

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM PROJETO E PROCESSOS DE  
FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E  
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO - MESTRADO  
PROFISSIONAL**

**Gediel Adriano Klein**

Passo Fundo

2021



**Gediel Adriano Klein**

**DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA DE ENSAIO DE DESGASTE  
PARA MATERIAIS RESTAURADORES ODONTOLÓGICOS**

Orientador: Prof. Dr. Charles Leonardo Israel

Coorientadora: Profa. Dra. Márcia Borba

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2021

CIP – Catalogação na Publicação

---

K64d Klein, Gediel Adriano  
Desenvolvimento de máquina de ensaio de desgaste para  
materiais restauradores odontológicos [recurso eletrônico] /  
Gediel Adriano Klein. – 2021.  
4,029 Kb ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Charles Leonardo Israel.  
Coorientadora: Profa. Dra. Márcia Borba.  
Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de  
Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2021.

1. Máquinas - Projetos. 2. Restauração (Odontologia) -  
Testes. 3. Desgaste mecânico. I. Israel, Charles Leonardo,  
orientador. II. Borba, Márcia, coorientadora. II. Título.

CDU: 621.9

Data de aprovação: 18 de Junho de 2021

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Charles Leonardo Israel  
Orientador PPGPPF

Professora Doutora Marcia Borba  
Coorientadora – PPGPPF/Odonto

Professor Doutor Alvaro Della Bona  
Universidade de Passo Fundo – PPG Odonto

Professor Doutor Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar  
Universidade de Passo Fundo -

Professor Doutor William Haupt  
Universidade de Passo Fundo - PPGPPF

*Dedico este trabalho a todos que  
de uma forma ou outra contribuíram  
para tornar este sonho possível.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grato a Deus pela saúde física e mental, pela resiliência de cada dia, pelo destemor frente ao novo, pela constância de propósito e pela crença no atingível.

Agradeço ao meu orientador Charles Leonardo Israel pelos conhecimentos repassados, pela atenção na resolução dos problemas e pelo afinco junto a este projeto.

Agradeço carinhosamente a minha coorientadora Marcia Borba, pela paciência, dedicação, serenidade e amparo imprescindível para com este trabalho.

Agradeço a minha família pelo apoio, incentivo e compreensão pelas horas faltas.

Agradeço a UPF pelos recursos disponibilizados e aos professores do PPGPPF pelos conhecimentos repassados, os quais formaram uma base sólida na elaboração deste trabalho. Um agradecimento especial ao bolsista Juliano Wagner Daro, o qual contribuiu de forma significativa para a finalização do trabalho.

Agradeço ao Senai de Chapecó pelo apoio prestado na realização deste trabalho, especialmente aos colegas e amigos Eduardo Ivan Zanatta, Ivan David Filipon, André Santin, Matheus da Rosa, Giovani de Souza e Joel Sygel pelas conversas, apoio, incentivo e ajuda imprescindível para o sucesso deste projeto.

Agradeço especialmente ao amigo, colega e sócio Lucas Soccol, pela parceria, dedicação, auxílio e altruísmo para com este autor, sua ajuda jamais será esquecida.

Agradeço a todos que por menor ação que tiveram, foram importantes para o sucesso deste trabalho, ser bom ainda vale a pena, obrigado a todos de coração.

*Quem nunca errou nunca  
experimentou nada novo!*

*Albert Einstein.*

## **RESUMO**

Para a análise do comportamento de desgaste de materiais restauradores odontológicos de forma precisa e menos subjetiva se propôs o projeto e a construção de uma máquina de ensaios de desgaste em conformidade com a norma ISO/TS 14569-2, possibilitando total controle dos principais parâmetros de ensaio, como velocidade de deslocamento e aplicação da carga, além da utilização de mais de um método de ensaio pelo mesmo equipamento. As restaurações odontológicas, os mecanismos de desgaste em restaurações odontológicas, as máquinas para ensaio de desgaste e a norma ISO/TS 14569-2 foram estudadas. Deste estudo, três métodos da norma foram selecionados para serem atendidos em um mesmo equipamento. Com estes dados desenvolveu-se o projeto conceitual e o projeto detalhado da máquina de ensaio de desgaste, utilizando softwares específicos de projetos. Foi realizada a construção do protótipo do dispositivo utilizando processos de fabricação modernos e precisos. A subsequente validação dos movimentos da máquina de ensaios de desgaste foi realizada de acordo com a norma ISO/TS 14569-2, bem como as demais variáveis necessárias para a realização de ensaio de desgaste, em acordo com a referida norma.

Palavras-chave: Projeto. Ensaio. Desgaste. Máquina. Odontológicos.



## **ABSTRACT**

For the analysis of the wear behavior of dental restorative materials in a precise and less subjective way, the design and construction of a wear testing machine in accordance with the ISO/TS 14569-2 standard was proposed, allowing full control of the main parameters of test, such as displacement speed and load application, in addition to the use of more than one test method by the same equipment. Dental restorations, wear mechanisms in dental restorations, wear testing machines and the ISO/TS 14569-2 standard were studied. From this study, three methods of the standard were selected to be met in the same equipment. With these data, the conceptual design and the detailed design of the wear testing machine were developed, using specific design software. The construction of the prototype of the device was carried out using modern and precise manufacturing processes. The subsequent validation of the movements of the wear testing machine was carried out in accordance with the ISO/TS 14569-2 standard, as well as the other variables necessary for carrying out the wear test, in accordance with that standard.

Keywords: Project. Test. Wear. Machine. Dental.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma da sequência da pesquisa. ....	23
Figura 2 – Restauração direta em ouro. ....	25
Figura 3 – Modelamento em software CAM. ....	27
Figura 4 – Restauração de amálgama. ....	28
Figura 5 - Movimentos e mecanismos de desgaste .....	32
Figura 6 - Movimentos principais em um processo de desgaste dentário .....	33
Figura 7 – Chewing Simulator CS-4.8. ....	40
Figura 8 – <i>TA Electroforce 3330 Dental Wear Simulator</i> .....	41
Figura 9 – Fluxograma das etapas de trabalho. ....	50
Figura 10 – Visão geral do projeto conceitual da máquina de ensaio de desgaste. ....	57
Figura 11 – Conjunto fixação amostras. ....	59
Figura 12 – Disposição dos conjuntos de fixação das amostras. ....	59
Figura 13 – Conjunto movimentação linear dos antagonistas. ....	60
Figura 14 – Sistema de movimentação linear. ....	61
Figura 15 – Sistema de fixação antagonista e aplicação de carga. ....	62
Figura 16 – Sistema de recirculação de fluido lubrificante. ....	64
Figura 17 – Máquina de desgaste para materiais restauradores odontológicos. ....	65
Figura 18 – Detalhamento de conjunto esticador de elevação dos pesos. ....	66
Figura 19 - Layout painel elétrico .....	67
Figura 20 - Diagrama Unifilar .....	68
Figura 21 – Soldagem da estrutura inferior e superior .....	69
Figura 22 - Fresagem CNC das peças .....	70
Figura 23 – Montagem dos subconjuntos. ....	71
Figura 24 - Visão traseira do conjunto inferior .....	71
Figura 25 - Conjunto de elevação dos pesos e antagonistas. ....	72
Figura 26 - Visão geral da mesa móvel .....	72
Figura 27 - Visão geral do conjunto superior .....	73
Figura 28 - Montagem painel elétrico .....	74
Figura 29 - Ligação elétrica dos componentes .....	74
Figura 30 - Máquina de Ensaio de Desgaste .....	75
Figura 31 - Verificação da carga de ensaio .....	77

Figura 32 - Célula de carga e sensor LVDT .....	78
Figura 33 - Medições de deslocamento x carga do eixo suporte antagonista.....	79
Figura 34 - Medições de carga x deslocamento do eixo suporte antagonista com adição de 3,0 kg (a) e com adição de 6,0 kg (b). .....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais cerâmicas odontológicas e suas propriedades mecânicas.....	30
Tabela 2 – Métodos de Desgaste a dois e três corpos e simuladores de desgaste.....	42
Tabela 3 – Métodos de ensaio de desgaste da norma ISO/TS 14569-2.....	44
Tabela 4 - Custos Totais de Fabricação.....	76
Tabela 5 - Medição de carga dos eixos e pesos padrão.....	76
Tabela 6 - Medição de deslocamento do eixo "Z".....	77
Tabela 7 - Medição de deslocamento do Eixo "Y".....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	Instituto Americano de Ferro e Aço
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAM	Manufatura Assistida por Computador
CLP	Central Lógica Programável
CNC	Comando Numérico Computadorizado
DIN	Instituto Alemão para Normatização
DXF	Formato de troca de desenho
DWG	De desenho
IHM	Interface Homem Máquina
ISO	Organização Internacional de Normalização
LVDT	Transformador diferencial linear variável
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
PIB	Produto Interno Bruto
PMMA	Polimetilmetacrilato
RPM	Rotações Por Minuto
SAE	Sociedade Americana de Engenheiros
TEGDMA	Trietilenoglicol Dimetacrilato
TIG	Tungstênio Inerte Gás
UPF	Universidade de Passo Fundo
UHMWPE	Poliétileno de Ultra Alto Peso Molecular

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área
g	Peso em gramas
h	Tempo em horas
Hz	Frequência em Hertz
Kg	Kilo
M	Sistema Métrico para parafusos
min	Tempo em minutos
ml	Volume em mililitros
mg	Peso em miligramas
mm/s	Velocidade em milímetros por segundo
MPa	Unidade de força, Mega Pascals
N	Unidade de medida de força, Newton
N/m	Torque em Newtons por metro
N/mm <sup>2</sup>	Carga aplicada em Newtons por milímetro quadrado
r/s	Rotação por segundo
s	Tempo em segundos
µm	Micrometros
°C	Temperatura em graus Celsius
%	Porcentagem, taxa percentual

**\* (Unidades no sistema internacional)**

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.3	CONTEXTO.....	19
1.4	JUSTIFICATIVA.....	19
1.5	OBJETIVOS .....	20
<b>1.5.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>20</b>
<b>1.5.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
1.6	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	21
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	21
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>24</b>
2.1	RESTAURAÇÕES ODONTOLÓGICAS .....	24
<b>2.1.1</b>	<b>Próteses confeccionadas pelo método CAD-CAM .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Materiais utilizados em restaurações .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Cerâmicas .....</b>	<b>30</b>
2.2	DESGASTE EM MATERIAIS RESTAURADORES ODONTOLÓGICOS	31
<b>2.2.1</b>	<b>Biotribologia da boca .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Mecanismos de desgaste em materiais restauradores odontológicos.....</b>	<b>35</b>
2.3	MÁQUINAS DE ENSAIO DE DESGASTE PARA MATERIAIS RESTAURADORES ODONTOLÓGICOS .....	36
2.4	ENSAIOS DE DESGASTE CONFORME NORMA ISO/TS-14569-2 ...	42
<b>2.4.1</b>	<b>Método norma DIN.....</b>	<b>44</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Método ACTA.....</b>	<b>45</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Método Zurich .....</b>	<b>45</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Método Alabama .....</b>	<b>46</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Método Freiburg .....</b>	<b>47</b>
<b>2.4.6</b>	<b>Método Minnesota .....</b>	<b>47</b>
<b>2.4.7</b>	<b>Método Ohsu.....</b>	<b>48</b>
<b>2.4.8</b>	<b>Método Newcastle .....</b>	<b>49</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
3.1	PROJETO E CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA .....	51
3.2	VALIDAÇÃO DA MÁQUINA ISO/TS 14569-2.....	53

3.3	PATENTE .....	54
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>55</b>
4.1	PROJETO.....	55
4.1.1	Fixação das amostras .....	58
4.1.2	Sistema de movimentação.....	60
4.1.3	Sistema de aplicação de carga.....	61
4.1.4	Sistema de lubrificação recirculante .....	63
4.1.5	Sistema de controle.....	64
4.1.6	Detalhamento e listas de materiais .....	65
4.1.7	Projeto elétrico.....	67
4.2	CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA.....	68
4.2.1	Fabricação das peças .....	68
4.2.2	Montagem dos conjuntos .....	70
4.2.3	Montagem elétrica .....	73
4.2.4	Montagem Final .....	74
4.2.5	Custos de Projeto .....	75
4.3	TESTES DE VALIDAÇÃO .....	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>82</b>
	REFERÊNCIAS.....	83
	APÊNDICES .....	90



## 1. INTRODUÇÃO

A introdução deste trabalho se apresenta em sub itens para facilitar a compreensão do tema, estando dividida em: descrição contextual do equipamento que foi projetado; justificativa da elaboração do projeto; objetivo geral e objetivos específicos que delimitaram a abrangência do trabalho; metodologia da pesquisa que foi utilizada e estrutura geral do trabalho, que apresenta a divisão dos itens que foram pesquisados.

### 1.3 CONTEXTO

Os desgastes são responsáveis por uma grande perda de energia em dispositivos e máquinas, estimando-se que cerca de 1 a 5% do PIB mundial sejam gastos com atrito e com desgastes de maneira geral (CZICHOS, 1992). Da mesma forma, o desgaste dos materiais restauradores e dos próprios elementos dentários podem ocasionar diversos problemas clínicos, conforme aponta Heintze et al. (2016). Materiais como cerâmicas e polímeros tem propriedades distintas e interação de forma única com o dente antagonista. Além disso, muitos fatores podem influenciar o comportamento de desgaste, como a força, a frequência e os movimentos de mastigação, além da presença de saliva. Quando ocorre desgaste excessivo tanto do dente como do material restaurador, a oclusão do paciente pode ser afetada e também podem ocorrer falhas nas estruturas (HEINTZE et al. 2016). Dessa forma, o estudo dos mecanismos de desgaste dos materiais restauradores e dos dentes antagonistas é motivo de muitos estudos, pois destes estudos dependem a melhoria dos processos de tratamento dentário bem como o desenvolvimento de novos materiais que melhor respondam a estas interações.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Frente a necessidade de realizar a avaliação dos desgastes em diversos materiais utilizados em dispositivos e equipamentos industriais, a avaliação do desgaste em materiais restauradores e nos próprios dentes dos pacientes também mostram-se extremamente úteis e importantes para a pesquisa na área de materiais dentários.

Consequentemente, a acuracidade dos dados de desgaste é o fator mais importante no estudos, já que garante a confiabilidade da análise e comparação do comportamento de desgaste dos diversos materiais (PALANIAPPAN et al. 2013). Este fato se deve a complexidade de se garantir as mesmas condições de ensaio para todos os elementos ensaiados, de forma a reproduzir ao máximo as condições reais em que o componente será aplicado, pois “pequenos desvios nas condições ensaiadas podem ocasionar mudanças radicais nas taxas de desgaste” (HUTCHINGS, 1992). Com isso pode-se realizar ensaios acurados em materiais que não produzem efeitos significativos de desgaste ou que tenham oscilação de ensaio, tais como variação de deslocamento ou velocidade, pois da precisão do equipamento depende a precisão de ensaio e consequentemente a veracidade de pesquisas desenvolvidas nesta área.

O desenvolvimento de um equipamento de desgaste que atenda estas necessidade é de fundamental importância para os estudos futuros que se desenvolverão com o uso do dispositivo, pois o mesmo possibilitará agilidade nos ensaios, bem como uma diversificação das áreas pesquisadas pela odontologia, garantindo assim que o pesquisador possa abranger cada vez áreas mais distintas e obter com isso resultados confiáveis nos estudos por ele realizados.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo geral

Desenvolver uma máquina de ensaio de desgaste para materiais restauradores odontológicos em conformidade com a norma ISO/TS 14569-2.

### 1.5.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram elencados em tópicos para melhor entendimento.

- Aprofundar os conhecimentos sobre a tribologia dos materiais restauradores odontológicos;
- Realizar o projeto mecânico do equipamento com variação dos três principais parâmetros de ensaio, sendo velocidade, carga e tipo de deslocamento;

- Construir o protótipo físico da máquina de ensaio de desgaste a dois corpos para materiais restauradores odontológicos;
- Obter uma máquina com fácil variação dos parâmetros de ensaio para atender variações da norma e/ou outras normas;

## 1.6 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para a realização do presente trabalho foi utilizado uma pesquisa acadêmica, a fim de encontrar subsídios e informações acerca dos processos de desgaste em materiais restauradores odontológicos, tais como tribologia dos materiais e métodos de ensaio.

Após a primeira fase realizou-se um pesquisa qualitativa referente aos materiais que podem ser utilizados na construção do equipamento, desenvolvimento do projeto conceitual do equipamento e pesquisa quantitativa/qualitativa referente ao sistema de controle mais adequado para a máquina. Na sequência foi realizada uma pesquisa laboratorial, também quantitativa e qualitativa, mediante a construção de um dispositivo de ensaio que garantirá o total controle dos parâmetros de velocidade de deslocamento, carga de ensaio, tipo de movimento, lubrificação e temperatura de ensaio. Posteriormente realizou-se a construção e validação do equipamento de ensaio de desgaste para materiais restauradores odontológicos, com submissão do projeto ao INPI para obtenção da patente do mesmo.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa está dividida em seis capítulos separados na seguinte forma:

a) Capítulo 1 – A Introdução aborda os conteúdos introdutórios, o contexto, a justificativa, as motivações, os objetivos alcançados, a metodologia utilizada na resolução da pesquisa e a estrutura geral do trabalho.

b) Capítulo 2 – A revisão bibliográfica engloba todo o referencial teórico utilizado para embasar o desenvolvimento do trabalho. Neste capítulo é apresentado o comportamento tribológico dos materiais restauradores odontológicos, os principais mecanismos de desgaste, os equipamentos utilizados e os parâmetros considerados pela norma para ensaios de desgaste.

c) Capítulo 3 – Os materiais e métodos apresentam a forma como foi executada cada etapa do trabalho.

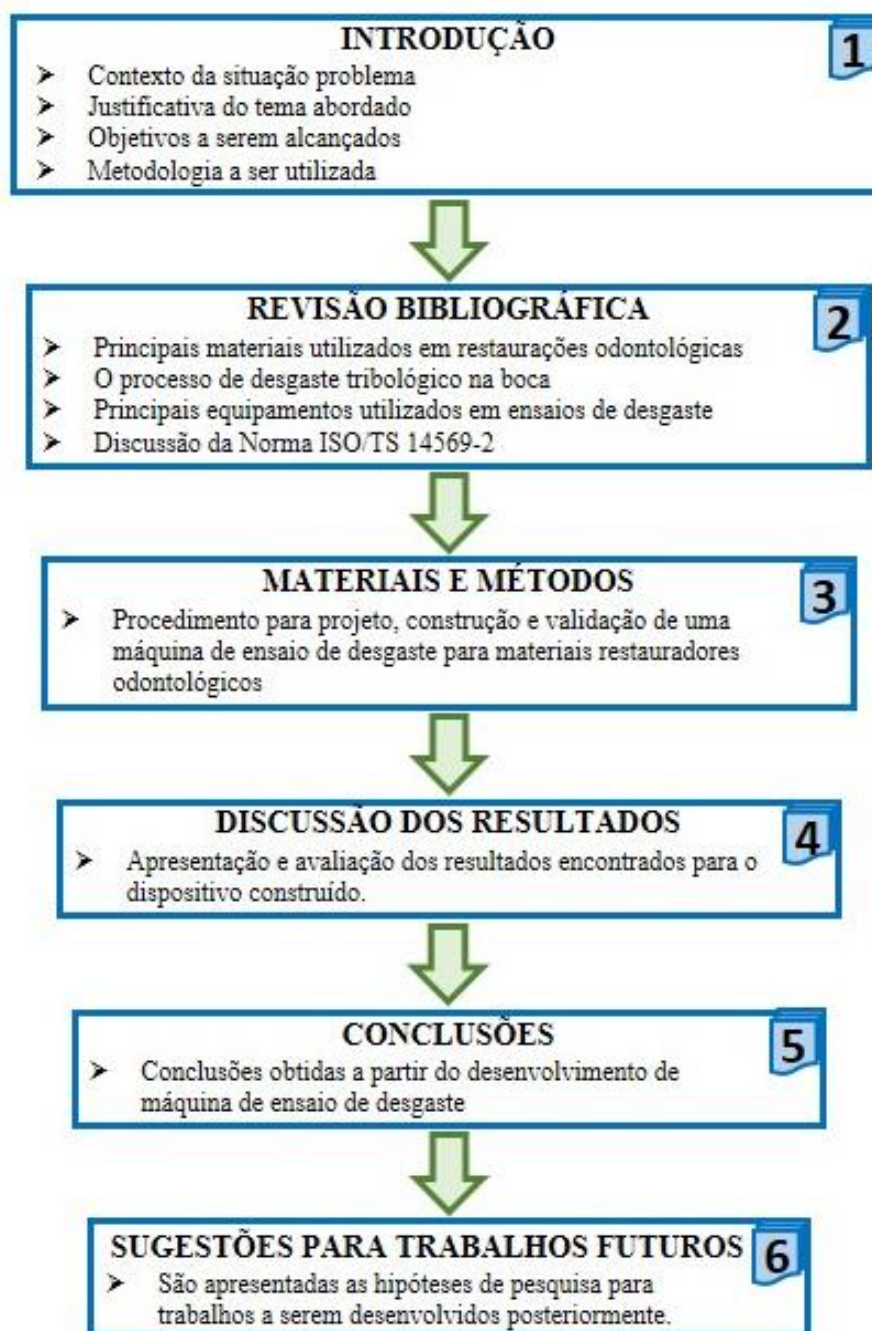
d) Capítulo 4 – elenca os resultados e as discussões encontradas ao longo do desenvolvimento do trabalho, enfatizando para as soluções encontradas frente aos problemas propostos.

e) Capítulo 5 – trata das conclusões encontradas para o trabalho proposto, exaltando a relevância científica da pesquisa realizada.

f) Capítulo 6 – apresenta as sugestões para trabalhos futuros a partir dos resultados encontrados por esta pesquisa.

Para melhor compreensão das etapas a serem desenvolvidas nesta pesquisa, elaborou-se um fluxograma, apresentado na Figura 1, cujo objetivo principal é projetar, construir e validar uma máquina de ensaio de desgaste para materiais restauradores odontológicos.

Figura 1 – Fluxograma da sequência da pesquisa.



Fonte: O autor (2020)

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O foco da presente pesquisa é elaborar uma máquina de ensaio de desgaste para materiais restauradores odontológicos a ser utilizada para o desenvolvimento de projetos de pesquisa da Faculdade de Odontologia em colaboração com a Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Desta forma este capítulo visa dar suporte e embasar teoricamente todas as etapas de desenvolvimento e validação do equipamento. Em um primeiro momento é abordado a problemática e os mecanismos de desgaste observados na Clínica Odontológica, frente a pesquisas de novos materiais para solucionar estes problemas. Na sequência são apresentados os equipamentos existentes para estes ensaios, com a análise dos principais parâmetros a serem contemplados para os ensaios de desgaste em atendimento a norma ISO-14569-2.

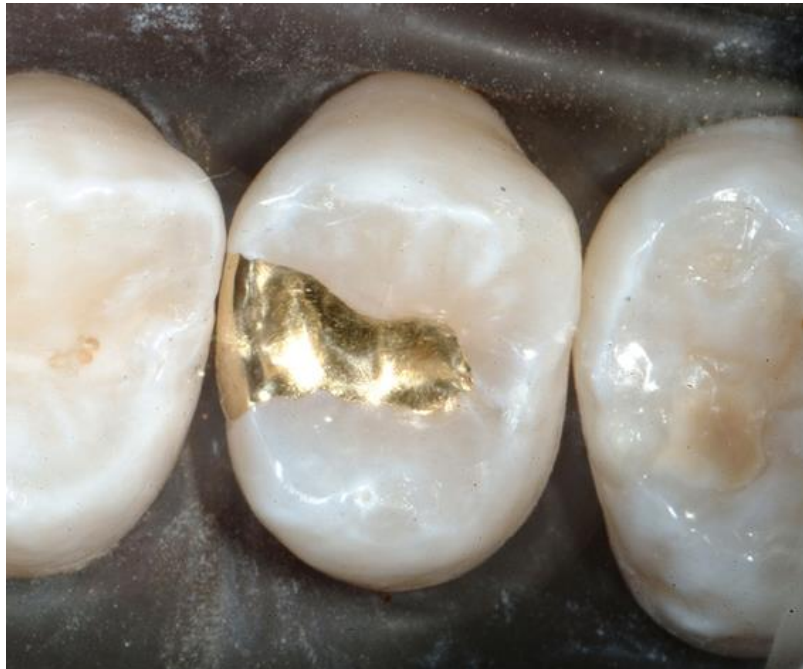
### 2.1 RESTAURAÇÕES ODONTOLÓGICAS

A primeira restauração odontológica não possui um registro histórico preciso, porém acredita-se que a odontologia tenha surgido em 3000 a.C. A primeira evidência documentada de implantes dentários está ligada aos etruscos, por volta de 700 a.C. Vários arquivos e itens depositados em museus relatam a utilização de madeira, conchas, marfim, ossos e dentes extraídos de terceiros como próteses dentárias para substituir dentes extraídos ou perdidos. (ANUSAVICE et al. 2013) cita a utilização destes métodos pelos fenícios em 2500 a.C., pelos etruscos em 700 a.C. e pelos maias em 600 d.C. Estas técnicas possuíam fins decorativos, mas também proporcionar ao indivíduo uma prótese funcional.

Da mesma forma, existem registros históricos de restaurações em dentes utilizando diversos materiais para esta finalidade, como fragmentos de rocha, marfim, resinas vegetais, dentes humanos, gomas, cortiça e folhas metálicas de chumbo ou estanho. Os incas utilizavam ouro martelado para recompor dentes mutilados. De acordo com Anusavice et al. (2013) avanços em restaurações dentárias são observadas apenas a partir do século XVI, onde começaram a utilização de cimentos, resinas sintéticas sem carga, amálgama, folhas de ouro, cerâmicas e diversos outros metais e ligas fundidas. Ambroise Paré utilizava chumbo ou cortiça em suas restaurações. Pierre Fauchard utilizava folhas de estanho ou cilindros de chumbo nas restaurações ou ainda

dentes fabricados de ágata, prata, ouro ou madrepérolas, se o cliente fosse rico (ANUSAVICE et al. 2013). A Figura 2 ilustra uma restauração de classe II realizada pelo Dr. Richard D. Tucker, demonstrando a alta adaptação marginal deste material.

Figura 2 – Restauração direta em ouro.



Fonte: Adaptado de Dr. John Sechena, 2002.

A odontologia moderna desenvolveu-se a partir da publicação de um tratado por Fauchard, contendo os tipos de restaurações e técnicas de construção de dentaduras em 1728. As técnicas de restaurações não avançaram significativamente, muito devido aos materiais disponíveis na época. A maior parte dos relatos estão relacionados a melhoria de uma ou mais técnicas arcaicas e ainda a inserção de algum material novo como tentativa de melhora. Um exemplo clássico foi o desenvolvimento da amálgama para realizar restaurações em substituição ao chumbo e estanho, bem como a utilização de pinos de porcelana fundida à platina ao invés de pinos de madeira em reconstruções intrarradiculares (ANUSAVICE et al. 2013).

Ainda conforme Anusavice et al. (2013) outras técnicas foram desenvolvidas para a melhora dos procedimentos odontológicos, como a utilização de cera para obter moldes da boca e assim construir modelos em gesso e o desenvolvimento de uma borracha vulcanizada de baixo custo por Charles Goodyear, que facilitou a modelagem de próteses de forma a permitir um encaixe e adaptação precisos nos pacientes. As próteses de porcelana substituíram os dentes de marfim, madeira ou dentes humanos,

devido a sua resistência e estética, isto proporcionou o desenvolvimento de novas técnicas como coroas com facetas destacáveis que ancoravam em um dente artificial e ainda facetas intercambiáveis que solucionaram o problema de facetas fraturadas (ANUSAVICE et al. 2013).

A descoberta do flúor como elemento retardador de cáries auxiliou na diminuição das restaurações ou pelo menos reduziu o tamanho das mesmas. Este ponto é importante pois a restauração sempre será a última alternativa cabível, sendo a prevenção e a utilização de materiais biológicos inteligentes ou remineralizadores o caminho a ser percorrido por futuras pesquisas (ANUSAVICE et al. 2013). Mas esta tendência não nega o fato de que restaurações sempre serão necessárias e que novos materiais estarão sendo desenvolvidos. Com isso, há uma necessidade da evolução das técnicas de restaurações, principalmente devido ao fator estético, cada vez mais importante que a durabilidade de uma restauração. Outro ponto estudado é a melhora do processo mastigatório após a realização de restaurações odontológicas, de acordo com Kalaykova et al. (2019), não há significância a curto prazo no processo mastigatório, mas há diminuição da força aplicada e relato positivo dos pacientes quanto a uma facilidade em comer e mastigar os alimentos.

### **2.1.1 Próteses confeccionadas pelo método CAD-CAM**

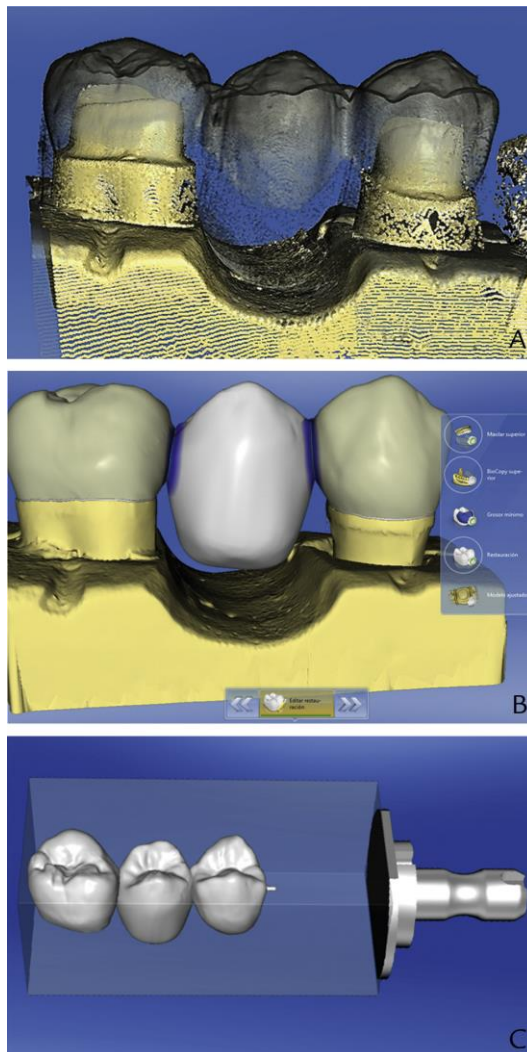
Dentre várias técnicas de restauração já consagradas e amplamente difundidas entre os dentistas, destacam-se a sinterização direta a laser, prototipagem e sistemas CAD-CAM, cada um com sua especificidade e aplicação mais usual. Porém, pesquisas compararam os métodos a fim de correlacionar dados entre um processo e outro. Uma pesquisa desenvolvida por Papadiochou e Pissiotis (2018) comparou diversas técnicas de fabricação de próteses com o método CAD-CAM a partir de uma ampla revisão bibliográfica, evidenciando as inúmeras vantagens da utilização deste método, mesmo não havendo comprovação estatística de sua superioridade em comparação as outras técnicas.

O processo basicamente utiliza um bloco do material restaurador e a partir de uma modelagem do dente ou restauração necessária ao paciente, a prótese é usinada em uma fresadora CNC. O processo se inicia com o escaneamento de um molde de gesso ou diretamente na boca do paciente, identificando a real geometria da restauração



necessária. Após, um software realiza o processo de conversão desta leitura em modelo tridimensional (etapa CAD), conforme ilustra a Figura 3, que é transferido até a fresadora CNC por um software CAM.

Figura 3 – Modelamento em software CAM.



Fonte: Adaptado de Peñate et al. (2015)

A partir disto, a máquina realiza a usinagem da prótese ou restauração com perfeição e exatidão, garantindo perfeito encaixe ao dente ou boca do paciente. Processo similar foi utilizado por Peñate et al. (2015) em testes de fadiga com próteses usinadas. Esse processo está disponível para ser utilizado com diversos materiais, de acordo com o estudo de Quinn, Giuseppetti, e Hoffman (2014) que estudaram o comportamento a fratura de materiais usinados. São utilizados materiais como as cerâmicas à base de zircônia policristalina, porcelana feldspática, vitro-cerâmica à base de dissilicato de lítio, PMMA para provisórios e calcinável, materiais híbridos e metal pré-sinterizado

em próteses e restaurações, garantindo uma ampla variedade a escolha do paciente, alguns até com custo relativamente baixo.

### 2.1.2 Materiais utilizados em restaurações

Os materiais utilizados em restaurações odontológicas evoluíram ao longo dos anos, dos primeiros vestígios de utilização de chumbo, estanho, conchas, marfim entre outros, que não produziam efeitos significativos mas que atendiam a necessidade da época, passaram-se a utilizar folhas de ouro a partir do século XVII, as quais eram mais resistentes e moldavam-se facilmente a necessidade de cada paciente. A primeira restauração em amálgama data de 1816, produzida por Taveau a partir de uma mistura de prata e mercúrio, sendo posteriormente utilizada pelos irmãos Crawcour nos Estados Unidos (ANUSAVICE et al. 2013). A Figura 4 ilustra duas restaurações em amálgama com desgastes laterais devido ao tempo de utilização.

Figura 4 – Restauração de amálgama.



Fonte: Adaptado de Dr. Ron Jackson, 2015.

Com o passar dos anos novos materiais foram sendo desenvolvidos e utilizados em restaurações e próteses, em 1774 Duchateau e Chemant desenvolveram dentaduras de porcelana. Em 1808 um dente de porcelana preso por um pino de platina foi desenvolvido por Fonzi. Em 1822 dentes minerais eram fabricados por Charles Peale na Filadélfia. Em 1839 começaram as aplicações de resinas acrílicas e metais fundidos para próteses totais. Em 1879 o fosfato de zinco foi apresentado como o primeiro cimento com endurecimento na boca, logo após foram desenvolvidos os cimentos de silicato. Em 1885 um pino de porcelana fundida com platina foi desenvolvido por Logan. A partir do século XX várias pesquisas foram realizadas para o desenvolvimento de novos materiais, incitadas pelas pesquisa iniciadas por G. V. Black em 1895. Com isso materiais como titânio, ligas de cobalto-cromo, níquel-cromo, cobalto-níquel-cromo,

cerâmicas e metalocerâmicas foram introduzidos e possibilitaram um avanço nas restaurações odontológicas, conforme apontam Anusavice et al. (2013 pg. 8).

Dentre as principais pesquisas relacionadas com a aplicação de novos materiais para restaurações odontológicas, ainda pode-se citar a introdução de restaurações e dentaduras em resina acrílica a partir do ano de 1950 e o início da utilização de compósitos em substituição aos cimentos de silicato em 1970 (NOORT, 2010). Em 1976 A. Wilson inventou os cimentos de ionômero de vidro. Em 1978 aparecem os primeiros compósitos fotoativados. Em 1983 as facetas de cerâmica fixadas com resina são apresentadas por Horn. Em 1988 são introduzidos os primeiros cimentos de ionômero de vidro modificados por resina e o primeiro compômero é apresentado comercialmente (NOORT, 2010).

Todos estes materiais foram ou são ainda utilizados devido a várias características, mas a mais importante de todas é a biocompatibilidade, o que torna estes materiais diversos pertencentes a uma classe específica denominada biomateriais. De acordo com Noort (2010 pg. 03), “Um material pode ser dito *biocompatível* quando tem a qualidade de não ser destruído no ambiente biológico” desta forma, tanto o material quanto o organismo devem interagir de maneira positiva e equivalente, sem acarretar danos ou efeitos colaterais aos pacientes. Estas interações quando acontecem podem ser toxicidade, corrosão, sensibilidade ou alergia, algumas acontecem com mais frequência que outras, dependendo de organismo para organismo (NOORT, 2010), porém os materiais que são utilizados devem estar aptos e clinicamente testados a fim de evitar ao máximo qualquer uma destas situações.

Dos materiais dentários mais utilizados em restaurações odontológicas destacam-se atualmente a utilização de fibras de vidro para pinos intra-radiculares, resina composta, porcelana feldspática, vitro-cerâmica à base de dissilicato de lítio, vitro-cerâmica à base de silicato de lítio reforçado com zircônia, zircônia policristalina e materiais híbridos utilizando o sistema CAD-CAM (TRIBST et al. 2018). Os materiais metálicos também possuem larga aplicação, porém a utilização dos mesmos está mais restrita a infraestrutura de próteses, pinos intra-radiculares ou implantes e seus componentes.

O presente estudo irá focar no comportamento de desgaste de cerâmicas odontológicas produzidas pela tecnologia CAD-CAM. Atualmente existem uma grande variedade de cerâmicas para próteses e as reabilitações estão cada vez mais extensas, o

que significa que nem sempre o elemento antagonista da restauração será um dente. Entender como essas diferentes cerâmicas se comportam quando se opõem no ambiente oral é de extrema importância para prever a longevidade clínica dos tratamentos.

### 2.1.3 Cerâmicas

A utilização de cerâmicas na odontologia remonta ao ano de 1744, quando Alexis Duchateau construiu para si próprio uma dentadura de porcelana, em substituição a antiga dentadura de marfim. Segundo Noort (2010) a utilização de cerâmicas sempre é recomendada quando necessitamos de estética ou se a prótese é demasiada grande para o uso de resinas. Isso fez com que sua aplicação crescesse a uma taxa de 50% a cada quatro anos e com a implementação do recurso da tecnologia CAD-CAM as possibilidades de aplicação aumentaram, novos métodos e novos materiais puderam ser desenvolvidos e aplicados em próteses dentárias. A Tabela 1 ilustra as principais cerâmicas utilizadas em restaurações e suas propriedades mecânicas, de acordo com o estudo de Zhang and Kelly (2017).

Tabela 1 – Principais cerâmicas odontológicas e suas propriedades mecânicas.

Material	Fase Cristalina (Vol %)	Módulo E (GPa)	Dureza (GPa)	Ductilidade (MPa.m <sup>1/2</sup> )	Resistência a Tração (MPa)
<i>Porcelanas</i>					
Cerâmica Feldespática (vita mark III)	Albite (<20)	72	6,2	1,2	122
Folheado para cerâmica (Lava Ceram)	Leucita (6)	80	5,2	1,1	85
Folheado para metal (d.SIGN)	Leucita/Apatita (25)	68	5,9	1,1	104
<i>Cerâmicas de Vidro</i>					
Mica vitrocerâmica (Dicor MG)	Fluormica (70)	69	6,0	1,2	229
Leucita vitrocerâmica (IPS Empress CAD)	Leucita (35-45)	65	6,2	1,3	140
<i>Dissilicato-cerâmico de lítio</i>					
IPS Empress 2	Dissilicato de Lítio (65)	96	5,5-6,3	2,9-3,2	306-420
IPS e.max CAD	Dissilicato de Lítio (70)	95	5,8	2,3	480
IPS e.max Press	Dissilicato de Lítio (70)	95	5,8	2,8	400
<i>Rede de interpenetração de vidro cerâmico</i>					
Espinélio infiltrado em vidro	Espinélio (65)	185	--	2,5	350
Alumina infiltrada em vidro	Alumina (68)	274	11,8	3,6	548
Zircônia infiltrada em vidro	Alumina temperada com zircônia (67)	245	13,1	3,5	700
<i>Cerâmica Policristalina</i>					
Alumina (grão denso e fino)	Alumina (<99)	372	19,6	3,1	572
Zircônia (Lava Plus)	3 mol% Y-TZP (<99)	210	14,0	4,0	1200
Zircônia (Spex Smile)	Zircônia Cúbica/Tetragonal (<99)	210	13,4	2,4	485
<i>Rede de interpenetração de Resina cerâmica</i>					
Porcelana Infiltrada em resina (Enamic)	Cerâmica Feldespática (75)	30	1,7	1,3	159
<i>Dente</i>					
Dentina	Hidróxiapatita (50)	18	0,6	3,1	34-98
Esmalte	Hidróxiapatita (95)	94	3,2	0,8	13-42

Fonte: Adaptado de Zhang and Kelly (2017).

Com o passar dos anos novos materiais foram sendo desenvolvidos e utilizados em restaurações e próteses, em 1774 Duchateau e Chemant desenvolveram dentaduras

de porcelana, em 1808 um dente de porcelana preso por um pino de platina foi desenvolvido por Fonzi, em 1822 dentes minerais eram fabricados por Charles Peale na Filadélfia, em 1839 começaram as aplicações de resinas acrílicas e metais fundidos para próteses totais, em 1879 o fosfato de zinco foi apresentado como o primeiro cimento com endurecimento na boca, logo após foram desenvolvidos os cimentos de silicato, em 1885 um pino de porcelana fundida com platina foi desenvolvido por Logan. A partir do século XX várias pesquisas foram realizadas para o desenvolvimento de novos materiais, incitadas pelas pesquisa iniciadas por G. V. Black em 1895, com isso materiais como titânio, ligas de cobalto-cromo, níquel-cromo, cobalto-níquel-cromo, cerâmicas e metalocerâmicas foram introduzidos e possibilitaram um avanço nas restaurações odontológicas, conforme apontam Anusavice et al. (2013 pg. 8).

Devido a estas características a sua utilização cresce acentuadamente (ANUSAVICE et al. 2013), sendo utilizadas para produção de facetas, coroas, *inlays*, *onlays*, e próteses fixas, além da possibilidade de fixar uma restauração de cerâmica ao dente através de resinas ou retenções micromecânicas. O principal fator impulsionador de seu uso é devido as propriedades estéticas que elas oferecem. Ainda de acordo com Anusavice et al. (2013), apesar de cerâmicas como a zircônia serem utilizadas para a fabricação de coroas e pontes, também podem utilizadas na fabricação de núcleos endodônticos e pilares de implante. Della Bona (2009) apresenta uma tabela com as principais indicações de aplicações clínicas para várias cerâmicas a serem processadas pelo método CAD-CAM. As indicações são para a fabricação de facetas, coroas em dentes anteriores e posteriores, *inlays*, *onlays*, subestrutura de coroas e componentes primários, dependendo do tipo de cerâmica utilizada.

## 2.2 DESGASTE EM MATERIAIS RESTAURADORES ODONTOLÓGICOS

A necessidade de restauração em dentes é um problema normalmente relacionado a cáries (TSCHAMMLER et al. 2019), desgaste provocado por bruxismo (JONSGAR et al. 2015), má formação dentária ou má posicionamento dental (BARON et al. 2018), desmineralização (ZHOU et al. 2017) e principalmente em função da idade (SCHIERZ et al. 2014) devido ao longo tempo de exposição aos vários agentes citados.

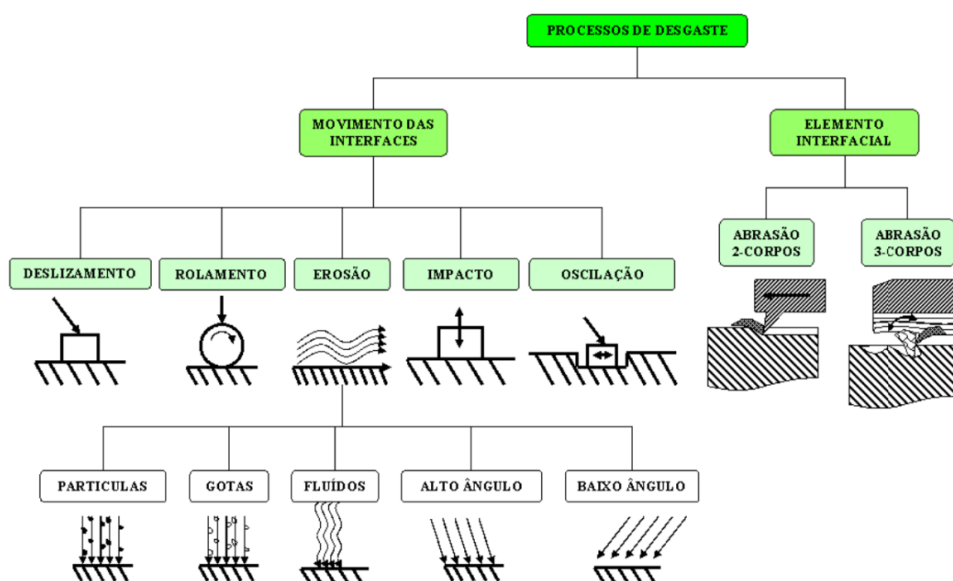
Um dos fatores principais das necessidades de restaurações odontológicas se deve ao desgaste, que pode ocorrer de várias formas, sendo este processo objeto de

vários estudos ao longo de anos (MUTS et al. 2013). O desgaste é o resultado de um comportamento tribológico entre duas superfícies chamado de atrito, estando presente em todos os mecanismos que possuam algum tipo de movimento. Em sistemas mecânicos, o atrito é gerado pelo contato direto entre dois componentes ou pela exposição a um longo período de trabalho, agravado por situações adversas, como calor, contaminação, agentes químicos entre outros (MISHINA and HASE, 2019) e (Li, RAMEZANI and CHEN, 2019).

Este atrito gera o desgaste de diversas formas, as principais são erosão, corrosão, cavitação e abrasão, podendo ser a dois ou três corpos. De acordo com a norma DIN50320, um sistema tribológico é composto por 3 elementos, corpo sólido, contra corpo e o meio. Na maioria das situações um quarto elemento é adicionado ao sistema, chamado elemento interfacial (CZICHOS, 1992). Este elemento normalmente é oriundo do desgaste do corpo sólido ou do contra corpo, e gera um mecanismo de desgaste que é chamado de desgaste a três corpos.

O comportamento tribológico de um desgaste a dois corpos ocorre de quatro formas: adesivo, abrasivo, fadiga e corrosivo. A figura 5 apresenta um esquema com os principais mecanismos de desgaste. O desgaste adesivo a dois corpos normalmente evolui para um desgaste a três corpos, em função do desprendimento de partículas de um dos componentes atritados.

Figura 5 - Movimentos e mecanismos de desgaste



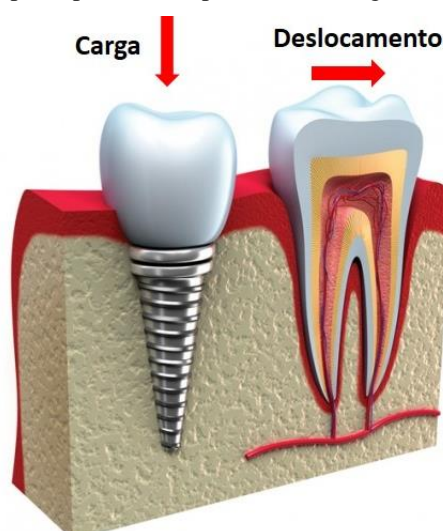
Fonte: Adaptado de Edison Gustavo Cueva Galárraga, 2005

Em sistemas vivos os mecanismos de desgaste se apresentam de diversas formas, especificamente no corpo humano observa-se este comportamento nas articulações e ligamentos (CHARLES, 2010), porém outras partes do corpo também apresentam desgaste, como no processo mastigatório por exemplo (HEINTZE et al. 2008). Este desgaste se apresenta com mais frequência nos dentes e consecutivamente nas restaurações realizadas, indiferente do material utilizado (WULFMAN, KOENIG, and MAINJOT, 2018). Este desgaste não apresenta um padrão, variando de indivíduo para indivíduo, podemos portanto identificar um desgaste por deslizamento provocado por bruxismo em um paciente e em outro paciente o desgaste poderá estar ligado a uma desmineralização ou impactos gerados por maus hábitos alimentares. Será identificado inicialmente a biotribologia da boca para posteriormente analisar os mecanismos de desgaste existentes, confrontando com os principais fatores que geram estes desgastes.

### 2.2.1 Biotribologia da boca

Os movimentos que geram o desgaste bucal são oriundos normalmente dos movimentos mastigatórios e seus reflexos, conforme ilustra a Figura 6, ou de problemas relacionados a algum distúrbio clínico do paciente, embora existam tentativas de se criarem modelos padronizados de desgaste (BARRERO-LOPEZ et al. 2014) para os materiais restauradores odontológicos, estes ainda não conseguem garantir precisão devido a variabilidade dos pacientes e condições *in vivo*.

Figura 6 - Movimentos principais em um processo de desgaste dentário



Fonte: Adaptado de (LOPES, 2021)

O processo mastigatório gera a maior taxa de desgaste em dentes e materiais restauradores, devido as severas condições deste processo. Em um processo mastigatório normal o desgaste pode ser associado a ingestão frequente de alimentos duros (BORRERO-LOPEZ et al. 2014), que geram atrito a três corpos. Este desgaste não aparece de forma prematura e pode levar anos até que taxas significativas de desgaste sejam notadas e influenciem no processo mastigatório. É possível que ocorram quebras no esmalte ou restaurações antes mesmo do desgaste em si.

As condições mais favoráveis para a aceleração do processo de desgaste ocorrem devido a algum distúrbio alimentar ou do processo mastigatório. Os distúrbios mais comuns podem ser relacionados com a presença de cáries (TSCHAMMLER et al. 2019). Estas cáries aparecem devido aos maus hábitos de higiene bucal, consumo excessivo de alimentos com altos índices de açúcar ou ainda combinados com problemas gástricos, que acelerem este processo (KALAYKOVA et al. 2019). Embora não seja um processo de desgaste em si, as cáries contribuem de forma significativa para eventos de desgaste.

Outra forma de desgaste está ligada ao consumo de alimentos ácidos em excesso, este consumo exagerado altera o PH natural da boca, favorecendo a perda do esmalte dentário durante a mastigação (KALAYKOVA et al. 2019). Processo parecido com a desmineralização, aonde problemas clínicos do paciente geram a perda de cálcio dos dentes (ZHOU et al. 2017), conseqüentemente a fragilização do esmalte possibilita a aceleração do processo de desgaste por atrito, adesão entre outros, tanto a dois como a três corpos.

Dentre os fatores de desgaste relacionados a fatores clínicos, o provocado por bruxismo é o mais significativo (JONSGAR et al. 2015). Neste processo, o paciente que possui este distúrbio tem o hábito involuntário de ranger os dentes durante o sono ou até mesmo acordado, este ranger provoca um desgaste por atrito a dois corpos (PERGAMALIAN et al. 2003), gerando perda significativa do esmalte dentário e até mesmo problemas ósseos (JONSGAR et al. 2015).

Um fator cada vez menos significativo no processo de desgaste está relacionado a má formação dentária ou má oclusão dental (BARON et al. 2018), pois tratamentos ortodônticos para tratamento destas imperfeições são realizados cada vez mais precocemente, desta forma o paciente chega a idade adulta com a mordida perfeita (WALTON et al. 2010) e (TSIOULI et al. 2017).



Outros fatores estudados relacionam o desgaste, de materiais restauradores e dentes, com situações menos agressivas mas que contribuem para este distúrbio. A escovação diária está ligada a um aumento da taxa de desgaste (VERTUAN et al. 2020) e Souza et al. (2021), normalmente associada ao tipo de abrasivo ou ácido utilizado na formulação do creme dental (MACHADO et al. 2019) e (BAIG et al. 2020). Outro estudo sugere que a presença de micro partículas de sílica presente nos alimentos ou água gera desgaste nos materiais restauradores e no esmalte dentário (BORRERO-LOPEZ, CONSTANTINO, and LAWN 2018).

### **2.2.2 Mecanismos de desgaste em materiais restauradores odontológicos**

Os estudos demonstram que o desgaste dental possui comportamento similar ao mecânico, porém os meios de desgaste são classificados de acordo com a manifestação clínica apresentada, desta forma pode-se identificar desgaste por atrito, desgaste por abrasão e desgaste químico (TSUJIMOTO et al. 2018).

O desgaste por atrito ocorre quando dois corpos são friccionados um contra o outro, no desgaste bucal este processo pode ser observado, por exemplo, em pacientes com bruxismo (JONSGAR et al. 2015). Caracteriza-se este processo como um desgaste a dois corpos, pois apenas dois elementos estão envolvidos. Este movimento gera o desgaste no corpo de menor dureza (KESSLER et al. 2021). Quando os mesmos materiais são atritados o desgaste tende a manter a mesma proporção em ambos (LEI et al. 2020).

Vários estudos buscam entender a inter-relação e o comportamento de dois corpos submetidos a um desgaste a dois corpos. Geralmente estes estudos avaliam a interação entre diferentes materiais utilizados em restaurações. Dentre as muitas possibilidades de interações é possível encontrar uma restauração de resina que irá atritar contra o esmalte dentário (XU et al. 2019), interação entre cerâmica e esmalte dentário (HEINTZE et al. 2008) ou ainda existam casos onde o atrito é entre cerâmicas de diferentes tipos (BORRERO-LOPEZ et al. 2019). Vários são os estudos realizados com este intuito, pois cada variável provoca um resultado diferente e significativo (WULFMAN et al. 2018), mesmo a variação do ângulo de contato ou da geometria do antagonista (WIMMER et al. 2016).

O processo de desgaste abrasivo consiste na presença de um terceiro corpo no mecanismo de desgaste. Este corpo pode ser proveniente do meio externo ou de uma condição agravada de um desgaste por atrito que desprende partículas da superfície desgastada (AMER et al. 2014). Este processo é o principal causador de desgaste em situações de saúde normais, uma vez que a alimentação é um processo de desgaste a três corpos que é realizada diariamente (ZHANG et al. 2019). Ainda de acordo com Zhang et al. (2019) os principais fatores que influenciam na taxa de desgaste são a dureza do material que está sendo ingerido, sua geometria e com menor intensidade o ciclo de carregamento com que as partículas interagem com os dentes ou restaurações.

Além da alimentação, pode ser observado desgaste a três corpos no processo de escovação (VERTUAN et al. 2020), uma vez que os cremes dentais normalmente utilizam partículas abrasivas em sua composição.

O desgaste químico se apresenta em menor proporção, se comparados aos anteriores, e normalmente está associado aos métodos de desgaste supracitados, sendo um fator determinante para o adensamento do processo de desgaste já existente (TSUJIMOTO et al. 2018). O desgaste químico se apresenta devido a fatores intrínsecos ao paciente, como refluxos e transtornos alimentares ou ainda a fatores extrínsecos, como a ingestão frequente de alimentos e bebidas ácidas, condicionando o seu aparecimento ao estilo de vida e hábitos alimentares do paciente (TOMCZYK and ZALEWSKA 2016).

### 2.3 MÁQUINAS DE ENSAIO DE DESGASTE PARA MATERIAIS RESTAURADORES ODONTOLÓGICOS

A avaliação da resistência ao desgaste de materiais restauradores odontológicos depende de várias condições que estão relacionadas ao comportamento com que determinada prótese ou restauração estará submetida dentro da boca. Estas condições variam de indivíduo para indivíduo e são difíceis de serem reproduzidas em laboratório, gerando resultados muitas vezes contestáveis. Embora não seja uma obrigatoriedade, cada novo material restaurador, ao ser desenvolvido, passa por um ensaio de desgaste a fim de correlacionar sua resistência com materiais já existentes no mercado, antes mesmo de testes clínicos (HEINTZE et al. 2019).

Para a avaliação da resistência ao desgaste em materiais restauradores odontológicos, dois tipos de testes são amplamente reportados pela literatura, os testes *in vitro* e os testes *in vivo*. Os testes são distintos entre si mas visam demonstrar resultados similares ao tentar correlacionar os mesmos parâmetros de ensaio. Embora algumas diferenças sejam encontradas, na maioria das situações os resultados são similares conforme apontam Barkmeier et al. (2008) e Palaniappan et al. (2013) em estudo comparativos.

Os testes *in vivo* são realizados a partir da avaliação dos desgastes observados diretamente na boca dos pacientes, desta forma, são testes demorados e resultados conclusivos somente serão possíveis após anos de estudo e monitoramento. Além deste fator, este teste está sujeito a variáveis não passíveis de monitoramento ou ajustes, tais como “Força de mastigação e mordida, tipo e frequência da nutrição, parafunções, bruxismo etc. podem ser fatores do paciente que afetam o desgaste” (HEINTZE et al. 2019, p. 346).

Mesmo assim, estes testes se mostram frequentes em estudos realizados, demonstrando taxas de desgaste para diferentes situações ao longo de anos de pesquisas. Tomczyk e Zalewska (2016) realizaram estudo comparativo de remanescentes dentários de 196 indivíduos ao longo de seis períodos históricos, identificando através da escala de Smith e Shykoluk & Lovell com auxílio de MEV as principais variações de desgaste. Wulfman et al. (2018) realizaram uma pesquisa a fim de identificar os estudos já realizados ao longo dos anos para avaliação de desgaste, dos 495 estudos encontrados a partir de 1995, apenas 34 deles possuíam método de investigação e análise análogas, considerando-se mais de dez pacientes em cada pesquisa e parâmetros similares em todos eles, como a utilização de *softwares* para as análises. Porém a falta de padronização dos ensaios se mostrou um complicador nos estudos.

Estudo similar de investigação foi realizado por Gou et al. (2019) para identificar o desgaste antagonista do esmalte com coroas de zircônia monolítica, onde o mesmo identificou disparidades nos estudos clínicos previamente realizados. Dos 198 artigos encontrados nos bancos de dados, apenas cinco possuíam procedimentos metodológicos similares e todos apresentaram resultados distantes uns dos outros, com isso os autores concluem que ensaios clínicos com maior duração são necessários para avaliar com efetividade o desgaste nesta condição.

É notável que em estudos *in vivo* as variações dos ensaios se mostrem tão significativas, pois além das condições mecânicas que são diferentes para cada indivíduo, os hábitos alimentares são diferentes e problemas estomacais que alterem o pH da boca também comprometem a constância dos ensaios. Um estudo realizado por Tschammler et al. (2019) apontou correlação entre estes fatores e desgastes erosivos.

Outra metodologia para avaliação de desgaste em materiais restauradores são os testes *in vitro*. Esses testes também apresentam grande variação, são utilizados métodos de desgaste com dois ou três corpos, diferentes cargas, velocidades e deslocamentos, além do meio de ensaio e sua temperatura. Neste método os espécimes a serem estudados são ensaiados em alguma máquina ou dispositivo construído a fim de identificar as variáveis neste material em função do tempo ou mesmo em comparação com outros materiais já conhecidos, a fim de conhecer seu comportamento frente a uma variável considerada. Normalmente são avaliados o desgaste e a fadiga de materiais restaurados odontológicos (SOUZA et al. 2016), mas outros parâmetros como resistência ao impacto, condutibilidade térmica e estabilidade química também são avaliados, conforme estudos realizados por Hamburger et al. (2014) e Bertolini et al. (2017).

A significância estatística está diretamente ligada a repetibilidade dos ensaios, e isto não seria possível em testes *in vivo*, devido a problemas já mencionados. Heintze et al. (2008) já haviam realizado ampla revisão bibliográfica dos estudos *in vitro* para o desgaste antagonista de materiais restauradores, comprovando que, mesmo com a variação dos resultados obtidos devido a não padronização de parâmetros de ensaios, é possível obter resultados positivos desde que se utilize grande amostragem.

Além da odontologia diversas outras áreas se utilizam de estudos *in vitro* para a quantificação de um ou mais parâmetros de ensaio. Boettcher et al. (2017) realizaram estudos comparativos em desgaste para fluidos de articulações de joelhos. Smith, Kennard, e Joyce (2018) utilizaram um simulador para avaliar a taxa de desgaste em próteses totais de ombro. Lin et al. (2019) utilizou testes *in vitro* para avaliar o desgaste de dupla camada polimerizada super hidrofóbica em substratos de aço inoxidável SAE304. Bahçe e Emir (2019) avaliaram a taxa de desgaste de próteses de joelho fabricadas em polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), utilizando um simulador de articulações. Esteves et al. (2019) avaliaram a taxa de desgaste micro abrasivo entre amostras de AISI 1020 e AISI 52100 com abrasivos de 6,6 µm e 2,1 µm,

demonstrando através de teste *in vitro* as variações do coeficiente de desgaste em função da variação da rotação.

Independente da situação avaliada, os testes *in vitro* possuem velocidade de resposta mais rápido e, se garantidos os mesmos parâmetros de ensaio para todas as condições propostas, é possível obter resultados estatisticamente confiáveis. Porém estudo recente desenvolvido por Heintze et al. (2019) questionou ensaios de desgaste realizados *in vitro* devido a variabilidade encontrada entre os diferentes métodos de ensaio. De acordo com o mesmo, não há como comparar valores de desgaste obtidos por diferentes métodos contemplados pela norma ISO/TS 14569-2 e que um teste de ensaio deve sempre se aproximar o máximo possível de testes realizados *in vivo*.

Os equipamentos utilizados em ensaios de desgaste variam de pesquisa para pesquisa e normalmente não seguem uma padronização. Conforme Heintze et al. (2019) as máquinas para ensaio de desgaste disponíveis comercialmente possuem variações significativas se comparados os resultados de ensaios *in vitro* com resultados de ensaios *in vivo*. Ainda de acordo com Heintze et al. (2019), independente de qual máquina ou dispositivo utilizado no ensaio, é imprescindível que o mesmo possua dois eixos de variação de movimento (vertical e horizontal), mas outros movimentos adicionais podem ser utilizados em uma tentativa de reproduzir ao máximo o movimento de mastigação da boca.

Segundo Heintze et al. (2019) existem atualmente três modelos comerciais para o ensaio de desgaste em materiais dentários que atendem plenamente o critério de movimentação mínima. O equipamento *Willytec Chewing Simulator*, a máquina de ensaio universal *MTS chewing simulator* e a *Bose ElectroForce 3330 Dental Wear Simulator*. Além destes, muitas universidades desenvolveram seus próprios dispositivos para realizarem o ensaio de desgaste em materiais restauradores odontológicos, (GUO et al. 2014). Heintze (2006) ao questionar a acuracidade dos dispositivos e métodos utilizados, elencou outros métodos e dispositivos não comerciais frequentemente utilizados em ensaios de desgaste, em ordem de maior utilização estão os simuladores do Alabama, ACTA, OHSU e Zurique.

Mesmo todos os métodos anteriormente mencionados possuem relevância científica para as pesquisas realizadas, Heintze (2006) afirma que apenas a máquina MTS reproduziu valores similares aos estudos realizados *in vivo*, devido a ser a única passível de controle de força e movimento em todas as situações. Os demais métodos e

dispositivos apresentam variações que chegam a 72% para ensaios utilizando o mesmo material mas dispositivos diferentes. A desvantagem deste equipamento e a justificativa pela não utilização do mesmo na maioria dos estudos se deve ao alto custo do equipamento, inviabilizando a aquisição do mesmo por universidades e centros de pesquisas.

O dispositivo comercializado pela empresa *SD Mechatronik Dental Research Equipment, Chewing Simulator CS-4.2*, possibilita o ensaio de 2, 4 e 8 amostras simultaneamente dependendo do equipamento adquirido, realizando movimentos em dois eixos (vertical e horizontal) com aplicação de carga através de pesos de até 250N no modelo mais sofisticado, além de controle de temperatura, medição de força e suportes especiais conforme solicitação de cliente. O mesmo foi utilizado por Chailertvanitkul et al. (2009); Ho et al. (2018) e Santos et al. (2018) em seus estudos. A Figura 7 apresenta o dispositivo *Chewing Simulator CS-4.8*.

Figura 7 – Chewing Simulator CS-4.8.



Fonte: Adaptado de Chailertvanitkul et al. (2009)

O outro dispositivo comercializado é o *Bose ElectroForce 3300 Dental Wear Simulator*, desenvolvido pela *TA Instruments*. Apresenta um design moderno em um único posto de ensaio, utilizando dois eixos de movimentação para ensaios de desgaste a dois corpos, com carga máxima de ensaio de 200 N e possibilidade de utilização do dispositivo para outros tipos de ensaios. Sua principal vantagem é o controle de cada etapa de ensaio, com fácil interação usuário/máquina, setups e backups facilitados, graças ao software de alto desempenho agregado ao dispositivo. A Figura 8 apresenta o dispositivo de ensaio *Electroforce 3300*.

Indiferente do dispositivo de ensaio utilizado, a observância dos parâmetros definidos por normas técnicas ou instruções normativas para o referido ensaio é o fator mais importante. O desenvolvimento de um dispositivo para viabilizar a realização de testes em laboratórios ou a utilização de um equipamento não comercial se mostrou natural ao longo dos anos. Ramalho e Antunes (2007); Guo et al. (2014); Amer et al. (2014) e Imai et al. (2019) desenvolveram dispositivos para a realização de suas pesquisas, enquanto que Ho et al. (2018); Borrero-Lopez et al. (2019) e Kaizer et al. (2019) se utilizaram de dispositivos customizados fabricados por empresas terceiras.

Figura 8 – TA Electroforce 3330 Dental Wear Simulator.



Fonte: TA Instruments, 2018.

A revisão apresentada por Heintze et al. (2019) apresentou os mais diversos métodos de ensaios e os comparou entre si, demonstrando as particularidades e as diferenças entre os mesmos em relação aos vários parâmetros solicitados pelas normas e sua correlação com ensaios *in vivo*. A tabela 2 ilustra o comparativo realizado pelo autor.

Tabela 2 – Métodos de Desgaste a dois e três corpos e simuladores de desgaste.

Propriedades	Método	ISO-TS	Simulador (Força aplicada)	Antagonista	Meio de ensaio	Movimento	Força	Número de ciclos	Correlação com desgaste clínico
Abrasão a três corpos	OHSU abrasivo	Sim	Proto-tec Eletromagnético	Esmalte dentário	Sementes de papoula e miçangas de PMMA	Impacto + deslizamento	20 N	50000	Moderado
	Alabama generalizado	Sim	Mola	Poliacetal	Miçangas de PMMA	Impacto + deslizamento	75 N	400000	Fraco
	ACTA	Sim	Mola	Aço	Milho	Deslizamento	15 N	200000	Nenhum
Atrito	OHSU atrito	Sim	Proto-tec Eletromagnético	Esmalte dentário	Sementes de papoula e miçangas de PMMA	Impacto + deslizamento	70 N	50000	Moderado
	Alabama Localizado	Sim	Mola	Poliacetal	Miçangas de PMMA	Impacto + deslizamento	75 N	400000	Fraco
	Ivoclar (pino sobre disco)	Não	Willytec (pesos acionados por motores)	Cerâmica Leucita	Água	Impacto + curto deslizamento	80 N	120000	Fraco
	Munich (pino sobre disco)	Não	Willytec (pesos acionados por motores)	Esteatita	Água	Longo deslizamento	50 N	50000	Fraco
Contato / Desgaste a dois corpos	Minnesota	Sim	MTS (Servo hidráulico)	Dente	Água	Deslizamento	13,35 N	500000	Fraco
	DIN (pino sobre disco)	Sim	Máquina pino sobre disco	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Água	Deslizamento	8-10 MPa	*	*
Fadiga / Dano subsuperfície	Zurich	Sim	Simulador Zurich (Eletromagnético)	Esmalte dentário	Água + álcool + creme dental	Impacto + deslizamento	49 N	1200000	Fraco
	Freiburg (pino sobre disco)	Sim	Máquina pino sobre disco	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Água	Deslizamento	8 MPa	40000	*
	Newcastle (pino sobre disco)	Sim	Máquina pino sobre disco	Esteatita	Água	Deslizamento	15 N	10000	*
	BIOMAT	Não	Simulador Biomat	Cromo cobalto	Água	Impacto + deslizamento	20 MPa 225 N	4000	*
	NBS (pino sobre disco)	Não	Pesos	Esmalte dentário Aço inoxidável Safira	Água	Rotação e deslizamento	10 MPa	127500	*

Fonte: Adaptado de Heintze et al. (2019)

\* Dados não informados.

## 2.4 ENSAIOS DE DESGASTE CONFORME NORMA ISO/TS-14569-2

Com o objetivo de padronizar os ensaios de desgaste em materiais restauradores odontológicos, a ISO criou em 2001 um guia a ser seguido para a realização dos ensaios. Este guia é dividido em suas partes, sendo a parte 1 para ensaios de desgaste com escovação e a parte 2 ensaios de desgaste a dois ou três corpos. Este guia reúne 8 principais métodos de ensaios utilizados ao longo dos anos e padroniza a utilização dos mesmos, gerando uniformidade dos ensaios de desgaste realizados a partir da criação da mesma. Alguns autores como Heintze et al. (2019) questionam a aplicabilidade da mesma, pois alguns pontos como vantagens e desvantagens de cada método não são apresentados ou não são claros. Outro ponto questionado é a falta de correlação entre os



métodos o que na visão dos autores deveria existir, análoga a outras normas para ensaios.

Apesar dos questionamentos quanto a sua utilização por alguns autores, o objetivo da norma não é criar uma correlação entre os vários métodos de ensaio, mas padronizar os métodos já existentes, pois de acordo com a norma é praticamente impossível criar um teste de desgaste *in vitro* que reproduza exatamente as mesmas condições bucais. Desta forma, não há como utilizar apenas um método de desgaste e obter resultados iguais as condições *in vivo*. Isto se justifica pelos diferentes mecanismos de desgaste existentes e considerados em cada método, além das condições bucais variarem de indivíduo para indivíduo. Portanto, faz sentido investigar separadamente os vários aspectos de desgaste que possam surgir em situações clínicas, afim de identificar ou prever, através de vários métodos de testes diferentes, o mecanismo de desgaste clínico completo.

A norma ISO/TS 14569-2 considera o desgaste por contato oclusal em dentes antagonicos. A medição do desgaste deve ser feita utilizando um perfilômetro, scanner a laser ou método similar que utilize um *software* para cálculo da massa perdida, visto que os desgastes observados são geralmente muito pequenos. Alguns itens não especificados pela norma são o *software* que não foi normalizado, a precisão da triagem da superfície desgastada e se a medição deve contemplar toda a área desgastada ou apenas parte dela, mas orienta para que padrões sejam correspondidos antes e depois do teste através de pontos de referência, principalmente para a medição do antagonista.

Estas questões estão abertas a interpretação de quem realiza o teste, utilizando o senso comum para suprir lacunas de interpretação, onde respostas para estas perguntas serão encontradas com a realização de mais estudos utilizando a mesma. A norma não deve ser utilizada para definir padrões de desgaste de um material, mas comparar dois diferentes materiais a fim de encontrar um padrão clínico. A Tabela 3 ilustra os 8 métodos de ensaio contemplados pela norma e suas variações.

Conforme a norma ISO/TS 14569-2, a mesma não é aplicada para situações como desgaste por escovação, perda química, lascamentos, perda marginal ou inchaços, para estes outros métodos de ensaio devem ser utilizados. Como os métodos diferem bastante entre si, serão elencados na sequência para melhor compreensão das variáveis e condições de ensaio de cada um. Todos os métodos a seguir descritos são abordados pela norma ISO/TS 14569-2.

Tabela 3 – Métodos de ensaio de desgaste da norma ISO/TS 14569-2.

Método de teste	Antagonista	Meio de ensaio	Movimento	Referência	Medição dos resultados
DIN	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Deslizamento	Folha de metacrilato de poli metila	Pesagem de massa ou perfilometria
Acta	Aço ou material dentário	Arroz, cascas de spray de milho	Deslizamento	—	Perfilometria
Zurich	Esmalte dentário	H <sub>2</sub> O	Impacto + Deslizamento	Ultimo teste	Perfilometria
Alabama	Poliacetel	Miçangas de PMMA	Impacto + Deslizamento	—	MEV
Freiburg	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Deslizamento	Folha de metacrilato de poli metila	Pesagem de massa ou perfilometria
Minnesota	Dente	H <sub>2</sub> O	Deslizamento	—	Perfilometria
OHSU	Esmalte dentário	Sementes de papoula	Impacto + Deslizamento	—	Perfilometria + vídeo-imagem
Newcastle	Esteatita ou esmalte dentário	H <sub>2</sub> O	Deslizamento	—	Perfilometria

Fonte: Adaptado de ISO/TS 14569-2

#### 2.4.1 Método norma DIN

O método da norma DIN determina o desgaste a partir do deslocamento de duas amostras uma sobre a outra utilizando a água deionizada em temperatura ambiente como meio de ensaio. A carga de ensaio deve ser entre 8 a 10 N/mm<sup>2</sup> com velocidade de deslocamento não superior a 100 mm/s, porém distância de deslocamento não é especificada. A medição do desgaste pode ser feita de duas formas: a primeira mede-se o desgaste vertical através da pesagem das amostras antes e depois do ensaio, além da medição da área desgastada com um micrômetro. Com estes dados é calculado o desgaste vertical ( $H$ ), desgaste de referência ( $H_{ref}$ ) e o desgaste relativo ( $H_{rel}$ ). A segunda utiliza um perfilômetro ou scanner para medição da superfície de desgaste vertical ( $H$ ) do material testado e do material de referência ( $H_{ref}$ ), após é calculado o desgaste relativo ( $H_{rel}$ ). Este método de medição é indicado para materiais com pequenas taxas de desgaste onde não é possível a medição da área de desgaste com instrumentos convencionais.

Este método foi originalmente desenvolvido para o teste de resinas de recobrimento de coroas e pontes, sendo o polimetilmetacrilato (PMMA) o material considerado para referência. Este material deve ser testado simultaneamente com o material da amostra utilizando o mesmo antagonista. O valor de desgaste do material testado deve sempre ser comparado com o material de referência. As amostras são

armazenadas a 37,1° C imersas em água por 7 dias antes da realização do teste. Caso for utilizado outro material como antagonista, o mesmo deve ser testado antes do ensaio.

#### **2.4.2 Método ACTA**

O método ACTA utiliza dois discos que rotacionam um contra o outro em um desgaste a três corpos, utilizando uma pasta de farinha de arroz ou então cascas de milho branco como terceiro corpo. Em um disco ficam fixadas as amostras que serão ensaiadas e no outro disco o material antagonista pressionado com uma carga de aproximadamente 15 N. O ensaio é conduzido em temperatura ambiente, a rotação do disco deve ser de 1r/s com diferença de 15% na rotação do segundo disco, gerando cerca de 23 mm/s de velocidade de deslizamento. A máquina deve conter um agitador para a pasta de desgaste e um sistema que evite a evaporação da água da mistura.

O desgaste é gerado pelo terceiro corpo e pela diferença de rotação entre os discos, que acaba gerando um deslizamento do antagonista sobre a amostra. A utilização de um material de referência simultaneamente as amostras é opcional. O teste demora cerca de 55 horas para provocar um desgaste significativo nas amostras, onde uma pista de desgaste é gerada deixando as bordas laterais da amostra intactas para fins de comparação. A medição do desgaste é realizada utilizando um perfilômetro ou método equivalente, como um scanner.

#### **2.4.3 Método Zurich**

O método Zurich utiliza molares superiores como antagonistas. Os mesmos são cortados para separar a cúspide palatina e fixadas a um suporte. Se for utilizado outro material como antagonista ele deve ser preparado com forma cônica e ponta esférica de 1,5 a 2,0 mm de raio. O material testado deve possuir 8 mm de diâmetro e 2 mm de altura, fixado em um suporte de borracha, com resina epóxi ou cimento ósseo, em um ângulo de 45°, de forma que o antagonista deslize sobre a amostra por uma pequena distância com carga de no máximo 49 N. O ensaio é conduzido em dois banhos, sendo 2 min a 5°C e 2 min a 50°C, o equipamento deve possibilitar o carregamento e o descarregamento em intervalos consecutivos, onde o tempo de um ciclo completo seja de 0,6 s, com velocidade próxima a 0,56 mm/s.

Como material de referência utiliza-se amostras de PMMA ensaiadas com o mesmo antagonista. Todas as amostras são armazenadas em água a 37°C por 24 horas antes do teste. A carga deve ser aplicada de forma gradual e após o deslocamento o antagonista volta a sua posição inicial para iniciar um novo ciclo. A medição do desgaste é realizada após 1.200.000 ciclos com o uso de um perfilômetro ou scanner a laser, que mede a faceta (pista) de desgaste formada e calcula através de um software o volume de massa perdida, considerando-se o desgaste como a altura perdida da amostra e a altura perdida em relação a amostra de referência.

#### **2.4.4 Método Alabama**

Para o ensaio utilizando o método Alabama o desgaste é gerado a três corpos, utilizando um indentador de poliacetal como antagonista e uma pasta de polimetacrilato com esferas de 44 µm, que agem como o terceiro corpo que provocará o desgaste. O indentador se desloca pela amostra com velocidade de aproximadamente 5 mm/s, realizando 1,2 ciclos por segundo com carga de 75 N ou de 150 N/cm<sup>2</sup>, ao final do deslocamento o indentador gira 30° em torno do seu eixo e retorna ao ponto inicial. O ensaio é realizado a 37° C utilizando a pasta abrasiva com 30% de abrasivo.

Para a preparação das amostras é necessário a utilização de seis molares humanos isentos de cáries, que deverão ser fixados ao suporte utilizando uma resina acrílica autopolimerizável. Após, as mesmas têm a sua superfície oclusal fresada com um diâmetro de 4 mm e profundidade de 3 mm. Nesta cavidade será alocado o material a ser testado, utilizando orientações de cimentação que o fabricante do material restaurador indicar. Para testes com resinas polimerizadas confecciona-se uma amostra com 8 mm de diâmetro e fixa-se a mesma diretamente no porta amostras utilizando uma resina de cura frio ou resina epóxi. As amostras devem ficar imersas em água a 37° C por um período de 24 horas antes da realização dos testes.

A medição do desgaste se dá após cerca de 400.000 ciclos utilizando MEV. Além das medições realizadas com um perfilômetro ou outro dispositivo com a mesma precisão de medição. Como material de referência utiliza-se uma amostra de 8 mm de diâmetro produzida de cerâmica Macor ou outra cerâmica com propriedades similares, a mesma é fixada diretamente no porta amostras e posteriormente ensaiada. O desgaste se dá pela altura desgastada nas amostras em relação ao material de referência e também

pela altura desgastada nos antagonistas, também é necessário calcular os volumes de desgaste para fins de registros em relatório de testes.

#### **2.4.5 Método Freiburg**

O método Freiburg utiliza um ensaio pino sobre disco modificado, onde um pino antagonista de cerâmica desliza sobre um disco de material a ser testado com rotações opostas. A carga aplicada no pino antagonista deve produzir uma pressão constante de 8 MPa na região de contato. A velocidade com que a amostra rotaciona deve ser de 100 RPM, ou cerca de 50 a 60 mm/s, totalizando por teste não mais que 40.000 rotações. Para o banho utiliza-se água deionizada mantida a 23° C que deve ser trocada a cada 8.000 rotações. O pino antagonista é fabricado de alumina de alta densidade, possuindo 5 mm de diâmetro e face plana na região de contato, utilizando-se como material de referência três amostras fabricadas de PMMA, quando testados materiais a base de polímeros, porém para o teste de cerâmicas ou materiais metálicos outros materiais de referência podem ser utilizados.

Para a realização do ensaio, 5 amostras de 10 a 12 mm de diâmetro e espessura de 2 mm são preparadas. Após serem retificadas e polidas, as mesmas são armazenadas em água mantida a 37° C por 7 dias, sendo então fixadas no dispositivo de ensaio. O volume de desgaste se dá pela pesagem das amostras antes e depois do ensaio, utilizando uma balança de precisão de 0,1 mg e pela medição da área desgastada. O método não cita qual dispositivo deve ser utilizado para a medição desta área. Após as medições de massa e área é possível calcular a altura do desgaste das amostras, do material de referência e a altura relativa de desgaste entre os dois materiais.

#### **2.4.6 Método Minnesota**

O método desenvolvido pela Universidade de Minnesota utiliza um princípio de movimento mastigatório para deslizar um dente antagonista sobre uma amostra ou outro dente a ser testado. O movimento consiste em carregar o antagonista com carga máxima de 13,35 N, deslocar o mesmo por aproximadamente 0,62 mm, retirar a carga e retornar ao ponto inicial, executando o teste a uma frequência de 4 Hz. O ensaio é conduzido em água mantida a 37° C que deve recircular até um tanque termostatizado para manter a

temperatura constante. O equipamento realiza um ensaio por vez utilizando um antagonista de dente natural ou de outro material a ser testado, desde que possua forma similar à de uma cúspide natural. Como material de referência é utilizado uma amostra de PMMA linear não reticulado e não plastificado com uma massa molecular superior a 1.000.000.

As amostras são preparadas com aproximadamente 8 mm de diâmetro e posteriormente fixadas a um dispositivo que possa ser fixado ao suporte da máquina de testes. Antes do ensaio as amostras são armazenadas em água a 37°C por um período de 24 horas, decorrido este tempo as mesmas são medidas utilizando um equipamento para a medição da superfície, como um perfilômetro ou scanner a laser. Na sequência as amostras são ensaiadas por 500.000 ciclos de carregamento e sua superfície é então novamente medida, um software executa o cálculo do volume de massa desgastada através da sobreposição das superfícies medidas.

#### **2.4.7 Método Ohsu**

O método Ohsu utiliza um desgaste a três corpos como método, utilizando uma pasta de composta de 3 g de sementes de papoula e 1,5 g de esferas de PMMA, com diâmetros entre 5 a 125 µm, dissolvidos em 15 ml de água destilada. O ensaio utiliza como antagonistas molares superiores humanos de cúspides semelhantes, que são cortados e lixados até obterem uma ponta esférica próxima a 10 mm. As amostras são preparadas em um molde retangular e posteriormente polidas, sendo fixadas a um porta amostras cilíndrico com resina epóxi. Após a fixação, as mesmas são armazenadas em água a 37°C por 24 h antes da realização do ensaio.

Na realização do ensaio o antagonista desliza com uma carga de 20 N sobre a amostra testada por cerca de 8 mm, provocando desgaste abrasivo. Ao final do deslocamento uma carga de 70 N é aplicada de forma estática, para provocar desgaste por atrito. O ensaio é realizado com uma frequência de 1 Hz por 50.000 ciclos a uma velocidade de 80 mm/s, constituído de uma fase de carregamento que dura 0,1 s, uma fase de deslizamento de 0,1 s e uma fase de repouso de 0,9 s. O ensaio utiliza 4 amostras testadas e mais uma amostra de referência de PMMA deve ser utilizada. A medição do desgaste deve ser realizada utilizando um perfilômetro ou scanner a laser, realizando-se a medição da área desgastada em dez passagens. Com auxílio de um

software de imagem calcula-se o volume de desgaste e o desgaste vertical nas amostras e também no material de referência. O desgaste do antagonista também é medido e os valores são comparados entre si.

#### **2.4.8 Método Newcastle**

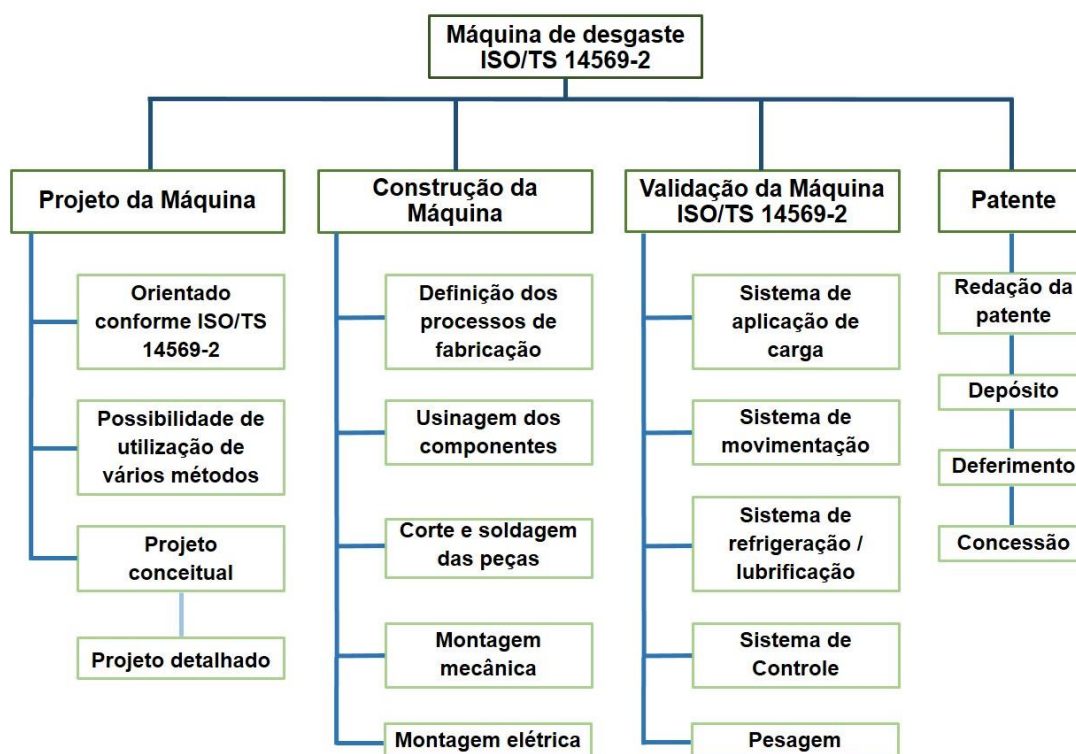
O método Newcastle realiza o ensaio de desgaste a partir do deslocamento de uma antagonista de cerâmica, normalmente esteatita, ou uma cúspide de esmalte dentário, ambos com 9,5 mm de diâmetro. O mesmo se desloca sobre a amostra testada com velocidade de 50 mm/min e carga de 15 N por uma distância de 2 mm, utilizando como meio um banho de água destilada a 37°C. As amostras não possuem tamanho especificado, mas devem garantir que o antagonista não fique a menos de 1 mm da sua borda durante o deslocamento, as mesmas são fixadas em um porta amostras cilíndrico utilizando resina ou epóxi. Todas as amostras devem ser armazenadas em água a 37°C por sete dias antes do ensaio, quando utilizado um antagonista de cúspide de esmalte, o mesmo deve ser fixado no suporte com auxílio de resina ou cola epóxi.

A medição do desgaste deve ser realizada a partir da leitura da superfície desgastada com o auxílio de um perfilômetro. No mínimo 5 amostras devem ser utilizadas para o ensaio e um material de referência pode ser eventualmente utilizado para fins de comparação, porém a norma não especifica qual. O ensaio é realizado até 1.000 ciclos e então todas as amostras são medidas com perfilômetro, após, mais 9.000 ciclos são realizados e as amostras são novamente medidas com perfilômetro, onde o desgaste será calculado por um software entre o perfil inicial e final de desgaste de cada amostra, e em relação ao material de referência, se este for utilizado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Como objetivo principal e foco deste estudo, é desenvolver um equipamento de ensaio de desgaste para materiais restauradores odontológicos segundo orientações da norma ISO/TS 14569-2 e posteriormente validar o equipamento, também em conformidade com a norma citada, as etapas de trabalho desenvolvidas são apresentadas pelo fluxograma da Figura 9 para melhor entendimento do leitor.

Figura 9 – Fluxograma das etapas de trabalho.



Fonte: O autor

Conforme ilustrado pela Figura 9, o trabalho se desenvolve em quatro eixos principais, iniciando com o projeto da máquina de ensaio em conformidade com a norma ISO/TS 14569-2, onde foi verificado entre todos os métodos apresentados quais são possíveis de serem utilizados na máquina, devido as suas variações de movimento e oscilações. Uma vez definidos os métodos que a máquina consegue abranger, foi elaborado o projeto conceitual, onde necessidades de alterações e sugestões de melhoria foram avaliadas, tendo-se finalmente o projeto detalhado para a fabricação dos componentes e posterior montagem do mesmo.



Como segunda etapa, foi realizada a construção do equipamento, utilizando-se para isso de um projeto detalhado previamente elaborado. Nesta etapa se despreendeu um grande número de horas de trabalho, sendo utilizado também diferentes processos de fabricação convencionais e CNC's, a fim de garantir precisão e agilidade ao projeto. Após a fabricação dos componentes os mesmos foram montados juntamente com a parte elétrica.

Em sequência foi realizada a validação da máquina, utilizando-se de medições dos movimentos de ensaio vertical e transversal, bem como a aplicação de carga de maneira uniforme, além de medição da temperatura do fluido de ensaio.

Como última etapa foi realizada a redação da patente de dispositivo inventivo, que foi protocolada no INPI em cumprimento ao requisito para receber o título de Mestre em Projetos e Processos de Fabricação.

### 3.1 PROJETO E CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA

Para a construção da máquina de ensaio para materiais restauradores odontológicos, foi realizado um estudo da norma ISO/TS 14569-2 e dos métodos por ela aceitos. Este estudo teve por finalidade a identificação dos movimentos, cargas, velocidades, frequências de ensaio, lubrificantes utilizados e temperatura que cada método utiliza. Esta análise pretendeu identificar quais destes métodos um mesmo dispositivo consegue atender de forma assertiva, garantindo assim resultados positivos nos ensaios posteriormente realizados, independentemente do método utilizado.

A análise classificou os métodos quanto ao sentido de movimento realizado, se vertical, horizontal, transversal, rotativo ou alguma combinação destes. Buscou também identificar de que forma a carga deveria ser aplicada em cada método, qual fluido de ensaio cada método utiliza e qual a temperatura o mesmo deve atingir. O sistema de medição do desgaste realizado não foi considerado nesta análise, uma vez que será realizado em outros equipamentos não influenciando, portanto, no dispositivo.

Com a análise destes parâmetros foi possível elencar quais dos métodos da norma ISO/TS 14569-2 seriam considerados no projeto. A partir destas informações realizou-se um *brainstorming*, a fim de identificarmos as possibilidades de construção do equipamento. Desta análise preliminar elaborou-se em check-list destas

possibilidades, identificando a melhor condição para todas as variáveis, chegando-se a um esboço do dispositivo.

Após a realização desta análise se iniciou a elaboração do projeto conceitual do equipamento, considerando os fatores elencados como primordiais para a confecção da máquina, dentre os métodos selecionados da norma ISO/TS 14569-2. A partir do projeto conceitual foi elaborado o projeto detalhado do equipamento utilizando o *software Solid Works*, esta etapa foi crucial para o sucesso do projeto, pois todos os detalhes de funcionamento foram ajustados nesta fase. Foram realizados testes virtuais de funcionamento a fim de prever posições de fixação de componentes, trajetórias de movimentação, possíveis colisões e demais fatores necessários para o bom funcionamento da máquina.

Com o projeto dos componentes e a montagem virtual realizada, validou-se o funcionamento da máquina através das simulações de funcionamento e iniciou-se o detalhamento de todos os componentes para fabricação, utilizando folha de projeto com as dimensões, tolerâncias e demais informações críticas para fabricação. Peças que são cortadas através de processos automatizados necessitam de arquivos com extensões específicas, como *.dxf* ou *.dwg*. As peças que foram produzidas por usinagem CNC utilizam um software CAM para gerar os programas de usinagem, sendo utilizado o software EdgeCAM, que utiliza arquivos com a extensão *ParaSolid*.

Ao final do projeto detalhado foram elaboradas as listas de materiais utilizadas para orçamento e compra da matéria prima necessária para a produção dos componentes, lista de elementos de máquinas e lista de componentes elétricos utilizados. Destas listas foi identificado quais componentes existiam na UPF, quais itens conseguiremos com parcerias em outras instituições e empresas, e ainda quais itens seriam adquiridos pelo processo de compra. Foi necessário a aquisição de itens com recursos próprios, devido a falta dos mesmos pelas instituições supracitadas ou ainda devido a mudanças e ajustes no projeto que foram realizadas na máquina durante a fase de montagem e testes.

A fabricação dos componentes foi realizada utilizando-se processos de usinagem e soldagem TIG. Dos processos de usinagem que foram utilizados podemos destacar como críticos o torneamento convencional e CNC, fresagem convencional e CNC, corte em serra, furação e roscamento, pois estes processos se aplicam a praticamente todas as peças do sistema mecânico. Ajustes manuais foram necessários durante a montagem dos

componentes, sendo realizados no ato da montagem, utilizando operações de fresagem e torneamento convencional, além de ajustagem com limas.

Com os componentes fabricados, foi realizada a montagem dos sub-conjuntos e conjuntos utilizando parafusos de inox, testes simples de movimentação e posicionamento foram realizados em cada etapa da montagem. Após foi realizada a montagem dos componentes elétricos no painel, passados os cabos de ligação, o circuito foi ligado conforme projeto elétrico e foram realizados testes simples de comunicação utilizando um aparelho chamado multi teste.

O sistema hidráulico foi montado posteriormente, utilizando conexões de engate rápido com mangueiras em PU, esta montagem é simples, porém fundamental para o dispositivo. Para colocar a máquina em pleno funcionamento para a validação dos movimentos e funções, elaborou-se a programação de controle dos servos motores utilizando o software *HCP Works*, o controlador de temperatura do fluido refrigerante foi programado de forma manual na própria interface.

### 3.2 VALIDAÇÃO DA MÁQUINA ISO/TS 14569-2

Para validação da máquina de ensaio de desgastes para materiais restauradores odontológicos, foram realizados testes de funcionamento que atestem a proximidade entre as condições teóricas e as condições reais do equipamento. Estes testes foram divididos de acordo com cada movimento ou função que a máquina realiza, desta forma são interdependentes em um primeiro momento.

O sistema de aplicação de carga foi testado utilizando uma célula de carga calibrada. Como a aplicação de carga é realizada de forma mecânica, foi verificado a variação da carga final à medida que novos pesos padrão são adicionados ao ensaio, posteriormente foi analisada a variação de carga entre os 8 postos de trabalho, a fim de atestar a não discrepância entre as várias amostras ensaiadas.

O sistema de movimentação da máquina deve ser preciso e repetitivo de forma acurada, por isso o teste destes movimentos se dará pela medição do deslocamento real apresentado pelo antagonista. Os dois eixos de movimentação foram medidos, inicialmente o deslocamento do eixo “Z” foi medido com um relógio apalpador de resolução 0,01 mm, indicando o deslocamento de avanço e recuo realizado em cada ação. Este deslocamento está relacionado com a aplicação e retirada da carga de ensaio, ou

seja, eventuais variações na ordem de centésimos de deslocamento não influenciarão no ensaio que será realizado.

O eixo de movimentação “Y” representa o deslocamento que o antagonista realiza na amostra durante o ensaio, seu valor compreende o comprimento da pista de desgaste na amostra. Um relógio comparador de resolução 0,01 mm foi utilizado para medição do deslocamento realizado durante o avanço e retorno do antagonista. Esta medição consiste em encontrar eventuais variações de deslocamento, tanto no curso total quanto no posicionamento inicial de cada ciclo.

A temperatura do fluido de ensaio foi avaliada utilizando um termômetro a laser e um cronometro. Inicialmente foi monitorado o tempo que o fluido demora para ser aquecido até a temperatura de ensaio ainda no reservatório. Após aquecido iniciou-se a recirculação do fluido, sendo medido simultaneamente a temperatura do fluido na área de ensaio e o tempo com que a temperatura do fluido aquecido estabiliza na temperatura selecionada, devido as perdas térmicas para a superfície do *dispenser*. A partir destas informações foram realizados ajustes no controlador de temperatura.

### 3.3 PATENTE

Em paralelo a construção do equipamento foi realizada a redação da patente a ser protocolada no INPI, a qual seguiu os modelos e predisposições solicitadas pelo órgão. O pedido de patente é para invenção de dispositivo, uma vez que a máquina de ensaio de desgaste para materiais restauradores odontológicos é inovadora, possuindo sistemas diferentes de outros equipamentos disponíveis no mercado. A mesma foi protocolada sob o número de processo “BR 10 2020 009605 2”, estando aguardando deferimento e o prazo legal para ser publicada oficialmente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado desta pesquisa espera-se o projeto, a construção e a validação da máquina de ensaios para materiais restauradores odontológicos, desta forma os mesmos foram divididos em 4 etapas a fim de facilitar o entendimento do leitor. Com isso temos descritos na sequência os resultados do projeto, da construção e da validação do equipamento. Ao final é apresentado a patente de invenção protocolada junto ao INPI.

### 4.1 PROJETO

A análise buscou realizar uma triagem dos métodos, considerando duas variáveis principais, o tipo de movimento e a aplicação da carga, pois são estas as duas condições principais em um processo de desgaste dentário. Estas duas variáveis foram consideradas uma vez que o tipo de deslocamento influencia diretamente no projeto do sistema de movimentação. Portanto, um sistema simples, objetivo, de fácil controle e a um custo acessível foram considerados como elementos essenciais para a realização da análise.

Da mesma forma, a aplicação da carga deveria atender a estes requisitos, preferindo-se um sistema único para aplicação da carga em todos os postos de trabalho, pois com isto tem-se um maior controle das cargas e o custo também se torna acessível. As outras variáveis, como temperatura de ensaio, lubrificante, frequência e velocidade são passíveis de adequação em qualquer sistema mecânico, pois são controladas precisamente por qualquer sistema de controle que se possa adotar, sendo, portanto, desconsideradas nesta etapa.

Desta análise 3 métodos foram selecionados e foram considerados para o projeto, sendo eles o método DIN, o método *Minnesota* e o Método *Newcastle*. Estes métodos possuem deslocamento similar em um único sentido, variando apenas a velocidade e o curso. A aplicação da carga difere apenas no valor total e na forma de aplicação, mas é possível de utilizar um mesmo sistema para todos. As demais variáveis como temperatura do fluido lubrificante, a velocidade de ensaio e frequência de ensaio podem ser facilmente alteradas entre os métodos com a utilização de um sistema de controle central.

Os outros métodos que a norma abrange possuem variáveis visivelmente diferentes dos citados anteriormente, desta forma optou-se por não os considerar no projeto da máquina, uma vez que resultariam em um dispositivo muito mais complexo, de difícil manuseio e com custo significativamente maior. Os fatores que influenciaram a não utilização dos outros métodos foram principalmente o tipo de movimento necessário entre antagonista e amostra, como rotação do antagonista ou amostra, ângulos de fixação variável e variação da carga durante ensaio. Mesmo com um dispositivo que não atenda todos os métodos, em nada se compromete a aplicabilidade da mesma, visto que dificilmente são conduzidos estudos comparativos entre os métodos na norma ISO/TS 14569-2, em função da variação dos resultados e a não compatibilidade entre ambos, conforme estudo apresentado por Heintze et al. (2019).

Outros critérios que foram considerados no projeto foram a criação de um dispositivo compacto, que pudesse ser utilizado em qualquer laboratório de pesquisa sem a necessidade de utilização de recursos não existentes no mesmo, desta forma descartou-se qualquer sistema de alimentação pneumática, com fonte de energia trifásica e com tamanho maior ao de um comportado por uma bancada didática normalmente existente nos laboratórios. Com isto o projeto deteve-se em desenvolver um equipamento que além de atender os requisitos da norma cita, fosse de alimentação monofásica e de tamanho pequeno. Além destes fatores o design deveria ser harmônico e compatível a um ambiente odontológico, bem como ser imprescindível a utilização de materiais compatíveis com exigências sanitárias dos referidos locais.

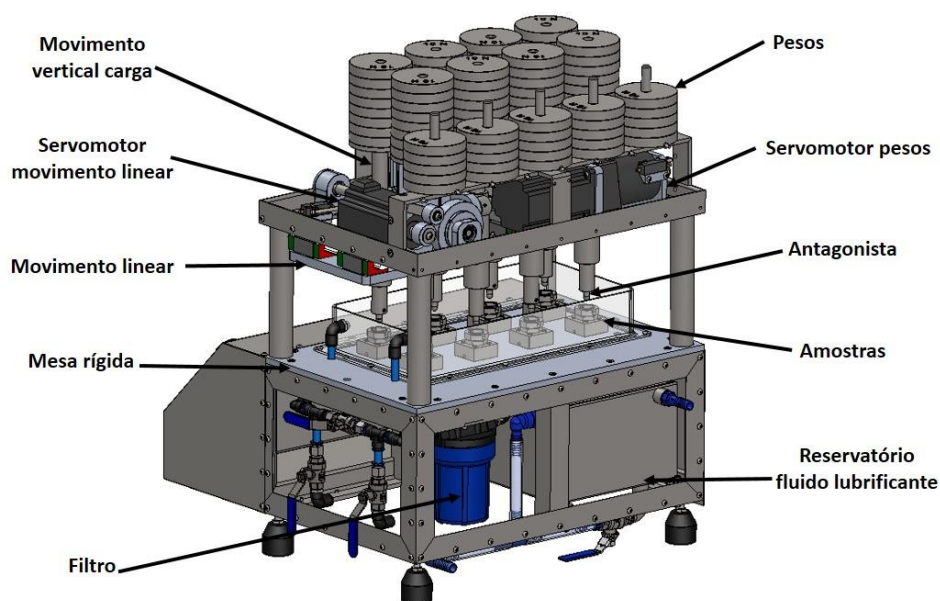
Desta análise identificaram-se os critérios a serem considerados no projeto da máquina de ensaio de desgaste para materiais restauradores odontológicos. Os mesmos encontram-se listados a seguir para melhor compreensão:

- Os parâmetros de ensaios dos métodos selecionados, sendo deslocamento linear, aplicação de carga e fluido lubrificante do ensaio;
- Variação do curso de deslocamento linear, para atender os diferentes métodos;
- Variação da carga aplicada, em atendimento aos diferentes métodos selecionados e realização de estudos com diferentes cargas;
- Controle de temperatura do fluido lubrificante com recirculação do mesmo e filtragem de resíduos originários do desgaste antagonista, evitando desgaste a três corpos;

- Oito postos de trabalho a fim de agilizar o estudo de desgaste em várias amostras simultaneamente, garantindo assim velocidade nos estudos posteriormente realizados por pesquisadores;
- Monitoramento das variáveis de ensaio em tempo real, velocidade de ensaio, curso de deslizamento, carga aplicada e temperatura de ensaio;
- Utilização de material para a construção dos componentes que não reaja quimicamente com o fluido de ensaio utilizado;
- Concepção moderna com design harmônico e tamanho pequeno;

A partir destes critérios desenvolveu-se o projeto conceitual da máquina, considerando a maior rigidez possível em todos os componentes projetados, evitando assim variações dos resultados de ensaios de desgaste provocados por oscilações da máquina. Após o levantamento de algumas opções de deslocamento e controle de aplicação da carga, optou-se pela utilização de servomotores para o controle das duas principais variáveis de ensaio, movimento linear e controle de aplicação de carga. O reservatório na parte inferior da máquina recircula o fluido lubrificante através de uma bomba com filtro até as amostras, que são fixas em uma mesa rígida, o deslocamento é realizado pelos antagonistas na parte superior, acionados por um servomotor. A carga é aplicada com a intercalação de pesos mecânicos calibrados em balança de precisão, enquanto outro servomotor retira e aplica a carga conforme necessário. A Figura 10 apresenta uma visão geral do projeto conceitual da máquina de desgaste.

Figura 10 – Visão geral do projeto conceitual da máquina de ensaio de desgaste.



Fonte: O autor

Conforme ilustrado pela Figura 10, a estrutura da máquina foi toda desenvolvida com cantoneiras de aço inoxidável SAE 304 de tamanho 38 x 4 mm de abas iguais, utilizando uniões soldadas, garantindo assim estabilidade dimensional e dinâmica além de evitar possíveis corrosões devido ao ambiente em que se encontrará instalada. A mesa rígida fabricada em liga de alumínio ABNT 5052, que possui alta resistência a corrosão, possui espessura de 10 mm estando fixada por parafusos a estrutura inferior de cantoneiras, nesta mesa encontram-se rigidamente fixadas 8 suportes para as amostras ensaiadas, bem como uma borda em policarbonato que fará com que as mesmas estejam em contato direto com o fluido lubrificante durante o ensaio.

Quatro colunas de diâmetro 38 mm de aço inoxidável SAE 304 foram utilizadas para unir o conjunto superior ao conjunto inferior, através de parafusos de tamanho M12. No conjunto superior encontra-se todo o sistema de movimentação linear, o sistema de aplicação e retirada da carga de ensaio, as colunas de fixação dos antagonistas encontram-se livres verticalmente, sofrendo apenas resistência do atrito dos rolamentos lineares que as guiam. O projeto compacto possibilita a utilização em bancadas didáticas, sendo necessário apenas um ponto monofásico de eletricidade e um ponto de esgoto para descarte do fluido lubrificante, um ponto de entrada de fluido foi adicionado ao projeto, como forma de facilitar a alimentação do fluido entre os ensaios. Uma bomba na parte inferior da máquina circula o fluido, do reservatório que o aquece, até as amostras, este fluido pode ser filtrado ou não, tendo-se para isto um sistema *bypass* manual para a seleção correta conforme necessidade.

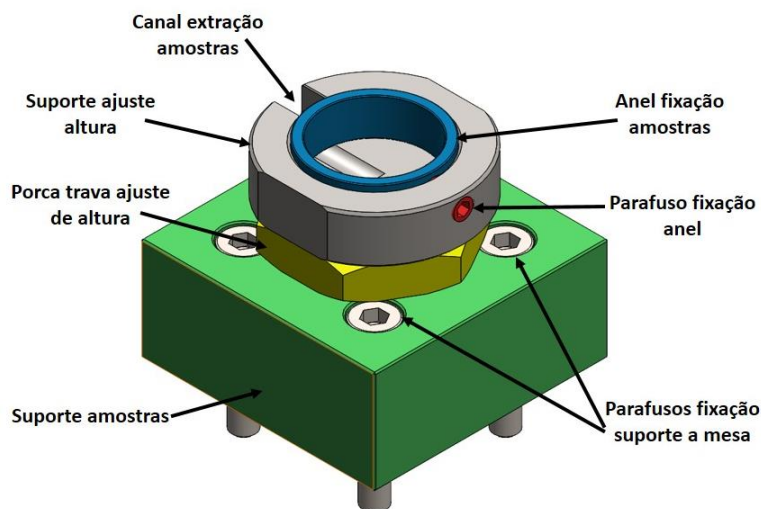
#### **4.1.1 Fixação das amostras**

As amostras são cimentadas em um anel circular de aço inoxidável através de resina ou material similar, este anel é fixado em um suporte de ajuste de altura fixado a uma base rígida, esta base rígida é fixada a mesa da máquina através de parafusos. A Figura 11 apresenta o conjunto de fixação das amostras conforme montagem a ser utilizada na máquina, cada conjunto representa um posto de trabalho, sendo necessário, portanto, oito destes. A regulagem de altura da amostra se faz necessário em virtude da dificuldade do pesquisador conseguir fixar tanto amostra como antagonista em uma dada altura e garantir que todos os postos de trabalho possuam exatamente a mesma



distância entre amostra e antagonista, pois mesmo uma pequena variação da resina durante a fixação da amostra ou antagonista resultaria em uma diferença entre amostras.

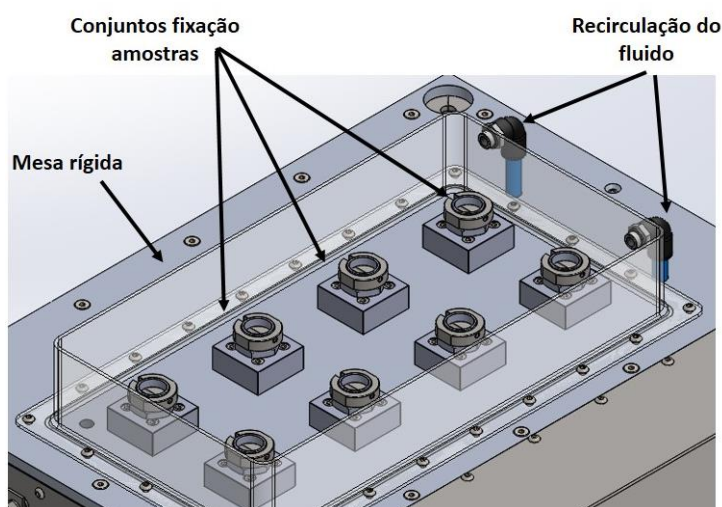
Figura 11 – Conjunto fixação amostras.



Fonte: O autor.

Esta distância entre antagonista e amostra, que pode variar entre os postos de trabalho, geraria um problema de ensaio devido a forma como a carga é aplicada e retirada, pois o sistema compreende um único motor para os oito postos de trabalho. Ao passo que um único motor garante que não haja variações de controle entre os postos, o mesmo exige que as distâncias sejam iguais, pois a variação da distância poderia ocasionar impactos na descida do antagonista contra a amostra ou mesmo alteração da distância percorrida pelo mesmo.

Figura 12 – Disposição dos conjuntos de fixação das amostras.



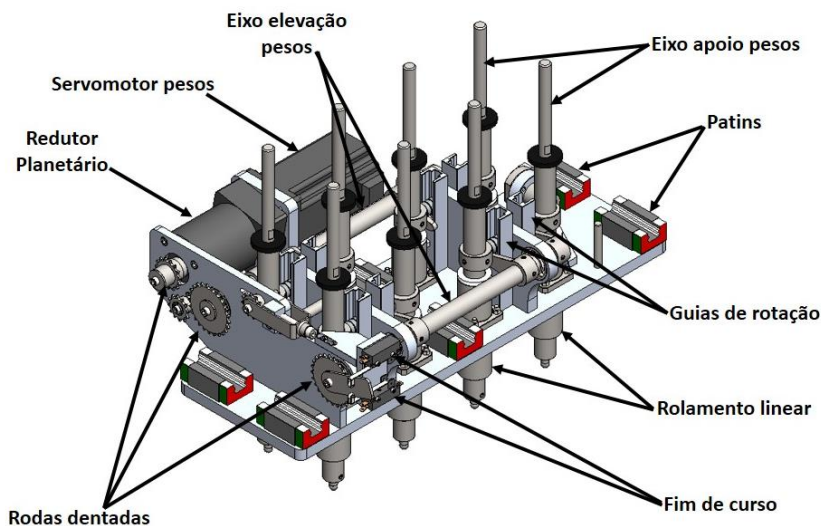
Fonte: O autor.

Desta forma, a regulagem de altura das amostras é realizada de forma simples com a utilização de um suporte roscado, desta forma ao rotacionar o suporte de ajuste de altura, o mesmo se eleva ou abaixa, dependendo do sentido de rotação. Uma contra porca é utilizada para travar o regulador na posição desejada. A Figura 12 apresenta a disposição dos oito pontos de trabalho com detalhes para os canais de recirculação de fluido lubrificante.

#### 4.1.2 Sistema de movimentação

O sistema de movimentação precisa garantir a movimentação dos oito antagonistas exatamente pela mesma distância, com mesma frequência e velocidade, desta forma optou-se por utilizar um único servomotor para a movimentação de todos os postos de trabalho. A Figura 13 apresenta o conjunto móvel responsável pela movimentação de todos os antagonistas, consistindo em uma mesa de alumínio onde estão fixados os oito conjuntos, bem como todo o sistema responsável pela elevação dos pesos.

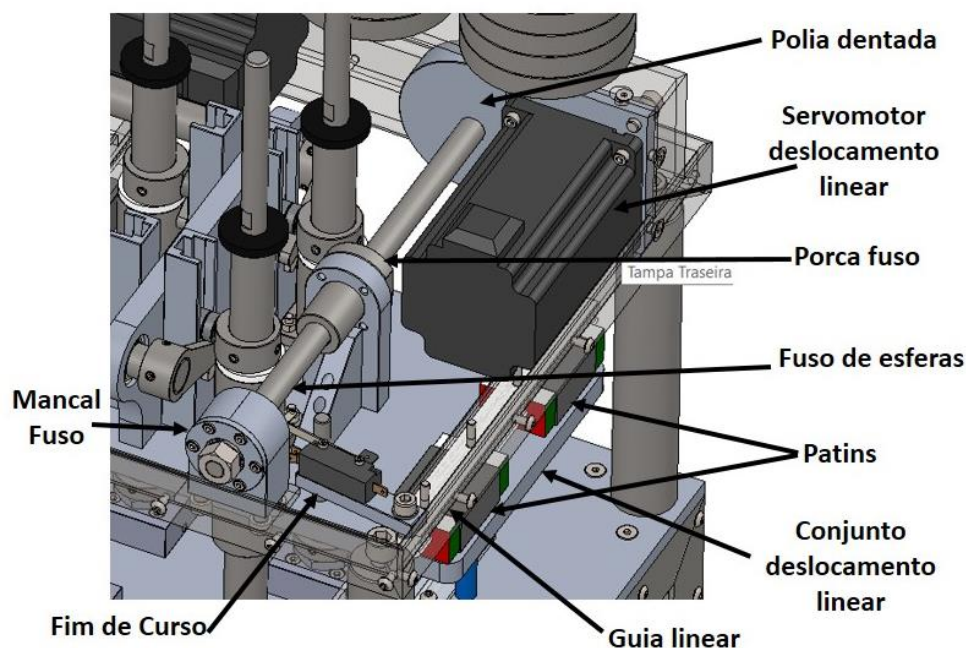
Figura 13 – Conjunto movimentação linear dos antagonistas.



Fonte: O Autor

O controle da distância de deslocamento do sistema e a velocidade de deslocamento é realizado pela unidade central através do servomotor da Figura 14, o mesmo também informa em tempo real a distância percorrida e a velocidade utilizada, com rampas de aceleração e desaceleração conforme programação pré-estabelecida.

Figura 14 – Sistema de movimentação linear.



Fonte: O Autor

O deslocamento é realizado através de um sistema de guia linear com patim, com um eixo de liberdade gerado pelo deslocamento preciso entre as guias lineares fixadas a estrutura superior da máquina e patins rolamentados fixados ao conjunto móvel. O movimento de deslocamento advém da rotação do servomotor transmitida por um sistema de polia e correia dentada para um fuso de esferas apoiado em mancais na estrutura superior, ao passo que o mesmo rotaciona aciona o deslocamento de uma porca de esferas recirculantes fixada a mesa móvel, gerando o deslocamento linear necessário para o ensaio, conforme ilustra o detalhe de montagem da Figura 14.

#### 4.1.3 Sistema de aplicação de carga

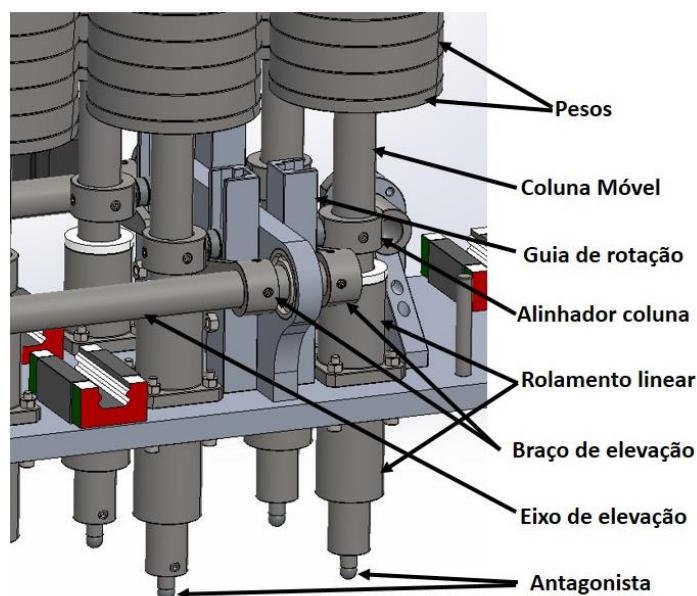
A carga deve ser aplicada de forma uniforme em todas as amostras, garantindo assim, os mesmos resultados de desgaste em todos os postos de trabalho quando utilizado o mesmo material. Para que isto seja possível optou-se pela aplicação de cargas mecânicas fixas através de pesos calibrados de 1,0 e 0,5 Kg. Os mesmos são colocados manualmente e em mesma quantidade em cada posto de trabalho, possibilitando carga máxima de 8,0 Kg em cada amostra. Este valor que atende todos os métodos selecionados e ainda possibilita uma faixa maior de utilização para testes de

fadiga por desgaste, a Figura 10 apresentou uma visão geral dos pesos colocados nas posições de ensaio.

Como a carga é aplicada mecanicamente através dos pesos, uma coluna cilíndrica foi projetada para sustentar o antagonista e dar rigidez ao mesmo, possibilitando apenas deslocamento vertical com o menor atrito possível, para não influenciar nos valores de ensaio. Desta forma dois rolamentos lineares são utilizados para guiar a coluna que possui em uma extremidade o antagonista e na outra extremidade o eixo de encaixe para os pesos, conforme ilustra a Figura 15. A fim de evitar a rotação desta coluna cilíndrica, um alinhador se desloca verticalmente por um guia de rotação, pois a rotação do antagonista é indesejada nos métodos de ensaio selecionados.

No processo de ensaio se faz necessário a aplicação da carga e a retirada da mesma no retorno do antagonista, esta retirada é realizada através da rotação do eixo de elevação que aciona um braço, este braço em contato com o rolamento do guia de rotação eleva todo o conjunto, eliminando momentaneamente o contato entre antagonista e amostra. O sistema possui dois eixos com quatro braços de elevação cada, conforme ilustrado pela Figura 13, a rotação dos eixos é gerada através de um servomotor de 8,5 N/m acoplado a um redutor planetário de redução 1:20, este redutor transmite a rotação até os dois eixos através de um sistema de rodas dentadas e corrente de rolos.

Figura 15 – Sistema de fixação antagonista e aplicação de carga.



Fonte: O Autor

O controle preciso do ângulo de rotação é possível através do encoder presente no servomotor aliado a redução oferecida pelo redutor planetário, somada a redução do sistema de transmissão por corrente. Um sistema central controla a velocidade de descida da carga, a elevação e a frequência com que o ciclo é repetido sincronizando este movimento com o deslizamento linear do antagonista provocado pelo outro servomotor acoplado ao fuso de esferas. Este sincronismo e controle preciso dos movimentos possibilita, além do atendimento dos requisitos da norma ISO/TS 14569-2, a utilização para testes de fadiga por impacto e desgaste, uma vez que é possível realizar uma descida brusca do antagonista sobre a amostra.

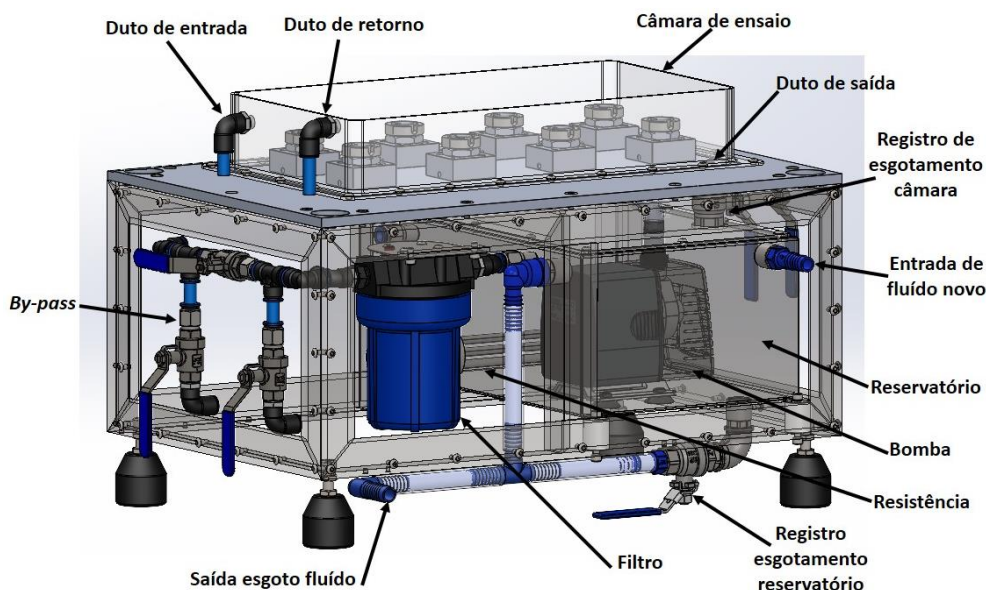
O controle da carga de ensaio não é um fator requisitado pela norma, uma vez aplicada a mesma carga de ensaio em todas as amostras o desgaste será igual em todas. A possível alteração da carga não influenciará de forma negativa no resultado dos ensaios, de maneira geral os pesquisadores utilizam cargas diferentes em seus estudos, de acordo com a variação permissível pela norma.

#### **4.1.4 Sistema de lubrificação recirculante**

Todos os métodos de ensaio contemplados pela norma necessitam de um meio lubrificante para as amostras, este meio visa simular a saliva presente na boca do paciente. Para isto são utilizadas saliva artificial ou água destilada em temperatura ambiente ou aquecida, que deve recircular entre as amostras para evitar o acúmulo de detritos gerados pelo desgaste, evitando assim um desgaste a três corpos.

Para atender a este requisito um reservatório com aquecimento por resistência elétrica de 1000 Watts será alocada na parte inferior da máquina. No mesmo será acoplado ainda um sensor de temperatura tipo “J” para medição em tempo real da temperatura do fluido. Este fluido é bombeado para a câmara de ensaio, passando antes por um filtro, este filtro eliminará os detritos gerados durante o ensaio de desgaste, evitando assim eventuais desgastes a três corpos. Se necessário um sistema de *by-pass* elimina a filtragem, possibilitando um ensaio a três corpos com recirculação. O nível de fluido na câmara de ensaio é garantido automaticamente através do duto de retorno. Para esgotamento total da câmara, um duto inferior acionado manualmente por um registro, elimina o fluido para o reservatório, conforme indicado pela Figura 16.

Figura 16 – Sistema de recirculação de fluido lubrificante.



Fonte: O Autor

#### 4.1.5 Sistema de controle

O controle do ensaio deve possibilitar a alteração dos parâmetros de ensaio sempre que necessário, tais como velocidade, temperatura e tipo de movimento realizado, além de contabilizar os ciclos de ensaio realizados e parar o dispositivo sempre que se alcançar determinado número de ciclos. Para tal controle um sistema com IHM e CLP foi estipulado, desta forma as alterações necessárias dos parâmetros serão realizadas de forma dinâmica pela interface interativa e as tomadas de decisão realizadas pelo CLP, que receberá os sinais de monitoramento dos sensores de temperatura e encoders, realizando as ações necessárias de movimentação e controle de temperatura.

O único fator limitante crítico para esta etapa de seleção dos materiais e instrumentos a serem utilizados como forma de controle foi o custo total envolvido. Os outros fatores de seleção praticamente são sanados por qualquer equipamento disponível no mercado. Estes fatores são basicamente o número de entradas e saídas disponíveis, a linguagem de programação a ser utilizada para a criação da interface de controle que contemple todas as variáveis do ensaio e os softwares necessários para a programação. Esta análise comercial ainda objetivou selecionar todos os componentes de uma mesma

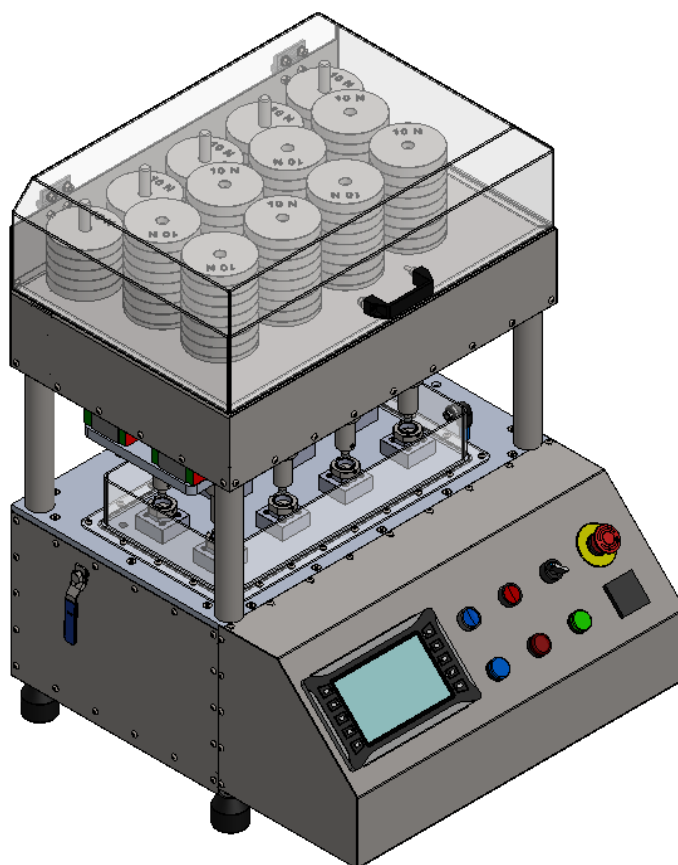
marca, indiferente da marca selecionada, pois desta forma erros de comunicação estariam minimizados.

Mediante vários orçamentos realizados, selecionou-se equipamentos da marca Brasiltec, por atenderem os requisitos pré-estabelecidos e possuírem menor preço. Desta forma foram adquiridos uma IHM 7” com porta serial, um CLP com 8 entradas e 8 saídas digitais, 02 servomotores de 8,5 N/m, um redutor planetário de redução 1:20, uma expansão analógica para o sensor de temperatura, um sensor de temperatura tipo J, além das fontes de alimentação para os servos e outra para o CLP e IHM.

#### 4.1.6 Detalhamento e listas de materiais

Após a elaboração do projeto conceitual e realizadas várias alterações no projeto, foram projetadas as proteções e carenagens que complementam a máquina e finalizados os detalhes construtivos, como as proteções em acrílico, a Figura 17 apresenta a versão final da máquina de desgaste para materiais restauradores odontológicos.

Figura 17 – Máquina de desgaste para materiais restauradores odontológicos.

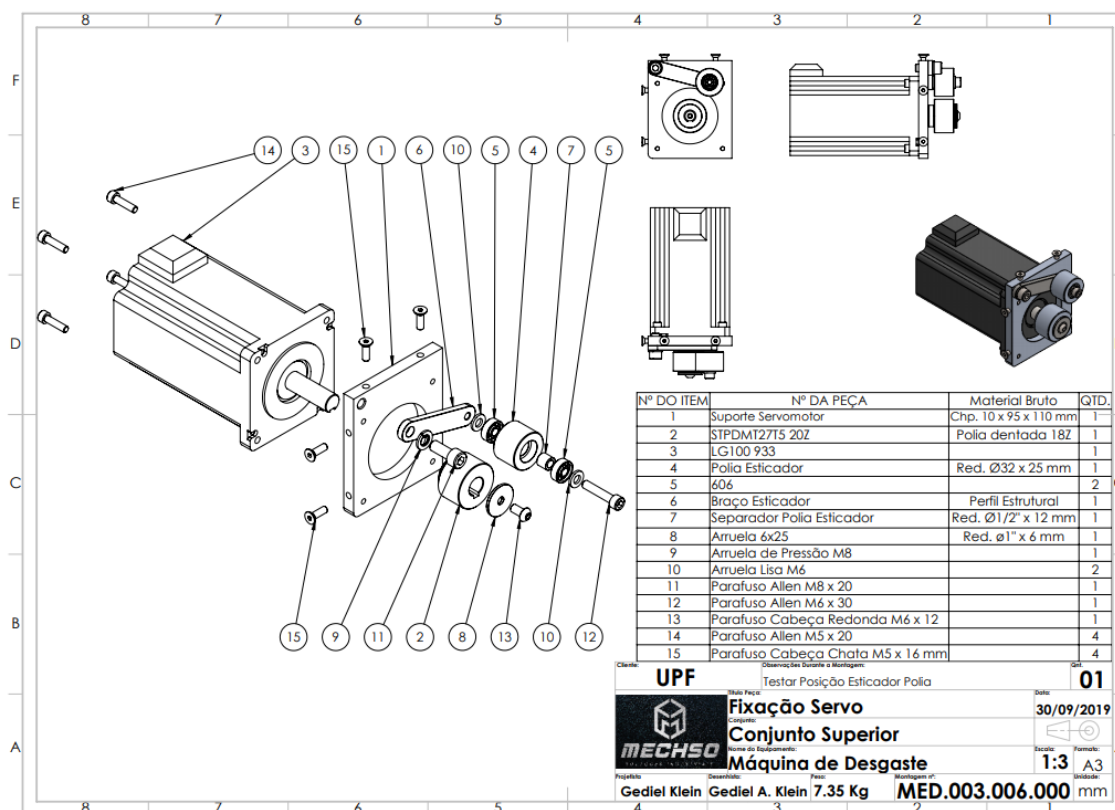


Fonte: O Autor

A partir do projeto detalhado da máquina, foi utilizado o *software Solid Works* para montagem dos conjuntos individuais, realização de testes de movimentação, inserção de elementos de máquinas, geração de listas de materiais e detalhamento de cada componente necessário para a construção da máquina. Para o corte das chapas foram gerados arquivos de corte *DWG* e encaminhados para corte a *laser*, com as listas de materiais foram realizadas as compras dos perfis estruturais e *blanques* para a usinagem das peças, além de relação de parafusos necessários para a montagem. A Figura 18 apresenta um detalhamento com lista de materiais e vista explodida do conjunto do servomotor que realiza a movimentação linear.

A partir das listas de materiais de cada conjunto foram elaboradas as listas de compras dos materiais, todos os itens foram estratificados em uma planilha do *excel* para quantificação dos custos totais de construção do dispositivo. As peças que necessitavam de usinagem foram cortadas e usinadas de acordo com especificações dos desenhos detalhados, a usinagem foi realizada manualmente e em máquinas CNC's, de acordo com a complexidade de cada uma. O Apêndice A apresenta um exemplo de desenho detalhado do guia alinhador da coluna que fixa os antagonistas.

Figura 18 – Detalhamento de conjunto esticador de elevação dos pesos.



Fonte: O Autor

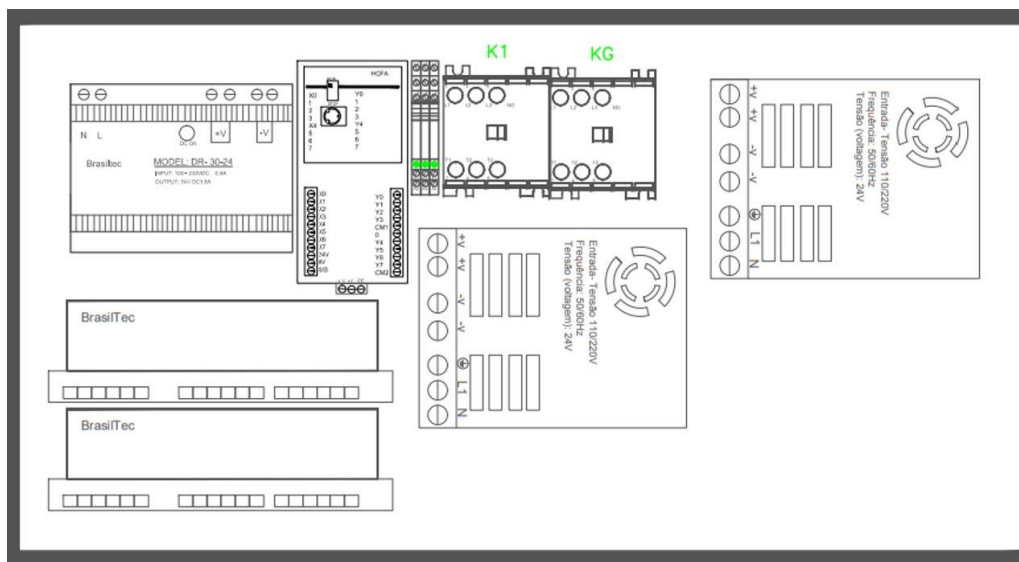


#### 4.1.7 Projeto elétrico

Para a realização do controle dos movimentos e ações que devem ser tomadas pela máquina, um sistema de controle composto por uma IHM e um CLP foi projetado. Como este sistema será apenas para o controle das ações, outros dispositivos de comando são necessários para que as ações sejam efetivamente executadas. Para tanto realizou-se o projeto elétrico no *software* AutoCAD, prevendo todas as ligações elétricas, componentes e acionamentos necessários. Iniciou-se primeiramente com o *layout* de fixação destes componentes no painel elétrico da máquina, a Figura 19 apresenta o projeto do *layout* de montagem dos componentes elétricos.

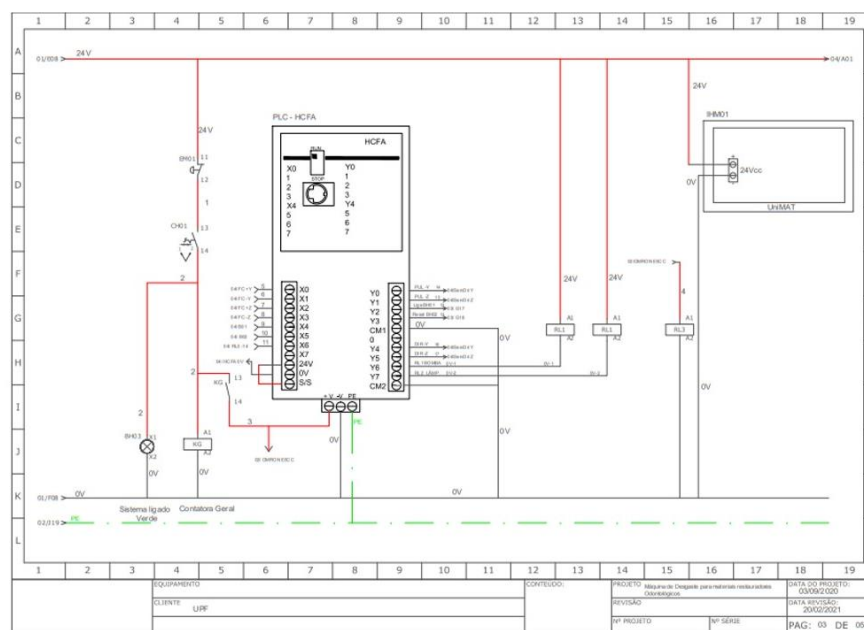
Em paralelo a definição do *layout* foi elaborado o diagrama unifilar de comando e de força da máquina, este diagrama identifica exatamente como devem ser realizadas as ligações elétricas de cada componente, para que funcionem de forma correta durante o processo de ensaio. A Figura 20 apresenta uma parte do diagrama unifilar de comando da máquina. Os diagramas completos encontram-se no Apêndice A deste trabalho. Estes diagramas possuem papel importante ao projeto da máquina, pois possibilitam a implementação de melhorias futuras ao equipamento e facilitam eventuais manutenções necessárias na parte elétrica.

Figura 19 - Layout painel elétrico



Fonte: O Autor

Figura 20 - Diagrama Unifilar



Fonte: O Autor

## 4.2 CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA

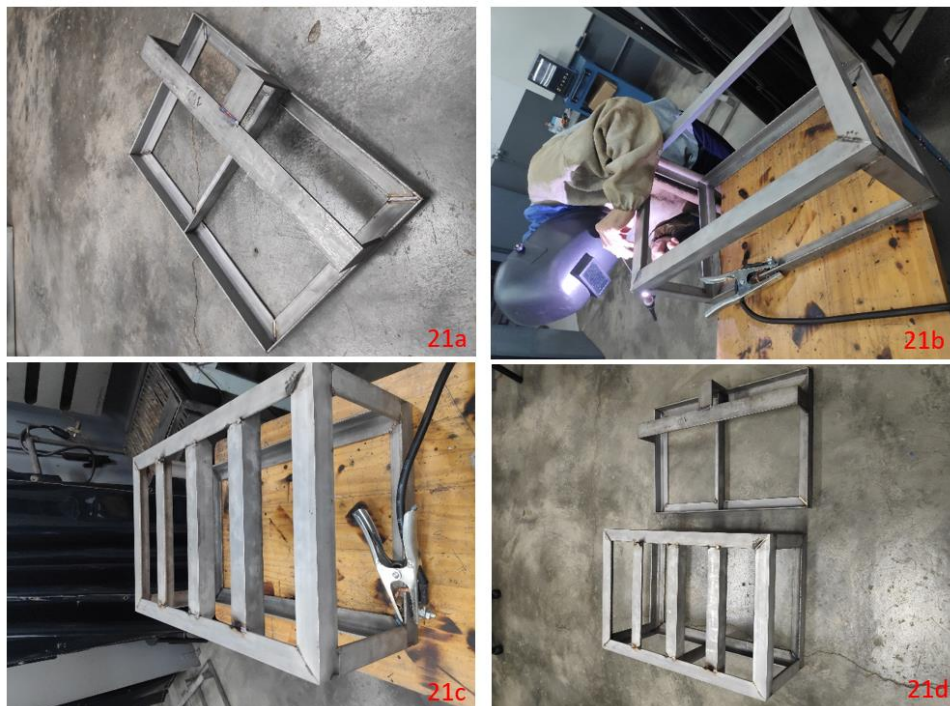
Após a realização e validação do projeto conceitual e realizado o projeto detalhado, com os devidos ajustes pertinentes, iniciou-se a fase de fabricação do protótipo. Basicamente foram utilizados os desenhos detalhados de cada peça para definir o processo de fabricação a ser utilizado. Na sequência, utilizando o desenho detalhado de montagem de cada conjunto ou subconjunto, foram realizadas as montagens individuais, subsequentemente as montagens dos conjuntos maiores e finalmente a montagem final, onde foram incluídos os componentes elétricos e hidráulicos.

### 4.2.1 Fabricação das peças

A primeira etapa da fabricação foi a realização do corte das matérias primas, adquiridas em perfis, para a fabricação dos componentes que necessitavam de usinagem, isto foi realizado utilizando uma serra fita horizontal. Após foram realizadas as etapas de preparação das peças que necessitavam de soldagem, este processo foi realizado em fresadora convencional.

Com as peças preparadas as mesmas foram soldadas utilizando o processo TIG, devido a rigidez, acabamento dos cordões de solda e a resistência oferecida as peças soldadas. As Figuras 21a, 21b, 21c e 21d apresentam o processo de soldagem da estrutura inferior e superior.

Figura 21 – Soldagem da estrutura inferior e superior



Fonte: O Autor

Após o corte da matéria prima necessária para a fabricação das peças, as mesmas foram separadas de acordo com o processo de fabricação a ser utilizado. Como visto anteriormente, a primeira etapa envolveu a soldagem dos componentes, na sequência foram realizadas as usinagens das peças soldadas e dos perfis cortados. A usinagem foi realizada preferencialmente por processos de fresagem e torneamento CNC, sempre analisando a complexidade das peças e suas tolerâncias dimensional e geométrica. Peças de baixa complexidade foram usinadas por processos de fresagem, torneamento e furação convencional. As Figuras 22 apresentam a fresagem CNC da estrutura inferior (22a), mesa móvel (22b), mesa fixa (22c) e a mesa móvel após finalizado o processo de fresagem CNC (22d).

Logo após a usinagem das peças, as mesmas foram inspecionadas dimensionalmente para garantir que irão montar e funcionar conforme projetado. As roscas necessárias para o encaixe dos parafusos que não foram usinadas pelo processo

CNC, foram usinadas manualmente com machos de roscar. Uma inspeção visual foi realizada ao final, identificando e corrigindo a falta de chanfros, polimentos e demais acabamentos necessários em cada peça.

Figura 22 - Fresagem CNC das peças



Fonte: O Autor

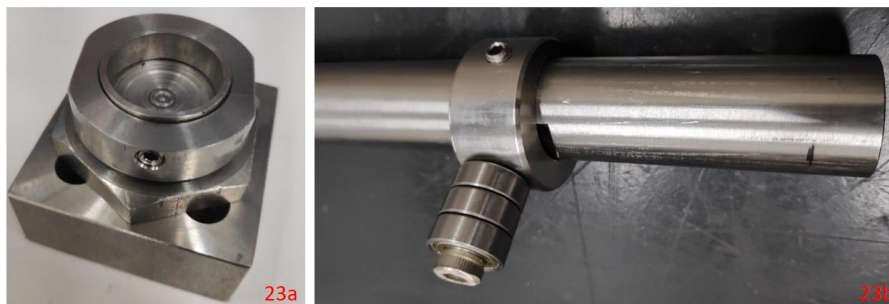
#### 4.2.2 Montagem dos conjuntos

Com as peças usinadas e os elementos de máquina necessários para a montagem de cada conjunto adquiridos, foi iniciada a montagem dos conjuntos mecânicos. Esta montagem foi realizada primeiramente dos subconjuntos, pois os mesmos eram necessários para as montagens posteriores. Durante cada montagem as necessidades de lubrificação e ajustes foram realizadas, testes simples de funcionamento foram feitos nos conjuntos que possuíam movimentos, sanando problemas futuros de movimentação. A Figura 23a apresenta a montagem do conjunto de fixação das amostras e a Figura 23b apresenta a montagem do eixo de elevação dos pesos.

Após a montagem dos subconjuntos, foi realizada a montagem dos conjuntos principais da máquina de ensaio para materiais restauradores odontológicos. Esta montagem foi dividida em duas etapas, uma vez que existem dois grandes conjuntos principais, o conjunto superior e o conjunto inferior. A montagem inferior foi iniciada pela fixação da mesa fixa à estrutura inferior, os conjuntos de fixação das amostras

foram fixados na mesa fixa e posteriormente o reservatório de ensaio. Na parte interna do conjunto inferior foram fixados o conjunto de reservatório de fluido, o sistema de filtragem e o conjunto do by-pass, já fixado a proteção lateral direita. A Figura 24 apresenta uma visão traseira do conjunto inferior montado.

Figura 23 – Montagem dos subconjuntos



Fonte: O autor

A montagem do conjunto superior foi realizada em várias etapas distintas, uma vez que vários subconjuntos são necessários para a montagem final do mesmo. Primeiramente as guias lineares foram fixadas a estrutura superior e alinhadas, na sequência a mesa móvel com os patins devidamente fixados foi encaixada nas guias. Testes de movimentação foram realizados manualmente a fim de garantir uma perfeita movimentação do sistema.

Figura 24 - Visão traseira do conjunto inferior

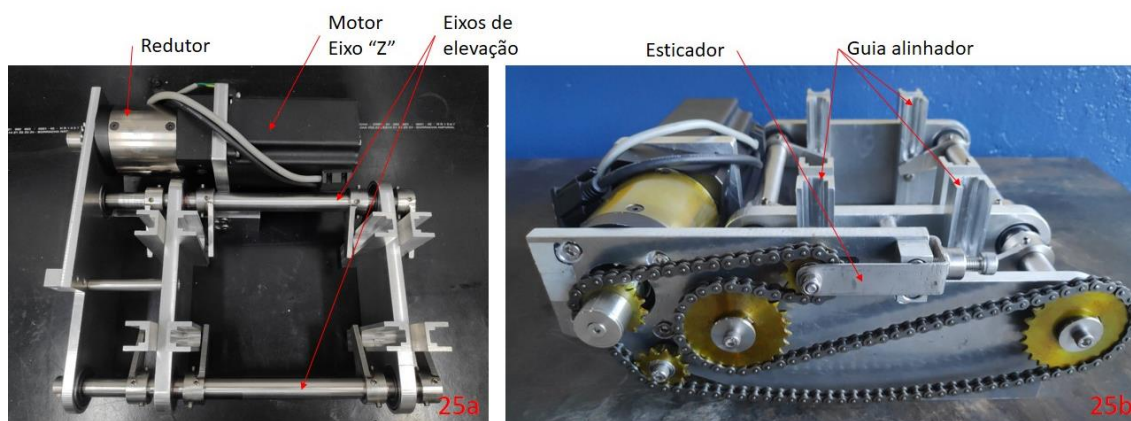


Fonte: O Autor

O conjunto de elevação dos pesos e antagonistas foi montado em duas etapas, primeiramente os eixos de elevação foram montados em seus suportes, juntamente com os braços de elevação dos pesos, as guias dos antagonistas e os suportes do servomotor

e redutor, a Figura 25a apresenta esta montagem sendo realizada. Posteriormente foram montadas e alinhadas as rodas dentadas nos eixos, posicionada a corrente que movimenta os eixos e realizados os testes de funcionamento deste conjunto. A Figura 25b apresenta uma visão geral do conjunto montado. Na segunda etapa desta montagem, o conjunto da Figura 25b foi fixado a mesa móvel.

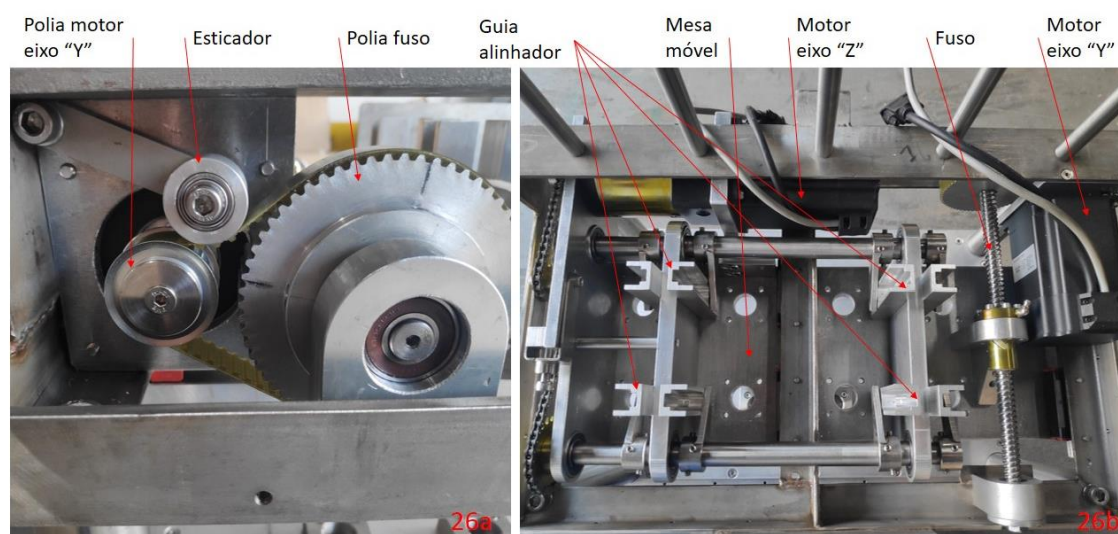
Figura 25 - Conjunto de elevação dos pesos e antagonistas



Fonte: O Autor

Posteriormente o conjunto de movimentação linear da mesa móvel foi montado e fixado a estrutura superior, o mesmo é composto pelo servomotor que aciona o fuso de esferas através de uma redução de polias e correia dentada. O esticador da correia foi fixado e regulada a tensão na correia, conforme ilustra a Figura 26a. A Figura 26b apresenta uma visão geral da mesa móvel montada.

Figura 26 - Visão geral da mesa móvel



Fonte: O Autor

Com os principais subconjuntos montados na estrutura superior, os rolamentos lineares, responsáveis pelo alinhamento e movimentação linear dos eixos de elevação dos pesos, foram montados e alinhados individualmente, de forma a garantir o menor atrito durante a elevação dos pesos e antagonistas. Com os rolamentos lineares montados, os eixos de elevação dos pesos foram encaixados, os suportes dos fim de curso montados e por fim os fim de curso posicionados e regulados. A Figura 27 apresenta uma visão geral do conjunto superior.

O conjunto superior foi montado sob o conjunto inferior através de quatro hastes de ligação, esta última etapa permitiu a montagem de todo o sistema elétrico e eventuais regulagens necessárias para o funcionamento da máquina.

Figura 27 - Visão geral do conjunto superior



Fonte: O autor

### 4.2.3 Montagem elétrica

Com os componentes mecânicos montados e testados, foi realizada a montagem do painel elétrico que comportará todos os componentes de controle da máquina. Primeiramente os componentes elétricos foram fixados ao painel de acordo com o layout do projeto elétrico, a Figura 28a ilustra o painel com os componentes montados.

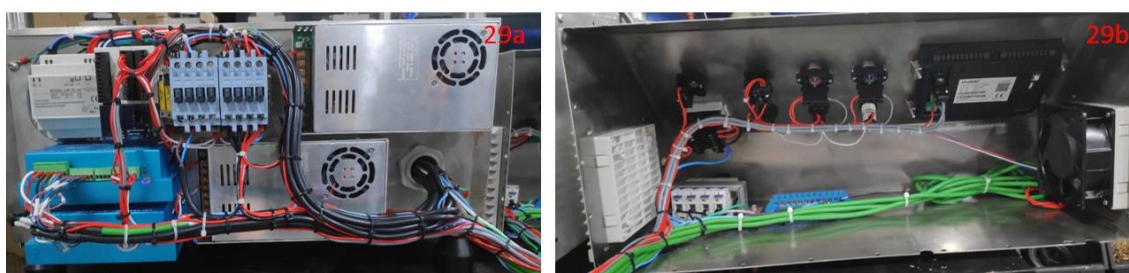
Figura 28 - Montagem painel elétrico



Fonte: O Autor

Com os componentes fixados ao painel elétrico, foram realizadas as ligações elétricas de todos os componentes conforme projeto elétrico. Inicialmente foram realizadas as ligações de força, que compreendem a alimentação dos componentes elétricos, tais como motores, fontes, bombas, resistências e iluminação. Após foram realizadas as ligações de comando, responsáveis pela lógica de acionamento de todo o sistema. A Figura 29a apresenta a ligação dos componentes de força e a Figura 29b apresenta a ligação dos componentes de comando.

Figura 29 - Ligação elétrica dos componentes



Fonte: O Autor

Com as ligações realizadas, um teste rápido de funcionamento foi executado a fim de garantir que nenhum cabo elétrico estivesse ligado de maneira incorreta. Com todo o sistema funcionando de acordo com o projeto elétrico, os cabos foram organizados e cintados conforme ilustram as Figuras 29a e 29b.

#### 4.2.4 Montagem Final

Ao final das montagens mecânica e elétrica, foi realizada a montagem do sistema hidráulico e das proteções da máquina. O sistema hidráulico é compreendido pelo reservatório de fluido, filtro, *by-pass* e câmara de ensaio, que foram interligados



hidraulicamente por mangueiras com engate rápido, conforme projeto. As proteções laterais foram parafusadas, a proteção superior e a câmara de ensaio, fabricadas em policarbonato, foram instaladas, conforme ilustra a Figura 30.

Figura 30 - Máquina de Ensaio de Desgaste



Fonte: O Autor

#### 4.2.5 Custos de Projeto

O projeto otimizado de todos os componentes garantiu a execução de um dispositivo funcional a um custo reduzido, comparando-se com os valores dos equipamentos importados disponíveis no mercado, o custo final ficou muito aquém dos referidos equipamentos. A Tabela 4 ilustra os custos totais de fabricação da máquina.

Tabela 4 - Custos Totais de Fabricação

<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo</b>
01	Componentes elétricos adquiridos pela UPF	12 und	R\$ 8492,71
02	Materiais adquiridos por doação	443 und	R\$ 13723,18
03	Materiais adquiridos com recursos próprios	135 und	R\$ 9256,11
04	Horas de fabricação e montagem	296 hs	R\$ 8880,00
<b>05</b>	<b>Custo Total da Máquina</b>		<b>R\$ 40352,00</b>

Fonte: O Autor

#### 4.3 TESTES DE VALIDAÇÃO

A validação do sistema de aplicação de carga foi realizada em duas etapas, primeiramente todos os 8 conjuntos responsáveis por sustentar os antagonistas foram pesados em balança de precisão e seus pesos foram padronizados em 1,2 Kg. Da mesma forma os pesos padrão foram pesados e seus pesos calibrados em 0,5 e 1,0 Kg, garantindo que independente do peso utilizado a carga de ensaio será sempre a mesma nos 8 postos de trabalho. A Tabela 5 apresenta a medição dos pesos padrão e dos eixos de elevação.

Tabela 5 - Medição de carga dos eixos e pesos padrão

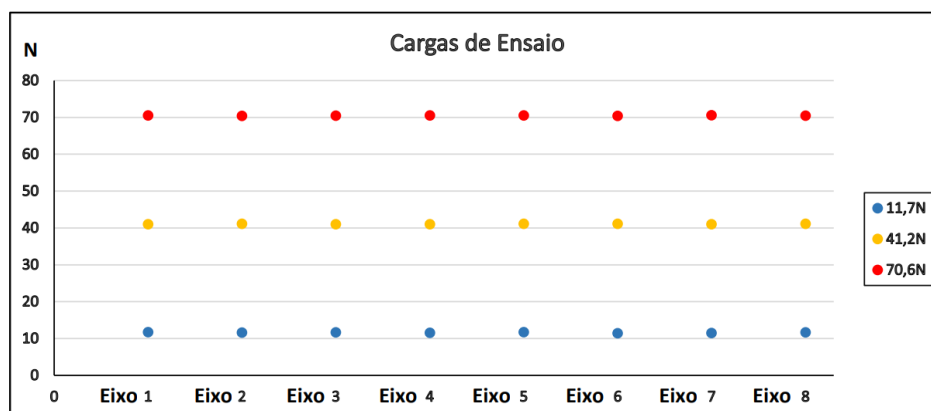
<b>Medições (g)</b>	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>	<b>Eixo 4</b>	<b>Eixo 5</b>	<b>Eixo 6</b>	<b>Eixo 7</b>	<b>Eixo 8</b>	<b>Peso 10 N</b>	<b>Peso 5 N</b>
<b>Medição 1</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1000	500
<b>Medição 2</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1000	500
<b>Medição 3</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1000	500

Fonte: O Autor

A segunda etapa foi realizada após a montagem da máquina, com os pesos montados nos 8 postos de trabalho. Uma célula de carga foi utilizada para verificar a real carga de ensaio aplicada em cada posto de trabalho. As medições foram realizadas apenas com o "Eixo Elevação Pesos", onde a carga mínima de ensaio é de 1,2 Kg, com adição de 3,0 Kg e com adição de 6,0 Kg ao sistema de aplicação de carga. Estes valores foram escolhidos considerando-se uma carga mínima de ensaio, carga média e carga máxima de ensaio. Os valores medidos encontram-se na Figura 31, que traz a média entre os 8 postos de trabalho, evidenciando que a diferença encontrada não apresenta influência significativa na taxa de desgaste do ensaio a ser realizado, a norma ISO/TS 14569-2 não apresenta valores de tolerância para a carga de ensaio, desta forma

não havendo variação da carga de ensaio entre os postos de trabalho, o desgaste será homogêneo.

Figura 31 - Verificação da carga de ensaio



Fonte: O Autor

As medições de deslocamento dos eixos “Y” e “Z” foram realizadas afim de evidenciar que o deslocamento programado no sistema está sendo efetivamente realizado pelo antagonista. Desta forma definiu-se o valor de 1,0 mm como referência de deslocamento para os dois eixos, nos dois sentidos de movimentação. Cada motor possui uma configuração de quantidade de pulsos diferente para cada movimento realizado, ou seja, o motor do eixo “Y” precisa de 240 pulsos para deslocar transversalmente o antagonista em 1,0 mm, já o motor do eixo “Z” precisa de apenas 94 pulsos para elevar o antagonista em 1,0 mm. Esta informação é utilizada pelo sistema de controle toda vez que for selecionado algum valor de deslocamento diferente destes, com isso o número de pulsos se mantém proporcional ao deslocamento desejado.

A medição do deslocamento realizado pelo eixo “Z”, responsável pela aplicação e retirada da carga, foi realizada utilizando um relógio comparador de resolução 0,01 mm. Esta medição foi realizada nos 8 postos de trabalho, garantindo-se assim que todos estejam se elevando e abaixando 1,0 mm, foram realizados 4 deslocamentos, totalizando 4,0 mm de deslocamento vertical.

Tabela 6 - Medição de deslocamento do eixo "Z"

Medições (mm)	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6	Eixo 7	Eixo 8
Medição 1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Medição 2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Medição 3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Medição 4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Fonte: O Autor

Conforme a Tabela 6, o valor de deslocamento se mantém padrão à medida que a coluna sofre elevação, mesmo se houvesse variação do valor de seu deslocamento, isso em nada influenciaria no processo de ensaio de desgaste, uma vez que o objetivo dos eixos de elevação é apenas aplicar e retirar a carga de ensaio.

O deslocamento do eixo “Y” foi medido com o auxílio de um relógio comparador de resolução 0,01 mm, realizando-se medições de deslocamento consecutivas da mesa móvel. Como os 8 eixos de elevação estão fixados nesta mesa, o deslocamento será igual para todos. A Tabela 7 apresenta as medições de deslocamento realizadas, observa-se o deslocamento de 1,0 mm entre as medições, totalizando um deslocamento total de 6,0 mm sem apresentar variação significativa entre os pontos medidos.

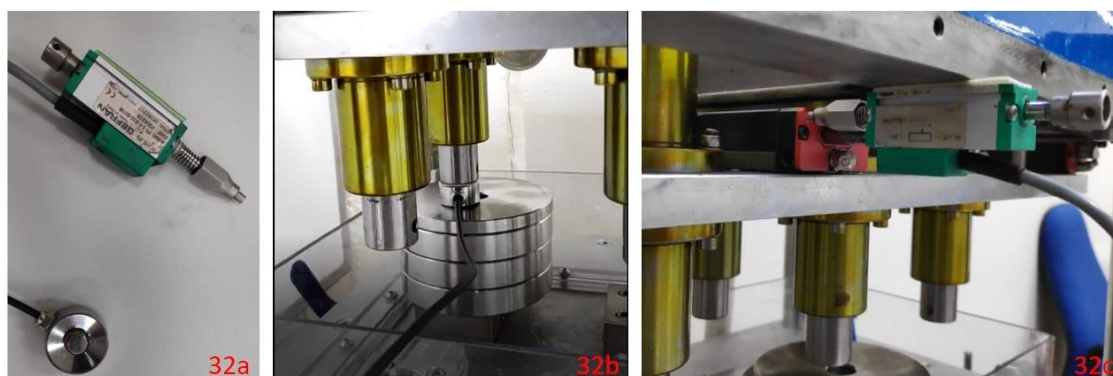
Tabela 7 - Medição de deslocamento do Eixo "Y"

Medições	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5	Medição 6
Valores (mm)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0

Fonte: O Autor

Após a realização das medições de carga e deslocamento de forma individual, foi realizado a medição do deslocamento e aplicação da carga de forma simultânea. Para isto, a célula de carga foi fixada no “Eixo de elevação dos pesos” de forma a receber a carga aplicada durante o deslocamento de ensaio, esta carga é aplicada no ensaio apenas em um sentido de deslocamento do eixo “Y”, pois no retorno deste movimento a carga deve ser retirada da amostra ensaiada.

Figura 32 - Célula de carga e sensor LVDT



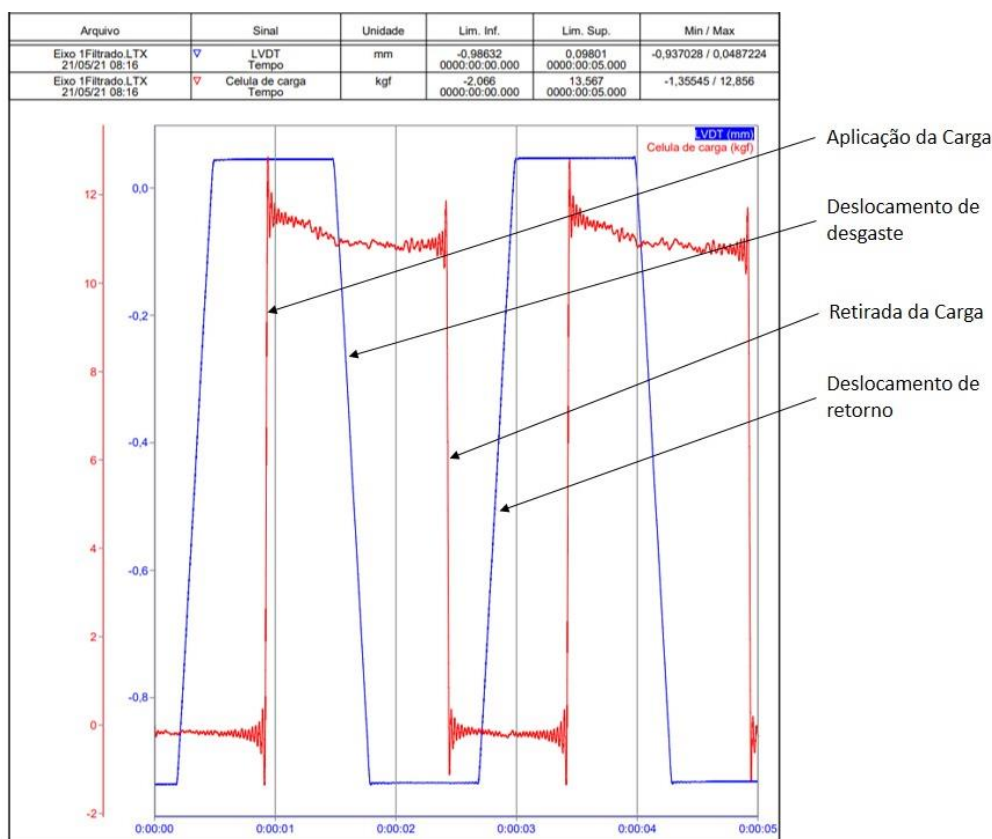
Fonte: O Autor

A medição de deslocamento do eixo “Y” foi realizada com o auxílio de um sensor LVDT, que coleta o exato deslocamento realizado pela “Mesa móvel” da

máquina. Como todos os “Eixos de elevação dos pesos” estão fixados nesta mesa, os mesmos realizam o mesmo deslocamento. O objetivo desta medição é evidenciar os movimentos realizados durante o ensaio, podemos identificar na Figura 32 o posicionamento da célula de carga e do sensor LVDT para as medições.

O procedimento consiste em aplicar a carga através do deslocamento do eixo “Z” para baixo, deslocamento de ensaio pelo comprimento de 1,0 mm através do eixo “Y”, retirada da carga pela elevação do eixo “Z” e por final retorno do eixo “Y” até a posição inicial. Estes deslocamentos representam um ciclo completo, onde o mesmo é repetido por 1000 vezes e posteriormente mais 9000 vezes, conforme orientações da norma ISO TS14569/4 método Newcastle. A Figura 33 apresenta a medição com a carga mínima de 1,15 Kg.

Figura 33 - Medições de deslocamento x carga do eixo suporte antagonista

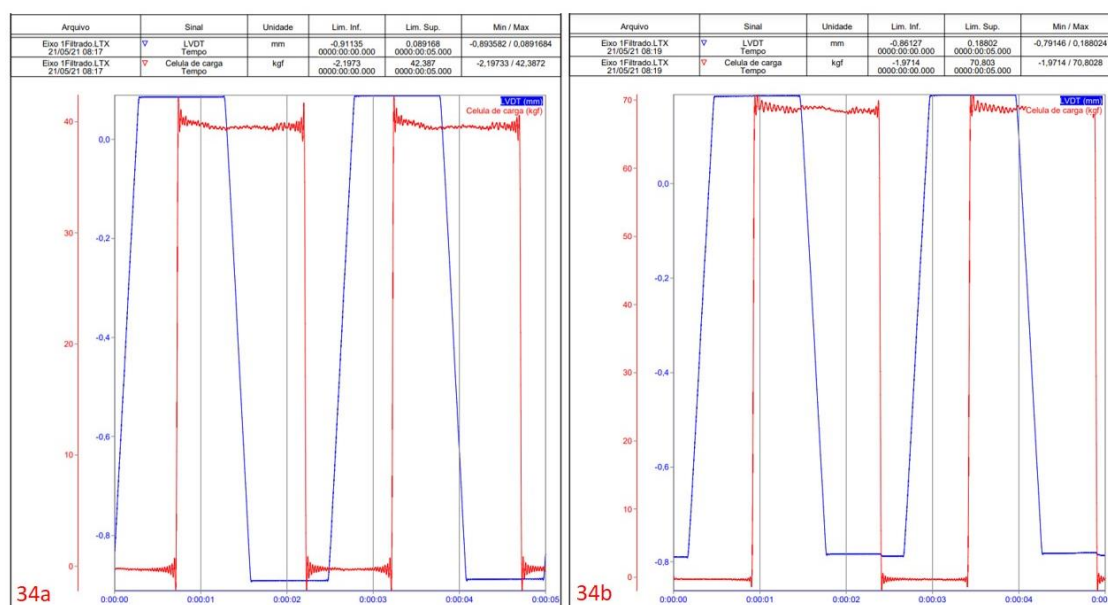


Fonte: O Autor

Conforme ilustrado, os movimentos são realizados de acordo com o solicitado pela norma ISO TS14569/4 método *Newcastle*, a força aplicada sobre a amostra mantém uma regularidade, variando apenas quando há a inserção de mais pesos padrão. A Figura 34a apresenta o gráfico de deslocamento x carga com adição de 3,0 kg e a

Figura 34b com adição de 6,0 kg. O deslocamento medido pelo sensor LVDT, que irá representar a pista de desgaste na amostra, se mantém exatamente igual em todas as situações testadas, garantindo que tanto força sobre amostra, quanto pista de desgaste mantém um padrão para os 8 postos de trabalho.

Figura 34 - Medições de carga x deslocamento do eixo suporte antagonista com adição de 3,0 kg (a) e com adição de 6,0 kg (b).



Fonte: O Autor

Como última etapa foram verificados o sistema hidráulico da máquina, basicamente foram inspecionados o correto funcionamento do sistema de bombeamento e filtragem de fluido, bem como de drenagem do fluido do reservatório de ensaio e do reservatório de aquecimento. Nesta mesma etapa foi testado o sistema de aquecimento do fluido de ensaio, o teste consistiu em medir o tempo que o fluido leva para atingir a temperatura de ensaio. Utilizando um cronometro, constatou-se que o sistema leva 5 minutos para aquecer todo o fluido do reservatório, decorrido este tempo iniciou-se o bombeamento de fluido para a câmara de ensaio, realizando-se a medição da temperatura do fluido. Com estes dados foi configurado o controlador de temperatura, de forma a garantir que a temperatura sempre se mantenha constante na câmara de ensaio.

## 5 CONCLUSÕES

Podemos concluir que o desenvolvimento de uma máquina de ensaio de desgaste para materiais restauradores odontológicos se mostrou adequado as expectativas geradas. O estudo dos mecanismos de desgaste dental e dos métodos de avaliação deste desgaste foram imprescindíveis para a realização de um projeto mais assertivo.

Através do projeto foi possível avaliar e considerar fatores importantes ao projeto mecânico, mas que não são comuns a engenharia. Com os mecanismos de desgaste conhecidos, tornou-se fácil projetar a cinemática do processo de desgaste que a máquina deveria executar.

A utilização de materiais inertes a agentes corrosivos, principalmente o SAE304, garantiu a estabilidade química necessária para não interferir nos mecanismos de desgaste, garantindo assim que o único método de desgaste existente seja a dois corpos e não um eventual desgaste químico.

Como os dois movimentos utilizados na máquina são produzidos por servomotores, a mesma se torna de fácil arranjo para diferentes variáveis de ensaio, possibilitando ainda atender diferentes variações da norma ISO TS14569/2 ou ainda outras normas de ensaio de desgaste para materiais dentários.

A aplicação de carga de ensaio através de pesos calibrados extingue qualquer erro de pressão nos diferentes postos de trabalho, desta forma a realização de ensaios simultâneos com os mesmos parâmetros é garantida, promovendo agilidade no estudo de desgaste de materiais submetidos ao ensaio.

A utilização de IHM para controle da máquina possibilita agilidade na seleção e modificação de parâmetros de ensaio.

O estilo compacto da máquina aliado a ergonomia e o design harmônico, possibilita a utilização da mesma em laboratórios odontológicos, sem a necessidade de grandes espaços ou estruturas específicas para sua instalação.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Todo trabalho por mais completo que possa estar, sempre deixe em aberto novas possibilidades de pesquisa, tanto para complementação quanto para avanço dos estudos em dada área. As sugestões para trabalhos futuros abaixo listadas, buscam complementar o trabalho, de forma a consolidar a relevância até então já justificada. As mesmas encontram-se abaixo elencadas:

- Gerar programação da interface do usuário que atenda os 3 métodos selecionados;
- Realizar ensaios de desgaste com material padrão para avaliar a repetibilidade de ensaio;
- Realizar estudo de parâmetros e acessórios necessários para a realização de ensaio de fadiga.



## REFERÊNCIAS

AMER, Rafat et al. Three-body wear potential of dental yttrium-stabilized zirconia ceramic after grinding, polishing, and glazing treatments. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, [s.l.], v. 112, n. 5, p.1151-1155, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.12.021>.

ANUSAVICE, Kenneth J.; SHEN, Chiayi; RAWLS, H. Ralph; PHILLIPS, Ralph W. (Coord) (Coord.) (Coord.). **Phillips materiais dentários**. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. xvii, 572 p. ISBN 9788535268188.

BAHÇE, Erkan; EMIR, Ender. Investigation of wear of ultra high molecular weight polyethylene in a soft tissue behaviour knee joint prosthesis wear test simulator. **Journal of Materials Research and Technology**, [s.l.], v. 8, n. 5, p.4642-4650, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.08.008>.

BAIG, M.; COOK, R.B.; PRATTEN, J.; WOOD, R.. Evolution of wear on enamel caused by tooth brushing with abrasive toothpaste slurries. **Wear**, [S.L.], p. 580-586, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2020.203580>.

BARKMEIER WW, Latta MA, Erickson RL, Wilwerding TM. **Wear simulation of resin composites and the relationship to clinical wear**. Operative Dentistry 2008;33:177–82.

BARON, C.; HOUCHMAND-CUNY, M.; ENKEL, B.; LOPEZ-CAZAUX, S.. Prevalence of dental anomalies in French orthodontic patients: a retrospective study. : A retrospective study. **Archives de Pédiatrie**, [s.l.], v. 25, n. 7, p. 426-430, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arcped.2018.07.002>.

BERTOLINI, R. et al. Influence of the machining cooling strategies on the dental tribocorrosion behaviour of wrought and additive manufactured Ti6Al4V. **Biotribology**, [s.l.], v. 11, p.60-68, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotri.2017.03.002>.

BOETTCHER, Kathrin et al. Quantification of cartilage wear morphologies in unidirectional sliding experiments: Influence of different macromolecular lubricants. **Biotribology**, [s.l.], v. 12, p.43-51, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotri.2017.06.002>.

BONA, Álvaro Della. **Adesão às cerâmicas: evidências científicas para o uso clínico**. São Paulo: Artes Médicas, 2009. 252 p. + óculos 3D. ISBN 9788536700946.

BORRERO-LOPEZ, Oscar; PAJARES, Antonia; CONSTANTINO, Paul J.; LAWN, Brian R.. A model for predicting wear rates in tooth enamel. **Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, [S.L.], v. 37, p. 226-234, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2014.05.023>.

BORRERO-LOPEZ, Oscar; CONSTANTINO, Paul J.; LAWN, Brian R.. Role of particulate concentration in tooth wear. **Journal Of The Mechanical Behavior Of**

**Biomedical Materials**, [S.L.], v. 80, p. 77-80, abr. 2018. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.01.024>

BORRERO-LOPEZ, Oscar et al. Wear of ceramic-based dental materials. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, [s.l.], v. 92, p.144-151, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.01.009>.

CHAI, Herzl; WANG, Xiaohong; SUN, Jirun. Miniature specimens for fracture toughness evaluation of dental resin composites. **Dental Materials**, [s.l.], v. 35, n. 2, p.283-291, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2018.11.023>.

CHAILERTVANITKUL, Pattama et al. Bacterial and Dye Penetration through Interim Restorations Used During Endodontic Treatment of Molar Teeth. **Journal Of Endodontics**, [s.l.], v. 35, n. 7, p.1017-1022, jul. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2009.04.019>.

CZICHOS H, Habig KH. **Tribologie Handbuch** – Reibung und Verschleiß. Braunschweig: Vieweg Verlag; 1992.

CUEVA, E.G. **Introdução ao Desgaste**. Material de Aula. Universidade de Brasília. Extraído do site: <https://www.passeidireto.com/arquivo/43636995/tribologia-desgaste>. Acesso em abril 2020

ESTEVES, P.j. et al. Effect of ball rotation speed on wear coefficient and particle behavior in micro-abrasive wear tests. **Wear**, [s.l.], v. 426-427, p.137-141, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.102>.

GUO, Jiawen et al. Investigation of the time-dependent wear behavior of veneering ceramic in porcelain fused to metal crowns during chewing simulations. **Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, [s.l.], v. 40, p.23-32, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2014.08.006>.

HAMBURGER, J.t. et al. Indirect restorations for severe tooth wear: Fracture risk and layer thickness. **Journal of Dentistry**, [s.l.], v. 42, n. 4, p.413-418, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2013.10.003>.

HEINTZE, S. How to qualify and validate wear simulation devices and methods. **Dental Materials**, [s.l.], v. 22, n. 8, p.712-734, ago. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2006.02.002>.

HEINTZE, S.d. et al. Wear of ceramic and antagonist—A systematic evaluation of influencing factors in vitro. **Dental Materials**, [s.l.], v. 24, n. 4, p.433-449, abr. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2007.06.016>.

HEINTZE, Siegwad D.; REICHL, Franz-xaver; HICKEL, Reinhard. Wear of dental materials: Clinical significance and laboratory wear simulation methods —A review. **Dental Materials Journal**, [s.l.], v. 38, n. 3, p.343-353, 29 maio 2019. Japanese Society for Dental Materials and Devices. <http://dx.doi.org/10.4012/dmj.2018-140>.

HO, Ting Khee; SATTERTHWAITTE, Julian D.; SILIKAS, Nikolaos. The effect of chewing simulation on surface roughness of resin composite when opposed by zirconia ceramic and lithium disilicate ceramic. **Dental Materials**, [s.l.], v. 34, n. 2, p.15-24, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2017.11.014>.

HUTCHINGS, I.M., **Tribology: friction and wear of engineering materials**, Edward Arnold, Great Britain, 273p., 1992

IMAI, Arisa et al. Interrelation among the handling, mechanical, and wear properties of the newly developed flowable resin composites. **Journal of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials**, [s.l.], v. 89, p.72-80, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.09.019>.

JONGGAR, Christine et al. Sleep bruxism in individuals with and without attrition-type tooth wear: An exploratory matched case-control electromyographic study. **Journal Of Dentistry**, [s.l.], v. 43, n. 12, p.1504-1510, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2015.10.002>.

KALAYKOVA, Stanimira I.; STERENBORG, Bernadette A.M.M.; LOOMANS, Bas A.C.; HUYSMANS, Marie-Charlotte D.N.J.M.. Impact of restorative treatment of tooth wear upon masticatory performance. **Journal Of Dentistry**, [S.L.], v. 88, p. 103159-103165, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2019.06.006>.

KAIZER, Marina R. et al. The progressive wear and abrasiveness of novel graded glass/zirconia materials relative to their dental ceramic counterparts. **Dental Materials**, [s.l.], v. 35, n. 5, p.763-771, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2019.02.022>.

KESSLER, Andreas; KAPOR, Svetlana; ERDELT, Kurt; HICKEL, Reinhard; EDELHOFF, Daniel; SYREK, Andreas; GÜTH, Jan-Frederik; KÜHNISCH, Jan. Two-body wear and fracture behaviour of an experimental paediatric composite crown in comparison to zirconia and stainless steel crowns dependent on the cementation mode. **Dental Materials**, [S.L.], v. 37, n. 2, p. 264-271, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2020.11.010>.

LAWSON, Nathaniel C.; BANSAL, Ritika; BURGESS, John O.. Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. **Dental Materials**, [s.l.], v. 32, n. 11, p.275-283, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.08.222>.

LEI, Lei; ZHENG, Liang; XIAO, Heng; ZHENG, Jing; ZHOU, Zhongrong. Wear mechanism of human tooth enamel: the role of interfacial protein bonding between ha crystals. **Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials**, [S.L.], v. 110, p. 103-108, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103845>.

LI, Hua; RAMEZANI, Maziar; CHEN, Zhan Wen. Dry sliding wear performance and behaviour of powder bed fusion processed Ti–6Al–4V alloy. **Wear**, [s.l.], v. 440-441, p. 203-215, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2019.203103>.

LIN, Cheng-wei et al. In vitro wear tests of the dual-layer grid blasting-plasma polymerized superhydrophobic coatings on stainless steel orthodontic substrates. **Thin Solid Films**, [s.l.], v. 687, p.137-145, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2019.137464>.

LOPES, Sandra Inês. **Revista Saúde: devolvendo seu sorriso**. Devolvendo seu sorriso. 2021. Disponível em: <https://www.revistasaudenews.com.br/post/133>. Acesso em: 31 maio 2021.

MACHADO, Alana Cristina; BEZERRA, Sávio José Cardoso; JOÃO-SOUZA, Samira Helena; CAETANO, Tainá Mautone; RUSSO, Luciano Citadini; CARVALHO, Thiago Saads; SCARAMUCCI, Taís. Using fluoride mouthrinses before or after toothbrushing: effect on erosive tooth wear. **Archives Of Oral Biology**, [S.L.], v. 108, p. 520-527, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.archoralbio.2019.104520>.

MISHINA, Hiroshi; HASE, Alan. Effect of the adhesion force on the equation of adhesive wear and the generation process of wear elements in adhesive wear of metals. **Wear**, [s.l.], v. 432-433, p. 202-210, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2019.202936>.

MUTS, Erik-jan; VAN PELT, Hans; EDELHOFF, Daniel; KREJCI, Ivo; CUNE, Marco. Tooth wear: a systematic review of treatment options. : A systematic review of treatment options. **The Journal Of Prosthetic Dentistry**, [s.l.], v. 112, n. 4, p. 752-759, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.01.018>.

NOORT, Richard van. **Introdução aos materiais dentários**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 292 p.

PALANIAPPAN, Senthamaraiselvi et al. Correlating in vitro scratch test with in vivo contact free occlusal area wear of contemporary dental composites. **Dental Materials**, [s.l.], v. 29, n. 3, p.259-268, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2012.10.007>.

PAPADIOCHOU, Sofia; PISSIOTIS, Argirios L.. Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques. **The Journal Of Prosthetic Dentistry**, [s.l.], v. 119, n. 4, p.545-551, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.07.001>.

PEÑATE, Lissethe et al. Comparative study of interim materials for direct fixed dental prostheses and their fabrication with CAD/CAM technique. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, [s.l.], v. 114, n. 2, p.248-253, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.12.023>.

PERGAMALIAN, Anna; RUDY, Thomas e; ZAKI, Hussein s; GRECO, Carol M. The association between wear facets, bruxism, and severity of facial pain in patients with temporomandibular disorders. **The Journal Of Prosthetic Dentistry**, [S.L.], v. 90, n. 2, p. 194-200, ago. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-3913\(03\)00332-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-3913(03)00332-9).

QUINN, G.d.; GIUSEPPE, A.a.; HOFFMAN, K.h.. Chipping fracture resistance of dental CAD/CAM restorative materials: Part I – Procedures and results. **Dental**

**Materials**, [s.l.], v. 30, n. 5, p.99-111, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2014.02.010>.

RAMALHO, A.; ANTUNES, P. Vale. Reciprocating wear test of dental composites against human teeth and glass. **Wear**, [s.l.], v. 263, n. 7-12, p.1095-1104, set. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2007.01.086>.

RODRIGUES, Stéfani Becker et al. CAD/CAM or conventional ceramic materials restorations longevity: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Prosthodontic Research**, [s.l.], v. 63, n. 4, p.389-395, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpor.2018.11.006>.

SANTOS, F. et al. Comparative study of the wear of the pair human teeth/Vita Enamic® vs commonly used dental ceramics through chewing simulation. **Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials**, [s.l.], v. 88, p.251-260, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.08.029>.

SCHIERZ, Oliver et al. Occlusal tooth wear in the general population of Germany: Effects of age, sex, and location of teeth. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, [s.l.], v. 112, n. 3, p.465-471, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.12.005>.

SMITH, Simon L.; KENNARD, Emma; JOYCE, Thomas J.. Shoulder Simulator Wear Test of Five Contemporary Total Shoulder Prostheses With Three Axes of Rotation and Sliding Motion. **Biotribology**, [s.l.], v. 13, p.36-41, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotri.2018.01.001>.

SOUZA, Júlio C.m. et al. Abrasive and sliding wear of resin composites for dental restorations. **Tribology International**, [s.l.], v. 102, p.154-160, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2016.05.035>.

SOUZA, Cíntia de Melo Silva; SAKAE, Letícia Oba; CARNEIRO, Paula Mendes Acatauassú; ESTEVES, Renata Antunes; SCARAMUCCI, Taís. Interplay between different manual toothbrushes and brushing loads on erosive tooth wear. **Journal Of Dentistry**, [S.L.], v. 105, p. 577-585, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103577>.

TSCHAMMLER, Claudia et al. Erosive tooth wear and caries experience in children and adolescents with obesity. **Journal of Dentistry**, [s.l.], v. 83, p.77-86, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2019.02.005>.

TAKEUCHI, Yoshimasa et al. Fabrication systems for restorations and fixed dental prostheses made of titanium and titanium alloys. **Journal of Prosthodontic Research**, [s.l.], p.7-12, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpor.2019.07.008>.

TOMCZYK, Jacek; ZALEWSKA, Marta. Mechanical and chemical dental wear in historical population from the Syrian lower Euphrates valley. **Archives of Oral Biology**, [s.l.], v. 62, p.49-57, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.11.011>.

TRIBST, João Paulo Mendes et al. Endocrown restorations: Influence of dental remnant and restorative material on stress distribution. **Dental Materials**, [s.l.], v. 34, n. 10, p.1466-1473, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2018.06.012>.

TSIOULI, Kleopatra; TOPOUZELIS, Nikolaos; PAPADOPOULOS, Moschos A.; GKANTIDIS, Nikolaos. Perceived facial changes of Class II Division 1 patients with convex profiles after functional orthopedic treatment followed by fixed orthodontic appliances. **American Journal Of Orthodontics And Dentofacial Orthopedics**, [S.L.], v. 152, n. 1, p. 80-91, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.12.017>.

TSUJIMOTO, Akimasa; BARKMEIER, Wayne W.; FISCHER, Nicholas G.; NOJIRI, Kie; NAGURA, Yuko; TAKAMIZAWA, Toshiki; LATTA, Mark A.; MIAZAKI, Masashi. Wear of resin composites: current insights into underlying mechanisms, evaluation methods and influential factors. **Japanese Dental Science Review**, [S.L.], v. 54, n. 2, p. 76-87, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdsr.2017.11.002>.

VERTUAN, Mariele; SOUZA, Beatriz Martines de; MACHADO, Paula Fontana; MOSQUIM, Victor; MAGALHÃES, Ana Carolina. The effect of commercial whitening toothpastes on erosive dentin wear in vitro. **Archives Of Oral Biology**, [S.L.], v. 109, p. 580-586, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.archoralbio.2019.104580>.

XU, Zhou; XIONG, Yuhuan; YU, Ping; ZHAO, Peng; AROLA, Dwayne; GAO, Shanshan. Wear and damage at the bonded interface between tooth enamel and resin composite. **Journal Of Dentistry**, [S.L.], v. 83, p. 40-49, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2019.02.004>.

ZHANG, Yu; KELLY, J. Robert. Dental Ceramics for Restoration and Metal Veneering. **Dental Clinics Of North America**, [s.l.], v. 61, n. 4, p.797-819, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cden.2017.06.005>.

ZHANG, Hongyun; SUN, Yali; GUO, Jiawen; MENG, Meng; HE, Lin; TAY, Franklin R.; ZHANG, Shaofeng. The effect of food medium on the wear behaviour of veneering porcelain: an in vitro study using the three-body abrasion mode. **Journal Of Dentistry**, [S.L.], v. 83, p. 87-94, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2019.02.010>.

ZHOU, Zr; GONG, W.; ZHENG, J.. Bionic design perspectives based on the formation mechanism of dental anti-wear function. **Biosurface and Biotribology**, [s.l.], v. 3, n. 4, p.238-244, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bsbt.2017.12.003>.

WIMMER, Timea; HUFFMANN, Anne Mildred Sophie; EICHBERGER, Marlis; SCHMIDLIN, Patrick R.; STAWARCZYK, Bogna. Two-body wear rate of PEEK, CAD/CAM resin composite and PMMA: effect of specimen geometries, antagonist materials and test set-up configuration. **Dental Materials**, [S.L.], v. 32, n. 6, p. 127-136, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.03.005>.

WULFMAN, C.; KOENIG, V.; MAINJOT, A.k.. Wear measurement of dental tissues and materials in clinical studies: A systematic review. **Dental Materials**, [s.l.], v. 34, n. 6, p.825-850, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2018.03.002>.

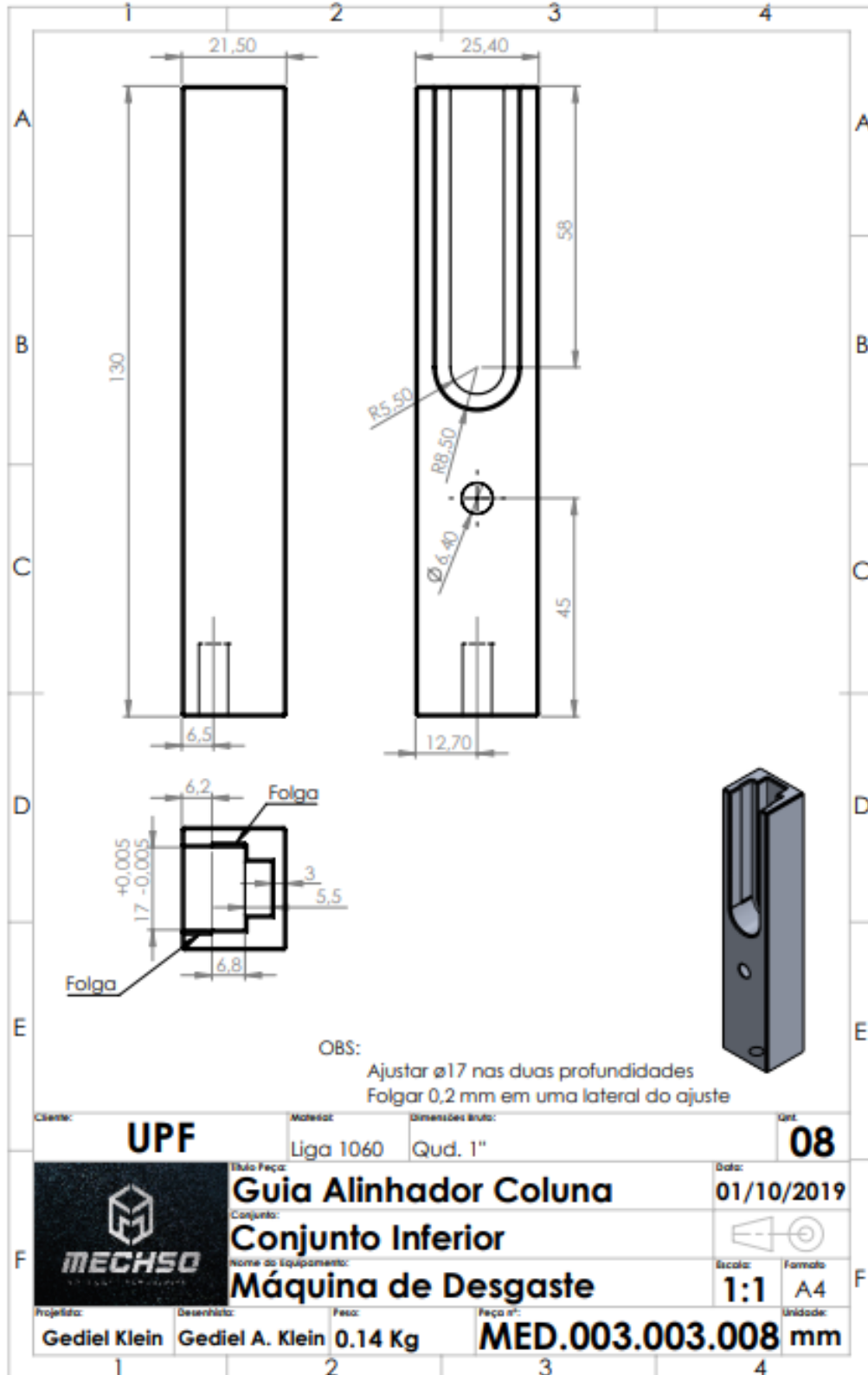
<http://www.goldfoil.org/procedures/Class%202/index.htm> Acesso em 09/11/19.

<https://www.endopracticeus.com/ce-articles/jackson/> Acesso em 09/11/19.

<https://www.tainstruments.com/dental-wear-instrument/> Acesso em 12/11/2019.

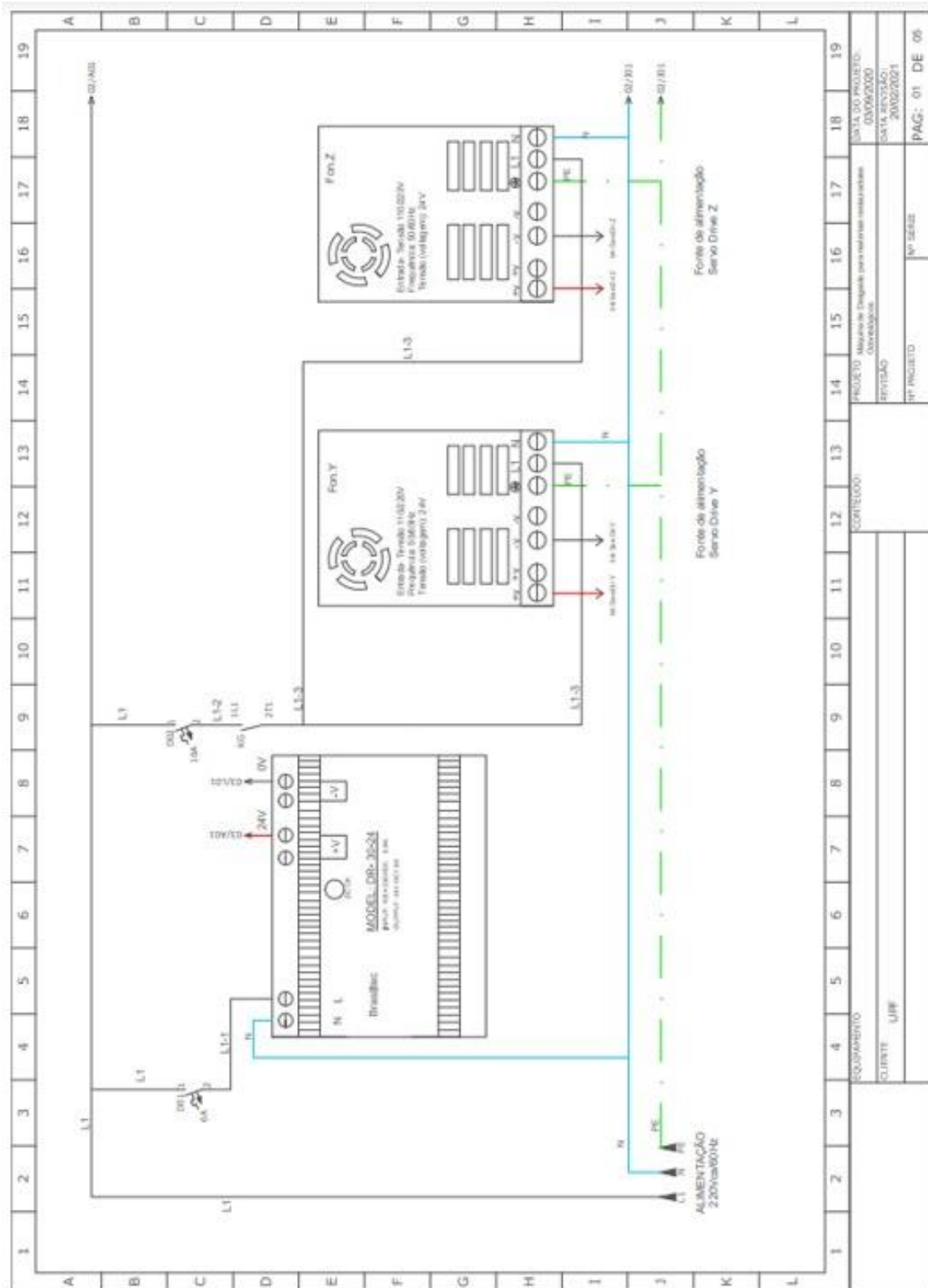
APÊNDICES

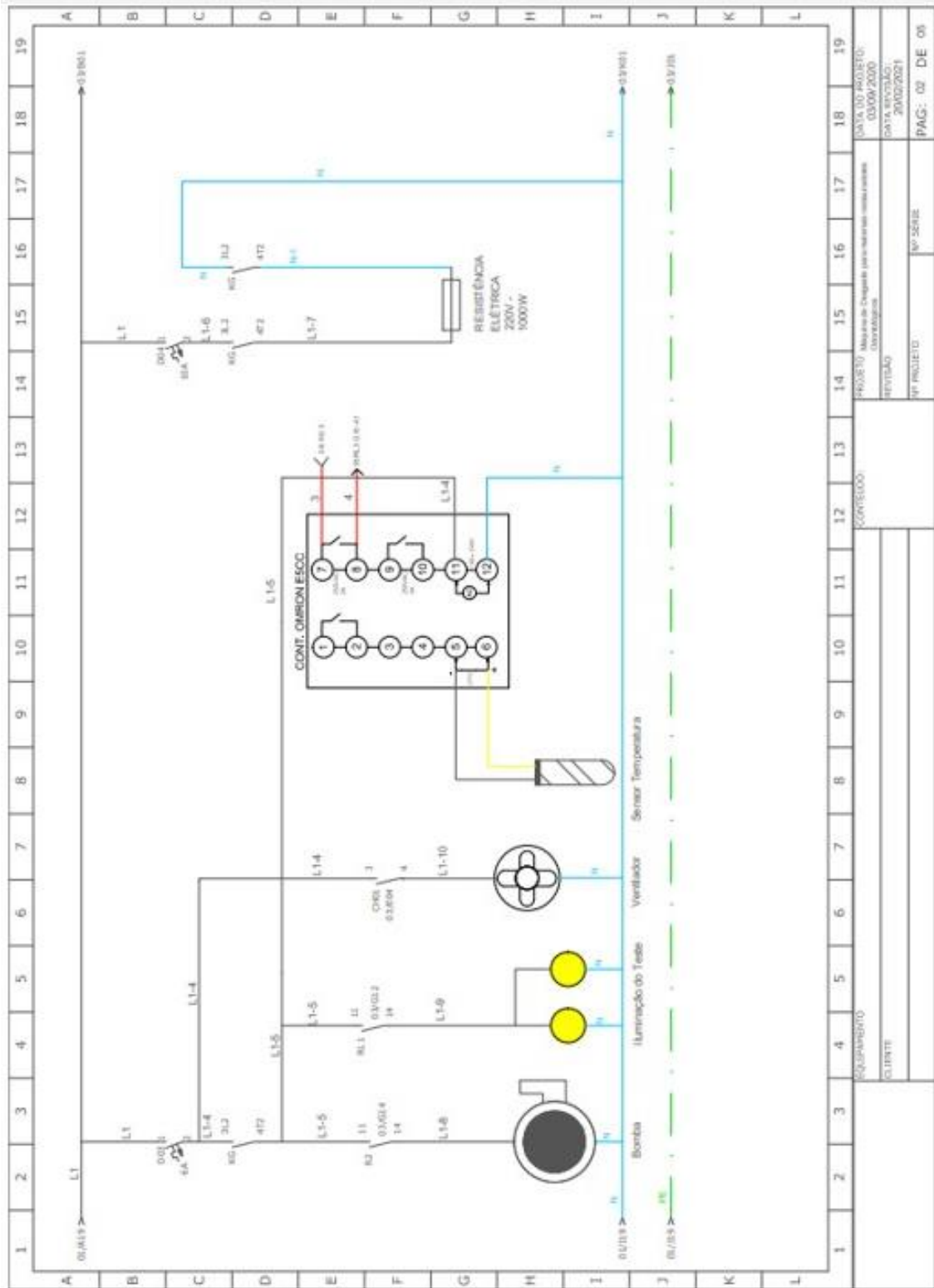
APÊNCICE A – Folha de projeto para fabricação





APÊNDICE B – Diagramas elétricos

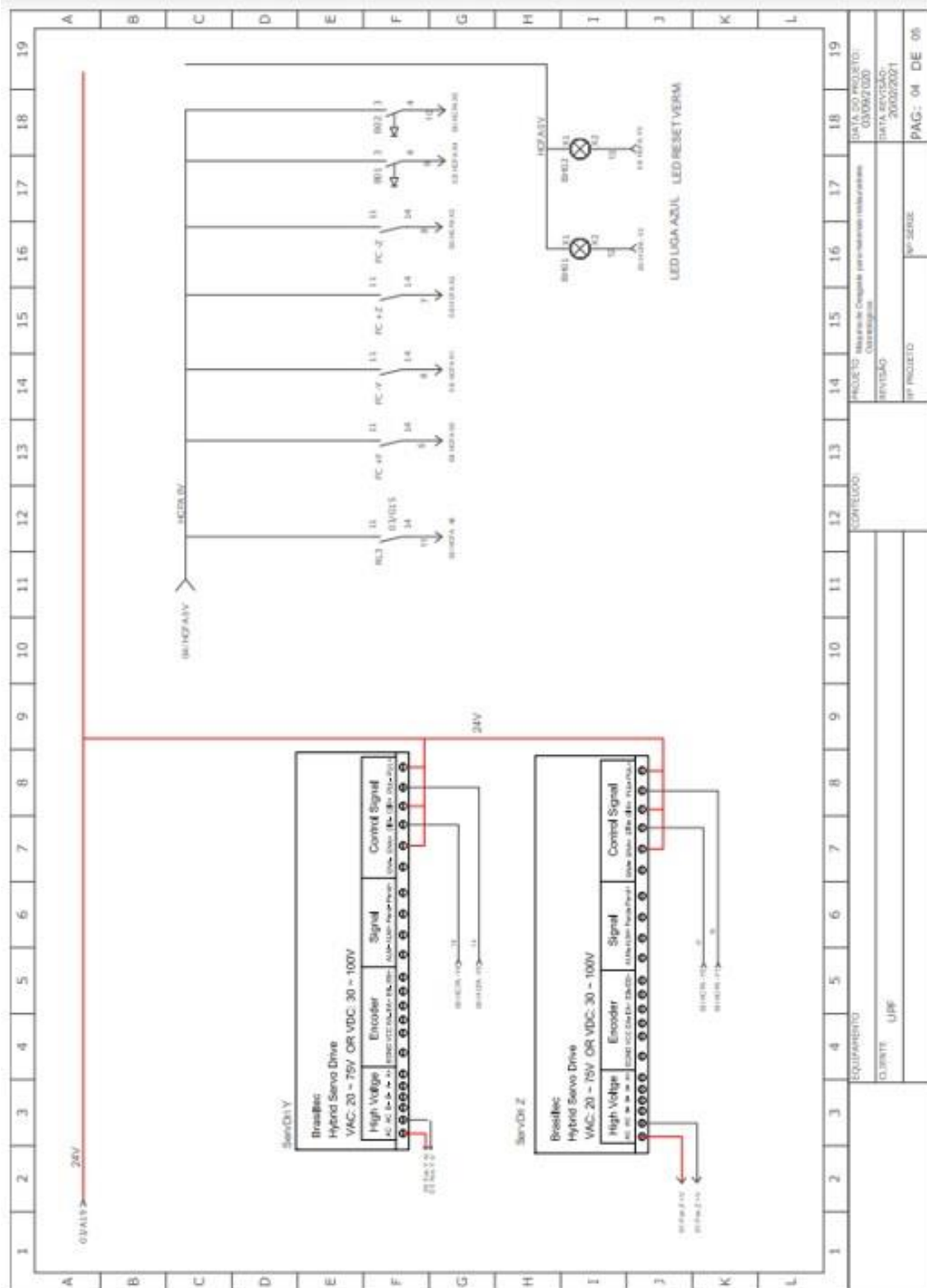




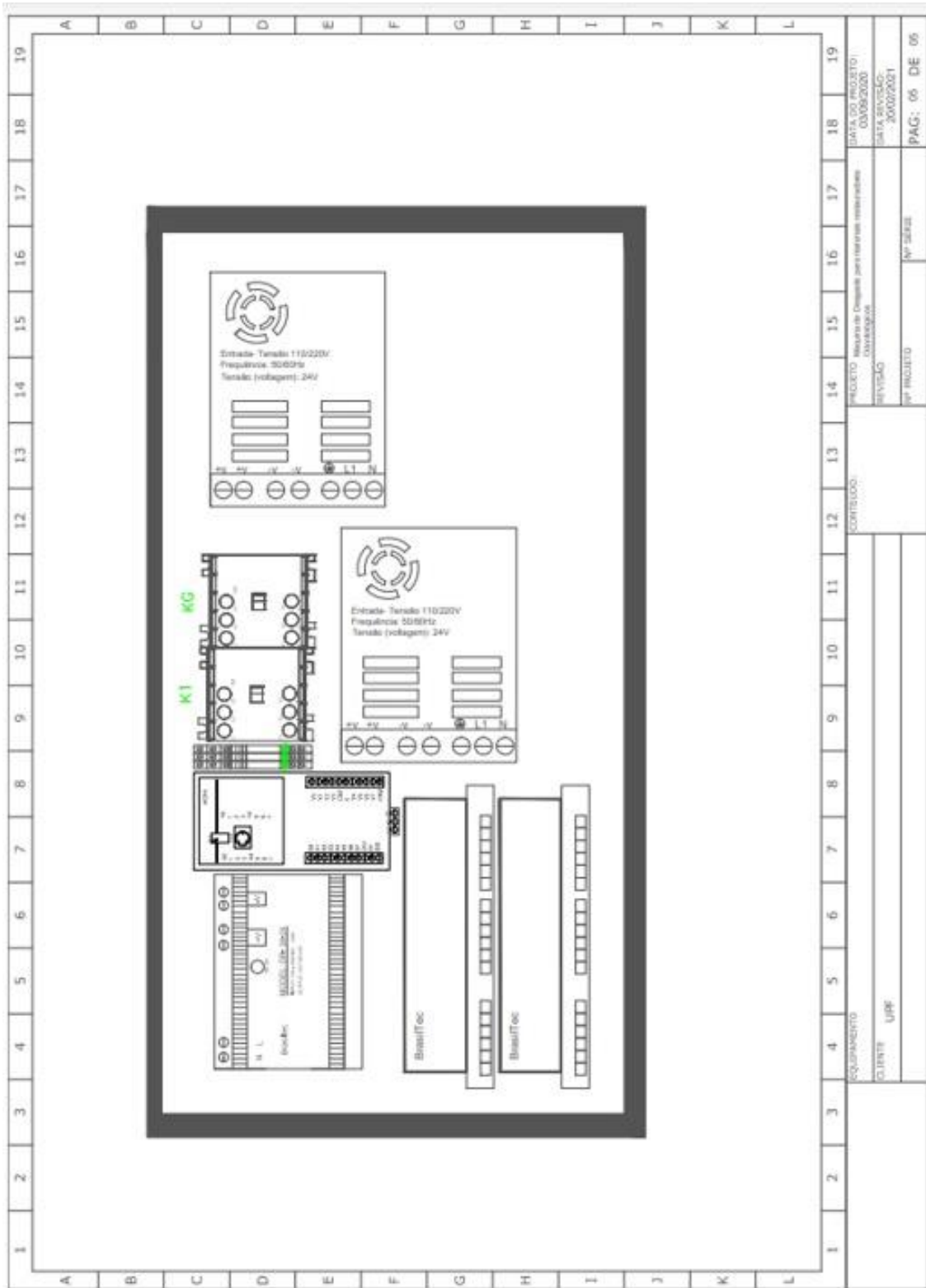
PROJETO	Atividade de Projeto para a realização de testes em laboratório
REVISÃO	01
DATA DO PROJETO:	03/09/2020
DATA REVISÃO:	20/02/2021
REV. PROJETO	01
REV. SÉRIE	05
PAG:	02 DE 05

ESQUEMADO	CONFEITO
ELABORADO	
APROVADO	





EQUIPAMENTO		CONTROLE		PROJETO: Máquina de Costura por microcontrolador		DATA DO PROJETO: 03/06/2007	
QUANTO		REVISÃO		REVISÃO		DATA REVISÃO: 20/03/2007	
		Nº PROJETO		Nº SERIE		PAG: 04 DE 06	



EQUIPAMENTO		CONTROLE:		PROJETO: Medição de Consumo para instalação em rede pública		DATA DO PROJETO: 03/06/2000	
CLIENTE: UFR				REVISÃO		DATA REVISÃO: 20/02/2001	
				Nº PROJETO		Nº DATA	
						PAG: 06 DE 06	



# UPF

UNIVERSIDADE  
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José  
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900  
(54) 3316 7000 - [www.upf.br](http://www.upf.br)