

# PROJETO DETALHADO DE UMA BANCADA PARA REALIZAÇÃO DE TESTES SIMPLIFICADOS EM SISTEMAS DE FREIO DE VEÍCULOS DE PEQUENO TORQUE

**Felipe André Ritter**, ritter.felipe@acad.ufsm.br<sup>1</sup>

**Augusto Alpe Coppetti**, augusto.alpe@acad.ufsm.br<sup>1,2</sup>

**Jonathan Lunardi Oliveira**, jonathan.lunardi@acad.ufsm.br<sup>1</sup>

**Pedro Cauduro Poche**, pedro.poche@acad.ufsm.br<sup>1,2</sup>

**Cristiano José Scheuer**, cristiano.scheuer@ufsm.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>2</sup> Equipe FORMULA UFSM, Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

**Resumo.** Partindo-se da lista de elementos que integram a concepção do produto, estabelecida na fase de projeto preliminar do produto, realizou-se na fase de projeto detalhado a completa especificação dos materiais, acabamentos e tolerâncias e, processos de fabricação para os componentes que integram o produto desenvolvido. Nesta etapa também foi feita a definição das peças fabricadas e comerciais, a análise dos modos de falhas e seus efeitos, e a fabricação e montagem de um protótipo funcional do equipamento desenvolvido. O projeto detalhado é finalizado com a listagem das especificações técnicas finais do produto desenvolvido.

**Palavras chave:** Bancada inercial de freios. Projeto Detalhado. Detalhamento do produto.

## 1. INTRODUÇÃO

A função básica de um sistema de freio em um veículo de pequeno torque, consiste em diminuir a velocidade até sua parada se assim for desejado, e manter o veículo parado quando este se encontra em um aclave (LIMPERT, 1999).

A eficácia na realização da função básica de um sistema de freio depende diretamente do projeto e avaliação do seu sistema de frenagem. A avaliação destes é realizada por meio de validação, os quais costumam ser realizados em bancadas de testes, quando nas fases preliminares de desenvolvimento do sistema de freio. O emprego dos ensaios em bancada visa minimizar os custos e tempo de validação preliminar do produto.

Neste sentido, este trabalho tem o propósito de realizar o projeto detalhado de uma bancada para realização de ensaios simplificados para avaliação do desempenho de sistemas de freio de veículos de pequeno torque.

## 2. ABORDAGEM METODOLÓGICA

O projeto detalhado da bancada de teste de freio foi desenvolvido em cinco etapas principais, sendo a primeira a análise de possíveis falhas do produto. Posteriormente foi elaborado e implementado o plano de compra dos componentes comerciais que a integram. Na sequência, um protótipo funcional foi construído e testado. Após os testes, as especificações técnicas finais do produto foram elaboradas e, finalmente, os desenhos técnicos finais foram estabelecidos.









### 2.1. Análise de Falhas(FMEA)

O FMEA é um método efetivo de analisar modos de possíveis falhas que os componentes do produto possam apresentar. O maior ganho desta tarefa está na prevenção de falhas, que podem ser causadas por problemas nas especificações detalhadas dos sistemas, subsistemas e componentes (SSCs) que compõem um produto (AMARAL, 2006).

Para a realização do FMEA da concepção desenvolvida, foram considerados os resultados das funções elementares, obtidos a partir do diagrama funcional do produto (fase de projeto conceitual) e dos materiais selecionados (fase de projeto preliminar). A Tabela 1 apresenta as funções elementares dos SSCs, que se mostraram passíveis a realização do FMEA.

Tabela 1. Funções Elementares dos Componentes

Função Elementar	Componente
Interligar os componentes	Eixo
Acionar cilindro mestre	Atuador pneumático
Pressurizar linha de freio	Cilindro mestre
Suportar os componentes	Estrutura
Frear disco	Pinça
Converter energia cinética em térmica	Disco de freio

Suportar disco		Flange
Medir o torque de frenagem		Célula de carga
Suportar o eixo		Mancal de rolamento
Identificar a rotação do eixo		Roda fônica
Simular inércia de um veículo		Volante de inércia
Transmitir a força do motor para o eixo		Polia V
Converter energia elétrica em mecânica		Motor elétrico
Sustentar todos os componentes		Estrutura da mesa

Para os componentes da Tabela 1, buscou-se calcular o *Risk priority number* (RPN), que representa a prioridade de risco de um componente. Para o cálculo do RPN foram definidos os índices de severidade (S), probabilidade de ocorrência (O) e probabilidade de não detecção da falha (D). A estes índices foram atribuídos um valor mínimo de 1 e um valor máximo de 10, onde 1 representa a situação mais inofensiva, enquanto o valor 10 representa a pior situação possível. O RPN é representado pelo produto dos índices de severidade, ocorrência e detectabilidade (AMARAL, 2006). Com base nesta análise foram realizadas melhorias no projeto do equipamento.

## 2.2. Plano de Compra

Para a fabricação do equipamento desenvolvido utilizou-se componentes comerciais de fabricação própria para aqueles não comerciais. Os componentes comerciais foram adquiridos a partir de fornecedores locais e de vendedores na internet. Os componentes fabricados cujos processos de produção envolvem operações de furação e torneamento foram manufaturados no núcleo de engenharia mecânica e aeroespacial (NUMAI), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Os demais componentes foram fabricados por uma empresa terceirizada, empregando processo de corte a laser. Os componentes fabricados e adquiridos comercialmente foram montados de modo a obter o conjunto completo que constitui o equipamento.

## 2.3. Protótipo e Especificações Técnicas

Após a montagem do protótipo, este foi submetido aos ensaios de avaliação do seu funcionamento, de modo que os ajustes necessários fossem realizados. A partir da utilização do protótipo do equipamento, foi elaborada uma lista com as suas especificações técnicas.

## 2.4. Desenhos Técnicos

Realizadas as devidas modificações no projeto do equipamento para suplantarem as suas limitações

identificadas durante os ensaios de validação, efetuou-se a correção dos seus desenhos técnicos, com a modificação de forma e toleranciamento dimensional e geométrico dos itens alterados. A nomeação dos desenhos finais foi realizada conforme as designações utilizadas na árvore genealógica do produto, desenvolvida no projeto preliminar.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de falha realizados utilizando o método FMEA, mostraram um número de risco maior para alguns componentes, sendo estes o eixo, o volante de inércia, a pinça de freio, a flange do disco de freio, o mancal de rolamento, o atuador pneumático e a estrutura da mesa. Os dados parciais dos componentes que apresentaram o maior risco evidenciados na análise de falha estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Componentes com maior valor de RPN

Peça	Falha	Efeito	RPN
Atuador pneumático	Vazamento	Não acionamento	320
Eixo	Fratura	Queda componentes	128
Estrutura	Fratura	Queda da mesa	180
Flange disco	Fratura	Soltar o disco	300
Mancal de rolamento	Travar	Travamento do eixo	360
Pinça freio	Vazamento	Não acionamento	245
Volante de inércia	Soltar parafusos	Desprender o volante	300

Devido ao baixo orçamento disponível, e visando uma proposta de validação de conceito, o mockup físico não correspondeu de maneira fidedigna ao projeto original, pois o mesmo foi elaborado com materiais reciclados e alguns itens emprestados.

O custo total estimado para a manufatura do equipamento foi de R\$ 13.741,79, porém o valor total gasto foi de R\$ 1.505,35. O baixo valor gasto só foi atingido pelo fato da maior parte dos componentes terem sido cedidos voluntariamente pelos autores do trabalho, e por colaboradores externos. Os cortes a laser que foram realizados por uma empresa terceirizada, estão descritos no valor de custo gasto. As especificações técnicas finais, baseadas nos cálculos do projeto preliminar, e da elaboração do mockup físico e digital, estão apresentadas em parte na Tabela 3.

Tabela 3. Especificações Técnicas Finais

Descrição	Especificação
Volume Reservatório	30 mL
Volume Cilindro CO <sub>2</sub>	20 L
Dimensões Máximas	830 x 1.275 x 1.547 mm
Nº de Componentes	156
Massa total	228,8 kg
Inércia rotacional mínima	2,28 kg•m <sup>2</sup>
Inércia rotacional máxima	4,56 kg•m <sup>2</sup>
Comprimento do Eixo	555 mm
Diâmetro do Eixo	40 mm

Os desenhos técnicos do equipamento desenvolvido totalizaram 26 páginas, constando nelas as montagens e submontagens, as quais foram desenhadas em folha A3, enquanto que as peças foram desenhadas em folha A4. Para a realização dos desenhos foi utilizado o software SolidWorks, já usado anteriormente para a modelagem 3D

do produto. A Figura 1 apresenta o segundo desenho técnico, onde é mostrado o formato de folha padrão e a montagem do eixo em uma vista explodida, e seus componentes nomeados. É importante observar que os componentes estão em uma escala de 1:8, ou seja, uma redução do tamanho original de um oitavo na folha A3.

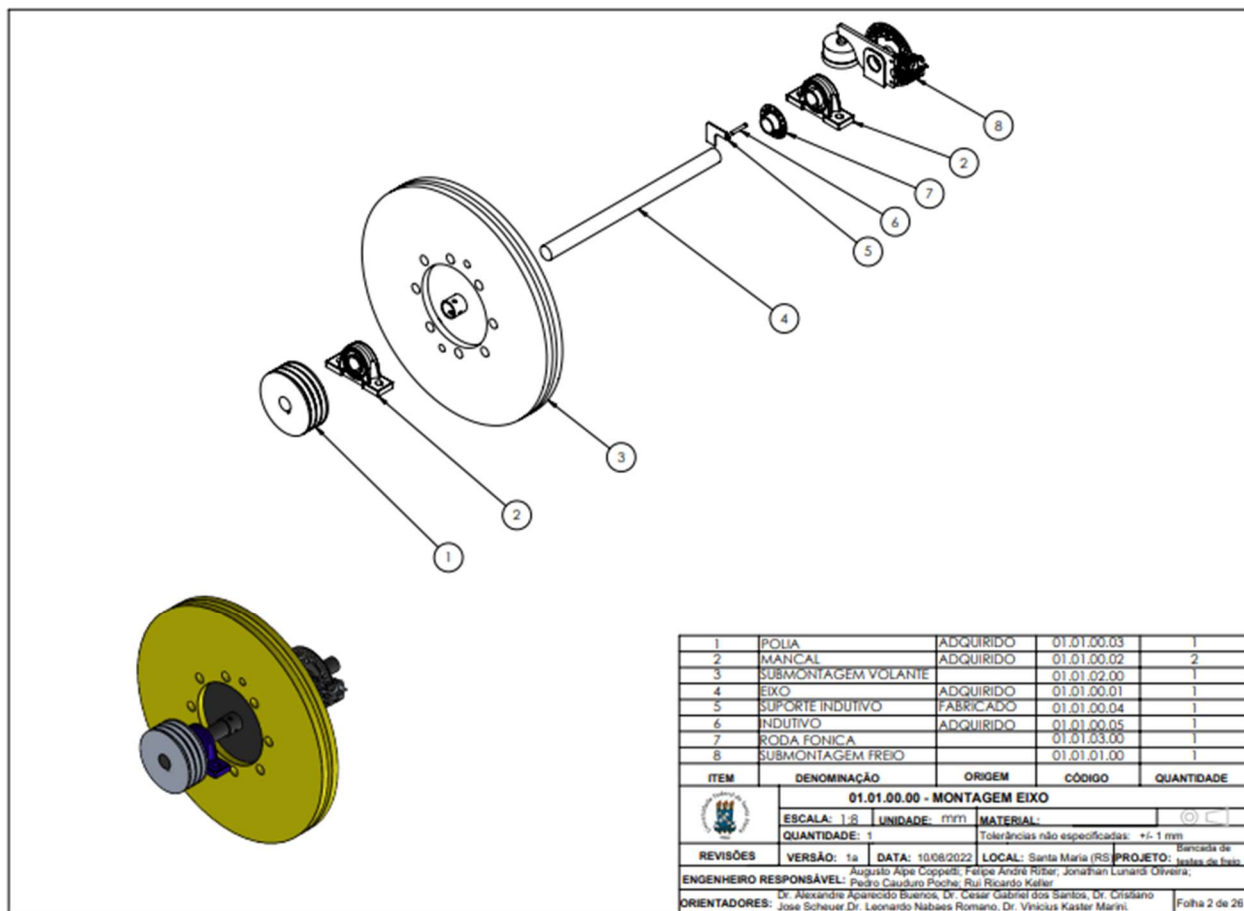


Figura 1. Desenho Técnico da Montagem do Eixo

#### 4. CONCLUSÃO

A análise pelo método FMEA permitiu identificar possíveis falhas nos componentes que integram o equipamento desenvolvido, de modo que melhorias fossem realizadas no seu projeto. O estabelecimento do plano de compra permitiu a definição dos componentes do produto à serem fabricados e aqueles adquiridos comercialmente. A montagem dos diversos componentes possibilitou a realização dos ensaios para validação do produto. A partir dos ensaios de validação, foram realizados ajustes no produto do equipamento, de modo a contornar problemas identificados durante a sua utilização. A partir dos ensaios de validação, também foi elaborada uma lista com as especificações do equipamento. Por fim, após executar as alterações de projeto necessárias, os desenhos finais do produto foram atualizados e o seu projeto foi encerrado.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Amaral D.C. et al. Gestão de desenvolvimento de produtos - São Paulo : Saraiva, 2006.
- Norton, R.L. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada - 4, ed. - Porto Alegre : Bookman, 2013.
- Limpert, R. Brake Design and Safety - 2nd ed. Warrendale, PA: SAE International, 1999.