

Projeto mecânico de um equipamento portátil para ensaio de fadiga por flexão rotativa

10.35819/scientiatec.v10i1.6072

Jonathan Maciel Ziehlsdorff¹
Eduardo Cardoso Castaldo²
Cassiano Rodrigues Moura³

Resumo: O estudo da fadiga é realizado de forma teórica e prática através de ensaios em equipamentos específicos. Estes equipamentos não são encontrados facilmente disponíveis no mercado, o que gera um alto custo de aquisição. Diante disso este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento do projeto mecânico de um equipamento didático para ensaio de fadiga por flexão em barras simétricas rotativas. A metodologia aplicada neste trabalho caracteriza-se por meio de pesquisa tecnológica, que busca a geração de novos produtos. A fase de desenvolvimento inicia-se com o Projeto Informacional onde é realizada uma pesquisa sobre o mercado e os clientes potenciais para o equipamento, nesta fase as informações são estruturadas com auxílio da matriz QFD. Na sequência é desenvolvido o Projeto Conceitual onde a visão do mercado é transformada em um conceito tecnologicamente atrativo. Por fim é realizado o projeto Detalhado onde são realizados os cálculos referentes às questões técnicas de funcionamento do equipamento, bem como são apresentados os resultados do produto e suas principais características e componentes. Dentre os principais resultados são apresentados o layout do equipamento para a opção de projeto selecionada e o detalhamento técnico, envolvendo cálculos relacionados as variáveis mecânicas e a lista de componentes do produto.

Palavras-Chaves: Ensaio de fadiga; Equipamento; Projeto de produto; Engenharia de produto.

Abstract: The study of fatigue is carried out theoretically and practically through tests on specific equipment. These equipments are not easily available on the market, which generates a high acquisition cost. Therefore, this work aims to develop the mechanical design of a didactic equipment for bending fatigue testing in rotating symmetrical bars. The methodology applied in this work is characterized by means of technological research, which seeks to generate new products. The development phase begins with the Informational Project where a survey is carried out on the market and potential customers for the equipment, in this phase the information is structured with the help of the QFD matrix. Next, the Conceptual Project is developed, where the market vision is transformed into a technologically attractive concept. Finally, the Detailed project is carried out, where calculations are carried out regarding the technical issues of equipment operation, as well as the results of the product and its main characteristics and components are presented. Among the main results are presented the layout of the equipment for the selected design option and the technical detailing, involving calculations related to mechanical variables and the list of product components.

Keywords: Fatigue testing; Equipment; Product design; Product engineering.

¹ Estudante do IFSC, E-mail: jonymz@gmail.com

² Professor do IFSC, E-mail: eduardo.castaldo@ifsc.edu.br

³ Professor do IFSC, E-mail: cassianocrm@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O mercado industrial se apresenta cada vez mais exigente no que diz respeito à qualidade de materiais e serviços. Para permanecerem competitivas nesse contexto, as indústrias costumam testar seus materiais para que não haja um equívoco por parte da engenharia, ou até mesmo um déficit de qualidade no material comprado para sua produção. Esses testes são efetuados em laboratório da própria empresa, quando disponível, ou é terceirizado para um laboratório especializado fornecer esses dados à indústria.

Entre as alternativas de testes a serem efetuados está o ensaio de fadiga por flexão rotativa alternada simétrica, que consiste em um eixo submetido a esforços de flexão, os quais resultam em tensões de tração e compressão aplicadas simultaneamente à rotação no mesmo. Este teste é importante para determinar a vida de fadiga que determinado material terá quando submetido a uma carga de valor conhecido. Torna-se possível simular e comparar situações nas quais os eixos são expostos cotidianamente, trazendo mais confiabilidade ao produto. Segundo Collins (2006) as cargas repetitivas, variáveis e as cargas rapidamente aplicadas são muito mais comuns do que as cargas estáticas nas diversas práticas da engenharia atual. Além disso, alguns componentes de máquinas presentes em projetos de engenharia estão sujeitos a cargas variáveis ou cíclicas que aliada à fadiga do material podem gerar a sua fratura.

Segundo Juvinal e Marshek (2008) a fratura por fadiga se inicia, com uma trinca geralmente microscópica, em uma área crítica que recebe uma alta tensão local. Isso quase sempre ocorre quando existe um concentrador de tensões geométrico. Da mesma forma que ocorre com as demais propriedades mecânicas dos materiais, as características de fadiga podem ser obtidas por meio de ensaios de laboratório. Um dispositivo de ensaios deve ser projetado de forma que se consiga reproduzir no corpo de prova, as condições de serviço como nível de tensão, frequência no tempo e padrão de tensões (CALLISTER JUNIOR; RETHWISCH, 2012).

Alguns ensaios de fadiga são amplamente utilizados para determinar essas propriedades; são eles: por flexão em eixos rotativos; ensaio sob força normal (carregamento bidimensional alternado); eixo em balanço sob flexão alternada e

ensaio de torção alternada. O tipo de ensaio escolhido depende do tipo de sollicitação desejada (NORTON, 2013).

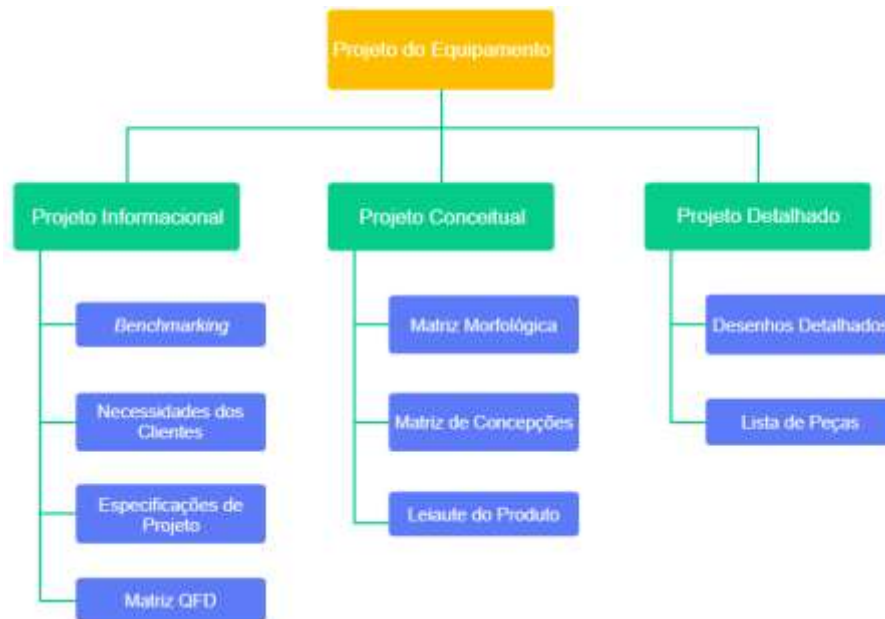
O fenômeno da fadiga por flexão alternada em barras rotativas, por vezes, não é bem compreendido por estudantes da área de engenharia e tecnologia mecânica devido à dificuldade em visualizar corretamente como surgem e atuam os esforços mecânicos causadores das falhas em componentes de máquinas, o que leva a total ou parcial incompreensão dos fenômenos físicos atuantes. Devido à baixa concorrência no mercado de empresas que desenvolvem e comercializa este tipo de equipamento, seu custo de aquisição por muitas vezes se torna inviável.

Diante disso o objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento capaz de realizar ensaios de fadiga por flexão rotativa utilizando corpos de prova normatizados, a fim de obter um projeto de produto de baixo custo e fácil fabricação.

METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho caracteriza-se por meio de pesquisa tecnológica (CUPANI, 2011), que busca a geração de novos produtos. Em termos de objetivos ela pode ser classificada como pesquisa exploratória, pois visa compreender o problema atual para depois propor uma solução.

O procedimento metodológico do trabalho está dividido em três etapas conforme mostradas na Figura 1 que expressa uma reorganização de algumas fases do Processo de Desenvolvimento de Produto encontradas na literatura (BACK et al., 2008; ROZENFELD et al., 2006).

Figura 1: Fluxo metodológico adotado neste trabalho.

Fonte: Rozenfeld *et al*, 2006.

Na etapa inicial de Projeto Informacional é realizada uma pesquisa de Benchmarking para buscar informações sobre os produtos que são encontrados no mercado e estão disponíveis para comercialização. Na sequência as Necessidades dos clientes são clarificadas através de uma Matriz QFD (*Quality Function Deployment*), Akao (1990). Ao final do Projeto Informacional serão determinadas as especificações metas do produto.

A próxima etapa é o Projeto conceitual, onde será transformada a visão de mercado, obtida da fase do projeto informacional, em um conceito tecnologicamente atrativo para os usuários, nesta fase será desenvolvida uma Matriz Morfológica para auxiliar na busca por soluções para o Layout do projeto.

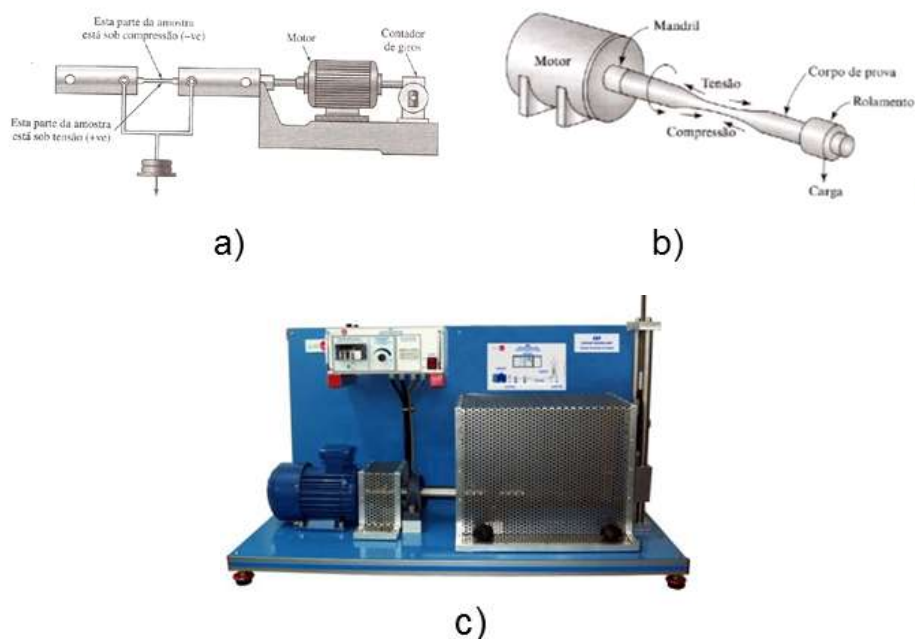
Por fim é desenvolvido o Projeto detalhado onde é apresentado o conceito do produto final, bem como seus componentes e cálculos referentes a questões técnicas do ensaio de fadiga realizado pelo equipamento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Projeto Informacional Benchmarking

Os equipamentos encontrados no mercado possuem configurações diferentes conforme é apresentado na Figura 2, onde se pode observar o equipamento de ensaio de fadiga por flexão rotativa em barras cilíndricas concebido por R. R. Moore (Figura 2 a) que compreende um motor elétrico responsável por prover o giro do corpo de prova, quatro mancalizações ao todo sendo duas delas fixas em uma base e outras duas acopladas a um suporte, onde se apoiarão os pesos que irão conferir as tensões de flexão na barra ensaiada.

Figura 2: Configuração dos equipamentos de ensaio por fadiga.



Fonte: Adaptado de Smith e Hashemi (2012); Askeland e Wright, 2015.

Na Figura 2 (b) é possível observar o equipamento que Askeland e Wright (2015) apresentam em sua literatura. Sua concepção é de um equipamento que tem como princípio a aplicação da solicitação na extremidade do corpo de prova e não no centro do mesmo, como observado na concepção anterior de R. R. Moore. Observa-se também que este se apresenta de forma construtiva mais simplificada, porém sem perder suas principais características de funcionalidade. Já o

equipamento comercializado pela empresa Edibon Equipamentos Técnico-Didáticos (Figura 2 c) mostra um conceito semelhante ao apresentado anteriormente por Askeland e Wright (2015), aplicando a carga na extremidade do corpo de prova. Neste equipamento percebe-se a presença de um sistema de controle eletrônico, que inclui contador de voltas e verificação do nível de carregamento na peça por meio de uma célula de carga.

Na Tabela 1 é apresentada uma análise comparativa das três concepções apresentadas acima, em termos de Atendimento (A) ou Não Atendimento (NA) às questões relacionadas às necessidades dos clientes.

Tabela 1: Dados comparativos das concepções apresentadas.

Necessidades dos Clientes	Equipamentos		
	R.R. Moore	Askeland	Edibon
Desligamento automático	A	N/D	A
Reprodutibilidade e Repetibilidade	A	A	A
Versátil (didático ou pesquisa)	A	A	A
Robusta	A	N/D	A
Fácil ajuste de carga (0 a máx.)	N/A	N/D	A
Capaz de testar corpos de prova diferentes e de diâmetros diferentes	N/D	A	N/D
Fácil Operação	A/R	A	A/R
Segura	N/D	N/D	A/R
Baixo Custo de Fabricação	N/A	A	N/A
Deve ser portátil	N/A	A	A
Bivolt	N/D	N/D	N/D

Legenda:

A = Atende

N/A = Não Atende

A/R = Atende com Restrições

N/D = Não Disponível

Fonte: Autores, 2022.

Necessidades dos consumidores

Nesta etapa foi realizado um aprofundamento na caracterização da qualidade esperada do produto tendo por base as necessidades dos consumidores. Tais necessidades foram obtidas junto a técnicos especialistas em ensaios e professores da área de mecânica bem como com a análise de outros projetos de máquinas similares observadas no Benchmarking.

Projeto mecânico de um equipamento portátil para ensaio de fadiga por flexão rotativa

Esses dados foram compilados e clarificados com auxílio da matriz QFD (Desdobramento da Função Qualidade) conforme mostrada na Figura 3, onde se pode observar a primeira Casa da Qualidade e suas correlações.

Figura 3: Matriz QFD desenvolvida para o projeto.

		Peso máx. 20kg	Sistema monofásico	Robustez do conjunto	Proteções mecânicas	Custo máximo de R\$1500,00	Fixação do corpo de prova	Desligamento automático	Regulagem a carga aplicada	Controle de velocidade	Isento de manutenção	Facilidade de operação	Nível de vibração	Correlação entre requisitos de cliente e de produto							
														9	⊙	Forte					
														3	○	Moderado					
														1	△	Fraco					
														Correlação							
														++		Posit. Forte					
														+		Posit. Fraco					
																Inexistente					
														-		Neg. Fraca					
														--		Neg. Forte					
Direcionador de melhoria >>>>		<<	0	>>	>>	<<	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	<<	qualidade planejada				
		Peso máx. 20kg	Sistema monofásico	Robustez do conjunto	Proteções mecânicas	Custo máximo de R\$1500,00	Fixação do corpo de prova	Desligamento automático	Regulagem a carga aplicada	Controle de velocidade	Isento de manutenção	Facilidade de operação	Nível de vibração	Plano	Índice de melhoria	Argumento de vendas	Peso absoluto	Peso relativo			
RC: Requisitos do Cliente	Desligamento automático	△	1	○	3	△	1	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	1	10	14	
	Reprodutibilidade e Repetibilidade	△	1	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	1	10	14	
	Versátil (didático ou pesquisa)	△	1	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	1	9	12	
	Robusta	○	9	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	1	9	12	
	Facil ajuste de carga (0 a max)	△	1	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	1	9	12	
	Uso em corpos de prova diferentes	△	1	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	1	8	11	
	Facil Operação	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	7	9,6
	Segura	○	9	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	1	5	6,8	
	Baixo Custo de Fabricação	○	9	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	3	4,1
	Deve ser portátil	○	9	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	2	2,7
Bivolt	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	△	1	○	3	1	1	1	1,4	
Grau de importância (RP)		308,2	187,7	647,9	491,8	434,2	437,0	582,2	593,2	606,8	346,6	768,5	442,5						73	100	
Percentual		5,3	3,2	11,1	8,4	7,4	7,5	10,0	10,1	10,4	5,9	13,1	7,6								
Classificação		11	12	2	6	9	8	5	4	3	10	1	7								

Fonte: Autores, 2022.

Esta matriz de QFD possibilitou a conversão das necessidades em requisitos de projeto, bem como auxiliou sistematicamente na comunicação entre as informações relacionadas com a qualidade e os requisitos de projeto, explicando de maneira ordenada as atividades para se obter a qualidade esperada pelos clientes.

É importante ressaltar que será utilizada somente a 1ª Matriz do QFD, conhecida como Casa da Qualidade, não sendo realizados os desdobramentos das demais.

Os principais resultados da Matriz QFD são os pontos que mais exercem influência na decisão final do cliente, ou seja, são as especificações de projeto que tem maior ligação com suas necessidades. Estas especificações devem ser priorizadas na concepção do projeto a fim de assegurar a satisfação dos clientes. Dessa forma, pode-se observar que os pontos a serem priorizados são: Facilidade de operação; Robustez do conjunto; Controle de velocidade do motor; Facilidade de regular a carga aplicada e desligamento automático. No telhado da Matriz QFD, foram realizadas as interações entre as especificações de projeto, a fim de verificar o impacto que pode ser causado entre elas dentro do projeto. A facilidade de operação foi o aspecto que mais teve interações positivas, enquanto o custo de fabricação sofreu o maior impacto negativo. Isso representa que, para atender algumas especificações de projeto mais prioritárias, sacrificaria o quesito custo de fabricação (Ver Figura 3).

Especificações de projeto do produto

No que diz respeito aos aspectos mecânicos, os principais estão ligados ao tamanho adequado para a aplicação, sendo que neste âmbito está inclusa a portabilidade e robustez a fim de garantir resultados fidedignos e permitir facilmente transporte do equipamento; para isso, busca-se obter um peso máximo final de 20 kg. Com relação à alimentação elétrica, o sistema mais comumente encontrado é o monofásico. O sistema trifásico está presente nas indústrias e instituições de ensino, porém em menor quantidade de tomadas disponíveis. Portanto, a alimentação monofásica tornaria o equipamento mais versátil, podendo ser alimentado na grande maioria das tomadas convencionais.

A segurança também é um aspecto de suma importância, portanto, o equipamento deverá possuir anteparos e proteções nas partes móveis e girantes, a fim de garantir a integridade física do operador. Além disso, o equipamento deverá desligar no momento da ruptura do corpo de prova, para que a zona fraturada não seja danificada, e também, como já citado, para segurança do operador.

Evidentemente o projeto de um equipamento deve visar à facilidade de preparação e operação do mesmo. Desta forma, algumas de suas funções deverão

ser estudadas com cautela, como: fixação do corpo de prova, método de regulagem da carga e método de controle de velocidade do motor. A Tabela 2 apresenta uma compilação dos Requisitos de projeto levantados para o equipamento.

Tabela 2: Especificações de projeto.

Requisitos	Unid.	Objetivos	Sensor	Saídas Indesejáveis
Massa	kg	20	Balança	Peso muito superior a 20 kg
Alimentação	V	220 V monofásico		Sistema trifásico
Proteção	%	100% das partes girantes	Visual	Proteção muito inferior a 100% das partes girantes
Desligamento		Momento da ruptura	Visual	Não desligar o equipamento no momento da ruptura do corpo de prova
Preparação e Operação		Facilidade de Preparação e Operação		Ser difícil de preparar e operar

Fonte: Autores, 2022.

sendo que neste âmbito está inclusa a portabilidade e robustez a fim de garantir resultados fidedignos e permitir facilmente o transporte do equipamento; para isso, busca-se obter um peso máximo final de 20 kg. Com relação à alimentação elétrica, o sistema mais comumente encontrado é o monofásico.

O sistema trifásico está presente nas indústrias e instituições de ensino, porém em menor quantidade de tomadas disponíveis. Portanto, a alimentação monofásica tornaria o equipamento mais versátil, podendo ser alimentado na grande maioria das tomadas convencionais.

A segurança também é um aspecto de suma importância, portanto, o equipamento deverá possuir anteparos e proteções nas partes móveis e girantes, a fim de garantir a integridade física do operador. Além disso, o equipamento deverá desligar no momento da ruptura do corpo de prova, para que a zona fraturada não seja danificada, e também, como já citado, para segurança do operador.

Evidentemente o projeto de um equipamento deve visar à facilidade de preparação e operação do mesmo. Desta forma, algumas de suas funções deverão ser estudadas com cautela, como: fixação do corpo de prova, método de regulagem da carga e método de controle de velocidade do motor.

Projeto Conceitual

Após o levantamento realizado no projeto informacional, parte-se para o projeto conceitual, que consiste na geração de soluções alternativas que atendam às especificações definidas. O principal objetivo desta etapa é comparar possíveis soluções para um mesmo problema e, ao longo desse processo, definir a melhor e mais inovadora combinação de soluções para o produto.

Nesta etapa optou-se por utilizar um método sistemático de geração de concepções baseado em uma ferramenta chamada de “Matriz Morfológica”, conforme ilustrado na Tabela 3, onde se pode observar uma visão parcial desta ferramenta. Esse método consiste em uma pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos ou parâmetros, com o objetivo de encontrar novas soluções para o problema.

Com essa matriz é possível analisar e buscar concepções alternativas para o problema global. A matriz morfológica servirá de ponto de partida para o desenvolvimento de soluções de problemas individuais visando resolver o problema global, surgindo assim, as concepções do produto.

Tabela 3: Matriz Morfológica (parcial).

Alimentação	Alimentação do corpo de prova				
Fixação	Fixação dos componentes na base				
	Fixação do corpo de prova				
	Fixação da carga no corpo de prova				
	Mancalização das partes girantes				
Acionamento	Liga/Desliga				
Controle	Controle de carga aplicada				
	Controle de velocidade do motor				
	Controle do número de revoluções				
	Controle do desligamento				
Proteção	Proteção elétrica				
	Proteção mecânica				

Fonte: Autores, 2022.

Através da combinação dessas possibilidades de solução podem-se obter alternativas para a concepção do projeto. Foram desenvolvidas 2 possíveis compilações, que foram definidas buscando-se as melhores soluções que possam atender as necessidades do projeto, conforme apresentado na Tabela 4.

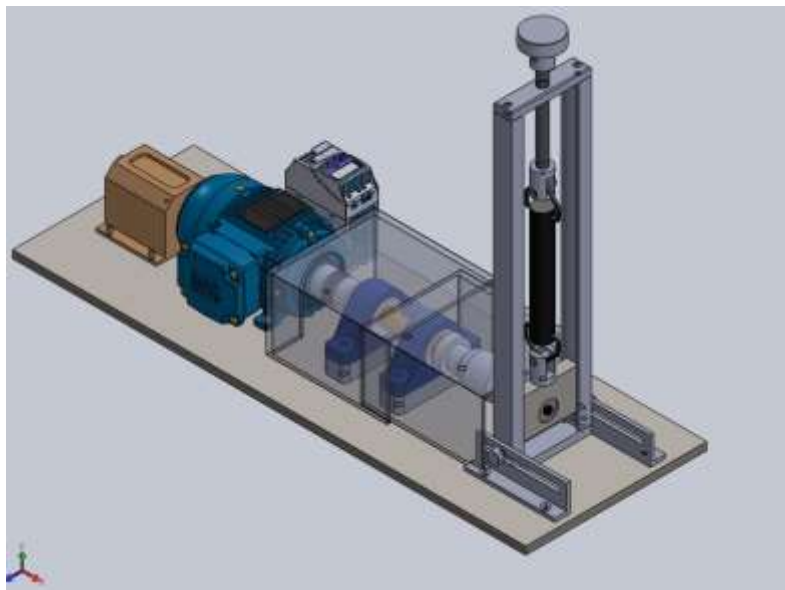
Após análise dessas concepções, optou-se pela alternativa A, uma vez que essa concepção apresenta uma funcionalidade satisfatória para o atendimento dos requisitos de projeto, aliado a um menor custo de fabricação, bem como simplicidade, robustez e confiabilidade que também são observados nessa concepção.

Tabela 4: Matriz de concepções.

		Alternativa A	Alternativa B
Alimentação	Alimentação do corpo de prova		
Fixação	Fixação dos componentes na base		
	Fixação do corpo de prova		
	Fixação da carga no corpo de prova		
	Mancalização das partes girantes		
Acionamento	Liga/Desliga		
Controle	Controle de carga aplicada		
	Controle de velocidade do motor		
	Controle do número de revoluções		
	Controle do desligamento		
Proteção	Proteção elétrica		
	Proteção mecânica		

Fonte: Autores, 2022.

Figura 4: Leiaute da máquina conforme concepção escolhida.

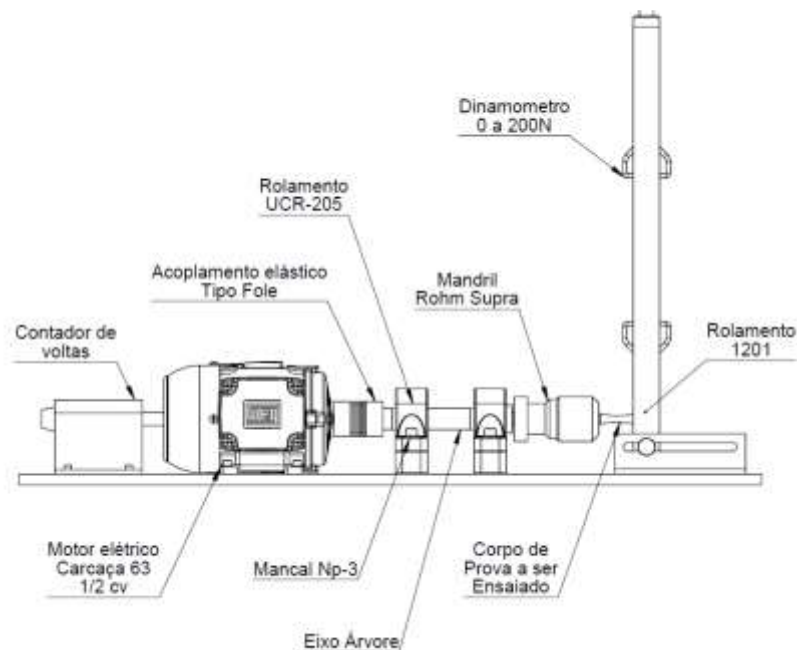


Fonte: Autores, 2022.

A próxima etapa desta fase consiste no desenvolvimento do Layout do produto que foi realizado através de modelagem em 3D com auxílio do software *SolidWorks*®, que se trata de uma ferramenta de Desenho Assistido por Computador, com isso pode-se gerar o conceito do produto conforme apresentado na Figura 4.

Projeto detalhado

Esta fase do projeto, foi realizada com base em alguns pontos da metodologia de Back et al. (2008) por se tratar de um projeto sem a realização montagem física do equipamento. O autor sugere a fabricação de um protótipo, avaliação e validação deste, o que não é o objetivo do presente trabalho. O objetivo do projeto do equipamento é suprir o maior número possível de necessidades dos clientes, utilizando para isso os requisitos de projeto. A Figura 5 apresenta os componentes principais do equipamento, sendo que alguns destes são detalhados a seguir.

Figura 5: Componentes principais do equipamento.

Fonte: Autores, 2022.

O eixo árvore do equipamento foi dimensionado de acordo com a norma ASME B106.1M-1985 apresentada por Norton (2013). Primeiramente encontrou-se a maior tensão de flexão atuante no eixo. Esse ponto está localizado no centro do mancal dianteiro a uma distância de 179 mm do ponto de aplicação da carga. Os cálculos relacionados às questões técnicas foram desenvolvidos através das equações apresentadas na Tabela 5, conforme descrito por Norton (2013).

Tabela 5: Cálculos relacionados às questões técnicas.

Variável	Equação	Resultado
Momento Fletor Máximo	$MF = F \cdot d$	$MF = 35800 \text{ N} \cdot \text{mm}$
Momento Fletor no Ponto Crítico	$MF = F \cdot d$	$MF = 30800 \text{ N} \cdot \text{mm}$
Diâmetro estimado do eixo	$d \cong \sqrt[3]{\frac{32 \cdot Mf}{\pi \cdot \tau_{adm}}}$	$d \cong 7,82 \text{ mm}$
Fator de segurança	(Nf)	$Nf = 2,5$
Fator de sensibilidade ao entalhe	(q)	$q = 0,88$
Fator geométrico de concentração de tensão	$Kt = A \cdot \left(\frac{r}{d}\right)^b$	$Kt = 2,12$
Fator de concentração de tensão por fadiga	$Kf = 1 + q \cdot (Kt - 1)$	$Kf = 1,99$
Limite de resistência à fadiga	$Sn' = 0,5 \cdot S_{ur}$	$Sn' = 886 \text{ MPa}$
Fator de carga	(CL)	$CL = 1$
Fator de tamanho ou gradiente	$CG = 0,896 \cdot d^{-0,097}$	$CG = 0,97$
Fator de Superfície	(CS)	$Cs = 0,52$
Fator de resistência à fadiga corrigido	$Sn = Sn' \cdot CL \cdot CG \cdot CS$	$Sn = 446,9 \text{ MPa}$
Torque do motor	$MT = \frac{30000 \cdot 368}{\pi \cdot 1720}$	$MT = 2043,1 \text{ N} \cdot \text{mm}$
Tensão de escoamento	(Sy)	$Sy = 1641 \text{ MPa}$
Cálculo do diâmetro do eixo	$d = \left\{ \frac{32 \cdot Nf}{\pi} \cdot \left[\left(Kf \cdot \frac{Ma}{Sn} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{Tm}{Sy} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$	$d = 15,17 \text{ mm}$

Fonte: Autores, 2022.

O conjunto de acionamento do equipamento é composto por um motor de ½ cv de carcaça fundida. A potência é baixa pelo fato de o sistema exigir baixo torque, uma vez que não haverá carga de torque durante o processo, somente cargas de flexão. Essa carcaça se justifica pelo fato de ser a menor carcaça fundida encontrada comercialmente. Ela tem por característica física principal e crucial ao desenvolvimento do projeto, a distância de 63 mm entre o pé e o centro do eixo do mesmo.

A lista preliminar de componentes manufaturados e dos componentes comercialmente disponíveis pode ser observada na Tabela 6. O desenho do

conjunto completo, com a lista de componentes, e os detalhamentos de cada uma das peças que o compõem, encontram-se no Apêndice A.

Tabela 6: Lista de componentes.

Itens manufaturados		Itens comerciais	
Item	Qtd.	Item	Qtd.
Base	1	Motor elétrico 63 ½ cv	1
Corpo de prova	1	Mancal NP-3	2
Mancal dianteiro	1	Rolamento UCR-205	2
Guias frontais	2	Rolamento 1201	1
Eixo árvore	1	Mandril Rohm Supra 136	1
Topo frontal	1	Dinamômetro 0-200N	1
Fuso de regulagem	1	Parafuso M6x25	3
Adaptador superior	1	Parafuso M5x25	4
Adaptador inferior	1	Inversor de Frequência CFW100	1
Manípulo	1	Arruela lisa M6	4
Base Inferior	1	Parafuso M6x20	4
Cantoneira de regulagem	2	Parafuso M6x15 cab. Esc.	4
Proteção	1	Parafuso M8x25	1
Pino do dinamômetro	2	Anel de retenção RS8	2
Parafusos fixação das hastes	2	Pino guia 6x30	1
Arruela da ponta do fuso	1	Contador de voltas analógico	1
Calço dos mancais	2	Parafuso M5x10	4
Proteção dianteira	1	Acoplamento Fole	1

Fonte: Autores, 2022.

CONCLUSÕES

No que diz respeito ao projeto desenvolvido, este atingiu seu objetivo proposto com relação às especificações de projeto, uma vez que o produto apresentado é relativamente portátil, com baixo custo de fabricação em relação a alternativa B, além de alta rigidez mecânica e baixa complexidade técnica, aliado a bons níveis de segurança, versatilidade e facilidade de operação.

Devido a não fabricação do protótipo do equipamento não foi comprovada a eficácia da máquina, como sugestão para trabalhos futuros pode-se realizar uma

análise via simulação computacional para a verificação das funcionalidades. Porém acredita-se, baseado nos cálculos e na análise técnica do projeto, ser um equipamento eficaz e confiável para sua aplicação didática. O projeto é constituído por todos os elementos mecânicos necessários ao funcionamento do equipamento. Alguns controles, exclusivamente elétricos, não foram englobados no projeto da máquina, porém foram escolhidos os principais elementos norteadores que a equipe de projeto utilizaria.

Com relação às ferramentas de projeto, foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e serviram para nortear muitas das decisões necessárias durante a fase de desenvolvimento do produto final.

A ferramenta de Desdobramento da Função da Qualidade (QFD) foi fundamental para a tomada de decisões quando da determinação dos itens a serem priorizados no projeto. Um software de modelagem em três dimensões foi crucial para que o projeto pudesse ser realizado com mais clareza e agilidade. Dele foram extraídos os desenhos finais das peças que englobam o equipamento, com todas as dimensões e tolerâncias dimensionais necessárias para sua confecção e montagem.

REFERÊNCIAS

AKAO, Y. **Quality function deployment**: integrating customer requirements into product design. Cambridge: Productivity. 1990.

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

ASME B106.1M-1985 - **Design of Transmission Shafting**, The American Society of Mechanical Engineers, United Engineering Center, Copyright 1975, USA.

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

CALLISTER J.; William D.; RETHWISCH, D. G. **Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012.

COLLINS, J. A. **Projeto mecânico de elementos de máquinas**: uma perspectiva de prevenção da falha. Rio de Janeiro: Ltc, 2006.

CUPANI, A. **Filosofia da Tecnologia: um convite**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2011.

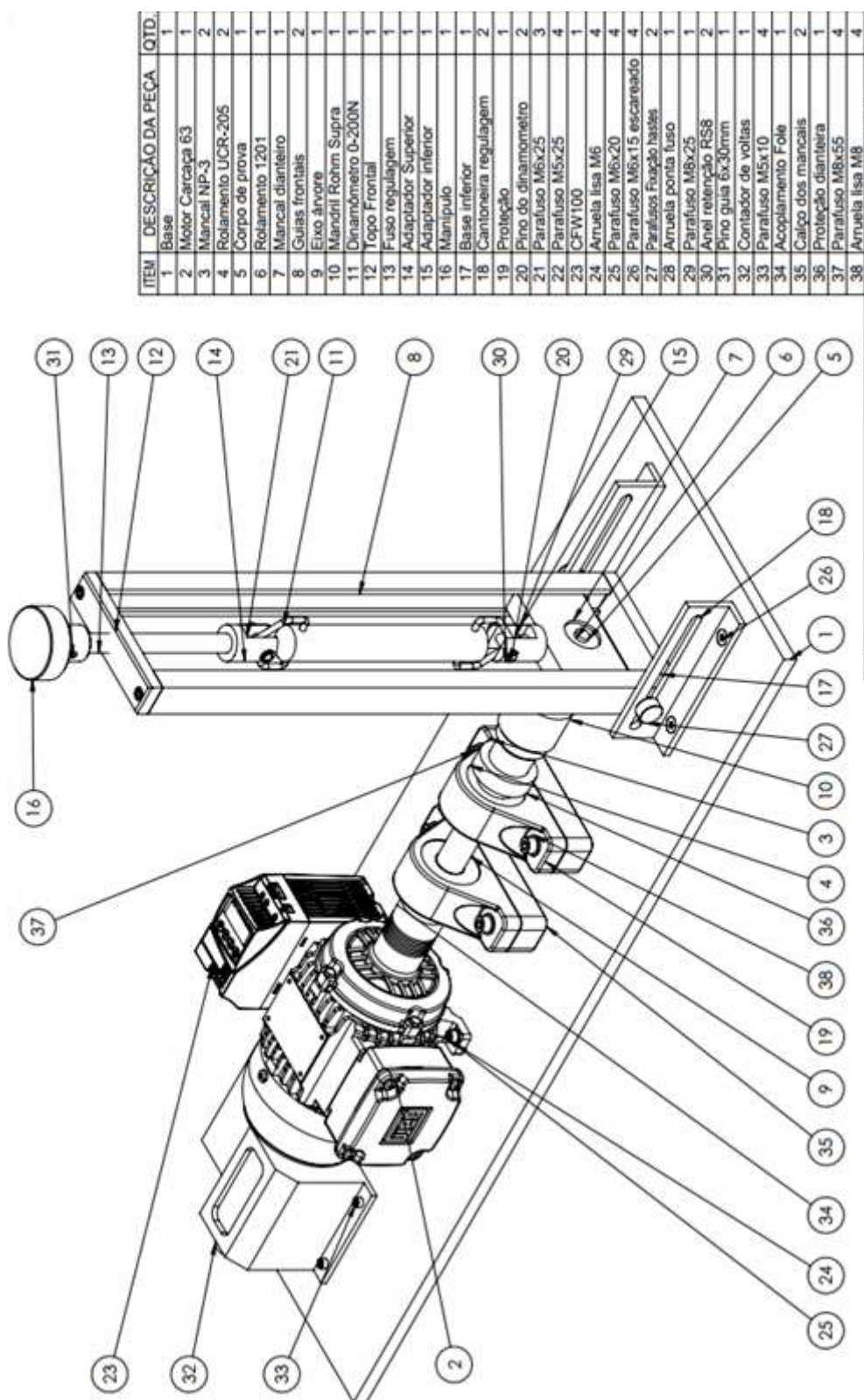
JUVINALL, R. C.; MARSHEK, K. M. **Fundamentos do projeto de componentes de máquinas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ROZENFELD, H.; et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SMITH, W. F.; HASHEMI, J. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda., 2012.

APÊNDICE A – Desenho detalhado



ITEM	DESCRIÇÃO DA PEÇA	QTD.
1	Base	1
2	Motor Carcaça 63	1
3	Mancal NP-3	2
4	Rolamento UCR-205	2
5	Corpo de prova	1
6	Rolamento 1201	1
7	Mancal dianteiro	2
8	Guias frontais	2
9	Eixo árvore	1
10	Mandril Rohm Supra	1
11	Dinamômetro 0-200N	1
12	Topo Frontal	1
13	Fuso regulagem	1
14	Adaptador Superior	1
15	Adaptador inferior	1
16	Manipulo	1
17	Base inferior	1
18	Cantoneira regulagem	2
19	Proteção	1
20	Pino do dinamômetro	2
21	Parafuso M6x25	3
22	Parafuso M5x25	4
23	CFW100	1
24	Arvuela lisa M6	4
25	Parafuso M6x20	4
26	Parafuso M6x15 escareado	2
27	Parafusos Fixação haste	2
28	Arvuela ponta fuso	1
29	Parafuso M6x25	1
30	Anel retenção RS6	2
31	Pino guia 6x30mm	1
32	Contador de voltas	1
33	Parafuso M5x10	4
34	Acoplamento Fole	1
35	Calço dos mancais	2
36	Proteção dianteira	1
37	Parafuso M6x55	4
38	Arvuela lisa M8	4