



Luiz Henrique Herrmann

**METODOLOGIA PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE QUALIDADE
ATRAVÉS DA ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS PARA VALIDAÇÃO DA
SOLUÇÃO**

Horizontina - RS

2023

Luiz Henrique Herrmann

**METODOLOGIA PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE QUALIDADE
ATRAVÉS DA ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS PARA VALIDAÇÃO DA
SOLUÇÃO**

Projeto do Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a o Trabalho Final de Curso na Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Dr. Rafael Luciano Dalcin

Horizontina - RS

2023

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

“Metodologia para resolução de problemas de qualidade através da análise de elementos finitos para validação da solução”

**Elaborado por:
Luiz Henrique Herrmann**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Mecânica

Aprovado em: 03/07/2023
Pela Comissão Examinadora

Prof. Dr. Rafael Luciano Dalcin
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Prof. Me. Francine Centenaro Gomes
FAHOR – Faculdade Horizontina

Prof. Me. Daniel de Vargas Lewiski
FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina - RS
2023

Dedicatória

A meus amigos e familiares que participaram de alguma forma do meu processo de graduação e aprendizado a fim de seguir a carreira de engenheiro mecânico. Ao apoio e suporte de meus entes mais próximos que serviram de base para conquistar esta etapa. Ao meu orientador pelos ensinamentos e dedicação para atingir o sucesso no presente trabalho e graduação.

"I will never put my name on a product that doesn't have in it the best that is in me."

(John Deere)

RESUMO

Conhecer e saber aplicar um sistema de gestão de qualidade e utilizar o método de análise de elementos finitos em projeto de um componente de veículo Baja SAE pode ser o diferencial que empresas buscam como característica de habilidade em um engenheiro. Tendo isso em vista, o presente estudo descreve um processo de gestão da qualidade dentro do projeto Baja SAE visando a melhoria contínua do produto com a metodologia 8D e utilizando como ferramenta de análise virtual o método dos elementos finitos para que o projeto do veículo Baja SAE continue tendo componentes confiáveis e de qualidade, somente assim para ser competitivo e de alta performance durante as competições que participar, e poder reutilizar o processo a cada competição a fim de gerar a melhoria contínua do produto e alcançar os objetivos da equipe. Este estudo, mostra a redução de tensões residuais em até 21,6% em um componente crítico do veículo Baja SAE. O desenvolvimento e validação virtual ocorre em comparativo da geometria atual com a nova geometria e os parâmetros utilizados para validação como força de entrada de 11380 N vem de artigo publicado na SAE Brasil onde a própria equipe, por meio de extensometria, captura as forças atuantes no veículo, simulando uma pista com obstáculos como na competição. Com isto em mãos, o projeto reformula a geometria do item respeitando os limites de escoamento do material aço SAE 4340 recozido de 475 MPa para que o componente, com seu histórico de falha, minimize ou até elimine as chances desta falha ocorrer durante a utilização extrema do veículo Baja em uma competição.

Palavras-chave: Metodologia da Qualidade. Ferramentas da Qualidade. Resolução de Problemas Projeto Baja SAE. Validação por Análise de Elementos Finitos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia 8D exemplificada.	14
Figura 2 – Ferramentas da qualidade.	15
Figura 3 – Exemplo de validação de tensões de um chassi de Baja.....	17
Figura 4 – Metodologia 8D.	18
Figura 5 – Exemplo Diagrama de Ishikawa.	23
Figura 6 – Exemplo 5 porquês.	23
Figura 7 – Exemplo de <i>Brainstorming</i>	25
Figura 8 – Análise de elementos finitos.....	28
Figura 9 – (a) Aplica-se força e restrições no modelo; (b) Resultados de deslocamento medidos em x milímetros; (c) Resultados de deformação; (d) Resultados de tensão ao longo da peça.....	30
Figura 10 – Fluxograma da metodologia utilizada.....	33
Figura 11 – Exemplo de diagrama de Ishikawa.....	35
Figura 12 – Exemplo 5 porquês.	36
Figura 13 – Conjunto reserva eixo-disco-cubo.....	42
Figura 14 – Diagrama de Ishikawa aplicado.....	43
Figura 15 – 5 Porquês aplicado.....	44
Figura 16 – Modelo virtual do eixo.	45
Figura 17 – Restrições aplicadas no eixo.....	45
Figura 18 – Aplicação da força sobre o eixo.	46
Figura 19 – Malha de elementos finitos sobre o eixo.	46
Figura 20 – Validação da causa com base na análise de elementos finitos.	47
Figura 21 – Zoom na região em estudo.	47
Figura 22 – Novo design do eixo.....	49
Figura 23 – Restrições do novo eixo.	50
Figura 24 – Forças de entrada no novo eixo.....	50
Figura 25 – Malha de elementos sobre o novo eixo.....	51
Figura 26 – Tensões resultantes no novo eixo.....	51
Figura 27 – Zoom na região em estudo.	52
Figura 28 – Comparativo tensões.	57
Figura 29 – Simulação em manga de eixo.	58
Figura 30 - Projeto Bandeja traseira veículo Baja.	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de 5W2H.....	20
Quadro 2 – Exemplo de matriz GUT.	21
Quadro 3 – Exemplo de folha de verificação.....	26
Quadro 4 – Método de análise de elementos finitos.	29
Quadro 5 – Matriz de priorização GUT.....	34
Quadro 6 – Passos para aplicação da análise de elementos finitos.	37
Quadro 7 – Montagem da equipe multifuncional.	40
Quadro 8 – Matriz de priorização GUT.....	41
Quadro 9 – Brainstorm de soluções.....	48
Quadro 10 – Comparativo de tensões entre o antigo e novo eixo.....	52
Quadro 11 – Plano de ação para implementação da nova proposta.....	54
Quadro 12 – Folha de verificação para inspeção do componente pós teste/competição.	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 TEMA	10
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	10
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	10
1.4 HIPÓTESES	11
1.5 OBJETIVOS	11
1.5.1 Objetivo geral	11
1.5.2 Objetivos específicos	12
1.6 JUSTIFICATIVA	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 METODOLOGIA 8D	17
2.1.1 D1 – Definição do Time	19
2.1.2 D2 – Escolha e Descrição do Problema	19
2.1.3 D3 – Desenvolver uma Ação de Contenção	21
2.1.4 D4 – Definir e Validar a Causa Raiz	22
2.1.5 D5 – Escolher e Validar a Ação Corretiva Permanentemente	24
2.1.6 D6 – Implementar e Validar a Ação Corretiva Escolhida	25
2.1.7 D7 – Prevenir a Recorrência	26
2.1.8 D8 – Reconhecimento do Time	26
2.2 MÉTODO DE ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS	27
2.2.1 Aplicando o método de análise de elementos finitos	28
3 METODOLOGIA	32
3.1 DEFINIÇÃO DA EQUIPE	33
3.2 ESCOLHA E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	34
3.3 AÇÃO DE CONTENÇÃO DO PROBLEMA	34
3.4 INVESTIGAÇÃO DA CAUSA RAÍZ UTILIZANDO FERRAMENTAS DA QUALIDADE E O MÉTODO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS	35
3.5 ESCOLHA DE UMA SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA COM BASE NO MÉTODO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS	37
3.6 IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA	38
3.7 MONITORAMENTO DO PROBLEMA	38
3.8 RESULTADOS E GRATIFICAÇÃO À EQUIPE	39
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	40
4.1 DEFINIÇÃO DA EQUIPE	40
4.2 ESCOLHA E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	40
4.3 AÇÃO DE CONTENÇÃO DO PROBLEMA	41
4.4 INVESTIGAÇÃO DA CAUSA RAÍZ UTILIZANDO FERRAMENTAS DA QUALIDADE E O MÉTODO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS	42
4.5 ESCOLHA DE UMA SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA COM BASE NO MÉTODO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS	48
4.6 IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA	53
4.7 MONITORAMENTO DO PROBLEMA	55
4.8 RESULTADOS E GRATIFICAÇÃO À EQUIPE	55
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO PROJETO	57
CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

A conectividade e a necessidade de melhoria contínua dos produtos e serviços vem sendo cada vez mais aplicada em novas tecnologias que possibilitam o contato direto do cliente com a fábrica. A indústria com sua conectividade, possibilita um desenvolvimento contínuo dos processos que a companhia utiliza bem como o produto final, quando utilizado um bom sistema de gestão da qualidade, e aplicado uma metodologia capaz de identificar, analisar, avaliar e solucionar um problema, a melhoria contínua é de fato desenvolvida e garante a empresa sua competitividade no mercado bem como a satisfação do cliente (SILVA, 2017).

O tema específico deste estudo é relatar e descrever sobre o processo de solução de problemas para um veículo Baja SAE e uma melhoria contínua do mesmo aplicando o método de análise de elementos finitos como solução final, e também sobre os benefícios que este método possibilita para a equipe, tendo um projeto confiável e competitivo, visando a cada competição a melhoria deste projeto, somente assim para a equipe se destacar cada vez mais durante a competição e também chamar a atenção de grandes empresas que buscam cada vez mais profissionais capazes de lidar com problemas e melhorar os produtos.

Desta forma, com a pesquisa realizada, pode-se observar como se mostra interessante ao demonstrar a utilização de um método de gestão da qualidade e análise de elementos finitos como parte do desenvolvimento do produto com melhoria contínua a fim de exemplificar como empresas podem utilizar do mesmo em seus respectivos produtos de modo que o contato do cliente com a fábrica torna o mesmo cada vez mais próximo e fiel à companhia, assim utiliza-se o desenvolvimento tecnológico e a conectividade em favor tanto da empresa, que assegurará a fidelidade dos seus produtos, quanto do cliente, que terá seu produto em constante melhoria contínua (CAIXETA, 2022).

Sendo assim, o foco do presente estudo é entender como a metodologia 8D e as ferramentas de gestão da qualidade contribuem para solução dos problemas de produtos correntes, especificamente, de um veículo Baja SAE utilizando o método de análise de elementos finitos dentro do processo, compreender sua aplicação e desenvolvimento, tendo em vista as mudanças proporcionadas pelo desenvolvimento da indústria 4.0, além de relatar a eficácia da utilização deste gerenciamento da qualidade onde utilizou-se o processo de solução dos problemas que por si só geram

a contínua melhoria do produto. A pergunta que nos guiará através do estudo é: como resolver um problema e endereçar uma oportunidade de melhoria de modo sistemático, rápido e eficaz, a fim de garantir a qualidade e a confiabilidade do cliente em um produto com crescente evolução?

Neste trabalho será apresentado um sistema de gestão da qualidade para correção de problemas de um veículo Baja SAE utilizando método de análise de elementos finitos com o intuito de identificar e solucionar o problema com agilidade e precisão. A pesquisa deste sistema de gestão será feita através do próprio uso da ferramenta em um projeto de melhoria de um componente de um veículo Baja SAE e documentada com seus resultados em aplicação prática, a fim de descrever e buscar melhorias para o próprio produto.

1.1 TEMA

Neste trabalho será abordado a metodologia 8D para a resolução de problemas e a utilização do método de análise de elementos finitos dentro do processo de gestão da qualidade de um veículo Baja SAE.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Com o intuito de gerar melhoria e resolver problemas, estudos já realizados comprovam a eficácia de ter uma metodologia a ser seguida e aplicada a fim de resolver os problemas encontrados no dia a dia de uma empresa com rapidez e eficácia. Este estudo delimita-se a abordar os conceitos que compõem a metodologia 8D, como as suas fases, e também as ferramentas de gestão da qualidade que contribuem no desenvolvimento de metodologia, como a classificação de prioridade dos problemas, estruturação de um time multifuncional, investigação da possível causa raiz com base na utilização do método de análise de elementos finitos, escolha e validação da solução encontrada com o método de análise de elementos finitos e por fim a implementação da solução no componente de estudo de um veículo Baja SAE.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O presente estudo aborda como resolver um problema e endereçar uma oportunidade de melhoria de modo sistemático, rápido e eficaz, a fim de garantir a

qualidade e a confiabilidade de um veículo Baja SAE com seus componentes em crescente evolução utilizando a metodologia 8D como base de sistema de gestão da qualidade e o método de análise de elementos finitos dentro do processo de investigação de causa e validação virtual da solução.

A análise de elementos finitos é uma ferramenta fundamental para validar a solução de problemas de projeto em engenharia. Ela fornece informações detalhadas sobre o comportamento estrutural, permite a previsão de falhas, otimiza o projeto, reduz custos e tempo de desenvolvimento, além de permitir a verificação experimental dos resultados. Utilizar a análise de elementos finitos no processo de projeto pode levar a soluções mais confiáveis e eficientes, além de proporcionar uma compreensão mais profunda do comportamento do sistema (ALVES, 2013).

Deste modo, supondo o desenvolvimento aplicado do estudo em um veículo Baja SAE para uma fábrica, pode-se ter problemas oriundos do próprio produto em si, pode ser o motivo de a empresa ter um cliente *detractor*, ou seja, um cliente que fala da marca de forma negativa, realizando um marketing contrário às expectativas da empresa quanto à qualidade da marca, gerando perda de confiabilidade e até mesmo, perda de clientes em virtude da não resolução de problemas ou possível melhoria no produto (REICHHELD, 2003).

1.4 HIPÓTESES

- Utilizar a Metodologia 8D para resolver um problema da equipe de Baja SAE;
- Aplicar a análise de elementos finitos para validar causas de projeto e solução do problema;
- Adaptar ferramentas da qualidade dentro do processo de resolução de problemas como suporte em suas etapas.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é definir, aplicar e validar um sistema de gestão da qualidade e melhoria contínua em um veículo Baja SAE com base na metodologia 8D e a utilização do método de análise de elementos finitos dentro do processo.

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir um problema ou oportunidade de melhoria em um veículo Baja SAE;
- Aplicar a metodologia 8D de gestão da qualidade e suas ferramentas para resolver o problema ou endereçar a oportunidade de melhoria e;
- Validar a resolução do problema ou a implementação da oportunidade de melhoria com a metodologia e o método de análise de elementos finitos, buscase elevar o nível de qualidade e performance do produto.

1.6 JUSTIFICATIVA

Sendo essencial e fundamental para a sobrevivência de qualquer empresa na indústria, em tempos de mercados extremamente acirrados e competitivos, a qualidade do produto nos dias atuais, é de vital importância para que a empresa se estabeleça em um mercado de forma a ser igual ou superior a seus concorrentes do mesmo produto fornecido ou similar. A metodologia 8D originada no exército militar americano, e posteriormente desenvolvida e aperfeiçoada pela *Ford Motor Company*, visa a solução de problemas do produto corrente e oportunidades de implementar melhorias no seu produto, onde nos traz diversas ferramentas de gestão da qualidade, análises de validação virtual como o método de elementos finitos, as utilizando de forma organizada para uma ação corretiva em cima de um problema de forma rápida e eficaz. Desta forma, garante a contínua melhoria dos seus produtos e a satisfação do cliente, fazendo-o com que volte a comprar itens da marca pois entende que a marca sempre está aperfeiçoando seus itens e processos (VARGAS, 2017).

Quando na indústria, uma empresa sabe utilizar um bom sistema de gestão da qualidade, suas ferramentas e métodos de análises e validações virtuais, esta, por sua vez, colherá frutos do que se entende por cultura da qualidade, gerando não só melhoria no produto, mas também um modo eficaz de trazer aos seus colaboradores o intuito de fazer melhor continuamente, prezando pela qualidade dos seus produtos e serviços ofertados (CAIXETA, 2022).

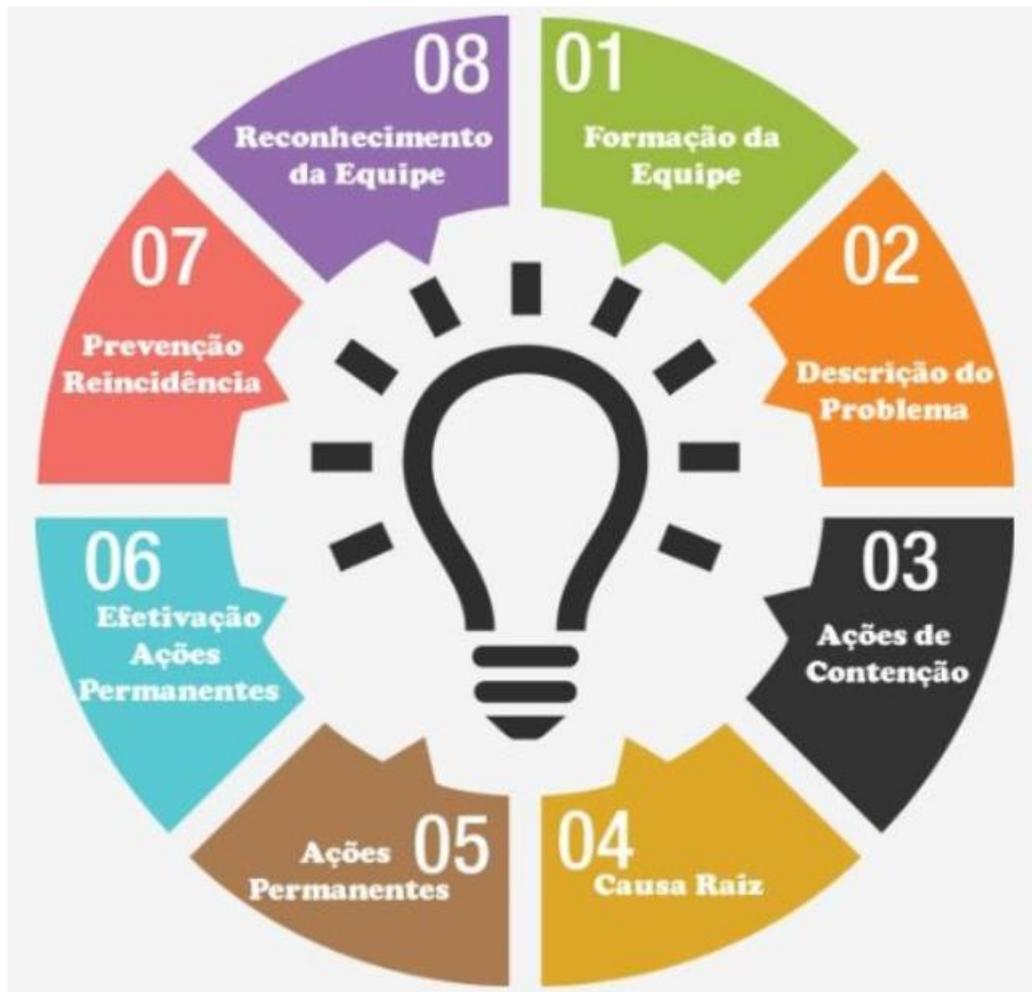
Para um engenheiro, seja qual área ele escolher trabalhar, ter o conhecimento teórico e prático desta metodologia, ferramentas e métodos de validação utilizados é de grande importância, pois o mercado atual busca e necessita trabalhar com qualidade dentro das suas empresas, onde busca-se manter a competitividade no mercado. O engenheiro que souber conduzir processos de gestão da qualidade como

a metodologia 8D, aplicando suas ferramentas e métodos de validações virtuais, conhecerá as ferramentas da qualidade, e olhará para problemas com um plano de ação estruturado em sua mente, resolvendo problemas que para muitos podem ser impossíveis de serem resolvidos com eficácia e rapidez. A análise de elementos finitos é essencial na busca por soluções de problemas de projeto, pois fornece uma compreensão detalhada do comportamento estrutural, verifica a conformidade com requisitos de desempenho, otimiza o projeto, economiza tempo e recursos, e valida as decisões de projeto (FERRAZ, 2020).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com a busca por excelência e melhoria contínua no desenvolvimento de projetos e produtos, nas organizações, todos os dias surgem desafios e problemas que podem impactar sua eficiência e produtividade, assim como a qualidade dos seus produtos. Sendo assim, nesse contexto que a metodologia 8D nos traz uma abordagem estruturada e eficaz para a resolução de problemas que quando combinado com a utilização das ferramentas da qualidade e princípios de gestão, o 8D oferece um caminho claro e sistemático para identificar, analisar e solucionar problemas, para assim, evitar sua recorrência e promover a aprendizagem organizacional assim como exemplificado na Figura 1 (CUNHA, 2016).

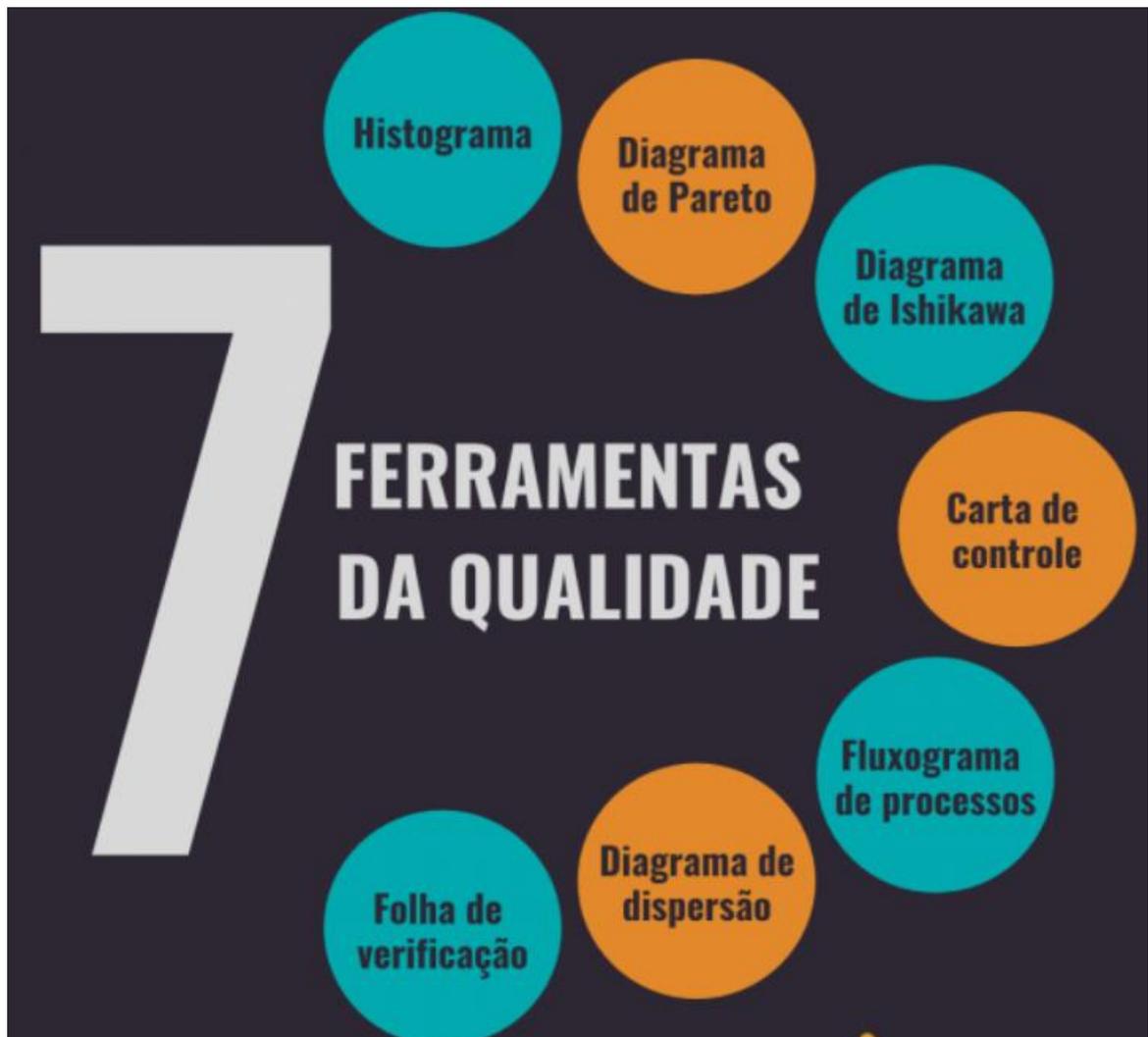
Figura 1 – Metodologia 8D exemplificada.



Fonte: SANTOS (2019).

As ferramentas da qualidade relacionadas na Figura 2, desempenham um papel fundamental dentro da metodologia 8D, fornecendo suporte e orientação ao longo de cada etapa do processo de resolução de problemas. Essas ferramentas, como o diagrama de Ishikawa, o fluxograma, o histograma, a análise de Pareto e muitas outras, ajudam a coletar e analisar dados relevantes, identificar causas raiz, priorizar ações corretivas e avaliar os resultados obtidos (ALVES, 2015).

Figura 2 – Ferramentas da qualidade.



Fonte: NEOPROSPECTA (2020).

Uma das principais vantagens do uso das ferramentas da qualidade no 8D é a sua capacidade de promover uma compreensão profunda do problema em questão. Ao empregar essas ferramentas, a equipe responsável pela resolução do problema é capaz de mapear o fluxo do processo, identificar todas as variáveis envolvidas e determinar os fatores críticos que precisam ser abordados. Isso proporciona uma base

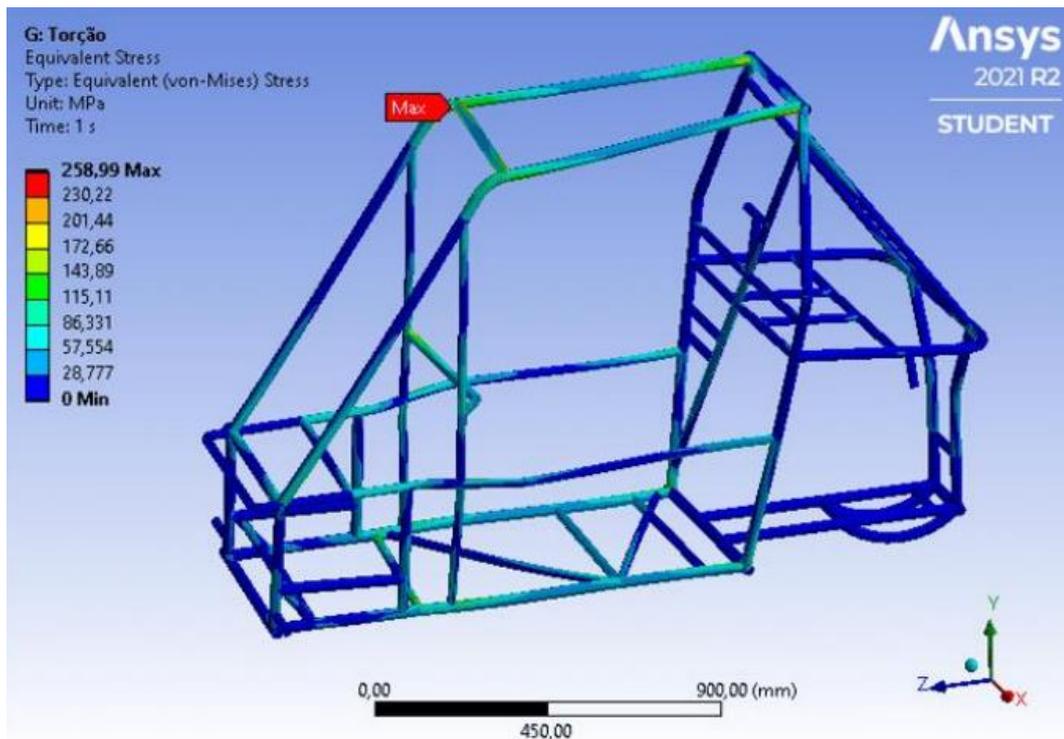
sólida para a implementação de soluções eficazes e permanentes. Além disso, a metodologia 8D estimula a colaboração e o trabalho em equipe, envolvendo pessoas de diferentes áreas e níveis hierárquicos na busca pela solução do problema. Ao utilizar as ferramentas da qualidade, os membros da equipe podem contribuir com seus conhecimentos e experiências específicas, fornecendo insights valiosos e contribuindo para a tomada de decisões embasadas em dados e fatos (CUNHA, 2016).

Em resumo, a metodologia 8D aplicada na resolução de problemas, com o suporte das ferramentas da qualidade, oferece um conjunto robusto de diretrizes e práticas para enfrentar desafios organizacionais. Ao seguir um processo estruturado e utilizar ferramentas comprovadas, as organizações podem obter resultados consistentes, melhorar a qualidade de seus produtos e serviços e fortalecer sua capacidade de solucionar problemas de forma ágil e eficiente (VARGAS, 2017).

O projeto Baja SAE, nada mais é que uma competição estudantil de veículos off-road onde equipes de engenharia estudantis projetam, constroem e competem com seus veículos. Durante as competições, é comum enfrentar problemas como quebra de componentes estruturais, falhas na suspensão, problemas de transmissão, furo nos pneus e superaquecimento do motor, da transmissão CVT, desgaste de engrenagens na caixa de transmissão, entre outros. Esses problemas ocorrem devido às condições extremas e ao estresse colocado nos veículos durante as provas, como saltos, obstáculos em troncos de árvores, barrancos, poças de lama e valas. Para lidar com essas questões, as equipes devem adotar um projeto estrutural robusto, selecionar materiais adequados, otimizar os seus componentes de projeto, além de escolher componentes de mercado confiáveis e realizar testes rigorosos nos veículos. A estruturação de uma metodologia para o desenvolvimento dos projetos e a validação por meio de softwares computacionais é de extrema importância e além disso, a manutenção adequada e a substituição regular de componentes desgastados são cruciais para evitar problemas durante as competições (FERRAZ, 2020).

De um modo geral, equipes que se sobressaem e retornam com resultados positivos são aquelas que trazem consigo um projeto elaborado e baseado em fundamentos concretos, utilizando validações virtuais ao longo de todo o projeto para que quando necessário, seus componentes não apresentem falhas durante a competição assim como nos mostra a Figura 3, onde é exemplificado a validação de um chassi de baja (SOUZA, 2023).

Figura 3 – Exemplo de validação de tensões de um chassi de Baja.



Fonte: SANTOS (2021).

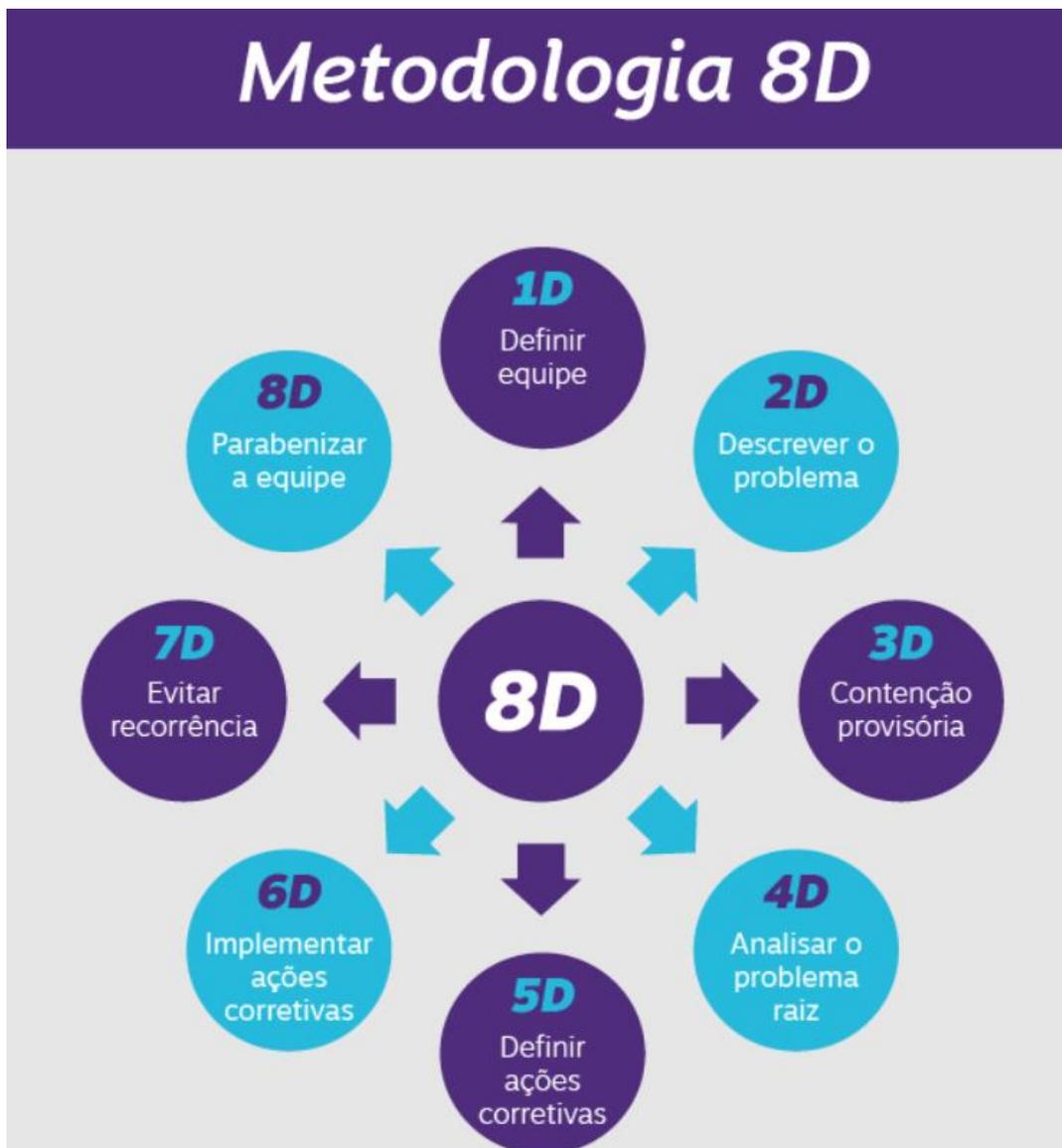
2.1 METODOLOGIA 8D

Um sistema de gestão da qualidade muito utilizado é a metodologia 8D. A metodologia apresenta uma abordagem multidisciplinar que deve ser realizada com uma equipe, com o foco em solucionar o problema levantado a fim de elevar a qualidade do produto e a satisfação do cliente que utilizará o produto (KRAJNC, 2012). Em meados da década de 80, a metodologia 8D foi desenvolvida pela *Ford Motor Company* um sistema de gestão da qualidade focado na resolução de problemas e em continuar evoluindo seu produto corrente e a partir então, foi globalmente reconhecida e difundida nas mais diferentes empresas do ramo industrial (VARGAS, 2017).

A metodologia apresentada por Caixeta (2022) e representada por suas disciplinas na Figura 4, consiste na aplicação de 8 disciplinas, sendo que cada uma aborda uma etapa na resolução de problemas utilizando diversas ferramentas da qualidade. A metodologia 8D, também conhecida como “Oito Disciplinas”, é um processo estruturado amplamente utilizado na indústria automotiva e em outros setores para resolver adversidades e lidar com problemas e oportunidades de

melhoria de produtos e processos. Essa metodologia tem uma grande importância no projeto de um veículo Baja SAE, pois ajuda a identificar, analisar e corrigir problemas de maneira eficaz, promovendo melhorias contínuas no desempenho do veículo. Em resumo, a metodologia 8D mostrada passo a passo em suas disciplinas na figura 4, é uma ferramenta valiosa para a resolução de problemas no projeto de veículo Baja SAE. Ela oferece uma abordagem estruturada, identifica a causa raiz, promove a colaboração entre a equipe, incentiva a melhoria contínua e facilita a comunicação efetiva. Ao aplicar essa metodologia, os estudantes têm uma maior probabilidade de solucionar problemas de forma eficaz, garantindo a qualidade e o desempenho do veículo Baja SAE (SOUZA, 2021).

Figura 4 – Metodologia 8D.



Fonte: DOCNIX (2023).

2.1.1 D1 – Definição do Time

Escolher a equipe que trabalhará na resolução do problema, esta é a primeira etapa após a identificação do problema, reunir uma equipe de pessoas capacitadas com conhecimento técnico e de diferentes áreas, com um líder para guiar a equipe durante os processos de resolução da metodologia. Assim a equipe pode analisar de diferentes maneiras o mesmo problema e contribuir com conhecimentos específicos de cada área, que será de extrema importância na resolução dos problemas (VARGAS, 2017).

A escolha de um time multifuncional desempenha um papel fundamental na metodologia 8D. Através da diversidade de conhecimentos, abordagem holística, comunicação efetiva, agilidade e responsabilidade compartilhada, esse tipo de equipe é capaz de enfrentar problemas complexos de maneira mais eficaz, identificar suas causas raiz e implementar soluções duradouras. (CAIXETA, 2022).

2.1.2 D2 – Escolha e Descrição do Problema

Definir o problema levantado, nesta segunda etapa, a equipe deve definir de maneira objetiva o problema levantado, visando o que de fato o cliente enxerga, assim fica mais fácil analisar e atacar o problema. Sendo um exemplo para a etapa: temos uma peça que não está montando na máquina, a definição deste problema levantado: um lote fora das dimensões especificadas, desta maneira fica mais simples o time definir onde deve ser analisado o problema, ou seja, verificar todos os processos que podem causar este tipo de problema na peça não conforme (LARSSON, 2011).

Nesta etapa pode ser utilizada a ferramenta da qualidade chamada de 5W2H, que é exemplificada no Quadro 1, a fim de mitigar o problema em discussão com a ajuda para clarear o que está sendo visto. Nesta ferramenta temos algumas perguntas à serem respondidas a fim de direcionar o time para o início da investigação do problema, sendo elas: *What* (O que está sendo analisado no problema); *Why* (Porque está sendo analisado); *Where* (Onde será realizada a análise ou ação à ser tomada); *Who* (Quem deverão ser os responsáveis por conduzir a análise do problema); *When* (Quando deverá ser o início e o fim da análise); *How* (Como será analisada, verificada,

resolvida e validada a descoberta da causa raiz e solução do problema); *How Much* (Quanto custará cada ação ou verificação desta análise) (MEDEIROS, 2012).

Quadro 1 – Exemplo de 5W2H.

<u>PLANO DE AÇÃO</u>				<u>APROVADO EM:</u>		
<u>PROBLEMA:</u>		Tempo de entrega		<u>RESPONSÁVEL:</u>		
<u>META:</u>		Reduzir o tempo				
<u>MEDIDA WHAT</u>	<u>RESPONSÁVEL WHO</u>	<u>PRAZO WHEN</u>	<u>LOCAL WHERE</u>	<u>RAZÃO WHY</u>	<u>PROCEDI- MENTO HOW</u>	<u>INVESTI- MENTO HOW MUCH</u>
Redimensionar estoque.	Souza	20 abril	Un. BH	Evitar falta de produto.	Fazer um levantamento de encomendas dos últimos 2 anos, e determinar através estatística o estoque mínimo para confiabilidade de 95% de atendimento.	Sem custos
Estabelecer um procedimento operacional de distribuição.	Ana	30 maio	Un. SP	Reduzir o tempo e custo da distribuição.	Estabelecer o fluxograma atual e debater com chefia um novo fluxograma simplificado.	Sem custos
Estabelecer um sistema de definição de roteiro.	Sônia	20 junho	Un. RJ	Reduzir o tempo de atendimento. Economizar tempo e combustível. Utilizar melhor a frota.	Utilizar um software disponível no mercado.	R\$ 8000,00

Fonte: Adaptado de Medeiros (2012).

Também pode ser utilizada, nesta etapa, a matriz de priorização de atividades GUT (Gravidade x Urgência x Tendência). A matriz GUT é uma ferramenta de análise usada para priorizar problemas ou oportunidades em uma organização com base na gravidade, urgência e tendência. A gravidade mede o impacto do problema, a urgência indica o quão imediatamente ele precisa ser resolvido, e a tendência avalia a direção em que o problema está se desenvolvendo. A matriz GUT é útil para identificar e priorizar questões críticas, mas depende da subjetividade dos avaliadores.

Infelizmente, como um modelo de linguagem, não tenho acesso a fontes externas específicas. No entanto, a matriz GUT é amplamente utilizada em gestão e tomada de decisões e pode ser encontrada em materiais confiáveis sobre o assunto, seu modelo é explorado no Quadro 2 (CONTENT, 2022).

Quadro 2 – Exemplo de matriz GUT.

<u>PROBLEMA</u>	<u>GRAVIDADE</u>	<u>URGÊNCIA</u>	<u>TENDÊNCIA</u>	<u>RESULTADO</u>
A meta de venda mensal não é batida há 3 meses.	4	4	5	80
O número de pedidos de cancelamento dobrou nos últimos meses.	5	5	5	125
Não houve lançamento de novos produtos no ano.	3	3	3	27
Os colaboradores estão desmotivados.	4	5	4	80
A empresa não possui um setor de marketing estruturado para apoio.	3	3	4	36

Fonte: Adaptado de Minetto (2019).

2.1.3 D3 – Desenvolver uma Ação de Contenção

Solução paliativa do problema, ação de contenção, nesta etapa, a equipe deve conter o problema com alguma ação para que o problema não chegue até o produto final. Sendo contido o mais próximo possível da sua origem, menos retrabalho e custos irão gerar no final, ou seja, pode haver a possibilidade de o problema não chegar no cliente final, além de não denegrir a imagem da empresa. Como exemplo de uma ação de contenção, que ainda não se sabe sua causa raiz, uma boa ação nesta etapa seria segregar o lote de peças que apresentam interferência na montagem, por exemplo, para uma melhor análise, sendo assim, até ter de fato uma solução final, esta ação contribui para evitar que o problema chegue no produto final (KRAJNC, 2012).

Em resumo, desenvolver uma ação de contenção na metodologia 8D é fundamental para minimizar os impactos negativos, garantir a satisfação do cliente, preservar a reputação da empresa, reduzir custos e promover a aprendizagem e

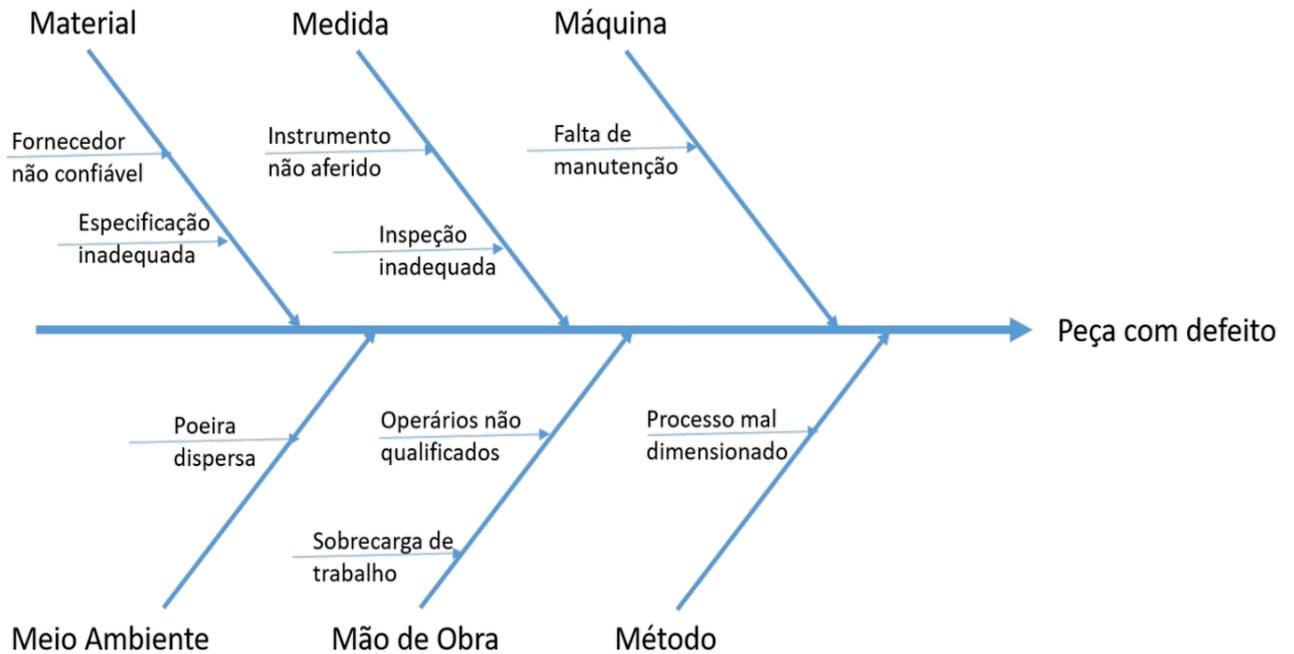
melhoria contínua. É um passo crítico para lidar de forma eficaz com problemas e garantir o sucesso a longo prazo da organização (CAIXETA, 2022).

2.1.4 D4 – Definir e Validar a Causa Raiz

Esta disciplina da metodologia 8D é de suma importância dentre todas elas, é neste momento que a definição da causa raiz irá nos guiar para a melhor solução possível do problema, para isto, deve ser explorado ao máximo esta disciplina e tentar capturar diversos pontos de vista. Utilizando o time multifuncional, pode-se combinar diferentes ideias e estes pontos de vista, para que o problema possa ser observado em ângulos diversos e possibilite à equipe uma solução rápida, que com estudo se torne sólida e enderece o problema observado (CAIXETA, 2022).

Para descobrir a causa raiz do problema podemos utilizar algumas ferramentas que facilitam a visualização do modo de falha, sendo delas, as mais utilizadas: *diagrama de Ishikawa* (Espinha de Peixe), exemplificado na Figura 5, que nos permite entender e visualizar possíveis causas das mais diversas fontes, sendo elas material, meio, pessoas, logística, tempo, entre outras; *5 Whys* (5 porquês) explorado na Figura 6 a seguir, é uma ferramenta que nos permite ir a fundo de um problema, onde visualizamos seu efeito, mas ao realizar a pergunta de o porquê isso está acontecendo, iremos divagando à fundo na descoberta de uma potencial causa raiz do efeito que estamos visualizando (SILVA, 2017).

Figura 5 – Exemplo Diagrama de Ishikawa.

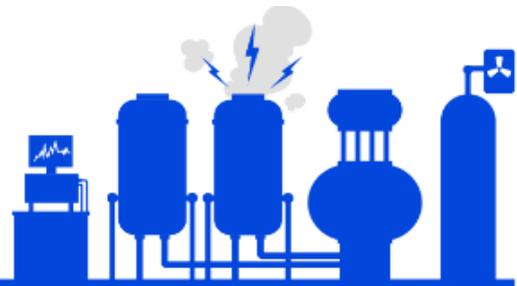


Fonte: SANTOS (2020).

Figura 6 – Exemplo 5 porquês.

Os 5 Porquês

Exemplo: sujidade do tanque após realização do CIP



POR QUÊ?	Pressão do CIP baixa
POR QUÊ?	Filtro de CIP saturado
POR QUÊ?	Não houve inspeção
POR QUÊ?	Falha de comunicação na rotina de inspeção
POR QUÊ?	Falta de treinamento para atividade
SOLUÇÃO	Realizar treinamento com a operação

TRACTIAN

Fonte: TRACTIAN (2022).

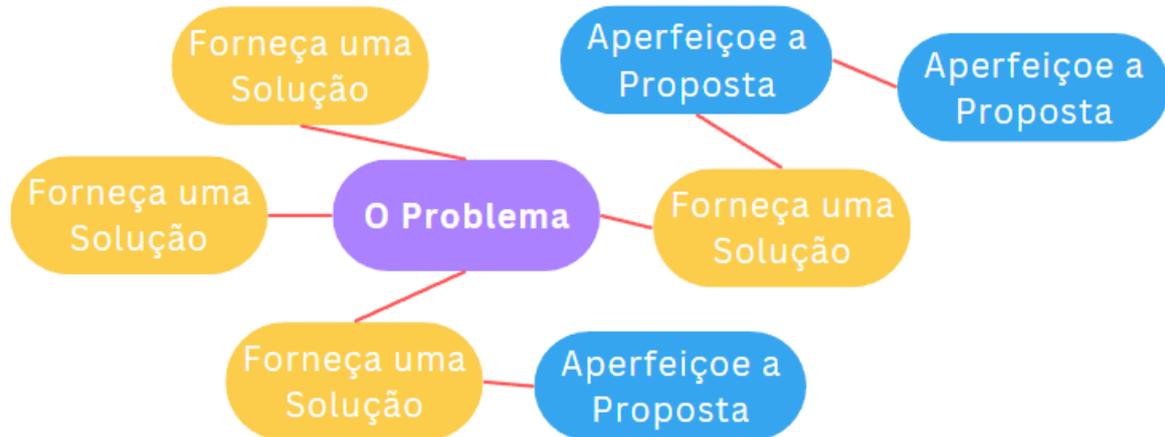
2.1.5 D5 – Escolher e Validar a Ação Corretiva Permanentemente

É fundamental escolher uma boa solução e verificar a eficácia da ação, nesta etapa da metodologia, verificamos se o problema não ocorrerá novamente e se o efeito da causa raiz aparecerá novamente e depois implementar a solução para o produto. Pode ser realizado através de testes no produto onde garanta o completo desligamento do problema e não ocasionando outro, para assim cumprir a função de solucionar o problema encontrado (VARGAS, 2017).

Desta forma, a escolha e validação do problema também deve ser criteriosa pois nesta etapa é que se modifica o produto, alteramos suas dimensões, modo de montagem, controle de lotes, a fim de solucionar o problema. Para ocorrer uma boa escolha pode ser utilizada nesta etapa algumas das ferramentas da qualidade como: *Brainstorming* (Tempestade de ideias), exemplificado na Figura 7, que tem o objetivo de elencar possíveis soluções do problema encontrado após a descoberta da causa raiz, sendo considerado toda e qualquer ideia, onde se faz jus ao termo “tempestade de ideias”; *Matriz de Decisão*, onde as ideias posteriormente levantadas podem ser classificadas de modo que a solução que faça melhor sentido, possa ser priorizada e avaliada antes de ideias que não façam tanto sentido; *plano de ação 5W2H*, para validar a solução escolhida na matriz de decisão, deve ser organizado um plano de ação a fim de testar a eficácia da solução e entender se ela é a melhor opção (SILVA, 2017).

Figura 7 – Exemplo de *Brainstorming*.

Mapa Mental de Resolução de Problemas



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2020).

2.1.6 D6 – Implementar e Validar a Ação Corretiva Escolhida

Esta disciplina da metodologia é focada na implementação da solução escolhida, é neste momento que deve se ter um maior alinhamento com outras áreas da empresa, concordância com especificações de produto, compras, materiais, logística, montagem e avaliação da qualidade posteriormente no produto corrente para que ele possa ser fabricado em linha de produção e com o problema resolvido.

Para a implementação, pode-se utilizar algumas ferramentas do sistema de gestão da qualidade capazes de auxiliar e direcionar a equipe como: *Checklist* (Folha de Verificação), exemplificada no Quadro 3, possibilita organizar e acompanhar a implementação durante as subfases do produto dentro da empresa além de monitorar posteriormente se o problema foi resolvido, reduzido ou mitigado (LARSSON, 2011).

Quadro 3 – Exemplo de folha de verificação.

<u>FOLHA DE VERIFICAÇÃO</u>				
	<u>ETAPAS PARA IMPLEMENTAÇÃO</u>	<u>REALIZADO?</u>	<u>RESPONSÁVEL</u>	<u>PROBLEMAS NO PROCESSO</u>
1	Alterações de dimensões.	Sim	Eng. Produto.	Não
2	Avaliação da qualidade de conformidade com processos.	Sim	Eng. Qualidade.	Não
3	Verificação de manufatura para a montagem do item.	sim	Eng. Manufatura	Não
4	Viabilidade econômica de preços.	Não	Eng. Materiais	Alto custo
5	Embalagem para estoque e transporte da peça.	Não	Eng. Logística	

Fonte: Adaptado de Forlogic (2016).

2.1.7 D7 – Prevenir a Recorrência

Nesta fase, deve-se levar em conta o estudo que foi feito em cima do problema, analisar e verificar eventuais oportunidades de melhoria em produtos similares, a fim de que o problema encontrado não se repita. Deste modo também pode haver mudanças nas práticas e políticas da empresa, alteração de normas e outras ações necessárias para evitar a recorrência de problemas como o estudado (VARGAS, 2017).

A prevenção da recorrência na etapa D7 da metodologia 8D é crucial para eliminar as causas-raiz do problema, reduzir custos, aumentar a confiabilidade do processo, promover a melhoria contínua e garantir a satisfação do cliente. É um passo essencial para assegurar a excelência operacional da organização utilizando o conhecimento adquirido para resolver o problema e aplicado à outros processos similares para que seja averiguado antes de se tornar um problema real (FERRAZ, 2020).

2.1.8 D8 – Reconhecimento do Time

De vital importância é reconhecer o time e os responsáveis pela ação de correção, também faz parte da metodologia, uma vez que sanado o problema, todos

saem ganhando. O reconhecimento é essencial para os envolvidos se sentirem parte do processo e o valor de ter contribuído para a solução de um problema, assim todos recebem uma motivação extra para continuar agindo de forma eficaz na solução dos problemas encontrados (CAIXETA, 2022).

Reconhecer a equipe multifuncional na última etapa de resolução do problema é essencial para valorizar o trabalho em equipe, promover a colaboração, fortalecer o engajamento e a motivação, reforçar a cultura de resolução de problemas e compartilhar melhores práticas. É um passo fundamental para o sucesso da resolução de problemas e aprimoramento contínuo da organização, deste modo, a equipe trabalha em prol da melhoria contínua do produto (FERRAZ, 2020).

2.2 MÉTODO DE ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS

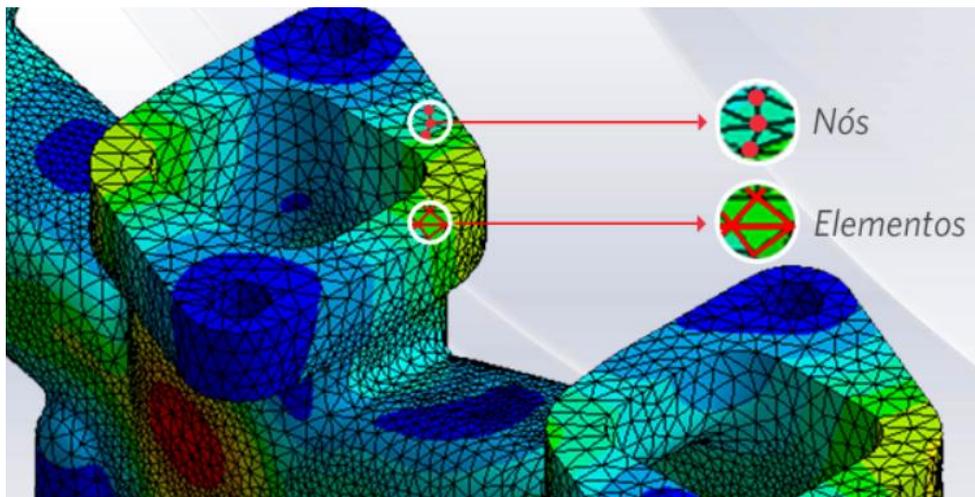
Hoje na indústria, para resolver problemas complexos relacionados à análises estruturais, é amplamente utilizado o método de análise por elementos finitos onde através da técnica numérica é possível realizar uma validação virtual extremamente fiel à realidade. Ele fornece uma abordagem eficiente para a solução de equações diferenciais parciais, dividindo o domínio de análise em elementos finitos menores e aproximando as soluções dentro desses elementos. A Análise de Elementos Finitos (FEA) envolve a representação virtual de produtos e sistemas com o objetivo de identificar e resolver problemas estruturais ou de desempenho. A FEA é uma aplicação prática do Método de Elementos Finitos (FEM), usado por engenheiros para modelar e resolver numericamente problemas complexos. Essa abordagem é amplamente utilizada em diversos setores, tanto no desenvolvimento de novos produtos quanto na investigação de falhas (JLES, 2021).

Por meio da FEA, os engenheiros podem reproduzir virtualmente as condições de uso de um produto, prevendo seu desempenho e é onde garante-se sua qualidade. Além disso, a análise de elementos finitos também oferece oportunidades de melhoria e redução de custos durante o desenvolvimento do produto, onde permite-se que ele atenda aos requisitos de projeto com o mínimo de matéria-prima necessária. Um modelo de elementos finitos consiste em uma série de pontos chamados nós, que definem a forma do projeto, e elementos finitos que formam uma malha. Esses nós contêm informações sobre o material e as propriedades estruturais do modelo, onde determina-se sua resposta a diferentes condições de utilização. A densidade da malha

pode variar de acordo com a complexidade da geometria e as tensões esperadas em cada região. Áreas com maiores tensões geralmente exigem uma malha mais densa, enquanto áreas com baixo estresse podem ter uma malha menos refinada.

Existem diferentes tipos de análises de elementos finitos, como análise estática linear, análise estática não linear, modos normais, resposta dinâmica, flambagem e transferência de calor. Essas análises fornecem resultados como deslocamentos, velocidades, acelerações, forças, tensões e deformações (ALVES, 2013). A utilização da FEA traz diversos benefícios, como a previsão e melhoria do desempenho e confiabilidade do produto, a redução de prototipagem e testes físicos, a diminuição do tempo de lançamento de novos produtos, a avaliação de diferentes projetos e materiais, e a otimização de projetos para reduzir o consumo de materiais, todos estes pontos podem ser identificados quando é realizada a análise de seus nós e elementos, que constituem a malha da análise, exemplificado na Figura 8 (ESSS, 2021).

Figura 8 – Análise de elementos finitos.



Fonte: ESSS (2021)

2.2.1 Como se aplica o método de análise de elementos finitos

A análise estrutural pelo método dos elementos finitos tem a finalidade de fornecer resultados de tensão, deformação e deslocamento de uma estrutura, equipamento ou produto sob análise. Esses resultados são utilizados para identificar a durabilidade do componente, localizar pontos de concentração de tensão, compreender o comportamento da estrutura sob carregamento e otimizar peças antes da fabricação. Atualmente, os softwares de análise de elementos finitos são

amplamente utilizados pelas grandes indústrias no desenvolvimento de produtos como uma base e apoio para a engenharia de produto (ENSUS, 2016). Os passos para realizar uma análise de elementos finitos podem ser seguidos conforme Quadro 4.

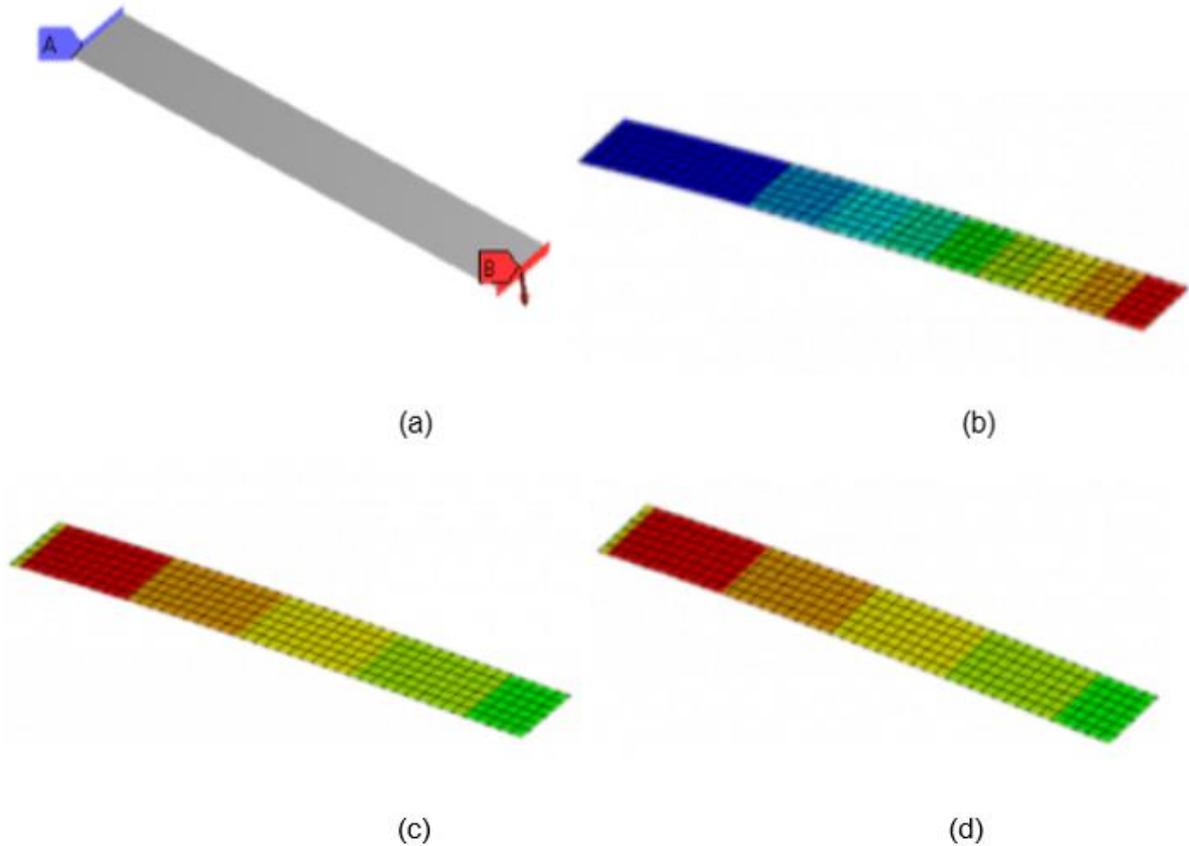
Quadro 4 – Método de análise de elementos finitos.

1	Obter o modelo CAD do sistema em análise, isto é, modelar o design da peça ou conjunto para poder aplicar as forças conhecidas atuantes nesta peça;
2	Definir as propriedades do material, ter conhecimento do material que se quer utilizar e buscar se informar as características deste mesmo material como o limite de escoamento;
3	Realizar a malha do modelo com elementos finitos, esta malha irá fornecer uma análise real representativa das tensões em determinados pontos da peça a ser estudada;
4	Estabelecer as cargas e condições de restrição, que é de fundamental importância se ter o conhecimento para uma análise mais próxima da realidade de tensões aplicadas na peça;
5	Resolver a análise, rodar as equações do software de cálculo de tensões aplicadas na peça com as informações de condição e restrição previamente estabelecidas;
6	Verificar os resultados de tensão, deformação e deslocamento, desta forma, obter os objetivos que se quer com a análise, saber se o material e dimensões da peça podem suportar as cargas estabelecidas e fornecer o desempenho esperado.

Fonte: Adaptado de ESSS (2021).

A interpretação dos resultados da análise de elementos finitos pode ser feita com base em um exemplo a seguir na Figura 9, quando é exemplificado a simulação em uma chapa de aço. Após o modelamento da chapa, insere-se sua geometria no software, estabelece restrições, prende-se uma das extremidades e aplica-se uma força na outra ponta (a), desta forma, temos os resultados de deslocamento máximo (b) medidos em milímetros, após a inserção da força, seguindo a análise, temos a deformação (c), onde sua máxima deformação ocorre na extremidade presa da régua, relacionada ao ponto mais solicitado da estrutura, e por final e mais importante, sua tensão (d), onde a maior tensão para esse caso é correlacionada com a deformação, sendo diretamente proporcional.

Figura 9 – (a) Aplica-se força e restrições no modelo; (b) Resultados de deslocamento medidos em x milímetros; (c) Resultados de deformação; (d) Resultados de tensão ao longo da peça.



Fonte: ENSUS (2016).

É importante ressaltar que a análise de elementos finitos gera resultados coloridos, onde a escala de cor representa, em geral, o maior valor em vermelho e o menor em azul. Esses resultados podem ser expressos em deformação, tensão e deslocamento. Além disso, a deformação é uma medida adimensional que representa a variação da forma ou dimensão de um corpo sob a ação de uma força. A tensão é uma medida relacionada à deformação e frequentemente comparada ao limite de escoamento ou ruptura do material. Já o deslocamento é uma medida expressa em milímetros e representa o movimento de um ponto após a aplicação da força. É fundamental lembrar que o método dos elementos finitos é uma simulação que auxilia na validação estrutural de componentes. No entanto, é necessário analisar cuidadosamente vários fatores, como o tipo e tamanho da malha e a definição das cargas e restrições, a fim de obter resultados confiáveis que se aproximem da realidade (JLES, 2021).

De modo geral, a utilização do método de análise de elementos finitos em um projeto de veículo Baja SAE é de extrema importância, pois permite realizar simulações computacionais que fornecem informações cruciais para a tomada de decisões durante o processo de desenvolvimento. O método de análise de elementos finitos é uma técnica numérica utilizada para analisar o comportamento estrutural de um sistema, dividindo-o em elementos menores para facilitar os cálculos, este método de análise de elementos finitos deve ser utilizado para projetos de componentes de geometria complexa e assim ter resultados confiáveis mais próximos à realidade. Em resumo, a utilização do método de análise de elementos finitos em um projeto de veículo Baja SAE proporciona uma análise detalhada do comportamento estrutural e de desempenho do veículo, permitindo otimizar o design, aumentar a segurança, reduzir o peso e melhorar a eficiência. É uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de um veículo competitivo e de qualidade (FERRAZ, 2020).

3 METODOLOGIA

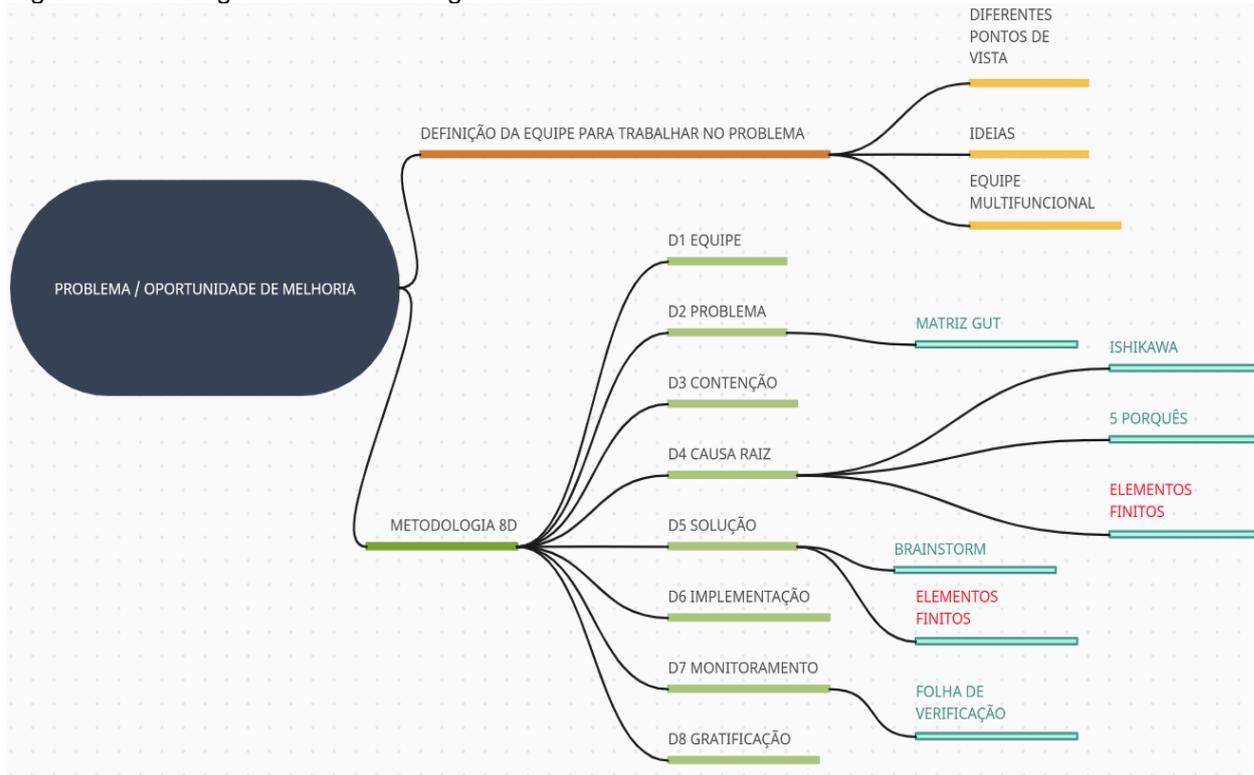
Este presente estudo tem como objetivo de metodologia a aplicação prática de um sistema de gestão da qualidade baseado no método 8D e a utilização do método de análise de elementos finitos para resolver o problema identificado. Um dos principais valores das indústrias é o preço pela qualidade de seus produtos, deste modo, é de suma importância resolver um problema prático, gerando benefícios para os colaboradores, empresa e cliente.

Desta forma, o presente estudo utilizará uma metodologia do tipo de pesquisa misto, que entende e avalia o método 8D ao mesmo tempo que gera dados quantitativos de avaliação do problema encontrado. Sendo assim, durante a aplicação da metodologia 8D, será escolhido um problema real e definido as ferramentas do sistema de gestão da qualidade para organizar as ações da metodologia 8D, também será montado o time e iniciará o estudo do problema real baseado na metodologia 8D.

A pesquisa nos direciona para o tipo descritiva-exploratória de modo que será apresentado os processos estudados e explorados durante a aplicação e os dados obtidos como resultado do desenvolvimento da solução do problema. O tipo de procedimento utilizado para esta pesquisa será de revisão bibliográfica da metodologia 8D e as ferramentas de gestão da qualidade, e também, uma pesquisa-ação com a aplicação do método e ferramentas em um problema real, seguindo o passo a passo da metodologia 8D. As técnicas de coleta de dados serão através de análise modos de falhas e oportunidades de melhoria no produto e, posteriormente, levantamento de dados, a partir da solução proposta a fim de validar o que foi escolhido com o método de análise dos elementos finitos.

Neste trabalho será transcrito a identificação de um problema e a partir deste, aplicado a metodologia 8D e as ferramentas de gestão da qualidade para solucioná-lo, além de utilizar o método de análise de elementos finitos para identificar o problema e solucionar com as alterações de design e validação virtual da nova proposta, conforme exemplificado na Figura 10 com o fluxograma, e desta forma, colaborar com a solução permanente do problema e continuar o processo de melhoria contínua no produto corrente.

Figura 10 – Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: Autor (2023).

3.1 DEFINIÇÃO DA EQUIPE

Neste trabalho deverá ser primeiramente montada uma equipe responsável por analisar os potenciais problemas e oportunidades de melhoria a serem escolhidos e desenvolvidos. Deve-se levar em conta as diversas características únicas que seus integrantes possuem para abranger pontos de vista diferentes, formando assim uma equipe capaz de cobrir melhor o problema em estudo.

Nesta equipe deverá ter pessoas com diferentes funções exercidas no seu trabalho, de modo que seja um time multifuncional, isto é, pessoas que tem o foco em diferentes áreas para abranger melhor o problema escolhido e olhar o problema com diferentes pontos de vista, sendo eles da parte de materiais, montagem, fabricação, gestão e compras.

- pessoa 1 - materiais/design de produto
- pessoa 2 - gestão
- pessoa 3 - qualidade
- pessoa 4 - fabricação
- pessoa 5 – montagem

3.2 ESCOLHA E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Com a equipe formalizada, pode-se direcionar para o segundo passo da metodologia que é a escolha e descrição do problema. Após uma competição ou testes práticos da equipe de Baja, sempre existem problemas e oportunidades de melhoria que devem ser listadas e através de uma matriz GUT, isto é, uma matriz de priorização de atividades, escolher um problema e desenvolvê-lo para solucionar por completo ou mitigar o problema a fim de não atingir a equipe durante uma competição. Exemplo de matriz GUT no Quadro 4 a ser seguida para priorização de atividades e escolha do problema a ser desenvolvido e mitigado.

Quadro 5 – Matriz de priorização GUT.

MATRIZ G x U x T DE PRIORIZAÇÃO (1 Baixo – 5 Alto)					
<u>PROBLEMA / OPORTUNIDADE DE MELHORIA</u>	<u>GRAVIDADE</u>	<u>URGÊNCIA</u>	<u>TENDÊNCIA</u>	<u>G x U x T</u>	<u>PRIORIZAÇÃO</u>
1					
2					
3					
4					
5					

Fonte: Autor (2023).

3.3 AÇÃO DE CONTENÇÃO DO PROBLEMA

Após a definição do problema a ser investigado ou a oportunidade de melhoria determinada como objetivo da equipe, deve ser fornecido caso houver a possibilidade, uma ação rápida e provisória para mitigar o problema ou endereçar a melhoria, ou seja, nesta etapa deve ser reunida a equipe e tomada uma decisão rápida a ser utilizada, para que durante o processo de investigação e implementação da solução final, o projeto possa ser amparado por esta solução provisória.

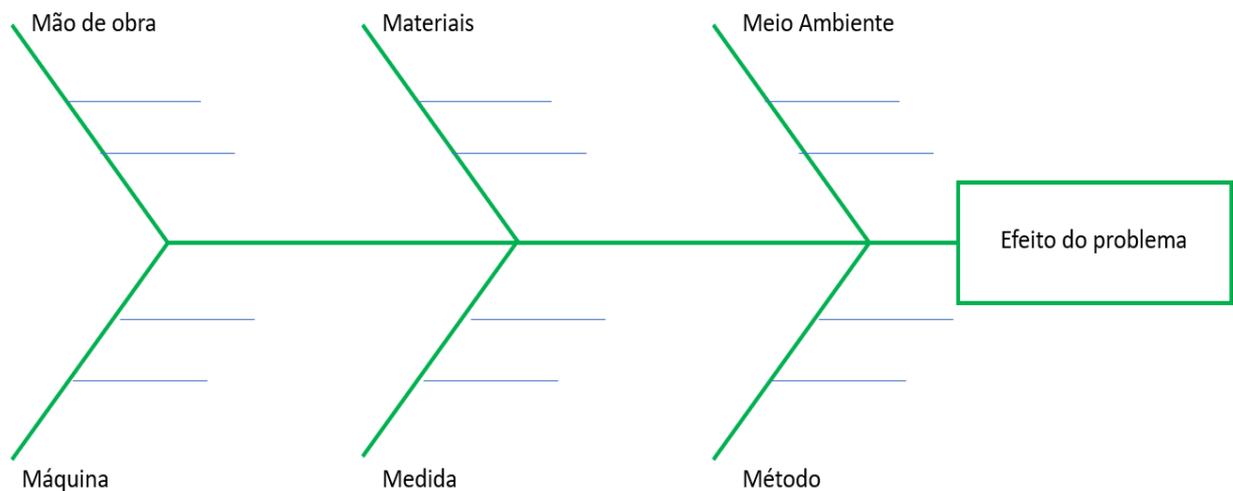
Para uma ação de contenção efetiva, deve-se ter uma ideia do problema em estudo e desta forma aplicar algo que de fato faça sentido e contribua para a

investigação do problema, uma boa forma é segregar peças similares de mesma aplicação que possa apresentar algum tipo de falha similar ou preparar peças reservas de fácil e rápida troca, assim sendo, não perderá muito tempo caso venha a falhar durante a competição.

3.4 INVESTIGAÇÃO DA CAUSA RAIZ UTILIZANDO FERRAMENTAS DA QUALIDADE E O MÉTODO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

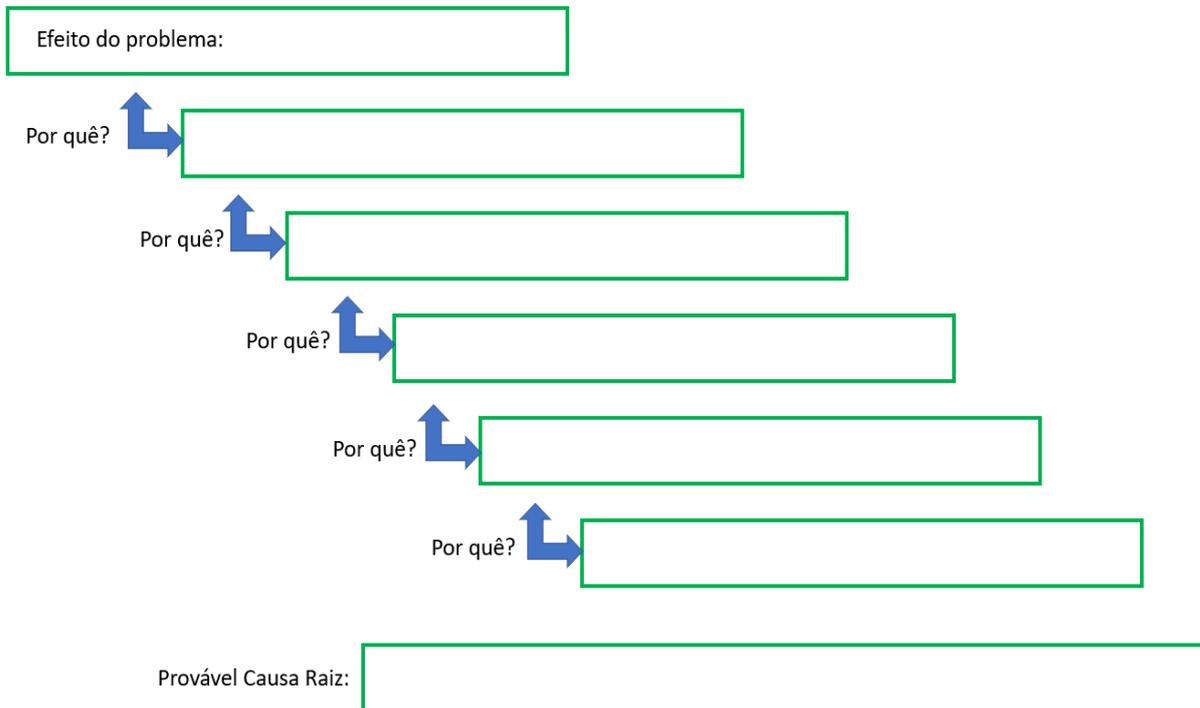
Nesta etapa a equipe deve iniciar o estudo da causa raiz do problema, o que de fato está causando aquele efeito no projeto, entender e ir afundo com diferentes pontos de vista sobre o problema definido, então para contribuir com a investigação e possibilitar uma melhor solução definitiva do problema, a equipe pode utilizar as ferramentas da qualidade conhecidas como diagrama de Ishikawa, explorado na Figura 11 e “5 porquês”, exemplificado na Figura 12.

Figura 11 – Exemplo de diagrama de Ishikawa.



Fonte: Autor (2023).

Figura 12 – Exemplo 5 porquês.



Fonte: Autor (2023).

Após o entendimento da causa raiz e se for verificado que a provável causa raiz possa ser design, pode-se entrar com o método de análise de elementos finitos para verificar se as dimensões atuais do componente atendem as especificações de propriedades mecânicas do material utilizado no componente, deste modo, pode-se ligar o problema ao design do produto e entender se está dimensionado para atender às solicitações ou não. Para a aplicação do método de análise dos elementos finitos pode ser seguido o passo a passo descrito conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Passos para aplicação da análise de elementos finitos.

<u>ETAPA</u>	<u>MOTIVO</u>
Conhecer o material que se quer analisar e buscar dados de suas propriedades como módulo de Young, coeficiente de Poisson e sua densidade.	Dados e parâmetros do material são essenciais para uma análise crítica e realista.
Modelamento virtual do componente a ser analisado em suas minuciosas geometrias.	Ter o modelo o mais próximo da realidade para capturar as reações reais ao longo de sua geometria.
Restringir os movimentos do componente a ser analisado tais como rotação, translação e só deixar os graus de liberdade livres onde o componente consegue realizar movimento, como será em sua aplicação prática.	Quanto melhor adaptarmos às condições do componente a ser analisado, como suas restrições, mais fiel ao comportamento real será a validação virtual.
Aplicar as forças ao longo da geometria do componente que se quer analisar, devidamente onde são exercidas na prática.	Nesta etapa os dados de entrada de força devem ser fiéis à utilização do componente na prática, assim, mais proximidade com a realidade conseguimos na análise.
Desenvolver a malha de análise ao longo da geometria da peça, especialmente mais refinada em regiões críticas para a análise de tensões.	A malha é a formulação de elementos e nós que nos dirá as tensões ao longo da geometria.
Rodar o software para realizar o equacionamento e resolvê-lo, assim nos mostrará o resultado das tensões e deformações com os parâmetros impostos.	Etapa que nos mostrará os resultados da análise de elementos finitos.

Fonte: Autor (2023).

3.5 ESCOLHA DE UMA SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA COM BASE NO MÉTODO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Com o entendimento do time na escolha da causa raiz e partindo para a solução do problema encontrado, pode-se iniciar a fase D5 com a melhora da geometria defeituosa, sendo assim, nesta etapa deve-se modificar a geometria com o uso de software de modelamento, aplicando os conceitos de mecânica na nova geometria, tem-se um novo conceito e este deve ser avaliado com a utilização do método de análise de elementos finitos a fim de verificar as tensões impostas e como elas se comportam nesta nova geometria.

É importante ressaltar a utilização dos mesmos parâmetros utilizados para validar sua causa, desta forma tem-se uma comparação real dos benefícios que a

alteração da geometria irá trazer e fornece uma base sólida de comparativo para ser utilizada e verificada pela equipe, validando assim uma solução encontrada de forma segura e eficaz.

3.6 IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA

Nesta etapa da metodologia já se tem uma solução final para o problema apresentado, sendo assim, deve-se implementar a solução realizando procedimentos simples e organizando a equipe para determinar certas tarefas como por exemplo:

- Compra da matéria prima para a nova geometria;
- Fornecedor para fabricar a nova geometria;
- Peças e materiais necessários auxiliares como brocas e ferramentas de usinagem;
- Posterior montagem do novo componente no projeto.

Desta forma, na equipe de BAJA, tem-se a implementação da solução escolhida por meio de tarefas delegadas a diversos setores da equipe, assim como é em uma empresa na indústria nos dias atuais.

3.7 MONITORAMENTO DO PROBLEMA

Para o monitoramento da falha, nesta etapa, sugere-se a validação de outros componentes críticos por meio do mesmo estudo que ligou o problema atual a fim de evitar uma possível falha durante o uso do projeto em uma competição. Caso outros componentes já tenham sido projetados com base no método de análise dos elementos finitos, sugere-se então a elaboração de uma folha de verificação para procedimento de análise após cada teste ou competição, seguindo o passo a passo:

- Limpeza do componente;
- Desmontagem do componente de outras partes do projeto;
- Limpeza novamente do item solo;
- Avaliação dimensional com paquímetros, procurando desgastes;
- Avaliação visual da peça;
- Verificação dos pontos críticos conforme validado.

3.8 RESULTADOS E GRATIFICAÇÃO À EQUIPE

Após o longo processo de estudo do problema, investigação de causa, escolha e implementação de uma solução definitiva, deve-se gratificar a equipe que trabalhou no assunto de forma que se sintam importantes dentro do projeto, buscando engajá-los cada vez mais e fazer com que o projeto evolua cada análise seguinte. Para a gratificação nada melhor que uma boa confraternização com o time e o projeto para aproveitá-lo da melhor forma.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente projeto, buscou-se estudar, investigar e aplicar a solução de um problema no projeto de um veículo Baja SAE conforme metodologia 8D e utilizando a análise de elementos finitos como ferramenta de validação da solução. Após o desenvolvimento das atividades dentro das 8 disciplinas exploradas, pode-se observar as ferramentas da qualidade sendo utilizadas como suporte dentro da metodologia e a eficácia da validação virtual pelo software *Ansys*, simulando o comportamento virtual de uma aplicação real para o item em estudo. As 8 disciplinas, ferramentas da qualidade e a validação virtual podem ser verificadas nas etapas a seguir.

4.1 DEFINIÇÃO DA EQUIPE

Neste trabalho foi montada uma equipe conforme Quadro 7, responsável por analisar os potenciais problemas e oportunidades de melhoria a serem escolhidos e desenvolvidos. Na equipe escolhida temos pessoas de diferentes subsistemas que compõem a equipe de Baja e podem fornecer diferentes pontos de vista para o estudo do problema, desta forma, com uma equipe multidisciplinar, as oportunidades de melhoria foram melhores debatidas e apresentadas.

Quadro 7 – Montagem da equipe multifuncional.

<u>QUEM</u>	<u>MULTIFUNÇÃO</u>
Luiz Herrmann	Design de produto
Maicon Winter	Gestão
Bruno Santos	Qualidade
Francis Weiss	Fabricação
Fernando Thiele	Materiais
Dieison Wandscheer	Custos

Fonte: Autor (2023).

4.2 ESCOLHA E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Após a formação da equipe capaz de investigar e solucionar oportunidades de melhoria dentro do projeto de veículo BAJA, após a competição, foi realizado e

elaborado uma lista de melhorias que a equipe gostaria de ter no veículo e com base nesta, montado uma matriz de priorização de melhorias, pois assim, pode-se ter clareza de qual melhoria tem-se condições de resolver e implementar até a próxima competição e qual já deve ser elaborada para o próximo projeto. A seguir a matriz de priorização elaborada no Quadro 8, que foi utilizada para definir a prioridade da equipe, sendo ela, a resolução da deformação do eixo dianteiro esquerdo, que após a competição retornou deformado, arriscando o projeto durante as provas e correndo risco de quebra.

Quadro 8 – Matriz de priorização GUT.

MATRIZ G x U x T DE PRIORIZAÇÃO (1 Baixo – 5 Alto)						
	<u>PROBLEMA / OPORTUNIDADE DE MELHORIA</u>	<u>GRAVIDADE</u>	<u>URGÊNCIA</u>	<u>TENDÊNCIA</u>	<u>GxUxT</u>	<u>PRIORIZAÇÃO</u>
1	Espaço do habitáculo.	4	3	4	48	3.
2	Baixa potência do motor.	4	2	2	16	5.
3	Deformação no eixo dianteiro.	5	5	4	100	1.
4	Reservatório de combustível.	5	5	1	25	4.
5	Custos altos de viagem.	4	4	4	64	2.
6	Redução de peso do projeto.	3	3	4	48	3.

Fonte: Autor (2023).

4.3 AÇÃO DE CONTENÇÃO DO PROBLEMA

Com base na matriz de priorização de oportunidades de melhoria, o time entende que deve existir um controle ou resposta rápida como ação de prevenir ou endereçar o problema, desta forma, com peças reservas e de modo que seja algo rápido, optou-se por montar um conjunto “eixo-disco-cubo” reserva, possibilitando a troca durante testes ou competição de forma rápida e prática, não perdendo tempo em caso de falha do componente. Segue uma imagem auto explicativa na Figura 13,

mostrando o conjunto montado como peça reserva caso o componente em estudo venha falhar em alguma prova ou testes.

Figura 13 – Conjunto reserva eixo-disco-cubo.



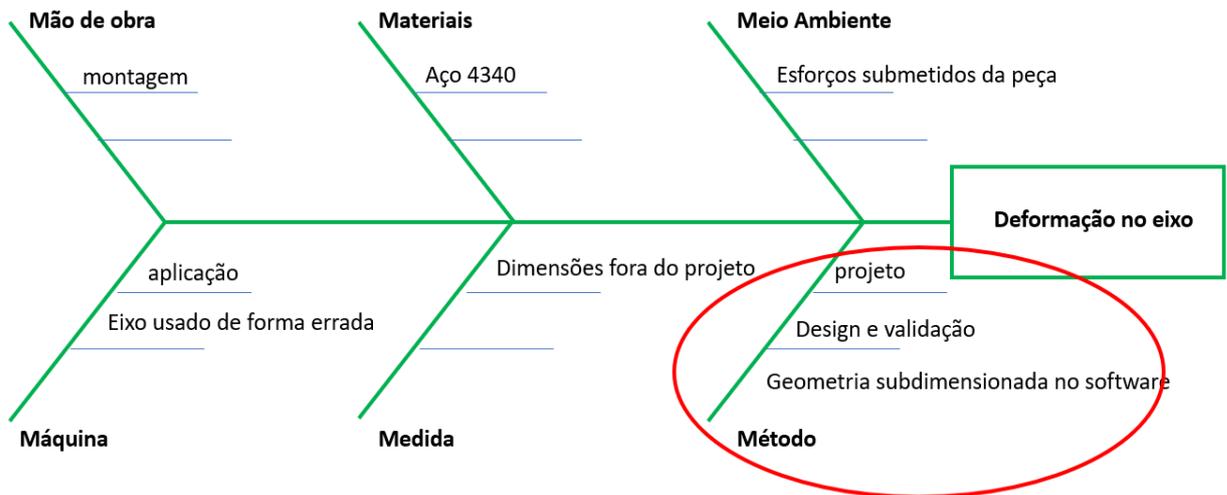
Fonte: Autor (2023).

4.4 INVESTIGAÇÃO DA CAUSA RAÍZ UTILIZANDO FERRAMENTAS DA QUALIDADE E O MÉTODO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Realizado as fases anteriores de definição da equipe, escolha do problema e realizado uma ação de contenção, foi realizada uma reunião para debater e investigar possíveis causas da deformação do eixo. Com os olhos voltados para o problema em si, e quando procurado no histórico da equipe de BAJA, pôde-se observar com base em relatos de competições passadas que o eixo dianteiro de ambos os lados vinha sofrendo falhas, deformações, trincas e quebras. O material utilizado na fabricação do eixo é o aço SAE 4340 recozido de limite de escoamento de 475 MPa e resistência a tração de 750 MPa conforme livro “Aços e Ligas Especiais” de André Costa e Silva. Com estas informações realizamos o diagrama de Ishikawa, relatado na Figura 14,

para se obter diferentes ideias e suposições do que poderia estar causando a falha no eixo.

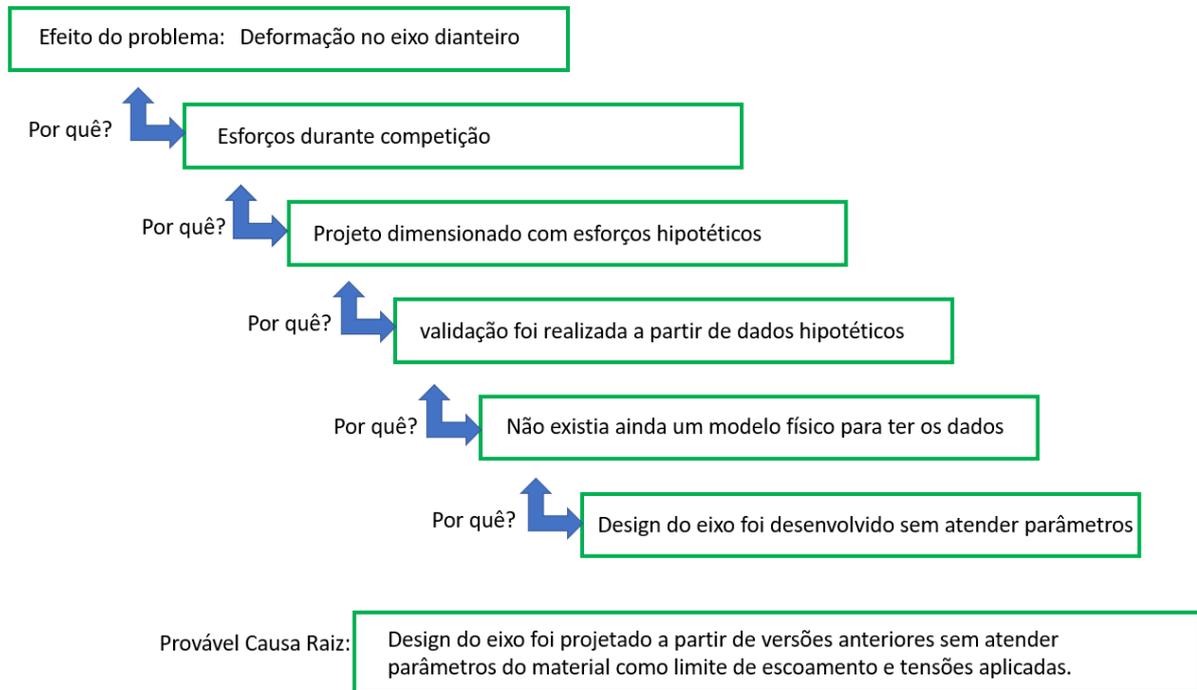
Figura 14 – Diagrama de Ishikawa aplicado.



Fonte: Autor (2023).

Após a realização do diagrama de Ishikawa, também houve a necessidade de entender o porquê da falha, para isto foi utilizada a ferramenta da qualidade dos 5 Porquês, explicado na Figura 15, para a investigação e definição mais próxima da causa raiz real do problema, sendo assim, uma ferramenta da qualidade complementa a outra, e tem-se uma causa do problema mais clara para que possa ser estudada.

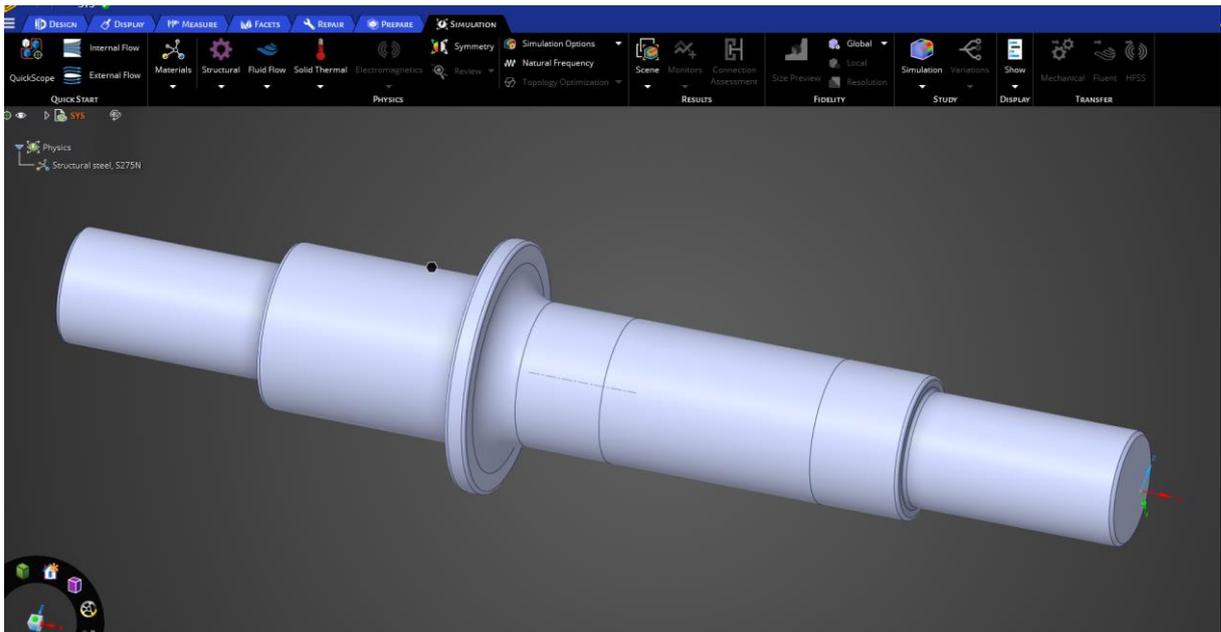
Figura 15 – 5 Porquês aplicado.



Fonte: Autor (2023).

Com base nas investigações de causa relatada e o aprofundamento da causa, pode-se observar que o eixo se encontra em situações de alto esforço mecânico, o que implica em picos de carga nele aplicados em certas ocasiões pontuais de competição, e estas, podem vir a fazer com que o componente falhe pois o modelo foi desenvolvido sem conhecer os valores reais destas forças, que só foram conhecidas após o desenvolvimento do mesmo. Para a validação da causa raiz, foi realizada uma validação virtual com base no método de análise de elementos finitos são utilizados os dados de cargas atuantes no projeto de Baja durante uma simulação de prova após a fabricação física do veículo e seus componentes, estes dados foram obtidos após um projeto de extensometria aplicado pela equipe de Baja no ano de 2021 e assim, pode ser utilizado para avaliações futuras com alto valor realístico dos esforços que o projeto sofre durante uma competição. Para a aplicação do método de análise dos elementos finitos, primeiro passo foi obter o modelo virtual do eixo dianteiro presente no projeto do veículo conforme a Figura 16.

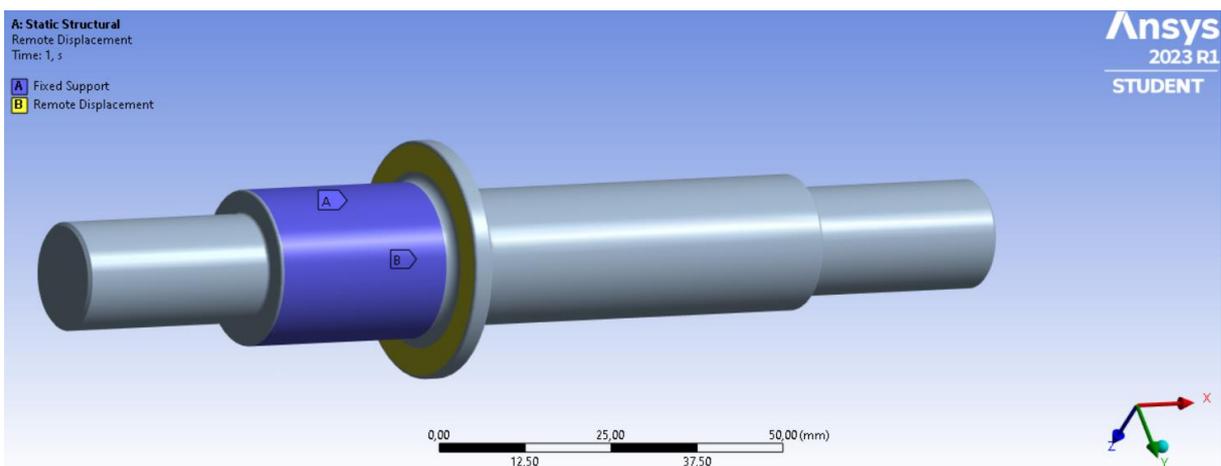
Figura 16 – Modelo virtual do eixo.



Fonte: Autor (2023).

Com o modelo virtual em mãos, foi montada uma análise estrutural no software de análise de elementos finitos *Ansys* e desta forma, aplicadas as restrições do eixo, exemplificado na Figura 17, são os seus engastes fixos na manga de eixo restringindo seus movimentos de rotação e translação, a fim de que a validação seja o mais aproximado da realidade da aplicação do eixo.

Figura 17 – Restrições aplicadas no eixo.

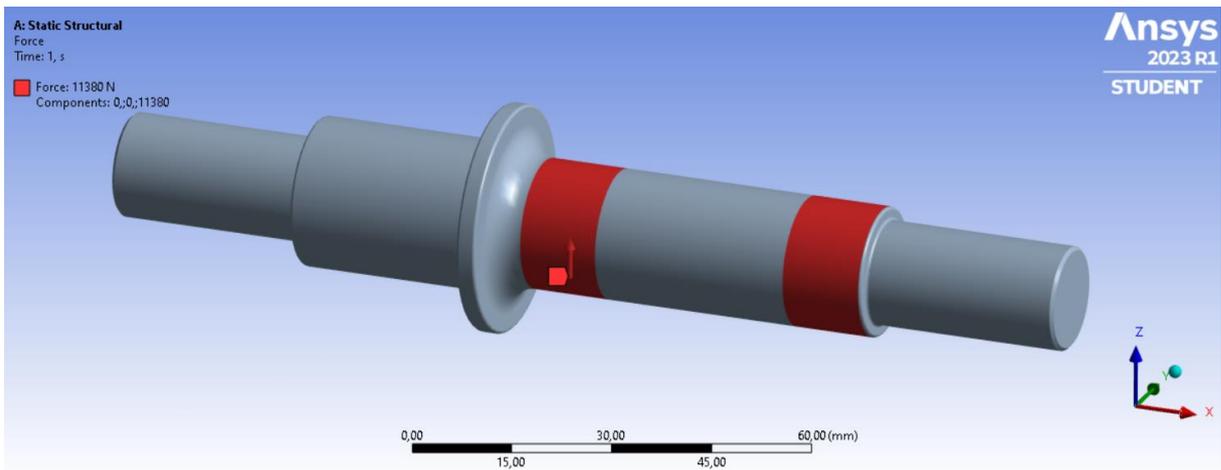


Fonte: Autor (2023).

Após a aplicação das restrições do eixo fiéis ao projeto, foi inserido o valor de pico de força atuante sobre o eixo, eixo em sua pior condição de trabalho, nas faces

de encosto do rolamento da roda sobre o eixo conforme mostrado na Figura 18, estes são os pontos de contato que o eixo tem com os rolamentos do cubo de roda, portanto toda carga proveniente dos esforços do carro com o terreno é aplicada diretamente nestas faces.

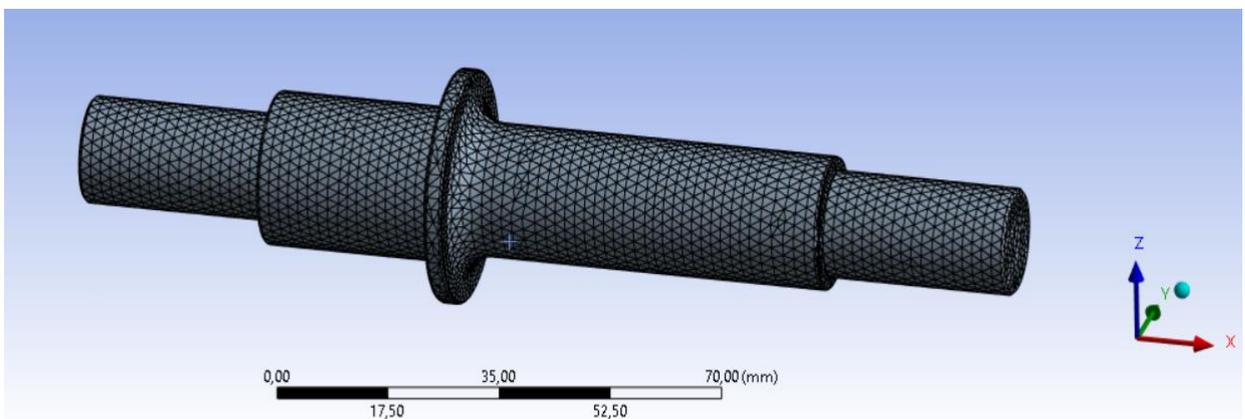
Figura 18 – Aplicação da força sobre o eixo.



Fonte: Autor (2023).

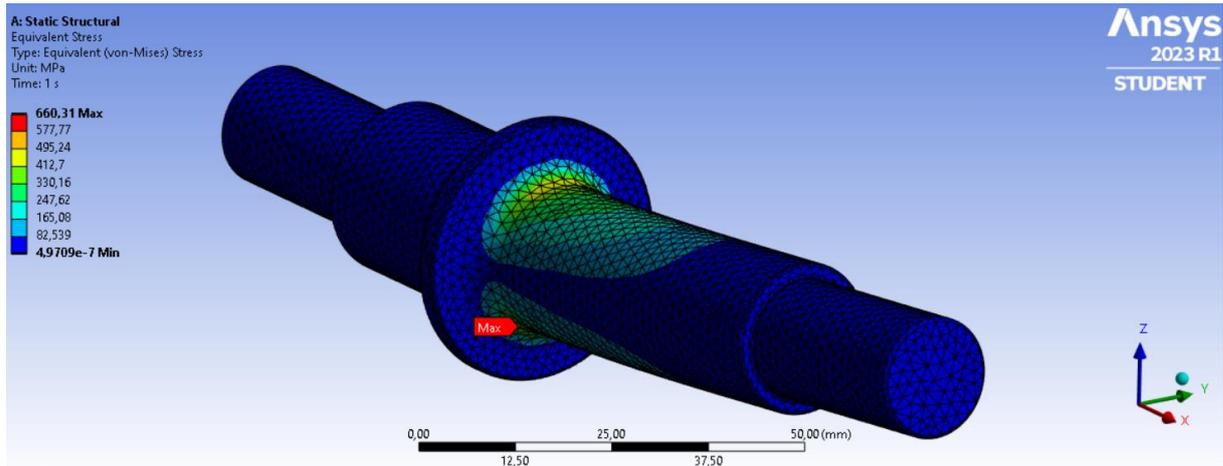
Desta forma, com o modelo virtual, restrições de trabalho do eixo e suas forças atuantes, foi inserida a malha de análise de elementos, conforme Figura 19, e a partir desta, realizada a simulação virtual da condição de trabalho do eixo, com suas tensões principais visualizadas em números e regiões onde estas tensões máximas são apresentadas ao longo do eixo, assim pode-se obter os seguintes resultados mostrados na Figura 20.

Figura 19 – Malha de elementos finitos sobre o eixo.



Fonte: Autor (2023).

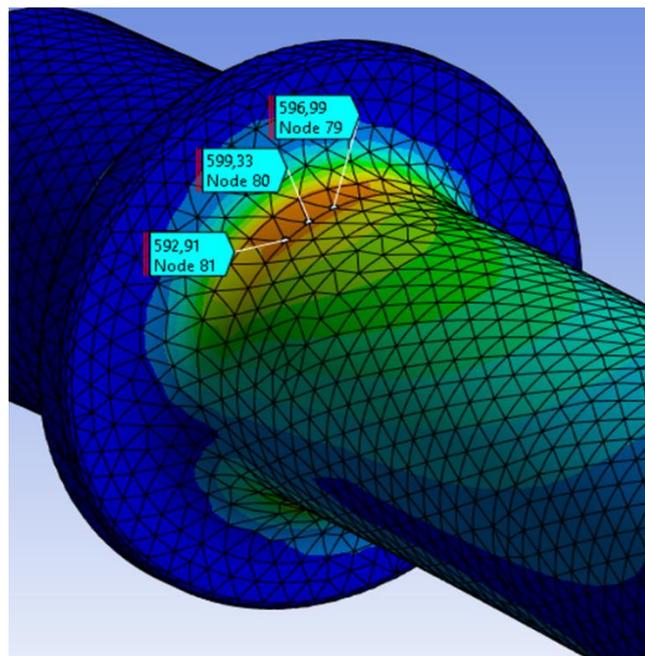
Figura 20 – Validação da causa com base na análise de elementos finitos.



Fonte: Autor (2023).

Após a análise de elementos finitos, foi verificado que quando aplicada a carga de pico (11380 N), esta carga transfere tensões na região deformada que ultrapassa o limite de escoamento do material (475 MPa) e assim, o material pode vir a deformar pois entra em seu regime plástico, sendo exemplificada estas cargas na Figura 21. Sendo assim, validada a causa raiz do problema, que é o subdimensionamento do eixo para determinadas condições de trabalho, ou seja, o design escolhido para o eixo sofre com concentradores de tensão que causam sua falha.

Figura 21 – Zoom na região em estudo.



Fonte: Autor (2023).

4.5 ESCOLHA DE UMA SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA COM BASE NO MÉTODO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Nesta etapa do trabalho já tem-se informações e dados o suficiente para escolher uma solução do problema encontrado, endereçando uma melhoria no componente estudado. Com base nas fases anteriores, observou-se que o eixo, em determinadas condições de trabalho sofre com concentradores de tensão e desta forma, acaba ultrapassando seu regime elástico e entrando em seu regime plástico, com tensões próximas ao limite máximo do material. Para alcançar uma solução para o problema, o time se reuniu novamente para discutir diferentes opções de dimensionamento do eixo e assim, realizar novamente sua validação a fim de reduzir as tensões na região de estudo. A escolha da solução se baseou em um brainstorm de ideias visando o tamanho da alteração necessária para atender a solução e o custo dessa alteração para a equipe, visto que são fatores importantes na hora de escolher uma solução de design para um produto, estas ideias podem ser observadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Brainstorm de soluções.

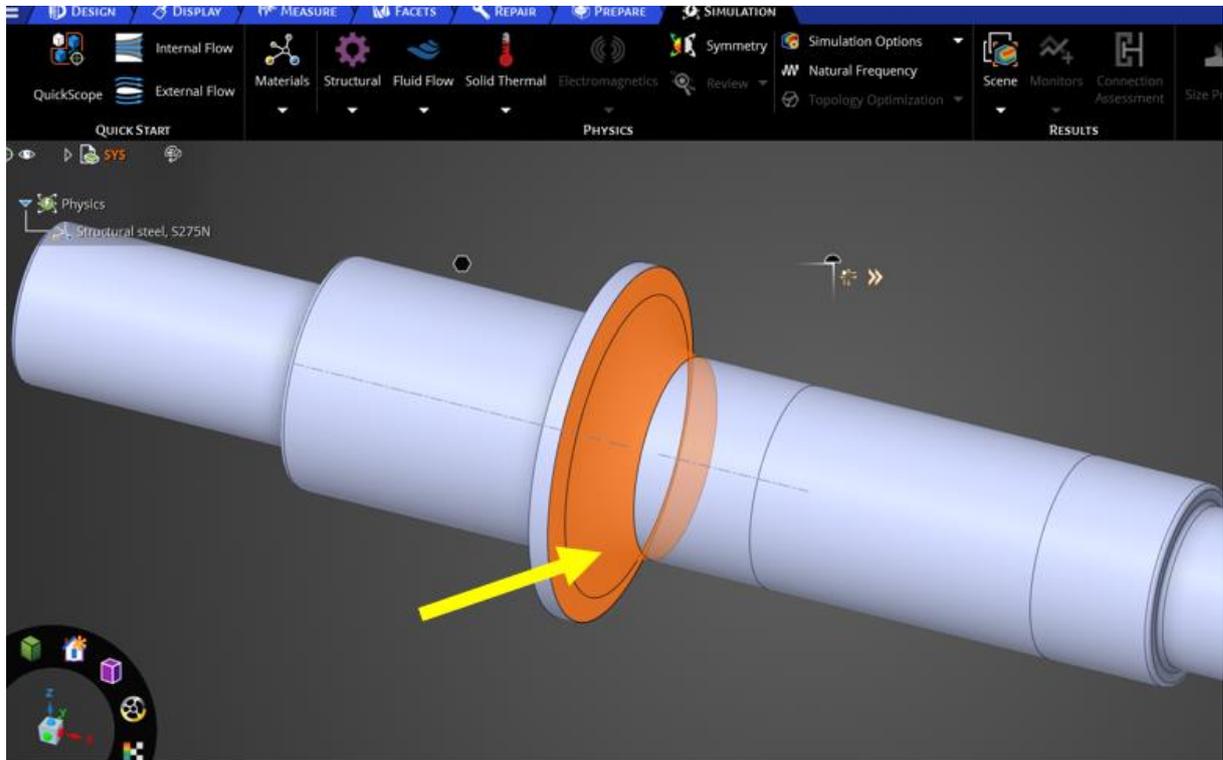
<u>BRAINSTORM DE IDEIAS PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA</u>	<u>GRANDES ALTERAÇÕES NECESSÁRIAS?</u>	<u>CUSTO NECESSÁRIO</u>
Temperar o material.	Não	Alto
Trocar por material mais nobre.	Não	Alto
Alterar a geometria do eixo para diâmetro maior.	Sim	Baixo
Eliminar concentradores de tensão sem grandes alterações no design do item para não afetar outros componentes.	Não	Baixo
Trocar os rolamentos utilizados por mais área de contato.	sim	alto

Fonte: Autor (2023).

Com base no *brainstorm* de ideias de solução para a deformação do eixo, o time optou pela escolha de menor alteração necessária no projeto e menor custo, sendo ela uma alteração na geometria do eixo a fim de reduzir os concentradores de tensão e ainda sim, montar na manga de eixo e cubo de roda já existente, não sendo necessário a alteração de outros componentes maiores a não ser o próprio eixo. Após

a escolha da solução foi realizado o novo design do eixo para atender os requisitos de projeto e reduzir as tensões no local de falha e deformação, as alterações foram a remoção destes concentrados na região indicada da Figura 22.

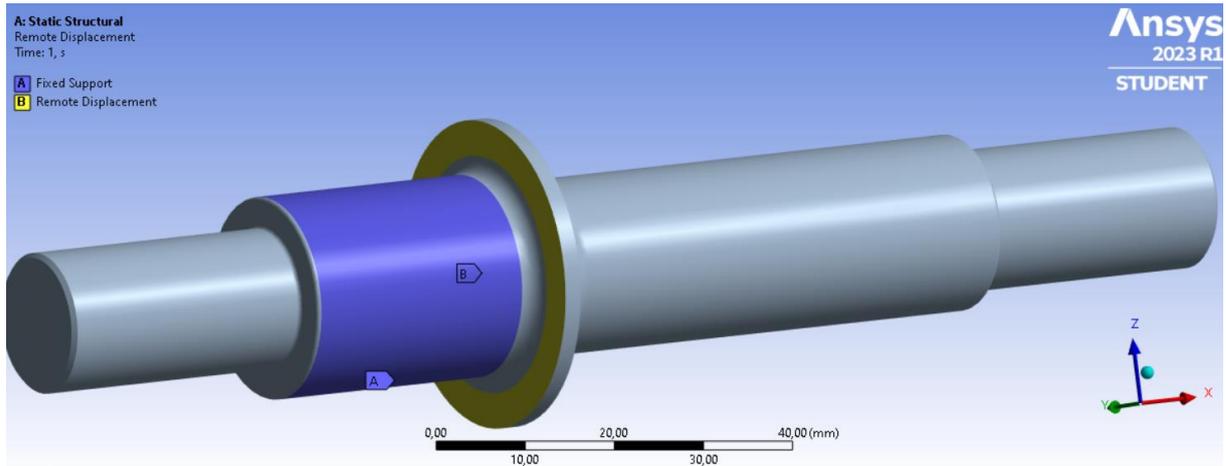
Figura 22 – Novo design do eixo.



Fonte: Autor (2023).

Com a geometria modificada, o time voltou-se a validação virtual utilizando o método de análise dos elementos finitos no software *Ansys* e os mesmos parâmetros de análise utilizado na validação da causa raiz, desta forma, pôde-se obter um comparativo de tensões e assim, tomar conclusões de que as tensões foram reduzidas na região de análise. Segue a seguir o procedimento de análise dos elementos finitos com a nova geometria escolhida para o eixo partindo de suas restrições conforme mostrado na Figura 23.

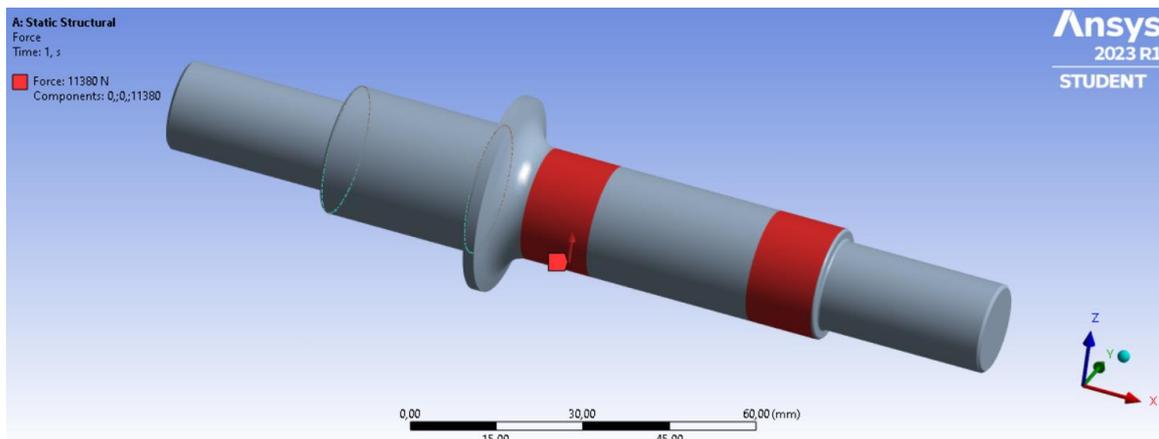
Figura 23 – Restrições do novo eixo.



Fonte: Autor (2023).

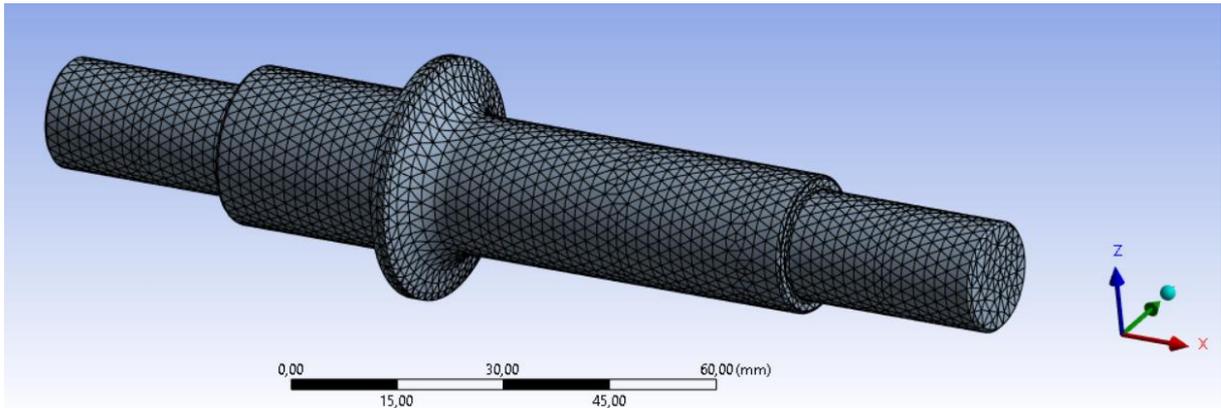
Com as restrições do eixo impostas, insere-se os dados de força de entrada aplicados sobre as faces de contato dos rolamentos da roda com o eixo, conforme ilustrado na Figura 24. Após a aplicação da força atuante no eixo, da mesma forma que a validação do eixo antigo, foi realizada a construção da malha de elementos onde fora utilizado os mesmos parâmetros a fim de se obter um comparativo real das tensões resultantes, esta malha pode ser observada a seguir na Figura 25.

Figura 24 – Forças de entrada no novo eixo.



Fonte: Autor (2023).

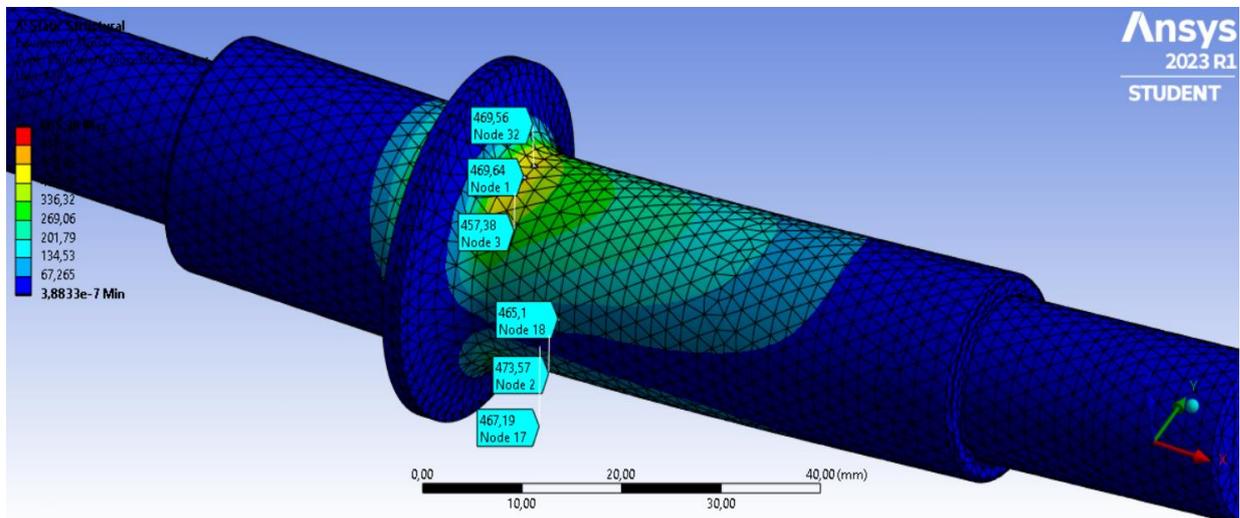
Figura 25 – Malha de elementos sobre o novo eixo.



Fonte: autor (2023).

Deste modo, com os mesmos parâmetros de análise sobre o novo eixo, pôde-se obter os seguintes resultados e análise dos elementos finitos, mostrados na Figura 26, sendo estes satisfatórios para a equipe, visto que está no limite de escoamento do material, onde reduziu-se as tensões na região de estudo em comparativo com os resultados da análise da geometria anterior.

Figura 26 – Tensões resultantes no novo eixo.



Fonte: Autor (2023).

Assim sendo, um comparativo de tensões resultantes do antigo eixo com a nova geometria do eixo, apresentado no Quadro 10, nos mostra confortáveis dentro dos limites de escoamento do material, onde mesmo em picos de carga, o eixo não ultrapassa seu limite de escoamento de 475 MPa na região de análise, conforme apresentado na Figura 27, e deixa a equipe em uma situação confortável para seguir

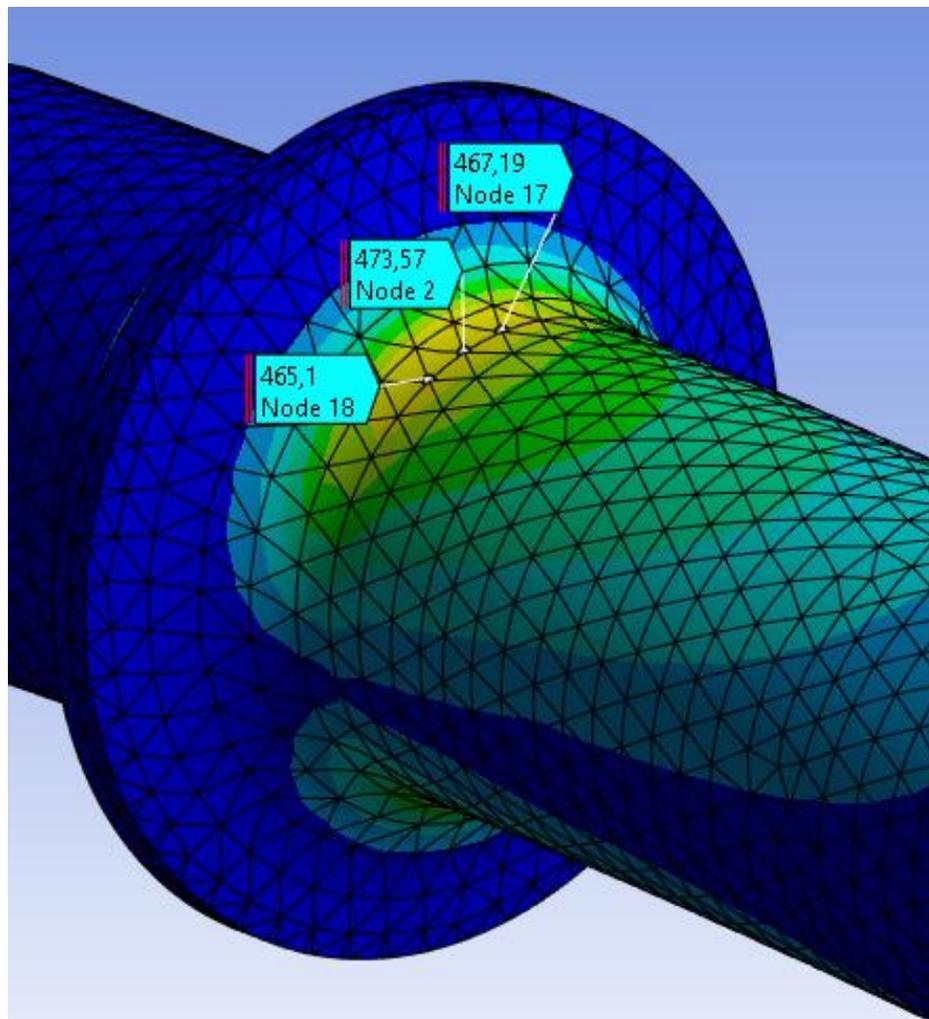
com a melhoria proposta onde aceita-se o novo design do eixo dianteiro, e obtém-se em até 21,6% uma redução nas tensões da região em estudo.

Quadro 10 – Comparativo de tensões entre o antigo e novo eixo.

<u>Tensão no design antigo:</u>	<u>Tensão no design novo:</u>
600MPa	470MPa
21,6% de redução da tensão na região de estudo do eixo que deformou.	

Fonte: Autor (2023).

Figura 27 – Zoom na região em estudo.



Fonte: Autor (2023).

4.6 IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA

Com a solução do problema escolhida e validada, a equipe tem como objetivo implementar a melhoria do componente antes da próxima competição, que será em novembro de 2023. Assim sendo, para a implementação foi necessária a delegação e algumas atividades, sendo elas listadas abaixo a serem executadas pela equipe, e é onde foi elaborado um plano de ação, conforme Quadro 11 para ser seguido e ter a melhoria implementada como solução final do problema apresentado. Sendo alguns procedimentos como a compra de matéria prima para a fabricação o novo eixo (tarugo aço SAE 4340 recozido de 35mm de diâmetro e comprimento mínimo de 500mm), contato com fornecedor para usinar o material conforme modelo virtual da solução proposta, entrega da matéria prima ao fornecedor e posterior busca do eixo usinado, e por fim a montagem do eixo novo no conjunto atual de manga de eixo, cubo de roda e disco de freio.

Com a conclusão destas etapas a solução se encontra pronta para sua devida aplicação e uso dentro do projeto de veículo Baja, afim de atingir os objetivos da equipe que é apresentar um projeto confiável, de qualidade e alta performance, buscando por resultados positivos dentro das competições que participará sempre em constante desenvolvimento e melhoria contínua.

Quadro 11 – Plano de ação para implementação da nova proposta.

PLANO DE AÇÃO						
<u>MEDIDA</u> <u>WHAT</u>	<u>RESPON-</u> <u>SÁVEL</u> <u>WHO</u>	<u>PRAZO</u> <u>WHEN</u>	<u>LOCAL</u> <u>WHERE</u>	<u>RAZÃO</u> <u>WHY</u>	<u>PROCEDI-</u> <u>MENTO</u> <u>HOW</u>	<u>INVESTI-</u> <u>MENTO</u> <u>HOW MUCH</u>
Compra da matéria prima para fabricação	Dieison Wandscheer	30 julho	Internet	Usinar o novo design de proposta	Comprar o material necessário e encaminhar ao responsável para realizar a usinagem de acordo com novo modelo virtual.	R\$ 300,00
Contato com fornecedor de usinagem CNC.	Francis Weiss	30 agosto	Santa Rosa	Conseguir um parceiro para realizar a usinagem da nova proposta sem custos para a equipe	Estabelecer contatos com as empresas da região que fornecem o serviço	Sem custos
Entrega e busca do material no fornecedor	Francis Weiss	20 outubro	Santa Rosa	Necessidade de levar a matéria prima para o fornecedor realizar a usinagem	Transportar o material até a empresa parceira e realizar a busca do material pronto	R\$ 100,00
Montagem do novo eixo usinado	Bruno Santos	30 outubro	Horizontina	Novo design pronto para ser utilizado na próxima competição	Substituir o eixo atual deformado pelo novo eixo com design atualizado	Sem custos

Fonte: Autor (2023).

4.7 MONITORAMENTO DO PROBLEMA

Com os resultados da escolha da solução e finalização das fases anteriores, foi elaborada uma folha de verificação, exemplificada no Quadro 12, a fim de realizar inspeções no componente validado após testes e competições onde o veículo tem seu uso ao extremo e passa por picos de carga. Também é de grande importância ressaltar a utilização dos procedimentos de projeto de produto com base na metodologia de gestão da qualidade e a análise de elementos finitos realizados neste projeto para os próximos projetos de diferentes componentes que compõem o veículo, assim sendo, assegurando sua qualidade e performance.

Quadro 12 – Folha de verificação para inspeção do componente pós teste/competição.

<u>FOLHA DE VERIFICAÇÃO</u>				
	<u>MONITORAMENTO DO COMPONENTE</u>	<u>REALIZADO?</u>	<u>RESPONSÁVEL</u>	<u>PROBLEMAS NO PROCESSO</u>
1	Desmontar o componente		Membro da Suspensão e direção	
2	Limpar o componente		Membro da Suspensão e direção	
3	Inspeção visual de deformação		Líder e Membro da Suspensão e direção	
4	Verificação de dimensões do físico com o virtual		Líder da Suspensão e direção	
5	Montagem		Membro da Suspensão e direção	

Fonte: Autor (2023).

4.8 RESULTADOS E GRATIFICAÇÃO À EQUIPE

Por último e não menos importante, se fez necessário a gratificação aos membros da equipe por fornecerem diferentes pontos de vista e contribuir com a solução rápida e eficaz de um problema, onde este, poderia levar a equipe a ter seu projeto de veículo fora da competição durante a realização das provas. Com as etapas

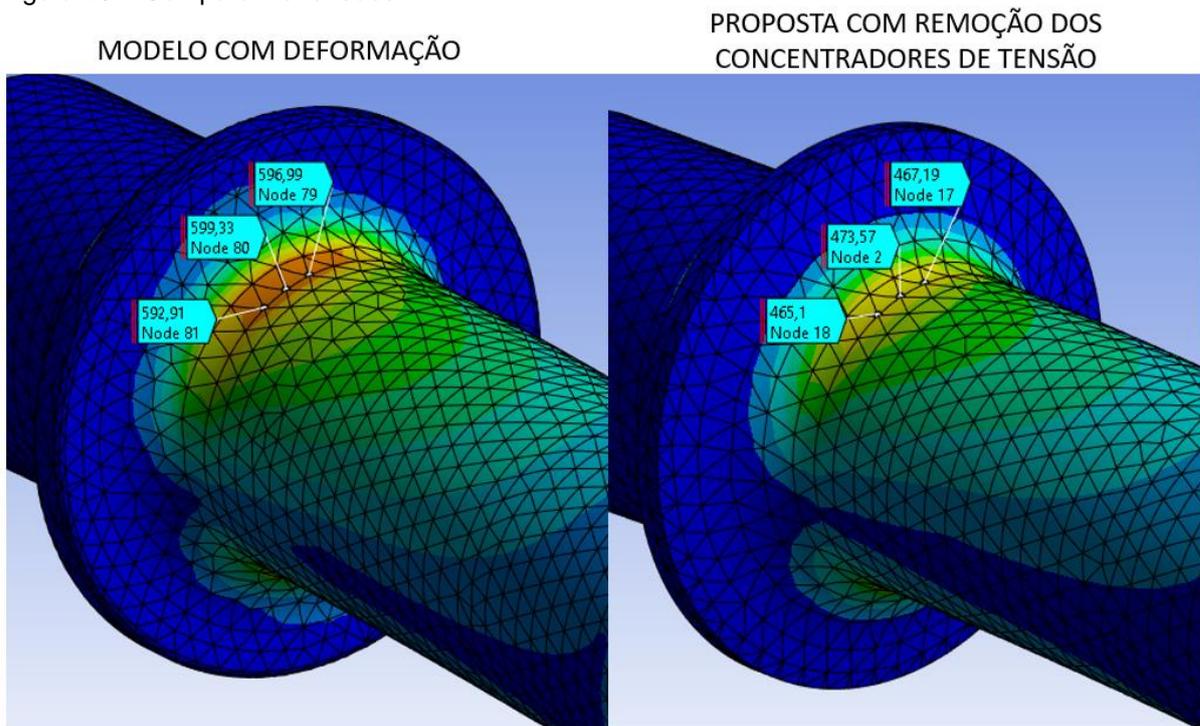
concluídas e os resultados positivos para o projeto, temos o agradecimento especial aos integrantes:

- Maicon Winter, pela gestão e organização da equipe para enfrentar adversidades no projeto;
- Bruno Santos, por contribuir com ideias de soluções;
- Francis Weiss, pelo gerenciamento de projeto de design e diferentes pontos de vista;
- Fernando Thiele, contribuição e proatividade na resolução do problema;
- Dieison Wandscheer, na otimização de tempo para a alteração e custos do projeto.
- Luiz Henrique Herrmann, pela elaboração do procedimento de gestão da qualidade do projeto com a utilização de ferramentas da qualidade e validação da causa raiz e solução escolhida por meio do método de análise dos elementos finitos.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO PROJETO

Este projeto apresenta de forma clara e explicativa a metodologia utilizada para uma boa gestão da qualidade de forma rápida e eficaz, onde são demonstrados passo a passo os procedimentos utilizados no método das 8 disciplinas e a aplicação das diversas ferramentas da qualidade de modo que contribuiram com o desenvolvimento da solução para o problema escolhido pela equipe. Também é importante destacar a utilização do método de análise de elementos finitos para a validação da causa raiz e a solução escolhida, pois desta forma, traz confiança na escolha da solução com importante papel de trazer os dados reais para o virtual, e nos demonstrar o comportamento real do componente em uma análise virtual, sendo as tensões reduzidas na região do problema identificado conforme comparativo de tensões apresentado na Figura 28.

Figura 28 – Comparativo tensões.



Fonte: Autor (2023).

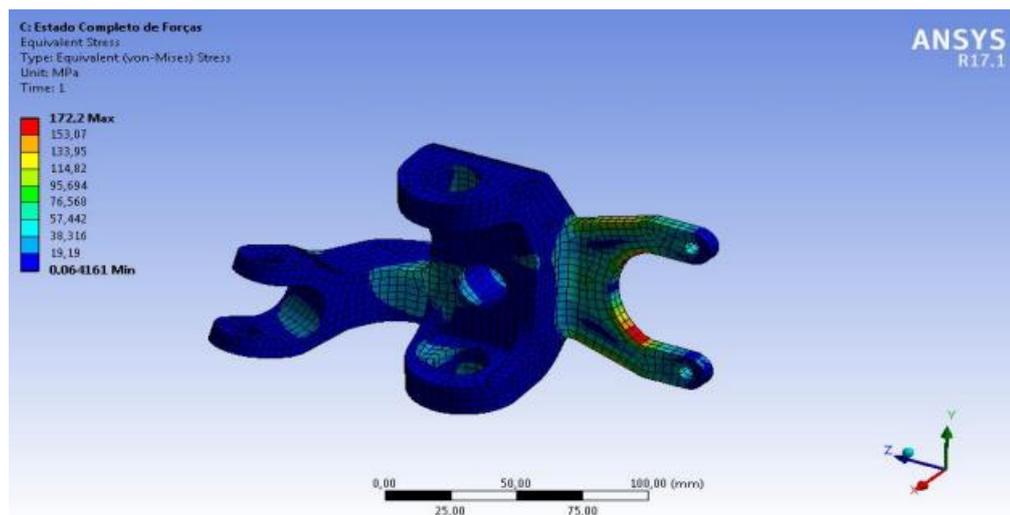
Os dados e parâmetros para a realização do projeto e obtenção dos resultados positivos são confiáveis pois são obtidos através de estudo e análise do artigo “Análise dos esforços verticais atuantes na suspensão de um veículo Baja SAE”, onde são discutidos os dados de entrada de forças em um veículo Baja SAE com a utilização

de extensometria, onde é simulado o veículo Baja na transposição de obstáculos presentes em uma competição real. Com estes dados reais, é possível trazer para o virtual, projetar e simular diversos componentes do veículo com a validação dos mesmos de modo que apresente segurança, qualidade e performance sem falhas ou com falhas minimizadas (WACHHOLZ *et al.*, 2022).

A análise utilizando o método de elementos finitos também pode ser assegurada com a similar utilização do mesmo no artigo “*Development of a BAJA SAE tubular chassis with finite element analysis and experimental validation for torsional stiffness*”, onde a validação virtual é utilizada para projetar o chassi de um veículo baja e garantir que sua geometria não esteja com tensões acima dos limites do material escolhido, da mesma forma que o presente projeto foi realizado (WACHHOLZ *et al.*, 2021).

Resumindo e indo de encontro aos resultados obtidos tem-se diversos artigos e trabalhos de conclusão de curso que também utilizam meios similares ao utilizado neste projeto, onde a formulação de um novo componente ou a alteração de uma geometria atual deve ser realizada baseada em dados reais obtidos por meio de cálculos ou instrumentações e a partir deste ponto, podemos ter uma validação virtual do componente em estudo possibilitando sua otimização, redução de peso e redução de custos de fabricação conforme exemplificado na Figura 29 (CRUZ; DALCIN; 2016).

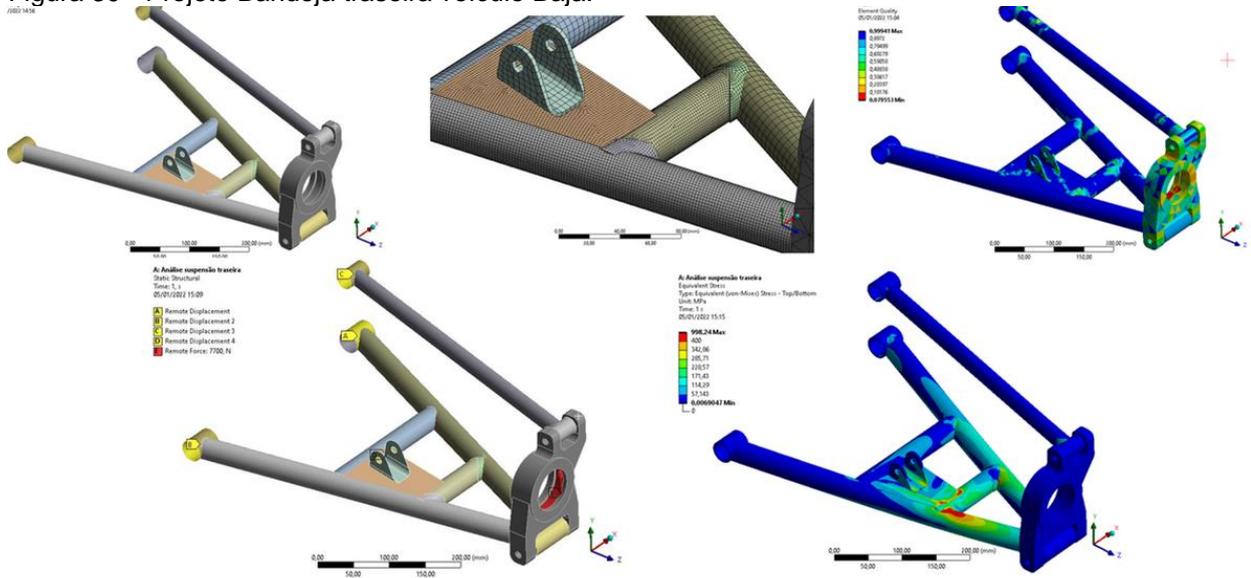
Figura 29 – Simulação em manga de eixo.



Fonte: CRUZ; DALCIN (2016).

Quando utilizou-se o método de análise de elementos finitos a equipe de Baja pôde entender melhor o que é um método de projeto, com a sua correta utilização de forma organizada, possibilitou o modelamento de diversos componentes e estruturas que compõem o veículo Baja conforme é apresentado na Figura 30 e apresenta o passo a passo à ser seguido para que os componentes modelados sejam virtualmente validados e possibilitem à equipe, uma competição sem frustrações como peças quebradas e carros com baixa performance, resultando em posições cada vez mais próximas ao título nacional de projeto de um veículo Baja SAE.

Figura 30 - Projeto Bandeja traseira veículo Baja.



Fonte: Autor (2023).

Conclui-se o assunto, validando a correta utilização de um método de resolução de problemas que quando combinado com as ferramentas da qualidade garante um efetivo resultado na solução de problemas ou endereçando oportunidades de melhoria e quando é utilizado em conjunto com validações virtuais, se mostra ainda mais eficaz uma vez que consegue projetar e simular o ambiente em que o componente é exposto de uma forma virtual, garantindo assim, a certeza de ter um projeto de veículo Baja competitivo, de qualidade e alta performance, que pode demonstrar na competição tudo o que lhe foi pensado e elaborado pelos membros da equipe.

CONCLUSÃO

Para contribuir com a melhoria contínua de um projeto de veículo baja SAE, e desenvolver engenheiro capaz de atuar na indústria com o conhecimento de resolução de problemas de um produto, este trabalho apresenta uma metodologia de gestão da qualidade baseada em um passo a passo com a utilização de ferramentas da qualidade e a validação virtual utilizando o método de análise de elementos finitos, indo ao encontro dos objetivos elaborados inicialmente, onde obteve-se um problema de um veículo Baja SAE, aplicou-se uma metodologia de gestão da qualidade para resolver este problema e validou sua causa raiz e solução com a utilização do método de análise de elementos finitos.

Com os resultados obtidos através da utilização e aplicação da metodologia 8D, ferramentas da qualidade e método de análise de elementos finitos, o presente estudo conclui de forma positiva o trabalho de melhorar um componente do veículo baja e reduzir a chance de o veículo vir a ter uma falha durante uma competição, resultados esses que geraram uma redução de 21,6% das tensões na região de estudo, onde as tensões permaneceram no limite do regime elástico, respectivamente 470 MPa do material analisado e assim sendo, o componente pode demonstrar sua total performance a fim de receber premiações para a equipe, integrantes e instituição que o tem.

Ao encontro das hipóteses levantadas no início, pode-se afirmar que com a utilização de um método capaz de resolver problemas, este por sua vez pode ser solucionado de forma organizada, rápida e eficaz, de alta qualidade pois o correto uso de ferramentas da qualidade e a análise de elementos finitos possibilitou chegar neste ponto sendo bem explorado sua causa raiz e validação da solução.

Sendo assim, é de grande importância o conhecimento adquirido com o estudo da metodologia de gestão da qualidade e a análise de elementos finitos presentes neste projeto, para formar engenheiros capazes de resolver problemas de produto que diversas vezes se fazem presente nos inúmeros itens fabricados pelas indústrias onde engenheiros projetam, testam e validam tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. F. **Elementos Finitos**. 6. Ed. São Paulo: Érica [S. l.: s. n.], 2001.
- CAIXETA, R. J. **Utilização da metodologia 8D para resolução de problemas nas 5 abordagens da qualidade**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Produção) - Universidade Una De Catalão – Campus Santo Antônio, [S. l.], 2022.
- CONTENT, R. **Saiba como usar a Matriz GUT**. In: Saiba como usar a Matriz GUT para a priorização de resolução de problemas no seu negócio. [S. l.], 5 out. 2018. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/matriz-gut/>. Acesso em: 15 maio 2023.
- COSTA, J. **Resolução de problemas que metodologia adotar?** [S. l.], 18 jan. 2022. Disponível em: <https://www.atec.pt/artigos-tecnicos/resolucao-de-problemas-que-metodologia-adotar.html>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- CRUZ, S. I.; DALCIN, R. L. **Determinação dos esforços e tensões de uma manga de eixo dianteira para o projeto Baja SAE**, [S. l.], p. 1-11, 21 out. 2016.
- CUNHA, G. S. **Aplicação da metodologia 8D para solução de problemas na empresa Car Motors S/A**. ENATEC, [S. l.], p. 1-6, 4 nov. 2016.
- DA COSTA E SILVA, A. L. **Aços e Ligas Especiais 2022**. 4. Ed. São Paulo: Blucher, [S. l.: s. n.], 2022.
- DOCNIX, D. **Metodologia 8D**. [S. l.], 3 fev. 2023. Disponível em: <https://docnix.com.br/alimentos-agronegocio/a-metodologia-8d/>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- ENSUS, E. **Elementos Finitos - O que é? Quando utilizar? Quais são os benefícios?** [S. l.], 28 jan. 2016. Disponível em: <https://ensus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- FERRAZ, R. **Aplicação de elementos finitos na análise estrutural de um chassi de baja**. 2020. 44 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel Engenharia Mecânica) - Centro Universitário de Barra Mansa UBM, [S. l.], 2020.
- FERREIRA, L; SILVA, E. B. **Gerenciamento e controle de qualidade**. Londrina: Educacional, 2017.
- FORLOGIC, F. **Folha de verificação**. [S. l.], 9 nov. 2016. Disponível em: <https://ferramentasdaqualidade.org/folha-de-verificacao/>. Acesso em: 1 jun. 2023.
- JLES, J. **O que é Análise de Elementos Finitos (FEA)?** [S. l.], 12 nov. 2021. Disponível em: <https://www.jles.com.br/2021/11/12/analise-de-elementos-finitos/>. Acesso em: 2 maio 2023.

KRAJNC, M. **With 8D method to excellent quality**. Journal of Universal Excellence n. 3, p. 118-129, out. 2012. Disponível em: <https://www.fosunm.si/media/pdf/RUO_2012_15_Krajnc_Marjanca.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2022.

LARSSON, M; NORÉN, M. **Assessment and improvement of Volvo Powertrain's problem solving process: "Quality Journal" vs "Six Sigma"**. 2011. Master of Science Thesis (Master Degree Programme / Division of Quality Sciences) – Department of Technology Management and Economics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2011.

LUZ, G. **Aço SAE 4340 Propriedades Mecânicas**. Blog Materiais, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-4340-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em: 5 de maio de 2023.

MEDEIROS, B. **Inova em Gestão**. [S. l.], 3 set. 2012. Disponível em: <http://inovaemgestao.blogspot.com/2012/09/plano-de-acao-modelo-5w1h-ou-5w2h.html>. Acesso em: 29 maio 2023.

MINETTO, B. **Matriz GUT (Matriz de Priorização)**. [S. l.], 17 abr. 2019. Disponível em: <https://ferramentasdaqualidade.org/matriz-gut-matriz-de-priorizacao/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

MIRLISENNA, G. **Método dos Elementos Finitos: o que é?** [S. l.], 22 jan. 2016. Disponível em: <https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

OLIVEIRA, J. **Gestão da Inovação**. [S. l.: s. n.], [20--]. Disponível em: https://www.spi.pt/documents/books/inovint/gi/cap_apresentacao.htm. Acesso em: 25 abr. 2023.

SANTOS, J. **O que é diagrama de Ishikawa?** [S. l.], 8 abr. 2020. Disponível em: <https://sif.org.br/2020/04/como-descobrir-as-causas-de-um-problema-conheca-o-diagrama-de-ishikawa/>. Acesso em: 15 maio 2023.

SANTOS, H. G.; CHAVES, A. R. **Análise estrutural por elementos finitos do chassi de um veículo baja sae**. Revista científica multidisciplinar núcleo do conhecimento issn: 2448-0959, [s. l.], p. 1-33, 3 dez. 2021.

SELEME, R; STADLER, H. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais**. Curitiba: Ibpex, 2012.

SILVA, E. B. **Gestão da qualidade**. Londrina: Educacional S.A., 2017.

SOARES DE SOUZA, M. **Elaboração de uma metodologia para análise dos parâmetros do projeto de transmissão em um veículo tipo baja**. 2021. 74 p. Monografia (Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural Do Semiárido, [S. l.], 2021.

TELES, J. **Metodologia 8D**. Disponível em: <https://engeteles.com.br/metodologia-8d/>. Acesso em: 05 nov. 2022.

TRACTIAN, H. Y. **Como utilizar os 5 porquês**. [S. l.], 15 fev. 2022. Disponível em: <https://tractian.com/blog/os-5-porques-na-manutencao>. Acesso em: 1 maio 2023.

VARGAS, L. Resolução de problemas utilizando a metodologia 8D. **Estudo de caso de uma indústria do setor sucroalcooleiro**, [S. l.], p. 464-477, 1 dez. 2017.

WACHHOLZ , C. A; SOLIMAN, P. A.; GEUSEMIN, J.; DALCIN, R. L. **Análise dos esforços verticais atuantes na suspensão de um veículo baja SAE**, [S. l.], p. 1-5, 8 abr. 2022.

WACHHOLZ , C. A; GEUSEMIN, J.; SOLIMAN, P. A; JAGNOW, D. D. **Development of a BAJA SAE tubular chassis with finite element analysis and experimental validation for torsional stiffness**, [S. l.], p. 1-9, 10 dez. 2021.