASIL 2022: Technical Inspection Guide IC&EV**. 2022b. Disponível em: <<http://arquivos.saebrasil.org.br/Arquivos/Informativo%2027%20-%20Guia%20de%20Inspe%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnica%20ICEV%20-%20FSAEB%202022.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SAE BRASIL. **Fórmula SAE BRASIL 2023**, 2023. Disponível em: <<https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/>>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SAE BRASIL. **Fórmula SAE® Rules 2023**. 2022a. Disponível em: <<https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/mensagens-e-informativos/>>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SAWYER, R. Keith. **Explaining creativity: the science of human innovation**. 2 ed. Oxford University Press, 2012.

SERRADOR, Pedro; PINTO, Jeffrey K. Does Agile work? — A quantitative analysis of agile project success. **International Journal of Project Management**, 33(5), 1040–1051, 2015.

SILVA, Carlos Eduardo Sanches da *et al.* Aplicação do gerenciamento de riscos no processo de desenvolvimento de produtos nas empresas de autopeças. **Production**, 20, 200-213, 2010.