

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ALEXANDRE GODINHO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA FABRICAÇÃO DE
SUPERFÍCIES TEXTURIZADAS POR USINAGEM ELETROQUÍMICA**

**GOIÂNIA
2019**

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS MONOGRAFIAS
ELETRÔNICAS REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DE MONOGRAFIAS DA UFG – RIUFG**

1. Identificação do material bibliográfico monografia:

Graduação Especialização

2. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso

Autor (a):	Alexandre Godinho de Oliveira
E-mail:	agodinho@discente.ufg.br
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Título:	DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA FABRICAÇÃO DE SUPERFÍCIES TEXTURIZADAS POR USINAGEM ELETROQUÍMICA
Palavras-chave:	
Título em outra língua:	DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR MANUFACTURE OF TEXTURIZED SURFACES BY ELECTROCHEMICAL MACHINING
Palavras-chave em outra língua:	
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	13/12/2019
Graduação/Curso Especialização:	Engenharia Mecânica
Orientador (a):	Daniel Fernandes da Cunha

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O referido autor:

a) Declara que o documento em questão é seu trabalho original, e que detém prerrogativa de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento em questão contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à Universidade Federal de Goiás os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento em questão.

Termo de autorização

Na qualidade de titular dos direitos do autor do conteúdo supracitado, autorizo a Biblioteca Central da Universidade Federal de Goiás a disponibilizar a obra, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional de Monografias da UFG (RIUFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data, sob as seguintes condições:

Permitir uso comercial de sua obra? Sim Não

Permitir modificações em sua obra?

Sim

Sim, contando que outros compartilhem pela mesma licença .

Não

A obra continua protegida por Direito Autoral e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

Local e Data GOIÂNIA, 13/12/2019

Alexandre Godinho de Oliveira

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

ALEXANDRE GODINHO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA FABRICAÇÃO DE
SUPERFÍCIES TEXTURIZADAS POR USINAGEM ELETROQUÍMICA**

Monografia do projeto final de curso apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Goiás.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Fernandes da Cunha

GOIÂNIA
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Oliveira, Alexandre Godinho de
Desenvolvimento de metodologia para fabricação de superfícies texturizadas por usinagem eletroquímica [manuscrito] / Alexandre Godinho de Oliveira. - 2019.
61 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Fernandes da Cunha.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC), Engenharia Mecânica, Goiânia, 2019.
Bibliografia. Apêndice.

Inclui fotografias, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Engenharia mecânica. 2. Usinagem não-convencional. 3. Usinagem eletroquímica. 4. Texturização. I. Cunha, Daniel Fernandes da, orient. II. Título.

CDU 621

ALEXANDRE GODINHO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA FABRICAÇÃO DE
SUPERFÍCIES TEXTURIZADAS POR USINAGEM ELETROQUÍMICA**

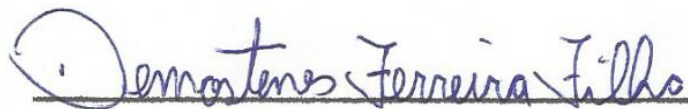
Monografia do projeto final de curso apresentada
como requisito parcial para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade
Federal de Goiás.

Goiânia, 13 de Dezembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Daniel Fernandes da Cunha
Universidade Federal de Goiás



Prof. Dr. Demóstenes Ferreira Filho
Universidade Federal de Goiás



Prof. Msc. Sebastião Gonçalves Lima Júnior
Instituto Federal de Goiás

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me sustentou fortemente em todos os dias da minha vida, permitindo que eu alcançasse meus sonhos e objetivos.

Agradeço a meus pais, que foram minha base, me dando forças sempre que precisei e sendo meu suporte mesmo quando distantes.

Dedico um agradecimento especial a meu irmão, porque sem a sua ajuda talvez eu teria muita dificuldade para ter chegado onde cheguei, ou até mesmo não alcançaria esta etapa.

Agradeço a todos os professores da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, que ao longo desses anos transmitiram conhecimento para meus colegas e para mim.

Agradeço também à professora Andreia Aoyagui Nascimento, que me apoiou e me ajudou durante alguns momentos cruciais do meu tempo de curso.

Agradeço aos técnicos administrativos do LAMAF e LAPEMM, pois foram de bastante ajuda nessa etapa final do curso.

Meus mais sinceros agradecimentos ao Professor Dr. Daniel Fernandes da Cunha, primeiramente por aceitar ser meu orientador neste trabalho de conclusão, por se preocupar e se mostrar pronto a ajudar independentemente da situação e por último por se alegrar junto comigo nos resultados satisfatórios e por me orientar no que fazer quando os resultados não eram favoráveis.

No mais agradeço a todos os amigos e colegas com quem pude compartilhar parte da minha vida por esses anos de faculdade, pois eu sei que sem cada um deles esse tempo seria muito mais complicado.

A todos que torceram por mim ao longo da busca para entrar e concluir este curso, meu muitíssimo obrigado!

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Relação dos processos de fabricação -----	13
Figura 2.2 - Características dos processos não-convencionais -----	14
Figura 2.3 - Desenho esquemático usinagem eletroquímica -----	16
Figura 2.4 - <i>Overcut</i> devido ao eletrólito -----	16
Figura 2.5 - Eficiência de corrente por densidade de corrente -----	17
Figura 2.6 - Desenho esquemático texturização eletroquímica -----	19
Figura 3.1 - Bancada de Usinagem Eletroquímica -----	21
Figura 3.2 - Amostra antes da usinagem -----	22
Figura 3.3 - microscópio Discovery V8 -----	23
Figura 3.4 - Desenho 5x5 feito em CAD -----	25
Figura 3.5 - Desenho 6x6 feito em CAD -----	26
Figura 3.6 - Desenho 7x7 feito em CAD -----	26
Figura 4.1 - Profundidade de corte em relação a tempo e corrente elétrica -----	28
Figura 4.2 - Primeiro Teste: 3A, 30 min – profundidade de corte -----	29
Figura 4.3 - Comparação de <i>overcut</i> entre os 4 primeiros testes -----	30
Figura 4.4 - Relação <i>overcut</i> por variação de tempo com corrente de 2A -----	30
Figura 4.5 - Relação <i>overcut</i> por variação de corrente elétrica com tempo de 3min -----	31
Figura 4.6 - Relação <i>overcut</i> por furo 1° teste 3min de tempo, 2A de corrente elétrica ----	32
Figura 4.7 - Relação <i>overcut</i> por furo 2° teste 3min de tempo, 2A de corrente elétrica ----	32
Figura 4.8 - Relação <i>overcut</i> por furo 3° teste 3min de tempo, 2A de corrente elétrica ----	33
Figura 4.9 - Relação <i>overcut</i> por furo teste 6min de tempo, 2A de corrente elétrica -----	33
Figura 4.10 - Relação <i>overcut</i> por furo teste 3min de tempo, 4A de corrente elétrica -----	34
Figura 4.11 - Relação <i>overcut</i> por furo teste 3min de tempo, 3A de corrente elétrica -----	34
Figura 4.12 - Relação <i>overcut</i> por furo teste 9min de tempo, 2A de corrente elétrica -----	35
Figura 4.13 - Encontro entre duas regiões de <i>overcut</i> -----	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores dos parâmetros utilizados nos ensaios -----	24
Tabela 2 – Comparação entre diâmetro da máscara projetado de 3000 μm e real -----	27
Tabela 3 – Comparação entre diâmetro da máscara projetado de 1000 μm e real -----	27
Tabela 4 – Quantidade de material removido por teste -----	35

RESUMO

Este trabalho apresenta um processo para texturização utilizando uma bancada experimental de usinagem eletroquímica e as análises realizadas com a modificação dos parâmetros de usinagem, os conceitos de usinagem, sua evolução ao longo da história e sua relevância. Apresenta também o conceito de métodos não-convencionais de usinagem, suas aplicações e limitações, focando nos benefícios e dificuldades do processo de usinagem eletroquímica. Após esta etapa adentra-se na texturização, seus efeitos, benefícios e principais aplicação. Além de apresentar os processos mais utilizados e estudados. O objetivo do trabalho é realizar testes de usinagem eletroquímica em peças de aço-carbono preparadas com mascaramento, analisar sua capacidade de usinar apenas na região aberta, e o *overcut* resultante do processo. Sendo utilizados parâmetro de corrente elétrica de 2, 3, 3,5 e 4A, tempos de usinagem de 3, 6, 9, 15 e 30 minutos, concentrações de 75 e 96 g/L, num *GAP* constante de 1,5mm, e tendo variações do diâmetro com dois formatos, furo único de 3mm e matriz retangular de furos de 1mm.

Palavras-chave: Eletroquímica, Não-convencional, *Overcut*, Usinagem, Texturização.

ABSTRACT

This work presents a process for texturing using an experimental electrochemical machining workbench and analyzes performed with the modification of the machining parameters, the machining concepts, their evolution throughout history and their relevance. It also presents the concept of unconventional machining methods, their applications and limitations, focusing on the benefits and difficulties of the electrochemical machining process. After this step one enters the texturing, its effects, benefits and main application. Besides presenting the most used and studied processes. The objective of the work is to perform electrochemical machining tests on carbon steel parts prepared with masking, to analyze their ability to machine only in the open region, and the resulting overcut of the process. Using electric current parameters of 2, 3, 3.5 and 4A, machining times of 3, 6, 9, 15 and 30 minutes, concentrations of 75 and 96 g/L in a constant 1.5 mm GAP, and having diameter variations with two shapes, single 3mm hole and rectangular 1mm hole matrix.

Keywords: Electrochemical, Nontraditional, Overcut, Machining, Texturing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 MOTIVAÇÃO	11
1.2 OBJETIVOS	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 USINAGEM CONVENCIONAL.....	13
2.2 USINAGEM NÃO-CONVENCIONAL	14
2.3 USINAGEM ELETROQUÍMICA.....	15
2.4 TEXTURIZAÇÃO	17
3. MÉTODOS E PROCESSOS.....	21
3.1 A BANCADA DE USINAGEM ELETROQUÍMICA	21
3.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	21
3.3 USINAGEM	22
3.4 AQUISIÇÃO DE DADOS E IMAGENS	23
3.5 PARÂMETROS E VARIÁVEIS.....	24
3.6 PARÂMETROS DE USINAGEM	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1 RESULTADOS: PREPARAÇÃO DAS MÁSCARAS COM LASER.....	27
4.2 RESULTADOS: PROFUNDIDADE DO FURO NOS TESTES DE 1 A 4.....	28
4.3 RESULTADOS: <i>OVERCUT</i> EM RELAÇÃO AO TEMPO DE USINAGEM.....	29
4.4 RESULTADOS: <i>OVERCUT</i> EM RELAÇÃO À CORRENTE ELÉTRICA.....	31
4.5 RESULTADOS: <i>OVERCUT</i> EM RELAÇÃO ÀS ABERTURAS.....	31
4.6 RESULTADOS: REMOÇÃO DE MATERIAL	35
4.7 RESULTADOS: JUNÇÃO DE <i>OVERCUT</i>	36
5. CONCLUSÃO.....	37
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	38
REFERÊNCIAS	39

APÊNDICE A - PLANO DE TRABALHO	41
APÊNDICE B – DADOS TESTE 1	42
APÊNDICE C - DADOS TESTE 2.....	43
APÊNDICE D - DADOS TESTE 3	43
APÊNDICE E - DADOS TESTE 4.....	43
APÊNDICE F - DADOS TESTE 5	43
APÊNDICE G - DADOS TESTE 6	44
APÊNDICE H - DADOS TESTE 7	45
APÊNDICE I - DADOS TESTE 8.....	45
APÊNDICE J - DADOS TESTE 9.....	46
APÊNDICE K - DADOS TESTE 10	48
APÊNDICE L - DADOS TESTE 11	49
APÊNDICE M - DADOS TESTE 12.....	49
APÊNDICE N – FOTOS TESTES.....	51

1. INTRODUÇÃO

A texturização de superfícies vem sendo estudada a anos e possui diferentes aplicações e propósitos, como dito por Costa e Hutchings (2014). É um processo versátil, pois não necessita utilizar apenas um método de fabricação, sendo observado na literatura o uso de laser (NEVES, 2010), plasma (KLEINJOHANN, 2011), dressagem (BOTTENE, 2012), entre os diversos outros estudos sendo realizados por pesquisadores pelo mundo.

As aplicações da texturização vão desde melhorar o acabamento, até melhora em sistemas de lubrificação, diminuição de atrito, adaptação de superfícies para obter características de refração diferentes, entre diversos outras características, como propriedades térmicas, mecânicas e hidrodinâmicas (SUAREZ, 2012).

Dentre os processos não-convencionais a usinagem eletroquímica é um dos processos mais conhecidos (DAS et al, 2014), principalmente por sua capacidade de usinar materiais de elevada dureza, assim como usinar em geometrias complexas, se tornando preferível em relação aos processos convencionais nesses casos, e mesmo entre os processos mais comuns a usinagem eletroquímica apresenta custo relativamente alto.

Devido às possibilidades oferecidas por esse processo ele tem sido estudado, e novos resultados são fornecidos a cada dia, novo processos que visam melhorar os anteriores são realizados. Parreira (2011), por exemplo, desenvolveu um trabalho em texturização por usinagem eletroquímica sem mascaramento, como forma de ganhar tempo e dinheiro numa produção maior, pois aplicar máscaras por fotolitografia em cada peça é um processo trabalhoso.

Compreendendo o caminho já trilhado até aqui é possível ver a gama de possibilidades no processo de texturização por usinagem eletroquímica, que poderia ser utilizado para usinar ferramentas e componentes de motor, como foi realizado nos trabalhos de Viana (2009), Osório (2009), Suarez (2012) e Vieira (2018), onde todos utilizaram laser para realizar a texturização, sendo este um processo mais oneroso, assim como outras restrições.

1.1 MOTIVAÇÃO

A sociedade tem evoluído constantemente, e junto a isso as necessidades das pessoas e das indústrias tem se modificado, cobrando cada vez mais que novas formas de fazer seus processos sejam feitas, ou que as antigas sejam otimizadas e se tornem processos de alta capacidade.

Devido à evolução da ciência, que permitiu que o homem não mais trabalhasse com ferramentas feitas à mão (MCGEOUGH, 1988), o entendimento dos processos não-convencionais é de extrema importância, pois eles possuem aplicações práticas e específicas, onde se pode obter os melhores resultados, se comparado aos métodos tradicionais, ou convencionais.

Esse trabalho busca apresentar uma metodologia para fabricação de superfícies texturizadas, e validar o processo de texturização por usinagem eletroquímica, realizado nas dependências da Escola de Engenharia Elétrica Mecânica e de Computação. Além disto o trabalho também visa entender como a variação dos parâmetros de usinagem influenciam na superfície fabricada.

Este documento é organizado em seis capítulos, apresentados aqui, além das referências e apêndices no final do trabalho que também compõe o material.

No primeiro capítulo o leitor do trabalho é convidado a conhecer sobre o tema de texturização, e os princípios da usinagem não-convencional eletroquímica, assim como também são expostos os objetivos e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo é realizada a revisão bibliográfica, apresentando a fundamentação teórica deste trabalho, assim como os artigos e estudos na área.

O terceiro capítulo os métodos e processo utilizados para a construção dos experimentos que são o objetivo deste trabalho.

Os resultados e discussão são feitos no quarto capítulo, sendo avaliada a desempenho do processo, e seu comportamento.

O quinto e sexto capítulo são a conclusão e sugestões para os próximos trabalhos que irão dar continuidade à análise feita neste trabalho.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo validar o processo de texturização com mascaramento, assim como também estudar os parâmetros que influenciam no processo de usinagem eletroquímica, e entender como eles afetam a texturização.

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Realizar ensaios de usinagem eletroquímica;
- Definir diferentes geometrias de texturização;
- Fabricação de máscaras para usinagem eletroquímica;
- Fabricação de uma superfície texturizada em Aço-carbono.

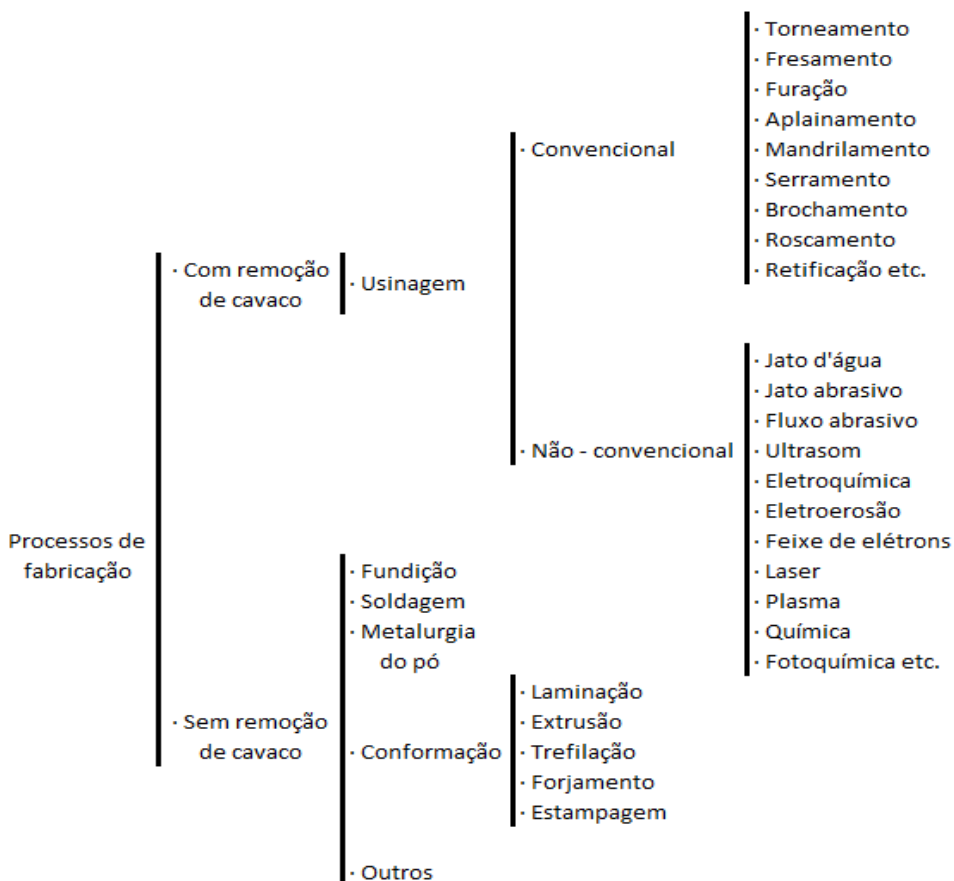
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USINAGEM CONVENCIONAL

A usinagem é dos processos de operação dos metais, ou processo de fabricação, que modifica a forma, dimensões ou acabamento da peça, produzindo cavaco, que nada mais é do que o material removido pela ferramenta de corte, e possui forma irregular, característica essa que o difere dos demais processos como conformação que se utiliza do princípio de deformação plástica dos materiais (FERRARESI, 1977).

Segundo McGeough (1988), ao longo da história os processos de corte de materiais estiveram acompanhando a evolução do conhecimento e ciência humana, existindo desde a antiguidade através do uso de ferramentas de pedra, ossos ou madeira, sendo utilizada força humana apenas. Com o passar do tempo e descobrimento de novos materiais as ferramentas foram evoluindo, sendo utilizados metais. Posteriormente a fonte de energia também foi modificada indo de força humana para eletricidade, e várias tecnologias vão sendo integradas como sistemas de Controle Numérico por Computador, as máquinas CNC, como dito por Trent e Wright (2000).

Figura 2.1 – Relação dos processos de fabricação



Fonte: Adaptado de (MACHADO et al, 2009).

Uma das primeiras contribuições para a área de usinagem foi em 1774, quando Wilkinson construiu uma máquina para mandrilar cilindros de máquinas a vapor com maior exatidão do que os processos do momento (MCGEOUGH, 1988). Além do Wilkinson, outras pessoas contribuíram ao longo dos anos como Nasmyth, Maudslay, Whitworth, entre outros. Devido a evolução do processo de usinagem, segundo Trent (1984), ele se tornou o processo de fabricação mais popular do mundo, e sendo responsável pela transformação de cavacos de aproximadamente 10% de toda a produção de metais.

Os processos de fabricação como um todo evoluíram, existindo atualmente vários modelos e tipos de processos de fabricação, em especial de usinagem, como pode ser visto na Figura 2.1.

A usinagem se tornou um processo indispensável para a vida humana atual, e apesar de envolver custos de material, e perda de matéria prima, durante a remoção do cavaco, ainda é um dos processos mais versáteis, e que possui uma vasta gama de aplicação.

2.2 USINAGEM NÃO-CONVENCIONAL

Em meados da metade do século 20, os métodos não convencionais passaram a ter mais importância devido a capacidade de usinagem apresentada, que não era observada nos métodos convencionais, como usinar peças de geometria complexa, materiais frágeis entre outros.

Figura 2.2 – Características dos processos não-convencionais

Forma de energia:	Mecânica	Elétrica	Térmica	Química
Processo:	Jato abrasivo Jato de água Jato de água com abrasivo Fluxo abrasivo Ultrassom	Eletroquímica e derivados	Eletroerosão Feixe elétrons Feixe íons Feixe laser Arco plasma	Química Fotoquímica
Mecanismo de remoção:	Erosão	Deslocamento de íons	Fusão e vaporização Gás aquecido, elétrons, radiação ou corrente de íons	Ablação
Meio de transferência:	Partículas a alta velocidade	Eletrólito	Material ionizado, alta tensão, luz amplificada.	Ambiente reativo
Fonte de energia:	Pressão pneumática ou hidráulica	Corrente elétrica		Agente corrosivo

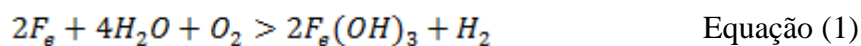
Fonte: Adaptado de (ABRÃO, 2016).

Segundo Abrão (2016), os processos não-convencionais são aqueles que na grande maioria das vezes tem a energia que usina o material sendo aplicada sem uma ferramenta de corte propriamente dita. Os processos não têm aplicação plena, sendo destinadas a situações específicas, entretanto retornam valores mais precisos dentro do seu tipo de aplicação. A Figura 2.2 apresenta alguns métodos não-convencionais, assim como suas características.

2.3 USINAGEM ELETROQUÍMICA

A usinagem eletroquímica é um processo baseado na remoção de material pelo processo de eletrólise. Segundo Benedict (1987) durante o início do século 19, Faraday deu início aos primeiros estudos sobre a eletrólise, que como o próprio nome dá a entender, é a quebra “lise” através de eletricidade. Entretanto apenas 30 anos após foi construído o processo de usinagem eletroquímica, chamado de ECM “*ElectroChemical Machining*”, e patentado por Lynn A. Williams.

Durante o processo de usinagem eletroquímica o transporte de massa é então realizado por uma reação de oxidação-redução, onde o ferro se oxida, e o hidrogênio se reduz. A Equação 1 apresenta a reação química resultante do processo.



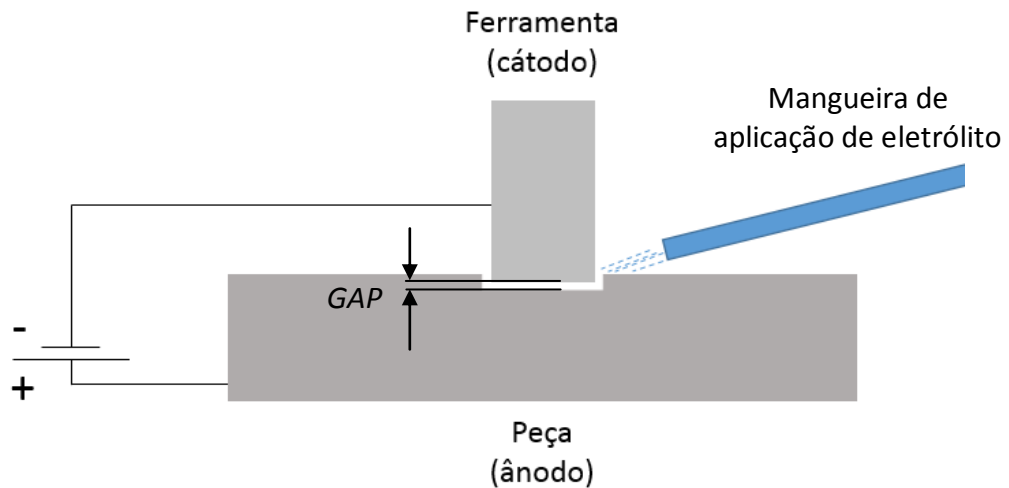
O método de usinagem eletroquímica trabalha com altas correntes e baixas tensões. O eletrólito é movimentado constantemente entre o *GAP*, que é definido como a distância entre o par ferramenta/peça, do conjunto ferramenta/peça (BENEDICT, 1987). A Figura 2.3 apresenta um desenho esquemático do funcionamento da bancada eletroquímica.

A solução eletrolítica não tem apenas o objetivo de gerar um meio propício para a usinagem, mas também tem a função de remover os produtos da eletrólise da região entre a ferramenta e a peça, pois a acumulação de material pode gerar um curto circuito entre os eletrodos compostos pelo par ferramenta/peça (MCGEOUGH, 1988).

Apesar de ser um processo de baixo custo, como apresentado por Parreira (2011), máquinas robustas para esse processo necessitam de vários detalhes para garantir seu tempo de vida e funcionamento. McGeough (1988) afirma que o eletrólito deve passar por um processo de filtragem minucioso, a fim de remover o $2F_e(OH)_3$ resultante do processo, além de o eletrólito ter outras condições, como uma temperatura constante de 30°C no reservatório.

Outro ponto a se observar são os materiais que compõe a máquina, pois se não forem resistentes à corrosão, rapidamente serão oxidados.

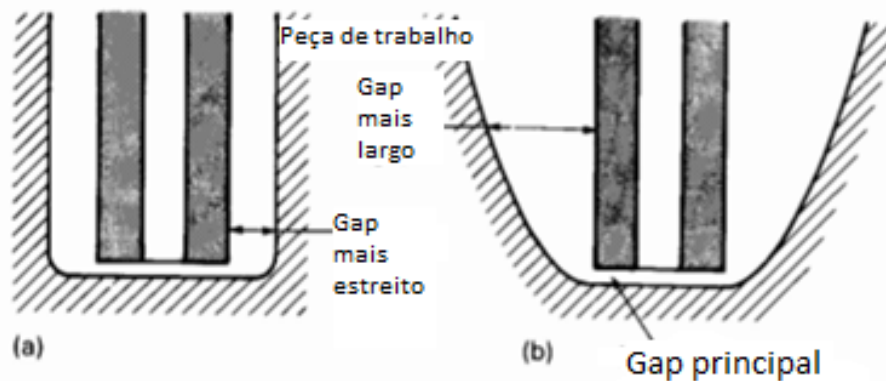
Figura 2.3 – Desenho esquemático usinagem eletroquímica



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Sobre o processo, McGeough (1988) diz que o tipo de eletrólito é fator influente no *overcut*, ou sobrecorte. Nas Figuras 2.4 e 2.5 são mostrados os resultados obtidos por McGeough, sendo possível concluir destes dados que para determinadas soluções existem valores diferentes de *overcut*, sendo uma variável importante para o processo.

Figura 2.4 – *Overcut* devido ao eletrólito

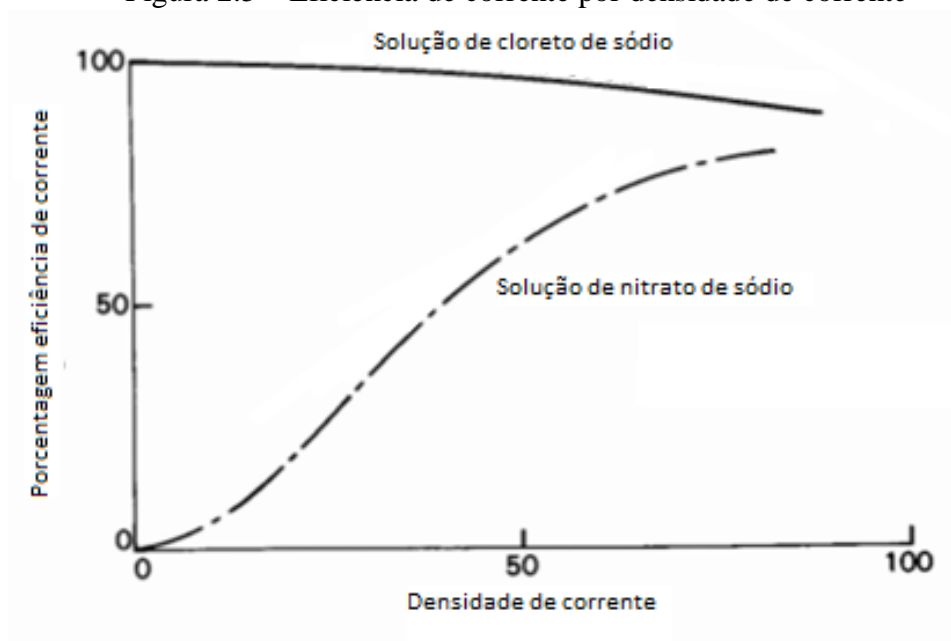


Representação esquemática dos efeitos de diferentes eletrólitos no *overcut* na perfuração.

- (a) Nitrato de sódio
- (b) Cloreto de sódio

Fonte: (MCGEOUGH, 1988).

Figura 2.5 – Eficiência de corrente por densidade de corrente



Fonte: (MCGEOUGH, 1988).

O resultado obtido na Figura 4 (a), é devido ao fato da densidade de corrente ser maior na ponta da peça, e menor na lateral. Ao ser testado o eletrólito de cloreto de sódio, por ter uma eficiência alta ao longo de praticamente toda a faixa de densidade de corrente, o *overcut* resultante é maior.

2.4 TEXTURIZAÇÃO

Uma superfície é definida como o limite entre um meio e outro (SUAREZ, 2012), e a texturização a modificação na forma de uma superfície (PARREIRA, 2011).

Segundo Hutchings e Shipway (2017), para uma grande variedade de mecanismos o movimento entre superfícies é fundamental, e compreender os efeitos de atrito, desgaste e lubrificação possui muitas aplicações. Pinho (2014) demonstra o uso de texturização para obter propriedades eletromecânicas em cerâmicos, Rahmani (2018) comenta em seu trabalho sobre o uso de texturização para a proteção de superfícies, pois permite que lubrificante se deposite na textura. Vieira (2018) também analisa o efeito da texturização para melhoria das propriedades tribológicas de componentes de motor, reduzindo o coeficiente de atrito dinâmico. Nogueira (2015) diz que a texturização a laser é uma alternativa para alcançar melhor aderência na ligação adesiva entre materiais compósitos e o titânio, aplicados na indústria aeronáutica. Além destes diversos outros pesquisadores tem buscado estudar o efeito da texturização, e suas aplicações práticas.

De forma geral a texturização a laser tem sido bastante estudada, (OSORIO, 2009) (VIANA, 2009) (SUAREZ, 2012) (NOGUEIRA, 2015), entre outros. A texturização por plasma e por conformação também já são alvos de estudos, tendo Kleinjohann (2011) pesquisado sobre a texturização de aço carbono por plasma, e Bottene (2012) a texturização por conformação.

Parreira (2011) menciona em sua pesquisa que a texturização a laser é o principal método em aplicações de engenharia, entretanto possui limitações de processo como lentidão e necessidade de pós-tratamento sempre que executado. Também é mencionado sobre o processo convencional de usinagem eletroquímica com mascaramento, sendo que a máscara utilizada é feita através de fotolitografia, que também necessita de pós-tratamento. A fotolitografia é um procedimento que se utiliza de raios ultravioleta para transferir padrões e geometrias para um substrato, sendo que o substrato precisa necessariamente ser sensível à radiação (SANTOS, 2013).

Em seu trabalho Suarez (2012 apud COSTA, 2005) lista alguns fatores de mudança que a texturização traz as superfícies:

- Energia superficial: construir superfícies hidrofóbicas ou hidrofílicas, sendo aplicada em mecanismos que sofrem contato severo.
- Propriedades ópticas: construir superfícies que refletem apenas um comprimento de onda específico.
- Propriedades térmicas: construir superfícies que atuem na dissipação ou absorção do calor.

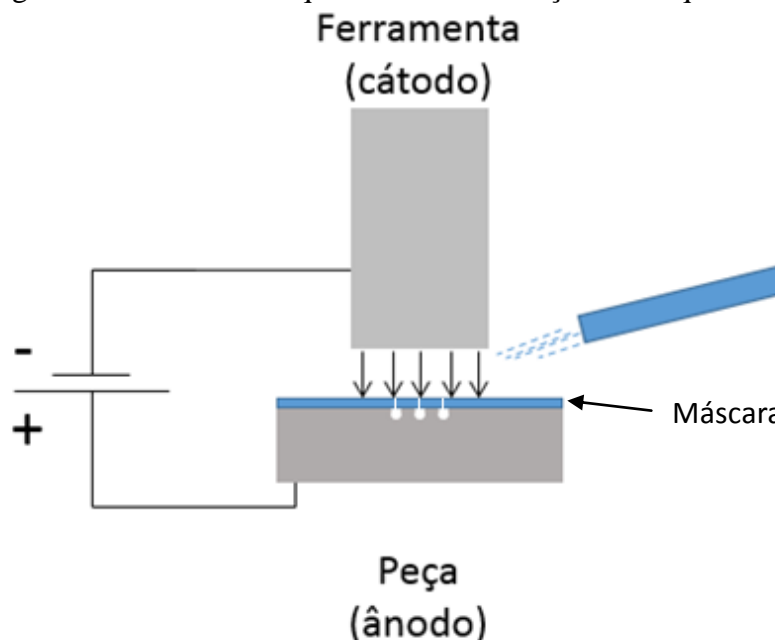
Entre outras mais, e combinações das propriedades anteriores.

A texturização eletroquímica com mascaramento é então uma alternativa aos processos já existentes, pois é um processo de custo reduzido e mais rápido que o convencional, além do fato de não necessitar de ferramentas complexas. Com o mascaramento, a corrente elétrica só passa na região aberta da máscara, além do *overcut*. Na Figura 2.6 há uma representação do comportamento da usinagem com mascaramento.

Em seu trabalho Parreira (2011), defende o uso de um processo de texturização sem mascaramento, por esse método ser ainda mais veloz que o padrão de texturização eletroquímica com mascaramento por fotolitografia. A técnica a ser utilizada neste presente trabalho envolve a texturização com mascaramento, entretanto com o uso de uma máscara de papel *contact*. Além dos métodos já citados para texturização, no estudo realizado por

Gonçalves Jr. (2011) é apresentado outros tipos de métodos de texturização como: texturização por jato de granalha, por feixe de laser, por descargas elétricas, por feixe de elétrons, por jato de tinta e por topocrom.

Figura 2.6 – Desenho esquemático texturização eletroquímica



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Suarez (2012) levanta algumas influências já existentes na literatura a respeito da texturização para usinagem, ao preparar texturas nas ferramentas de corte. Aspectos como: aderência do revestimento, vida da ferramenta, resistência de uma superfície, lubricidade melhorada, etc. Vários estudos demonstram constantemente o benefício da aplicação de texturas nas superfícies.

Osorio (2009) investiga o uso de texturização na preparação da superfície de ferramentas para fresamento. Em sua análise buscou na texturização à laser uma substituição do método atual, que era mais oneroso, e prejudicial ao ambiente, e aos operadores.

No trabalho de Bottene (2012), foi desenvolvido uma metodologia de texturização através de dressagem, tornando o rebolo de retificação uma ferramenta de texturização capaz de criar diversos padrões em superfícies retificadas.

A criação de superfícies texturizadas então é capaz de realizar várias modificações para ser aplicada em diversos mecanismos e situações. Como Viana (2009) menciona em seu trabalho, nos últimos anos a aplicação de texturização tem, com sucesso, buscado melhorar a lubrificação de componentes mecânicos, remoção de resíduos de desgaste, aumento de atrito,

entre outros. Dado sua importância o estudo de novos métodos que tornem os processos mais baratos e rápidos são sempre encorajados.

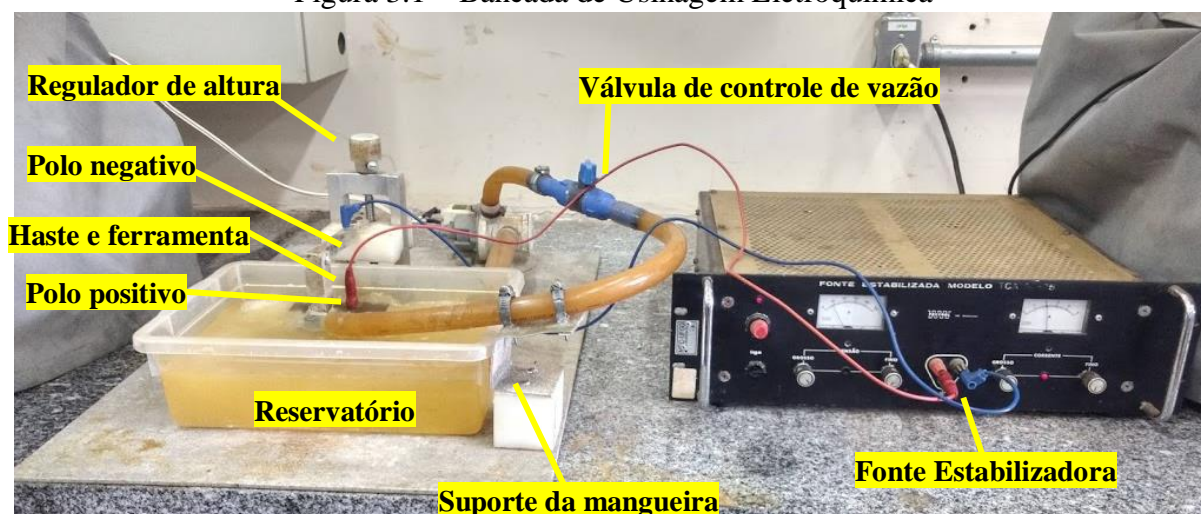
3. MÉTODOS E PROCESSOS

3.1 A BANCADA DE USINAGEM ELETROQUÍMICA

A bancada utilizada foi desenvolvida através do programa jovens talentos, por Mendes et al. (2015). Posteriormente foram realizadas modificações que permitiam utilizar parâmetros de corrente elétrica maiores, que geravam maiores taxas de remoção (Franco, 2018).

Para o estudo de texturização foi utilizada uma bomba de máquina de lavar roupas da marca ASKOLL com potência de 30W, responsável pela movimentação do eletrólito, e uma fonte estabilizadora modelo TCA, que provê uma corrente de até 5A. Outros componentes da bancada foram modificados, visando melhorar o processo e garantir um melhor controle. Para tal foi modificado o tamanho do reservatório, adicionado um suporte da mangueira de retorno do eletrólito, e adicionado uma válvula para controle da vazão, além da troca das peças de aço carbono, que não eram adequadas devido ao ambiente altamente corrosivo gerado por causa do eletrólito, para aço inoxidável. A bancada modificada é apresentada na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Bancada de Usinagem Eletroquímica



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

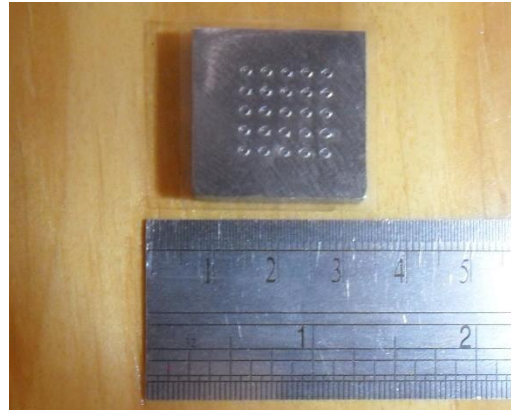
Para o experimento foram utilizadas peças de aço carbono, e para a máscara foi utilizado papel *contact*, devido às propriedades isolantes, assim como a facilidade de uso e baixo custo. Ao todo foram realizados 12 testes variando-se os parâmetros.

A preparação das peças foi feita primeiramente cortando as amostras em uma máquina serra fita e limpando a camada oxidada das superfícies com uma lixadeira manual. Após a preparação a máscara é adicionada e cortado o excesso de material da máscara. O corte do

papel *contact* para fabricação da geometria a ser impressa na nova superfície gerada foi realizado utilizando a máquina laser de CO₂ da marca ZLTech, com potência máxima de 150kW, em diferentes configurações de corte.

Na Figura 3.2 é apresentada uma amostra preparada antes de passar pela usinagem.

Figura 3.2 – Amostra antes da usinagem



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para garantir que as aberturas feitas na máscara tivessem valores uniformes e iguais, os formatos foram feitos em AutoCAD e passados para a máquina de corte à laser do LAMAF. Os 4 primeiros testes foram feitos com diâmetros maiores, e utilizado o parâmetro ‘cortar’ da máquina a laser, aumentando entre 6 a 8% o diâmetro real de abertura. Nos demais testes foi utilizado o parâmetro ‘corte’, onde apenas um furo é feito na região demarcada, entretanto devido aos parâmetros do laser houve variações no diâmetro dos furos, e para compreender o efeito do *overcut* na peça o diâmetro resultante da abertura realizada pelo laser foi medido.

Outra importante preparação realizada, é garantir que as faces da peça estão paralelas, assim como os materiais de suporte, pois uma pequena variação de *GAP* já é suficiente para alterar a taxa de remoção de material. As amostras dos testes 7, 8, 9, 10, 11 e 12 passaram pelo processo de retificação, para garantir a uniformidade e paralelismo, assim como a ferramenta e o suporte da amostra também foram ajustados para garantir um *GAP* constante ao longo de toda a amostra.

3.3 USINAGEM

Após a preparação da amostra, esta foi levada para a bancada de usinagem eletroquímica para ser usinada. Nesta etapa a solução eletrolítica foi preparada com o auxílio de um béquer para medir o volume de água, e foi utilizado uma balança, para aferição da

massa de sal, para gerar uma concentração de 75g/L e 96g/L, ambos fornecidos pelo LAMAF. Dessa forma podemos determinar a concentração correta de sal na solução eletrolítica.

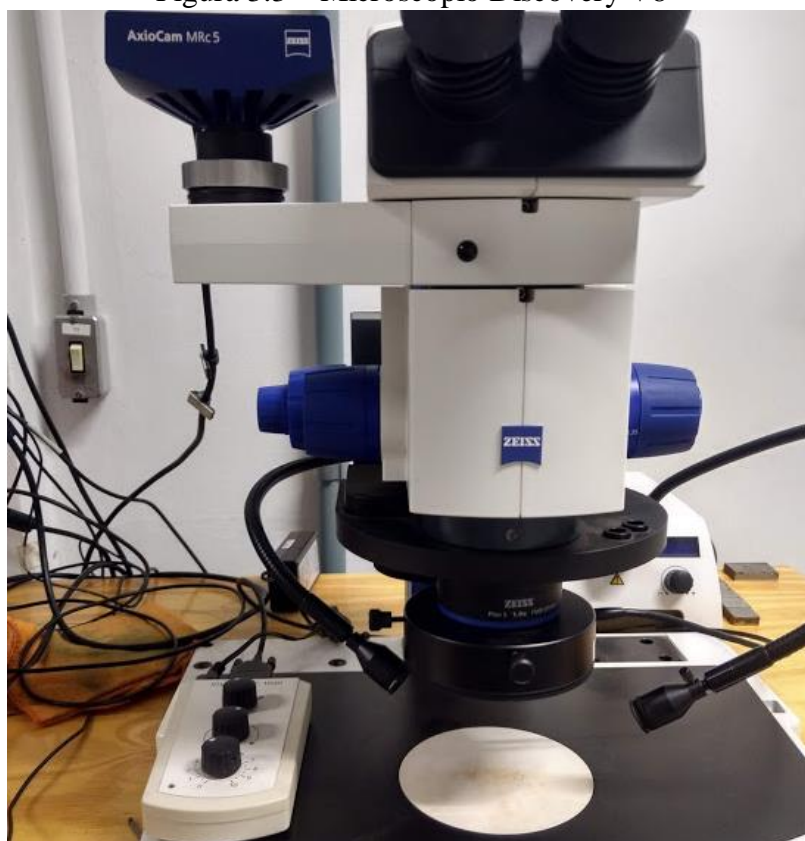
Realizada estas etapas a amostra foi posicionada no suporte abaixo da ferramenta, e o *GAP* foi medido, e se necessário ajustado, com um calibrador de folga, para o valor de 1,5mm. Encerrando esta última preparação a fonte foi ligada, gerando uma corrente elétrica, que foi ajustada conforme necessário, dando início à usinagem.

3.4 AQUISIÇÃO DE DADOS E IMAGENS

Terminado a usinagem, a peça é limpa, para remover o sal de sua superfície, para evitar a oxidação. Para a limpeza das amostras de teste, foi utilizado água limpa, álcool, e produtos anticorrosivos, como vaselina, garantindo a integridade da amostra. Como o meio da bancada eletroquímica é extremamente corrosivo, a ausência desse passo pode ocasionar na total oxidação da superfície usinada, não podendo ser analisado o processo de usinagem.

Feito a limpeza a próxima etapa foi levar a amostra usinada para o microscópio, sendo utilizado o microscópio do fabricante CARL ZEISS modelo Discovery V8 conforme pode ser visualizado pela Figura 3.3.

Figura 3.3 – Microscópio Discovery V8



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.5 PARÂMETROS E VARIÁVEIS

Assim como já apresentado na fundamentação teórica deste trabalho, as variáveis a serem consideradas nesse tipo de usinagem são:

- *GAP*
- Concentração
- Tempo de usinagem
- Corrente elétrica

A variação desses parâmetros estava limitada à capacidade da bancada, sendo possível alcançar no máximo 5A de corrente elétrica, segundo o indicado na fonte estabilizadora. A ferramenta de corte tem forma quadrangular 19x19mm, limitando a área possível de ser usinada. O *GAP* é outra variável de difícil variação na bancada, pois inicialmente não havia a garantia de uniformidade ao longo da superfície do suporte e da ferramenta, nem que estas superfícies estavam paralelas entre si, gerando variações nos resultados. Outro agravante do *GAP* é o sistema manual de ajuste de altura. Dado que não existe um controle da relação passo da rosca / altura da ferramenta, não é possível saber o novo *GAP* sem que todo o processo de medição com o calibrador de folga seja feito.

Durante os testes realizados foram variados a concentração, tempo de usinagem, corrente elétrica e a quantidade de aberturas na máscara. Os testes foram nomeados segundo a sequência que foram feitos, chamados de TESTE 1, TESTE 2, e assim sucessivamente até o ensaio final que foi o TESTE 12.

3.6 PARÂMETROS DE USINAGEM

Após a preparação, as peças foram levadas para serem usinadas na bancada eletroquímica. Os parâmetros utilizados nos doze testes são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros utilizados nos ensaios

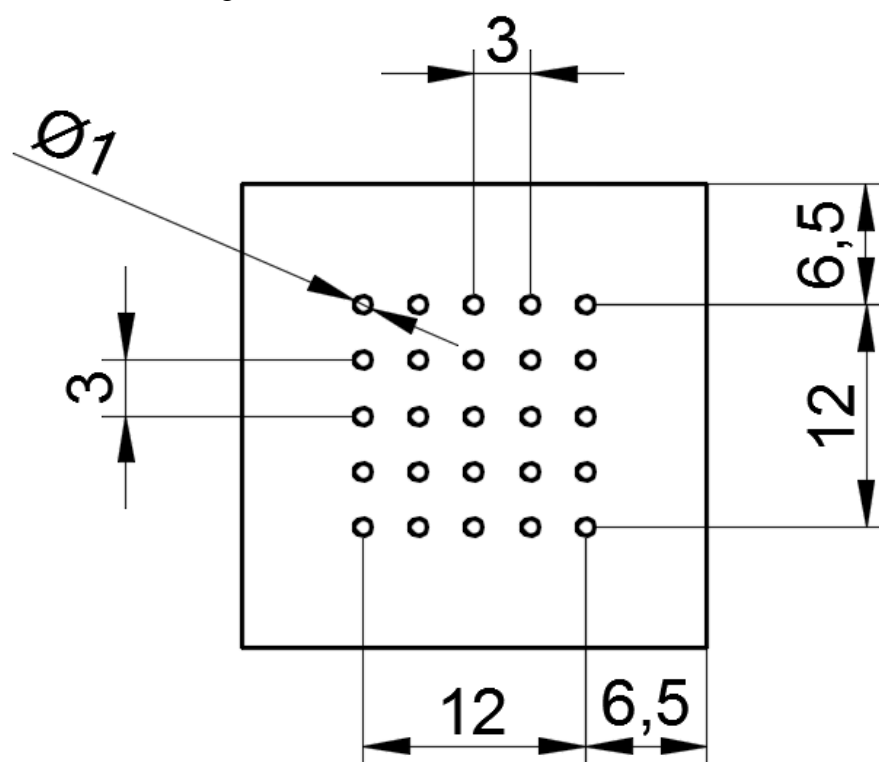
Teste	<i>GAP</i> (mm)	Concentração (g/L)	Tempo de Usinagem (min)	Corrente Elétrica (A)	Qtd. furos
1	1,5	75	30	3	1
2	1,5	75	15	3	1
3	1,5	75	30	3,5	1

4	1,5	75	15	3,5	1
5	1,5	75	3	2	25
6	1,5	75	3	2	25
7	1,5	75	3	2	36
8	1,5	75	6	2	36
9	1,5	75	3	4	49
10	1,5	96	3	2	49
11	1,5	75	3	3	49
12	1,5	75	9	2	49

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

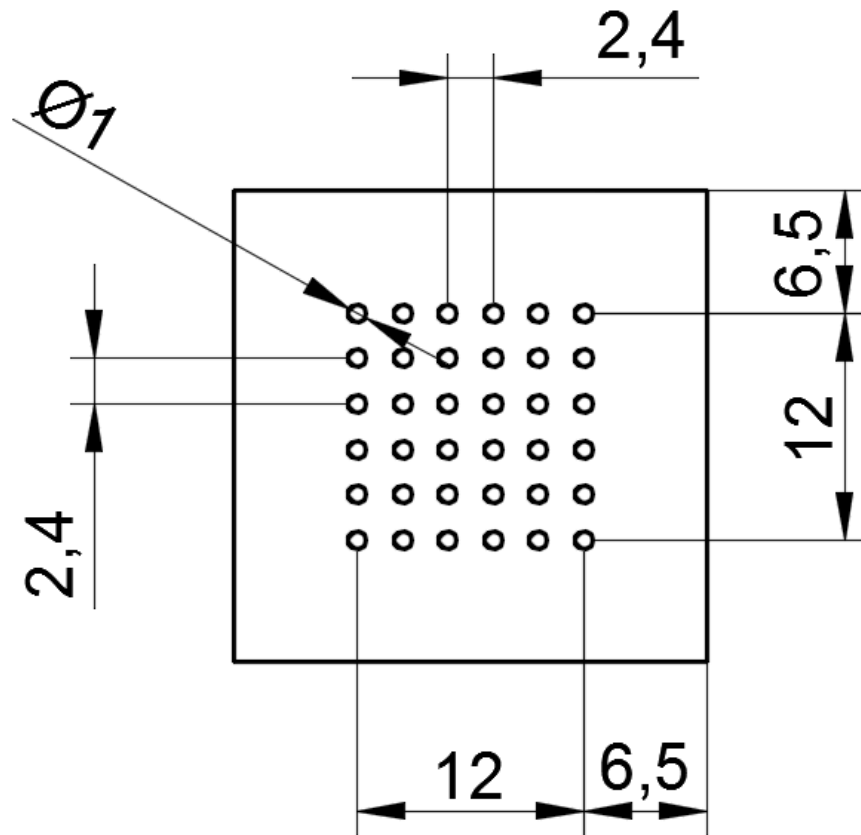
Os testes que apresentam 25, 36 ou 49 furos, têm esses furos dispostos num formato de matriz retangular, conforme Figura 3.4, 3.5 e 3.6, respectivamente. Todos sendo feitos com tamanho de 25x25mm. O objetivo destas matrizes é fabricar a maior quantidade de furos, numa mesma área determinada, avaliando se o *overcut* prejudica o espaçamento entre os furos. A preocupação deste trabalho com o *overcut* é que este foi avaliado como sendo o parâmetro que poderia prejudicar a fabricação da texturização após o processo iniciado.

Figura 3.4 – Desenho 5x5 feito em CAD



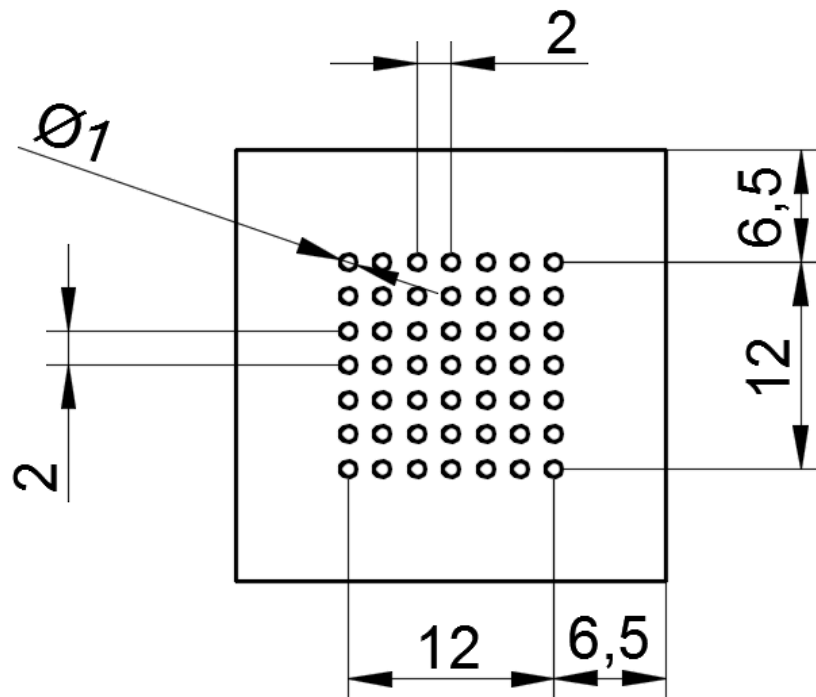
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 3.5 – Desenho 6x6 feito em CAD



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 3.6 – Desenho 7x7 feito em CAD



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos subtópicos são apresentados os resultados dos testes detalhados na parte de métodos e processos deste presente trabalho. A partir dos resultados, se compararmos com os resultados obtidos por Franco (2018), onde a área usinada era igual a área da ferramenta mais o *overcut* do processo, já podemos entender que a metodologia estudada permite a geração de superfícies texturizadas.

Nos Apêndices de B a M se encontram os dados levantados em cada teste.

4.1 RESULTADOS: PREPARAÇÃO DAS MÁSCARAS COM LASER

Durante a parte de preparação das máscaras foi projetado para os primeiros 4 testes um único furo de 3mm de diâmetro, entretanto, devido ao diâmetro da ponta do laser e devido a utilização da forma ‘cortar’, os valores de diâmetros ficaram alterados, como pode ser visto na Tabela 2.

Nos testes 5, 6, e assim sucessivamente até o teste 12, foi utilizado o parâmetro ‘corte’, para furos de 1mm de diâmetro. Nessa configuração de corte as aberturas das máscaras variaram ao longo de todas as aberturas feitas nas máscaras, e também ficaram sempre menores que 1mm, que era o valor alvo. Na Tabela 3 é apresentado o valor médio dos furos de cada teste, comparando com o valor alvo de 1mm.

Tabela 2 – Comparação entre diâmetro da máscara projetado de 3000 μm e real

Testes	Diâmetro projetado (μm)	Diâmetro real (μm)
1	3000,00	3240,02
2	3000,00	3180,63
3	3000,00	3194,63
4	3000,00	3194,14

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3 – Comparação entre diâmetro da máscara projetado de 1000 μm e real

Testes	Diâmetro projetado (μm)	Diâmetro real (μm)
5	1000	469,63
6	1000	514,21
7	1000	288,32

8	1000	262,65
9	1000	248,25
10	1000	366,91
11	1000	673,06
12	1000	797,23

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os parâmetros do laser não foram alterados entre os 4 primeiros testes, entretanto mesmo assim pode-se observar variação no diâmetro final.

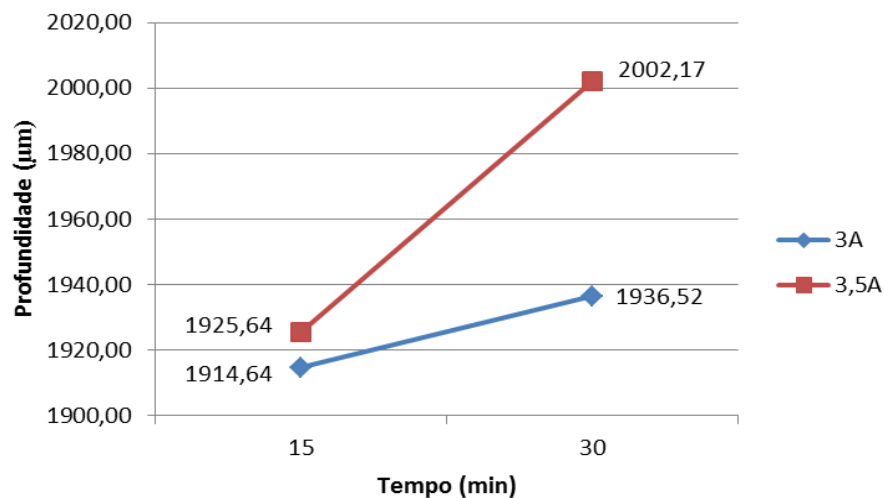
Nos testes de 6 a 12, o tempo de exposição do laser também se manteve igual, e assim como nos primeiros testes encontrou variações.

Dado os resultados, acredita-se que dependendo da região na mesa do laser, onde o laser é aplicado pode influenciar no resultado obtido, não sendo, entretanto, objetivo deste trabalho identificar, ou determinar, um local para garantir uniformidade nos resultados, sendo, portanto, esses valores considerados como uma nova variável obtida durante os ensaios.

4.2 RESULTADOS: PROFUNDIDADE DO FURO NOS TESTES DE 1 A 4

O presente trabalho não possuía uma meta específica de profundidade a ser obtida, entretanto, devido à profundidade encontrada nos primeiros 4 testes essas foram analisadas, relacionando a profundidade encontrada com o parâmetro de tempo e corrente utilizado, conforme demonstrado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Profundidade de corte em relação a tempo e corrente elétrica

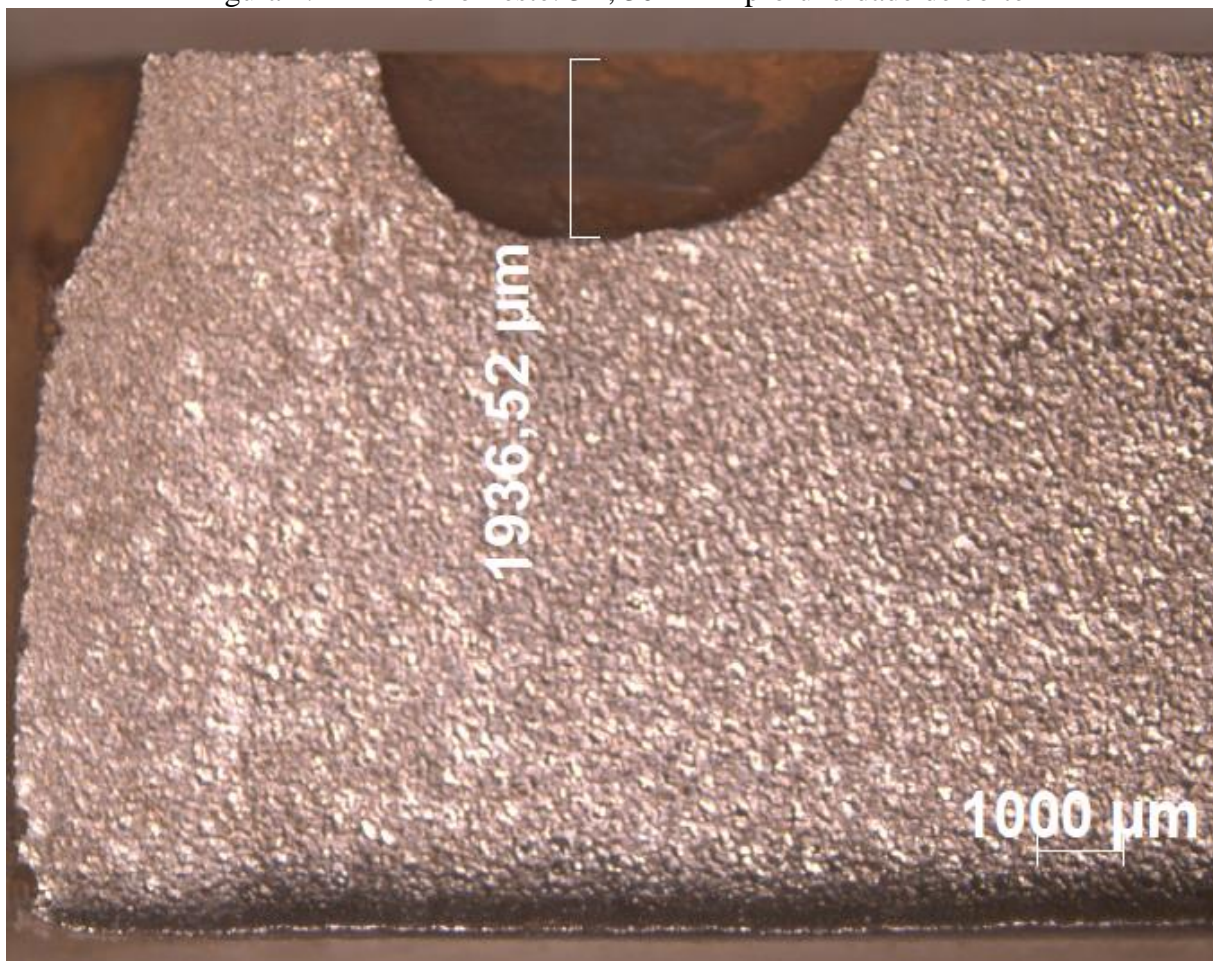


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao analisar a Figura 4.1 tem-se que os valores encontrados seguem um padrão conforme esperado, tendo uma maior profundidade com tempos e correntes maiores.

Na Figura 4.2 é apresentado o comportamento do teste 1, demonstrando a profundidade de corte, tendo o valor de profundidade igual a 1936,52 μm . As demais Figuras se encontram no Apêndice N.

Figura 4.2 – Primeiro Teste: 3A, 30 min – profundidade de corte

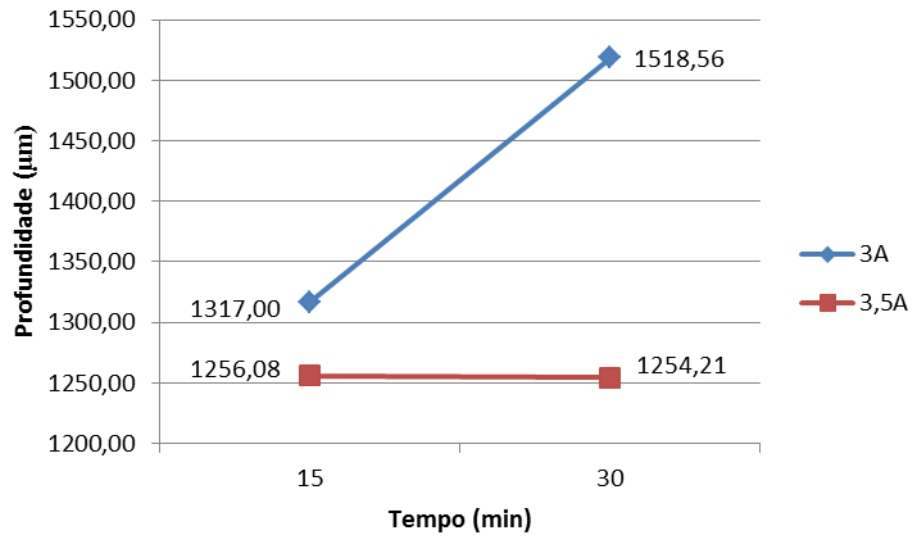


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.3 RESULTADOS: *OVERCUT* EM RELAÇÃO AO TEMPO DE USINAGEM

Analisando os valores de *overcut* para os testes de 1 a 4, encontra-se que o comportamento com 3A foi conforme o esperado, com o aumento do tempo, houve aumento do *overcut*, entretanto com a corrente elétrica de 3,5A o *overcut* se manteve aproximadamente igual, como pode ser observado na Figura 4.3.

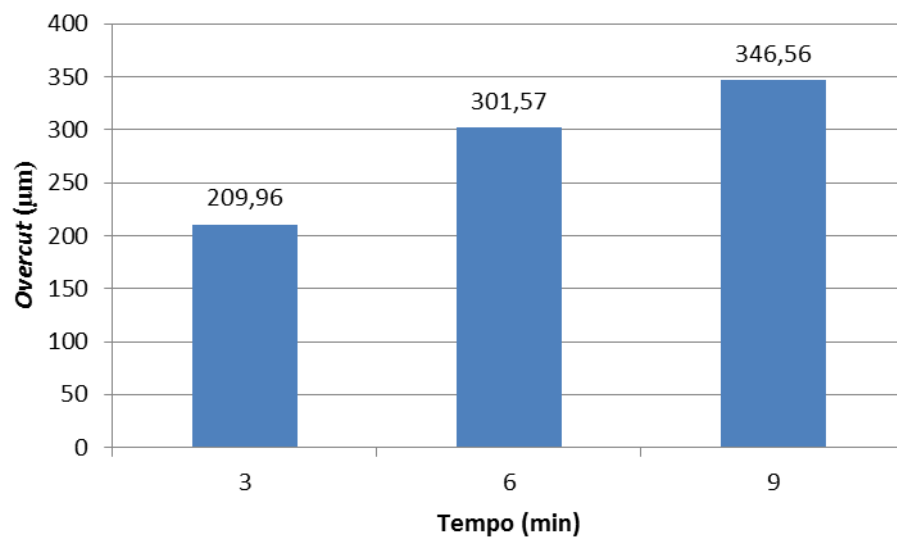
Figura 4.3 – Comparação de *overcut* entre os 4 primeiros testes



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nos testes 7, 8 e 12, temos os demais parâmetros iguais, mas variando o tempo de usinagem. Estes testes foram selecionados para serem comparados pois passaram pelo processo de retificação, garantindo superfícies paralelas. Por isso podemos comparar seus dados, obtendo o resultado apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Relação *overcut* por variação de tempo com corrente de 2A



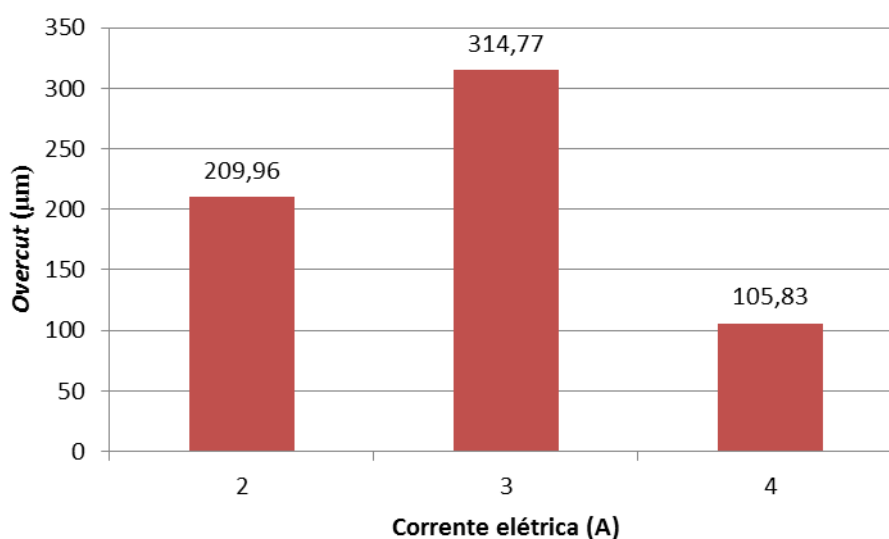
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O comportamento foi conforme o esperado, aumentando o *overcut* com o aumento do tempo de usinagem.

4.4 RESULTADOS: *OVERCUT* EM RELAÇÃO À CORRENTE ELÉTRICA

Assim como em relação ao tempo de usinagem, comparando os testes 7, 9 e 11 que possuem os demais parâmetros mantidos, variando apenas a corrente elétrica, obtém-se os dados apresentados na Figura 4.5. Estes testes foram selecionados para serem comparados pois passaram pelo processo de retificação, garantindo superfícies paralelas.

Figura 4.5 – Relação *overcut* por variação de corrente elétrica com tempo de 3min



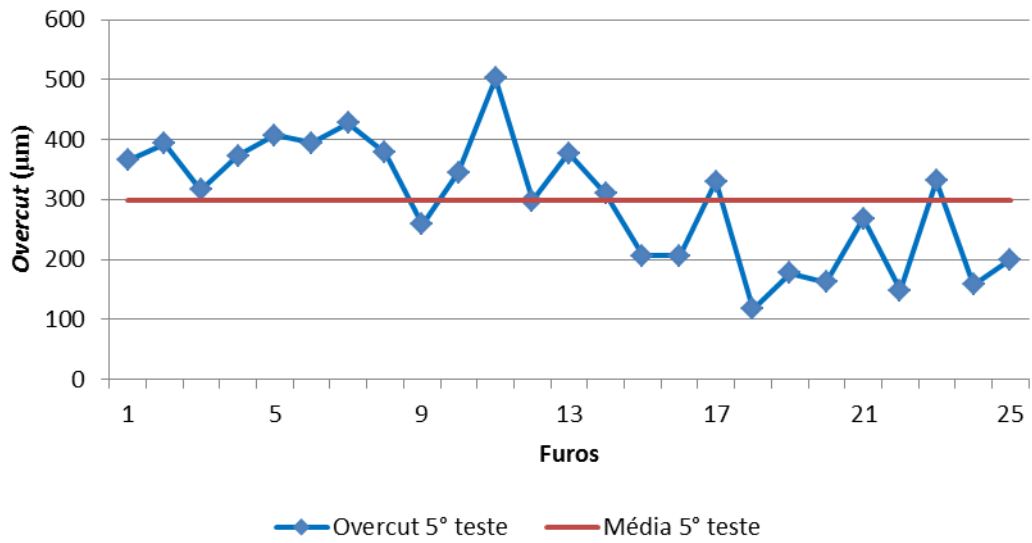
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O teste 9, que possui como parâmetro 4A se comporta de forma inesperada, tendo um *overcut* médio entre os 49 furos abaixo do esperado. Apesar desse comportamento os demais testes continuam apresentando um aumento de *overcut* com o aumento da corrente.

4.5 RESULTADOS: *OVERCUT* EM RELAÇÃO ÀS ABERTURAS

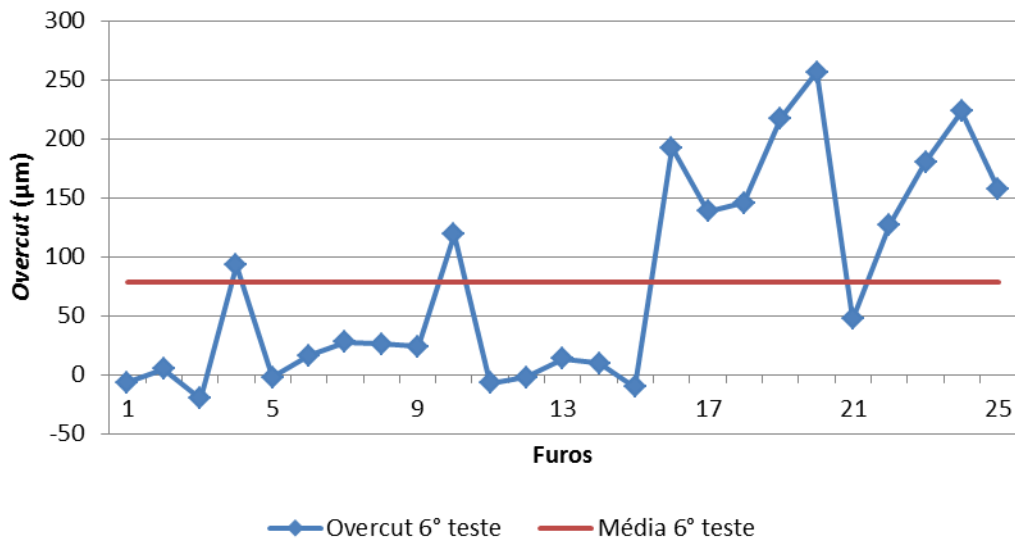
Nos testes 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 devido ao fato da configuração da máscara ser de uma matriz retangular com diversas aberturas, tendo 25, 36 e 49 furos na máscara, é possível observar a variação de *overcut* ao longo das aberturas. Nas Figuras 4.6 e 4.7 são apresentados os *overcut* por furo, comparando com o *overcut* médio, dos testes 5 e 6.

Figura 4.6 – Relação *overcut* por furo 1° teste 3min de tempo, 2A de corrente elétrica



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.7 – Relação *overcut* por furo 2° teste 3min de tempo, 2A de corrente elétrica



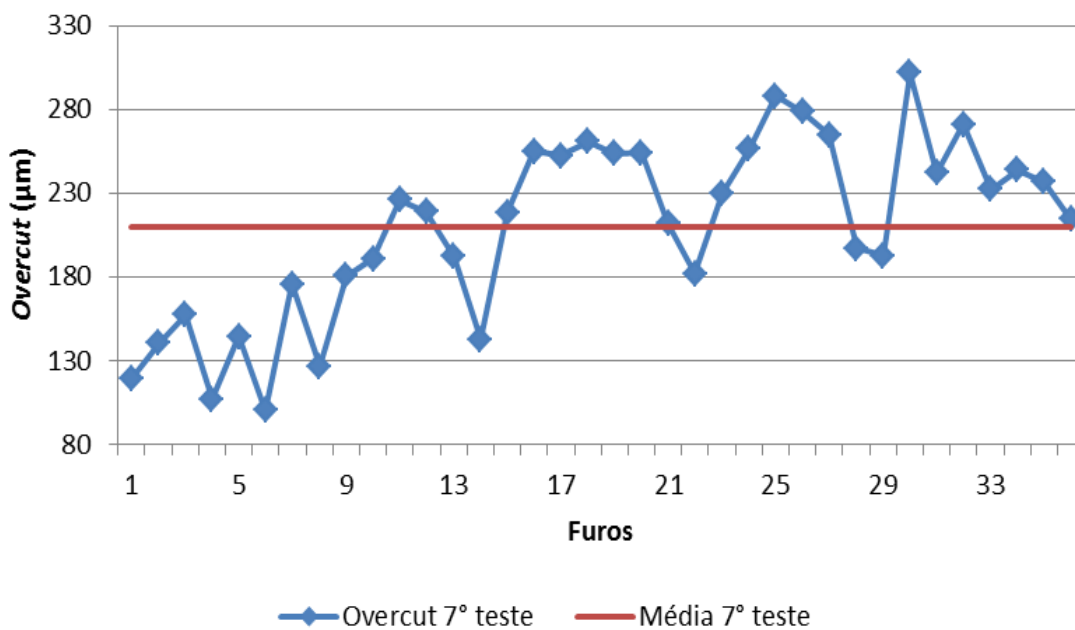
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Devido aos parâmetros não terem sido alterados entre os dois testes, era esperado um comportamento próximo entre os resultados, entretanto não é o observado. Ao analisar as condições do teste entende-se que a variação da forma da superfície pode ser um dos fatores para essa variação.

Nos demais testes, 6, 7, 8, 9, 11 e 12 houve variação dos parâmetros, não sendo comparados um a um. O teste 10 sofreu corrosão, impossibilitando qualquer medição de *overcut*, por isso não foi considerado nas comparações ou apresentado nessa seção. As Figuras

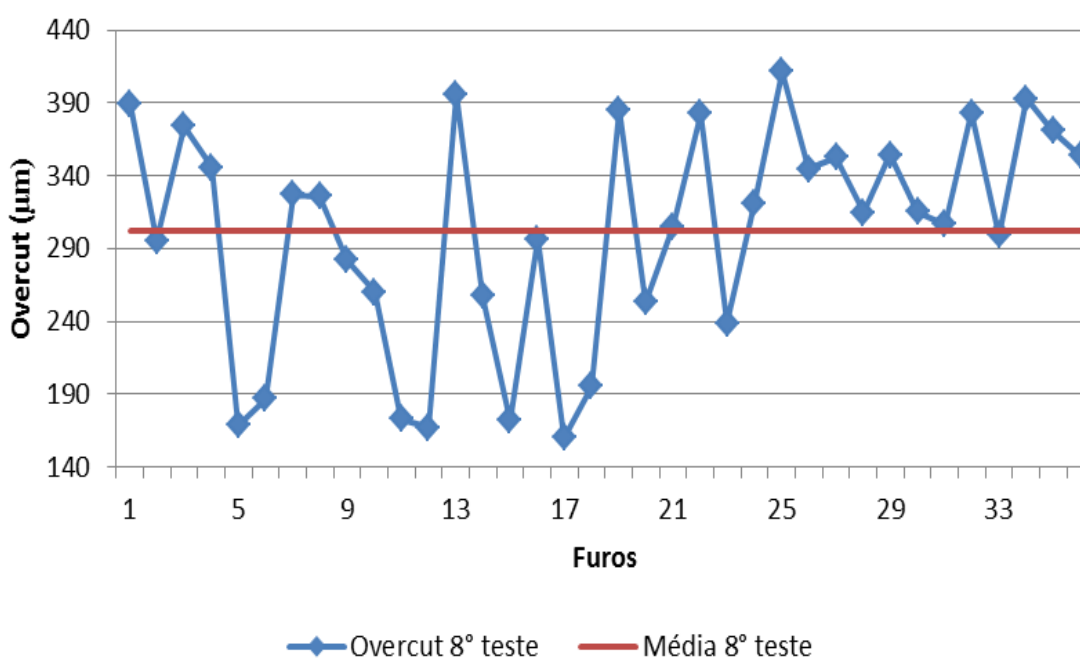
4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam, respectivamente, a relação dos *overcut* dos testes 6 a 12.

Figura 4.8 – Relação *overcut* por furo 3° teste 3min de tempo, 2A de corrente elétrica



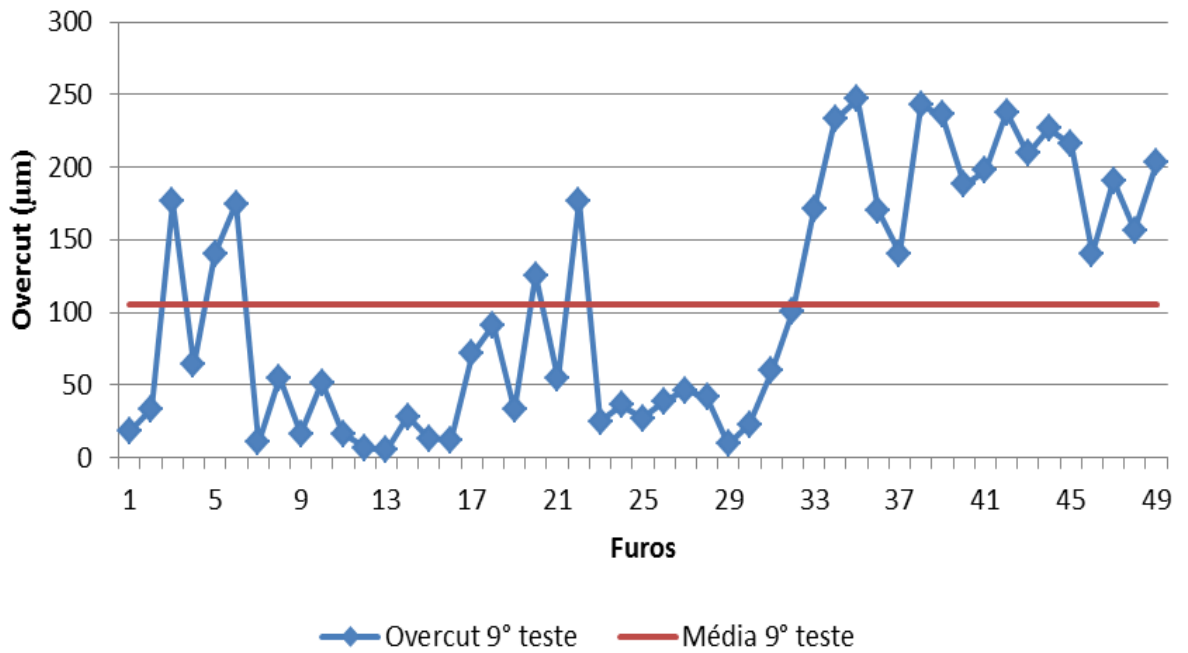
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.9 – Relação *overcut* por furo teste 6min de tempo, 2A de corrente elétrica



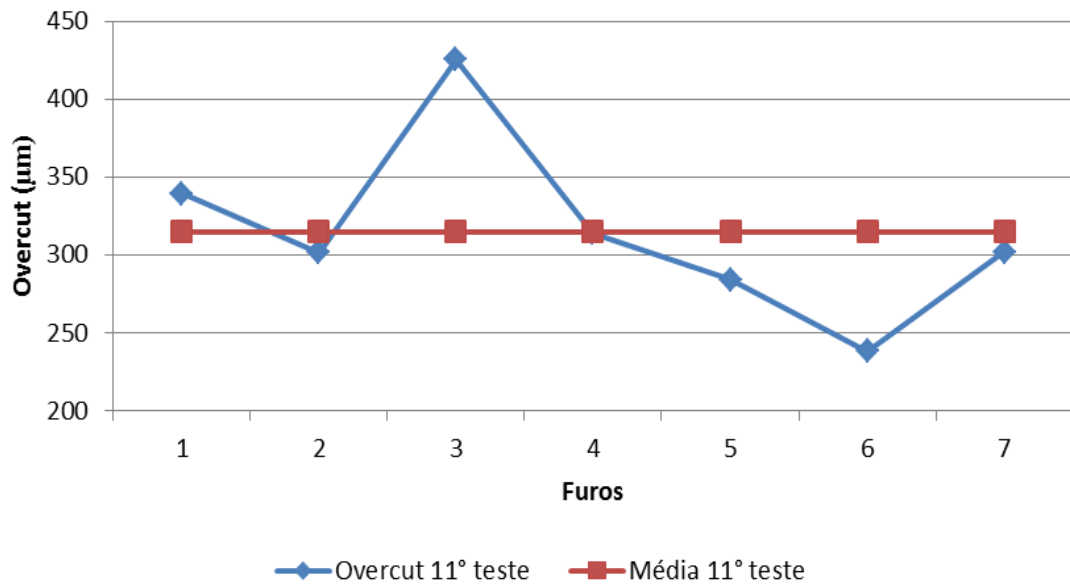
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.10 – Relação *overcut* por furo teste 3min de tempo, 4A de corrente elétrica

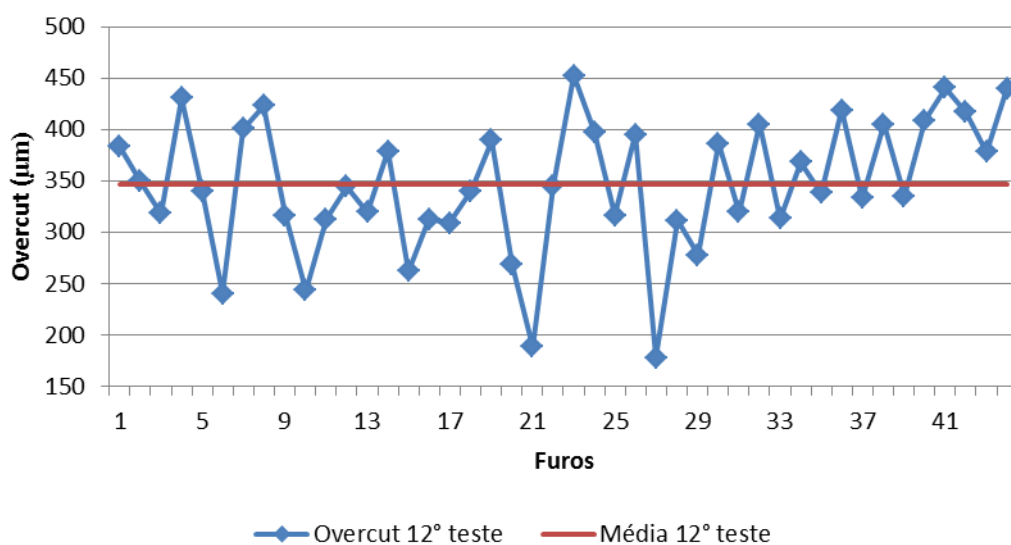


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.11 – Relação *overcut* por furo teste 3min de tempo, 3A de corrente elétrica



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.12 – Relação *overcut* por furo teste 9min de tempo, 2A de corrente elétrica

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.6 RESULTADOS: REMOÇÃO DE MATERIAL

Ao analisar todos os testes, temos que a remoção de material segue conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de material removido por teste

Teste	Tempo de Usinagem (min)	Corrente Elétrica (A)	Material Removido (g)
1	30	3	1,22
2	15	3	0,72
3	30	3,5	1,74
4	15	3,5	0,6
5	3	2	0,12
6	3	2	0,14
7	3	2	0,06
8	6	2	0,16
9	3	4	0,06
10	3	2	0,04
11	3	3	0,05
12	9	2	0,16

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

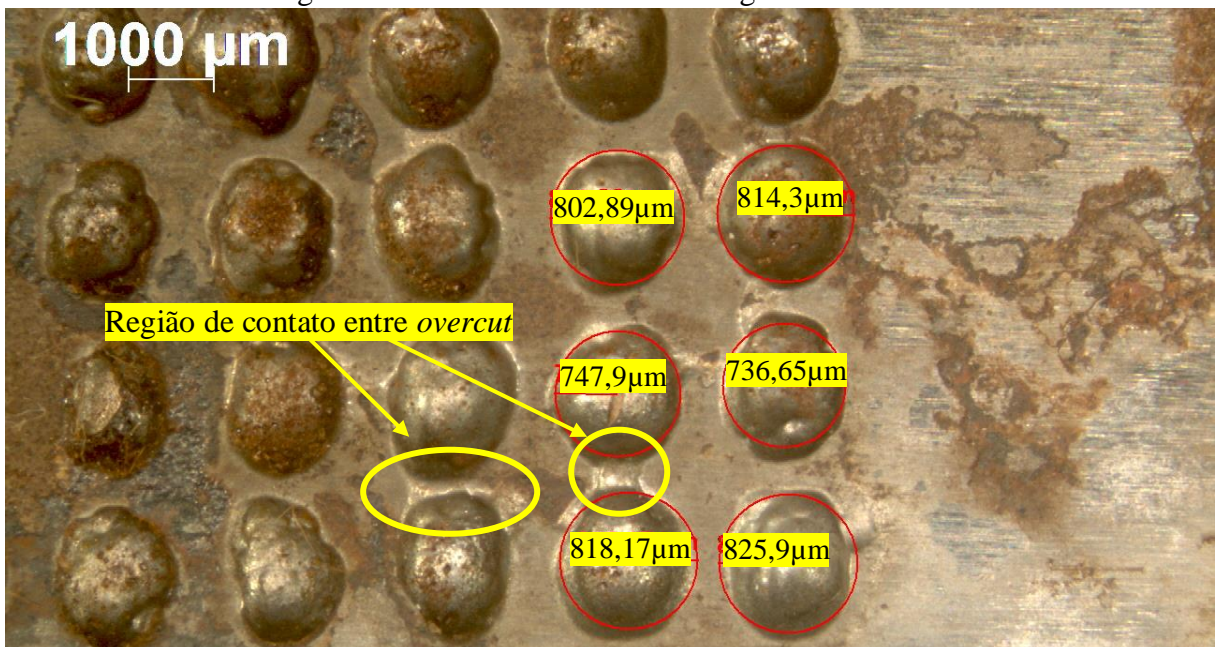
Ao analisar os dados da Tabela 2 é possível perceber que a remoção de material é fortemente ligada ao tempo de usinagem, tendo mais material removido pelo maior tempo. Também é notável a influência da corrente elétrica, entretanto não tão influente quanto o tempo de usinagem.

4.7 RESULTADOS: JUNÇÃO DE *OVERCUT*

Um dos objetivos da mudança de configuração da máscara foi para verificar em quais condições uma textura não se encontra com a outra. No teste 12, como pode ser observado na Figura 4.13, houve o contato entre duas regiões de *overcut*, sendo que nessa configuração os parâmetros estavam em 9min, 2A e 2mm de distância entre as aberturas na máscara.

Os diâmetros apresentados na figura a seguir representam o que seria um diâmetro equivalente da textura fabricada. O software do microscópio permite a seleção de vários pontos na imagem fotografada da amostra, calculando por estes pontos um valor de um diâmetro equivalente à imagem capturada e os pontos selecionados.

Figura 4.13 – Encontro entre duas regiões de *overcut*



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5. CONCLUSÃO

- O presente trabalho atendeu o objetivo de tornar válido o processo de texturização com mascaramento.
- Verificou-se que o *GAP* possui grande influência para fabricação de texturas pelo processo de usinagem eletroquímica.
- Na maior parte dos casos, o aumento da corrente elétrica favoreceu a maior retirada de material, e aumento do *overcut*.
- O aumento do tempo de usinagem também aumentou a taxa de remoção de material.
- A utilização de papel *contact* para fabricação de máscaras no processo de usinagem eletroquímico se mostrou viável, de fácil aplicação, fácil remoção e baixo custo.
- Atendeu também o estudo dos parâmetros de *GAP*, concentração, corrente elétrica e tempo de usinagem, assim como a sua influência no processo de usinagem eletroquímica.

Foram realizados doze ensaios de usinagem eletroquímica, e com a diferença entre os parâmetros utilizados foi possível entender o comportamento da texturização com diferentes parâmetros.

Foram definidos tamanhos de geometrias diferentes, e em configurações diferentes, para analisar os limites do processo.

Durante o período de ensaios foram feitas máscaras para usinagem eletroquímica utilizando papel *contact*.

Por fim foram feitas texturizações em peças de aço-carbono, com diferentes parâmetros, gerando uma vasta quantidade de dados sobre o processo.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Fica como sugestão para os trabalhos seguintes:

- A verificação do comportamento da texturização por usinagem eletroquímica ao ser aplicado geometrias diferentes à máscara;
- Estudo de viabilidade de outros materiais para a máscara;
- Criação de sistema de controle do *GAP*, e paralelismo, entre ferramenta/peça;
- Testar aplicações práticas do processo como aumento na resistência ao desgaste abrasivo.

Para outros trabalhos, existe a proposta de continuação deste trabalho com a fabricação de superfícies texturizadas em liga de INCONEL 718 a fim de determinar se a nova superfície influencia na resistência ao desgaste abrasivo e de tribo-corrosão.

É de interesse para os trabalhos conseguintes que as limitações do processo, devido à bancada, sejam atenuadas, para se garantir resultados com maior precisão.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, A., **Processos não convencionais de usinagem**. UFMG, Belo Horizonte, 2016.
- BENEDICT, G. F., **Nontraditional Manufacturing Processes**. Edição ilustrada. Editora CRC Press, 1987.
- BOTTENE, A. C., **Método Inovador para Texturização de Rebolos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- COSTA, H. L; HUTCHINGS, I. M. **Some innovative surface texturing techniques for tribological purposes**. In: Journal of Engineering Tribology. Special Issue Article, jun de 2014.
- DAS, M. K; KUMAR, K; BARMAN, T. Kr.; SAHOO, P., **Optimization of Surface Roughness and MRR in Electrochemical Machining of EN31 Tool Steel using Grey-Taguchi Approach**. In: 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014). p. 729-740, 2014.
- FERRARESI, D., **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. Primeira edição. Editora Blücher, 1970.
- FRANCO, G. R; CUNHA, D. F. **Avaliação da influência de parâmetros de usinagem em uma bancada de usinagem eletroquímica**. In: CREEM 2018, 25^o edição, 2018, Brasília. Anais do XXV CREEM vol.2. p.74-83, 2018.
- GONÇALVES Jr, J. L., **Influência de modificações superficiais (cromagem e texturização) no comportamento tribológico de aços para fabricação de cilindros de laminação a frio**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- HUTCHINGS, I; SHIPWAY, P. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**. Segunda edição. Editora Elsevier, 2017.
- KLEINJOHANN, K. C., **Texturização de aço baixo carbono SAE 1004 via plasma DC**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- MACHADO, A. R; ABRÃO, A. M; COELHO, R. T; SILVA, M. B., **Teoria da Usinagem dos Materiais**. Primeira edição. Editora Blücher, 2009.
- MCGEOUGH, J. A., **Advanced Methods of Machining**. Edição ilustrada. Editora Springer Science & Business Media, 1988.
- MENDES, M. A. P. et al., **Fabricação e aplicações de uma máquina de usinagem eletroquímica**. In: CONPEEX 2015, 12^o edição, 2015, Goiânia. Anais do Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão – CONPEEX (2015). p.2686-2690, 2015.

NEVES, D., **Influência da Texturização Laser na Vida de Ferramentas de Torneamento Revestidas por CVD e PVD**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

NOGUEIRA, A. F., **Texturização em superfícies de titânio grau 2 irradiadas com laser de pulsos ultracurtos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2015.

OSORIO, J. M. A., **Investigação sobre o uso da texturização a laser na preparação da superfície a ser recoberta em ferramentas de metal duro para fresamento**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

PARREIRA, J. G., **Texturização superficial eletroquímica sem mascaramento com finalidades tribológicas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

PINHO, R. M. O., **Propriedades electromecânicas de cerâmicos de $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$ texturizado**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2014.

RAHMANI, R., **Surface texturing for enhanced tribological performance**. In: Gohar, R. and Rahnejat, H. (eds.) *Fundamentals of Tribology*, 3rd ed, 2018.

SANTOS, G. N., **Fabricação de dispositivos microfluidicos por fotolitografia e projeto de fotoexpositora de luz pontual**. 2013. Projeto final (Graduação em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia de Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SUAREZ, M. P., **Influência da texturização a laser em ferramentas de metal duro revestidas na usinagem do aço ABNT 1050**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

TRENT, E., **Metal Cutting**. Segunda edição. Editora Butterworth & Co, 1984.

TRENT, E; WRIGHT, P., **Metal Cutting**. Quarta edição. Editora Butterworth-Heinemann, 2000.

VIANA, R., **Estudo da caracterização de ferramentas de corte texturizadas a laser e revestidas utilizadas no fresamento frontal de ferro fundido vermicular**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

VIEIRA, A., **Análise e estudo de parâmetros para texturização a laser com pulsos ultracurtos para melhoria das propriedades tribológicas de componentes de motor**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2018.

APÊNDICE A - PLANO DE TRABALHO

Título: Desenvolvimento de Metodologia para Fabricação de Superfícies Texturizadas por Usinagem Eletroquímica.

Nome	Alexandre Godinho de Oliveira		
Nº de Matrícula	201401225		
Telefones	(62) 98108-3498		
E-mail	alexandre.godinho217@hotmail.com		
Orientador(a):	Daniel Fernandes da Cunha		
Curso:	Eng. Elétrica ()	Eng. de Computação ()	Eng. Mecânica (x)
Certif. Estudos	Não () Sim ()		

Resumo

Na temperatura ambiente, vidros, cerâmicas e outros materiais frágeis de importância tecnológica quase sempre sofrem fratura frágil quando solicitados mecanicamente, antes que qualquer deformação plástica significativa possa ocorrer em resposta à aplicação de uma carga de tração. Ainda que essa característica de fragilidade torne a usinagem desses materiais difícil, a demanda por componentes de precisão feitos a partir deles é crescente, devido as suas características superiores em termos de propriedades físicas, químicas, mecânicas, óticas e eletrônicas (PORTO, 2004; CALLISTER, 2015).

Usinagem eletroquímica é um processo de usinagem não convencional, no qual consiste da remoção de átomos da superfície da peça, garantindo assim um acabamento superficial e tolerâncias geométricas extremamente apertadas (BENEDICT, 1987). Sua aplicação pode ser vista em indústrias automobilísticas, *offshore* e aeroespacial, além de aplicações biomecânicas. Pelo processo de usinagem eletroquímica é possível garantir bom acabamento superficial em peças, eliminando a necessidade de processos adicionais de acabamento, reduzindo o custo do processo produtivo.

Uma bancada experimental foi desenvolvida neste laboratório com bons resultados em termos de retirada de material e acabamento superficial. Nesta etapa de continuação do trabalho com usinagem eletroquímica serão confeccionadas texturas na superfície de um aço carbono com geometrias específicas para alteração de topografia. O desenvolvimento da metodologia para aplicação da máscara será desenvolvido neste trabalho juntamente com os parâmetros para fabricação da nova superfície.

I. Objetivos

Os objetivos deste projeto são:

- Capacitar o aluno em análise e seleção de materiais;
- Capacitar o aluno em materiais de engenharia, tribologia e ensaios de materiais;

Os objetivos detalhados do presente trabalho são:

- Realizar ensaios de usinagem eletroquímica;
- Definir diferentes geometrias de texturização;
- Fabricação de máscaras para usinagem eletroquímica;
- Fabricação de uma superfície texturizada em Aço-carbono.

II. Metodologia

Para esse trabalho serão realizados testes de usinagem eletroquímica além de testes para aplicação da máscara e geometria das texturas a serem utilizadas na fabricação da nova superfície dos corpos de prova.

III. Cronograma

O cronograma das atividades a serem realizadas é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Cronograma do projeto 2º Semestre letivo de 2019.

Tabela 1 – Cronograma de atividades.Semestre letivo de 2019.

Atividades	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Revisão bibliográfica	x	x	x	
Método de aplicação da máscara	x	x		
Definição de geometrias para texturização	x	x		
Ensaio de Usinagem Eletroquímica	x	x	x	x
Redação de artigo e relatório				x

Goiânia, 21 de agosto de 2019.

APÊNDICE B – DADOS TESTE 1

TESTE 1	Máscara (μm)	Furo (μm)
1 raio	1631,7	3137,5
2 raio	1619,24	3126,15

3 raio	1594,21	3150,4
4 raio	1634,88	3140,21

APÊNDICE C - DADOS TESTE 2

TESTE 2	Máscara (μm)	Furo (μm)
1 raio máscara	1600,98	2896,95
2 raio máscara	1581,88	2906,28
3 raio máscara	1562,18	2916,84
4 raio máscara	1616,22	2909,18

APÊNDICE D - DADOS TESTE 3

TESTE 3	Máscara (μm)	Furo (μm)
1 raio máscara	1607,45	2863,54
2 raio máscara	1603,13	2835
3 raio máscara	1618,93	2851,46
4 raio máscara	1559,74	2856,08

APÊNDICE E - DADOS TESTE 4

TESTE 4	Máscara (μm)	Furo (μm)
1 raio máscara	1631,14	2858,15
2 raio máscara	1572,99	2863,15
3 raio máscara	1583,45	2848,28
4 raio máscara	1600,7	2843

APÊNDICE F - DADOS TESTE 5

TESTE 5	Diâmetro máscara (μm)	Diâmetro furo (μm)	Overcut (μm)
Furo 1	625,01	1355,73	365,36
Furo 2	579,58	1365,86	393,14
Furo 3	451,29	1083,99	316,35
Furo 4	560,87	1306,60	372,87
Furo 5	500,11	1313,97	406,93
Furo 6	515,78	1304,45	394,34
Furo 7	563,50	1418,25	427,37
Furo 8	544,27	1300,07	377,90
Furo 9	551,08	1068,79	258,85
Furo 10	579,81	1270,36	345,28
Furo 11	543,21	1547,89	502,34
Furo 12	536,37	1131,49	297,56
Furo 13	523,53	1278,58	377,53

Furo 14	506,74	1126,19	309,72
Furo 15	476,90	889,26	206,18
Furo 16	421,99	834,26	206,14
Furo 17	317,97	977,89	329,96
Furo 18	429,07	663,95	117,44
Furo 19	302,43	656,25	176,91
Furo 20	197,35	522,35	162,50
Furo 21	437,81	973,35	267,77
Furo 22	582,63	879,81	148,59
Furo 23	393,94	1055,56	330,81
Furo 24	428,88	745,09	158,11
Furo 25	170,71	570,15	199,72

APÊNDICE G - DADOS TESTE 6

TESTE 6	Diâmetro máscara (μm)	Diâmetro furo (μm)	<i>Overcut</i> (μm)
Furo 1	572,58	559,71	-6,43
Furo 2	531,87	541,70	4,91
Furo 3	628,25	588,39	-19,93
Furo 4	416,74	602,81	93,04
Furo 5	541,26	536,61	-2,32
Furo 6	429,01	461,79	16,39
Furo 7	419,39	474,88	27,75
Furo 8	473,84	525,54	25,85
Furo 9	472,31	519,83	23,76
Furo 10	508,60	746,19	118,80
Furo 11	511,52	497,81	-6,86
Furo 12	503,04	498,58	-2,23
Furo 13	517,71	544,71	13,50
Furo 14	503,30	523,32	10,01
Furo 15	487,38	466,83	-10,28
Furo 16	536,02	920,15	192,07
Furo 17	549,75	826,80	138,53
Furo 18	660,69	951,83	145,57
Furo 19	535,70	969,75	217,03
Furo 20	408,93	922,07	256,57
Furo 21	524,18	618,99	47,40
Furo 22	561,27	815,71	127,22
Furo 23	525,64	886,67	180,52
Furo 24	557,17	1003,80	223,32
Furo 25	479,10	792,56	156,73

APÊNDICE H - DADOS TESTE 7

TESTE 7	Diâmetro máscara (μm)	Diâmetro furo (μm)	Overcut (μm)
Furo 1	336,78	574,56	118,89
Furo 2	327,02	608,02	140,50
Furo 3	337,24	651,98	157,37
Furo 4	319,68	533,60	106,96
Furo 5	355,38	644,00	144,31
Furo 6	305,20	506,04	100,42
Furo 7	301,04	652,22	175,59
Furo 8	274,32	527,74	126,71
Furo 9	246,12	607,34	180,61
Furo 10	252,48	634,44	190,98
Furo 11	295,64	747,42	225,89
Furo 12	279,66	717,44	218,89
Furo 13	286,60	670,94	192,17
Furo 14	363,72	649,26	142,77
Furo 15	330,54	767,20	218,33
Furo 16	283,20	793,26	255,03
Furo 17	272,42	776,62	252,10
Furo 18	258,72	780,22	260,75
Furo 19	258,36	765,38	253,51
Furo 20	294,30	802,34	254,02
Furo 21	290,94	714,34	211,70
Furo 22	310,32	673,68	181,68
Furo 23	315,10	774,70	229,80
Furo 24	197,20	709,54	256,17
Furo 25	283,22	858,82	287,80
Furo 26	265,92	822,84	278,46
Furo 27	251,60	780,98	264,69
Furo 28	375,06	769,24	197,09
Furo 29	340,12	725,38	192,63
Furo 30	203,30	806,86	301,78
Furo 31	247,56	731,86	242,15
Furo 32	229,58	772,00	271,21
Furo 33	253,09	717,96	232,44
Furo 34	266,23	753,86	243,82
Furo 35	279,36	752,90	236,77
Furo 36	292,50	721,58	214,54

APÊNDICE I - DADOS TESTE 8

TESTE 8	Diâmetro máscara (μm)	Diâmetro furo (μm)	Overcut (μm)
---------	------------------------------------	---------------------------------	---------------------------

Furo 1	253,68	1032,02	389,17
Furo 2	295,18	885,74	295,28
Furo 3	294,46	1042,88	374,21
Furo 4	393,76	1085,18	345,71
Furo 5	217,20	554,44	168,62
Furo 6	221,42	594,92	186,75
Furo 7	242,28	895,96	326,84
Furo 8	247,02	899,00	325,99
Furo 9	231,16	795,70	282,27
Furo 10	227,98	747,62	259,82
Furo 11	281,74	627,38	172,82
Furo 12	257,36	591,38	167,01
Furo 13	275,50	1067,58	396,04
Furo 14	284,26	798,58	257,16
Furo 15	204,82	547,98	171,58
Furo 16	261,74	854,68	296,47
Furo 17	247,52	567,40	159,94
Furo 18	236,26	627,32	195,53
Furo 19	249,40	1019,64	385,12
Furo 20	233,14	739,44	253,15
Furo 21	243,86	853,44	304,79
Furo 22	276,66	1042,26	382,80
Furo 23	312,18	789,82	238,82
Furo 24	273,84	915,70	320,93
Furo 25	272,42	1095,78	411,68
Furo 26	259,46	948,86	344,70
Furo 27	300,86	1006,32	352,73
Furo 28	289,82	919,58	314,88
Furo 29	308,66	1017,00	354,17
Furo 30	293,34	923,84	315,25
Furo 31	155,26	768,04	306,39
Furo 32	233,42	1000,18	383,38
Furo 33	245,04	843,64	299,30
Furo 34	313,96	1099,88	392,96
Furo 35	276,58	1017,86	370,64
Furo 36	244,00	951,24	353,62

APÊNDICE J - DADOS TESTE 9

TESTE 9	Diâmetro máscara (μm)	Diâmetro furo (μm)	Overcut (μm)
Furo 1	268,00	304,18	18,09
Furo 2	302,86	369,18	33,16
Furo 3	97,48	450,40	176,46

Furo 4	332,90	460,44	63,77
Furo 5	179,02	459,98	140,48
Furo 6	125,34	475,06	174,86
Furo 7	319,84	340,74	10,45
Furo 8	254,68	364,64	54,98
Furo 9	323,38	355,80	16,21
Furo 10	330,30	432,98	51,34
Furo 11	335,88	368,38	16,25
Furo 12	302,96	316,12	6,58
Furo 13	305,80	316,36	5,28
Furo 14	315,64	371,76	28,06
Furo 15	278,48	304,96	13,24
Furo 16	307,84	331,54	11,85
Furo 17	250,66	393,18	71,26
Furo 18	230,80	413,56	91,38
Furo 19	265,00	330,78	32,89
Furo 20	201,02	451,94	125,46
Furo 21	297,12	405,72	54,30
Furo 22	113,52	467,14	176,81
Furo 23	294,98	344,88	24,95
Furo 24	349,08	421,44	36,18
Furo 25	294,52	348,72	27,10
Furo 26	293,58	371,02	38,72
Furo 27	320,16	412,72	46,28
Furo 28	317,08	399,50	41,21
Furo 29	342,02	360,94	9,46
Furo 30	356,42	401,78	22,68
Furo 31	337,42	456,48	59,53
Furo 32	202,30	403,42	100,56
Furo 33	168,56	510,36	170,90
Furo 34	137,88	603,34	232,73
Furo 35	160,42	654,48	247,03
Furo 36	119,44	459,30	169,93
Furo 37	183,36	463,86	140,25
Furo 38	139,02	624,12	242,55
Furo 39	155,59	627,90	236,16
Furo 40	169,06	544,76	187,85
Furo 41	254,96	650,24	197,64
Furo 42	180,96	656,26	237,65
Furo 43	283,14	702,20	209,53
Furo 44	226,06	678,98	226,46
Furo 45	220,52	652,22	215,85
Furo 46	229,76	511,02	140,63
Furo 47	214,44	596,18	190,87

Furo 48	235,93	549,24	156,66
Furo 49	238,95	645,56	203,31

APÊNDICE K - DADOS TESTE 10

TESTE 10	Diâmetro máscara (μm)
Furo 1	358,86
Furo 2	356,90
Furo 3	290,64
Furo 4	376,38
Furo 5	383,82
Furo 6	300,32
Furo 7	334,12
Furo 8	376,32
Furo 9	397,28
Furo 10	345,68
Furo 11	392,70
Furo 12	319,34
Furo 13	378,06
Furo 14	410,32
Furo 15	405,66
Furo 16	401,58
Furo 17	271,96
Furo 18	318,78
Furo 19	400,46
Furo 20	292,52
Furo 21	389,30
Furo 22	363,70
Furo 23	412,94
Furo 24	369,76
Furo 25	352,24
Furo 26	378,16
Furo 27	395,76
Furo 28	374,20
Furo 29	348,04
Furo 30	406,16
Furo 31	383,24
Furo 32	391,12
Furo 33	351,92
Furo 34	385,52
Furo 35	391,24
Furo 36	394,56
Furo 37	412,02

Furo 38	353,02
Furo 39	357,90
Furo 40	353,50
Furo 41	399,46
Furo 42	363,88
Furo 43	410,32
Furo 44	415,66
Furo 45	357,72
Furo 46	369,64
Furo 47	328,04
Furo 48	350,14
Furo 49	307,70

APÊNDICE L - DADOS TESTE 11

TESTE 11	Diâmetro máscara (μm)	Diâmetro furo (μm)	Overcut (μm)
Furo 7	652,42	1330,88	339,23
Furo 8	691,94	1294,36	301,21
Furo 9	606,26	1457,42	425,58
Furo 10	672,68	1300,22	313,77
Furo 11	763,44	1331,42	283,99
Furo 12	705,48	1181,32	237,92
Furo 13	619,20	1222,60	301,70

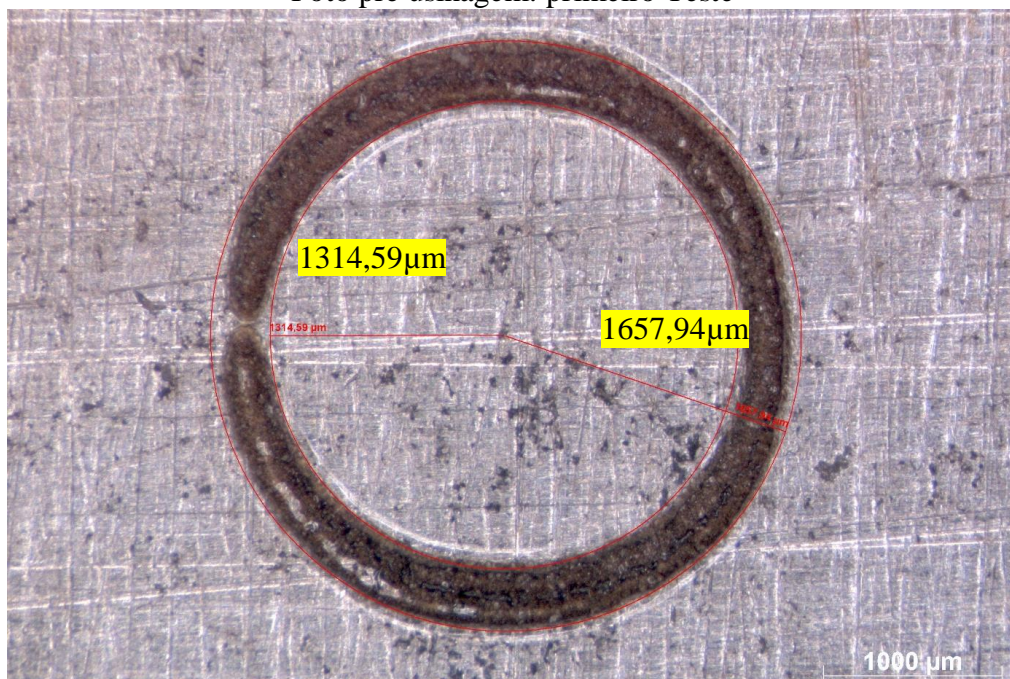
APÊNDICE M - DADOS TESTE 12

TESTE 12	Diâmetro máscara (μm)	Diâmetro furo (μm)	Overcut (μm)
Furo 3	755,56	1521,36	382,90
Furo 4	732,62	1431,58	349,48
Furo 5	752,62	1389,18	318,28
Furo 6	697,12	1557,98	430,43
Furo 7	799,42	1479,86	340,22
Furo 8	837,16	1316,92	239,88
Furo 9	807,38	1608,96	400,79
Furo 10	704,76	1550,56	422,90
Furo 11	800,14	1432,30	316,08
Furo 12	888,78	1375,38	243,30
Furo 13	762,82	1388,12	312,65
Furo 14	834,60	1523,36	344,38
Furo 15	819,46	1458,72	319,63
Furo 16	740,66	1498,46	378,90
Furo 17	805,82	1330,34	262,26
Furo 18	823,80	1449,54	312,87

Furo 19	848,02	1466,02	309,00
Furo 20	764,84	1444,76	339,96
Furo 21	775,08	1554,24	389,58
Furo 22	890,58	1427,16	268,29
Furo 23	866,32	1243,12	188,40
Furo 24	780,26	1470,56	345,15
Furo 25	775,82	1681,20	452,69
Furo 26	837,34	1632,02	397,34
Furo 27	876,04	1508,46	316,21
Furo 28	722,46	1512,24	394,89
Furo 29	869,88	1225,06	177,59
Furo 30	752,46	1374,64	311,09
Furo 31	888,56	1443,58	277,51
Furo 32	759,26	1531,52	386,13
Furo 33	901,08	1539,72	319,32
Furo 34	820,00	1630,54	405,27
Furo 35	855,48	1481,90	313,21
Furo 38	735,58	1471,80	368,11
Furo 39	829,76	1505,52	337,88
Furo 40	768,44	1605,78	418,67
Furo 41	829,08	1495,80	333,36
Furo 42	826,16	1636,34	405,09
Furo 44	862,92	1533,50	335,29
Furo 45	714,42	1531,30	408,44
Furo 46	681,58	1562,74	440,58
Furo 47	795,54	1628,60	416,53
Furo 48	716,54	1473,30	378,38
Furo 49	771,96	1651,80	439,92

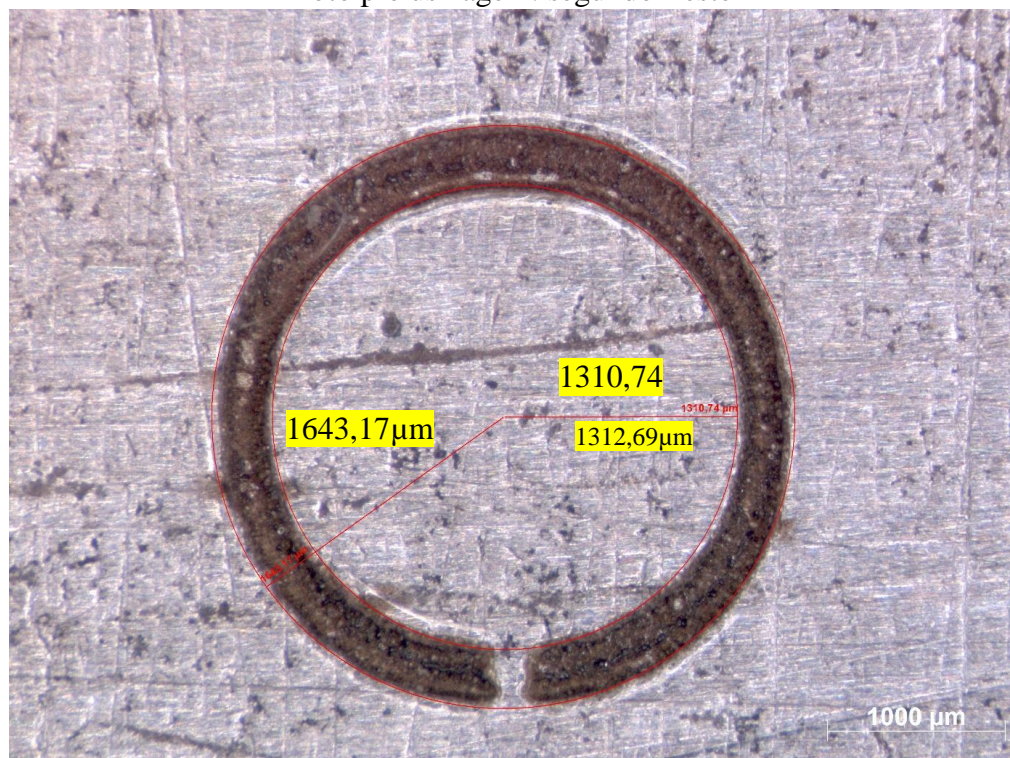
APÊNDICE N – FOTOS TESTES

Foto pré usinagem: primeiro Teste



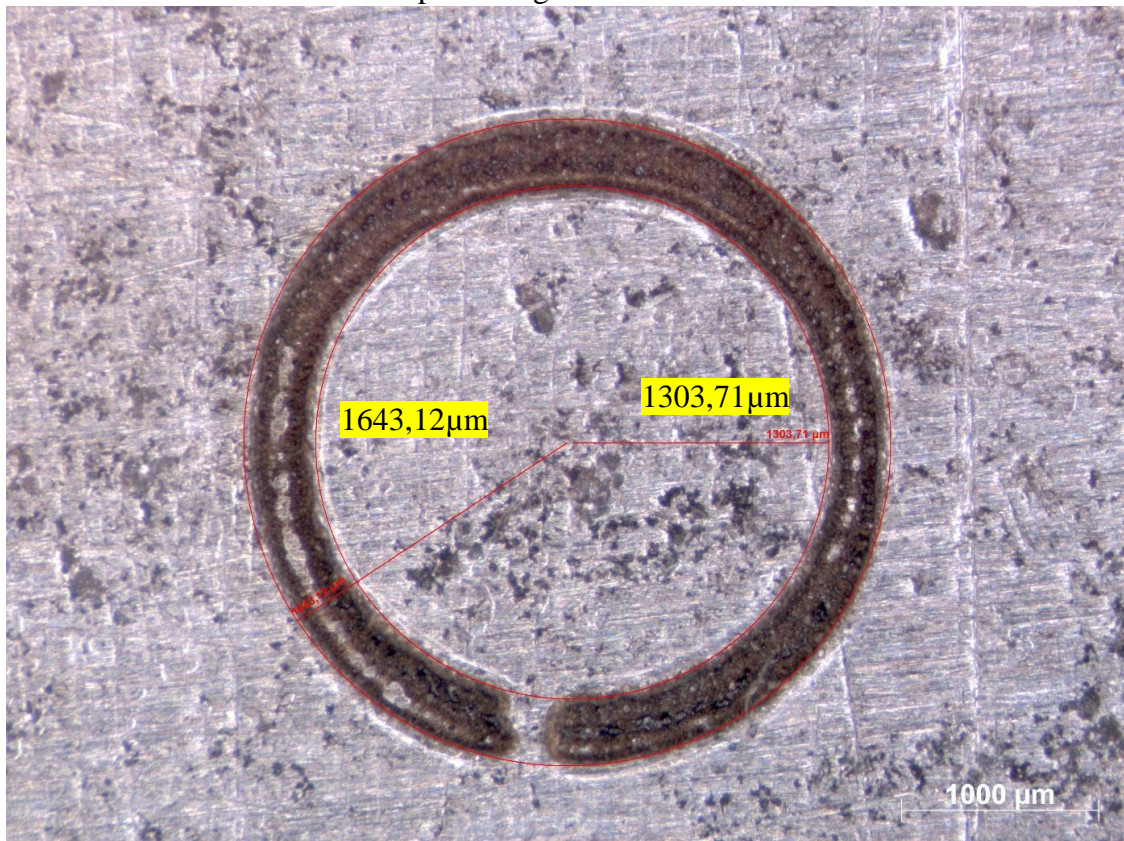
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pré usinagem: segundo Teste



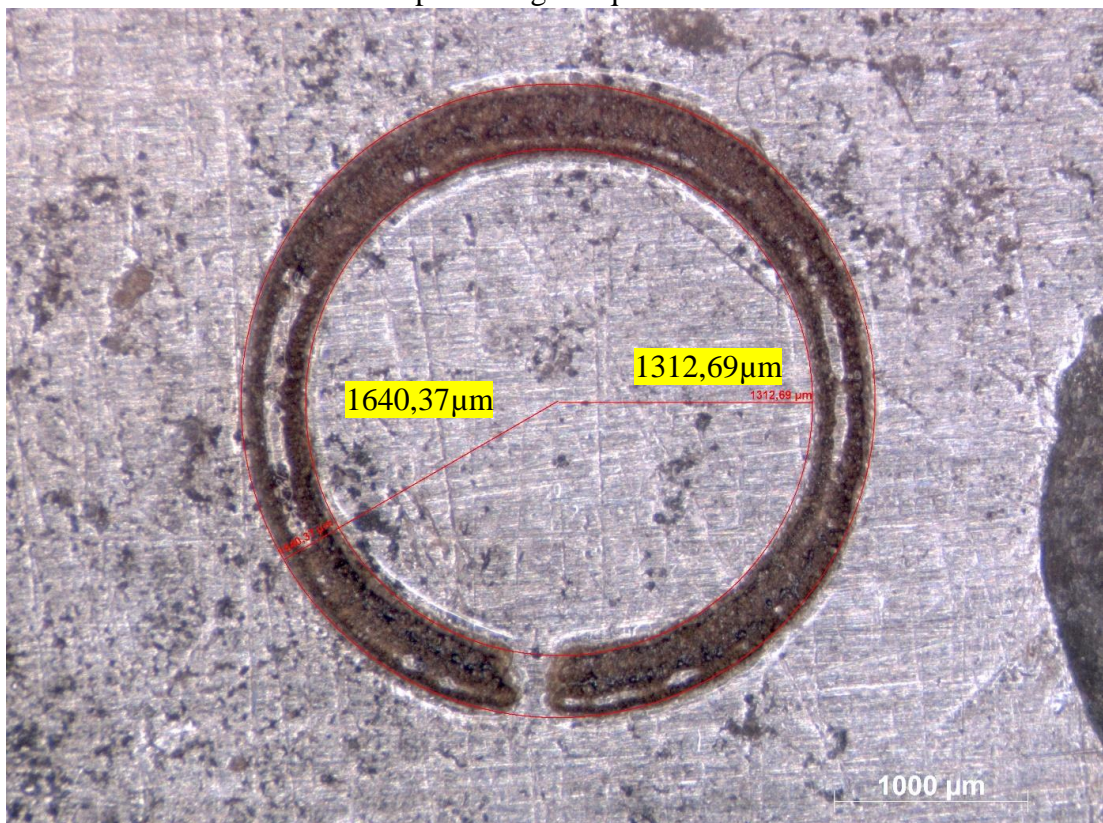
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pré usinagem: terceiro Teste



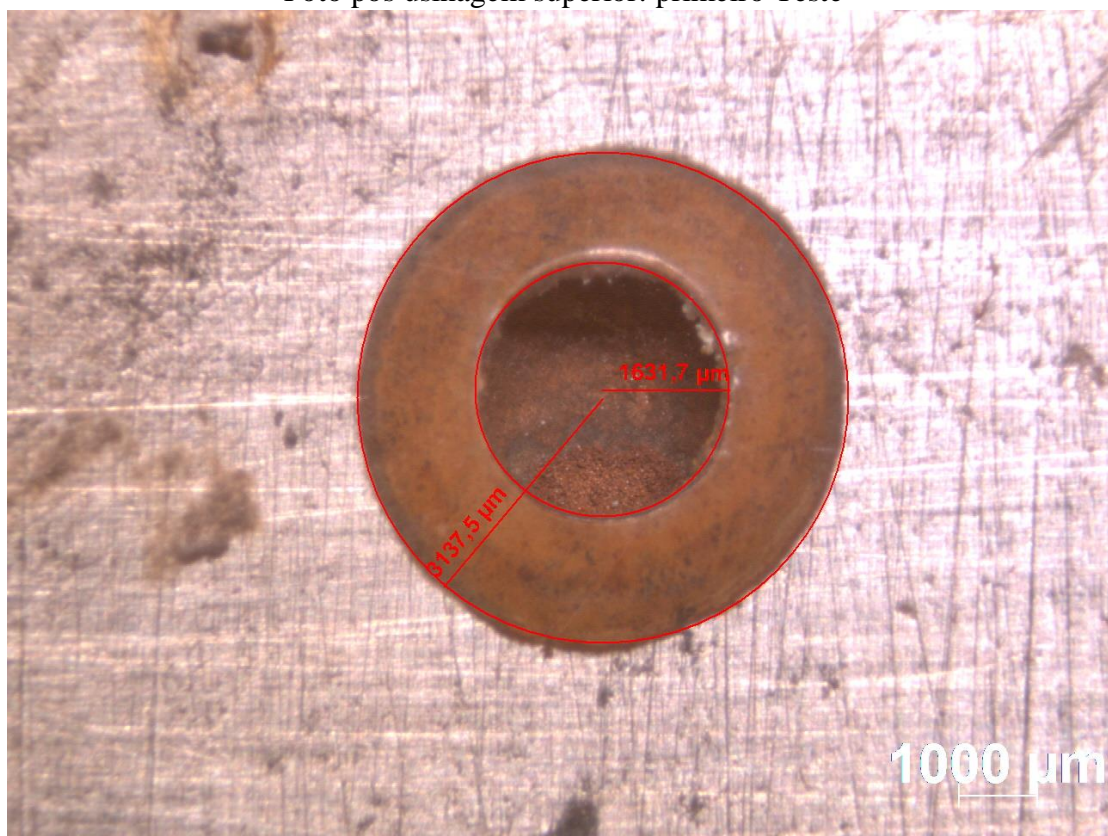
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pré usinagem: quarto Teste



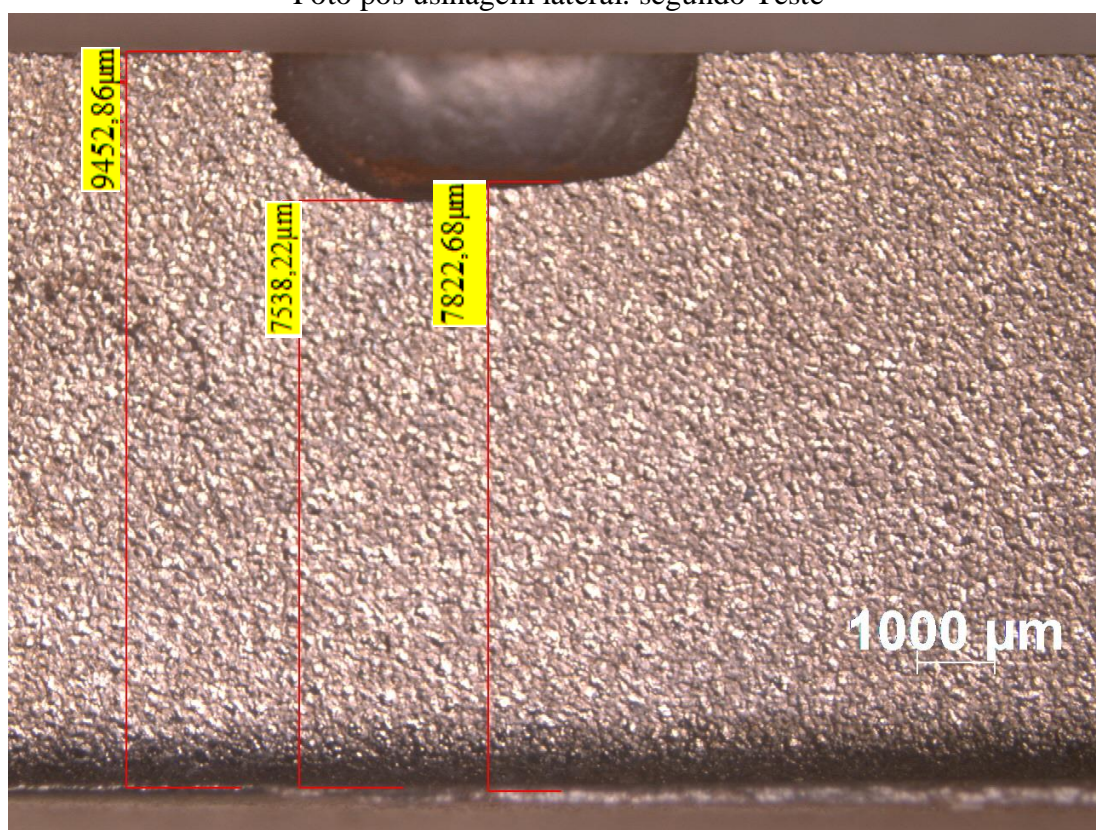
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pós usinagem superior: primeiro Teste



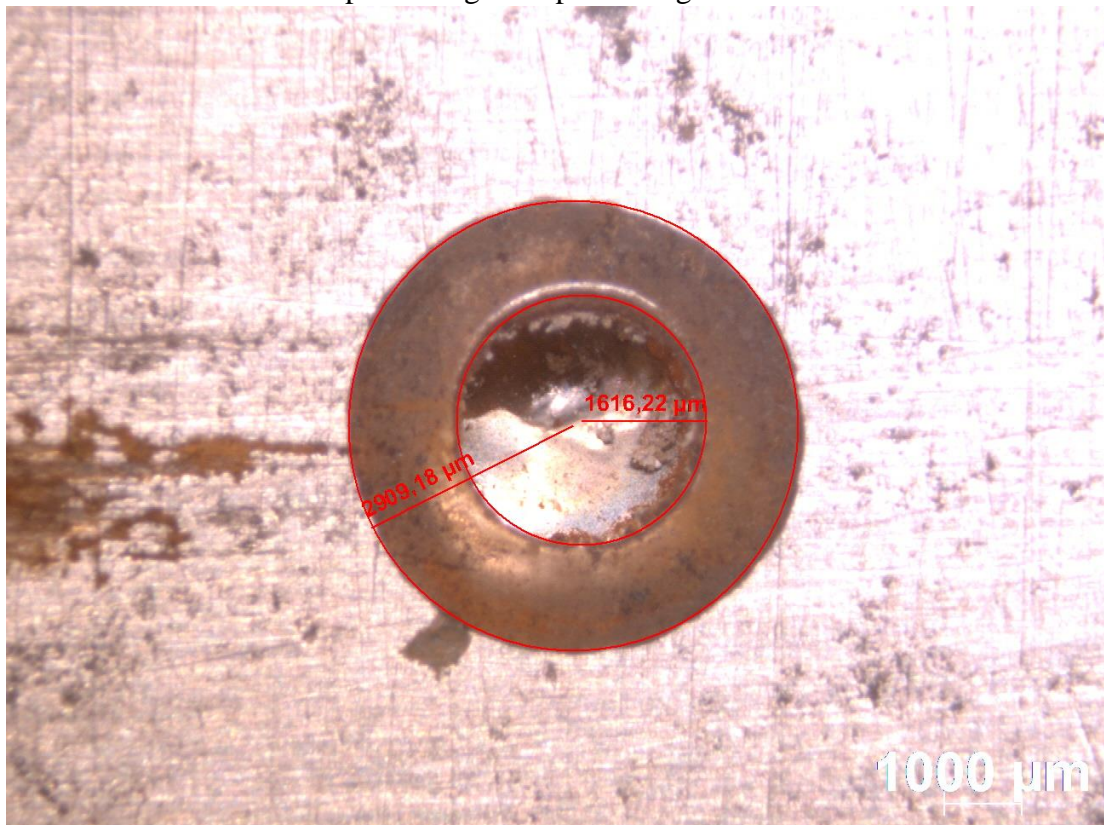
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pós usinagem lateral: segundo Teste



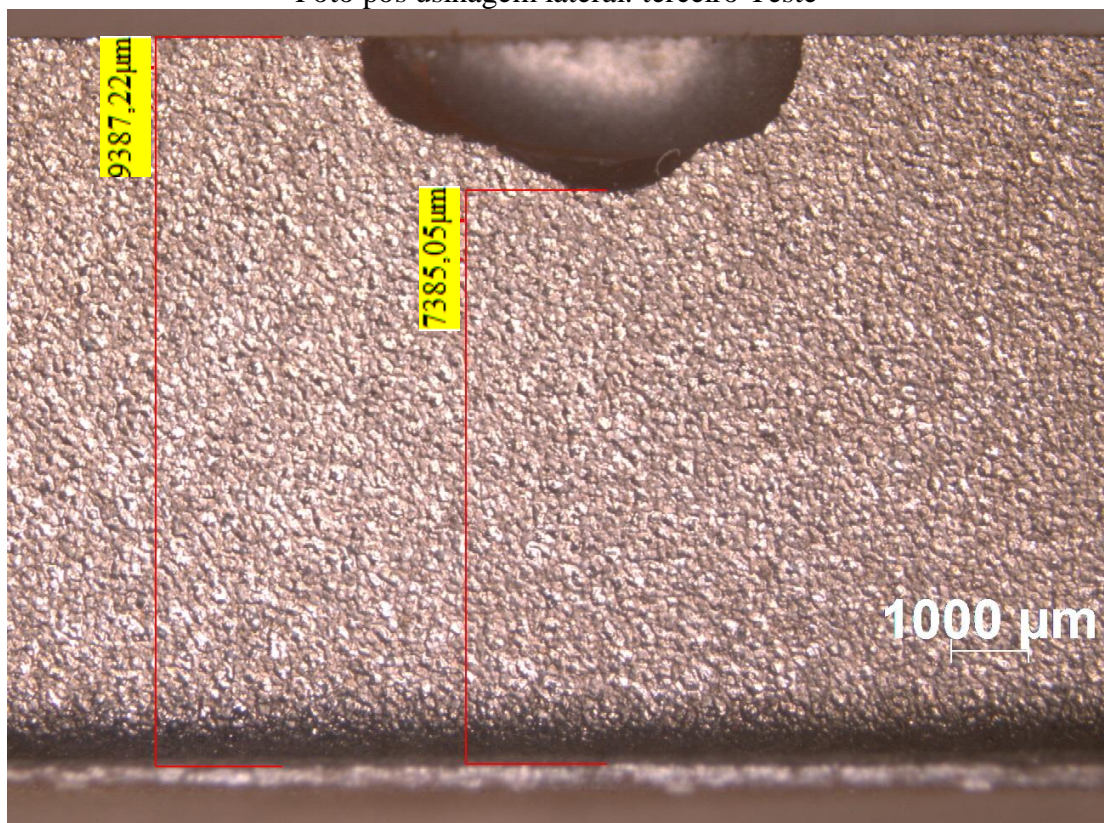
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pós usinagem superior: segundo Teste



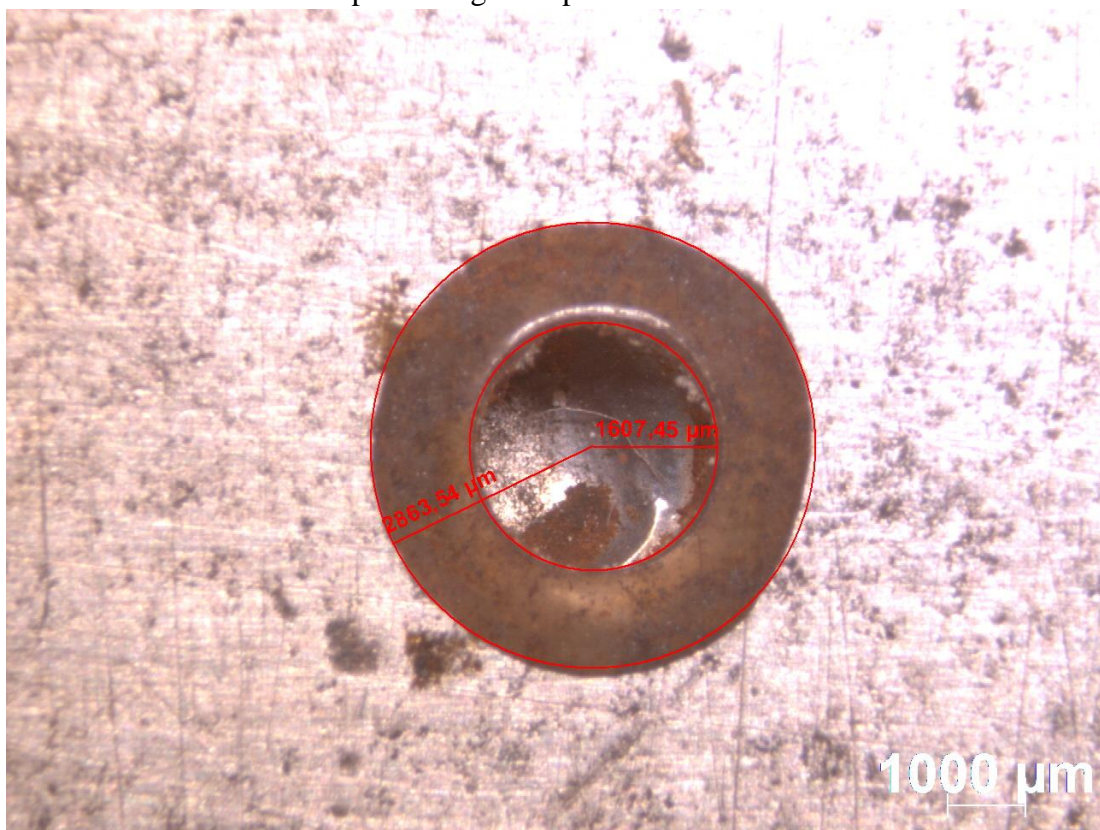
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pós usinagem lateral: terceiro Teste



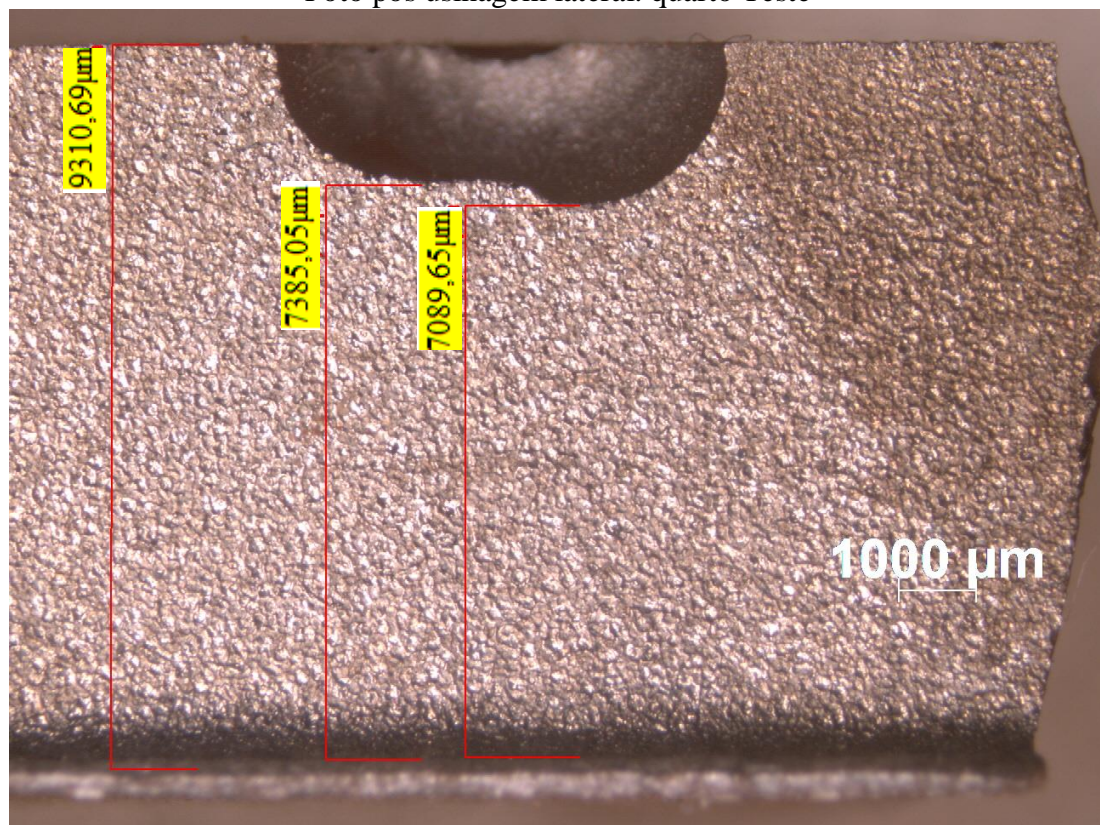
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pós usinagem superior: terceiro Teste



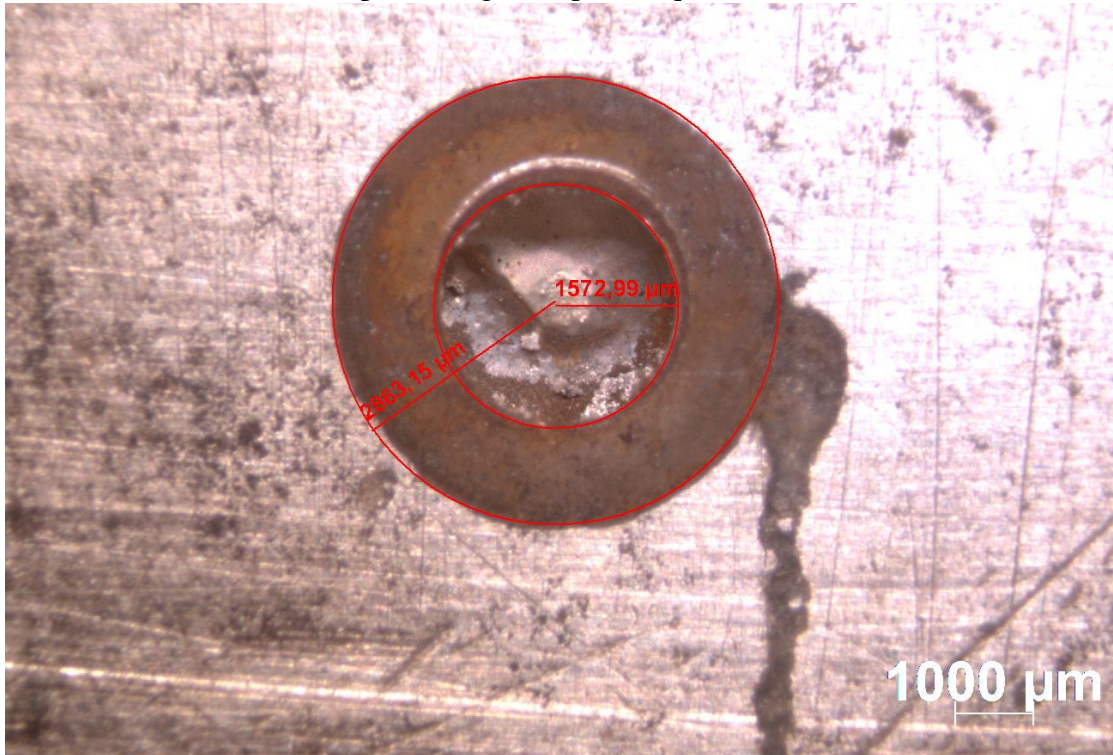
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pós usinagem lateral: quarto Teste



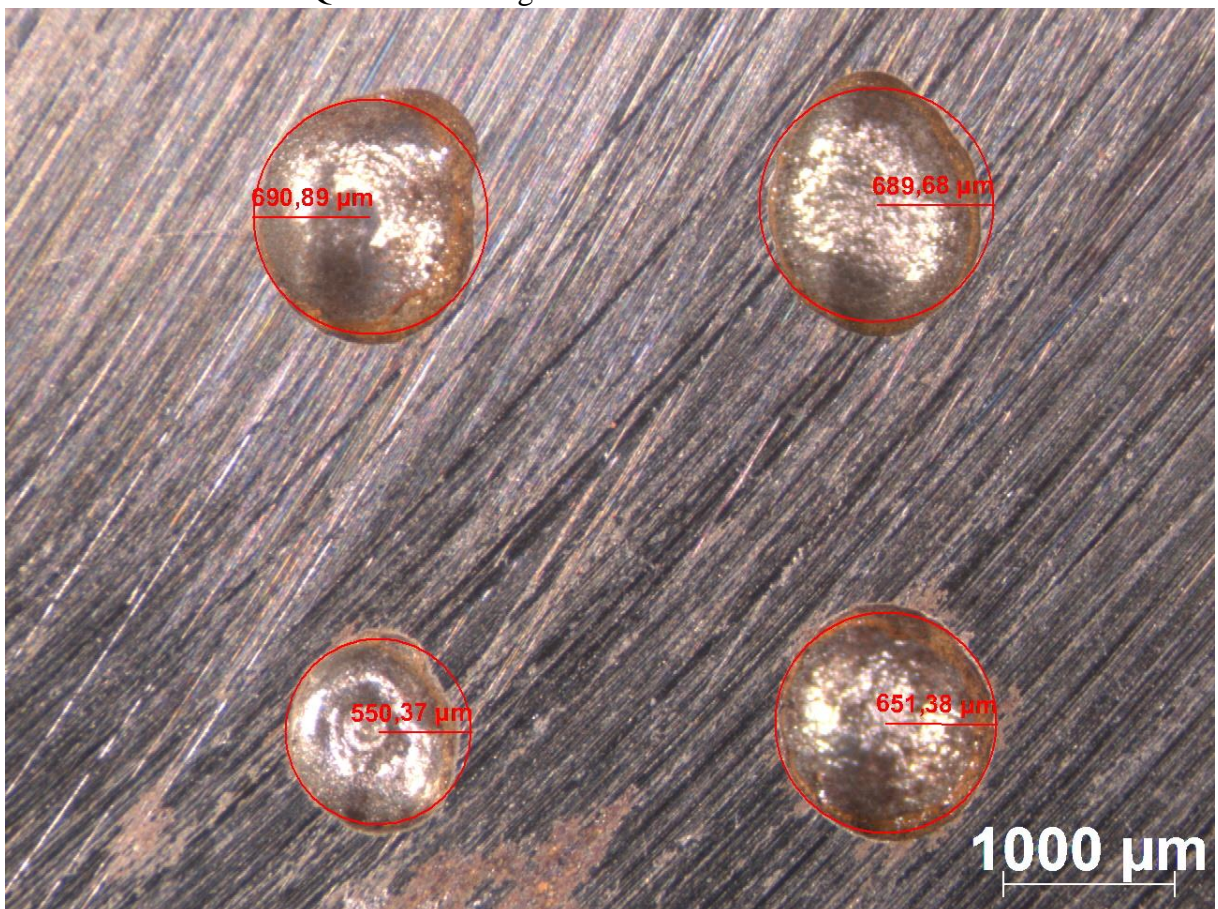
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foto pós usinagem superior: quarto Teste



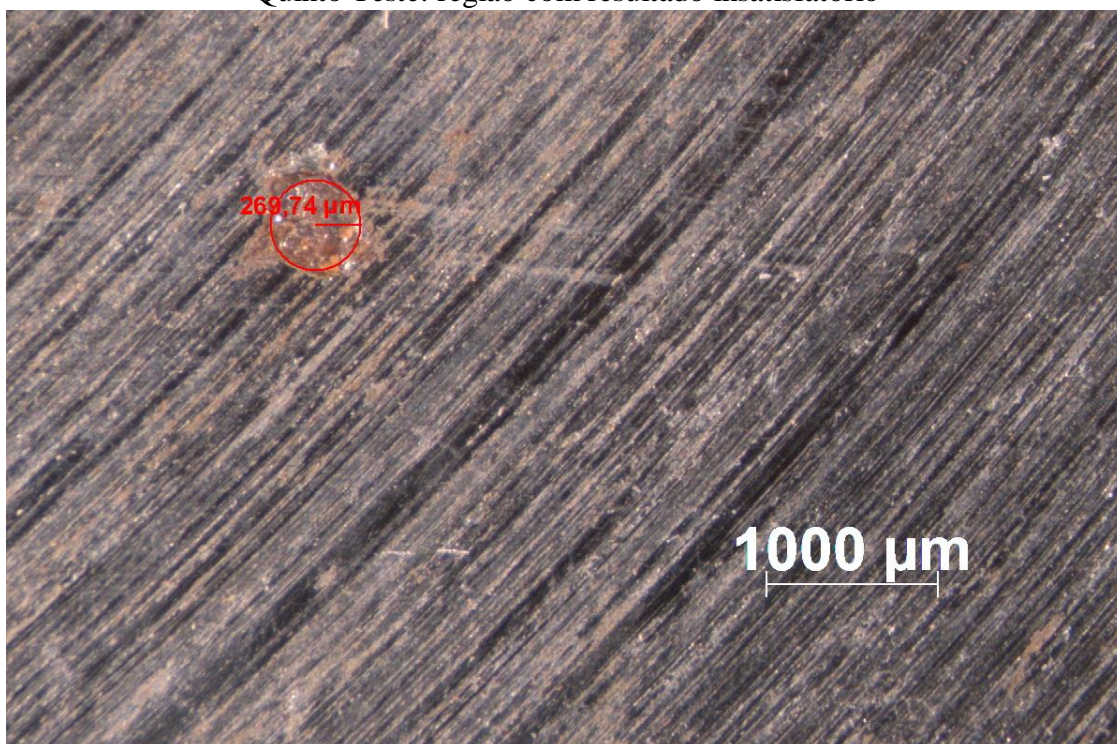
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quinto Teste: região com resultado satisfatório



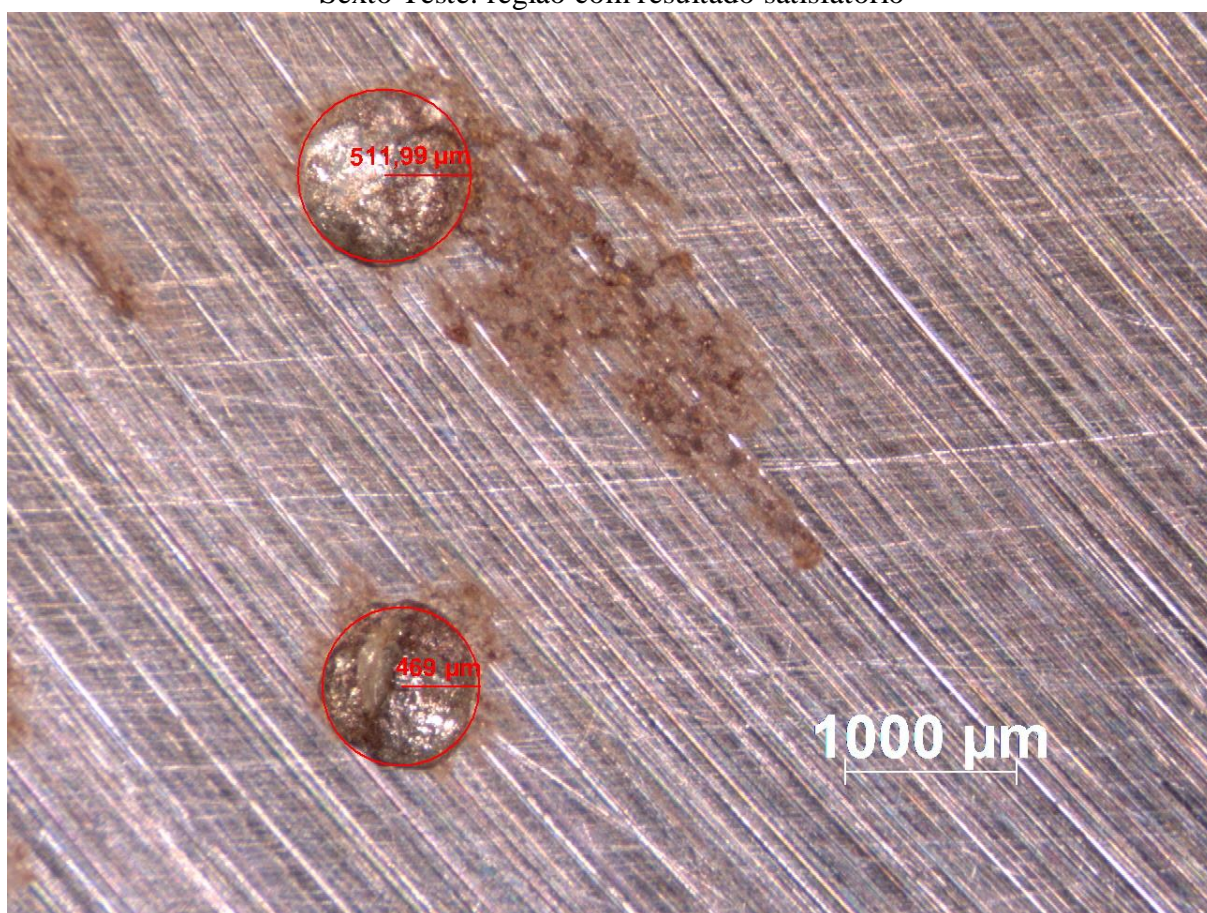
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quinto Teste: região com resultado insatisfatório



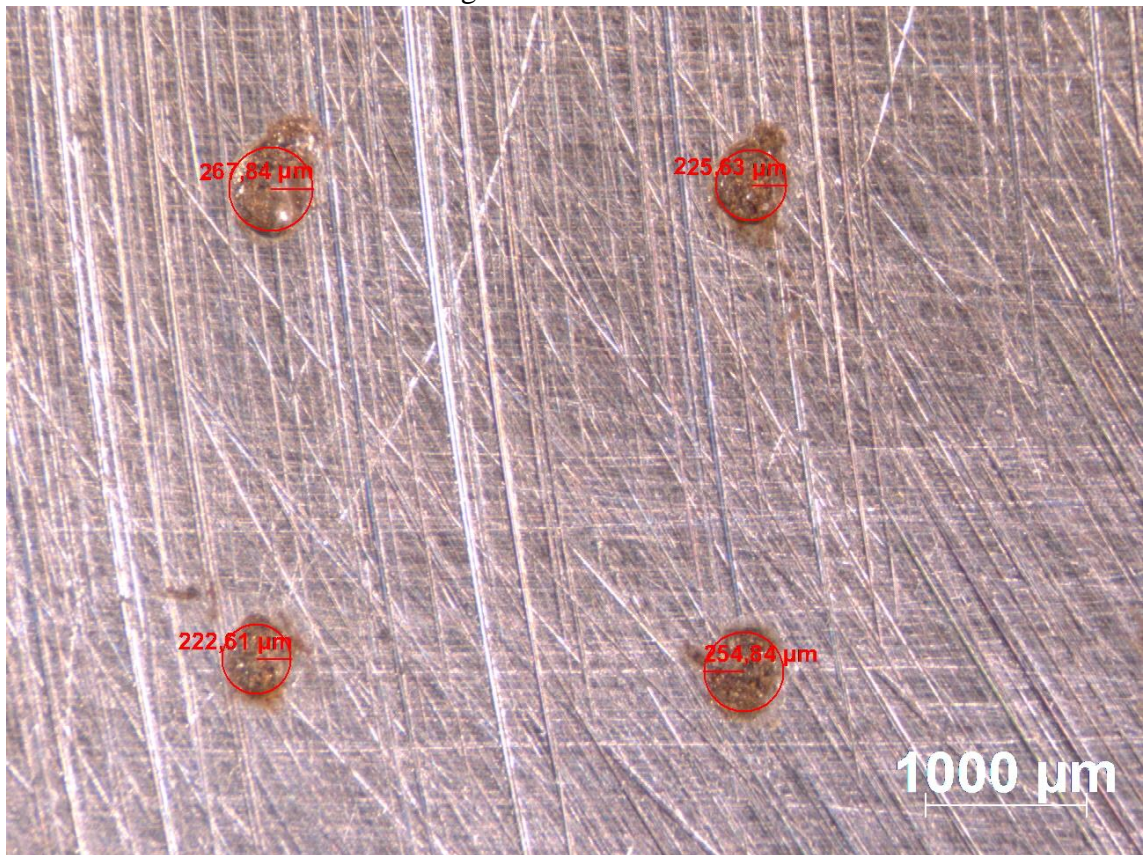
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Sexto Teste: região com resultado satisfatório



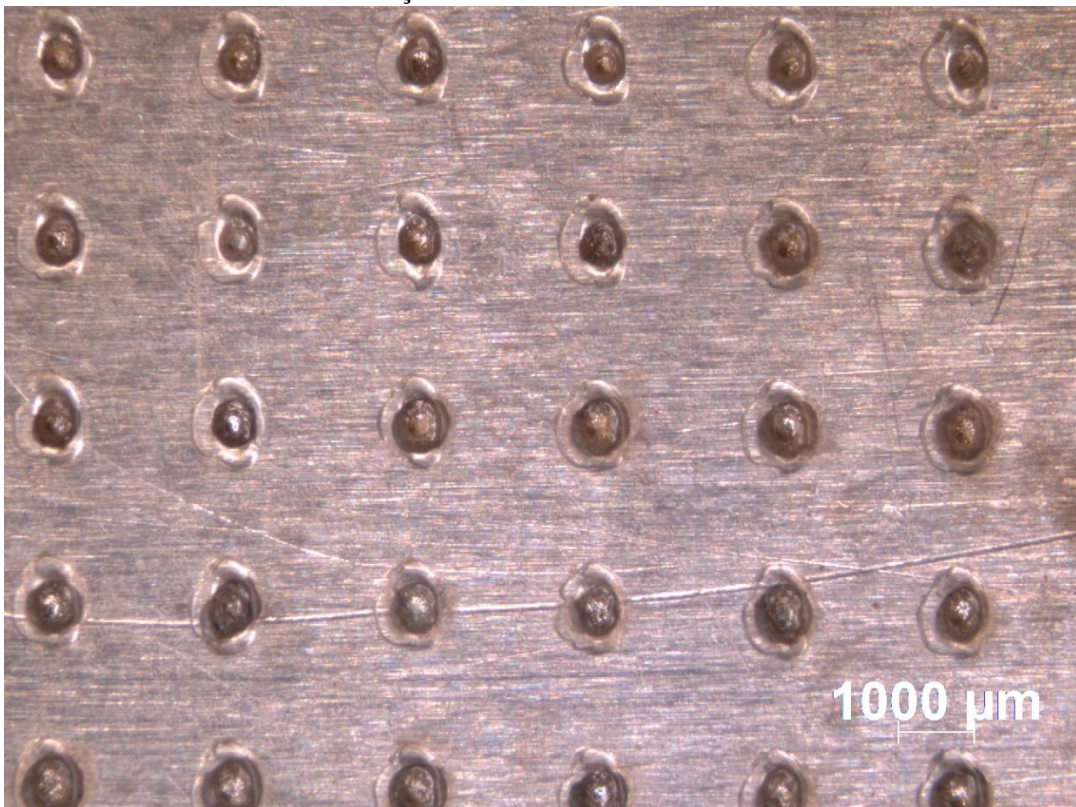
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Sexto Teste: região com resultado insatisfatório



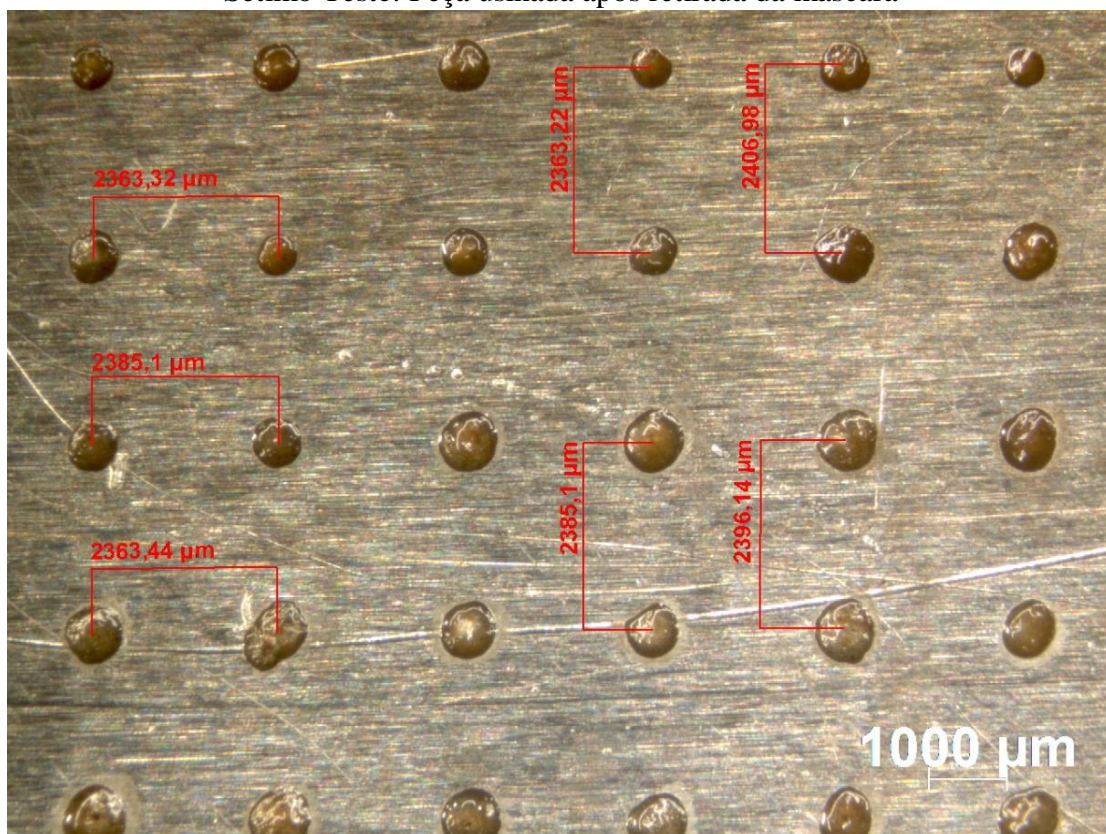
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Sétimo Teste: Peça usinada antes da retirada da máscara



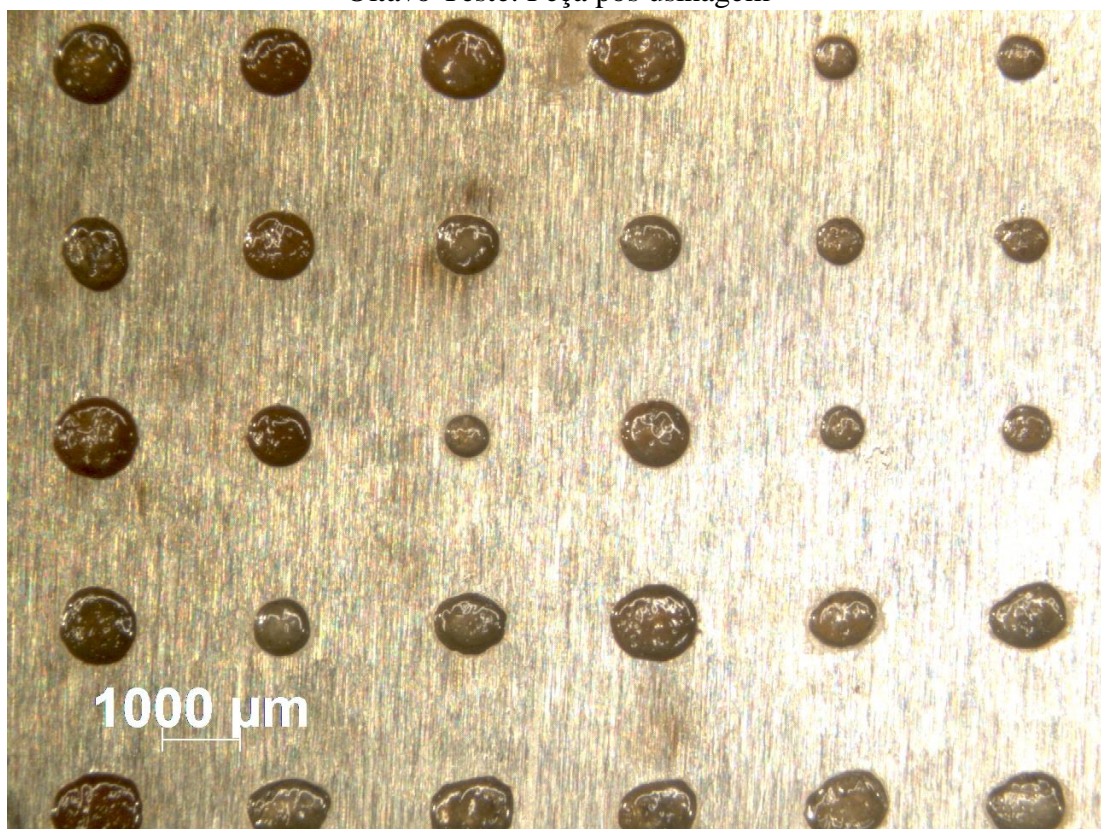
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Sétimo Teste: Peça usinada após retirada da máscara



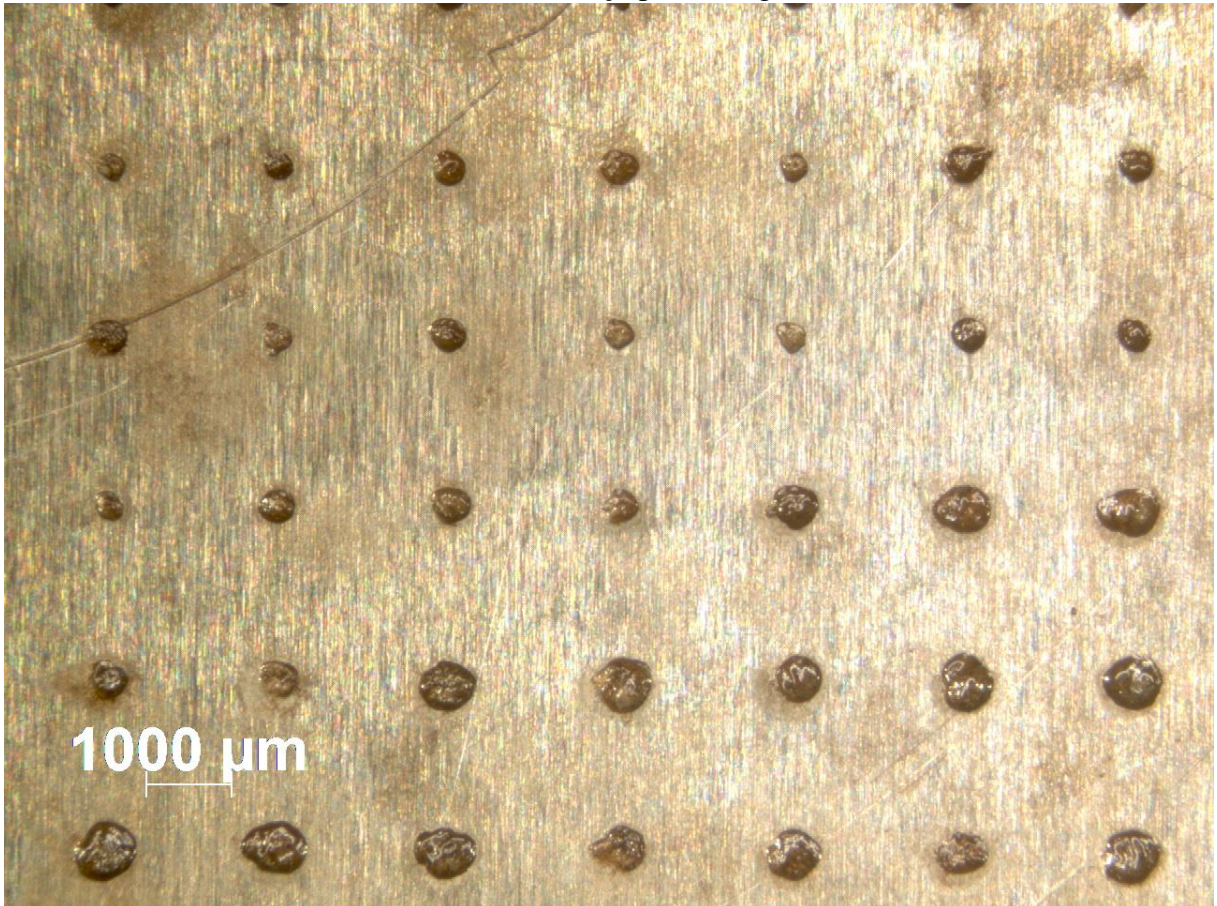
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Oitavo Teste: Peça pós usinagem



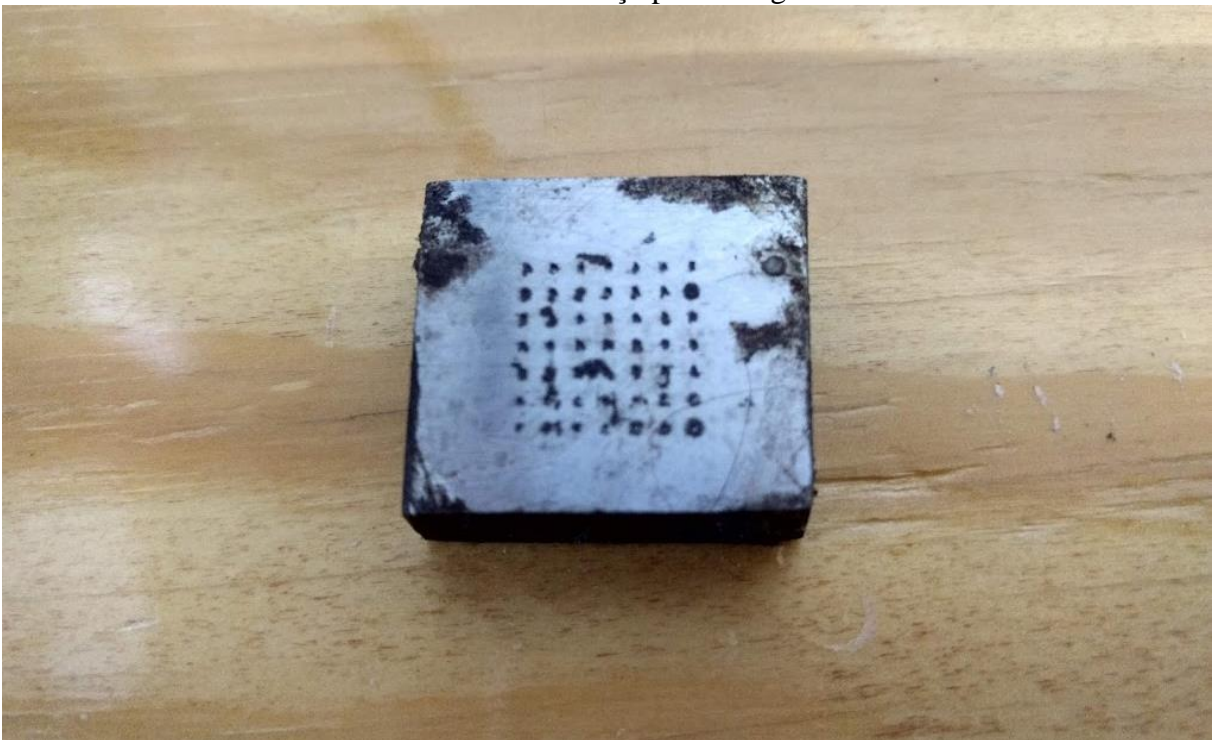
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nono Teste: Peça pós usinagem



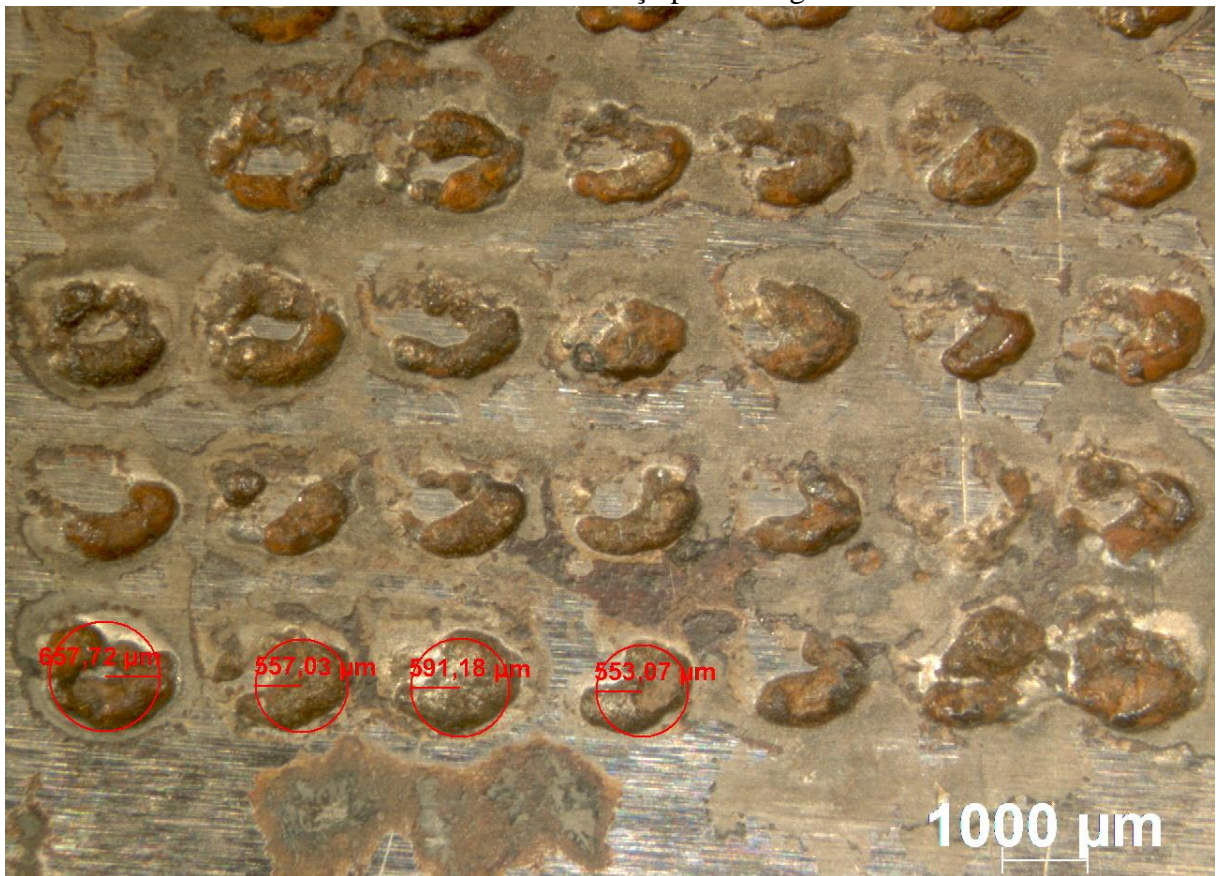
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Décimo Teste: Peça pós usinagem



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Undécimo Teste: Peça pós usinagem



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Duodécimo Teste: Peça pós usinagem



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.