

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANA LÍDIA MARTINS RODRIGUES**

**USINAGEM ELETROQUÍMICA PARA TEXTURIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES  
CURVAS: DESENVOLVIMENTO E PATENTE**

**UBERLÂNDIA  
2023**

ANA LÍDIA MARTINS RODRIGUES

USINAGEM ELETROQUÍMICA PARA TEXTURIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES  
CURVAS: DESENVOLVIMENTO E PATENTE

Projeto de fim de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Tribologia e Materiais

Orientador: Washington Martins da Silva Júnior

Uberlândia  
2023

ANA LÍDIA MARTINS RODRIGUES

USINAGEM ELETROQUÍMICA PARA TEXTURIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES  
CURVAS: DESENVOLVIMENTO E PATENTE

Projeto de fim de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Uberlândia, xx de março de 2023

Banca Avaliadora:

---

Prof. Dr. Washington Martins da Silva Júnior – Orientador (FEMEC)

---

Avaliador

---

Avaliador

UBERLÂNDIA

2023

**RODRIGUES, A. L. M. Usinagem eletroquímica para texturização de superfícies curvas: desenvolvimento e patente.** 2023. Projeto de Finalização de Curso (Bacharel) – Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

## **RESUMO**

Esse projeto é baseado criação de um equipamento capaz de texturizar de maneira satisfatória superfícies curvas metálicas utilizando a técnica de texturização eletroquímica sem mascaramento (MECT). O foco do desenvolvimento foi o baixo custo e acessibilidade dos materiais e técnicas de fabricação para que o instrumento pudesse ser facilmente reproduzido e de simples manutenção. Também foi avaliado a possibilidade de patenteá-lo. Realizou-se uma pesquisa extensa em várias bases de patentes de diversos países. As vantagens e desvantagens do novo aparato foram enumeradas diante do que já foi desenvolvido para a técnica. Foram analisados métodos e equipamentos com a finalidade de texturização eletroquímica de superfícies curvas. Além disso, observou-se os principais desafios no desenvolvimento no aparato ao longo de suas várias sugestões de design. A importância da técnica para o desenvolvimento de mancais de deslizamento axial com maior eficiência também foi ressaltada.

RODRIGUES, A. L. M. **Electrochemical machining for texturing curved surfaces: development and patent.** 2023. Course Completion Project (Bachelor) – Mechanics Engineering Graduation, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

### **ABSTRACT**

This project is based on the creation of an equipment capable of texturing suitably a metallic curved surfaces using the technique of maskless electrochemical texturing (MECT). The focus of the development was the low cost and accessibility of materials and manufacturing techniques, so that the instrument could be easily reproduced and simple to maintain. The possibility of patenting it was also evaluated. An extensive research was made in several patent databases of different countries. The advantages and disadvantages of the new apparatus were enumerated compared to what has already been developed for the technique. Methods and equipment were analyzed for the purpose of electrochemical texturing of curved surfaces. In addition, the main challenges of the development of the apparatus were observed along its various suggestions of design. The importance of the technique for the development of more efficient thrust bearings was also highlighted.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Efeito de textura circular esféricas (dimples) em bolinha de golfe	10
Figura 2	Diversos tipos de contatos: (a) - contato conforme (b) - contato conforme em mancal de deslizamento radial (c) - contato não conforme em dentes de engrenagens (d) - contato não conforme em came e seguidor (e) - contato não conforme de uma pista e esfera de um mancal de rolamento	13
Figura 3	Áreas de contato real e aparente	14
Figura 4	Partículas abrasivas aprisionadas nas texturas	16
Figura 5	Mancal axial e longitudinal respectivamente	17
Figura 6	Exemplos de mancais de rolamento e de deslizamento respectivamente	17
Figura 7	Exemplo de mancal de deslizamento texturizado	18
Figura 8	Ferramenta e peça de equipamento de usinagem eletroquímica	21
Figura 9	Princípio de usinagem eletroquímica	22
Figura 10	Esquema de equipamento confeccionado	23
Figura 11	Trajectoria do fluxo de eletrólitos paralelo a superfície da peça	24
Figura 12	Câmara para texturização de superfícies cilíndricas	24
Figura 13	Matriz de conformação (a) e as ferramentas para uso com fluxo de eletrólitos perpendiculares (b) e paralelos (c).	25
Figura 14	Sistema aberto com fluxo paralelo de eletrólitos	26
Figura 15	Câmara de texturização de amostra curva	27
Figura 16	Sistema com fluxo paralelo de eletrólitos direcionado para região de interesse	27
Figura 17	Página de pesquisa básica do INPI	29

Figura 18	Página de pesquisa avançada do INPI	31
Figura 19	Exemplo de página de resultados de pesquisa de patentes no INPI	32
Figura 20	Exemplo de depósito de patente no INPI	33
Figura 21	Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título no INPI	34
Figura 22	Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título no <i>Espacenet</i>	35
Figura 23	Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título no USPTO	36
Figura 24	Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título no <i>Google Patents</i>	37
Figura 25	Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título na <i>Derwent</i>	38
Figura 26	Câmara de texturização superficial (Henara; 2020) (1) - Parafuso principal (3) - Movimento do parafuso (5) - Manipulo do parafuso (6) – Corpo (9) - Tampa fixa	39
Figura 27	Aparato para texturização superficial (1) - Estrutura bipartida de entrada (2) - Estrutura bipartida de saída (3) - Vedação I (4) - Vedação II (5) - Peça (6) - Ferramenta	39
Figura 28	Câmara de texturização superficial (Henara; 2020) (1) - Parafuso principal (2) - Tampa conjunto do parafuso (3) - Movimento do parafuso (4) - Bucha do movimento (5) - Manipulo do parafuso (6) – Corpo (7) - Suporte para fixação da ferramenta (8) – Suporte para fixação da amostra (9) - Tampa fixa (10) - Suporte da amostra	40
Figura 29	Aparato para texturização superficial (1) - Estrutura bipartida de entrada (2) - Estrutura bipartida de saída (3) - Vedação I (4) - Vedação II (5) - Peça (6) - Ferramenta	41
Figura 30	Aparato para texturização superficial com elementos de fixação	42

Figura 31 Elementos de vedação em destaque (azul) com montagem exemplificada em relação à peça e à estrutura bipartida separada em entrada e saída. 43



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Alguns valores de potencial padrão de eletrodo	19
Tabela 2	Descrição e exemplos de códigos da Classificação Internacional de Patentes	29

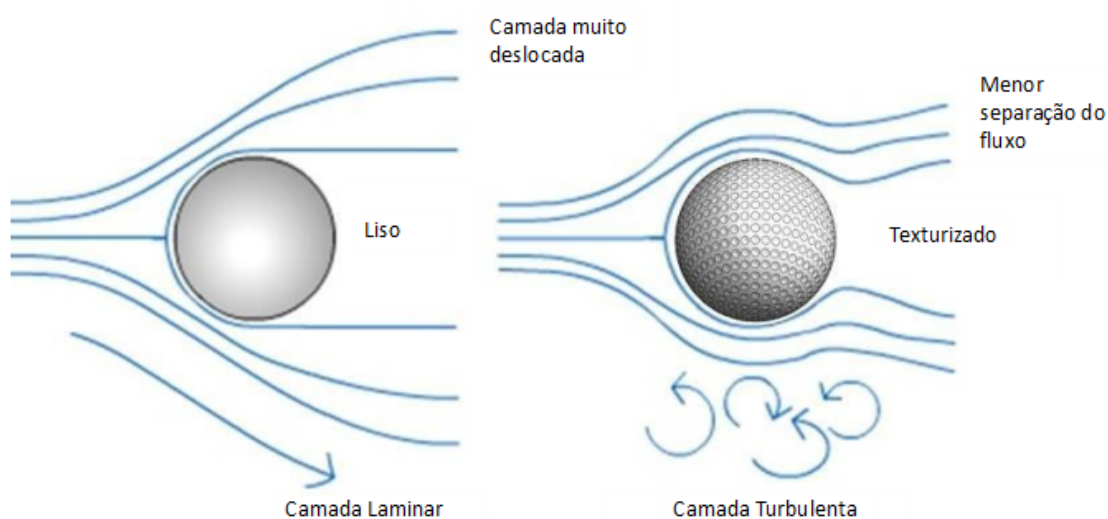
## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
1.1 Tribologia	13
1.2 Texturização	14
1.3 Texturização de Mancais	16
1.4 Usinagem eletroquímica	18
2 METODOLOGIA	24
2.1 Projeto de texturizador para superfície cilíndrica	24
2.2 Análise de viabilidade de patente de equipamento junto a agência intelecto	27
3 RESULTADOS	33
CONCLUSÃO	44
TRABALHOS FUTUROS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

## INTRODUÇÃO

A texturização de superfícies tem sido avaliada como uma técnica viável para inúmeras inovações na indústria automobilística, aeronáutica e até mesmo no esporte. Um exemplo clássico do uso de texturas para o melhoramento do atrito seriam as bolinhas de golfe. Aquelas, com a superfície coberta por pequenas depressões circulares, os chamando *dimples*, sofrem, consideravelmente menos, com a força de arrasto quando comparadas àquelas completamente lisas (JEARL, 1979).

**Figura 1. Efeito de textura circular esféricas (*dimples*) em bolinha de golfe**



Fonte: Grover, 2017.

Um dos usos mais difundidos do controle de topografia é o acabamento em brunimento no interior dos cilindros dos motores de combustão interna (WILLIS, 1986). Nesse caso, não existe exatamente um padrão na superfície, se tratando de ranhuras contínuas, perpendiculares ao movimento do pistão, fabricadas por meio do uso de abrasivos (FLORES, 1985). Apesar de bem simples, as melhorias na questão do atrito e desgaste são notáveis.

A aplicação de texturas complexas em motores de combustão interna pode se tornar uma boa alternativa para a redução de poluentes na atmosfera, uma vez

que aumenta a eficiência dos motores pela redução de atrito e desgaste de partes móveis (RYK et al., 2002).

Muitas pesquisas tentam avaliar capacidade das texturas de diminuir os efeitos do atrito nas peças. Foram encontrados resultados de até 40% de redução do coeficiente de atrito quando comparado com peças não texturizadas (RAPOPORT et al., 2007). Com todas essas grandes possibilidades de aplicações, além de muitas outras que têm a possibilidade de serem desenvolvidas, a texturização com texturas complexas tem encontrado um obstáculo inconveniente para a sua popularização, a aplicação industrial.

Atualmente, as técnicas mais utilizadas para superfícies metálicas são a texturização a *laser* (ETSION, 2005) e a texturização química por fotolitografia (VISHNITSKY, 1987) (MADOU, 2002) (NELSON; SCHWARTZ, 2005). Ambos os processos possuem suas desvantagens. Para a texturização a laser um dos grandes problemas é o gasto energético alto, que, conseqüentemente, acaba impactando no custo final da peça, além do fato de que as texturas têm que ser criadas uma a uma, o que torna o processo um tanto quanto lento (ETSION, 2005). Já a fotolitografia possui o empecilho de necessitar de um preparo prévio da superfície a ser texturizada, uma vez que as áreas que não se tem a intenção de atingir, devem ser protegidas com uma máscara. Após a usinagem também é necessário tratamento para retirar os resquícios do mascaramento.

Visando encontrar técnicas com uma aplicabilidade melhor que contornassem os problemas vislumbrados pelas técnicas mais comuns no mercado atualmente, COSTA E HUTCHINGS (2008) desenvolveram uma técnica de texturização eletroquímica que não utilizaria mascaramento na superfície a ser texturizada. Foi nomeada de MECT: *Maskless Electrochemical Texturing*.

Desenvolver a aplicação da técnica de MECT em superfícies curvas proporciona uma grande oportunidade de ensaiar os impactos da texturização em mancais de deslizamento. Mancais são elementos estruturais de muita importância e com uma ampla aplicabilidade, uma vez que são capazes de suportar cargas e transmitir potências (SHIGLEY, 1989).

Os estudos de MCCARTHY (2005) já apontavam que o uso de texturas complexas em mancais poderia reduzir em até 10% o coeficiente de atrito em mancais aplicados em usinas. GLAVATSKIH (2003) conseguiu aumentar em até 50

horas o tempo entre as manutenções dos mancais com o uso desse tratamento de superfície.

O presente projeto de fim de curso analisa métodos e equipamentos com a finalidade de texturização eletroquímica de superfícies cilíndricas. Além disso, o trabalho detalha o processo de patente de um novo modelo de texturizador de baixo custo. Como parte do processo, foram levantadas informações sobre anterioridade referente a equipamentos semelhantes em bancos de patentes no Brasil, Estados Unidos e Europa. Foi feita uma comparação detalhada de todas as diferenças e potenciais vantagens do novo aparelho.

Para o desenvolvimento desse trabalho foram traçados os seguintes objetivos específicos: analisar a bibliografia sobre texturização de superfícies cilíndricas; desenvolver de um texturizador de baixo custo e; construir um processo de patente do novo texturizador.

O texto foi organizado de acordo com os seguintes capítulos: Introdução; Revisão Bibliográfica sobre métodos de texturização eletroquímica; Metodologia sobre o novo protótipo e sobre o processo de patente; Resultados que sobre o novo protótipo e sobre o processo de patente; Trabalhos futuros.

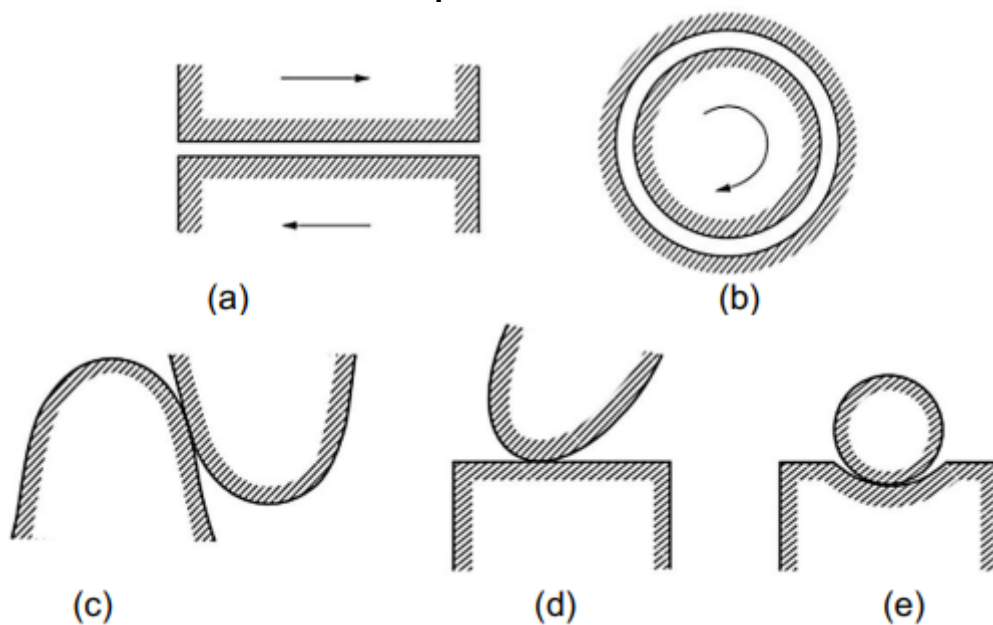
## 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Tribologia

A palavra tribologia foi utilizada para definir um campo de estudos pela primeira vez em 1966, em um comitê do governo do Reino Unido através de um estudo de JOST (1966). A palavra é criada a partir do grego Tribos, que significa “atrito”, e Logos, que significa “estudo de” (STOETERAU, 2004). Esse campo da ciência dos materiais se dedica ao estudo de superfícies em contato com a ocorrência movimento relativo de uma em relação a outra (HUTCHINGS; SHIPWAY, 2017).

O contato entre superfícies pode ser classificado como conforme ou não conforme. Essa classificação leva em conta a distribuição das cargas aplicadas, uma vez que, em contatos conformes elas se encontram mais distribuídas (HUTCHINGS; SHIPWAY, 2017).

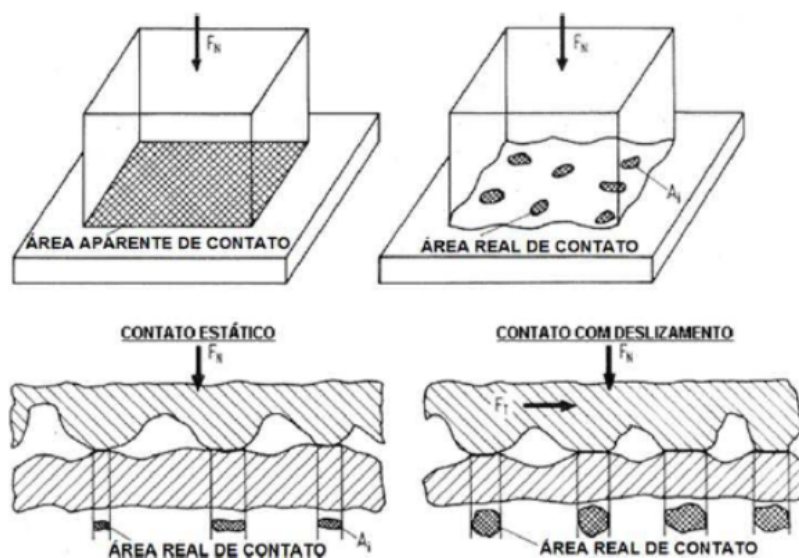
**Figura 2. Diversos tipos de contatos: (a) - contato conforme (b) - contato conforme em mancal de deslizamento radial (c) - contato não conforme em dentes de engrenagens (d) - contato não conforme em came e seguidor (e) - contato não conforme de uma pista e esfera de um mancal de rolamento**



Fonte: Hutchings, 2017.

Uma superfície sempre possui irregularidades em algum grau, não importa a qualidade do acabamento. De um ponto de vista muitas vezes microscópico, qualquer superfície é formada por picos e vales (LUDEMA, 1996). Essas asperezas podem variar muito em características, como largura e comprimento, mas é inevitável que elas estejam sempre presentes. Contando com isso temos que o contato entre duas superfícies se trata do contato entre esses picos, o que faz com que a real área de contato seja menor do que a área aparente, conforme o demonstrado na figura abaixo:

**Figura 3. Áreas de contato real e aparente**



Fonte: Zum Gahr, 1987.

## 1.2 Texturização

Entende-se como texturização as técnicas que visam modificar a topografia superficial criando texturas com geometrias regulares. Os conceitos de rugosidade e textura podem se confundir, às vezes, devido a suas semelhanças. A textura pode ser aplicada em escala nanométrica, porém a rugosidade tem como característica a sua aleatoriedade e a textura necessariamente segue um padrão (COSTA, 2005).

Os estudos mais dedicados a texturização superficial começaram a ter destaque a menos de três décadas (ETSION; BURSTEIN, 1996). As suas aplicações

são variadas, alcançando resultados nos campos da óptica, acústica, termodinâmica, bioengenharia, lubrificação e tribologia (COBLAS et al., 2015).

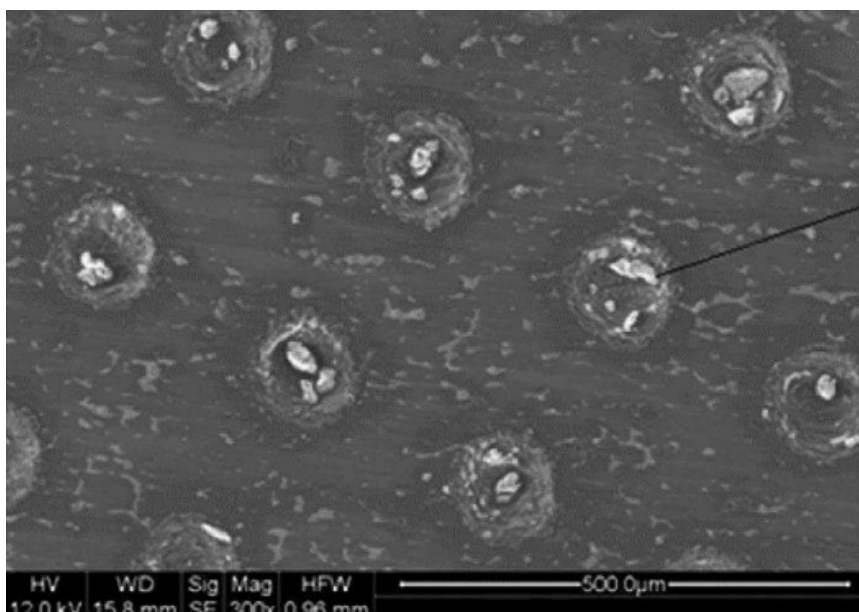
São quatro os principais grupos de técnicas de texturização: adição de material, remoção de material, movimentação de material e autoformação. Dando destaque para o grupo de remoção de material, essa remoção pode ser feita através de alta temperatura, ataque químico ou processos mecânicos (COSTA; HUTCHINGS, 2015)

Para os processos de ataque químico determinar a região que será atacada é importante para garantir o padrão da textura desejado. Para isso muitas técnicas se utilizam de uma camada protetora não reativa sobre a peça, o mascaramento. Essa etapa a mais, muitas vezes pode ser dispendiosa, diminuindo a aplicação prática da técnica em larga escala (DA SILVA, 2016). Por causa desse ponto, a técnica de texturização sem mascaramento se faz interessante.

No contexto da lubrificação, a textura tem três principais funções. A primeira é trabalhar como reservatórios que acumulam lubrificante garantindo assim que o fluido continue no contato. A segunda é prender os detritos que se formam devido ao desgaste das peças em contato, evitando assim que esses se mantenham no sistema e trabalhem como terceiro corpo e conseqüentemente aumentando o desgaste (TOMANIK, 2013). E por fim, é a função de trabalhar como micro mancal hidrodinâmico criando assim uma contrapressão que ajuda o sistema a suportar uma carga maior (TANG et al., 2013).



**Figura 4. Partículas abrasivas aprisionadas nas texturas**

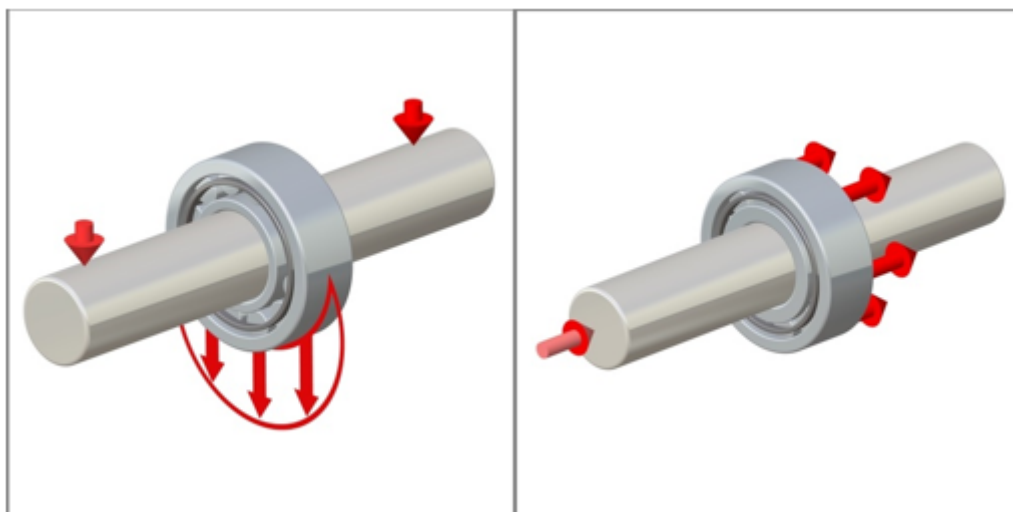


Fonte: Tomanik, 2013.

### **1.3 Texturização de Mancais**

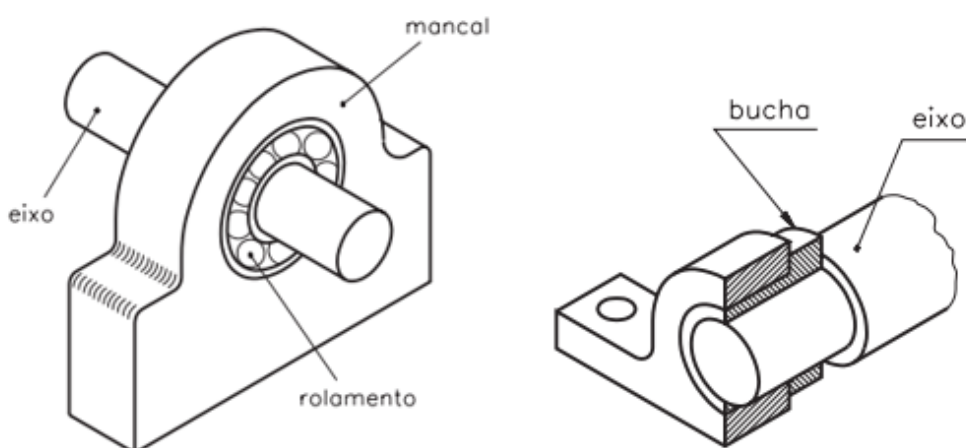
Pensando em onde podemos fazer uso das texturas como tratamento de superfície é difícil não lembrar dos mancais. Por definição, um mancal se trata de um ponto em que dois elementos em contato possuam velocidade relativa entre si pode independente de seu formato (NORTON, 2000). Portanto temos uma situação perfeita para se ver em ação os mecanismos de diminuição de atrito citados anteriormente.

Os mancais podem ser classificados de acordo com a direção da carga em que são solicitados. Sendo assim temos mancais axiais, longitudinais e mistos.

**Figura 5. Mancal axial e longitudinal respectivamente**

Fonte: Motion and Control NSK.

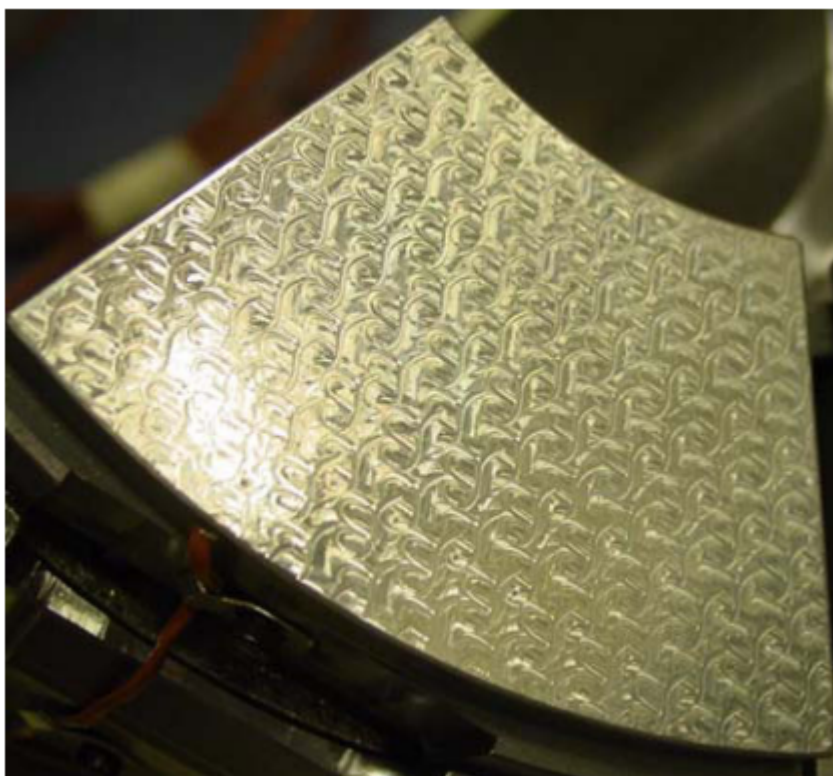
Os mancais também podem ser classificados em mancais de rolamento e mancais de deslizamento. Os primeiros são caracterizados por seus elementos rolantes além do baixo atrito e a maior velocidade. O segundo tipo é marcado pela presença de buchas e no uso de lubrificantes para evitar os efeitos do atrito. O foco desse trabalho se dá nos mancais de deslizamento radiais.

**Figura 6. Exemplos de mancais de rolamento e de deslizamento respectivamente**

Fonte: Telecurso 2000, 1997.

Em 2005, McCarthy desenvolveu um estudo que apontavam que o uso de texturas complexas em mancais poderia reduzir em até 10% o coeficiente de atrito em mancais aplicados em usinas. Foram usinadas texturas com formato de “S” assim como apresentado na figura 07. Essa forma propicia que o óleo seja aspirado através do mancal proporcionando um maior suporte da carga por parte do filme lubrificante. Como consequência se houve também uma redução de até 5°C na temperatura dos mancais texturizados em comparação aos mancais sem textura.

**Figura 7. Exemplo de mancal de deslizamento texturizado com padrão em “S”**



Fonte: MCCARTHY, 2005.

#### **1.4 Usinagem eletroquímica**

Usinagem eletroquímica ou ECM é um processo relativamente recente que utiliza a eletrólise para remover material. A palavra vem do grego “eletro”, referindo a corrente elétrica, e “lise” que significa quebrar. A eletrólise nada mais é do que a decomposição de uma substância de maneira não espontânea devido ao uso de uma corrente elétrica (MCGEOUGH, 1988).

Como trata de uma remoção feita por reações químicas, fatores como dureza e outras propriedades mecânicas não são limitantes para a esse tipo de usinagem, como são para as técnicas tradicionais (KOZAK,1991). Além disso o processo traz outras vantagens como não desgastar a ferramenta, ser livre de tensões residuais, não gerar deformações plásticas, não ter formação de rebarbas, resultar em superfícies com baixa rugosidade e ser aplicável a superfícies complexas (BHATTACHARYYA; MUNDA, 2003).

A redução ocorre quando há o ganho de elétrons, perda de oxigênio ou ganho de hidrogênio. Quando ocorre o inverso a reação é chamada de oxidação. Essas duas reações normalmente acontecem em pares, quando por exemplo uma substância “rouba” elétrons de outra, o que é chamado de oxirredução (GENTIL, 2007).

Um eletrodo é considerado ânodo quando, nele, ocorre reações de oxidação, já quando ocorre reações de redução esse eletrodo é definido como cátodo. Em reações parciais os elétrons da região anódica, são transferidos para a região catódica. Essa transferência de cargas é o que chamamos de reação eletroquímica (WOLYNEC, 2003). Utilizando tabelas de potenciais podemos prever, em um determinado par de metais, qual terá a tendência de sofrer a redução e qual tenderá a oxidação. Segue um exemplo abaixo desse tipo de tabela.

**Tabela 1. Alguns valores de potencial padrão de eletrodo**

Reação do eletrodo	Potencial Padrão, E°/V
$Mg^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Mg$	-2,372
$Al^{3+} + 3e^{-} \rightleftharpoons Al$	-1,662
$Ti^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Ti$	-1,630
$Zn^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Zn$	-0,762
$Cr^{3+} + 3e^{-} \rightleftharpoons Cr$	-0,744
$Fe^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Fe$	-0,447
$Ni^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Ni$	-0,257
$Pb^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Pb$	-0,126
$2H^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons 2H$	0
$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Cu$	0,342
$Ag^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Ag$	0,800
$Pd^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Pd$	0,951
$Au^{3+} + 3e^{-} \rightleftharpoons Au$	1,498

Fonte: Nunes, 1990.

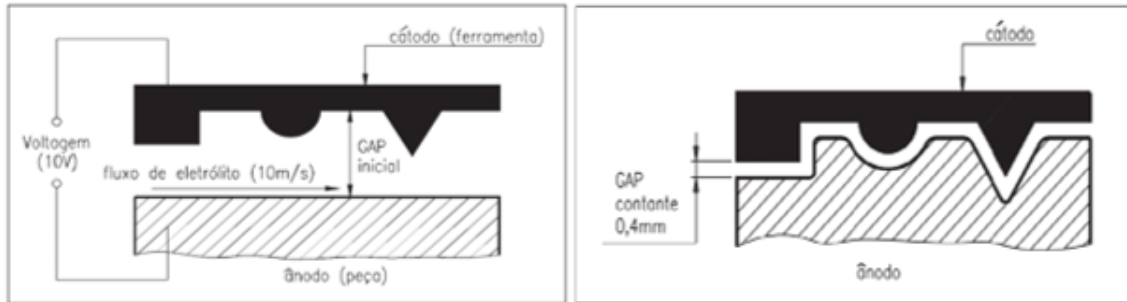
Em uma relação de equilíbrio, o potencial de oxidação e redução é o mesmo no sistema. Quando uma corrente tira o sistema desse estado de equilíbrio ocorre uma diferença de potencial.

Para usinar uma peça utilizando ECM, peça e ferramenta ficam submersas em um tanque de eletrólito. A distância entre elas é chamada de *gap*. A ferramenta, que corresponde ao cátodo, é ligada a um terminal negativo enquanto a peça, correspondendo ao ânodo, é ligada ao terminal positivo. Com a passagem da corrente a superfície da peça começa a oxidar no formato definido pela ferramenta (DE BARR; OLIVER, 1968).

O eletrólito é bombardeado pelo *gap* de modo a remover os resíduos gerados pelo processo. Além dessa função, ele também transporta a corrente, fechando assim, a conexão entre peça e ferramenta. A compatibilidade química do eletrólito com a peça e a ferramenta deve ser observada, uma vez que os subprodutos gerados pela reação não podem neutralizar o ânodo ou formar uma camada sobre o cátodo (KOPELIOVICH, 2013).

O eletrólito mais comumente utilizado é o cloreto de sódio (NaCl) (BENEDICT, 1987).

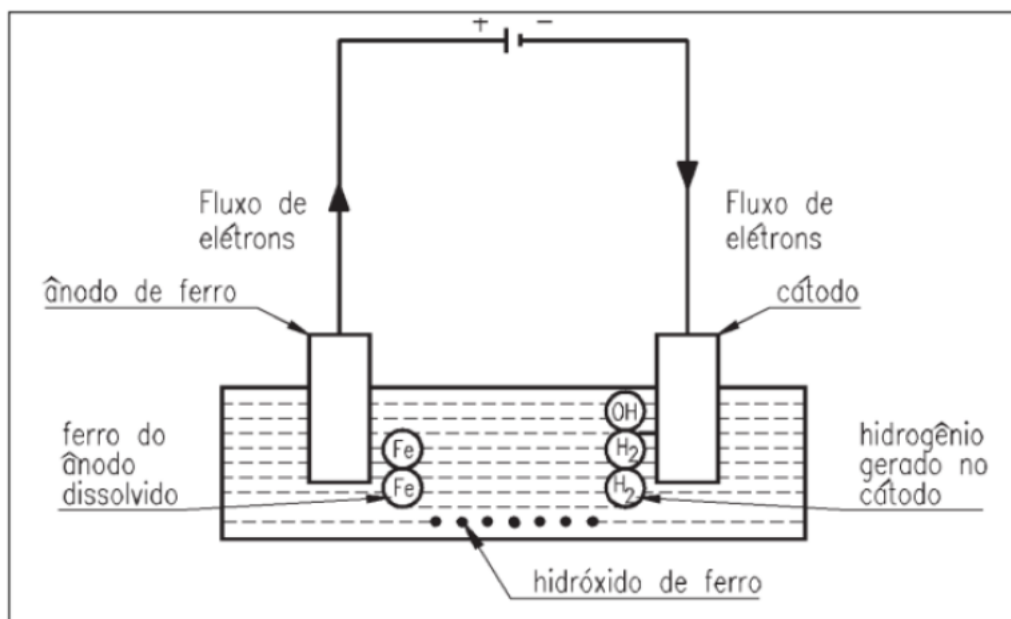
**Figura 8. Ferramenta e peça de equipamento de usinagem eletroquímica**



Fonte: Kopeliovich, 2013.

Durante a passagem da corrente elétrica, ocorre a decomposição dos metais em íons que se deslocam de acordo com suas cargas pelo eletrólito, a diferença de potencial gerada pelo campo elétrico transporta os ânions para o ânodo e os cátions para o cátodo. A capacidade do átomo de formar ligações químicas irá determinar a velocidade da reação (SARDELLA, 1999).

**Figura 9. Princípio de usinagem eletroquímica**

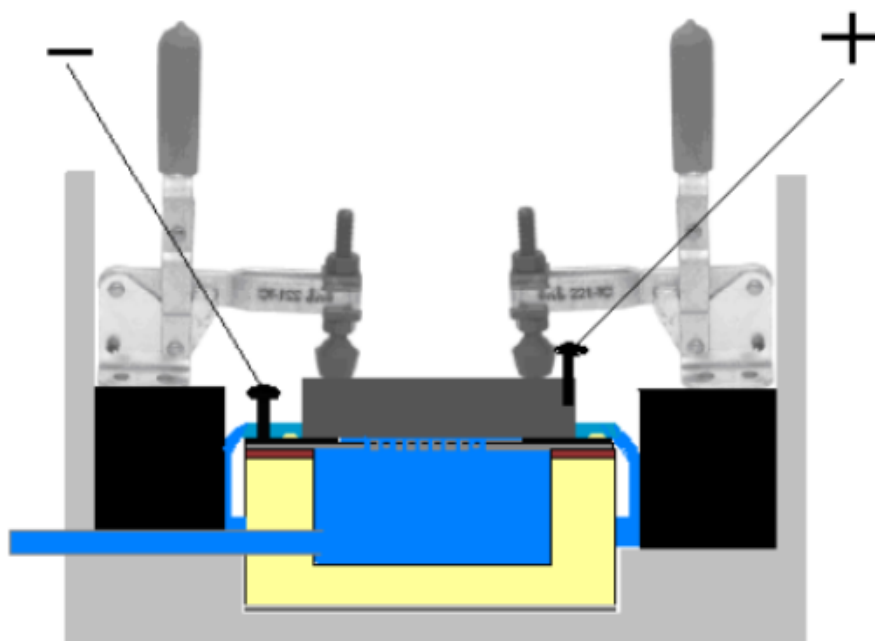


Fonte: Kopeliovich, 2013.

Fatores determinantes para que o material seja usinado são a densidade da corrente, massa atômica e tempo. Esse último tende a ser muito elevado o que pode criar uma dificuldade para a aplicação prática do processo. Por isso, os parâmetros são selecionados de modo a diminuir ao máximo o tempo gasto na usinagem. Normalmente se trabalha com um *gap* muito pequeno e uma elevada densidade do eletrólito (KOPELIOVICH, 2013).

O acabamento superficial alcançado pela usinagem eletroquímica costuma ser bem satisfatório ficando na ordem de  $0,4 \mu\text{m}$ . Esse valor pode variar devido a mudanças nos parâmetros: taxa de alimentação, *gap*, a composição do eletrólito, viscosidade, temperatura e fluxo (MEHER, 2009).

**Figura 10. Esquema de equipamento confeccionado**



Fonte: Parreira, 2011.

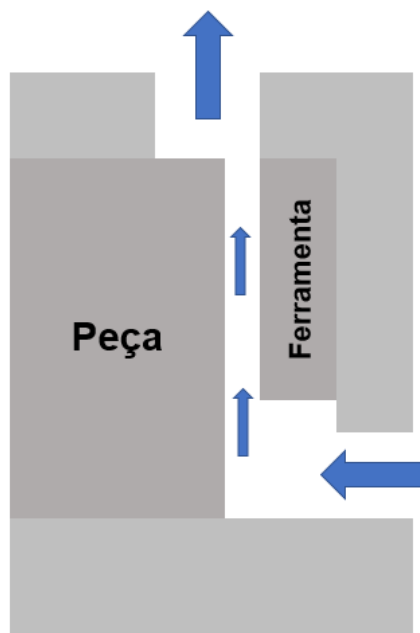
Em 2011, Parreira desenvolveu um equipamento utilizando a usinagem eletroquímica para imprimir texturas em uma superfície sem utilização de máscara. Nele, vemos os princípios da usinagem eletroquímica sendo utilizados.

Os furos na ferramenta permitem que o eletrólito passe através dela atingindo a peça e então fluindo para fora pelo espaço do GAP. O formato da textura é definido pelos furos da ferramenta o que dispensa a necessidade de uma máscara junto a peça.

Uma outra versão de aparato baseado na técnica de MECT foi desenvolvido por Ferri, em 2019. Elaborado de modo a permitir que o fluido passasse entre uma peça cilíndrica e sua ferramenta, utilizando um fluxo de eletrólitos paralelo a superfície. Podemos ver na Figura 11 a trajetória do fluxo proposto para o equipamento. Ao passar entre os componentes, a uma velocidade constante, o eletrólito fecha o circuito elétrico, possibilitando que a usinagem eletroquímica ocorra. Ao mesmo tempo o fluido carrega os detritos resultantes da usinagem, deixando a superfície de trabalho livre e permitindo que o processo continue até que as texturas atinjam profundidade e formato desejados.

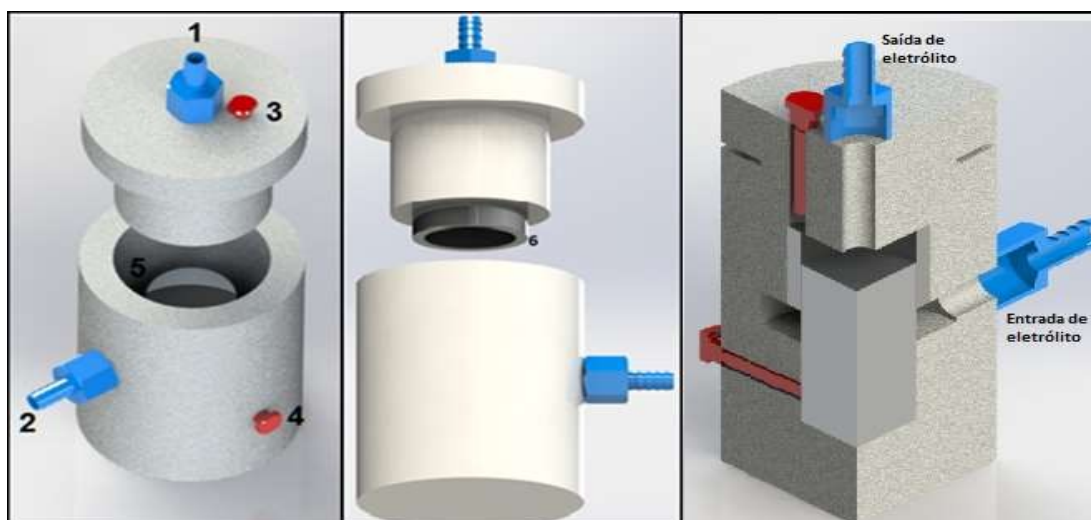


**Figura 11. Trajetória do fluxo de eletrólitos paralelo a superfície da peça.**



A câmara, construída em nylon, envolve completamente os componentes relacionados na texturização. Essa cobertura funciona como isolamento elétrico para que a corrente percorra a direção esperada durante a eletrólise, além de exercer a função de segurança para evitar acidentes elétricos.

**Figura 12. Câmara para texturização de superfícies cilíndricas**



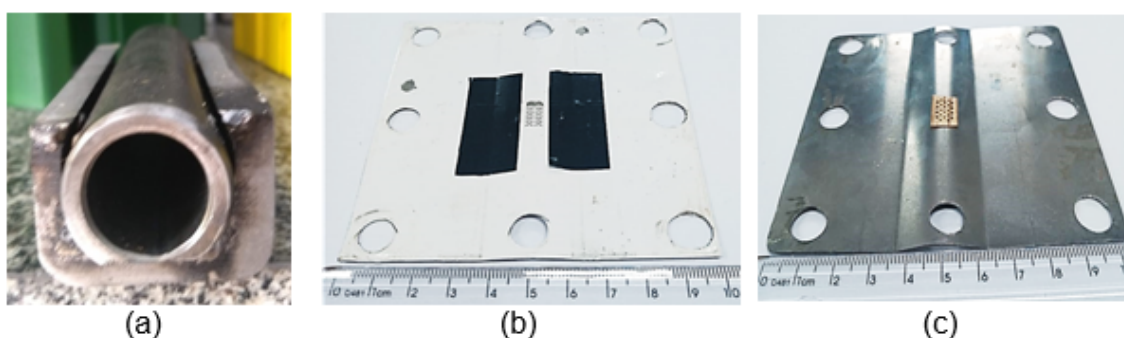
Fonte: FERRI, 2019.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Projeto de texturizador para superfície cilíndrica

Para o desenvolvimento de um equipamento capaz de texturizar a superfície curva de um mancal, inicialmente foram feitas tentativas de adaptar o aparato e metodologia utilizados por DA SILVA (2016) e RODRIGUES (2018). Nos projetos anteriores, foi feito o uso de uma ferramenta plana de acordo com a superfície da amostra a ser texturizada. Portanto, conformar a ferramenta para um formato cilíndrico pareceu o mais natural para adaptar o projeto. O protótipo apresentou problemas, tais como conformidade irregular que gerou um *GAP* variável e a perda de carga. Como não foi possível usinar os *chevrons* na superfície da amostra, essa primeira proposta de design foi abandonada.

**Figura 13. Matriz de conformação (a) e as ferramentas para uso com fluxo de eletrólitos perpendiculares (b) e paralelos (c).**



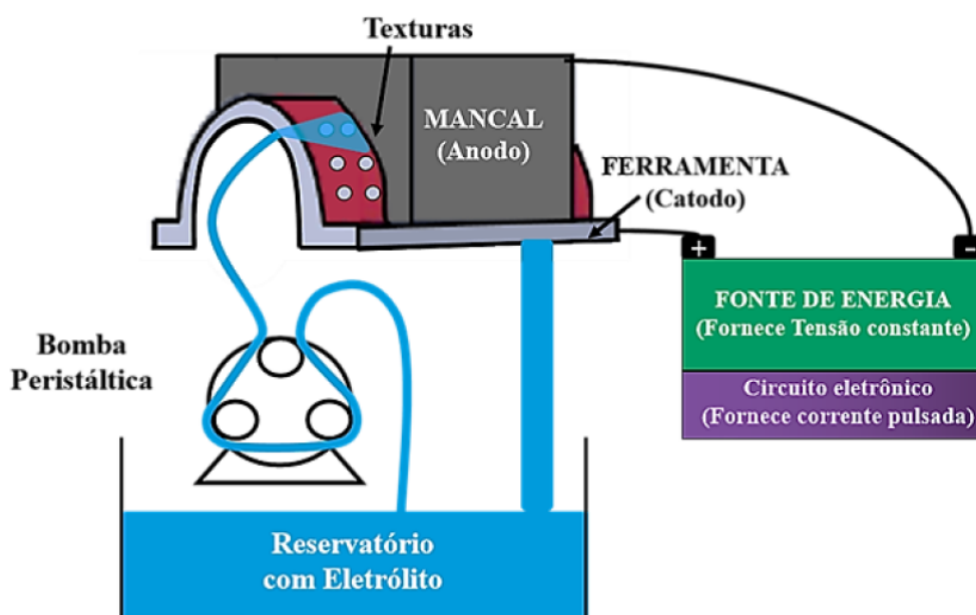
Fonte: VITTORINO, 2022.

Levando em consideração o equipamento proposto por Ferri (2019), foi sugerida uma nova ideia de aparato, dessa vez utilizando um fluxo de eletrólitos paralelo à ferramenta. A mudança do sentido do fluxo simplifica a fabricação da ferramenta. Já não é mais necessário que o padrão a ser usinado seja formado por furos passantes, o que aumentava consideravelmente o custo de fabricação da ferramenta. Além do fator do custo, tínhamos o problema que frequentemente a pintura eletrolítica cobria os furos da textura durante o processo de pintura da ferramenta e, ao retirar esse excesso, o restante da pintura era danificado, o que,

com o tempo, gerava a soltura do acabamento e consequentemente a diminuição da qualidade da textura.

No novo design, o padrão da textura foi aplicado na ferramenta com o uso de uma máscara colada à superfície. Mesmo essa tentativa mostrou-se frustrada do ponto de vista da perda de carga, além de o eletrólito tender a não entrar no GAP, devido à possibilidade de escapar pela face frontal da amostra.

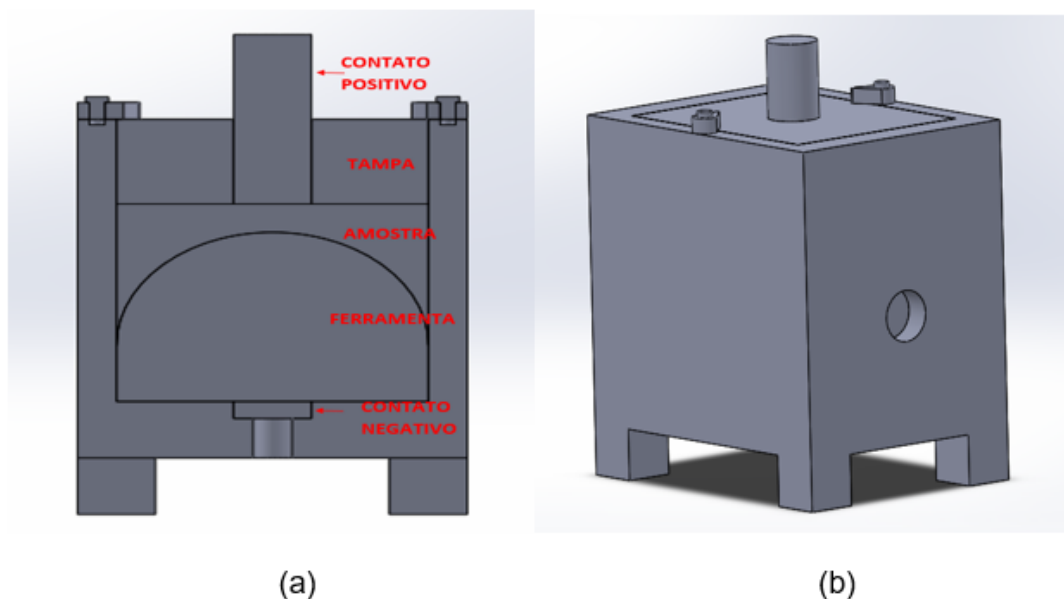
**Figura 14. Sistema aberto com fluxo paralelo de eletrólitos**



Fonte: Vittorino, 2022.

Uma outra versão sugerida não chegou a ser construída. Devido à sua estrutura sólida, ela consumiria muito material em sua construção. Mas vale ressaltar que esse modelo elevava melhorias em relação ao modelo anterior, pois já não possuía a problemática do escape do fluxo de eletrólito. O fluido teria que passar por um circuito definido, onde a única possibilidade de passagem seria por entre a ferramenta e a peça.

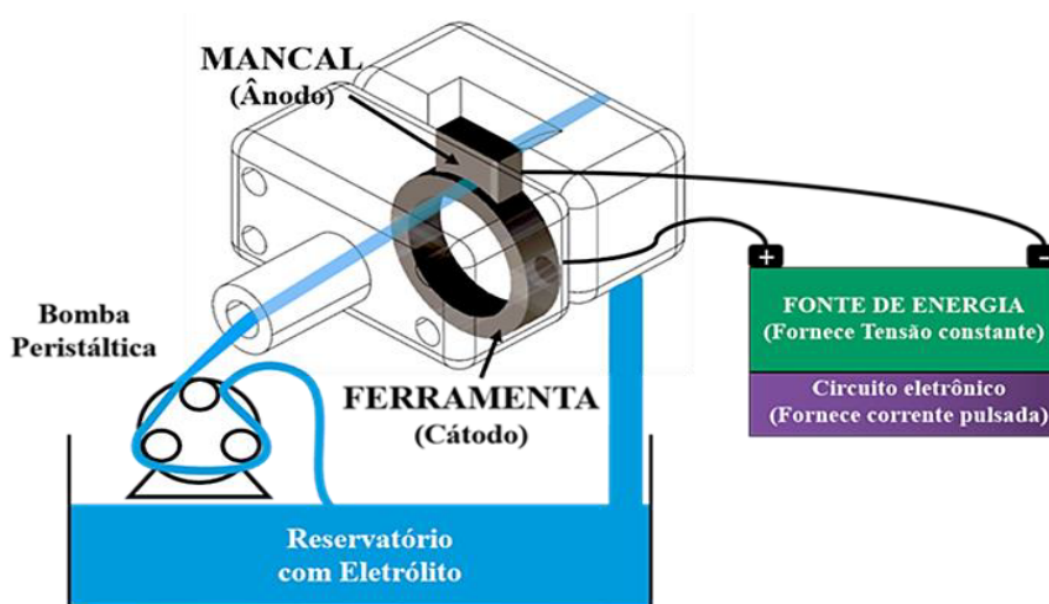
**Figura 15. Câmara de texturização de amostra curva.**



Fonte: Elaboração própria

Observando os problemas apresentados pelo equipamento anterior e pelo modelo proposto, um novo design foi sugerido. Dessa vez, com um gasto de material muito mais eficiente. Os resultados das impressões das amostras se mostraram satisfatórios com esse último aparato.

**Figura 16. Sistema com fluxo paralelo de eletrólitos direcionado para região de interesse**



Fonte: Vittorino, 2022

## 2.2 Análise de viabilidade de patente de equipamento junto a agência intelecto

No presente trabalho, avaliamos a possibilidade de patente do equipamento desenvolvido no Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM), na Universidade Federal de Uberlândia, por Vittorino (2022). Para isso, foi necessário identificar todos os aparatos que já possuem patente e que se assemelham ao que foi proposto.

Seguindo as recomendações da Agência Intelecto, órgão responsável pela gestão da política e do portfólio de propriedade intelectual da Universidade Federal de Uberlândia, foram feitas pesquisas nos repositórios de patentes mais relevantes. No Brasil, as patentes são depositadas no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Para a Europa, temos a *Espacenet* e para os Estados Unidos temos o *United States Patent and Trademark Office's* (USPTO), a *Derwent Innovation Index* e, por fim, o *Google Patents*.

Os resultados analisados levavam em conta palavras chaves, tais como “texturização”, “MECT”, “usinagem”, “microusinagem”, “eletroquímico” e seus equivalentes em língua inglesa. De todos os resultados encontrados, apenas um foi satisfatoriamente próximo ao equipamento proposto pelo laboratório para que fosse viável estabelecer uma análise comparativa.

Cada base leva um sistema de pesquisa diferente, mas todos carregam uma lógica de pesquisa semelhante. Como exemplo, será tomado como a base brasileira, uma vez que essa foi a única que deu resultados que pudessem ser utilizados para este projeto.

Inicialmente, temos a página de pesquisa do banco de patentes. Podemos ver algumas estruturas comuns de pesquisa, baseados em dados específicos da documentação, tais como Número de Pedido ou Número de Protocolo. Esses tipos de dados não são de muita ajuda para esse tipo de levantamento, já que precisamos pesquisar por informações do conteúdo da patente.

**Figura 17. Página de pesquisa básica do INPI**

Fonte: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Ministério da Economia.

O campo mais importante é o “Contenha”, onde se pode pesquisar por palavras no Título e no Resumo do depósito do pedido de patente. Além disso, é necessário tomar cuidado com a escolha de palavras ou conjunto de palavras para se relacionar com o tema correto.

Para auxiliar na pesquisa, quando os termos pesquisados retornam resultados muito amplos, é possível utilizar a pesquisa avançada. Nela, por meio da classificação IPC, é que se pode restringir os resultados à um tema específico. A IPC (*International Patent Classification*) é um sistema de classificação internacional estabelecido em 1971. A sua estrutura divide as áreas tecnológicas entre classes de A a H que se redividem em subclasses, grupos principais e grupos, através de uma hierarquia. Como exemplo, uma classificação pertinente a um equipamento de texturização de superfícies é a C30B 7/12 que, por definição, compreende as áreas tecnológicas de: “Crescimento de monocristais a partir de soluções usando solventes que são líquidos à temperatura normal, p. ex. soluções aquosas; / por eletrólise”.

**Tabela 2. Descrição e exemplos de códigos da Classificação Internacional de Patentes**

Descrição
<p><b>A – Necessidades humanas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Agricultura;</li> <li>– Produtos alimentícios; Tabaco;</li> <li>– Artigos de uso pessoal ou doméstico;</li> <li>– Saúde; Salvamento; Recreação.</li> </ul> <p>Exemplo: A01C7/02 – Implementos manuais para sementeira.</p>
<p><b>B – Operações de Processamento; Transporte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Separação; Mistura;</li> <li>– Conformação;</li> <li>– Impressão;</li> <li>– Transporte;</li> <li>– Tecnologia das microestruturas; Nanotecnologia.</li> </ul> <p>Exemplo: B60C5/00 – Pneus infláveis ou câmaras de ar.</p>
<p><b>C – Química e Metalurgia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Química</li> <li>– Metalurgia</li> <li>– Tecnologia combinatória.</li> </ul> <p>Exemplo: C05B15/00 – Fertilizantes orgânicos fosfatados.</p>
<p><b>D – Têxteis e Papel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Têxteis ou materiais flexíveis não incluídos em outro local;</li> <li>– Papel.</li> </ul> <p>Exemplo: D21G9/00 – Outros acessórios para máquinas de fabricar papel.</p>
<p><b>E – Construções fixas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Edificação;</li> <li>– Perfuração do solo; mineração.</li> </ul> <p>Exemplo: E06C1/00 – Escadas em geral.</p>
<p><b>F – Engenharia mecânica; Iluminação; Aquecimento; Armas; Explosão</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Motores ou bombas;</li> <li>– Engenharia em geral;</li> <li>– Iluminação; Aquecimento;</li> <li>– Armas; Explosão.</li> </ul> <p>Exemplo: F04F9/00 – Bombas de difusão.</p>

<p><b>G – Física</b></p> <p>– Instrumentos;</p> <p>– Nucleônica.</p> <p>Exemplo: G02B3/10 – Lentes bifocais; Lentes multifocais.</p>
<p><b>H – Eletricidade</b></p> <p>Exemplo: H01Q5/01 – Antenas ressonantes.</p>

Fonte: World Intellectual Property Office, 2011.

**Figura 18. Página de pesquisa avançada do INPI**

BRASIL Acesso à informação Participe Serviços Legislação Canais

Instituto Nacional da Propriedade Industrial  
Ministério da Economia

Consulta à Base de Dados do INPI

[ Início | Ajuda? | Login | Cadastre-se aqui. ]

» Consultar por: **Base Patentes** | Pesquisa Básica | Calendário | Finalizar Sessão

**PESQUISA AVANÇADA**  
Forneça abaixo as chaves de pesquisa desejadas. Evite o uso de frases ou palavras genéricas.

+ Números

+ Datas

- Classificação

(51) Classificação IPC:  ?

Palavra-chave no classificador IPC:  ?

- Palavra Chave

(54) Título:  ?

(57) Resumo:  ?

+ Depositante/Titular/Inventor

Nº de Processos por Página:

Rua Mayrink Veiga, 9 - Centro - RJ - CEP: 20090-910

Fale conosco

Fonte: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Ministério da Economia.

A pesquisa deverá retornar uma lista de resultados com as patentes depositadas até a data atual. Os resultados relevantes serão identificados a partir de uma análise cuidadosa dessa lista.



Figura 19. Exemplo de página de resultados de pesquisa de patentes no INPI

BRASIL		Acesso à informação	Participe	Serviços	Legislação	Canais
Instituto Nacional da <b>Propriedade Industrial</b> Ministério da Economia						
Consulta à Base de Dados do INPI						[ Início   Ajuda? ]
» Consultar por: Base Patentes   Finalizar Sessão						
<b>RESULTADO DA PESQUISA</b> (12/01/2023 às 16:33:40)						
<b>Pesquisa por:</b>						
Todas as palavras: 'TEXTURIZAÇÃO no Título'						
Foram encontrados <b>44</b> processos que satisfazem à pesquisa. Mostrando página 1 de 3.						
Pedido	Depósito	Título	IPC			
BR 11 2022 018966 4	23/03/2021	COMPOSIÇÃO PARA EMULSIFICAÇÃO E TEXTURIZAÇÃO COM BASE EM AMIDOS E GOMAS, PARA COSMÉTICOS	C08L 3/06			
BR 11 2022 017701 1	09/03/2021	FORMULAÇÃO PARA UM AGENTE DE PRÉ-TEXTURIZAÇÃO, FORMULAÇÃO PARA UM AGENTE DE GRAVAÇÃO, E FORMULAÇÃO PARA UMA FORMULAÇÃO DE DECAPAGEM FOTORRESISTENTE	C09K 13/08			
BR 20 2020 023413 2	17/11/2020	CÂMARA DE TEXTURIZAÇÃO SUPERFICIAL	C30B 7/12			
BR 11 2018 017181 6	01/03/2017	MEMBRANA DE FIBRA OCA COM TEXTURIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL	B01D 61/24			
BR 11 2018 014676 5	05/01/2017	MÉTODO E SISTEMA PARA DETERMINAR A TEXTURIZAÇÃO DE MECHAS	F01N 1/02			
BR 11 2018 007323 7	13/10/2016	MÉTODO PARA TEXTURIZAÇÃO DE ROLOS DE TRABALHO PARA LAMINAÇÃO DE METAL, TIRA DE METAL, E, ROLO DE TRABALHO	B21B 1/22			
BR 11 2017 003719 0	01/07/2016	TEXTURIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE PUNÇÃO PARA USO NA FABRICAÇÃO DE RECIPIENTES METÁLICOS	B21D 22/28			
BR 10 2015 020435 3	25/08/2015	TEXTURIZAÇÃO DE REVESTIMENTO EM PEDRAS ORNAMENTAIS	B28D 1/26			
BR 11 2016 021219 3	18/03/2015	GRADIENTE DE INTENSIDADE DE TEXTURIZAÇÃO DE CONDUTO DE LUZ PARA DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS	G09F 9/305			
BR 11 2016 008596 5	17/10/2014	PROCESSO DE TEXTURIZAÇÃO DE UMA BIOMASSA DE MICROALGAS	A23L 1/337			
BR 11 2014 031528 0	10/06/2013	COMPOSIÇÃO DE TEXTURA PARA TEXTURIZAÇÃO DE UM SUBSTRATO E MÉTODO DE TEXTURIZAÇÃO DE UM SUBSTRATO	C04B 24/26			
BR 11 2014 029527 1	24/05/2013	Kit, método para tratar os cabelos e método de texturização de uma composição condicionadora de cabelo	A61Q 5/12			
BR 10 2012 011453 4	15/05/2012	PROCESSO DE TEXTURIZAÇÃO A LASER PARA A PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE TRABALHO DE FERRAMENTAS DE CONFORMAÇÃO	C23C 14/02			
BR 11 2013 009280 7	21/10/2011	MÉTODO PARA OBTENIR UMA CEPHA DE BACTÉRIAS DO ÁCIDO LÁCTICO DE TEXTURIZAÇÃO, MÉTODO DE PRODUZIR UM LATICÍNIO E USO DE UMA CEPHA DE BACTÉRIAS DO ÁCIDO LÁCTICO	C12R 1/225			
BR 11 2013 009280 7	21/10/2011	CERA SÓLIDA PARA TEXTURIZAÇÃO DE MOLDES, MATRIZES, FORMAS E	C08G 1/10			

Fonte: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Ministério da Economia.

Cada pedido de patente tem informações de Número do pedido, datas de depósito e publicação, classificação IPC, Nome do Depositante e do Inventor. Além dessas informações, também está disponível um arquivo e PDF, descrevendo os aspectos da invenção e detalhando as reivindicações da patente.

**Figura 20. Exemplo de depósito de patente no INPI**

**Depósito de pedido nacional de Patente**

(21) Nº do Pedido: **BR 20 2020 023413 2 U2**

(22) Data do Depósito: 17/11/2020

(43) Data da Publicação: 02/08/2022

(47) Data da Concessão: -

(51) Classificação IPC: C30B 7/12

(52) Classificação CPC: C30B 7/12

(54) Título: CÂMARA DE TEXTURIZAÇÃO SUPERFICIAL  
 CÂMARA DE TEXTURIZAÇÃO SUPERFICIAL. A câmara de texturização destina-se à utilização em um processo de texturização baseado em princípios de dissolução eletroquímica denominada Texturização Superficial Eletroquímica sem Mascaramento (MECT); a técnica envolve passagem de corrente elétrica através de um eletrólito entre um cátodo recoberto com uma máscara com o padrão de textura e a peça a ser texturizada. A câmara é constituída de um casco por exemplo mas não necessariamente cilíndrico que possui uma tampa superior e uma tampa inferior onde estarão fixados um suporte para a

(57) Resumo: amostra que será texturizada e um suporte para o cátodo que estará recoberto com o padrão de texturização, garantindo flexibilidade em termos de geometria das peças a serem texturizadas e controle preciso da separação entre ânodo e cátodo. O suporte da amostra é fixo e o suporte da ferramenta é móvel, de forma que é possível controlar a distância entre a ferramenta e a amostra a ser texturizada por meio de um parafuso abrigado na tampa. Os suportes possuem também a entrada dos contatos elétricos para o catodo e o anodo, necessários para trazer a corrente que fornece a polarização anódica ao sistema. Além disso a câmara possui aberturas que promovem a passagem no eletrólito pelo seu interior.

(71) Nome do Depositante: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG (BR/RS)

(72) Nome do Inventor: HENARA LILLIAN COSTA MURRAY / EDITH ARYEL DE MESQUITA MOURA / CRISTIANO AZEVEDO CELENTE

Anuidades ?									
Petições ?									
Serviço	Pgo	Protocolo	Data	Imagens	Cliente	Delivery	Data		
Serviços									
204	✓	800220288495	19/08/2022	- - -	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG				-
200	✓	870200145037	17/11/2020	- - -	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG				-
Anuidade									
240	✓	800220439959	20/12/2022	- - -	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG				-
Outros									
Publicações ?									
RPI	Data RPI	Despacho	Img	Complemento do Despacho					
2691	02/08/2022	3.1	-						
2613	02/02/2021	2.1							

Fonte: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Ministério da Economia.

O aparelho encontrado para análise nesse projeto tem sua patente depositada na base do INPI, sob o título Câmara De Texturização Superficial. Esse equipamento é fruto do trabalho de Henara Lillian Costa Murray; Edith Aryel De Mesquita Moura e Cristiano Azevedo Celente, e foi desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande (FURG), no ano de 2020.

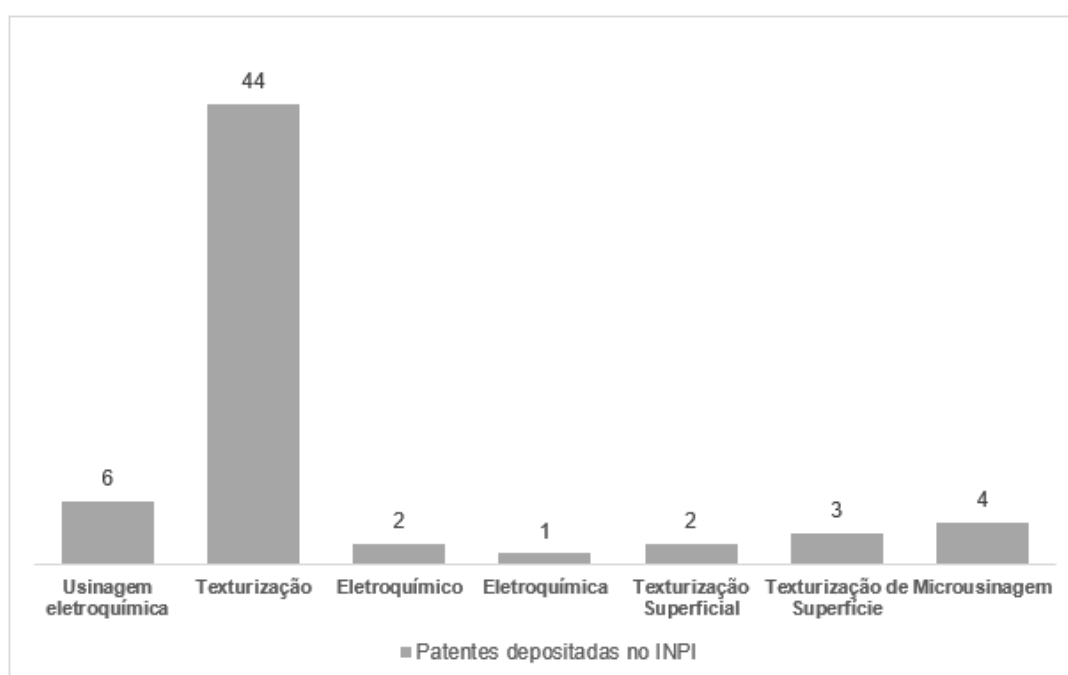
A Câmara de texturização, assim como o aparato apresentado no presente projeto, utiliza de usinagem eletroquímica para imprimir texturas em superfícies metálicas sem fazer o uso mascaramento na peça. Em ambos os equipamentos foi considerado que a fonte elétrica e a bomba para o eletrólito são sistemas a parte, mesmo que estes ainda sejam essenciais para que a usinagem ocorra.

### 3 RESULTADOS

Para cada banco de patentes, foram avaliados os resultados apresentados para as palavras mais pertinentes ao equipamento de texturização. Segue abaixo (figuras 21 a 24) a relação de resultados por palavra para cada banco de patente pesquisado.

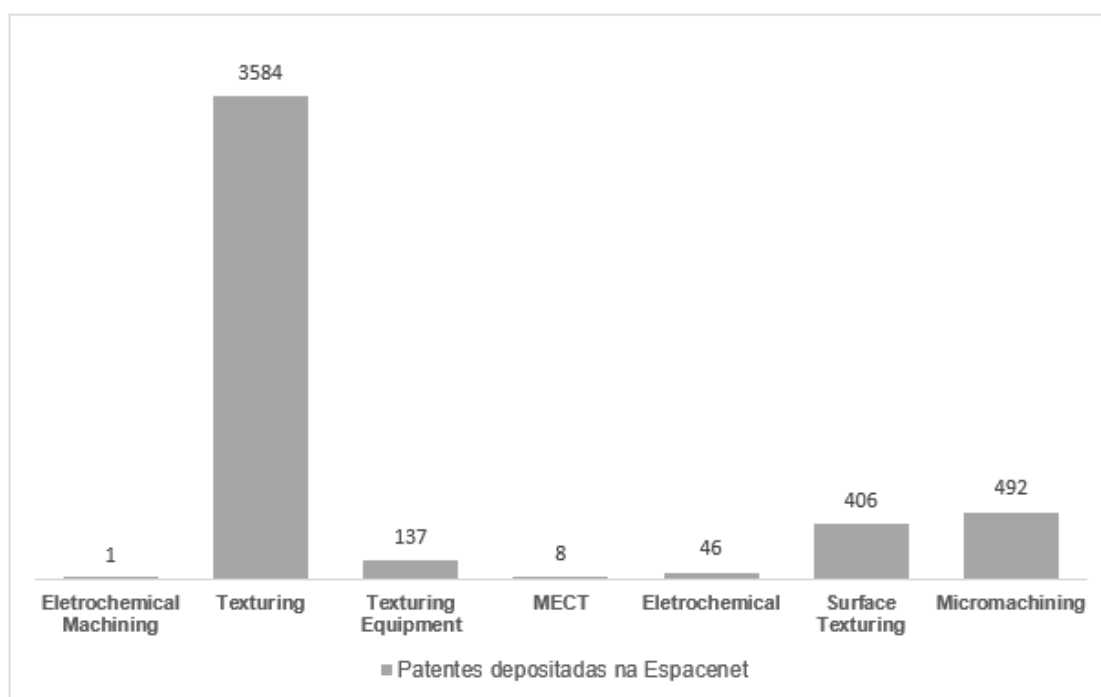
Pode-se observar, analisando os gráficos que utilizam palavras chaves mais específicas, que os resultados retornados são muito restritos. Nesse tipo de levantamento, é importante tomar cuidado com essa questão. Se os termos são específicos demais, os resultados relevantes podem ficar fora do filtro. Por outro lado, considerando a quantidade de resultados encontrados para “texturização”, ou seu equivalente em inglês, “*texturing*”, temos um volume consideravelmente maior. Isso ocorre porque texturização é uma palavra um tanto quanto genérica e está associada a diversos trabalhos, nas mais variadas áreas. O uso de palavras tão amplas não é indicado, mas, caso seja necessário, pode-se utilizar os outros recursos de pesquisas disponíveis em cada base, como procurar o termo em partes específicas do texto, sobrepor os filtros e pesquisar por área de conhecimento. As ferramentas são várias e variam levemente entre uma base e outra, por isso é importante se atentar às particularidades de cada uma.

**Figura 21. Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título no INPI**



O INPI foi criado em 1970 e, no Brasil, é responsável por executar todas as normas que regulam a propriedade industrial (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação). Como vemos na figura 21, os resultados de pesquisa nessa base são tão pouco volumosos a ponto de ser possível avaliar todos individualmente. Mesmo com o termo “texturização”, que é bem amplo, retorna apenas 44 patentes. Para o desenvolvimento desse projeto, todos os resultados contabilizados no gráfico acima foram analisados em algum nível.

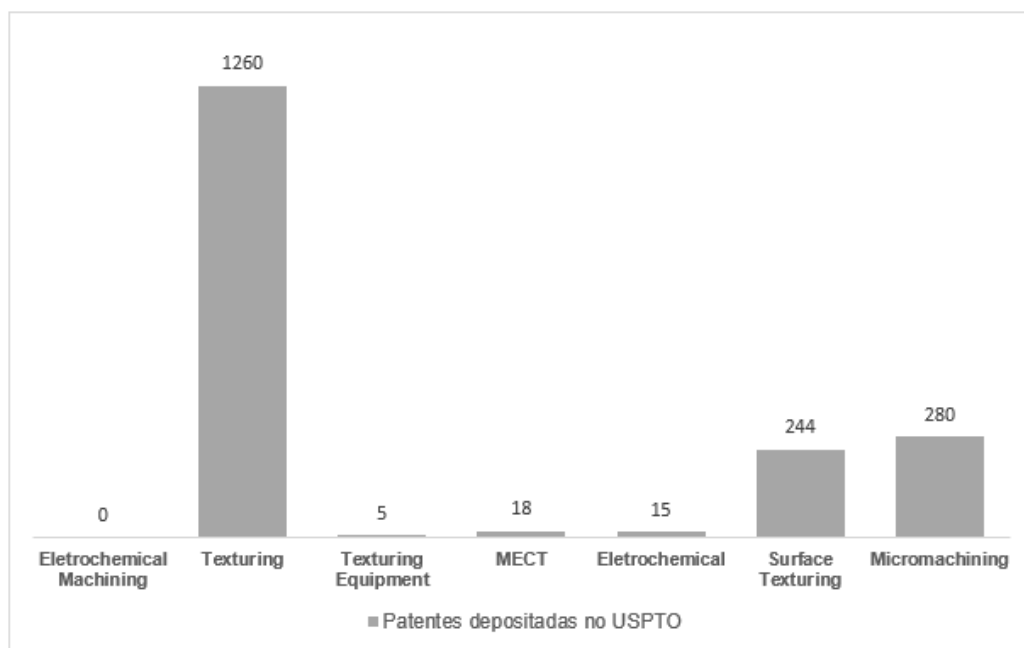
**Figura 22. Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título no Espacenet**



A Espacenet se trata de um serviço de pesquisas de patentes gratuito, desenvolvido pelo *European Patentes Office* (EPO). Na figura 22, vemos que o número de patentes encontradas na Espacenet é consideravelmente maior que as encontradas no INPI. Isso ocorre por essa ser uma opção de depósito muito mais visada internacionalmente, uma vez que ele abrange até 40 países europeus. Nesse caso, mesmo utilizando palavras chaves mais restritas, como “Surface Texturing”, a quantidade de resultados é ainda muito grande para ser analisada individualmente. Nessa base, o uso dos chamados operadores Booleanos auxiliou muito. Através desses, é possível associar mais de uma palavra-chave na pesquisa com as

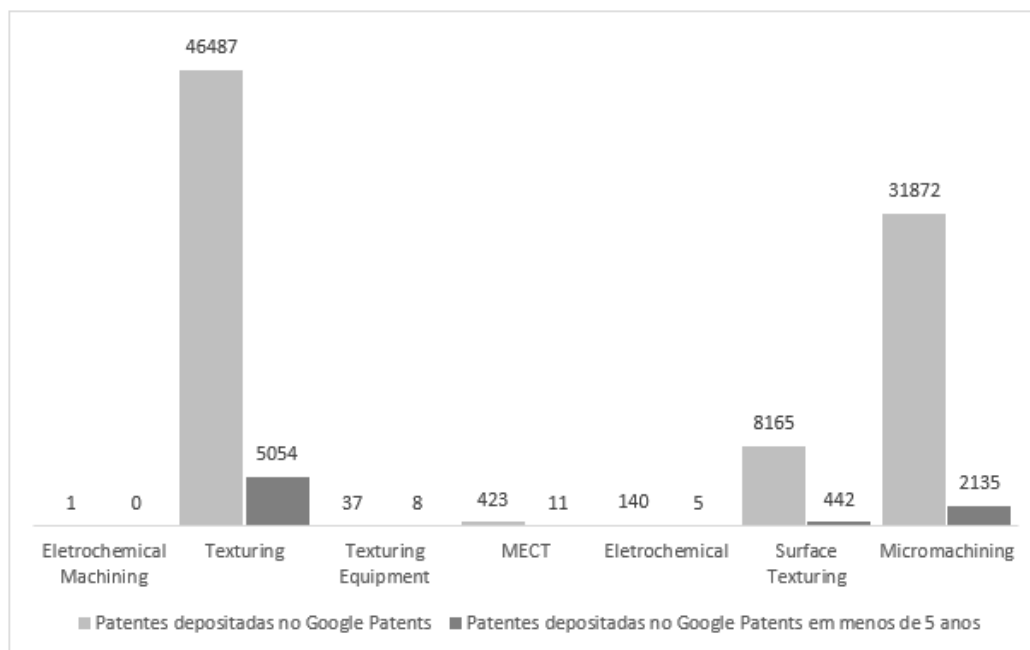
relações de AND, OR e NOT. No caso da Espacenet, é possível utilizar 9 operadores por campo e até 20 em uma pesquisa.

**Figura 23. Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título no USPTO**



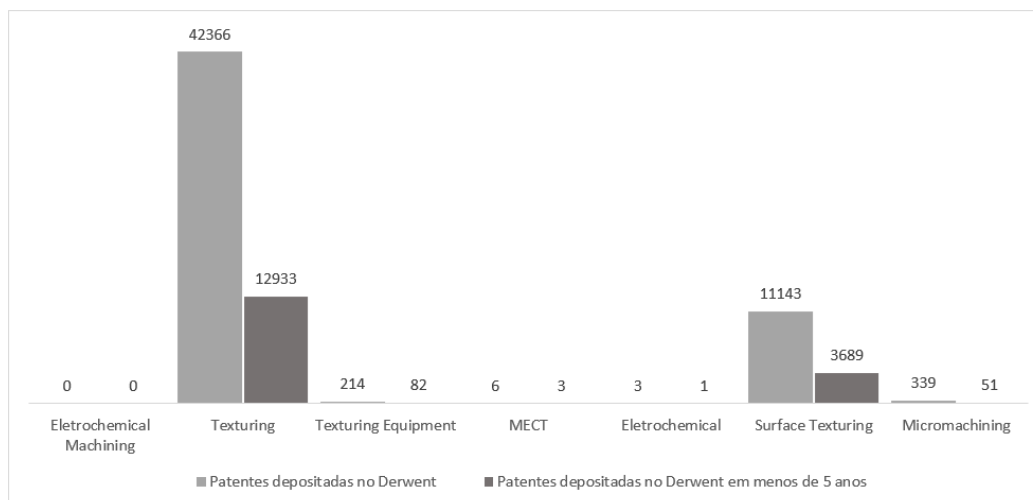
A USPTO também se mostra como uma base muito visada para depósito de patentes internacionalmente, mesmo que seu alcance abranja somente os Estados Unidos da América. De acordo com o *World Intellectual Property Organization* (WIPO), somente para o Brasil, foram concedidas 494 patentes nessa base. Como podemos ver na figura 23, os resultados para as pesquisas das palavras-chaves selecionadas foram consideravelmente volumosos. A mesma lógica para filtrar as patentes encontradas na Espacenet também foi utilizada aqui.

**Figura 24. Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título no Google Patents.**



Sobre o Google Patents é interessante ressaltar que são pesquisadas as patentes do USPTO (desde 1790), WIPO (World Intellectual Property Organization) e EPO (desde 1978). Além disso, também aparecem como resultados os artigos do Google Scholar, caso não tenha selecionado a opção para não pesquisar entre os artigos. Por isso, no gráfico da figura 24, são apresentados os resultados com um filtro a mais: somente as patentes depositadas nos últimos cinco anos. Normalmente, as patentes mais antigas já foram citadas nas mais recentes. Isso faz com que não seja necessário procurar por patentes muito antigas se já tiver uma quantidade considerável de patentes recentes.

**Figura 25. Gráfico de número de patentes encontradas para cada palavra pesquisada pelo título na Derwent.**

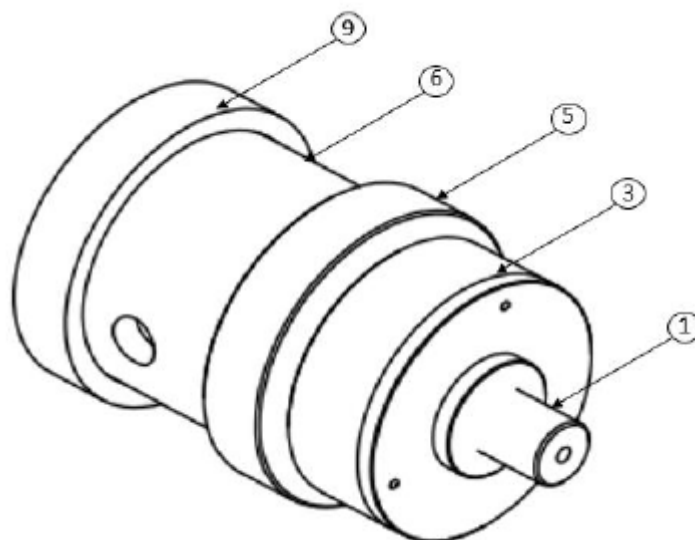


Derwent Innovate é uma base de patentes da Clarivate, uma empresa fundada em 1864 como base de dados de biologia animal. Por se tratar de uma base muito extensa, o filtro de 5 anos também foi aplicado ao gráfico da figura 25.

Uma única patente viável foi encontrada na base brasileira, o trabalho de Henara (2020). Nessa patente, trabalhos anteriores não foram citados, portanto, pode ser considerado que é bem confiável afirmar que essa é a única para esse tipo de tecnologia. Foi avaliado todo o material a respeito da Câmara De Texturização Superficial disponibilizado no INPI. Neste trabalho, teremos comparações feitas somente em relação ao *design* do equipamento, pois as informações sobre dimensão e materiais utilizados ou, até mesmo, técnicas de fabricação não estão disponíveis.

Na imagem abaixo, vemos que o equipamento se trata de uma câmara cilíndrica com aberturas que possibilitam a passagem do eletrólito.

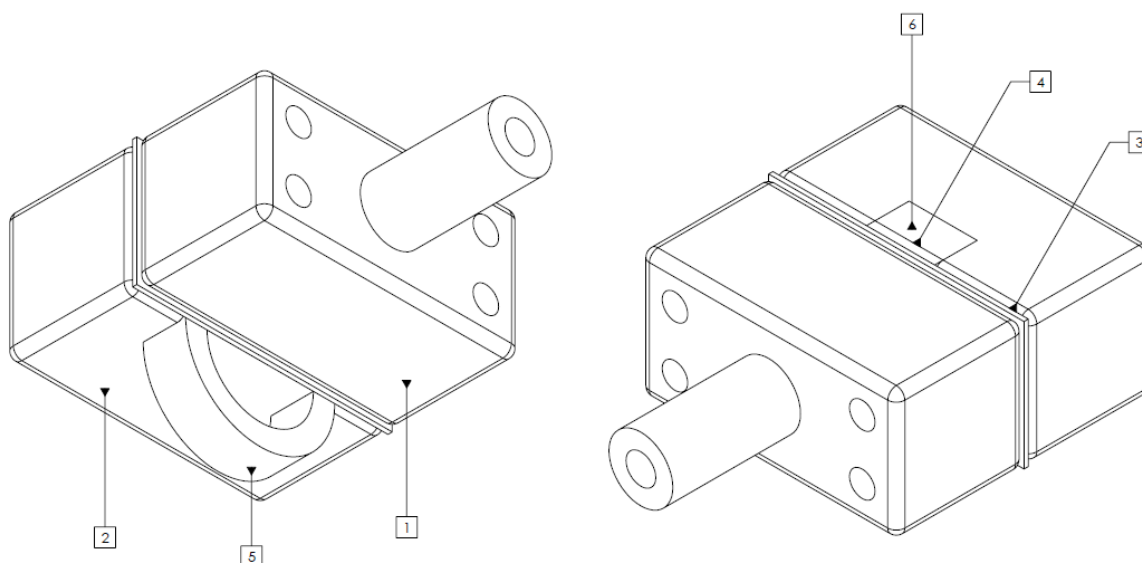
**Figura 26. Câmara de texturização superficial (Henara; 2020) (1) - Parafuso principal (3) - Movimento do parafuso (5) - Manipulo do parafuso (6) – Corpo (9) - Tampa fixa**



Fonte: Henara, 2020.

O equipamento desenvolvido por VITTORINO (2022), conforme mostrado abaixo (figura 27), possui duas partes que se justapõem ao conjunto peça/ferramenta. Também é possível observar a passagem para o eletrólito.

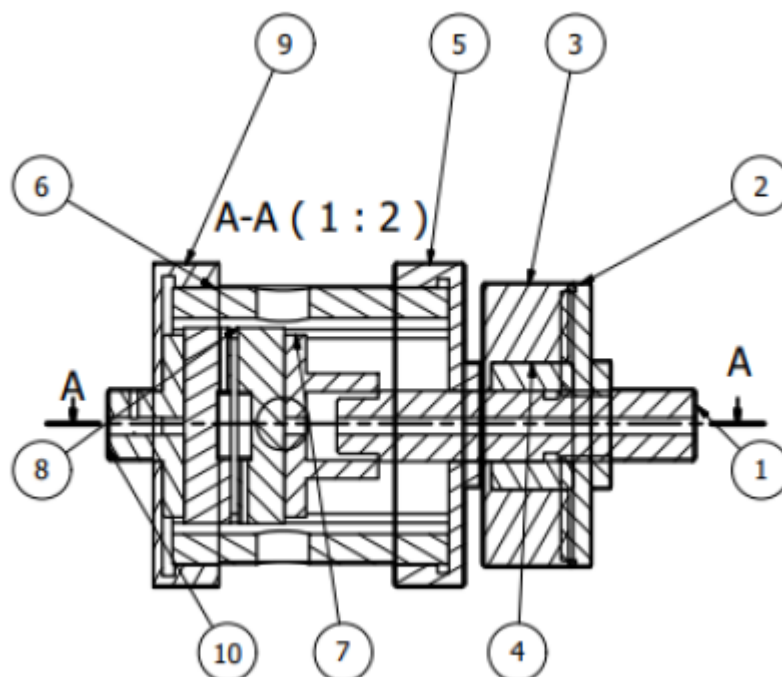
**Figura 27. Aparato para texturização superficial (1) - Estrutura bipartida de entrada (2) - Estrutura bipartida de saída (3) - Vedação I (4) - Vedação II (5) - Peça (6) - Ferramenta**





Nesse primeiro protótipo de equipamento, a figura 26, vemos a presença de um casco de material não condutor, para o isolamento elétrico do processo, trazendo uma maior segurança para o usuário. Dentro desse casco, podem ser fixados peça e ferramenta. Temos também a entrada e saída no corpo da câmara, que possibilitam o fluxo constante de eletrólitos que preenchem a câmara de texturização.

**Figura 28. Câmara de texturização superficial (Henara; 2020) (1) - Parafuso principal (2) - Tampa conjunto do parafuso (3) - Movimento do parafuso (4) - Bucha do movimento (5) - Manipulo do parafuso (6) – Corpo (7) - Suporte para fixação da ferramenta (8) – Suporte para fixação da amostra (9) - Tampa fixa (10) - Suporte da amostra**



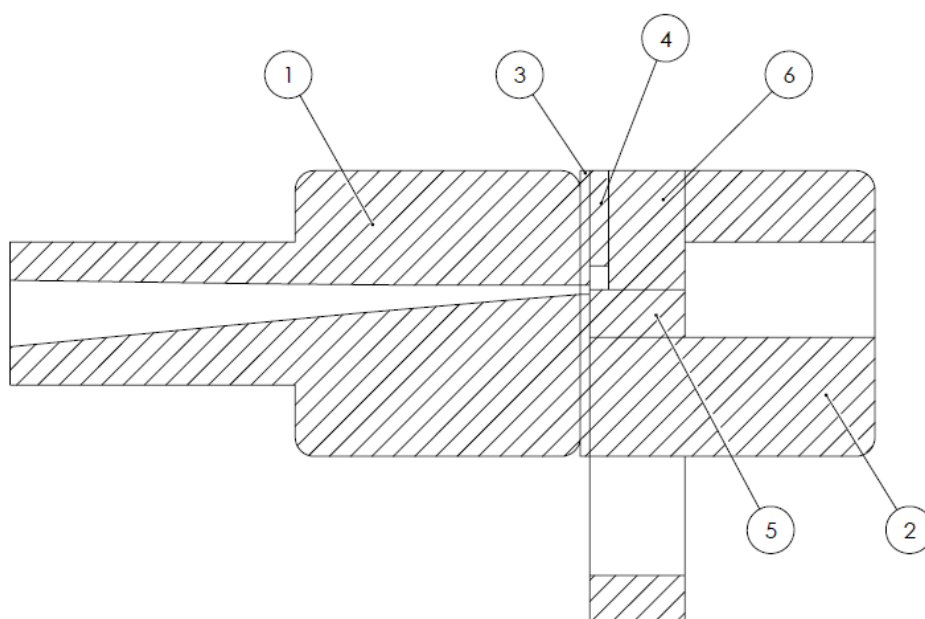
Fonte: Henara, 2020.

No segundo aparato, figura 27, o casco foi substituído por uma estrutura bipartida fixa, onde um conjunto único de peça e ferramenta podem ser encaixados. Essa nova construção traz uma vantagem muito grande do ponto de vista econômico. O fato da peça não ter que estar dentro de uma câmara faz com que o equipamento não tenha que envolver completamente a peça, e isso implica no menor uso de material na construção do equipamento. O aparato não precisa

alcançar a dimensão de peças muito grandes, desde que seja possível envolver a face a ser trabalhada, com as duas metades do equipamento.

Outro ponto de vantagem de não se usar uma câmara que envolva toda a peça, é que essa não é exposta ao desgaste gerado pela usinagem eletroquímica, além do necessário. Nessa configuração, temos somente o trecho da face que se tem o intuito de usinar exposto ao eletrólito e à corrente elétrica.

**Figura 29. Aparato para texturização superficial (1) - Estrutura bipartida de entrada (2) - Estrutura bipartida de saída (3) - Vedação I (4) - Vedação II (5) - Peça (6) - Ferramenta**



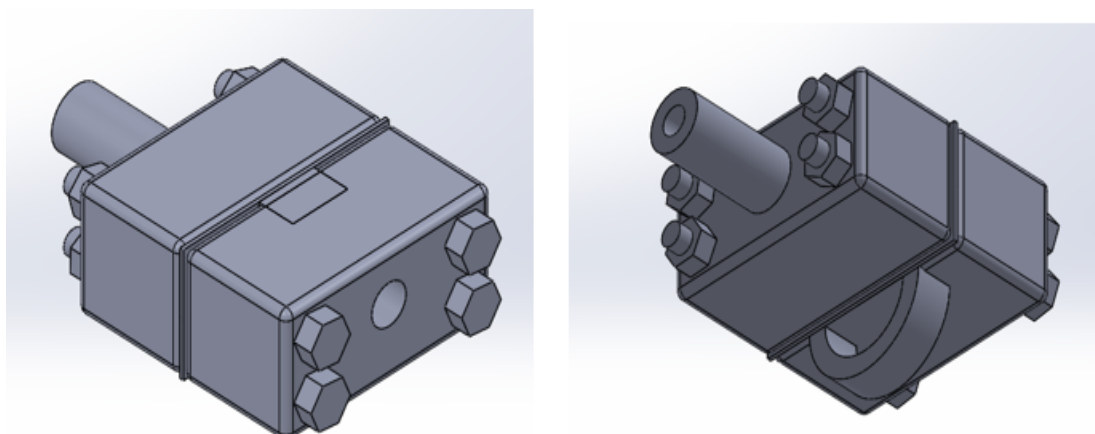
Outra diferença entre os equipamentos que vale destacar nesse protótipo é o ajuste do *GAP* entre peça e ferramenta. Na primeira, o ajuste é feito por meio de um parafuso que desloca a peça dentro da câmara, permitindo a adaptação a diversos conjuntos peça ferramenta. No segundo equipamento, o recurso utilizado para essa solução é mais simples, mas mesmo assim confiável, para se atingir bons resultados. Nele, foi empregado uma fita isolante presa na superfície da ferramenta que delimita a aproximação da peça. Isso faz com que haja a redução de partes móveis, que implica em menos pontos para sofrer danos com o tempo de uso. Em ambas as alternativas, a distância ideal para que ocorra a eletrólise, pode ser alcançada.

No fluxo de eletrólitos, o segundo equipamento apresentou uma redução da seção do duto para acelerar o fluido. Devido à conservação de massa (FOX, 2006) o fluido se acelera proporcionalmente à redução da área do duto, como mostra a equação (1).

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (1)$$

Com essa aceleração, é possível melhorar a qualidade da usinagem da superfície e remover, mais efetivamente, os detritos resultantes do processo.

**Figura 30. Aparato para texturização superficial com elementos de fixação**

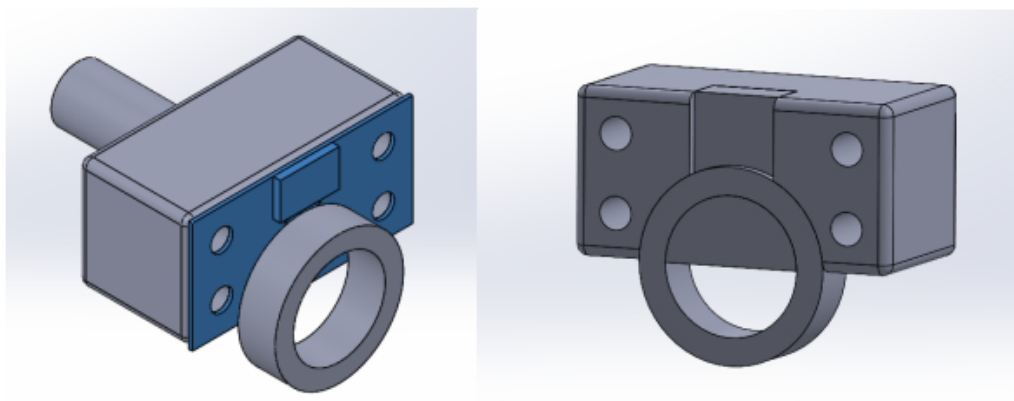


Quanto ao modo de união das duas estruturas utilizadas, indicadas como 1 e 2, na figura 29, existem algumas observações interessantes a se serem feitas. A junção é feita a partir parafusos e porcas, como exemplificado na figura 30, que vão em quatro furos passantes alinhados nas duas partes do equipamento.

Como são elementos de construção muito comuns, a substituição acaba se tornando muito fácil, caso necessário. Como o projeto não exige nenhum tipo de precisão dos elementos de fixação em material, comprimento, diâmetro ou passo, abre-se a possibilidade para uma grande variedade de modelos a disposição. Desde que o parafuso possua o comprimento mínimo para transpassar as duas estruturas bipartidas e tenha um diâmetro menor que os furos da estrutura criados para

comporta-los, como vemos na figura 30, qualquer conjunto de porca e parafuso pode ser utilizado.

**Figura 31. Elementos de vedação em destaque (azul) com montagem exemplificada em relação à peça e à estrutura bipartida separada em entrada e saída.**



Ainda sobre esse segundo aparato, figura 32, a vedação também é uma solução muito simples. Se trata apenas de uma camada de borracha prensada entre as duas partes do equipamento. Como não é necessário muita precisão nas dimensões é possível, até mesmo, fabricar as vedações manualmente. Nesse caso, foi priorizada a simplicidade e a acessibilidade dos materiais e técnicas de construção para o desenvolvimento do aparato. Todos esses fatores contribuem para o baixo custo de construção do equipamento.

Os pontos avaliados durante a elaboração desse projeto ressaltam como a ausência da câmara e o uso da máscara na ferramenta aprimoraram esse instrumento, em relação aos outros criados para essa finalidade. Segue um resumo das melhorias:

- Não é necessário que a dimensão do aparato seja superior que a do conjunto peça/ferramenta, pois é possível texturizar a superfície envolvendo somente a região a ser usinada.
- Considerando que todo o equipamento estará exposto a um ambiente muito corrosivo, devido ao sal presente no eletrólito, a fixação feita por parafusos e porcas é muito interessante, pois pode facilmente ser

substituída em caso de perda ou desgaste, uma vez que permite uma certa quantidade de variações nas dimensões dos parafusos.

- A solução de vedação apresentada pode ser fabricada até mesmo de forma manual, fazendo com que seja de facilmente substituída, caso necessário, e adaptada para eventuais ajustes.
- A redução da área da seção transversal do duto de entrada do eletrólito aumenta a qualidade das texturas usinadas.
- Esse formato de aparelho pode ser utilizado tanto em peças planas quanto em peças com diferentes graus de curvatura.
- Como a ferramenta nada mais é do que uma superfície lisa, conforme à peça, sua fabricação se torna muito menos dispendiosa.

## CONCLUSÃO

Foi projetado um equipamento capaz de criar amostras texturizadas em superfícies metálicas curvas com um baixo custo de produção. Esse novo aparato traz um maior nível de praticidade e acessibilidade para a técnica de tratamento de superfície conhecida como texturização eletroquímica sem mascaramento, sendo sua sigla em inglês *MECT*.

O desenvolvimento de novos equipamentos para texturização contribui para que essa tecnologia, que promete revolucionar o campo da tribologia, continue progredindo. Encontrar modos de aplicar técnicas de texturização em várias superfícies e em diferentes ambientes faz com que aos poucos a aplicabilidade desse recurso melhore e aumente sua popularidade como opção para soluções na indústria.

Por meio de pesquisas em diversos bancos de patentes, foram identificadas diversas singularidades do equipamento que o tornam único dentro dessa área de tecnologia. Somente um resultado comparável foi encontrado e, após análise, foi possível observar melhorias consideráveis em relação à dimensão do aparato quando comparado à peça a ser usinada, facilidade para encontrar reposição dos elementos de fixação no mercado, eficiência no fluxo de eletrólito e facilidade de fabricação.

Os pontos avaliados durante a elaboração desse projeto ressaltam como a ausência da câmara e o uso da máscara na ferramenta aprimoraram esse instrumento, em relação aos outros criados para essa finalidade. Desse modo, podemos observar os avanços trazidos por tal aparato e tais avanços justificam o pedido de patente defendido nesse projeto. Trabalhos futuros podem sugerir melhorias para o equipamento apresentado ou, até mesmo, desenvolver variações que se apliquem a condições não consideradas no presente trabalho.

## TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade ao trabalho com texturização desenvolvido pelo Laboratório de Tribologia e Materiais, seria muito interessante fazer um estudo da qualidade da textura produzida pelos dois equipamentos citados nessa projeto avaliando o acabamento atingindo em amostras feitas pelos dois tipos de aparato.

Um novo design que possibilitasse a variação do gap pode ser interessante também para desenvolver estudos sobre a influencia dessa variável na usinagem da peça. Nessa mesma linha de raciocínio se pode trabalhar com equipamentos que possibilitam o uso de peça com diâmetros distintos, uma vez que dispensaria a necessidade de criar um aparato novo para cada modelo de mancal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENEDICT, G. F. **Nontraditional Manufacturing Processes-Electrochemical Machining**. Marcel Dekker. New York and Basel, pp.125 – 172, 1987.

BHATTACHARYYA, B.; MUNDA, J. Experimental investigation into electrochemical micromachining (EMM) process. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 140, n. 1–3 SPEC., p. 287–291, 2003.

COBLAS, D. G. et al. Manufacturing textured surfaces: State of art and recent developments. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, **Part J: Journal of Engineering Tribology**, v. 229, n. 1, p. 3-29, 2015.

COSTA, H. L.; HUTCHINGS, I. M. Some innovative surface texturing techniques for tribological purposes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, **Part J: Journal of Engineering Tribology**, v. 229, n. 4, p. 429–448, 2015.

COSTA, H. L.; HUTCHINGS, I. M. Hydrodynamic lubrication of textured steel surfaces under reciprocating sliding conditions. **Tribology International**: 40:1227-1238. 2008.

COSTA, H. L. **Modification of surface topography**: manufacturing methods and applications. University of Cambridge, 2005.

DA SILVA, L. R. **Texturização superficial de cilindros automotivos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

DE BARR, A. E.; D. A. O. **Electrochemical Machining**. 1968.

ETSION, I. State of the art in laser surface texturing. **Journal of Tribology -Transactions of the Asme** 127(1): 248-253. 2005.

ETSION, I.; BURSTEIN, L. A model for mechanical seals with regular microsurface structure. **Tribology Transactions**, v. 39, n. 3, p. 677–683, 1996.

FERRI, Gabriel Guilherme Bacca. **Texturização superficial eletroquímica sem mascaramento de componentes cilíndricos**. 2019. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, 2019.

FLORES, G., **Plateauhonen von Kolbenlaufbahnen**. Teil 2, MTZ Motortechnische Zeitschrift, vol 46, 1985.

FOX, R. W., MCDONALD, A.T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 6ª. ed. Guanabara, Rio De Janeiro, Brasil, 2006.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC. 2007.



GLAVATSKIH, S. B.; MCCARTHY, D. M. C. Hydrodynamic bearings with improved performance and reliability – Part II: Influence of pad surface texturing, **Research Report**, Luleå Univ. of Tech., 2003.

GROVER, S. et al. Analysis on Drag Reduction of Bluff Body using Dimples. **International Journal of Advanced Production and Industrial Engineering**. p. 4 -11, 2017.

HENARA, L. C. M.; MOURA, E. A. de M.; CELENTE, C. A. Câmara de texturização superficial. **Instituto Nacional de Propriedade Industrial**. 2020

HUTCHINGS, I.; SHIPWAY, P. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**. Elsevier, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Serviços Patentes Classificação**. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/classificacao>. Acesso em: 01 de fev. de 2023.

JEARL, W. More on boomerangs, including their connection with the dimpled golf ball. **Scientific American**, pp. 180, 1979.

JOST, H. P. Lubrication (Tribology) Education and Research. A Report on the Present Position and Industry's Needs. **Departamento de Educação e Ciência**. Londres, p. 79. 1966.

KOPELIOVICH, D. **Electrochemical machining**. 2013.

KOZAK, J.; RAJURKAR, K. P.; ROSS, R. F. Computer-Simulation of Pulse Electrochemical Machining (Pecm). **Journal of Materials Processing Technology** 28(1-2): 149-157. 1991.

LEIMING GAO, P.; IAN, D.; FISHER, J.; JIN, Z. Effect of surface texturing on the elastohydrodynamic lubrication analysis of metal-on-metal hip implants. **Tribology International**. 2010.

LUDEMA, K. C. Friction, Wear, Lubrication: A Textbook in Tribology, N.W., **Boca Raton**, Florida: ed. CRC Press LLC. 1996.

MANDOU, M. J. **Fundamentals of Microfabrication**. Florida, CRC Press. 2002.

MCCARTHY, D. **Lubrication of Sliding Bearings for Hydropower Applications**, 2005.

McGEOUGH, J. A. **Advanced Methods of Machining**, Chapman and Hall, London, pp. 55 – 88, 1988.

MEHER, A. K. ECM process characteristics. Department of Mechanical Engineering. **National Institute of Technology**, Rourkela, 2009.

MOTION AND CONTROL NSK. **O que é um rolamento**. Disponível em: <https://www.nsk.com.br/o-que-e-um-rolamento-152.htm>. Acesso em: 10 de fev. 2023.

NELSON, J. B.; SCHWARTZ, D.T. Electrochemical printing: in situ characterization using an electrochemical quartz crystal microbalance, **Journal of Micromechanics and Microengineering**, 15 (12): 2479-2484. 2005.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas**: Uma abordagem integrada. 2 ed. São Paulo: Artmed, 2000.

NUNES, L. P.; L., A.C.O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. 1990.

PARREIRA, J. G., **Maskless Electrochemical Texturing Surfaces for Tribological Purposes**. 2011. 89 f. M. Sc. Dissertation, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

RAPOPORT, L.; MOSHKOVICH, A. et al. Friction and wear of MoS<sub>2</sub> films on laser textured steel surfaces. **Surface & Coatings Technology** **202**: 3332–3340. 2007.

RODRIGUES, T. A. **Efeito do Controle da Topografia na Eficiência de Contatos Lubrificados: Avaliação Experimental**. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

RYK, G.; KLIGERMAN, Y.; ETSION, I. Experimental investigation of laser surface texturing for reciprocating automotive components. **Tribol. Trans** 45:444–449. 2002.

SARDELLA, A. **Curso Completo de Química**. São Paulo: Editora Ática, 2º Edição 1999.

SHIGLEY, J. E.; MICHKE, C. R. Mechanical Engineering Design, **McGraw-Hill**. 5th Ed, USA., 1989.

STOETERAU, R. L. Tribologia. **Apostila da Disciplina de Tribologia da Universidade Federal de Santa Catarina**. UFSC, 2004.

TANG, W. et al. The effect of surface texturing on reducing the friction and wear of steel under lubricated sliding contact. **Applied surface science**, v. 273, p. 199-204, 2013. ISSN 0169-4332.

TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE. **Mecânica Elementos de Máquina I**. São Paulo, 1997.

TOMANIK, E. Modelling the hydrodynamic support of cylinder bore and piston rings with laser textured surfaces. **Tribology International**, v. 59, p. 90-96, 2013/03/01/ 2013. ISSN 0301- 679X.

USBERCO, J. S. **Química volume único**. São Paulo: Saraiva, 2002.

VISHNITSKY, A. Electrochemical rifling of gun barrels. **USPTO**. United States, Cation Corporation. 1987.

VITTORINO, A. A. O. F. **Avaliação Experimental do Atrito em Corpos Conformes Texturizados Visando Otimização Tribológica em Mancais de Usinas Hidrelétricas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2022.

WILLIS, E. Surface finish in relation to cylinder liners. **Wear**, v. 109, n. 1-4, p. 351-366, 1986.

WOLYNEC, S. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**, Edusp. 2003.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE. **Directory of Intellectual Property Offices**. Disponível em: <http://www.wipo.int/directory/en/urls.jsp>. Acesso em: 15 fev. 2023.

ZUM GAHR, K.-H. Microstructure and Wear of Materials. **Tribology Series**, v. 10, n. Ccc, p. 1–560, 1987.