

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GILVANA PRESTES  
GUILHERME ALBACH DE SOUZA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA SUBSTITUIÇÃO DE DRESSADOR GALVÂNICO  
POR DRESSADOR CERÂMICO EM RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA INTERNA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2019

GILVANA PRESTES  
GUILHERME ALBACH DE SOUZA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA SUBSTITUIÇÃO DE DRESSADOR  
GALVÂNICO POR DRESSADOR CERÂMICO EM RETIFICAÇÃO  
CILÍNDRICA INTERNA**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio José Schuitek  
Co-orientador: Prof. Dr. Rodrigo Lupinacci Villanova.

CURITIBA

2019

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "Análise comparativa da substituição de dressador galvânico por dressador cerâmico em retificação cilíndrica interna ", realizado pelo aluno(s) Gilvana Prestes e Guilherme Albach de Souza, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Aloísio José Schuitek

DAMEC, UTFPR

Orientador

Prof. Dr. Rodrigo Lupinacci Villanova

DAMEC, UTFPR

Co-orientador

Prof. Maro Roger Guérios

DAMEC, UTFPR

Avaliador

Eng.º Me. Vitor Meira Bilha

Empresa Robert Bosch

Avaliador

Curitiba, 29 de novembro de 2019

Dedico este trabalho as minhas amadas  
filha Valentina e mãe Áurea.

Dedico este trabalho primeiramente a  
Deus, companheiro em todos os  
momentos, assim como minha família por  
todo apoio e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a orientação, paciência e compreensão dos professores orientadores Aloísio Schuitek e Rodrigo Villanova, que aceitaram o desafio e compreenderam a rotina agitada dos orientandos.

À empresa parceira deste trabalho, em especial pela contribuição técnica de Mateus Pinto, Julião Siqueira, Luciano Arantes, Vitor Bilha, Luciano Frose, Gustavo Mello; auxílio da liderança, operadores e ajustadores, especialmente Raphael Farias, Marcelo Simões, Robervan Neves e Diego Borba; e apoio das áreas suportes, essencialmente Marco Valente, Antonio Pereira e Kassia Menca.

À banca examinadora do Prof. Maro Guérios e do Engº. Me. Vitor Bilha, pelas orientações e comentários deste trabalho.

À minha filha Valentina, que apesar de muito nova, afinal tem 6 anos de idade, compreendia que em alguns momentos era preciso orientar minha atenção para a construção do trabalho. E à minha mãe Áurea, pelo suporte durante toda esta trajetória.

Agradeço meu companheiro de trabalho, Guilherme, pela compreensão e solidariedade durante o desenvolvimento do trabalho.

À Deus por me capacitar e dar saúde para executar esse trabalho de tão grande importância em minha vida.

Aos meus pais, Francisco e Keli, e minha irmã Lorena, pelo entendimento que tiveram perante tanto o tempo dedicado a este trabalho. Também à minha namorada, e futura esposa, Luara, pela total complacência em todos os momentos.

À minha parceira de trabalho, Gilvana, por todo empenho e dedicação desde o início até o fim desse trabalho.

## RESUMO

PRESTES, Gilvana. ALBACH DE SOUZA, Guilherme. Análise comparativa da substituição de dressador galvânico por dressador cerâmico em retificação cilíndrica interna. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Tcc2, Bacharelado em Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O crescimento da competitividade entre indústrias automobilísticas tem aumentado as buscas pela melhor utilização de seus recursos. Ser mais eficiente, produzindo mais com menos recursos, é o caminho ideal a ser trilhado. E uma das formas possíveis para tal, é investigar novos ferramentais, responsáveis por grande parte dos gastos industriais. Dessa forma, deu-se o caráter desse estudo: uma investigação avaliando a possibilidade de troca de anéis dressadores com especificação galvânica para cerâmica. O objetivo é avaliar a viabilidade da substituição, e os principais impactos gerados a partir dela. Os experimentos foram todos realizados dentro de uma empresa parceira, utilizando os métodos já usados por ela para esse tipo de validação. O processo envolvido foi a retificação cilíndrica interna do corpo do bico injetor. As ferramentas envolvidas no projeto foram os anéis dressadores, responsáveis pela reafiação dos microrebolos, os quais são necessários para retífica da guia, parte do bico que foi objeto de estudo. Os resultados desse trabalho abrangem a comparação dos dressadores, valendo-se de capacidade de máquina e processo, estudos qualitativos e caracterização dos rebolos, dressadores e peças retificadas, assim como estudo de vida útil, estudo sobre a otimização de parâmetros de dressagem e viabilidade econômica da substituição.

**Palavras-chave:** Dressador cerâmico. Dressador galvânico. Retífica interna.

## ABSTRACT

PRESTES, Gilvana. ALBACH DE SOUZA, Guilherme. Comparative analysis of the replacement of galvanic dresser by ceramic dresser in internal cylindrical grinding. 100 p. Undergraduate Thesis, Mechanical Engineering, Academic Department of Mechanical, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The growing competitiveness among automobile industries has increased the search for the best use of their resources. To be more efficient, producing more with fewer resources, is the ideal way to go. And one of the possible ways to do this is to investigate new tooling, responsible for a large part of industrial spending. Thus, the character of this study was given: an investigation evaluating the possibility of exchange of dressings rings with galvanic specification for ceramics. The objective is to evaluate the viability of the substitution, and the main impacts generated from it. The experiments were performed within a partner company, using the methods already used by it for this type of validation. The process involved was the internal cylindrical grinding of the nozzle body. The tools involved in the project were the dressing rings, responsible for the sharpening of the micro grinding wheels, which are necessary for grinding the guide, part of the nozzle that was the object of study. The results of this work include the comparison of dressers, using machine and process capability, qualitative studies and characterization of grinding wheels, dressers and grinded parts, as well as study of life time, study on the optimization of dressing parameters and economic viability of replacement.

**Keywords:** Ceramic dresser. Galvanic dresser. Internal grinding.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação dos elementos corpo e agulha que compõem o bico injetor, com destaque em A evidenciando a região de interesse deste trabalho onde ocorre o movimento relativo entre agulha e corpo bem como a direção deste movimento.....	20
Figura 2 - Representação esquemática dos mecanismos de remoção de material da superfície de trabalho.....	22
Figura 3 - Imagem do rebolo utilizado na retificação.....	23
Figura 4 - Gráfico com a comparação entre durezas dos materiais abrasivos.....	25
Figura 5 - Representação esquemática do contato entre o rebolo e um dressador de ponta única.....	28
Figura 6 - Representação dos efeitos de diferentes faixas de Ud na superfície do rebolo .....	28
Figura 7 - Dressador galvânico utilizado na dressagem do rebolo de guia .....	29
Figura 8 - Representação esquemática de seção de ferramenta galvânica evidenciando a única camada abrasiva .....	30
Figura 9 - Dressador cerâmico proposto para a dressagem do rebolo de guia.....	31
Figura 10 - Representação esquemática de seção de ferramenta cerâmica evidenciando as diversas camadas abrasivas e a existência de porosidade .....	31
Figura 11 - Micro rebolo utilizado para retificação da guia do corpo .....	33
Figura 12 - Dimensões mais relevantes do micro rebolo utilizado .....	34
Figura 13 - Dressadores galvânico (à esquerda) e cerâmico (à direita) responsáveis pela dressagem do rebolo de guia .....	35
Figura 14 - Dimensões do dressador cerâmico usado nos testes.....	37
Figura 15 - Representação esquemática do anel dressador galvânico utilizado contendo as principais dimensões .....	39
Figura 16 - Representação da sequência de retirada de dressadores para avaliação de dimensão da superfície .....	40
Figura 17 - Representação esquemática do método de avaliação do desgaste no diâmetro do dressador. Setas internas indicando os pontos de medição onde o parâmetro será medido .....	41
Figura 18 - Equipamento de medição dos diâmetros dos dressadores, " Hexagon Metrology – Optiv Scan 663" .....	41
Figura 19 - Tela do aparelho auxiliar do processo de dressagem do rebolo.....	43
Figura 20 - Máquina retificadora utilizada nos testes (detalhe para equipamentos auxiliares da dressagem) .....	45
Figura 21 - Máquina retificadora internamente, com detalhe para partes mais importantes.....	45
Figura 22 - Equipamento utilizado para montagem do anel dressador .....	47
Figura 23 - Método para medir o batimento do anel dressador em relação à máquina .....	48
Figura 24 - Equipamento de medição das características avaliadas para Capabilidade de máquina e de processo, "MarhForm MFU100".....	50



Figura 25 - Equipamento de medição óptica 3D usado para medir os diâmetros dos anéis dressadores, "Alicona InfiniteFocus" .....	51
Figura 26 – Ilustração de um corpo de bico injetor, mostrando os pontos onde são medidas as características de Circularidade 1 e 2 .....	55
Figura 27 – Dressador cerâmico e detalhamento das partículas abrasivas em estado novo .....	58
Figura 28 – Dressador cerâmico com detalhe do início de uma trinca no grão.....	59
Figura 29 – Dressador cerâmico com detalhe na quantidade de poros .....	60
Figura 30 - Dressador cerâmico e detalhamento da rugosidade após um turno de trabalho .....	60
Figura 31 - Dressador cerâmico e detalhe dos grãos após duas semanas de trabalho .....	61
Figura 32 - Dressador galvânico e detalhe dos grãos com a ferramenta em estado "novo" .....	62
Figura 33 – Dressador galvânico e detalhe dos grãos após um turno de trabalho....	63
Figura 34 – Dressador galvânico e detalhamento do espaço vazio possivelmente pelo fato do desprendimento de uma partícula abrasiva .....	63
Figura 35 – Dressador galvânico e detalhe de um possível achatamento da partícula abrasiva.....	64
Figura 36 – Fração do desenho de fabricação dos anéis dressadores, detalhando a quantidade de material abrasivo disponível para ser usado no dressamento em sua vida útil .....	65
Figura 37 - Planilha com dados dos diâmetros medidos ao longo do tempo de testes para o cálculo da Taxa de desgaste, e projeções dos diâmetros.....	67
Figura 38 - Evolução do aumento do diâmetro interno dos anéis dressadores com o passar do tempo de uso .....	68
Figura 39 - Detalhe do ponto onde as curvas de desgaste dos anéis dressadores atinge o limite do diâmetro máximo assumido.....	70
Figura 40 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente ao Diâmetro Mínimo.....	74
Figura 41 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente ao Diâmetro Máximo .....	75
Figura 42 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Cilindricidade .....	76
Figura 43 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Rugosidade Rz .....	77
Figura 44 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Circularidade 1 .....	78
Figura 45 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Circularidade 2 .....	79
Figura 46 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Retilidade 1 .....	81
Figura 47 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Retilidade 2 .....	82

Figura 48 – Conjunto de imagens obtidas pelo MEV do rebolo no estado de “imediatamente antes da próxima dressagem”, com as ampliações de 32x, 200x, 500x e 800x .....	83
Figura 49 - Conjunto de imagens obtidas pelo MEV do rebolo no estado de “imediatamente após a última dressagem”, com as ampliações de 32x, 200x, 500x e 800x .....	84
Figura 50 - Medição óptica 3D da rugosidade da guia planificada de uma peça antes da dressagem.....	85
Figura 51 - Medição óptica 3D da rugosidade da guia planificada de uma peça depois da dressagem .....	86
Figura 52 - Cronograma das etapas do TCC (parte 1).....	88
Figura 53 - Cronograma das etapas do TCC (parte 2).....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química percentual do aço 18CrNi8 conforme norma DIN 17210 de 1969 .....	19
Tabela 2 - Significado por partes da especificação do rebolo utilizado .....	34
Tabela 3 - Detalhamento da especificação do dressador cerâmico usado. ....	36
Tabela 4 - Parâmetros de dressagem utilizados .....	37
Tabela 5 - Descrição e tempos referentes à troca do dressador na máquina .....	46
Tabela 6 - Tempo total necessário para execução do teste assim como a quantidade de peças.....	48
Tabela 7 - Valores de média, Cm e CmK das características avaliadas referentes aos testes realizados dos anéis dressadores cerâmico e galvânico. ....	52
Tabela 8 - Valores de média, Cm e CmK das características Ø Mín e Ø Máx, usando os dressadores cerâmico e galvânico .....	53
Tabela 9 - Valores de média, Cm e CmK da característica Retilidade, usando os dressadores cerâmico e galvânico .....	54
Tabela 10 - Valores de média, Cm e CmK das características Circularidade 1 e 2, usando os dressadores cerâmico e galvânico.....	55
Tabela 11 - Valores de média, Cm e CmK da característica rugosidade Rz, usando os dressadores cerâmico e galvânico .....	56
Tabela 12 - Valores de média, Cm e CmK da característica Batimento, usando os dressadores cerâmico e galvânico .....	56
Tabela 13 – Valores e conversões monetárias dos anéis dressadores comercializados pela empresa parceira .....	71
Tabela 14 - Valores de média, Cp e CpK das características medidas, utilizando para isso peças antes e depois da dressagem. ....	73
Tabela 15 - Valores de média, Cp e CpK das características Ø Mín e Ø Máx, usando peças antes e depois da dressagem.....	73
Tabela 16 - Valores de média, Cp e CpK da característica Cilindricidade, usando peças antes e depois da dressagem.....	75
Tabela 17 - Valores de média, Cp e CpK da característica Rugosidade, usando peças antes e depois da dressagem.....	76
Tabela 18 - Valores de média, Cp e CpK das características Circularidade 1 e 2, usando peças antes e depois da dressagem .....	77
Tabela 19 - Valores de média, Cp e CpK das características Retilidade 1 e 2, usando peças antes e depois da dressagem .....	80
Tabela 20 - Parâmetros S de Rugosidade 3D obtidos através das medições realizadas no equipamento Alicona, entre peças antes e depois da dressagem do rebolo. ....	87
Tabela 21 – Custos do projeto .....	93

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
SI	Sistema Internacional de Unidades
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i> (Instituto Alemão de Normalização)
ASM	American Society for Metals (Sociedade Americana de Metais)
POT	<i>Planned Operation Time</i> (Tempo de Operação Planejado)
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
CBN	Nitreto de Boro Cúbico
FEPA	Federation Européenne des Fabricants de Produits Abrasifs (Federação Européia dos Fabricantes de Produtos Abrasivos)
Cm/CmK	Capacidade Potencial de Máquina
Cp/CpK	Capacidade Potencial de Processo
LIE	Limite Inferior de Engenharia
LSE	Limite Superior de Engenharia
EUR	Euros (moeda)
BRL	Real (moeda)

## V. LISTA DE SÍMBOLOS

Ø Diámetro [mm]

HV Dureza Vickers [HV]

HRC Dureza Rockwell [HRC]

.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA .....	16
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Objetivo Principal .....	17
1.2.2 Objetivos Secundários .....	17
1.3 APLICAÇÃO DO TEMA E JUSTIFICATIVA.....	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
2.1 ASPECTOS GERAIS DO BICO INJETOR.....	19
2.2 REVISÃO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS DE RETIFICAÇÃO.....	21
2.2.1 Retificação da guia do bico injetor .....	23
2.2.2 Dressagem.....	26
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
3.1 MATERIAIS.....	33
3.1.1 Peças utilizadas .....	33
3.1.2 Rebolos.....	33
3.1.2.1 Dressadores.....	35
3.2 MÉTODOS EMPREGADOS NO TESTE .....	38
3.2.1 Métodos com relação ao dressador.....	39
3.2.2 Métodos com relação ao rebolo.....	43
3.3 OPERAÇÃO DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO INTERNA .....	44
3.3.1 Dressador Cerâmico e Galvânico .....	46
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>52</b>
4.1 ANÁLISE DE MÉDIAS E CMK.....	52
4.1.1 Diâmetro Máximo e Diâmetro Mínimo.....	53
4.1.2 Retilidade .....	54
4.1.3 Circularidade 1 e Circularidade 2.....	55
4.1.4 Rugosidade (Rz) .....	56
4.1.5 Batimento.....	56
4.2 ASPECTOS QUALITATIVOS DA SUPERFÍCIE DOS DRESSADORES E DOS REBOLOS.....	57
4.2.1 Dressador cerâmico.....	57
4.2.2 Dressador galvânico .....	61
4.2.3 Comparação final entre dressador cerâmico e galvânico .....	64
4.3 TAXA DE DESGASTE .....	65
4.3.1 Evolução da taxa de desgaste dos anéis dressadores .....	68
4.3.2 Análise geral considerando a Taxa de desgaste e vida útil dos dressadores.....	70
4.4 CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS PARA VIABILIDADE DO PROJETO .....	71
4.4.1 Custos gerais do processo .....	71

4.5 ANÁLISE DA POSSIBILIDADE DE AUMENTO DO INTERVALO DE DRESSAGEM COM O USO DO DRESSADOR CERÂMICO .....	72
4.5.1 Análise das médias, Cp e CpK das características medidas .....	73
4.5.1.1 Diâmetro Mínimo e Diâmetro Máximo .....	73
4.5.1.2 Cilindricidade.....	75
4.5.1.3 Rugosidade Rz.....	76
4.5.1.4 Circularidade 1 e Circularidade 2 .....	77
4.5.1.5 Retilidade 1 e Retilidade 2.....	80
4.5.1.6 Conclusão das análises das médias, Cp e CpK .....	82
4.5.2 Medições Ópticas 3D da guia planificada .....	85
4.5.2.1 Relatório com parâmetros S de rugosidade 3D .....	87
<b>5 ASPECTOS OPERACIONAIS .....</b>	<b>88</b>
5.1 CRONOGRAMA DAS ETAPAS DO TCC .....	88
<b>6 RISCOS.....</b>	<b>90</b>
6.1 REFERENTE A CAPABILIDADE DE MÁQUINA E PROCESSO.....	90
6.2 DANIFICAÇÃO DOS FERRAMENTAIS.....	90
6.3 BAIXA DISPONIBILIDADE DE PEÇAS .....	91
6.4 MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS .....	91
6.5 INDISPONIBILIDADE DE MÃO DE OBRA .....	91
6.5.1 Operadores .....	91
6.5.2 Áreas suportes.....	92
<b>7 ORÇAMENTO .....</b>	<b>93</b>
<b>8 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>96</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização do tema

VANALLE e SALLES (2011) afirmam que as indústrias do setor automobilístico estão vivenciando um momento de transformação para que sejam capazes de sobreviver em um mercado muito mais acirrado na busca pela excelência produtiva com o melhor aproveitamento possível de recursos. Esta combinação, segundo HAGUENAUER (2012), determina o quão competitiva uma organização é dentro do seu nicho de mercado. A autora define, portanto, a competitividade como:

[...] a capacidade de uma indústria (ou empresa) produzir mercadorias com padrões de qualidade específicos, requeridos por mercados determinados, utilizando recursos em níveis iguais ou inferiores aos que prevalecem em indústrias semelhantes no resto do mundo, durante certo período de tempo.

Em consonância com HAGUENAUER (2012), VANALLE e SALLES (2011) pressupõem que se estaria contribuindo para o aumento da competitividade ao se implementar ações que impactam positivamente em indicadores de produtividade e qualidade, por exemplo, bem como com iniciativas voltadas à redução do custo do produto.

Sob estes pontos de vista, indústrias voltadas à produção de peças automotivas precisam se reinventar na busca por melhorias de processos, como na utilização de novas ferramentas de usinagem, porém, sem impactar no preço do produto, de modo que não afastem os clientes, tendo em mente, ainda, o desafio de manter alta qualidade na peça, pois será na qualidade do produto o diferencial para conquista da confiança do cliente (VANALLE e SALLES, 2011; MARIANO, 2006).

É neste contexto que a empresa parceira deste projeto, sendo uma empresa com foco em usinagem de peças automotivas, busca otimizar seu processo de retificação cilíndrica interna de corpo de bico injetor, uma vez que os processos de retificação estão, neste ponto, intimamente relacionados com as necessidades competitivas anteriormente citadas, já que são processos que oferecem grande produtividade, pois são processos em geral muito rápidos (STEMMER, 1992) garantindo, adicionalmente, peças de alta qualidade superficial e geométrica (ASM,



1994). Assim, desenvolveu-se uma problemática que seja capaz de conciliar as vantagens já conhecidas do processo de retificação com a busca por otimizações pontuais que sejam capazes de impactar positivamente a empresa, atentando, neste ponto, para as possibilidades de exploração de ferramentas de composição cerâmica que estão alinhadas neste contexto em que se requer redução de custo, aumento de produtividade e manutenção e/ou melhora da qualidade dos produtos fabricados (BRINKSMEIER *et al*, 1993).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal é realizar uma análise comparativa da eficiência do dressador cerâmico *versus* o dressador galvânico atualmente utilizado na empresa parceira, avaliando os efeitos dessa substituição no rebolo e no produto sob o aspecto de produtividade e da qualidade do produto. Deste modo, se a nova especificação da ferramenta apresentar resultados satisfatórios, equacionar a sua viabilidade econômica para a empresa.

### 1.2.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários abaixo são pré-requisitos para que o objetivo principal seja alcançado. Eles serão abordados sob três pontos de vista selecionados:

- a)** Do dressador: avaliar as características e o desempenho do dressador cerâmico em comparação ao galvânico, com relação à vida útil da ferramenta.
- b)** Rebolo: investigar o impacto que a diferença da composição dos ligantes dos dressadores causa na superfície dos rebolos após ciclos de dressagem. Dessa forma, entender se a utilização do dressador cerâmico permite que haja um aumento do intervalo de dressagem, sem que a qualidade da superfície analisada do produto seja comprometida.

- c) Produto: avaliar se a superfície analisada é impactada negativamente, com relação aos aspectos dimensionais, de acabamento e de forma, bem como, se sofre alterações metalúrgicas.

### 1.3 Aplicação do tema e justificativa

Os objetivos traçados no início desse trabalho, sejam eles primordiais ou por consequência de outros fatores, possuem justificativas para serem alvo deste trabalho acadêmico. O motivo mais claro e simples remete-se ao fato de que todo e qualquer esforço será recompensado com o melhor aprendizado possível. Estar envolvido num projeto consistente, aplicando conceitos aprendidos no decorrer da vida acadêmica e vivenciando diariamente problemas e acertos da engenharia mecânica, são as melhores justificativas para esse projeto, tanto para os autores, quanto para a Universidade que os apoia.

Dessa forma, unindo a necessidade de um estudo aprofundado em determinado tema estudado na graduação, nesse caso, fabricação e materiais, e ao mesmo tempo aliando uma atividade essencial dentro de uma fábrica, resolveu-se por estudar o tema dos dressadores. Estes são de extrema importância na empresa parceira deste projeto, fundamental para um processo capaz, robusto e rentável. Esse último fator, também aliado a qualidade do produto, torna o projeto viável para a empresa.

A utilização dos dressadores cerâmicos no processo de retificação da guia do bico injetor já ocorre em outras plantas internacionais da empresa parceira, o que aumenta a garantia de que esse estudo pode atingir os resultados esperados.

As expectativas são de que, a qualidade transmitida ao produto seja relativamente maior do que com o dressador galvânico (atual). Além disso, esperam-se também ganhos no que diz respeito a produtividade, uma vez que é esperado obter uma frequência menor de dressagem do rebolo. Outro ganho potencial está relacionado ao aumento da vida útil da ferramenta e conseqüentemente, a redução de custos, além da padronização do processo com outras plantas da empresa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DO BICO INJETOR

A eficiência dos motores a diesel está intimamente ligada a performance do sistema de injeção utilizado uma vez que este é responsável por atomizar o combustível no interior da câmara de compressão, sendo o bico injetor o componente que é executada esta função. Em condições precárias ou com bicos de baixa qualidade, o sistema fica sujeito a injetar quantidades inadequadas do combustível o que resulta em um maior consumo global durante a operação, impactando financeiramente o consumidor além de promover um aumento de emissões para a atmosfera durante a combustão (GARCIA e MARTINS, 2010). Os bicos injetores são componentes de elevada complexidade pois além de fornecer ao sistema a quantidade adequada de combustível para o correto funcionamento ele deve operar sob elevadas pressões durante a pulverização do combustível injetado e suportar o escoamento do combustível em seu interior (LAGO, 2018).

Na empresa parceira são produzidos diariamente em média de 30 mil bicos injetores em um processo que leva em torno de 13 dias para se concluir. O material utilizado para fabricação destes bicos é o aço DIN 18CrNi8, com composição detalhada na Tabela 1, que durante o processo de produção é cementado a uma profundidade de 0,8 mm, temperado e revenido atingindo valores de dureza de 746 HV, ou 62 HRC.

**Tabela 1 - Composição química percentual do aço 18CrNi8 conforme norma DIN 17210 de 1969**

Elemento	% Mín	% Máx
<b>C</b>	0,15	0,2
<b>Mn</b>	0,4	0,6
<b>P</b>	-	0,0350
<b>S</b>	-	0,0350
<b>Si</b>	0,15	0,4
<b>Ni</b>	1,8	2,1
<b>Cr</b>	1,8	2,1

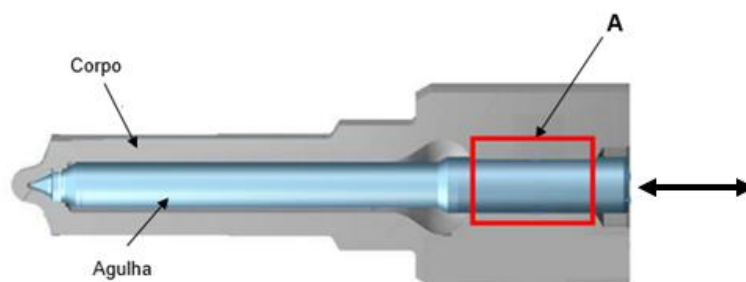
Fonte: DIN 10084 (1969)

O Aço 18CrNi8, conforme norma DIN EN 10084:2008-06, é categorizado como um aço estrutural de cementação. Esta categoria possui vasta aplicação incluindo a produção de componentes automotivos (ASM, 1995) como a aplicação objeto deste estudo.

Os elementos presentes nesse aço baixa liga (CALLISTER, 2008) conferem ao material aumento da dureza, maior resistência ao desgaste e melhora da “usinabilidade”. Ao associar os tratamentos térmicos de cementação e têmpera tem-se um produto com elevada dureza e resistência ao desgaste, conforme mencionado, porém com o núcleo tenaz propiciando ao produto alta resistência mecânica, capaz de resistir às altas pressões a que o bico injetor é submetido e o trabalho a elevadas temperaturas.

Além de um material com a composição e tratamentos adequados é preciso que o bico injetor seja manufaturado através de processos de usinagem capazes de garantir a funcionalidade e a qualidade do produto. Conforme dito anteriormente, um bico é componente essencial para a performance do sistema de injeção sendo que o produto possui seções críticas que tem elevado impacto na eficiência da injeção sendo uma destas regiões a guia, indicada na Figura 1 pela letra A.

**Figura 1 - Representação dos elementos corpo e agulha que compõem o bico injetor, com destaque em A evidenciando a região de interesse deste trabalho onde ocorre o movimento relativo entre agulha e corpo bem como a direção deste movimento**



**Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)**

A guia do bico injetor possui as seguintes funções: garantir o correto alinhamento da ponta da agulha com o assento do corpo e guiar o movimento relativo da agulha durante o funcionamento do sistema e permitir o retorno controlado do combustível para a superfície do bico. Para que todas estas funções sejam cumpridas de maneira eficiente é preciso garantir que a superfície da guia esteja dentro das especificações de projeto do produto com relação a forma, tolerâncias dimensionais e

aspecto superficial. Na empresa parceira, o processo de fabricação utilizado para conferir tais características à peça é a retificação cilíndrica interna.

## 2.2 REVISÃO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS DE RETIFICAÇÃO

A retificação é um processo de usinagem onde a remoção de material da peça ocorre devido a ação mecânica simultânea de inúmeras partículas abrasivas de geometria indefinida que são unidas por um material ligante e compõem a ferramenta da retificação, o rebolo (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1995).

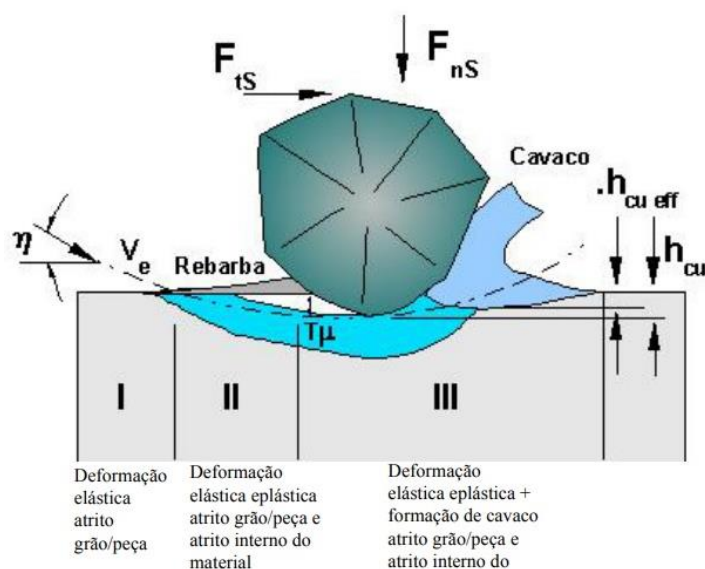
Diferentemente dos processos de usinagem com ferramenta de geometria definida, como o torneamento, os parâmetros de velocidade na retificação são consideravelmente maiores, uma vez que são empregadas velocidades entre 20m/s a 45m/s (MARINESCU *et al*, 2004) contra aproximadamente 5m/s para um material com dureza similar (BOING e NOLL, 2015) no torneamento. Essa comparação evidencia uma das vantagens do processo de retificação, destacando-o como um processo de alta produtividade.

Além disso, a retificação é realizada como processo final para acabamento de superfícies. Isso é possível devido a combinação da ação das muitas partículas abrasivas operando a altas velocidades e com baixa penetração da ferramenta na peça (ROWE, 2009). Com isso, tem-se superfícies com baixas rugosidades e boas tolerâncias (STEMMER, 1992). Outro ponto relevante é o fato de a retificação ser um processo altamente recomendado após tratamentos térmicos pois é capaz de conferir as características de projeto ao produto e corrigir as distorções de forma causadas durante o processamento térmico.

Diversos autores são unânimes em afirmar que ocorrem três mecanismos distintos e característicos de remoção de material (e conseqüentemente de formação de cavaco) durante a retificação. Estas fases ocorrem à medida que uma partícula abrasiva avança contra a peça, promovendo gradativo aumento da espessura da usinagem. König (1980) define estes três momentos da seguinte maneira (Figura 2):

- a) Fricção;
- b) Sulcamento;
- c) Microcorte.

Figura 2 - Representação esquemática dos mecanismos de remoção de material da superfície de trabalho.



Fonte: König (1980)

Malkin (1989) também defende a existência destes três regimes e destaca que a intensidade com que cada um ocorre está sujeita às variáveis de processo como velocidade de corte e avanço de profundidade, das condições de operação da ferramenta e das propriedades mecânicas da peça.

Estas três etapas de remoção de material durante a retificação representam o mecanismo de desgaste por abrasão entre dois corpos (MARINESCU *et al*, 2004) dessa forma esta análise é feita à luz dos conceitos tribológicos de desgaste.

Sob este aspecto, ao se retificar peças duras como o aço DIN 18CrNi8 tratado termicamente utilizado no bico injetor, as etapas apresentadas na Figura 2 tendem a ser mais breves do que na retificação de um material mole, por exemplo. Apesar do núcleo tenaz, o material do bico injetor possui superfície endurecida e com base nisso a deformação elástica prevista na etapa I do processo de remoção de material na retificação pode não ocorrer, uma vez que para materiais duros o limite de resistência ao escoamento é menor que de materiais moles (CALLISTER, 2008).

Na etapa dois, segundo Shuitek (2007), o material escoava e há o sulcamento do material da peça, porém sem corte efetivo, apenas deformação plástica com deslocamento lateral e frontal do material. Hegeman (2000) afirma que a taxa de remoção de material no sulcamento é ínfima pois a energia é despendida basicamente para favorecer a deformação plástica.

Com a continuidade da trajetória da partícula abrasiva na peça, König (1980) afirma que há maior penetração do grão na superfície da peça ocasionando o cisalhamento do material escoado e há, portanto, a formação de cavaco.

Cada uma das etapas descritas anteriormente ocorre para todas as partículas abrasivas presentes na ferramenta, este fator combinado com o movimento do rebolo e da peça geram uma trajetória de sulcos paralelos na superfície após a retificação (MALKIN, 1989).

### 2.2.1 Retificação da guia do bico injetor

São muitos os tipos de retificação existentes para atender as mais diversas aplicações da indústria. Para a retificação da guia do corpo do bico injetor na empresa parceira utiliza-se o processo de retificação cilíndrica interna.

DANESHI et al (2014) afirma que na retificação cilíndrica interna a área de contato entre a peça e o rebolo é maior do que na retificação cilíndrica externa e plana. Isso acontece devido ao fato de que na retificação interna tem-se a ocorrência de uma superfície de contato gerada a partir de um arco de contato, quando que nos outros processos tem-se uma linha de contato que ocorre em virtude do tangenciamento entre rebolo e peça.

Para a execução desta operação é utilizado rebolo do tipo ponta montada cilíndrica. Este tipo de ferramenta geralmente possui diâmetros pequenos (micro rebolos), e é fixado em uma haste (ASM, 1995), conforme Figura 3.

**Figura 3 - Imagem do rebolo utilizado na retificação**



**Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)**

Em contrapartida, o emprego do rebolo de ponta montada traz uma desvantagem com relação aos esforços de usinagem a que a ferramenta é submetida. O comprimento da haste em que o rebolo é fixado deve ser cautelosamente projetado para que a ferramenta suporte os esforços de flexão resultantes durante o processo, uma vez que eles são aplicados especialmente na extremidade em contato com a peça. Se porventura o comprimento da haste for inadequado para suportar as forças e estas superarem o limite de resistência do material o componente pode colapsar e fraturar em processo, certamente na extremidade engastada na máquina, já que é nesta região em que se tem maior momento fletor (HIBBELER, 2010).

Do mesmo modo, os parâmetros de usinagem devem ser prudentemente definidos para se minimizar os efeitos da vibração no sistema. Por se tratar de rebolos comumente muito pequenos, a rotação empregada no sistema será maior, o que pode gerar, aliado ao comprimento inadequado do eixo, movimento alternado da extremidade em que está o rebolo, contribuindo, segundo Norton, 2013, para a geração de esforços internos na haste que podem culminar no surgimento, a longo prazo, de trincas levando à falha por fadiga depois de determinados ciclos.

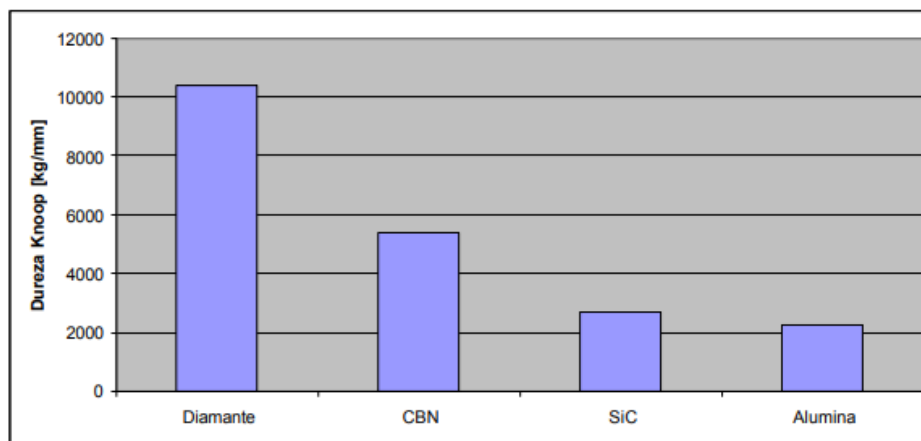
Na retificação cilíndrica interna do corpo do bico injetor na empresa parceira é utilizado microrebolo com partículas abrasivas de Nitreto de Boro Cúbico, CBN, com ligante vitrificado.

As partículas abrasivas de um rebolo têm a função de penetrar na superfície de trabalho e promover o corte do material (ASM, 1989), quando estas são de CBN o rebolo é classificado como uma ferramenta superabrasiva. Nussbaum (1988) afirma que este material abrasivo é produzido sinteticamente e em termos de dureza é menos duro apenas que o diamante, com dureza Knoop próximos a 4700, apresentando uma vantagem sobre os abrasivos convencionais. Nesse contexto, o CBN é indicado principalmente para retificação de aços endurecidos, com dureza maior que 45 HRC, como é caso dos corpos de bicos.

Além disso, o autor traz ainda que o CBN é altamente indicado para a retificação de aços endurecidos a altas velocidades pois é estável a altas temperaturas e pressões, que são geradas durante a retificação. Neste ponto, sua aplicação é mais vantajosa que as partículas de diamante já que este perde estabilidade a altas temperaturas devido a afinidade química entre o mesmo e o aço (KÖNIG, 1980). A Figura 4 apresenta uma breve comparação de durezas entre o CBN, abrasivos convencionais e diamante.



**Figura 4 - Gráfico com a comparação entre durezas dos materiais abrasivos**



**Fonte: Dissertação de mestrado de Eraldo Jannone Da Silva, São Carlos (2004)**

Um ponto de atenção para a utilização do rebolo com CBN é com relação ao líquido refrigerante utilizado durante a retificação que deve possuir a quantidade de água reduzida pois o CBN a 800°C reage com a água e perde propriedades mecânicas, segundo Nussbaum (1988).

Outro elemento que compõem o rebolo é o ligante, ou aglutinante, que tem como funções básicas promover a união das partículas abrasivas e absorver parte da energia gerada durante a usinagem (STEMMER, 1992). Desta forma, é relevante que o ligante possua boa capacidade de sustentar a partícula abrasiva, seja rígido ou flexível de acordo com a solicitação e seja capaz de se desgastar durante a operação para facilitar o despontamento de gumes das partículas abrasivas (ASM, 1989).

Existem diversas composições de aglutinantes para atender aos requisitos de operação, porém, eles são classificados em três grandes classes: ligantes orgânicos, ligantes vitrificados e ligantes metálicos (ROWE, 2009). No micro rebolo utilizado na usinagem da guia do bico injetor o ligante é vitrificado. Este tipo de material, conforme Machado *et. al*, 2009, é constituído de argila ou feldspato com adição de paradiclorobenzeno que favorece a formação dos poros no ligante durante o processo de fabricação do rebolo. O ligante vitrificado possui alta dureza, estável a altas temperaturas e na presença de líquidos (STEMMER, 1992) e, ao ser utilizado com grãos de CBN favorece, segundo Silva (2004) a renovação contínua das partículas abrasivas pois estas não estão ligadas à estrutura do ligante, apenas compactadas

juntas, e, durante a retificação as partículas, em dado momento, se desprendem da estrutura do ligante e há a exposição de novas partículas com poder de corte (ROWE,2009).

### 2.2.2 Dressagem

A retificação é um processo cíclico onde os rebolos operam na remoção de material das peças. STEMMER (1992) afirma que a consequência disso é que, gradativamente, a ferramenta tem sua integridade física comprometida através do preenchimento dos espaços entre as partículas abrasivas com gotículas de líquido refrigerante e cavaco, o desgaste da partícula abrasiva com perda do poder de corte e a perda de perfil do rebolo. Na publicação *Metals Handbook* (1995), os autores inferem que para recuperar as propriedades de corte perdidas através da operação de dressagem.

A dressagem constitui etapa essencial para a manutenção das condições de corte adequadas do rebolo, impactando, conseqüentemente, no acabamento superficial da peça usinada, eficiência de corte, aspectos de forma e tolerâncias (HEGEMAN, 2000). A mencionada perda de poder de corte das partículas abrasivas ocorre ao longo do período de utilização do rebolo, uma vez que elas se desgastam, perdendo, desta maneira, o aspecto angular que propicia o corte, adquirindo formas arredondadas ou achatadas, causando o fenômeno de espelhamento do rebolo (STEMMER, 1992). A principal consequência deste evento é a malsucedida remoção de material da peça.

A falta de dressagem também acarreta o aumento da temperatura na interface rebolo/peça (causado pelo atrito) que tem como resultado o desgaste prematuro e acentuado do rebolo. Outro ponto de destaque é que em condições inadequadas de operação o rebolo fica susceptível a outros problemas como desbalanceamento, surgimento de trincas e fratura (STEMMER, 1992).

Do mesmo modo, a peça também sofre com a ausência de dressagem. O próprio aumento da temperatura, já citado, pode ocasionar mudanças micro estruturais na superfície usinada além de oportunizar a ocorrência do fenômeno de queima e trincas na peça. Ainda, com a superfície do rebolo inadequada para

operação, a peça fica propensa a apresentar distorções de forma e problemas com tolerâncias dimensionais, além de ter a rugosidade afetada (MALKIN, 1989).

MALKIN (1989) informa que o restabelecimento do poder de corte das partículas abrasivas está relacionado ao número de passes de dressagem e a profundidade de penetração do dressador estabelecida, conseqüentemente, a superfície do rebolo segue as mesmas premissas. O autor ainda afirma que basicamente ocorrem dois mecanismos de reativação do poder de corte das partículas abrasivas. O primeiro deles, em consonância com ROWE (2009), está relacionado com uma dressagem grosseira onde se emprega grande profundidade de corte, ou seja, a profundidade com que o dressador penetra no rebolo, e promove-se remoção de partículas abrasivas da estrutura. O resultado disso é o surgimento de grandes picos de rugosidade na superfície do rebolo, porém com redução da densidade de arestas cortantes. Por outro lado, o segundo mecanismo refere-se a uma dressagem fina, a profundidade de corte conferida é menor desta forma não há a formação de grandes vales na superfície do rebolo, o que resulta em uma estrutura mais fechada e maior densidade de arestas cortantes nas partículas abrasivas.

ROWE (2009) apresenta uma relação entre os mecanismos de dressagem e a superfície da peça usinada, uma vez que a dressagem determina a característica superficial do rebolo, conseqüentemente, a peça usinada também será afetada. O autor discorre que, para os mesmos parâmetros de usinagem, a dressagem grosseira resulta em uma rugosidade maior na peça usinada, visto que os gumes estão mais proeminentes que os resultantes da dressagem fina.

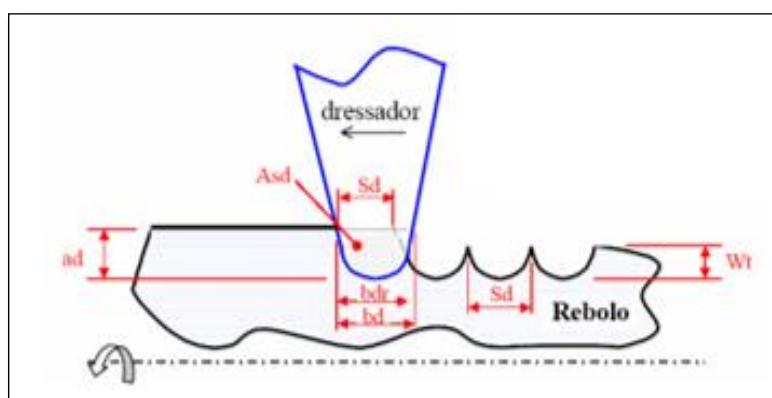
Além da avaliação da profundidade de corte empregada durante a dressagem o grau de recobrimento é outro parâmetro relevante que pode ser analisado em associação com o anterior. Em linhas gerais, ele representa a relação entre a largura de dressagem ( $b_d$ ) – largura do dressador para um dressador de anel – e o passo de dressagem ( $S_d$ ) – avanço longitudinal do dressador - (SOUZA, 2012) e seu resultado é uma medida do grau de transferência da forma do dressador para o rebolo (WANG, 2008).

Souza (2012) apresenta a seguinte relação, conforme Equação (1) para o grau de recobrimento  $U_d$ , com valores em mm/mm:

$$U_d = \frac{b_d}{S_d} \quad (1)$$

A Figura 5 traz uma representação esquemática das variáveis envolvidas no grau de recobrimento para um dressador de ponta única para fins de exemplificação, a análise para outras formas construtivas de dressador pode ser feita de maneira análoga.

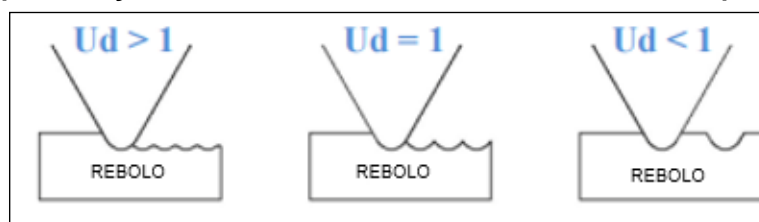
**Figura 5 - Representação esquemática do contato entre o rebolo e um dressador de ponta única.**



Fonte: Adaptado de Wang, 2008.

Os valores obtidos para o grau de recobrimento podem ser menores, iguais ou maiores que um (FIOCCHI, 2009). A Figura 6 ilustra estas condições e seus reflexos na superfície do rebolo:

**Figura 6 - Representação dos efeitos de diferentes faixas de  $U_d$  na superfície do rebolo**



Fonte: Adaptado de Fiocchi, 2009

Na prática, segundo Wang (2008) com base na formulação teórica e representações gráficas, fixando-se uma profundidade de corte, valores de  $U_d$  superiores a um conferem ao rebolo uma menor rugosidade com uma menor taxa de remoção de material, uma vez que o passo de dressagem é pequeno e uma parcela menor de material é dressada. Valores de grau de recobrimento próximos ou iguais a

um apresentam boa taxa de remoção em detrimento da rugosidade superficial do rebolo e, finalmente, valores de  $U_d$  menores que um indicam uma dressagem altamente grosseira podendo eventualmente ocorrer regiões sem dressagem.

Assim como acontece para os rebolos, existem diversos formatos e composições de dressadores. No processo de retificação da guia é utilizado um anel dressador para dressar o microrebolo de guia. Atualmente, utiliza-se o anel de composição galvânica, porém, conforme este trabalho, estuda-se sua substituição pelo anel de composição cerâmica. A Figura 7 apresenta o anel dressador com ligante galvânico e grãos abrasivos de diamante utilizado na dressagem do microrebolo de guia.

**Figura 7 - Dressador galvânico utilizado na dressagem do rebolo de guia**



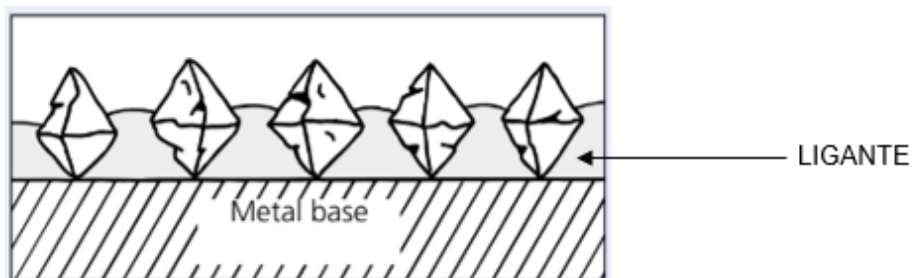
**Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019).**

Considerando-se a função a que um dressador é proposto, ele precisa ter partículas duras o suficiente para remover material do rebolo (STEMMER, 1992) que por sua vez, já possui elevada dureza. Dessa forma, considerando-se a aplicação na empresa parceira, o diamante sendo o material mais duro, com durezas Knoop que podem ultrapassar o valor de 10000 é o único material capaz de dressar os grãos de CBN do rebolo (NUSSBAUM, 1988). Diferentemente do cuidado que se deve ter na retificação, durante a dressagem com diamante em rebolo CBN com ligante vitrificado não há riscos de interação entre as partes pois não há afinidade química.

Além das partículas abrasivas de diamante o dressador é constituído, assim como o rebolo, por um ligante que tem a função de sustentar os grãos abrasivos (STEMMER, 1992). O ligante galvânico deste dressador é uma camada única de níquel depositada “eletroliticamente” sobre o substrato metálico do dressador através

de deposição negativa. Os grãos abrasivos são depositados mecanicamente nesta camada e permanecem com acerca de 50% do tamanho de sua partícula exposto (LEME, 1999), conforme Figura 8.

**Figura 8 - Representação esquemática de seção de ferramenta galvânica evidenciando a única camada abrasiva**



Fonte: Adaptado de Ferramentas diamantadas e CBN – PFERD (2019).

O fato de o dressador galvânico, o mesmo se aplica para rebolos, possuir apenas uma camada abrasiva torna-o uma opção financeiramente interessante pois possui custos mais baixos que outras ferramentas com outras composições de ligante (Ferramentas diamantadas e CBN – PFERD).

Como uma característica comum a ligantes metálicos, sejam eles aplicados em rebolos ou em dressadores, o ligante galvânico (por sua constituição metálica) mantém as partículas de diamante firmemente ancoradas na matriz (LEME, 1999), conferindo ao dressador um aspecto indicado para o desbaste de ferramentas (ou material em caso de rebolos) a elevada taxa de remoção.

Nos dressadores com liga galvânica a perda da vida útil da ferramenta se dá, principalmente, por desgaste da partícula abrasiva e diminuição da camada de níquel, sendo que com esta diminuição da espessura da camada a partícula perde sustentação e pode se desprender da matriz (WANG, 2008).

Considerando-se o objetivo macro deste estudo, as características do dressador cerâmico também são apresentadas. Para esta ferramenta, o material do abrasivo também é o diamante, uma vez que a sua função será dressar os rebolos de CBN. A diferença, consiste, portanto, na composição do ligante utilizado. Enquanto o caso anterior apresentava um dressador com ligante metálico, este possui ligante cerâmico, com propriedades comuns a ligantes vitrificados do rebolo (conforme apresentado anteriormente nesta seção). A Figura 9 traz o dressador cerâmico proposto neste estudo.

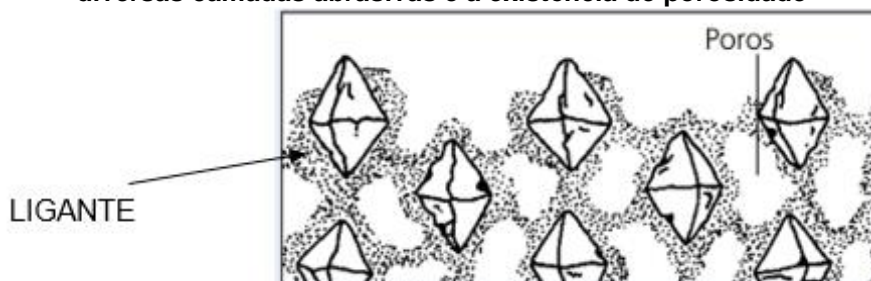
**Figura 9 - Dressador cerâmico proposto para a dressagem do rebolo de guia**



Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019).

Diferentemente do dressador da Figura 7, este possui ligante que é depositado através de compactação e possui múltiplas camadas de abrasivo ao longo da espessura abrasiva, conforme Figura 10.

**Figura 10 - Representação esquemática de seção de ferramenta cerâmica evidenciando as diversas camadas abrasivas e a existência de porosidade**



Fonte: Adaptado de Ferramentas diamantadas e CBN – PFERD (2019).

Conforme característica do material, o ligante cerâmico vitrificado possui elevada dureza, porém fragilidade (NUSSBAUM, 1988). Um ponto contrastante com o dressador galvânico já apresentado é o poder auto afiante da ferramenta. Isso ocorre, pois, as partículas abrasivas não estão fortemente aderidas à matriz cerâmica devido a constituição do ligante e a porosidade, dessa forma, durante o processo de dressagem (analogamente ao processo de retificação) ocorre o desgaste da partícula abrasiva, do ligante, e o desprendimento destas partículas da matriz. Entretanto, uma nova camada abrasiva é exposta para utilização (Ferramentas diamantadas e CBN – PFERD).

Devido à fragilidade do ligante este dressador não é indicado para operações de desbaste a altas profundidades de corte pois, eventualmente, ocorreria o desprendimento acentua de partículas abrasivas antes da perda do seu poder de corte. Como consequência, a dressagem se torna mais fina para estas condições (ROWE, 2009), adicionalmente, o grau de recobrimento deve ser o suficiente para se promover a dressagem, porém sem colocar em risco a integridade do dressador.

Por outro lado, Nussbaum (1988) afirma que as ferramentas com ligantes cerâmicos são interessantes para aplicações em que são exigidas ou desejadas elevadas velocidades de corte uma vez que o ligante resiste a estas condições sem causar prejuízos ao rebolo dressado. Esta condição é possível devido a própria composição do aglutinante que, por ser cerâmico, possui baixíssima condutividade térmica (CALLISTER, 2008) e desta forma, o calor gerado durante a dressagem não é transmitido para o metal do substrato e demais partes do sistema.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão nomeados e descritos todos os equipamentos, recursos, ferramentas, assim como os procedimentos utilizados mais relevantes para realização das experimentações e avaliações que este trabalho propõe.

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 Peças utilizadas

Para realização dos testes e posteriormente análises dos experimentos, foram utilizados corpos de bicos injetores. As peças foram escolhidas com base no volume de produção do dia sem que sua retirada ocasionasse grandes perdas à produção.

Além das peças, para que o processo de retificação ensaiado fosse possível, foi necessário o emprego de várias ferramentas no decorrer dos processos, responsáveis pelo apoio, fixação, adequação de distâncias e parâmetros, entre outros. Os mais importantes para a análise serão detalhados nas próximas seções.

##### 3.1.2 Rebolos

O rebolo utilizado para retificação do corpo do bico injetor é denominado costumeiramente de “micro rebolo”. Ele é constituído por um corpo cilíndrico abrasivo de um lado, e do outro por uma rosca de fixação, conforme a Figura 11.

**Figura 11 - Micro rebolo utilizado para retificação da guia do corpo**



Fonte: Empresa parceira deste projeto (2019)

O rebolo utilizado nos testes é constituído por grãos abrasivos formados por partículas de CBN (Nitreto de Boro Cúbico) com ligante vitrificado com especificação CB5 – 40 – 200 – V – 68185 e pode ser melhor compreendida na Tabela 2. Essa nomenclatura está fundamentada e segue padrão estabelecido pela FEPA (tradução para Fundação Europeia de Fabricantes de Produtos Abrasivos).

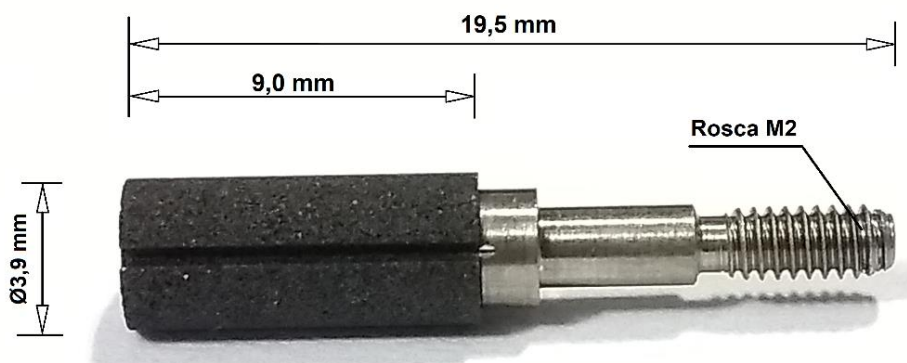
**Tabela 2 - Significado por partes da especificação do rebolo utilizado**

CB5	40	200	V	68185
Nitreto de Boro Cúbico tipo 5, é o tipo do material dos grãos que compõe o rebolo.	Tamanho dos grãos, medido em $\mu\text{m}$ .	Referente à estrutura, apresentando a quantidade de grãos em determinada porção de volume.	Ligante do rebolo é vitrificado.	Número de identificação do fornecedor.

Fonte: Autores deste trabalho (2019).

Outra característica que o rebolo para retificação interna utilizado tem, é a propriedade em relação à refrigeração. Essa competência particular para alguns tipos de rebolo, está relacionada a dois fatores: os pequenos vincos que atravessam toda a sua extensão, conforme pode ser visualizado na Figura 12, e à porosidade (espaços vazios no corpo abrasivo do rebolo). Esse vinco ao longo do corpo, possui largura de 0,5 mm, com tolerância de +0,1 e -0,05.

**Figura 12 - Dimensões mais relevantes do micro rebolo utilizado**



Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)

Ambas as características têm a incumbência de conduzir o líquido refrigerante até a região retificada (o líquido refrigerante é padrão da planta e não é um parâmetro que exista a possibilidade de alteração). Sem isso, a retirada de material pela retificação estaria comprometida, pois o aumento de temperatura seria tão grande em função do atrito e abrasão, que possivelmente impossibilitaria o processo de acontecer da forma como é. Entre as possíveis dificuldades encontradas seriam o desgaste muito maior das ferramentas, qualidade inferior das peças retificadas, entre outras.

A outra extremidade do micro rebolos possui uma rosca M2, responsável por fixar o micro rebolo num eixo com rotação, nesse caso, em um pino prolongador, responsável pelo ajuste correto da posição do rebolo. Esse pino prolongador também não é uma variável do sistema, afinal, o rebolo usado será sempre o mesmo, ou seja, possuirá sempre o mesmo comprimento.

### 3.1.2.1 Dressadores

O foco deste trabalho trata-se da avaliação em condições pré-determinadas, de qual seria o ganho em se usar dressadores cerâmicos ao invés de galvânicos no processo atual de retificação interna da empresa parceira. As duas especificações podem ser vistas na Figura 13.

**Figura 13 - Dressadores galvânico (à esquerda) e cerâmico (à direita) responsáveis pela dressagem do rebolo de guia**



**Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)**

Percebe-se que as camadas abrasivas dos dressadores possuem cores diferentes, estas características são referentes ao tipo de material do ligante. O primeiro, lado esquerdo na Figura 13, de material galvânico, é constituído por grãos de diamante e ligante galvanizado. Já o dressador cerâmico, lado direito, possui grãos de diamante com ligante cerâmico. A dressagem nesse tipo de ferramenta possui boa capacidade de auto afiação e melhor transporte de líquido refrigerante ao ponto de contato.

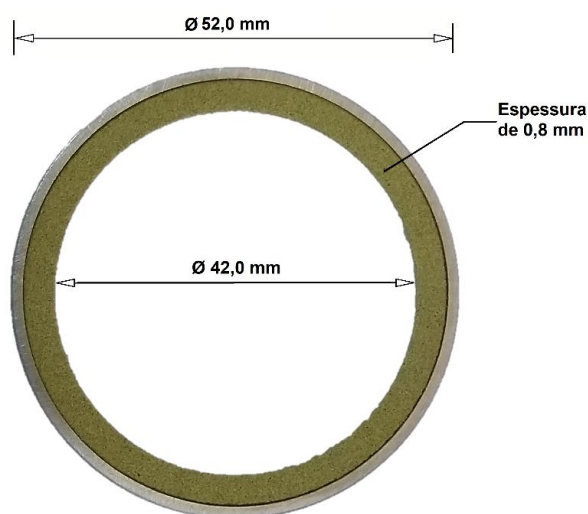
A especificação do dressador galvânico é D 151, a qual significa que é fabricado utilizando grãos de diamante em sua composição, e esses, possuem tamanho unitário de 151  $\mu\text{m}$ . Já a especificação do dressador cerâmico é apresentada detalhadamente na Tabela 3.

**Tabela 3 - Detalhamento da especificação do dressador cerâmico usado.**

<b>D11</b>	<b>91</b>	<b>150</b>	<b>V</b>	<b>95063</b>
Tipo do Material abrasivo, nesse caso Diamantado.	Tamanho dos grãos, medido em $\mu\text{m}$ .	Referente à estrutura, apresentando a quantidade de grãos em determinada porção de volume.	Ligante do dressador é vitrificado.	Número de identificação do fornecedor.

**Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019).**

As dimensões iniciais de ambos são idênticas, fator bastante importante, pois o aumento do diâmetro interno, ou seja, o desgaste dessas ferramentas ao longo das dressagens será um fator estudado no decorrer dos testes, a fim de avaliar a “taxa de desgaste” da ferramenta, e assim, estimar sua vida útil. Na Figura 14 é possível visualizar o anel dressador cerâmico em condição de novo.

**Figura 14 - Dimensões do dressador cerâmico usado nos testes**

Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)

Para todos os testes realizados nesse estudo, e para ambos os ferramentais avaliados, os parâmetros aplicados ao processo foram mantidos idênticos, como rotação, número de passes, profundidade de corte da dressagem, velocidade, intervalo de dressagem, conforme pode-se constatar na Tabela 4.

**Tabela 4 - Parâmetros de dressagem utilizados**

<b>PARÂMETRO</b>	<b>GUIA</b>	<b>UNIDADE</b>
Intervalo de Dressagem	16	peças
Número de passes	1	passe
Profundidade na dressagem	0,001	mm
Rotação do dressador	1.600 ± 200	rpm
Sentido de rotação do dressador	Anti-horário	-
Velocidade de dressagem	450 ± 50	mm/min
Diâmetro do rebolo fornecido	3,90	mm
Diâmetro máximo do rebolo	3,75	mm
Diâmetro mínimo do rebolo	3,20	mm

Fonte: Empresa parceira desse trabalho (2019)

O “intervalo de dressagem” refere-se à quantidade de peças que o rebolo retifica após ser dressado, até que aconteça nova dressagem. O “Número de Passes” e “Profundidade na Dressagem” indicam respectivamente quantas vezes o rebolo irá deslizar seu comprimento ao longo do dressador, e qual a quantidade de material que

será retirado desse rebolo (valor considerando seu diâmetro externo). A “Rotação do dressador” indica a velocidade com o que dressagem gira, nesse caso, em sentido anti-horário. Já a “Velocidade de dressagem” remete-se a rapidez com que o rebolo se arrasta no dressador, acontecendo assim o afiamento.

É importante ressaltar um momento relevante que ocorre todas as vezes que se faz necessário realizar a troca de rebolo. Após o rebolo ser fixado no pino prolongador ele é dressado até que atinja o valor de 3,75 mm (vide Tabela 4), sendo que o rebolo novo, possui aproximadamente 3,90 mm de diâmetro.

Essa dressagem inicial, chamada de “dressagem de desbaste”, acontece para que seja retirado o batimento proveniente do processo de fabricação do rebolo, sob responsabilidade do fornecedor. Essa quantidade de 0,15 mm foi definida experimentalmente na fábrica, e assim, é considerada como “uma quantidade segura e suficiente para garantir que o batimento seja reduzido ao mínimo”.

### 3.2 Métodos empregados no teste

Este estudo foi conduzido a partir de uma abordagem predominantemente quantitativa onde o desempenho dos diferentes dressadores será avaliado a partir de informações provenientes de testes realizados em outra planta da empresa parceira (como dados de entrada e base de comparação), histórico de consumo dos materiais e testes realizados nas condições de operação na planta local da empresa parceira.

Serão usados recursos da própria organização para realizar os testes necessários a fim de se comprovar os resultados esperados e responder à pergunta principal sobre a viabilidade da implantação de um dressador cerâmico para o rebolo de guia.

Conforme apresentado anteriormente, a avaliação do desempenho supracitado ocorrerá à luz de três abordagens complementares: do dressador, do rebolo e da peça usinada. Para cada uma delas será adotada uma metodologia específica a fim de se fornecer o nível de detalhe necessário para facilitar a compreensão das atividades programadas para a execução do estudo.

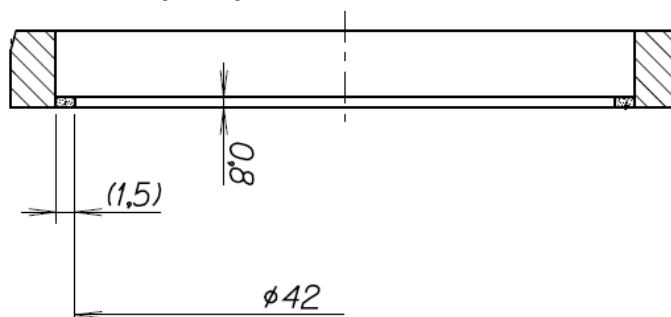
### 3.2.1 Métodos com relação ao dressador

O ponto de partida para os estudos é a avaliação dos parâmetros de usinagem utilizados na planta estrangeira da empresa parceira, para ambas as especificações de dressador: liga galvânica e liga cerâmica. Uma vez conhecidos esses parâmetros, os mesmos serão aplicados para os testes do trabalho, a fim de não influenciar num possível resultado, seja ele melhor ou pior.

Será realizado num primeiro momento a avaliação do dressador galvânico a partir de uma ferramenta nova ainda sem utilização. Nesta etapa o objetivo é quantificar o número de peças entre cada dressagem, desde que se mantenha a qualidade dos produtos, como também, dados de desgaste do dressador.

O dressador sem uso, apresenta diâmetro interno de 42 mm, conforme Figura 15, valor que será monitorado, para medir o desgaste da parcela abrasiva.

**Figura 15 - Representação esquemática do anel dressador galvânico utilizado contendo as principais dimensões**

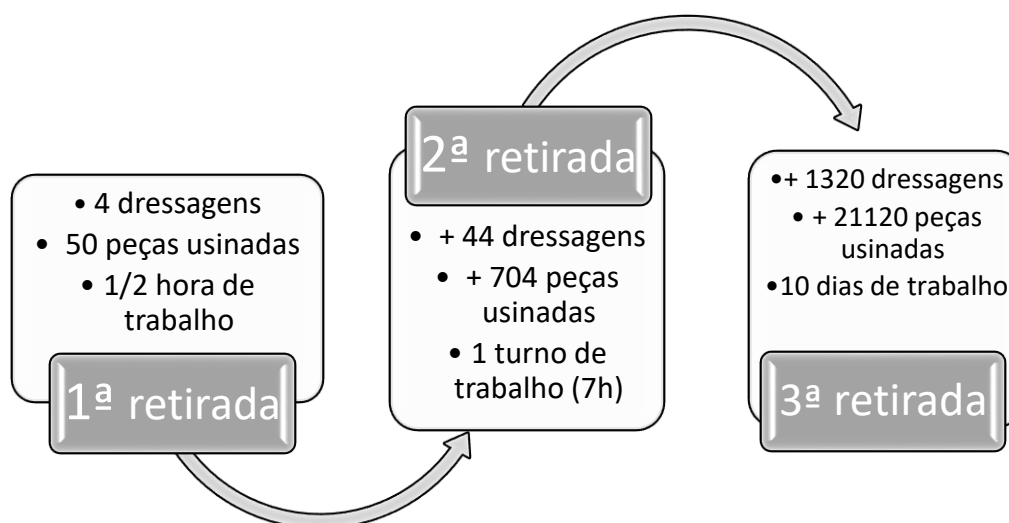


**Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)**

Para o processo de retificação interna do diâmetro de guia na empresa parceira, considerando a família de bico escolhida, o intervalo entre dressagens é de uma a cada 16 peças, conforme Tabela 4. Além disso, a retificadora utilizada para a execução dos testes tem capacidade de produção de 100 peças por hora, o posto possui revezamento em horário de almoço e opera em três turnos, a produção diária de uma máquina é de 2400 peças, em média. A frequência de avaliação das dressagens foi definida com base na produção diária e a frequência atual de dressagem.

Assim, foi definido a forma com que o dressador será retirado da máquina para análise, após ciclo pré-definido de retificação. Essa forma pode ser compreendida melhor no esquema a seguir (Figura 16).

**Figura 16 - Representação da sequência de retirada de dressadores para avaliação de dimensão da superfície**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

A 1ª retirada consiste no teste inicial necessário para liberação prévia da ferramenta. Em outras palavras, na empresa parceira, sempre se faz necessário realizar uma “Capabilidade de Máquina”, calculando-se assim índices de capacidade potencial,  $C_m$  e  $C_{mK}$  da máquina, nas condições a ela impostas. Essa avaliação é imprescindível para que seja possível, antes de toda uma avaliação posterior mais complexa, garantir que a ferramenta é capaz de produzir peças boas, ou seja, dentro das tolerâncias das características relevantes à produção.

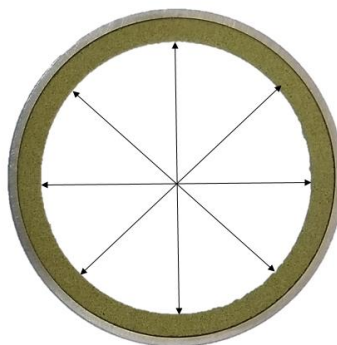
A 2ª retirada refere-se à análise após um turno de trabalho, equivalente a 7 horas de produção. Nesse intervalo, aconteceram 44 dressagens, e aproximadamente 704 peças retificadas.

E por fim, o maior intervalo que o dressador ficou em utilização foram 10 dias, e nesse tempo, em torno de 21.120 peças foram usinadas, com pouco mais de 1.300 dressagens realizadas. Esse período maior de tempo foi necessário para uma projeção da vida útil do dressador.

A cada ciclo, o dressador foi retirado da máquina e encaminhado para avaliação dimensional do desgaste da porção abrasiva. Essa medição será feita tomando como base o diâmetro interno do anel em pontos espaçados em  $45^\circ$ , com trajetória de medição apontando ao longo da espessura abrasiva do dressador (Figura 17).



**Figura 17 - Representação esquemática do método de avaliação do desgaste no diâmetro do dressador. Setas internas indicando os pontos de medição onde o parâmetro será medido**



**Fonte: Empresa parceira com adaptação dos autores (2019).**

Todas as medições de diâmetros foram realizadas no equipamento de medição "Hexagon Metrology – Optiv Scan 663", localizado numa sala com temperatura controlada em  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . O equipamento da Figura 18 tem tolerâncias mínimas em relação à distância/diâmetro de  $\pm 0,0090$  mm.

**Figura 18 - Equipamento de medição dos diâmetros dos dressadores, " Hexagon Metrology – Optiv Scan 663"**



**Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)**

Dos resultados obtidos nestes pontos será feita a avaliação estatística para obtenção de uma média da espessura removida do dressador, em mm. O objetivo desta análise é verificar a variação da espessura da camada abrasiva.

A cada retirada do dressador ele foi encaminhado para avaliação da condição da superfície através de um equipamento onde o objetivo é verificar o estado das partículas abrasivas após os definidos ciclos de dressagem. Com isso, foi feita a avaliação qualitativa do poder de corte das partículas através de comparação das imagens obtidas no MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) com as disponíveis na literatura da área.

Com base nos resultados apresentados deste acompanhamento esperava-se que fosse possível estimar um período para consumo da porção abrasiva do dressador, fazendo-se também uma relação com a quantidade de peças usinadas até a necessidade da troca.

É evidente que essa expectativa de desgaste no diâmetro da porção abrasiva, seja inicialmente, apenas especulação, ou seja, não se pode garantir com 100% de certeza, pois o desgaste é muito pequeno. Mesmo que estes materiais sejam desenvolvidos para que o consumo seja mínimo a cada utilização, a perspectiva é de que através das análises de imagem do equipamento usado, seja possível planejar o fim da vida da ferramenta.

O equipamento utilizado para esse fim, é o denominado como “MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura”. Com a nomenclatura oficial de “FEI ESEM Quanta 200”, o MEV foi o responsável então pela captação das imagens microscópicas das ferramentas. Dessa forma, tornou-se possível uma análise mais precisa e específica da superfície, no que diz respeito aos grãos, ligantes, entre outros componentes ali presentes.

Esta foi uma etapa de suma importância para dar confiança na execução do projeto, uma vez que para a empresa parceira, não existe um critério definido para determinar o fim de vida útil do dressador galvânico. E essa falta de conhecimento, proveniente do fato de que a avaliação é qualitativa, ou seja, depende mais do conhecimento e experiência do operador da máquina, pode elevar o consumo de ferramentas. Por consequência, o consumo de ferramentas (nesse caso, especificamente de dressadores) pode tornar-se excessivo, já que, eventualmente, pode acontecer a troca sem que haja realmente a necessidade, tendo ainda condições de uso.

Por outro lado, o sistema está sujeito também a operar em condições precárias de dressagem, o que é detectado quando há manifestação de desvios no processo, evidenciadas pelo equipamento Nordman que é responsável pelo controle da dressagem. Através dele, ocorre a mensuração da intensidade sonora captada por um jato de óleo apontado para a região de contato entre dressador e rebolo, durante o momento em que se processa a dressagem. Ao lado desse equipamento, há uma pequena tela que mostra, por meio de um gráfico, como transcorreu a última dressagem.

**Figura 19 - Tela do aparelho auxiliar do processo de dressagem do rebolo**



**Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)**

Na Figura 19 é exibido um gráfico padrão (linha vermelha), determinado previamente e padronizado entre as máquinas. Com isso, tem-se o objetivo de adequar todas as dressagens seguintes a esse fixado modelo, normalizando o processo integralmente. Se eventualmente a última dressagem (linha amarela) não atingir essa referência ela se repete até que se prove o procedimento.

Isto posto, é importante ressaltar que todos os procedimentos citados, foram repetidos da mesma forma e condições tanto para o dressador com ligante cerâmico quanto para o galvânico.

### 3.2.2 Métodos com relação ao rebolo

Conforme descrito anteriormente, a frequência de dressagem do rebolo de guia é de 1/16 (uma peça a cada 16), de acordo com a documentação do posto de trabalho da empresa parceira desse projeto.

A tratativa para a análise do estado e desempenho do rebolo, será com base na avaliação das condições superficiais após dressagem com o dressador galvânico e com o cerâmico, bem como das verificações do diâmetro e da manutenção das características de forma do rebolo.

O rebolo foi avaliado seguindo os momentos descritos a seguir: imediatamente antes da dressagem (ou seja, após o rebolo retificar 16 peças) e imediatamente após a dressagem do rebolo (ou seja, antes da 17ª peça ser retificada). Ressaltando também, que esse roteiro de avaliação foi seguido tanto utilizando o dressador cerâmico quanto o galvânico.

### 3.3 Operação do processo de retificação interna

O processo de retificação interna do corpo do bico injetor, realizada na empresa parceira, é desempenhada em diversas máquinas ao mesmo tempo. Com o intuito de extinguir mais uma possível variável a ser investigada e considerada nos resultados, apenas uma máquina foi definida para a execução dos testes.

Os testes foram realizados utilizando-se a máquina retificadora de guia de corpos de bico injetor, habitualmente denominada pelos usuários de “UVA” (mesmo nome do fabricante), modelo “U88”. Na Figura 20 é apresentada a máquina em questão e é possível identificar a localização do Nordman na máquina, como um equipamento auxiliar.

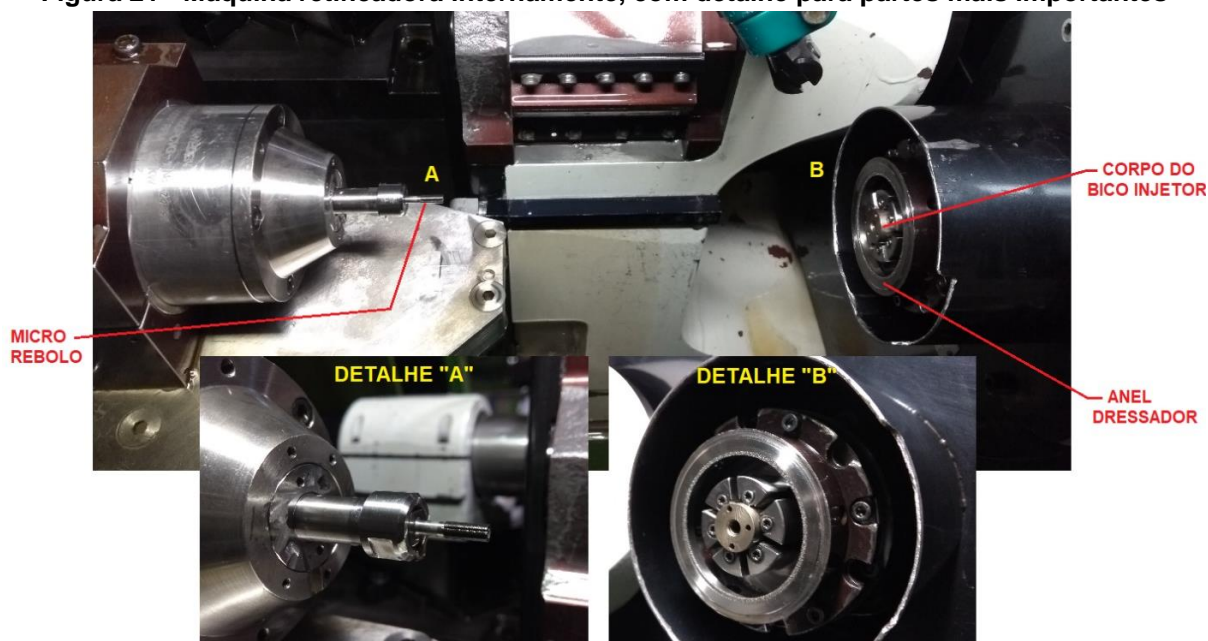
Figura 20 - Máquina retificadora utilizada nos testes (detalhe para equipamentos auxiliares da dressagem)



Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)

A fim de tornar mais clara a compreensão do processo de retificação realizado por essa máquina, a Figura 21 nomeia com detalhes alguns elementos fundamentais para tornar o processo capaz e eficaz.

Figura 21 - Máquina retificadora internamente, com detalhe para partes mais importantes



Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019).

Dentre todas as máquinas, a escolhida para suportar as experimentações foi aquela que menor apresentou índices de refugos nos últimos meses antes dos testes, além de ser a máquina com maior MTBF (*Mean Time Between Failures*) e menor MTTR (*Mean Time To Repair*). Assim sendo, conseqüentemente a máquina mais estável do processo.

### 3.3.1 Dressador Cerâmico e Galvânico

Para a realização dos testes foi feito um planejamento de liberação de máquina e de mão de obra com a liderança a fim de que estas disponibilizações representassem o menor impacto na produção. Feito isso, iniciaram-se os procedimentos.

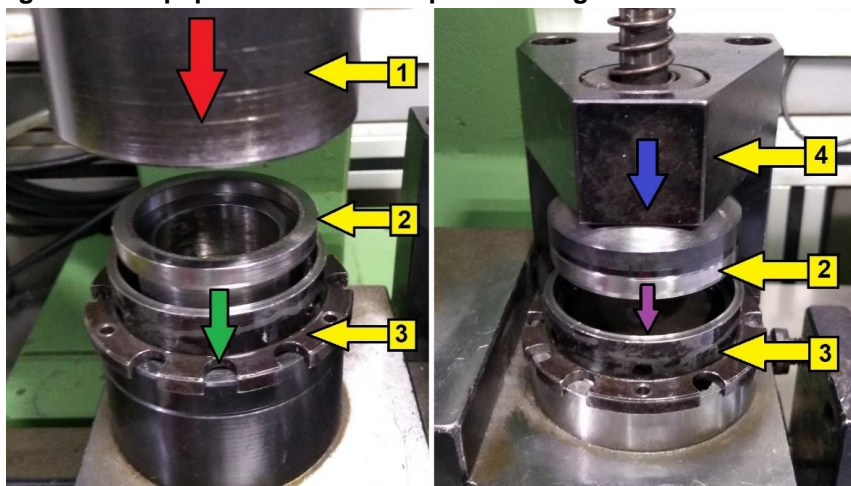
A sequência realizada para troca das ferramentas na máquina, segue descrita na Tabela 5, juntamente com os tempos de execução de cada tarefa.

**Tabela 5 - Descrição e tempos referentes à troca do dressador na máquina**

AÇÃO	DESCRIÇÃO E TEMPO PARA TROCA DO DRESSADOR		TEMPO	
1	Parar máquina	Liberar abertura das portas, terminar de retificar as peças que já estavam dentro da máquina e abrir porta da máquina	1,5	min
2	Retirar o dressador galvânico	Retirar o dressador galvânico que estava na máquina	2,8	min
3	Retirar dressador e rebolo	Retirar o anel dressador galvânico do suporte responsável pela fixação na máquina e retirar o rebolo usado da máquina	1,7	min
4	Montar o dressador cerâmico no suporte	Colocar o anel dressador cerâmico para teste no suporte.	2,1	min
5	Montar dressador e rebolo na máquina	Colocar o anel dressador cerâmico e o rebolo sem uso na máquina	2,9	min
6	Calibrar o batimento	Calibrar o batimento entre rebolo, anel dressador e máquina	6,2	min
7	Ajuste de parâmetros	Ajuste do fuso da máquina, zeramento das referências e ajuste das coordenadas	8,0	min
8	Desbaste do rebolo	Realizar o desbaste do rebolo para correção do batimento natural	7,8	min
9	Acabamento do rebolo	Dressagem de acabamento do rebolo	5,0	min
<b>TEMPO TOTAL</b>			<b>38,0</b>	<b>min</b>

**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

**Figura 22 - Equipamento utilizado para montagem do anel dressador**



Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Na Figura 22, segue ilustração das ações 3 e 4, executadas para a troca do anel dressador na máquina.

Após retirar o suporte (nº 3 da figura) da máquina, juntamente com o anel dressador (nº 2), foi preciso utilizar um equipamento responsável por desacoplar as duas ferramentas uma da outra, conforme imagem à esquerda. O contrapeso (nº 1) desce, seguindo a seta vermelha, pressionando apenas o suporte para baixo, retirando-o do anel dressador (seta verde). Já para colocar, ocorre movimento semelhante (seta azul), no entanto, o contrapeso (nº 4) encaixa o anel no suporte, seguindo a seta roxa. Esse movimento precisa ser o mais preciso possível, para que não haja batimento entre as peças após a montagem, ocasionando problemas no momento da dressagem.

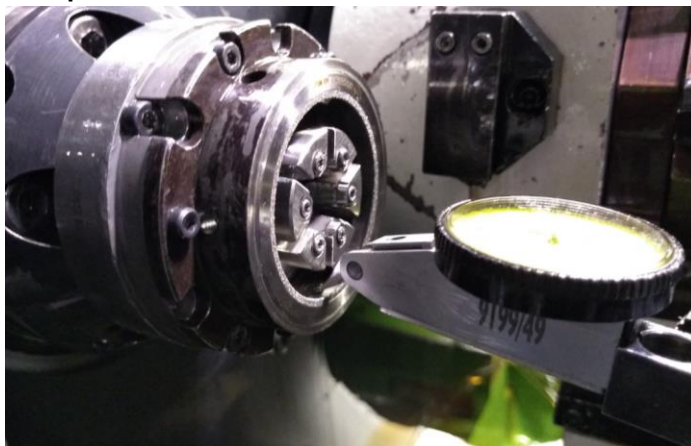
Em seguida, após a montagem do sistema “suporte + anel”, juntamente com um rebolo sem uso e todas as referências executadas, foi necessário então realizar a verificação e o ajuste do batimento do anel dressador (ação 6 da Tabela 5).

Essa revisão do batimento é feita colocando um relógio comparador na parte abrasiva do dressador e fazendo todo o sistema girar manualmente. Essa etapa, conforme ilustrada pela Figura 23, ocorre justamente pelo fato de que, se o anel dressador tiver mais que 5  $\mu\text{m}$  de batimento em relação ao fuso da máquina (onde é fixado o rebolo), a dressagem será comprometida.

Caso o batimento esteja acima do especificado, ou seja, mais de 5  $\mu\text{m}$  em relação ao eixo da máquina, deve-se desmontar o anel e monta-lo novamente, pois

caso contrário, serão somados os batimentos do anel e do micro reboło, resultando numa peça de má qualidade no momento da retífica. Por isso, a importância dessa inspeção e padronização.

**Figura 23 - Método para medir o batimento do anel dressador em relação à máquina**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Entretanto, no teste em si não foi necessária a correção, pois o batimento foi menor que 5  $\mu\text{m}$ , validando assim o procedimento.

Seguindo o fluxo de ações para liberação da máquina para produção, foi necessário então a padronização dos parâmetros de usinagem, usados na planta internacional da empresa parceira. Essa padronização aconteceu apenas para verificação, pois eram os mesmos já usados habitualmente em todas as máquinas.

Após a conclusão do conjunto de ações pré-fabricação das peças, a máquina foi liberada, podendo assim, iniciar efetivamente os testes. Desse modo, após a retirada de todas as peças, o tempo total utilizado, sendo que foi necessário retirar 4 peças para finalização do setup e ajuste, foi de 36 minutos, baseando-se num tempo de ciclo de 40 segundos por peça, conforme apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6 - Tempo total necessário para execução do teste assim como a quantidade de peças**

DESCRIÇÃO	QTDE	TEMPO UNITÁRIO	TEMPO TOTAL
<b>Peças testes</b>	50	40 seg.	33,3 min
<b>Peças ajuste</b>	4	40 seg.	2,7 min
			<b>36 min</b>

**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**



Seguindo os padrões definidos internamente pela empresa parceira, primeiramente se fez necessário segregare peças com os novos ferramentais e parâmetros, a fim de realizar a Capacidade de Máquina, ou seja, os cálculos de  $C_m$  e  $C_{mK}$ . Esse indicador consiste em segregare 50 peças em sequência, com o objetivo de avaliar exclusivamente qual a capacidade fornecida apenas pela máquina, e nesse caso, pela diferença de ferramental. Assim, busca-se excluir ou minimizar ao máximo a influência de outros fatores que não sejam máquina e ferramenta, como operador, métodos e meio ambiente, pois esses serão avaliados posteriormente na análise do  $C_p$  e  $C_{pK}$ .

O *software* padrão usado na empresa parceira para o cálculo da capacidade de máquina e processo foi o *qs-STAT* da empresa Q-DAS. E assim também foi usado nesse trabalho como um programa para auxiliar na análise das informações de qualidade, assim como a validação do processo e ferramental.

Portanto, com os resultados de Capacidade de Máquina concluídos e aprovados, foi necessário, também seguindo o padrão da empresa, realizar a avaliação da Capacidade de Processo, ou seja,  $C_p$  e  $C_{pK}$ . Nesse tipo de avaliação, diversos fatores que não influenciam o  $C_m$  e  $C_{mK}$ , dessa vez são responsáveis por influir no resultado final. Entre os fatores estão meio ambiente (temperatura, por exemplo), operadores diferentes, métodos variados, entre outros.

Nessa fase do teste, os mesmos procedimentos aconteceram novamente, como a troca dos ferramentais na máquina e ajuste dos parâmetros, usando também o mesmo *software* *Qs-STAT* para cálculo dos indicadores  $C_p$  e  $C_{pK}$ .

No entanto, para essa fase do teste, foi-se necessário um intervalo maior para captação de todas as peças. O período de tempo escolhido da primeira vez foi de 1 turno completo de produção, ou seja, considerando o tempo necessário para trocas e ajustes, ao todo foram cerca de 7 horas.

**Figura 24 - Equipamento de medição das características avaliadas para Capabilidade de máquina e de processo, “MarForm MFU100”**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019).**

O equipamento utilizado para medição, ilustrado na Figura 24 das características das peças, responsável por medir e assim, possibilitando o cálculo de  $C_m$ ,  $C_{mK}$ ,  $C_p$  e  $C_{pK}$  foi o equipamento de medição denominado de “MahrForm: MFU 100”. Assim como outros dispositivos de medição de características, esse também se encontrava numa sala climatizada com temperatura de  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Algumas tolerâncias do equipamento, fornecidas pelos profissionais que com ele trabalhavam, são: tolerâncias mínimas (Diâmetro externo:  $\pm 0,280 \mu\text{m}$ ; Diâmetro interno:  $\pm 0,200 \mu\text{m}$ ; Circularidade:  $0,532 \mu\text{m}$ ; Retitude:  $0,178 \mu\text{m}$ ; Paralelo:  $0,182 \mu\text{m}$ ). Demais informações, podem ser encontradas no manual do fabricante.

Após a fase de testes e recolhimento de resultados quantitativos (indicadores de qualidade), foram realizadas algumas medições qualitativas, ou seja, análises por meio de imagens, gráficos, entre outros. Para tal, foi usado o equipamento de medição óptica 3D “Alicona InfiniteFocus” da Figura 25. Esse dispositivo foi escolhido pela capacidade de mensurar um sistema combinando análise de uma superfície através de imagens de rugosidade e dimensional.

**Figura 25 - Equipamento de medição óptica 3D usado para medir os diâmetros dos anéis dressadores, "Alicona InfiniteFocus"**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019).**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo desta pesquisa desde o início foi a análise e posteriormente a comparação entre o desempenho dos anéis dressadores com liga cerâmica e liga galvânica, no processo de retificação de uma empresa parceira.

Isto posto, seguem os resultados alcançados durante a execução desse estudo.

### 4.1 ANÁLISE DE MÉDIAS E CMK

Inicialmente, foram testados os dois anéis dressadores, da forma como é costumeiramente feito na empresa parceira, como forma de liberação parcial do processo. Essa primeira fase do teste é importante, pois nela serão retiradas da linha de produção 100% das peças retificadas, ou seja, por pior que seja o resultado, como todas as peças são segregadas do lote de produção normal, não existe a possibilidade de peças fora do especificado serem enviadas para as próximas operações ou até mesmo para o cliente final.

Assim, esse primeiro teste aconteceu, sendo retificadas 50 peças com o rebolo dressado pelo anel dressador de liga cerâmica, e 50 peças com o dressador de liga galvânica. Os valores das características avaliadas seguem na Tabela 7, juntamente com suas médias e valores de CmK. Importante destacar, que características com tolerância unilateral não possuem registros de Cm.

**Tabela 7 - Valores de média, Cm e CmK das características avaliadas referentes aos testes realizados dos anéis dressadores cerâmico e galvânico.**

CARACTERÍSTICAS	CERÂMICO			GALVÂNICO		
	Média	Cm	CmK	Média	Cm	CmK
<b>Ø Mín.</b>	4,003542	3,70	3,68	4,002340	2,77	2,31
<b>Ø Máx.</b>	4,004068	3,30	2,82	4,002638	2,95	2,68
<b>Retilidade</b>	0,2992	-	2,33	0,1758	-	3,74
<b>Circularidade 1</b>	0,2966	-	6,71	0,2350	-	3,47
<b>Circularidade 2</b>	0,3156	-	2,92	0,2454	-	2,00
<b>Rugosidade Rz</b>	1,0008	-	3,18	0,6602	-	15,31
<b>Batimento</b>	1,3724	-	3,12	1,1406	-	5,88

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Provindos da Tabela 7, diâmetro máximo ( $\emptyset$  Máx.) e diâmetro mínimo ( $\emptyset$  Mín.) são referentes ao maior e menor valor de diâmetro que a guia apresentou ao longo da sua extensão. As características Circularidade 1 se refere a medição realizada no “início” da guia e Circularidade 2 no “final”.

A partir desses valores é possível então iniciar as comparações entre os 2 dressadores. Todas as características foram validadas e aprovadas, ou seja, possuem  $CmK$  (e  $Cm$ )  $> 1,67$ . Dessa forma, observando cada característica especificamente, as conclusões observadas estão expostas nas subseções seguintes.

#### 4.1.1 Diâmetro Máximo e Diâmetro Mínimo

**Tabela 8 - Valores de média,  $Cm$  e  $CmK$  das características  $\emptyset$  Mín e  $\emptyset$  Máx, usando os dressadores cerâmico e galvânico**

CARACTERÍSTICAS	CERÂMICO			GALVÂNICO		
	Média	$Cm$	$CmK$	Média	$Cm$	$CmK$
$\emptyset$ Mín.	4,003542	3,70	3,68	4,002340	2,77	2,31
$\emptyset$ Máx.	4,004068	3,30	2,82	4,002638	2,95	2,68

**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Analisando o diâmetro mínimo ( $\emptyset$  Mín.) e diâmetro máximo ( $\emptyset$  Máx.) da guia das peças retificadas com o dressador cerâmico, expostos na Tabela 8, percebe-se que os valores ficaram deslocados acima do diâmetro central, ao contrário do dressador galvânico, que apresentou valores de diâmetros deslocados abaixo do central. O diâmetro central foi estabelecido pelo operador da máquina no início do processo de retificação, e possui valor de  $\emptyset 4,0030$  mm.

Esse valor central, é configurado na máquina antes da operação de retificação se iniciar, no entanto, ele pode se desviar do centro, à medida que as peças vão sendo retificadas. Eventualmente, pode acontecer dos diâmetros se desviarem acima do considerado “normal” pelo operador da máquina, então ele a ajusta novamente. Nos testes realizados, não foram necessários tais ajustes.

Embora em questão de deslocamento (entre as médias dos valores medidos e o valor central estabelecido), os diâmetros do dressador cerâmico tenham se apresentado mais próximos, dessa forma, apresentando  $CmK$  maior também, isso não é algo positivo, considerando a realidade na empresa parceira.

O fato é, que conhecendo fatores externos à pesquisa, ou seja, o dia-a-dia na empresa, entende-se o motivo para tal problema. Por questões da própria produção da fábrica, existe atualmente uma dificuldade maior na montagem do corpo do bico injetor e a agulha (formando assim, o bico injetor), quando se tem o diâmetro da guia maior que o central. E isso, reflete num aumento de peças retificadas e que se tornam refugo.

Assim sendo, é preferível diâmetros levemente abaixo do central do que acima, portanto, conforme apresentou o dressador galvânico, se mostrando então, melhor que o cerâmico nessa característica.

#### 4.1.2 Retilidade

**Tabela 9 - Valores de média, Cm e CmK da característica Retilidade, usando os dressadores cerâmico e galvânico**

CARACTERÍSTICA	CERÂMICO			GALVÂNICO		
	Média	Cm	CmK	Média	Cm	CmK
<b>Retilidade</b>	0,2992	-	2,33	0,1758	-	3,74

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Conforme valores mostrados na Tabela 9, a retilidade se mostrou com melhor desempenho quando utilizado o dressador galvânico.

Os valores de média tiveram redução superior à 0,12 mm, o que retrata uma maior dificuldade do rebolo dressado com o dressador cerâmico, de manter a linearidade da guia. Mesmo que não seja uma diferença tão grande, isso manifesta que posteriormente, na montagem da agulha para formar o bico injetor, algumas peças podem apresentar falha nos testes realizados. Esses testes estão diretamente ligados à qualidade da retificação da guia, e quando não atendidos de acordo com o especificado, as peças são descartadas.

Assim, considerando somente essa característica, o anel dressador com liga cerâmica não foi capaz de igualar a qualidade do dressador de liga galvânica.

## 4.1.3 Circularidade 1 e Circularidade 2

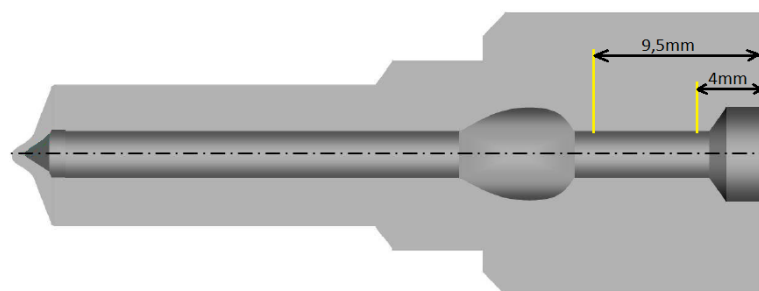
**Tabela 10 - Valores de média, Cm e CmK das características Circularidade 1 e 2, usando os dressadores cerâmico e galvânico**

CARACTERÍSTICAS	CERÂMICO			GALVÂNICO		
	Média	Cm	CmK	Média	Cm	CmK
<b>Circularidade 1</b>	0,2966	-	6,71	0,2350	-	3,47
<b>Circularidade 2</b>	0,3156	-	2,92	0,2454	-	2,00

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

A guia do corpo do bico é medida em duas posições diferentes, conforme Figura 26, sendo a circularidade 1 a uma distância de 4 mm da superfície do corpo e a circularidade 2 a 9,5 mm. Seus resultados são apresentados na Tabela 10.

**Figura 26 – Ilustração de um corpo de bico injetor, mostrando os pontos onde são medidas as características de Circularidade 1 e 2**



Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Na comparação entre os 2 dressadores, pode-se compreender que mesmo as médias dos valores medidos do dressador galvânico sendo menores, os valores de CmK deram menores. Isso novamente pode ser explicado pelo conceito de CmK, que considera as dispersões dos valores em função dos limites de controle. Portanto, a linearidade dos dados aconteceu de melhor forma no dressador cerâmico, por isso, valores de CmK foram maiores.

Assim sendo, mesmo sendo aprovadas em ambos os casos, a Circularidade 1 e 2, apresentaram melhor desempenho com o dressador cerâmico. Isso expressa a maior capacidade do dressador em manter uma melhor circularidade em todo o comprimento da guia, ou seja, readequar a forma cilíndrica do rebolo durante a dressagem.

## 4.1.4 Rugosidade (Rz)

Tabela 11 - Valores de média, Cm e CmK da característica rugosidade Rz, usando os dressadores cerâmico e galvânico

CARACTERÍSTICA	CERÂMICO			GALVÂNICO		
	Média	Cm	CmK	Média	Cm	CmK
<b>Rugosidade Rz</b>	1,0008	-	3,18	0,6602	-	15,31

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

A Rugosidade (Rz) foi a característica medida que apresentou maior disparidade entre os 2 dressadores, tanto em relação à média quanto em relação ao CmK, de acordo com a Tabela 11. E essa grande diferença pode ser no final da análise um diferencial para escolha do dressador com melhor desempenho dentre o galvânico e o cerâmico, afinal, a rugosidade é uma das características medidas que são capazes de melhor refletir a diferença entre grãos, ligantes, etc.

Como a Rugosidade Rz é uma característica com tolerância unilateral, ou seja, quanto menor o valor medido, melhor, então a média representa de forma consistente o melhor desempenho do dressador galvânico, nesse caso. Com média de 0,6602 contra 1,0008 do dressador cerâmico, o galvânico se mostrou muito melhor nesse quesito.

Ao contrário do que se pensava antes da realização dos testes, a rugosidade Rz das peças com dressador cerâmico apresentou-se maior que para o galvânico, mesmo com a granulometria do dressador galvânico sendo maior.

Com esse Rz, o corpo do bico injetor, que depois terá a montagem da agulha, provavelmente terá uma montagem melhor impactando na realização do movimento no corpo do bico injetor.

## 4.1.5 Batimento

Tabela 12 - Valores de média, Cm e CmK da característica Batimento, usando os dressadores cerâmico e galvânico

CARACTERÍSTICA	CERÂMICO			GALVÂNICO		
	Média	Cm	CmK	Média	Cm	CmK
<b>Batimento</b>	1,3724	-	3,12	1,1406	-	5,88

Fonte: Autores deste trabalho (2019)



O batimento é uma característica que tem muita influência da própria máquina, e por mais que todos os cuidados tenham sido tomados, para que a máquina não fosse um parâmetro variável, ainda assim, é importante salientar, sobre a possibilidade de ter havido uma pequena variação.

Tendo-se conhecimento desse fato, e analisando os dados adquiridos, percebe-se que por maior que seja essa interferência, ela não foi responsável por tamanha diferença entre os dressadores, sendo o galvânico bem melhor que o cerâmico. Em resumo, para o batimento, tanto média quanto CmK apresentados na Tabela 12 foram melhores com o dressador galvânico.

## 4.2 ASPECTOS QUALITATIVOS DA SUPERFÍCIE DOS DRESSADORES E DOS REBOLOS

### 4.2.1 Dressador cerâmico

Uma das etapas do estudo refere-se à análise qualitativa dos dressadores e rebolos utilizados no processo, uma vez que a partir desta avaliação e embasados na literatura é possível chegar a conclusões com relação ao desgaste das partículas abrasivas dos dressadores, integridade do ligante e o “reavivamento” das partículas do rebolo. Nesta etapa, utilizou-se o MEV para obtenção de imagens.

Com base na metodologia empregada neste trabalho os resultados serão apresentados conforme a sequência de testes realizada para cada composição de dressador.

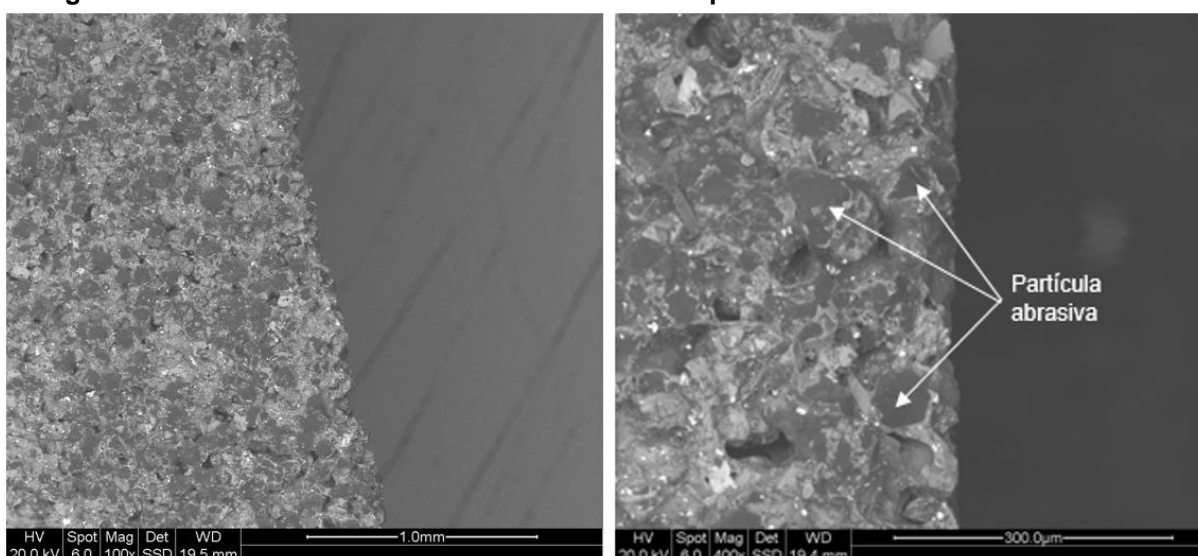
Inicialmente, após um turno de 7 horas de trabalho o dressador cerâmico foi retirado da máquina e levado para o MEV e para medição de diâmetro. Esta avaliação foi realizada para identificar se após um turno, com a usinagem de aproximadamente 700 peças e 44 dressagens, é possível identificar variação de diâmetro interno do dressador e alteração da integridade superficial deles. Na sequência, o dressador voltou para o processo permanecendo por mais duas semanas para que nova análise qualitativa das partículas abrasivas fosse realizada.

Para a interpretação das imagens geradas no microscópio preocupou-se em buscar mudanças na forma das partículas abrasivas, sinais de arrancamento de partículas do ligante e aspecto geral da superfície ativa do dressador, notando a ocorrência de regiões danificadas.

A análise do MEV, na Figura 27, mostra que há pouca ou nenhuma diferença entre intervalos de retirada adotados. Percebe-se que para o estado de dressador novo, há visualmente uma densidade maior de partículas abrasivas com uma concentração menor de poros na faixa abrasiva da ferramenta. Além disso, observa-se que o dressador novo possui o aspecto rugoso característico da ferramenta, porém não apresenta as partículas abrasivas muito proeminentes, estando elas bem aderidas e envoltas pelo ligante cerâmico.

Entende-se que esta configuração se deve justamente ao fato de ser um dressador novo com as condições iniciais obtidas pelo processo de fabricação do dressador por metalurgia do pó, apresentando um aspecto compacto e uniforme com a porosidade usual adquirida neste processo.

**Figura 27 – Dressador cerâmico e detalhamento das partículas abrasivas em estado novo**



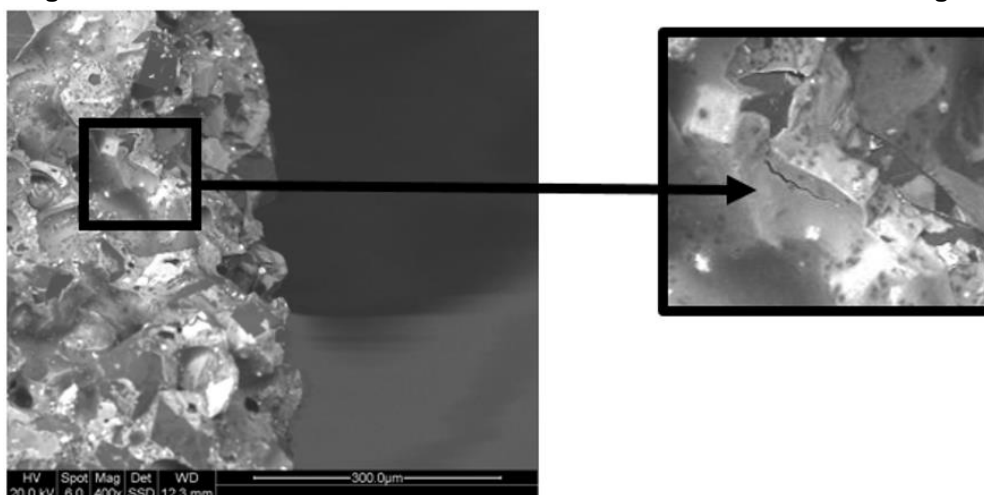
**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Para a análise dos dressadores usados (para as duas composições de ligante) é preciso, antes de tudo, levar em consideração o desbaste inicial do rebolo novo realizado a cada troca da ferramenta. Nesta operação são removidos 0,15 mm no diâmetro do rebolo a fim de se adequar esta dimensão e, adicionalmente, o batimento da ferramenta para a usinagem da guia.

Esta informação é relevante e determinante para este estudo uma vez que o dressador cerâmico não é indicado para realizar desbastes devido a fragilidade do ligante e da sustentação da partícula abrasiva na matriz cerâmica.

Nessas condições de dressagem grosseira, a interação “partícula abrasiva - ligante do dressador” fica sujeita a um maior esforço. E ainda, com os repetidos passes com profundidade de penetração de 0,001 mm, ocorre mais desprendimento da partícula e quebra do ligante, que se inicia com trincas como é possível identificar na Figura 28, onde o dressador ficou na máquina por um turno de sete horas.

**Figura 28 – Dressador cerâmico com detalhe do início de uma trinca no grão**

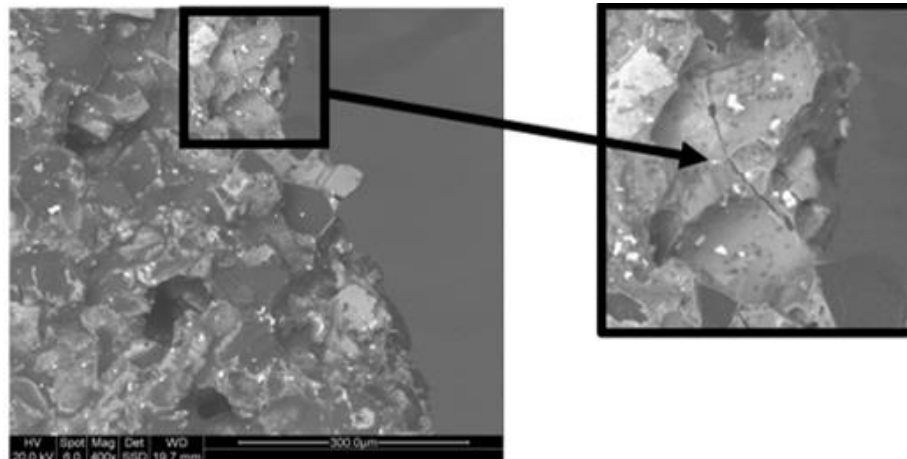


**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

A permanência do dressador com trincas, como nas imagens anteriores, e a continuidade do processo de dressagem acabaria por culminar na fratura frágil destas partes do ligante.

Feita esta consideração, da operação de desbaste, a análise continua para a comparação do estado inicial com o aspecto do dressador após cerca de 44 dressagens. Nesta condição, a Figura 29 mostra que, apesar de sutilmente perceptível, há um aumento da quantidade de poros na região estudada além disso, observa-se também um aspecto mais rugoso na parcela ativa do dressador.

**Figura 29 – Dressador cerâmico com detalhe na quantidade de poros**

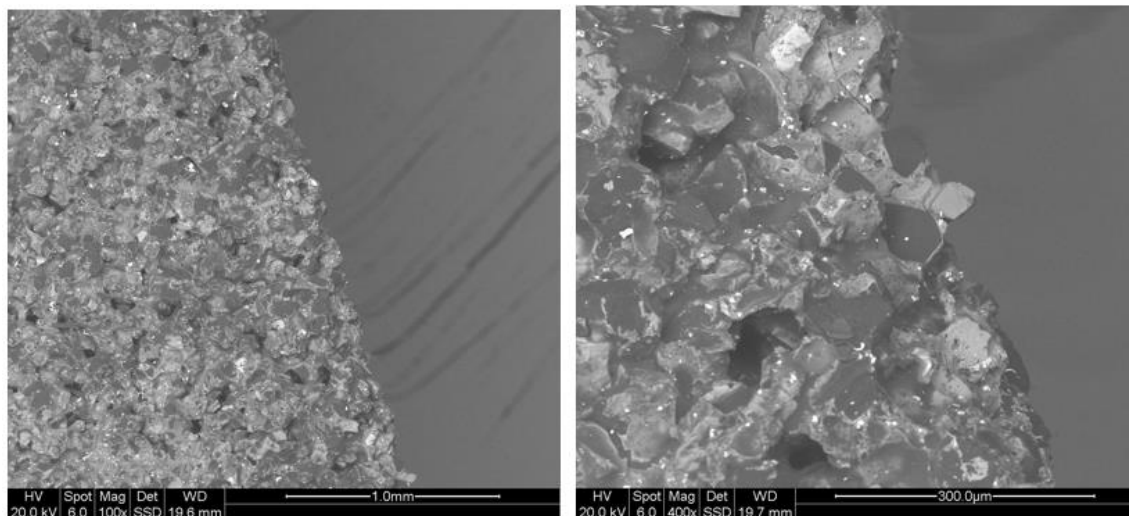


**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Analisando as micrografias na Figura 31 pode-se inferir que a associação do desbaste inicial com as dressagens promoveram arrancamento de partículas abrasivas da matriz cerâmica colocando em evidência mais poros da estrutura e consumindo o ligante. Estes fatores acabam por revelar uma nova camada de partículas abrasivas, deixando-as mais evidentes e com os gumes expostos, promovendo um aumento da rugosidade do dressador.

Pode-se concluir ainda que não há achatamento de partículas abrasivas, uma vez que o período de análise não é o suficiente para identificar tal desgaste e antes que este mecanismo ocorra há o desprendimento total da partícula do ligante cerâmico, fenômeno característico para este tipo de composição.

**Figura 30 - Dressador cerâmico e detalhamento da rugosidade após um turno de trabalho**



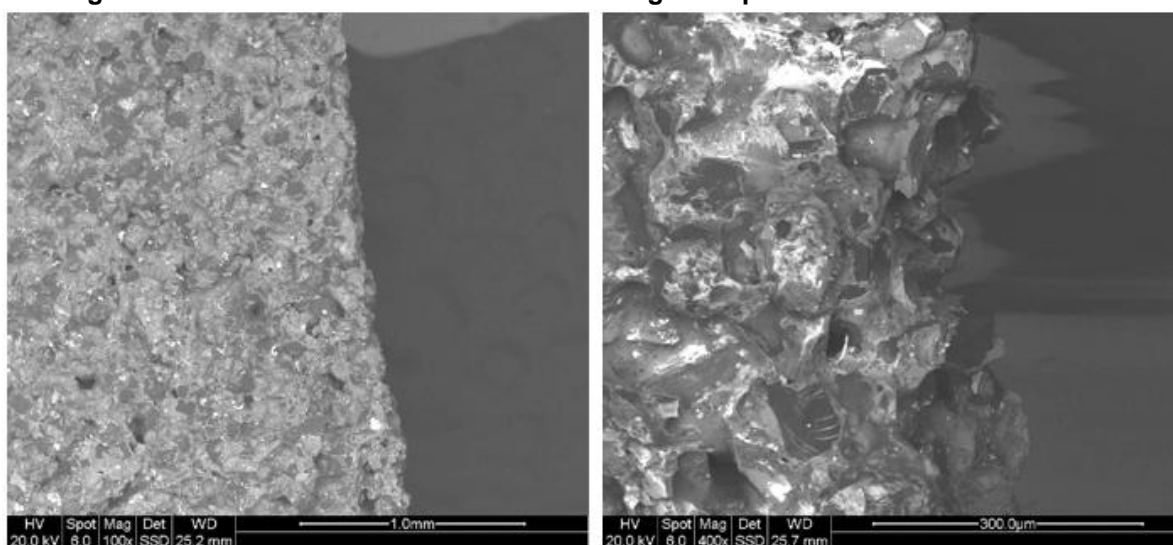
**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Seguindo a sequência de testes o dressador cerâmico com um turno de uso voltou para operação onde permaneceu por mais duas semanas. Após este período foram feitas novas medições de diâmetro e micrografias eletrônicas.

Da análise das micrografias, apresentadas na Figura 32, não é possível identificar mudanças significativas no estado de superfície do dressador cerâmico na condição de uso após duas semanas e mais de 1300 dressagens. Este resultado é compreensível uma vez que o dressador com ligante cerâmico possui característica de ser auto-afiante e pode-se afirmar que devido a isso, continuamente, a camada de partícula abrasiva foi renovada, com o arrancamento das partículas anteriores e a revelação de partículas novas.

Além disso, mudanças significativas não eram esperadas pois o objetivo do dressador é justamente ser capaz de manter sua integridade enquanto reaviva o poder de corte do rebolo, ainda mais em um período curto de tempo como o estudado nesta etapa.

**Figura 31 - Dressador cerâmico e detalhe dos grãos após duas semanas de trabalho**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

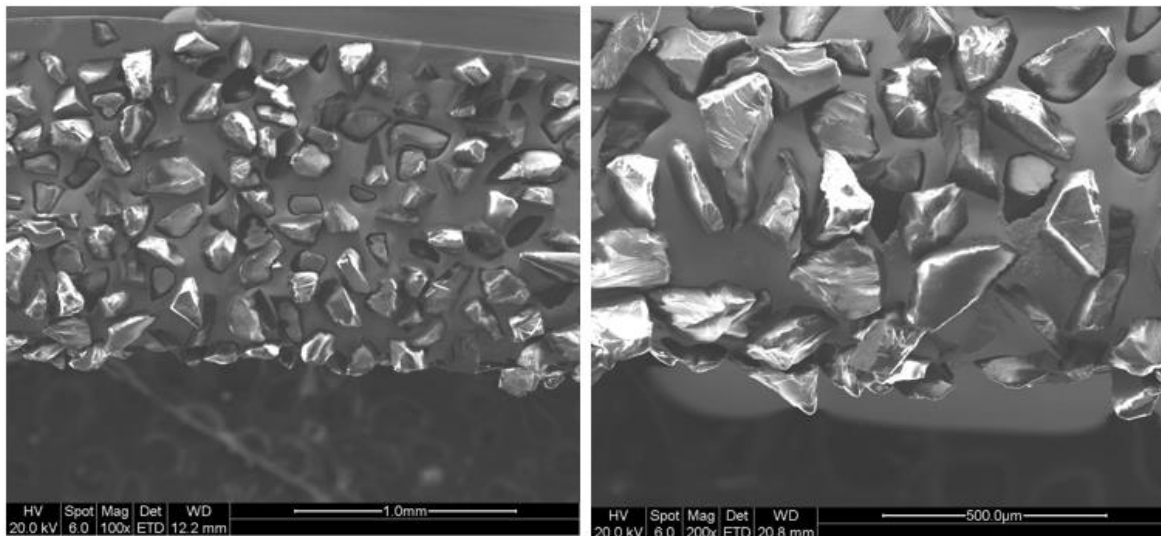
#### 4.2.2 Dressador galvânico

Seguindo a mesma sequência lógica utilizada na análise das micrografias do dressador cerâmico, em um primeiro momento foi feito o mapeamento do estado inicial do dressador, ou seja, em condições de novo. Nesta situação observou-se o estado

inicial do dressador com as características esperadas para uma ferramenta nova, conforme observado na Figura 32.

Conforme imagens, há distribuição uniforme das partículas na matriz galvânica e grão abrasivos protuberantes e pontiagudos conforme o esperado para uma ferramenta desta composição.

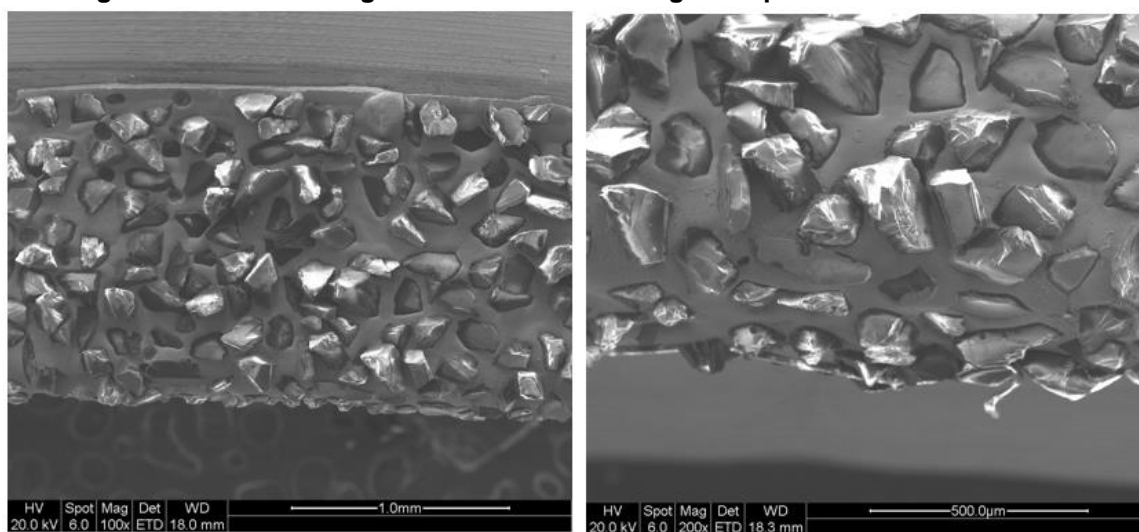
**Figura 32 - Dressador galvânico e detalhe dos grãos com a ferramenta em estado “novo”**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Para um dressador utilizado durante um turno, foram obtidas as imagens da Figura 33, as quais não foi possível verificar alterações estruturais representativas no dressador, seja no ligante ou nas partículas abrasivas, além dos indícios de utilização da ferramenta. O período analisado de 7 horas não foi suficientemente grande para que se pudessem ser evidenciadas mudanças.

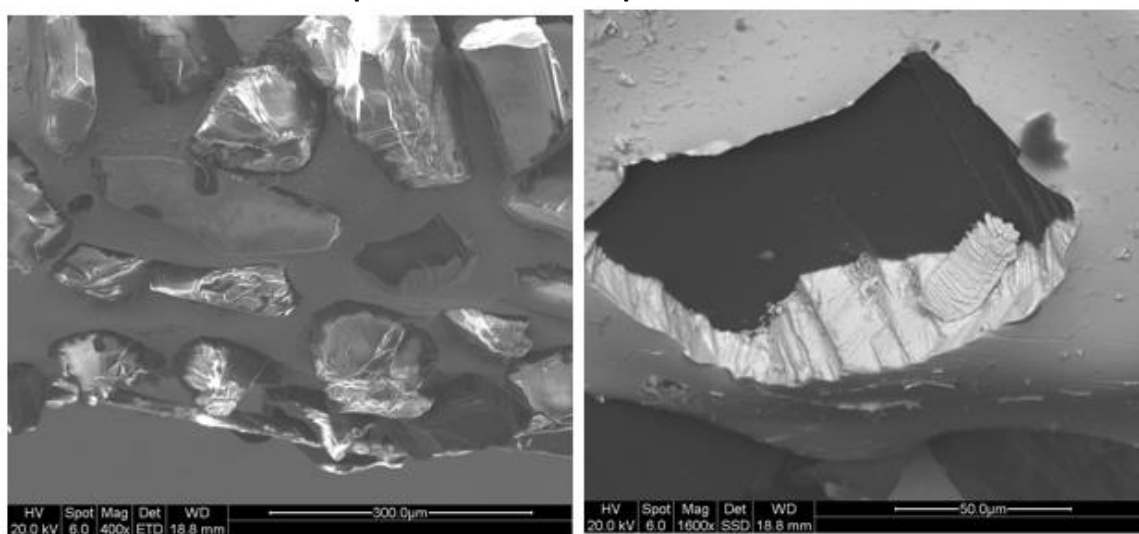
**Figura 33 – Dressador galvânico e detalhe dos grãos após um turno de trabalho**



Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Provavelmente tenha-se como fator relevante a se considerar a evidência de um possível arrancamento de partícula abrasiva após esse período. No detalhe da Figura 34, observa-se um espaço vazio com formato e tamanho compatíveis ao de uma partícula abrasiva. Tal comportamento não era esperado uma vez que o ligante galvânico garante uma maior sustentação das partículas abrasivas. Provavelmente, tratava-se de um grão com pouca penetração no ligante.

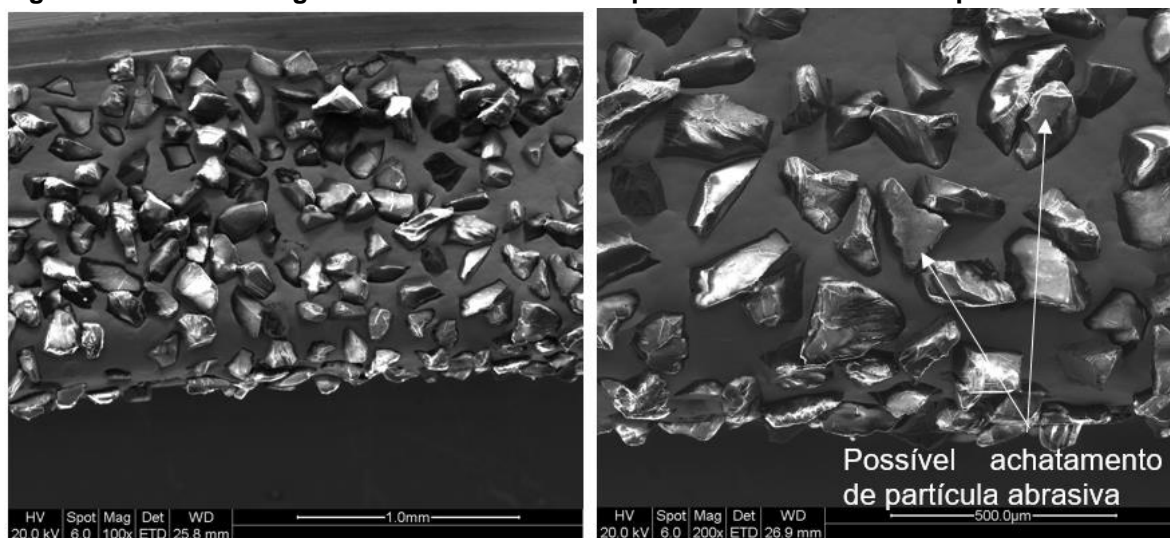
**Figura 34 – Dressador galvânico e detalhamento do espaço vazio possivelmente pelo fato do desprendimento de uma partícula abrasiva**



Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Da análise feita com o dressador galvânico após 10 dias de uso obtiveram-se as micrografias na Figura 35 e observando-as ainda assim não é possível ver detalhes significativos que sejam capazes de julgar o fim de vida da ferramenta.

**Figura 35 – Dressador galvânico e detalhe de um possível achatamento da partícula abrasiva**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Observa-se, sutilmente, na Figura 35 (lado direito), um possível achatamento de partícula abrasiva, entretanto, não se pode afirmar com total convicção de que estas partículas achatadas obtiveram esta condição após os ciclos de operação ou já apresentavam este formato no dressador sem uso, uma vez que não era possível adquirir as imagens exatamente no mesmo ponto anteriormente avaliado.

De modo geral não se encontram diferenças significativas entre o período de dez dias e um dressador novo e, este tipo de conclusão é pertinente uma vez que está se fazendo uma análise da ferramenta de dressar e, espera-se dela, a manutenção das suas características, mesmo após longos ciclos de dressagem.

#### 4.2.3 Comparação final entre dressador cerâmico e galvânico

Após as análises individuais das duas especificações é possível afirmar que os dois dressadores não apresentaram resultados diferentes do esperado para uma ferramenta deste tipo após os períodos de análise, ambos mantiveram o poder de corte ao longo dos dias. O que foi possível identificar nos formatos angulares das partículas abrasivas nas micrografias anteriores.



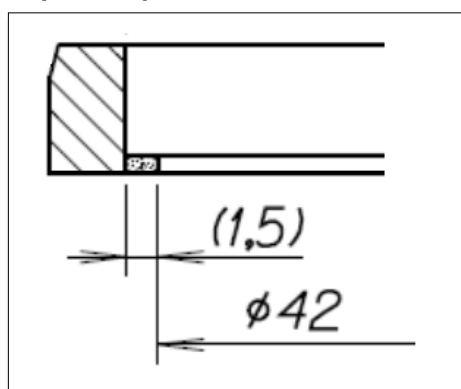
Além disso, os dressadores conforme composição, apresentaram o resultado esperado; o cerâmico apresentando maior ocorrência de desprendimento de partículas abrasivas, característico da composição do ligante, e a constante revelação das camadas inferiores de abrasivo caracterizando o processo de auto afiação; e o galvânico, por sua vez, com uma sustentação maior das partículas na matriz e a ocorrência de possível início de achatamento para algumas partículas, mas esta afirmação trata-se apenas de uma hipótese que requer uma avaliação mais aprofundada.

#### 4.3 TAXA DE DESGASTE

O fator “taxa de desgaste” tem grande importância no custo pois indica basicamente por quanto tempo o anel dressador irá durar, ou seja, qual a sua vida útil. Essa taxa de desgaste foi gerada através das medições dos diâmetros internos do anel dressador, realizadas pelo equipamento “OptivScan 663”.

Desse modo, primeiramente foi constatado através do desenho de fabricação do dressador, que a quantidade de material abrasivo disponível é de 1,5 mm, considerando o raio. No entanto, foi considerado para os cálculos apenas 1,0 mm no raio, ou seja, o limite de uso do dressador é quando o diâmetro interno atinge  $\varnothing 44$  mm, conforme Figura 36.

**Figura 36 – Fração do desenho de fabricação dos anéis dressadores, detalhando a quantidade de material abrasivo disponível para ser usado no dressamento em sua vida útil**



**Fonte: Empresa parceira deste trabalho (2019)**

Com esta sistemática, definiu-se a equação (2), determinada pelos autores, para o cálculo da taxa de desgaste:

$$T_{d(t)} = \frac{\emptyset_{(t)} - \emptyset_{(t-1)}}{Tt_{(t)}} \quad (2)$$

Na Equação (2), (t) representa o dado no tempo exato analisado e (t-1) indica que trata-se do dado “1 tempo antes”, assim,  $T_d$  é a Taxa de desgaste do anel dressador,  $\emptyset$  é o diâmetro dressador, e  $Tt$  é o Tempo de trabalho do anel dressador em horas.

Dessa forma, as taxas de desgaste foram calculadas, no entanto, somente até o tempo em que foram controlados os diâmetros, ou seja, até 2 meses de uso.

Após 2 meses, foram realizadas previsões de desgaste, usando a tendência de aumento do diâmetro em relação aos valores anteriores, fazendo-se assim, projeções aceitáveis de quais seriam o diâmetro nos próximos meses, e assim, sua provável vida útil. Foram criadas e usadas as três próximas equações para a estimativa dessas projeções:

$$Iatx = \frac{Td_{(t-1)}}{Td_{(t)}} \quad (3)$$

$$Tdp_{(t)} = Td_{(t-1)} * Iatx_{(t-1)} \quad (4)$$

$$\emptyset p_{(t)} = (Tdp_{(t)} * Tt_{(t)}) + \emptyset_{(t-1)} \quad (5)$$

Na Equação (3),  $Iatx$  é o índice de aumento da taxa de desgaste, (t) refere-se ao tempo exato que se deseja o dado, nesse caso, “ $Td_{(t-1)}$ ” representa a Taxa de desgaste de “1 tempo anterior” (semana anterior ou mês anterior), e “ $Td_{(t)}$ ” representa a Taxa de desgaste do mesmo tempo analisado.

Na equação (4),  $Tdp_{(t)}$  Taxa de desgaste prevista no tempo que se deseja,  $Td_{(t-1)}$  já foi explicado no parágrafo anterior e  $Iatx_{(t-1)}$  é o índice de aumento da taxa de desgaste de “1 tempo anterior”.

Por fim, na Equação (5), usando a mesma Equação (2), porém isolando  $\emptyset_{(t)}$  e chamando-o de  $\emptyset_{p(t)}$ , sendo ele o diâmetro previsto no tempo analisado,  $\emptyset_{(t-1)}$  é o diâmetro “1 tempo anterior” ao tempo requerido.

Assim sendo, os cálculos foram feitos utilizando o *software Excel* e podem ser visualizados na planilha da Figura 37.

**Figura 37 - Planilha com dados dos diâmetros medidos ao longo do tempo de testes para o cálculo da Taxa de desgaste, e projeções dos diâmetros**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tempo	TURNOS	Horas	$\Delta$ Horas	$\emptyset$ GALVÂNICO	TAXA	ÍNDICE DE AUMENTO DA TAXA	$\emptyset$ CERÂMICO	TAXA	ÍNDICE DE AUMENTO DA TAXA
NOVO	0	0	0	41,981			41,983		
1 TURNO	1	7	7	41,983	0,000286		41,989	0,000857	
1 SEMANA	15	105	98	42,009	0,000265	0,928571	42,076	0,000888	1,035714
2 SEMANAS	30	210	105	42,043	0,000324	1,220513	42,172	0,000914	1,029885
1 MÊS	60	420	210	42,142	0,000471	1,455882	42,399	0,001081	1,182292
2 MESES	120	840	420	42,482	0,000810	1,717172	42,861	0,001100	1,017621
3 MESES	180	1260	420	43,066	0,001390		43,331	0,001119	
4 MESES	240	1680	420	43,650	0,002387		43,801	0,001139	
5 MESES	300	2100	420	44,234	0,004099		44,271	0,001159	

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

A Figura 37 mostra uma planilha com os cálculos da Taxa de desgaste. A primeira coluna é relativa ao tempo, aumentando gradativamente, assim como a 2ª e a 3ª coluna, mostrando o tempo em turnos e horas trabalhadas, respectivamente. Na 4ª coluna, é mostrado a variação do tempo entre o tempo atual e o anterior. Na coluna 5 e 8, nas células brancas, tem-se os diâmetros calculados por meio de equipamentos na empresa parceira (valores em mm). A 7ª coluna, contendo as células verdes, foram calculadas usando a Equação (3), sendo elas o índice de aumento da taxa de desgaste, taxa essa, calculada na coluna 6 (células em amarelo). Ainda na mesma coluna 6, porém, nas células azuis, tem-se as projeções das taxas, com base na Equação (4). E por fim, nas colunas 5 e 8 novamente, tem-se os diâmetros projetados para os próximos “tempos” analisados, calculados usando a Equação (5).

Conforme as próprias equações propõem, a taxa de desgaste foi calculada subtraindo do diâmetro atual o diâmetro anterior, encontrando assim um delta do diâmetro, em seguida, dividiu-se pela quantidade de tempo que o dressador foi usado para formar essa diferença diametral. Por conseguinte, o índice de aumento da taxa foi calculado simplesmente dividindo a taxa de desgaste anterior pela taxa de desgaste atual. E para enfim encontrar o diâmetro previsto, multiplicou-se a taxa de

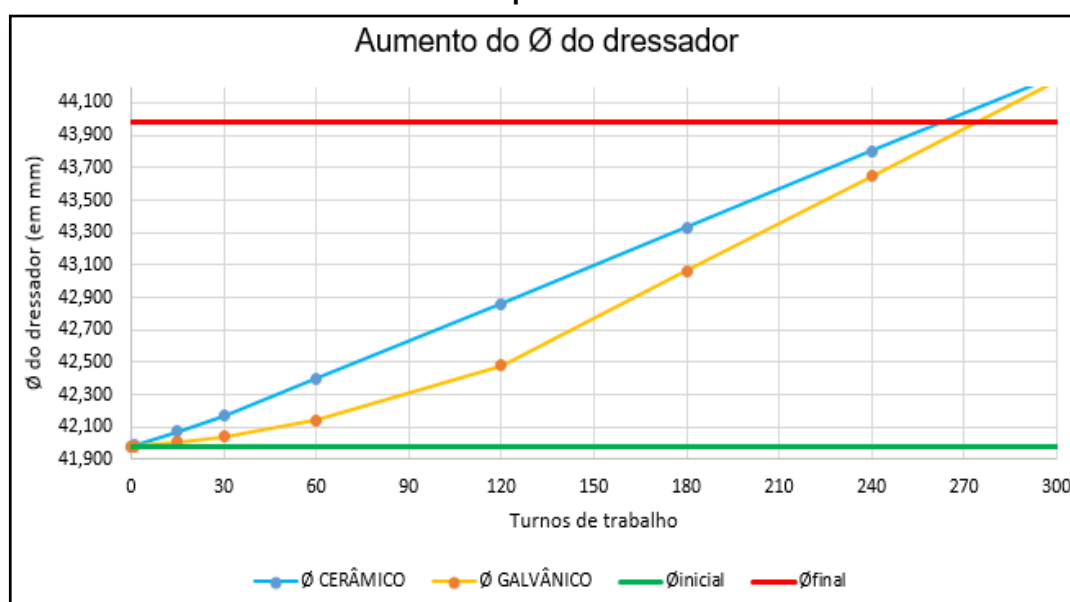
desgaste prevista pelo tempo de operação até se chegar nesse diâmetro, e somou-se com o diâmetro anterior.

Para efeito de exemplificação dos cálculos, o diâmetro previsto de  $\text{Ø}43,066$  mm que o dressador galvânico atingiu com 3 meses de uso foi calculado da seguinte forma. Primeiramente calculou-se a Taxa de desgaste prevista para 1260 horas, considerando a Taxa de desgaste anterior, de 0,00081 e o índice de aumento da taxa anterior, de 1,717172. Dessa forma, com a Taxa de Desgaste para o tempo de 1260 horas, sendo ela 0,00139, multiplicou-se pela quantidade de horas desde a última medição, ou seja, 420 horas, encontrando assim, o incremento que o diâmetro anterior teve nesse intervalo.

#### 4.3.1 Evolução da taxa de desgaste dos anéis dressadores

Para facilitar a compreensão da planilha de cálculos da Figura 37, seguem gráficos gerados também a partir do *software Excel*, os quais ilustram como aconteceu a evolução do desgaste, ou seja, aumento dos diâmetros internos, dos anéis dressadores galvânico e cerâmico, com o passar do tempo.

**Figura 38 - Evolução do aumento do diâmetro interno dos anéis dressadores com o passar do tempo de uso**



Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Conforme pode ser visto na Figura 38, em conjunto com a planilha de cálculos, o diâmetro do anel dressador galvânico, até o tempo em que foram controlados, ou seja, 2 meses de uso, se apresentou menor que o diâmetro do anel dressador cerâmico,  $\varnothing_{galv.} = 42,482$  mm e  $\varnothing_{cer.} = 42,861$  mm.

Isso mostra que ao menos inicialmente, o dressador galvânico tem menor consumo da parte abrasiva, fator clarificado possivelmente pelo fato de que os grãos abrasivos do dressador galvânico, como explicado na Seção 4.2.2, são protuberantes e pontiagudos, já possuindo assim afiamento suficiente desde o início do processo. Essa afiação, como característica dessa especificação de dressador, vai se perdendo ao longo do tempo, entretanto, no início, é quando ocorre a melhor fase dela, ou seja, quando o poder de corte de um dressador galvânico está no seu máximo.

Isso pode ser notoriamente visto na planilha de cálculos, quando avaliada a Taxa de desgaste do dressador galvânico. Fica bem claro que a ferramenta vai perdendo o poder de corte com o passar do tempo, ou seja, à medida que as dressagens vão acontecendo, uns grãos vão se desgastando outros vão se despreendendo, reduzindo assim a agressividade do dressador. Isso reflete na máquina, que ao detectar que a dressagem não aconteceu como o esperado, como explicado na Seção 3.3, pode repetir a operação até que seja corrigida, aumentando ainda mais a deterioração da camada abrasiva. E o índice de aumento da Taxa de desgaste passa de 0,928 na primeira análise para 1,717 na última, exemplificando exatamente o que foi descrito anteriormente.

Já o dressador cerâmico, nas primeiras medições, teve um consumo maior que o galvânico, explicado pela circunstância de que conforme dito na Seção 4.2.1, o dressador cerâmico não está preparado estruturalmente para receber o processo de desgaste inicial do rebolo. Essa etapa do processo é necessária e obrigatória, impossibilitou sua alteração para melhores resultados.

Outro fator importante que pode explicar o maior desgaste inicial do dressador cerâmico é elucidado justamente pela sua especificação. O fato de ter caracterização cerâmica em sua composição, garante que o auto-afiamento ocorra regularmente durante as dressagens.

Isso pode ser ilustrado pela planilha de cálculos da Figura 37, a qual mostra que a Taxa de desgaste do dressador cerâmico é muito mais constante em comparação com a Taxa de desgaste do dressador galvânico: aumento de 1,28 vezes, entre a primeira e a última taxa registrada, do cerâmico e 2,83 vezes maior do

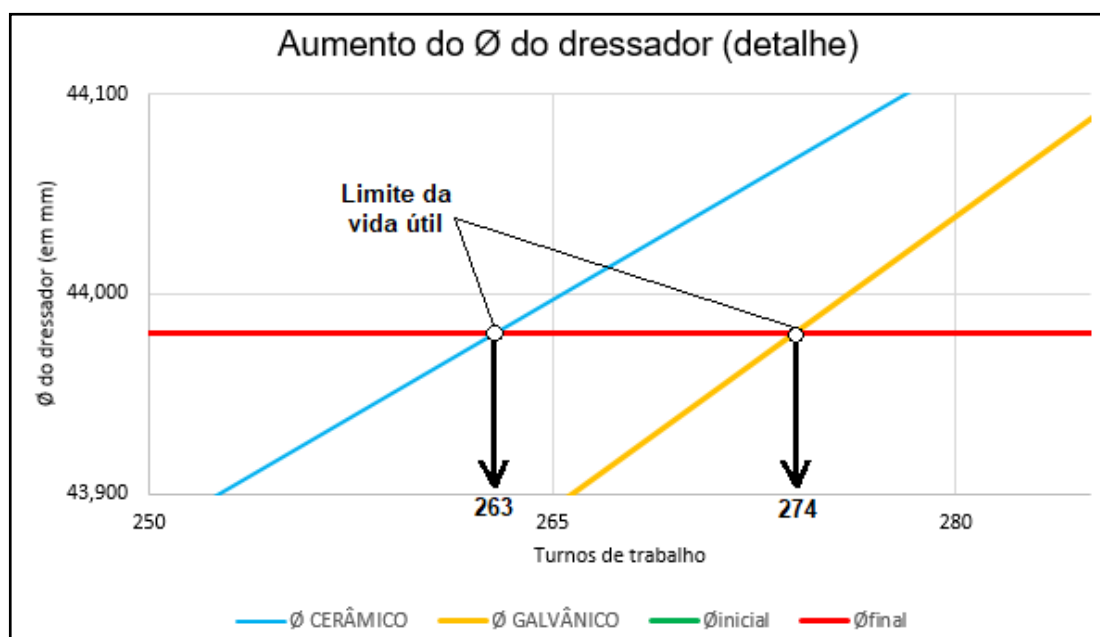
galvânico. Conseqüentemente, o índice de aumento da taxa permanece muito mais constante no dressador cerâmico que o galvânico.

Após os 2 meses de utilização, foram necessários realizar projeções para os próximos dados, seguindo a tendência das últimas informações, como elucidado anteriormente. Dessa forma, seguindo a disposição das ferramentas, é claro a evolução do desgaste do dressador galvânico é mais agressiva que o cerâmico, por conta principalmente da elevação da sua própria taxa de desgaste.

#### 4.3.2 Análise geral considerando a Taxa de desgaste e vida útil dos dressadores

Observando o gráfico da evolução dos diâmetros dos anéis dressadores, fica claro que no início o dressador galvânico tem um desgaste bem menor que o cerâmico, mas que com o passar do tempo, com o aumento do número de dressagens, ele vai se desgastando mais rápido. Esse crescimento, é mostrado na inclinação da curva, a qual se torna até mais íngreme que a curva do cerâmico, após os 2 meses de uso. A vida útil dos dressadores, previstas pelas projeções feitas, são mostradas mais claramente pela ampliação da Figura 39.

**Figura 39 - Detalhe do ponto onde as curvas de desgaste dos anéis dressadores atinge o limite do diâmetro máximo assumido**



Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Considerando os parâmetros e limites assumidos nesse projeto, o anel dressador cerâmico atinge sua vida útil antes que o galvânico, sendo capaz de trabalhar por cerca de 263 turnos, equivalente a 1841 horas de operação, ou ainda 4,38 meses (considerando 5 dias de trabalho por semana, e 4 semanas por mês). Já o dressador galvânico trabalhou 274 turnos, sendo 1918 horas, e 4,57 meses de operação.

Dessa forma, concluiu-se que por mais regular que seja o desgaste do anel cerâmico, ainda assim não vale a pena utiliza-lo, considerando no final das análises, o seu desgaste maior. A pequena taxa de deterioração do dressador galvânico no início, compensa seu grande aumento a partir de aproximadamente metade da vida útil, valendo-se assim, como melhor escolha para a empresa parceira desse projeto.

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS PARA VIABILIDADE DO PROJETO

O objetivo desse trabalho, perante a empresa parceira, sempre foi a comparação entre as ferramentas para embasar uma possível substituição, sendo ela rentável em qualidade e/ou retorno financeiro.

Diante disso, e após a avaliação completa dos indicadores de reconhecimento qualitativo do processo não apresentarem resultado suficientemente aceitáveis para a substituição, será imprescindível então uma ponderação financeira nessa fase do projeto.

##### 4.4.1 Custos gerais do processo

A seguir, na Tabela 13, constam os preços dos ferramentais comercializados pela empresa parceira do projeto, no ano de 2019.

**Tabela 13 – Valores e conversões monetárias dos anéis dressadores comercializados pela empresa parceira**

<b>FERRAMENTA</b>	<b>Valor em EUR</b>	<b>Cotação EUR/BRL em Set/2019</b>	<b>Valor em BRL</b>
<b>Anel Dressador Galvânico</b>	162 EUR	1 BRL =	729 BRL
<b>Anel Dressador Cerâmico</b>	404 EUR	4,50 EUR	1.818 BRL

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Para essa avaliação, foram considerados diversos fatores capazes de influenciar o custo final, no entanto, com o andamento do projeto, percebeu que os valores comerciais empregados entre o fornecedor e a empresa parceira, eram muito divergentes. Conforme visto na Tabela 13, o dressador cerâmico é 2,49 vezes mais caro que o dressador galvânico. Essa disparidade, inviabilizaria a substituição, se não houvesse algum incremento no projeto, capaz de justificar economicamente a troca.

Dessa forma, foram realizados testes, para avaliar a possibilidade de aumentar o intervalo de dressagem, para assim, viabilizar a troca. Esses testes, seguem nas seções seguintes.

#### 4.5 ANÁLISE DA POSSIBILIDADE DE AUMENTO DO INTERVALO DE DRESSAGEM COM O USO DO DRESSADOR CERÂMICO

Uma das possibilidades que seriam avaliadas após a conclusão dos testes seria o aumento do intervalo de dressagem do rebolo. E isso foi reforçado após os valores de  $C_m$  e  $C_{mK}$  não apresentarem resultados convincentes por si só, e os custos do dressador cerâmico se apresentarem com um aglomerado bem maior que o galvânico, essa possibilidade se tornou real no meio desse projeto.

O intervalo de dressagem usado nos testes foi de 16 peças, ou seja, a cada 16 peças o rebolo era novamente afiado pelo dressador. E com essa expectativa de aumentar o intervalo, o desempenho tanto do dressador quanto do rebolo seriam afetados, pois inevitavelmente a vida útil de cada ferramenta aumentaria.

Maiores explicações sobre o método de como foram colhidas as amostras para os cálculos do  $C_p$  e  $C_{pK}$ , foram explicadas na Seção “Materiais e Métodos”, nesse mesmo trabalho. No entanto, vale ainda o esclarecimento referente à ordem de retirada das peças medidas. Foram removidas do lote as seguintes peças:

- Imediatamente anterior à dressagem: 16<sup>a</sup>, 32<sup>a</sup>, 48<sup>a</sup>, e assim por diante;
- E imediatamente após a dressagem: 17<sup>a</sup>, 33<sup>a</sup>, 49<sup>a</sup> peça da ordem, e assim, progressivamente.

Deste modo, se compôs o conjunto de “peças antes da dressagem” e o conjunto de “peças depois da dressagem”.

Logo, a análise para qualificar a possibilidade de aumento do intervalo de dressagem será feita examinando a diferença de nível das peças antes e depois de



cada reafiação do rebolo. Deste modo, ao se perceber essencialmente que as “peças antes da dressagem” ainda estão num nível de aprovação aceitável, reflexo de um rebolo com o poder de corte ainda permissível, entende-se que futuramente poderá haver um aumento do intervalo de dressagem.

#### 4.5.1 Análise das médias, Cp e CpK das características medidas

A seguir, na Tabela 14, os resultados calculados de Cp e CpK das características representativas, e nas próximas seções, as respectivas avaliações parciais de cada característica.

**Tabela 14 - Valores de média, Cp e CpK das características medidas, utilizando para isso peças antes e depois da dressagem.**

CARACTERÍST.	LIE	LSE	PÇS ANTES DRESSAGEM			PÇS APÓS DRESSAGEM		
			Média	Cp	CpK	Média	Cp	CpK
<b>Ø Mín.</b>	3,999	4,007	4,002532	3,67	3,24	4,002764	4,25	4,00
<b>Ø Máx.</b>	3,999	4,007	4,002828	3,57	3,42	4,003032	4,90	4,86
<b>Cilindricidade</b>	-	1,0	0,59908	-	0,72	0,55292	-	1,29
<b>Circularidade 1</b>	-	0,8	0,32680	-	3,77	0,25920	-	1,78
<b>Circularidade 2</b>	-	0,8	0,3436	-	2,99	0,2716	-	2,70
<b>Rugosidade Rz</b>	-	2,0	0,7752	-	4,46	0,7196	-	4,48
<b>Retilidade 1</b>	-	1,0	0,27520	-	1,36	0,24840	-	3,14
<b>Retilidade 2</b>	-	1,0	0,23800	-	0,96	0,20196	-	8,64

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

##### 4.5.1.1 Diâmetro Mínimo e Diâmetro Máximo

**Tabela 15 - Valores de média, Cp e CpK das características Ø Mín e Ø Máx, usando peças antes e depois da dressagem**

CARACTERÍST.	LIE	LSE	PÇS ANTES DRESSAGEM			PÇS APÓS DRESSAGEM		
			Média	Cp	CpK	Média	Cp	CpK
<b>Ø Mín.</b>	3,999	4,007	4,002532	3,67	3,24	4,002764	4,25	4,00
<b>Ø Máx.</b>	3,999	4,007	4,002828	3,57	3,42	4,003032	4,90	4,86

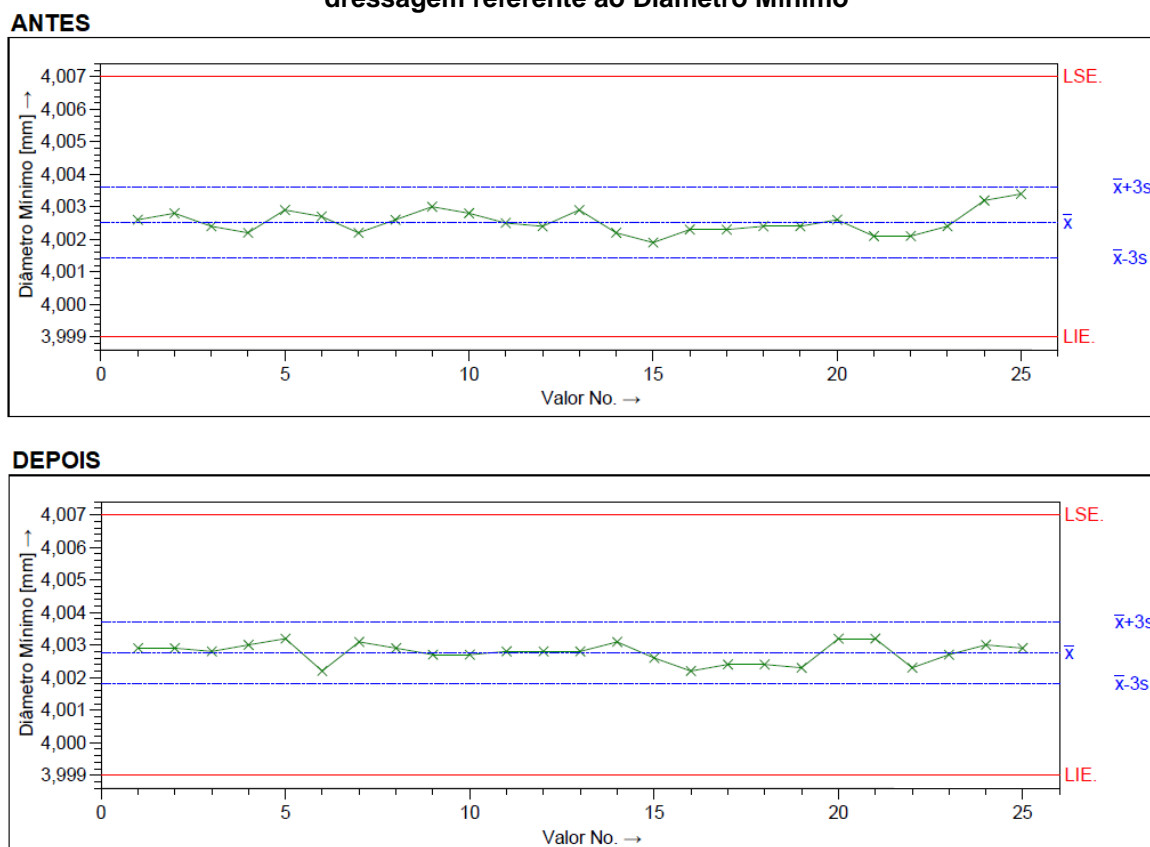
Fonte: Autores deste trabalho (2019)

As duas características da Tabela 15, referentes ao diâmetro da guia do corpo apresentaram melhoria após a dressagem, ou seja, o dressador cumpriu com sua

função esperada de reafiar o rebolo, e conseqüentemente, melhorar o nível das peças retificadas. Tanto a média das medidas do diâmetro mínimo quanto do diâmetro máximo ficaram mais próximas do diâmetro central, de  $\varnothing 4,0030$ . E conseqüentemente, Cp e CpK aumentaram.

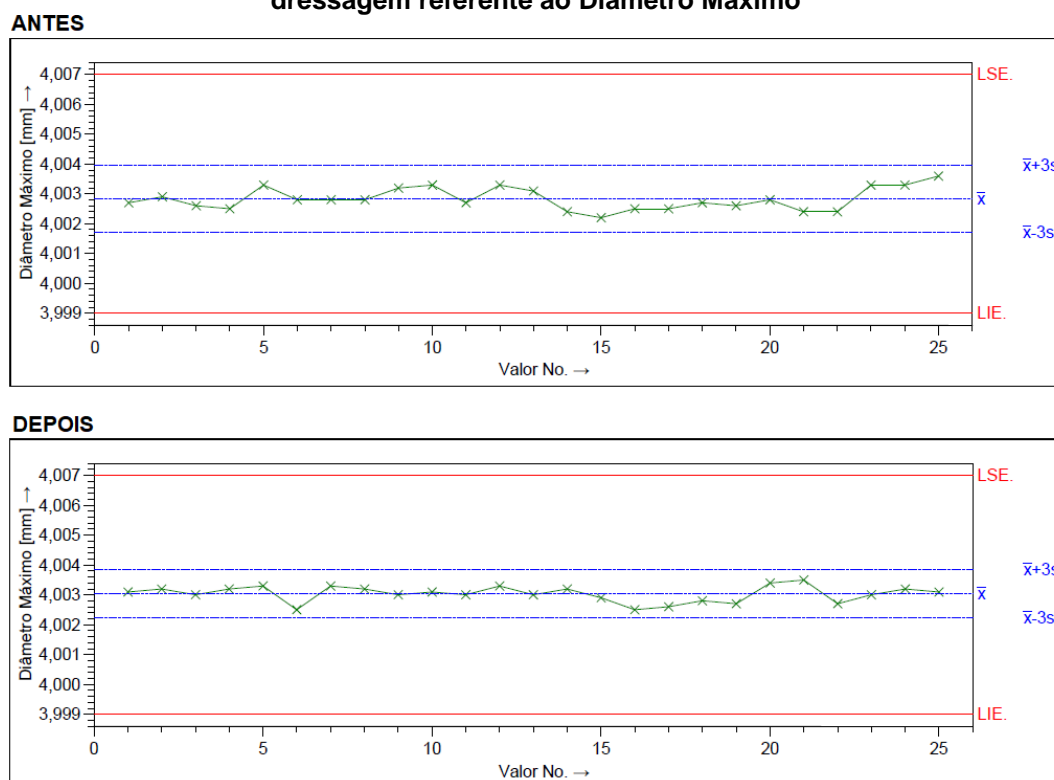
Conforme Figura 40 e Figura 41, os diâmetros se apresentam como características estáveis, tanto antes quanto depois da dressagem. A diferença entre as médias foi de apenas  $0,2 \mu\text{m}$  ( $0,00002 \text{ mm}$ ). E como as peças anteriores à dressagem mantiveram o Cp e CpK ainda alto, acima de 3,00, a conclusão parcial, considerando apenas essas características, é de que o aumento de intervalo de dressagem seria plausível.

**Figura 40 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente ao Diâmetro Mínimo**



Fonte: Autores deste trabalho (2019)

**Figura 41 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente ao Diâmetro Máximo**



Fonte: Autores deste trabalho (2019).

#### 4.5.1.2 Cilindricidade

**Tabela 16 - Valores de média, Cp e CpK da característica Cilindricidade, usando peças antes e depois da dressagem**

CARACTERÍST.	PÇS ANTES DRESSAGEM			PÇS APÓS DRESSAGEM				
	LIE	LSE	Média	Cp	CpK	Média	Cp	CpK
<b>Cilindricidade</b>	-	1,0	0,59908	-	0,72	0,55292	-	1,29

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

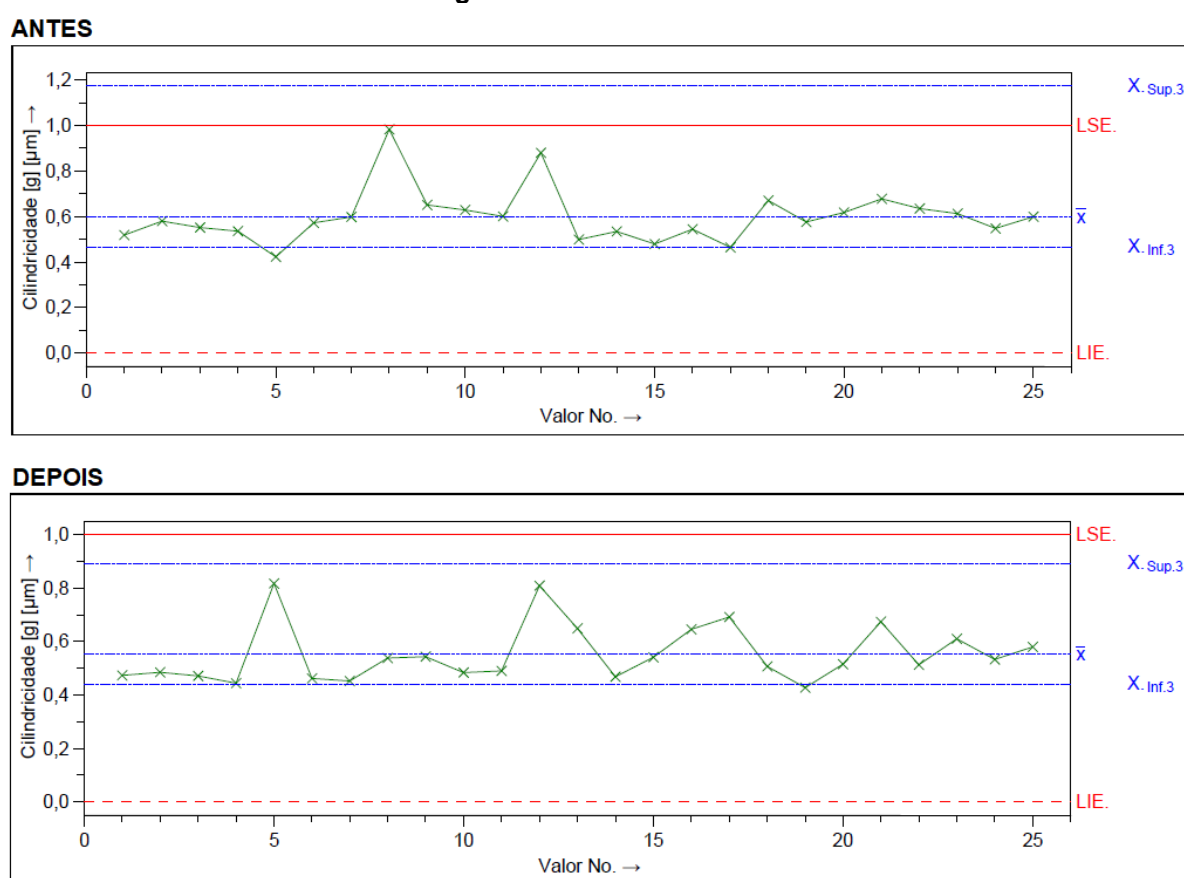
Os resultados da Cilindricidade apontados na Tabela 16, se mostraram condizentes com o que se esperava. Após a dressagem, a média das peças reduziu e o CpK aumentou.

No entanto, mesmo com a média das medidas crescendo apenas 4,6  $\mu\text{m}$  (0,004676mm), cerca de 8% de aumento, observando a plotagem dos dados na Figura 42, percebe-se claramente que no decorrer da operação, duas peças destoaram dos valores do restante. As peças 8 e 12, ficaram bem próximas do LSE (Limite Superior de Engenharia), o que compromete afirmar que o rebolo ainda estava em plenas

condições de afiação, ou seja, ainda capaz de retificar e manter o mesmo nível de qualidade após a 16ª peça.

Portanto, considerando essa característica, não seria capaz de garantir que o intervalo de dressagem poderia ser aumentado. Essas duas peças refletem um processo que o ciclo já está no limite. Isso gera uma possibilidade, que se o rebolo tivesse retificado mais uma, ou duas peças, provavelmente elas ficariam até fora do LSE, prejudicando toda a confiabilidade do processo como um todo.

**Figura 42 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Cilindricidade**



Fonte: Autores deste trabalho (2019)

#### 4.5.1.3 Rugosidade Rz

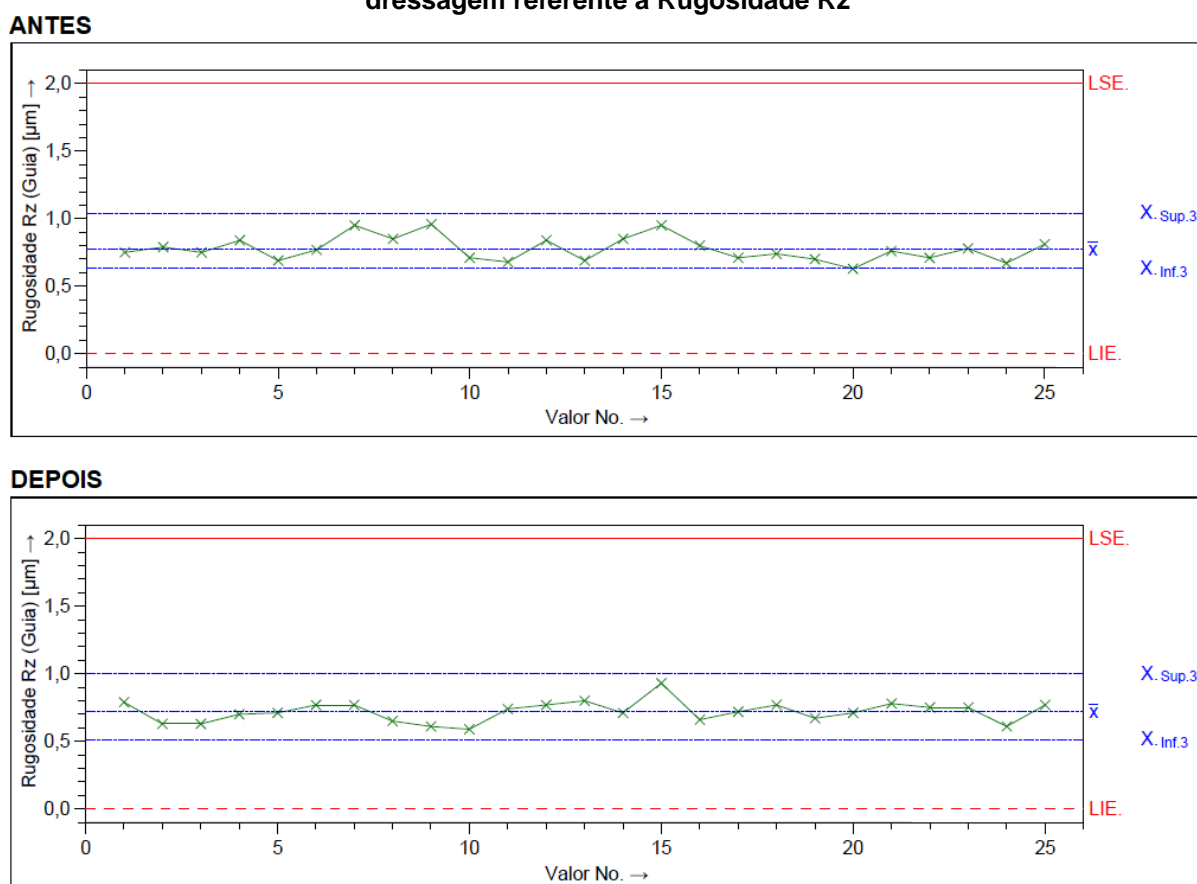
**Tabela 17 - Valores de média, Cp e CpK da característica Rugosidade, usando peças antes e depois da dressagem**

CARACTERÍST.	PÇS ANTES			PÇS APÓS DRESSAGEM				
	LIE	LSE	Média	Cp	CpK	Média	Cp	CpK
<b>Rugosidade Rz</b>	-	2,0	0,7752	-	4,46	0,7196	-	4,48

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

A Rugosidade Rz das peças, disposta na Tabela 17, foi uma das características que se apresentaram mais estáveis entre peças antes e depois da dressagem. Mesmo com a média dos valores medidos, como visto na Figura 43, aumentando ao longo do intervalo de dressagem completo, (pouco mais de 0,05  $\mu\text{m}$ , cerca de 7,7%), o CpK mante-se praticamente igual, o que reflete um resultado que não mostra grandes complicações se o intervalo de dressagem fosse aumentado.

**Figura 43 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Rugosidade Rz**



Fonte: Autores deste trabalho (2019)

#### 4.5.1.4 Circularidade 1 e Circularidade 2

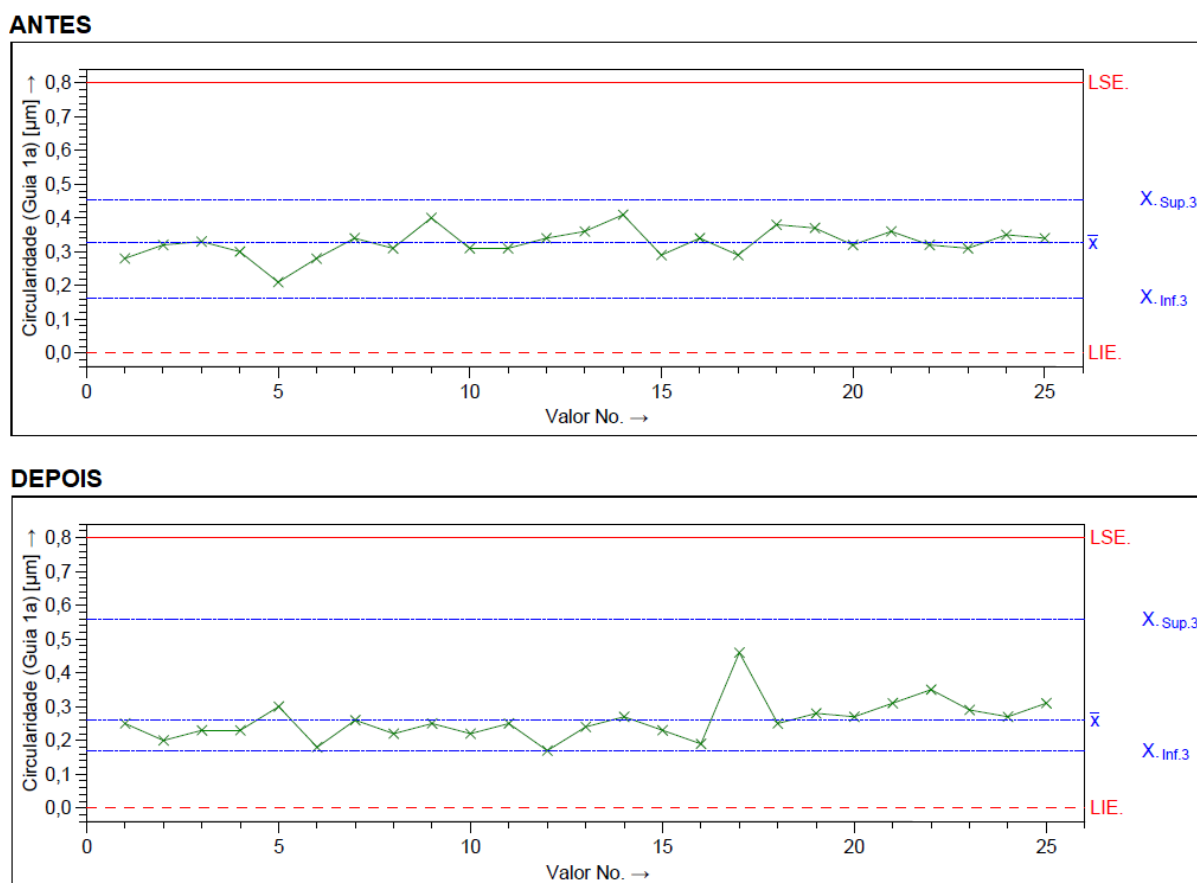
**Tabela 18 - Valores de média, Cp e CpK das características Circularidade 1 e 2, usando peças antes e depois da dressagem**

CARACTERÍST.			PÇS ANTES DRESSAGEM			PÇS APÓS DRESSAGEM		
	LIE	LSE	Média	Cp	CpK	Média	Cp	CpK
<b>Circularidade 1</b>	-	0,8	0,32680	-	3,77	0,25920	-	1,78
<b>Circularidade 2</b>	-	0,8	0,3436	-	2,99	0,2716	-	2,70

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Como verificado na Tabela 18, a Circularidade 1 das peças depois da dressagem, apresentou divergências entre médias e CpK, muito em função de uma peça específica (peça 17), que ficou desnivelada do restante, conforme pode ser visto no gráfico seguinte, na Figura 44.

**Figura 44 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Circularidade 1**



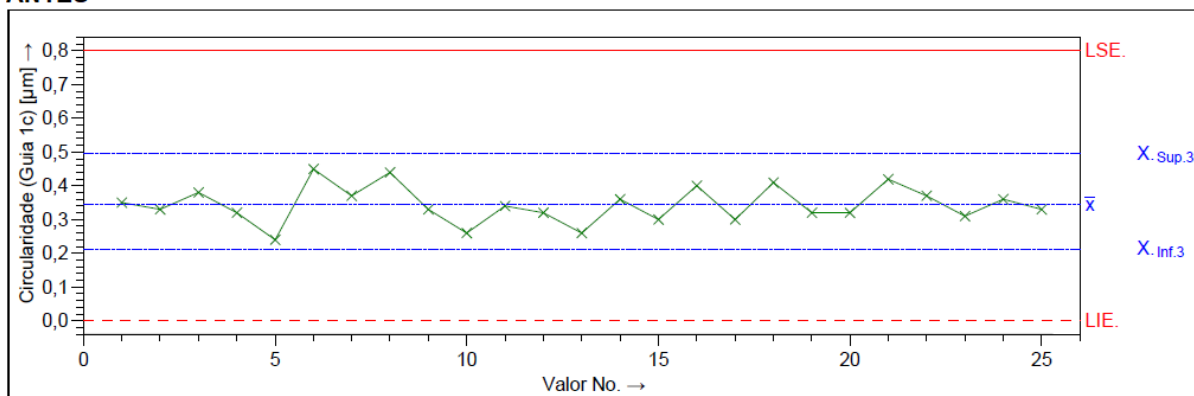
**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

A média das peças antes da dressagem ficou maior 0,0676  $\mu\text{m}$ , mais de 26% de aumento, em relação aos valores das peças após a dressagem.

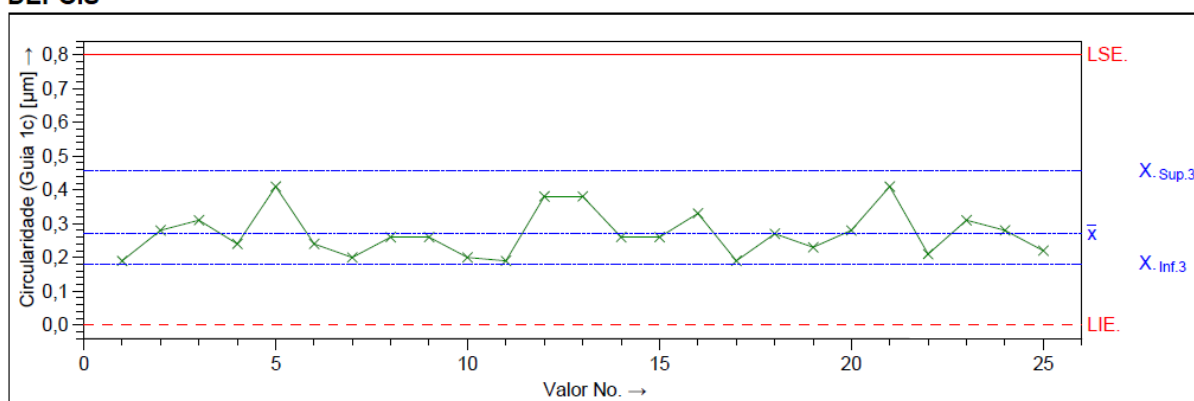
Dessa forma, olhando-se apenas o CpK e somente essa característica, seria possível afirmar que o intervalo de dressagem pode ser aumentado. No entanto, a média tem muita influência na avaliação final, e nesse caso, se a peça 17 fosse excluída da análise, o CpK provavelmente seria maior que o CpK das peças antes da dressagem.

**Figura 45 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Circularidade 2**

**ANTES**



**DEPOIS**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Já a Circularidade 2 se mostrou mais estável em relação ao CpK, como observado na Figura 45, na comparação entre as peças antes e depois da dressagem. Os valores ficaram bem próximos. Entretanto, avaliando novamente a média entre as medições das peças, deparou-se com uma diferença tão grande quanto a Circularidade 1, dessa vez, ficando 0,072 μm maior, ou seja, crescimento de 26,5% nos valores absolutos.

Tanto os aumentos das médias da Circularidade 1 quanto da Circularidade 2 foram consideráveis, todavia, ainda assim não chegaram nem na metade do LSE, ou seja, o processo se apresentou ainda relativamente confiável.

## 4.5.1.5 Retilidade 1 e Retilidade 2

**Tabela 19 - Valores de média, Cp e CpK das características Retilidade 1 e 2, usando peças antes e depois da dressagem**

CARACTERÍST.	LIE	LSE	PÇS ANTES DRESSAGEM			PÇS APÓS DRESSAGEM		
			Média	Cp	CpK	Média	Cp	CpK
<b>Retilidade 1</b>	-	1,0	0,27520	-	1,36	0,24840	-	3,14
<b>Retilidade 2</b>	-	1,0	0,23800	-	0,96	0,20196	-	8,64

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Antes de avaliar as próximas características, é importante explicar brevemente a diferença entre as 2, já que na análise de CmK, só foi considerada uma delas. A única distinção é que a Retilidade 1 é medida em qualquer lugar do perímetro do diâmetro, considerado então 0°, e a Retilidade 2 é medida a 90° da Retilidade 1.

Ambas as Retilidades, mostradas na Tabela 19, apresentaram um resultado que no geral, reflete o teste como um todo. Médias maiores das peças antes da dressagem, CpKs menores, peças específicas que divergiram demais do restante. Enfim, diversos fatores que levaram ao resultado tão oposto numericamente.

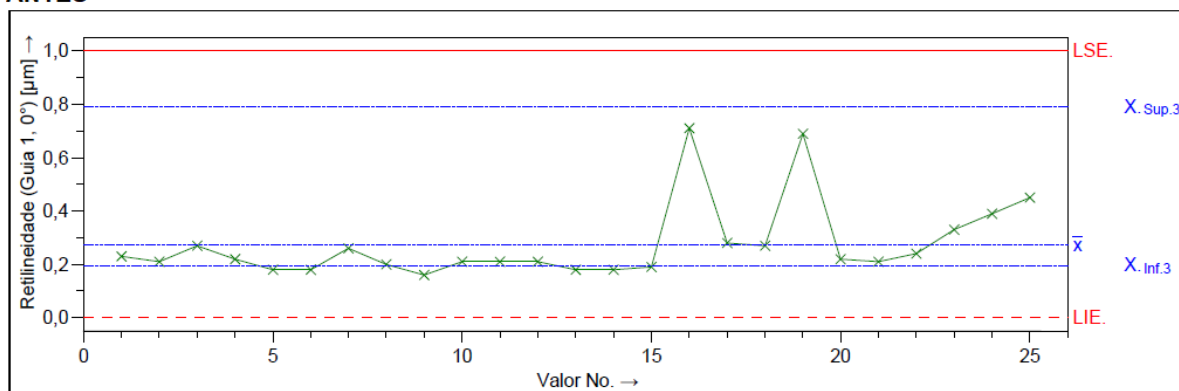
A média da Retilidade 1 cresceu em torno de 0,027  $\mu\text{m}$  (cerca de 10%) e a média da Retilidade 2 aumentou 0,036  $\mu\text{m}$ , em torno de 18%. O aumento não é muito distante do esperado, e considerando o LSE, a distância é grande ainda para afetar a confiabilidade geral do processo. Os valores medidos estão dispostos no gráfico da Figura 46.

No entanto, ao se analisar o CpK, a dissemelhança é bastante considerável, já que na Retilidade 2, por exemplo, o indicador aumentou exatamente 9 vezes. Mesmo assim, com essa disparidade apresentada, o fator considerado na avaliação da Circularidade, pode ser apontado também como justificativa para essa situação.

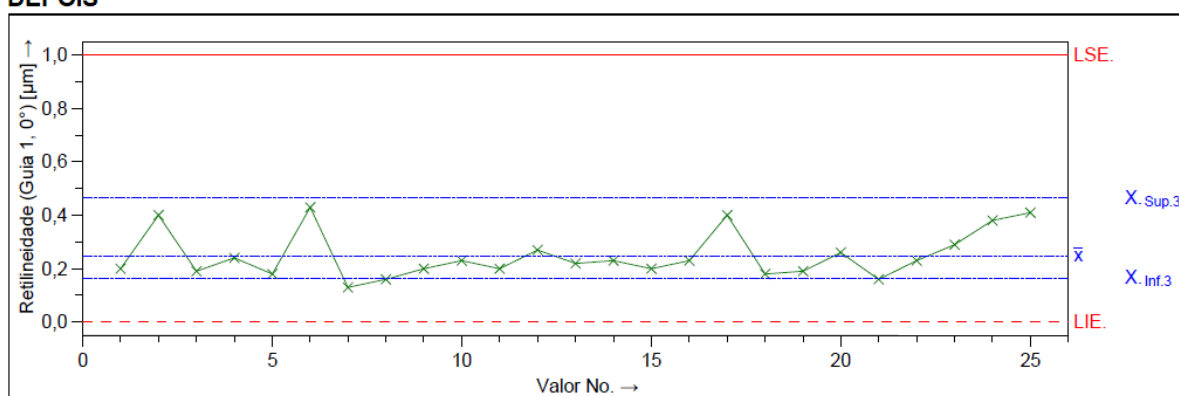


**Figura 46 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Retilidade 1**

**ANTES**



**DEPOIS**



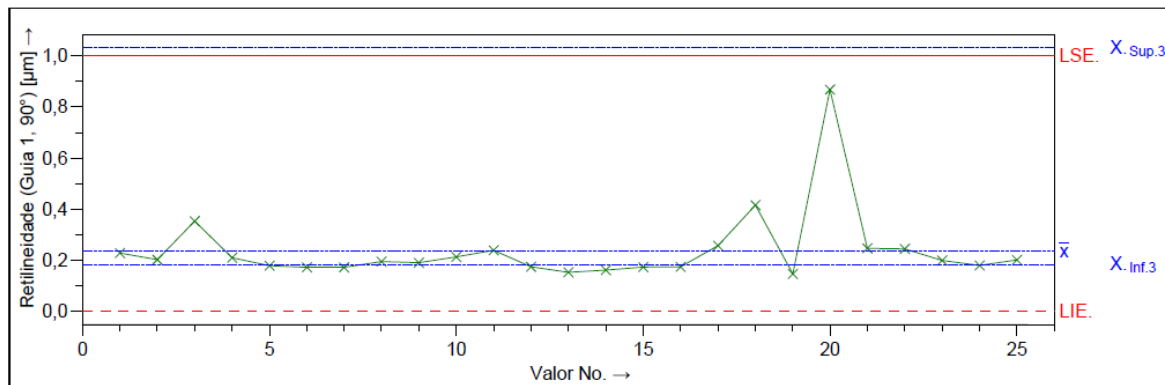
**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Conforme pode-se ver nos gráficos das Figura 46 e Figura 47, 3 peças específicas desviaram-se totalmente da tendência, na Retilidade 1 as peças 16 e 19, e na Retilidade 2, a peça 20. Acredita-se que por esse fato, o CpK apresentado foi tão baixo, o que não exclui o fato de que peças assim demonstram que o processo pode estar em seu limite. Assim, reforça-se ainda mais a tese de que, considerando apenas essa característica, o processo não seria capaz de absorver um aumento no intervalo de dressagem.

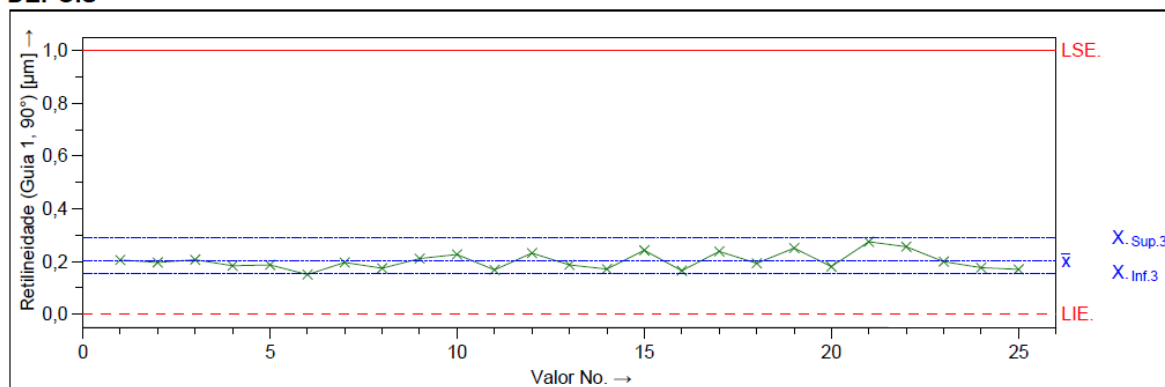
Excluindo-se esses valores, (considerando que as peças poderiam estar sujas no momento da medição ou por qualquer desvio do próprio processo de medição, como operador diferente no equipamento medidor), pode-se ter valores de CpK mais justos e mais coerentes com o restante das medidas.

**Figura 47 - Plotagem dos valores medidos na comparação entre as peças antes e depois da dressagem referente à Retilidade 2**

**ANTES**



**DEPOIS**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

#### 4.5.1.6 Conclusão das análises das médias, Cp e CpK

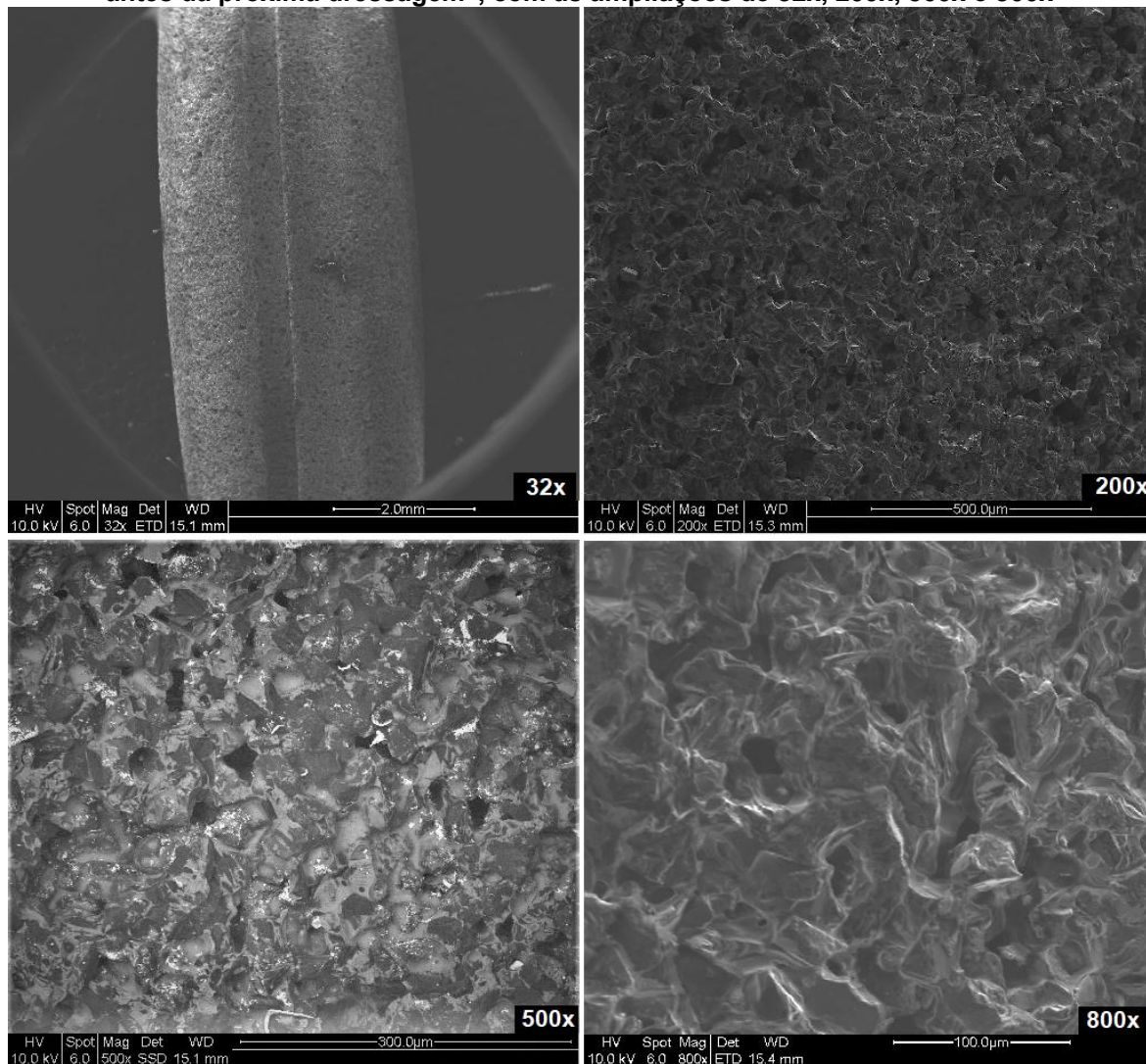
Conforme pode-se constatar anteriormente, a comparação de desempenho entre as peças antes da dressagem acontecer e depois, não foram suficientes para sustentar o argumento para acréscimo no intervalo de dressagem.

As características observadas tiveram uma piora de desempenho já esperado, todavia, o nível de decréscimo na qualidade foi maior que o suportado, ou seja, não seria seguro realizar o aumento do espaçamento de dressagem.

Ainda assim, para assegurar que essa conclusão também tinha comprovação qualitativa, foram registradas por meio de fotografias no MEV, o comportamento do rebolo, como nos dados colhidos com as peças, ou seja, imediatamente antes da próxima dressagem e imediatamente depois da dressagem (sem retificar nenhuma peça após a reafiação).

Essas próximas imagens, são exatamente do rebolo responsável por retificar as peças para a avaliação anterior, de antes e depois da dressagem. À vista disso, seguem imagens obtidas.

**Figura 48 – Conjunto de imagens obtidas pelo MEV do rebolo no estado de “imediatamente antes da próxima dressagem”, com as ampliações de 32x, 200x, 500x e 800x**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

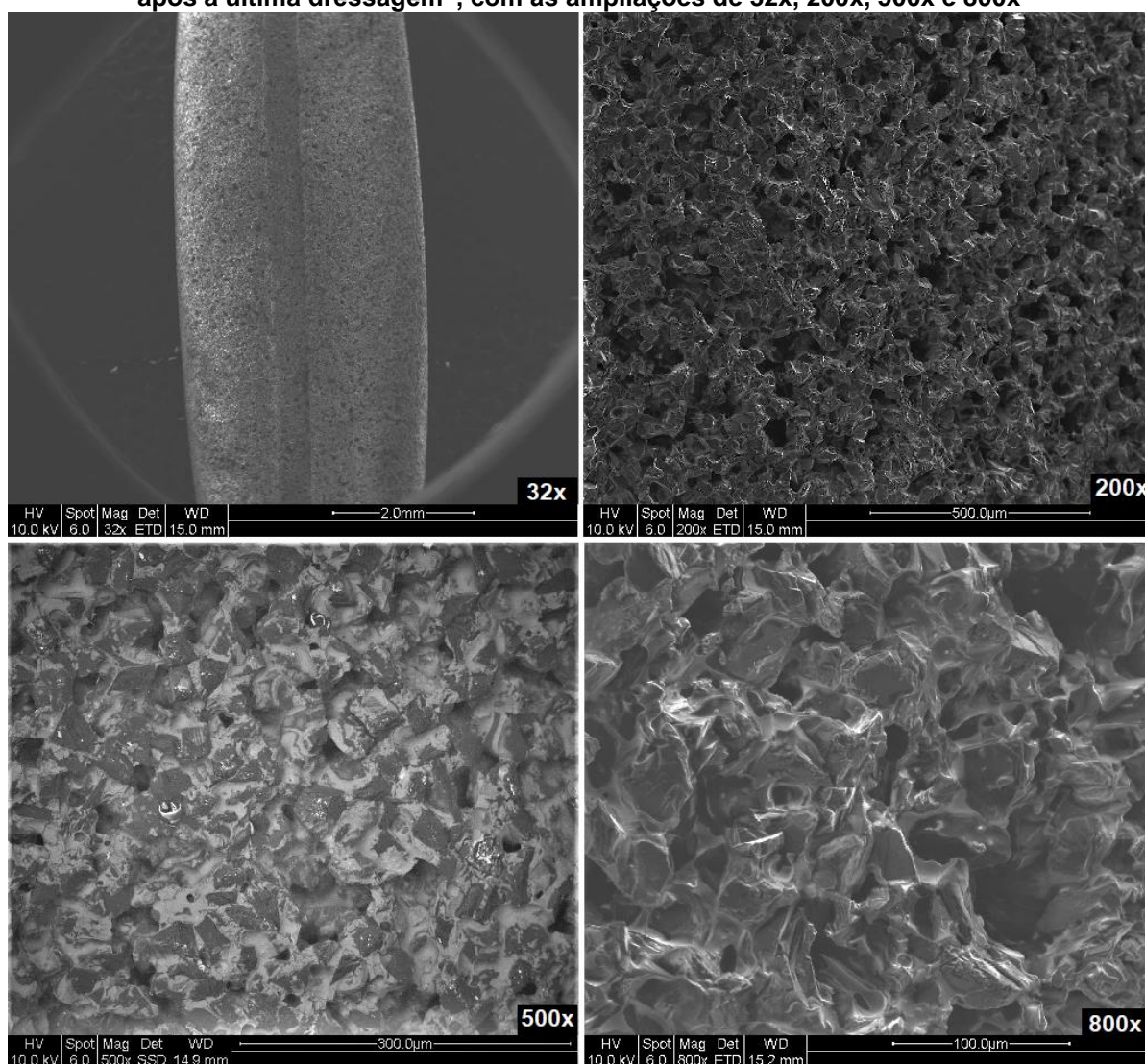
Conforme Figura 48 em comparação com a Figura 49, pode-se perceber que o rebolo após a dressagem apresenta um estado muito mais afiado e pontiagudo do que o rebolo antes da dressagem. Após a imagem de 200x em diante, essa constatação fica mais clara quando observado os contornos dos grãos abrasivos na superfície avaliada.

Na imagem de 200x, é consideravelmente fácil de apurar, que os grãos estão muito mais cortantes na imagem após a dressagem. Isso é evidenciado através da luz

que reflete nos próprios grãos, que estão mais altos e proeminentes na superfície do rebolo, deixando a imagem mais clara e os contornos dos grãos mais perceptíveis.

Já nas imagens com ampliação de 500x e 800x, fica visível também observar, com um pouco mais de atenção e detalhamento, que os grãos abrasivos da imagem do rebolo antes da dressagem, possuem uma quantidade muito mais do ligante, espalhado sobre a superfície. Já na imagem do rebolo após dressagem, percebe-se que o ligante (partes mais esbranquiçadas) está menos perceptível, ou seja, os grãos (partes mais escuras) ficam mais evidentes. Isso garante que o poder de corte seja maior e mais efetivo nesse tipo de caso.

**Figura 49 - Conjunto de imagens obtidas pelo MEV do rebolo no estado de “imediatamente após a última dressagem”, com as ampliações de 32x, 200x, 500x e 800x**



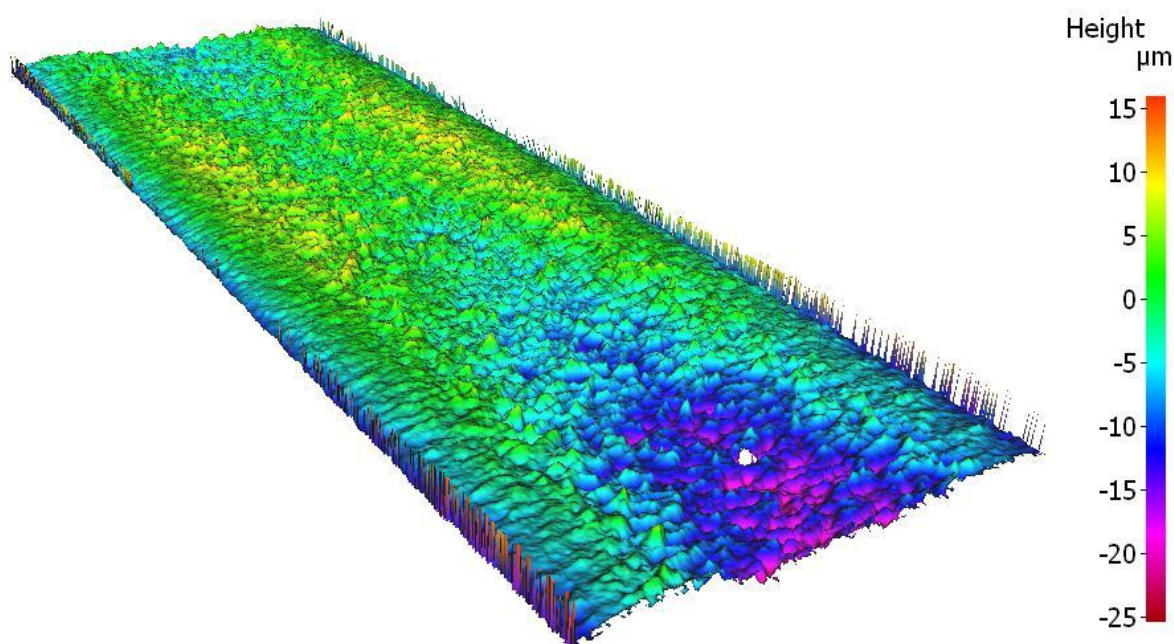
**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

#### 4.5.2 Medições Ópticas 3D da guia planificada

A fim de agregar nas conclusões feitas anteriormente, perante os cálculos de CpK das peças antes e depois da dressagem, foi realizada uma análise alternativa, dessa vez, utilizando-se de medições ópticas, geradas a partir do equipamento “Alicona” (explicada na seção de “Materiais e Métodos”).

A seguir, seguem as imagens geradas, valendo-se da capacidade do equipamento em planificar superfícies cilíndricas, como é a guia do corpo. A Figura 50 refere-se a uma peça retificada imediatamente antes da dressagem, e a Figura 51, a uma peça logo após uma dressagem do rebolo.

**Figura 50 - Medição óptica 3D da rugosidade da guia planificada de uma peça antes da dressagem**



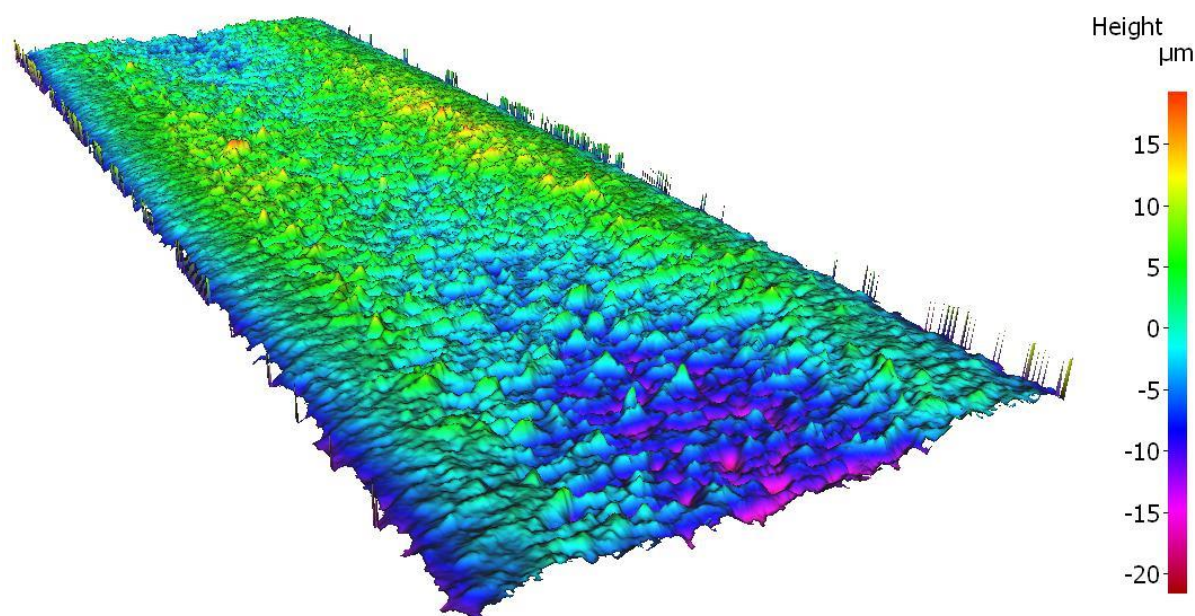
**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Analisando a imagem da guia que foi retificada por um rebolo antes da dressagem, e considerando que ela foi planificada para melhor visualização, percebe-se que no início da planificação, na porção mais centralizada, a Rugosidade, ou altura da superfície, é mais profunda e agressiva. O motivo para isso, é possivelmente em relação ao movimento de entrada e saída do rebolo, no momento da retificação. Isso ocorre também no final da guia, porém, em menor intensidade.

O mesmo fenômeno acontece na imagem gerado referente a guia do corpo retificado imediatamente após uma dressagem (Figura 51), com algumas diferenças

de intensidade, no entanto, ocorre de forma semelhante. Essas áreas, segundo a escala, são representadas na cor azul, roxo e até rosa.

**Figura 51 - Medição óptica 3D da rugosidade da guia planificada de uma peça depois da dressagem**



**Fonte: Autores deste trabalho (2019)**

Comparando as duas imagens 3D gerados pelo equipamento, somente de forma visual fica difícil compreender exatamente quais os valores entre picos e vales da superfície. Dessa forma, é gerado juntamente com as imagens um relatório, com todos os parâmetros S de rugosidade 3D para que seja possível analisar a face da peça. Esses parâmetros explicam numericamente a disposição espacial e as propriedades espaciais da superfície analisada.

A Tabela 20 explica cada um dos parâmetros S que serão utilizados na sequência do estudo para explicar a morfologia da superfície. Esses parâmetros são indicadores de amplitude comumente utilizados a fim de analisar as rugosidades de determinada superfície, principalmente quando a análise é realizada em 3D. Eles são essenciais pois somente uma ponderação bidimensional talvez não seja suficiente para comprovar nenhum resultado ou afirmação, entretanto, com um diagnóstico tridimensional, como a Alicona consegue proporcionar, certamente muitas possibilidades de investigação podem surgir.

#### 4.5.2.1 Relatório com parâmetros S de rugosidade 3D

A partir da geração das imagens através do equipamento de medição óptica 3D, Alicona, também foram concebidos relatórios de rugosidades 3D.

**Tabela 20 - Parâmetros S de Rugosidade 3D obtidos através das medições realizadas no equipamento Alicona, entre peças antes e depois da dressagem do rebolo.**

PARÂMETROS S					
Sigla	Antes dressagem		Após dressagem		Descrição da característica
<b>Sa</b>	2,970	µm	2,651	µm	Média aritmética das alturas
<b>Sq</b>	3,644	µm	3,277	µm	Altura da raiz quadrática média
<b>Sp</b>	17,705	µm	13,040	µm	Altura máxima do pico
<b>Sv</b>	16,213	µm	14,334	µm	Profundidade máxima do vale
<b>Sz</b>	33,918	µm	27,374	µm	Amplitude máxima (entre pico e vale)

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

Avaliando os resultados como um todo, percebe-se que os resultados da peça que foi retificada após a dressagem se apresentou muito melhor do que a peça pré-dressagem, isso simplesmente porque todas as características de rugosidade tiveram uma melhora considerável de desempenho.

Iniciando com a característica calculada de acordo com Sa, tem-se uma redução de 0,319 µm entre a peça retificada antes e depois da dressagem, aproximadamente 16% da tolerância total de Rz, por exemplo. Já para Sq, os valores reduziram 0,367 µm após a dressagem.

Em relação aos extremos, ou seja, máximo pico alcançado, Sp, e maior vale registrado, Sv, tem-se os seguintes valores. A diferença entre Sp foi de 4,665 µm, e entre Sv foi de 1,879 µm, considerando obviamente as peças antes e após dressagem. E também, tem-se a maior amplitude registrada em toda a área avaliada, Sz, sendo a diferença entre as peças de 6,544 µm.

Dessa forma, fica clara a disparidade entre os níveis das medições. As peças após a dressagem se mostraram muito mais confiáveis para um processo capaz de, como dito na Seção 2.1, produzir cerca de 30 mil peças por dia. Ou seja, o veredito sobre aumentar o intervalo de dressagem seria uma alternativa, para viabilizar a troca, bastante arriscada, o que diminuiria a confiabilidade total do processo.

## 5 ASPECTOS OPERACIONAIS

### 5.1 CRONOGRAMA DAS ETAPAS DO TCC

Figura 52 - Cronograma das etapas do TCC (parte 1)

Tarefa	Status	AGO / 2	AGO / 3	AGO / 4	SET / 1	SET / 2	SET / 3	SET / 4	OUT / 1	OUT / 2	OUT / 3	OUT / 4	NOV / 1	NOV / 2	NOV / 3	NOV / 4	DEZ / 1	TCC1
<b>TCC 1</b>																		
<b>Pré-projeto</b>																		
Definição do Tema	Completo	█	█	█														
Avaliação da Viabilidade do Projeto	Completo		█	█	█	█												
Escolha dos professores orientadores	Completo				█	█	█											
Definição do escopo e cronograma	Completo					█	█	█	█	█	█							
<b>Fase inicial</b>																		
Compreensão da situação atual da empresa	Completo				█	█	█	█										
Identificação e determinação da problemática	Completo				█	█	█	█	█	█								
Determinação das possíveis melhorias	Completo					█	█	█	█	█	█							
Definição dos objetivos do trabalho	Completo								█	█	█	█						
<b>Desenvolvimento Teórico</b>																		
Revisão bibliográfica	Em progresso								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Início da monografia: Fundamentação Teórica	Completo											█	█	█	█	█		
Entendimento dos métodos utilizados	Em progresso													█	█	█	█	█
Observação dos riscos	Completo														█	█	█	█
Listagem dos materiais utilizados	Completo															█	█	█
Preparação para apresentação	Não iniciado																█	█
<b>Apresentação TCC 1</b>																		█

Fonte: Autores deste trabalho (2019)



Figura 53 - Cronograma das etapas do TCC (parte 2)

Tarefa	Status	JAN / 1	JAN / 3	FEV / 1	FEV / 3	MAR / 1	MAR / 3	ABR / 1	ABR / 3	MAI / 1	MAI / 3	JUN / 1	JUN / 3	JUL / 1	JUL / 3	AGO / 1	AGO / 3	SET / 1	SET / 3	OUT / 1	OUT / 3	NOV / 1	NOV / 3	DEZ / 1	TCC 2
		<b>TCC 2</b>																							
<b>Pré-testes</b>																									
Avaliar equipamentos que serão utilizados	Completo																								
Entender a disponibilidade da fábrica	Completo																								
Agendar testes com a produção	Completo																								
Angariar todos os recursos para os testes	Completo																								
<b>Testes</b>																									
Avaliar estabilidade do processo	Completo																								
Iniciar testes com dressador galvânico	Completo																								
Iniciar testes com o dressador cerâmico	Completo																								
Estudar possíveis variações dos testes	Completo																								
<b>Resultados</b>																									
Iniciar as medições (galvânico)	Completo																								
Iniciar as medições (cerâmico)	Completo																								
Compilação dos resultados	Completo																								
Verificação da necessidade de novas medições	Completo																								
Comparação e análise dos resultados	Completo																								
Entendimento e conclusão	Completo																								
Preparação para apresentação	Completo																								
Finalização do documento escrito	Completo																								
<b>Apresentação TCC 2</b>																									

Fonte: Autores deste trabalho (2019)

## 6 RISCOS

Esse projeto trouxe desde sua concepção alguns objetivos, que quando avaliados mais detalhadamente, entendeu-se que são plenamente atingíveis e implementáveis.

No entanto, também foi de pleno conhecimento dos autores, a possibilidade de que alguns resultados poderiam não ocorram como o esperado. Assim, alguns possíveis riscos que poderiam acontecer, realmente ocorreram, e outros parcialmente e outros não, os quais seguem listados nas próximas seções.

### 6.1 REFERENTE A CAPABILIDADE DE MÁQUINA E PROCESSO

Não atingir os resultados prováveis com o dressador cerâmico. Isso foi identificado como um dos problemas mais claros de acontecer, pelo fato de existirem muitas variáveis no processo, entre elas máquinas, ferramentas de apoio, operadores das máquinas, entre outros.

Dessa forma, após os testes acontecerem, entendeu-se que esse risco, era realmente possível de ocorrer, entretanto, não se concretizou. A capacidade tanto de máquina quanto de processo foi realmente aprovada, porém, os resultados dos testes com o dressador cerâmico não foram melhores que os resultados do dressador galvânico, mas isso por conta de outros diferentes motivos.

### 6.2 DANIFICAÇÃO DOS FERRAMENTAIS

Um fator de risco que inicialmente não foi considerado, mas que no decorrer do processo foi preponderante para atrasar um pouco os estudos, foi a danificação do ferramental utilizado nos testes.

Esse tipo de adversidade ocorreu por motivos específicos como o manuseio incorreto dos ferramentais pelos operadores das máquinas, batida de máquina, e processos naturais como, no momento de própria dressagem, o rebolo não suporta a força exercida para a afiação e acaba se rompendo.

### 6.3 BAIXA DISPONIBILIDADE DE PEÇAS

Aconteceram também fatores que não foram considerados inicialmente, por se serem tratados como improváveis de acontecerem, como a baixa disponibilidade de peças para realização dos testes.

Esse é uma problemática raríssima de ocorrer, se baseando na produção diária da empresa parceira. No entanto, no período de testes, aconteceram adversidades dentro da empresa que dificultaram a separação das peças para fins de estudos, nesse caso, desse trabalho. O tempo de espera não foi extremamente longo, mas somados a outros pequenos fatores, com certeza valem a ressalva.

### 6.4 MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS

As máquinas usadas nos testes eram equipamentos precisos e confiáveis, com capacidade aceitável pela empresa parceira, embora, mesmo assim, poderiam variar numa tolerância plausível. O alinhamento da máquina poderia ser um fator preponderante para essa variação, razão essa normal para um processo fabril, já que se tratam de máquinas robustas, entretanto antigas, e que necessitam de manutenção constante.

Dessa forma, a manutenção mecânica desse parque de máquinas também poderia ter influência, o que realmente aconteceu. Não especificamente com a máquina utilizada nos testes, a qual não passou por nenhuma reforma ou grande parada no intervalo dos testes, porém, como outras máquinas passaram por esse tipo de problemas, a máquina escolhida para o estudo, serviu para suportar a meta diária da empresa parceira, atrasando o andamento do trabalho.

### 6.5 INDISPONIBILIDADE DE MÃO DE OBRA

#### 6.5.1 Operadores

Outro fator que pode somar para um resultado deslocado do esperado, é a habilidade de cada operador das máquinas e aparelhos de medição, colaboradores da empresa parceira. A habilidade de cada um, proveniente da experiência de anos

de trabalho ou treinamentos internos para aprendizagem, são diferentes entre eles, e assim, podem gerar resultados distintos.

Para amenizar essa discrepância, buscou-se desde o início trabalhar com operadores mais experientes e que principalmente seguissem com rigor aos Procedimentos de Trabalho Padrão, determinados pela própria empresa como o correto. Entretanto, mesmo assim, é um fator natural e influenciador do resultado final, com certeza.

### 6.5.2 Áreas suportes

E por fim, um dos riscos não vislumbrados inicialmente, mas que comprometeram principalmente o andamento temporal dos testes, foi a indisponibilidade e remanejamento de pessoas das áreas suportes à produção.

Isso aconteceu pela empresa parceira estar passando por momentos de remanejamentos e substituições em diversas áreas, e que, aconteceram fortemente nas áreas que serviriam de apoio para o projeto evoluir como esperado. Áreas como metrologia e operadores na produção foram as que mais afetaram o projeto, causando no planejamento inicial certa divergência.

E com essas substituições, e eventualmente colaboradores novos assumindo vagas relevantes para o trabalho, faltaram-lhe treinamentos necessários para execução das necessidades dos testes. No entanto, isso não afetou o trabalho em si, e sim, apenas o tempo de execução das tarefas, que depois foram devidamente ajustados.

## 7 ORÇAMENTO

A realização deste projeto envolveu a utilização de capacidade de mão de obra, peças, máquinas e equipamentos da empresa parceira. Na Tabela 21 tem-se uma relação da expectativa de utilização de tais recursos.

É importante ressaltar que para as peças, por exemplo, o custo foi zero por conta de que elas foram fornecidas normalmente ao cliente final, pois foram todas aprovadas nos testes. O custo estaria atrelado apenas ao refugo gerado, porém, como não houve peças descartadas, não houve custo.

**Tabela 21 – Custos do projeto**

Recurso	Quantidade estimada	Valor estimado (R\$)	
		Unitário	Total
Hora ajustador 1º turno	120	40	4.800
Dressador Galvânico	2	729	1.458
Dressador Cerâmico	2	1.818	3.636
Rebolo	6	150	900
Peças	0	0	0
Hora Mensalista	320	35	11.200
Hora estagiário	320	12	3.840
TOTALS			25.834

Fonte: Autores deste trabalho (2019).

## 8 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos experimentos conduzidos e análises realizadas conclui-se que para as condições atuais de operação na retificação da guia do corpo do bico injetor na empresa parceira, a utilização do dressador cerâmico não representa ganhos em termos financeiros, produtivos e de qualidade do produto, devendo-se, portanto, ser mantida a especificação atual de dressador galvânico. Além disso, as máquinas atualmente utilizadas na planta não possuem robustez suficiente para se garantir a operação com rotações da placa muito mais elevadas do que a já utilizada para se justificar o emprego de uma ferramenta cerâmica.

Propor diferentes métodos de produção ou diferentes ferramentas para otimização dos processos produtivos faz parte da vida do engenheiro mecânico, enquanto profissional capacitado para tal atividade, e enquanto profissional da indústria automotiva que, em virtude do dinamismo do mercado têm a necessidade de constante renovação.

O estudo desenvolvido neste trabalho demonstrou que apesar de os dressadores cerâmicos apresentarem vantagens competitivas com relação aos galvânicos atualmente utilizados (no que diz respeito às possibilidades de aplicação do dressador cerâmico em altas velocidades por exemplo), nas condições em que as ferramentas foram testadas não há justificativa para a substituição.

Ambas as ferramentas podem ser utilizadas no processo, como foi evidenciado nas análises de capacidade de máquina e processo. Entretanto, ao avaliar as variáveis calculadas nas capacidades, para algumas, inclusive, percebem-se vantagens na utilização do dressador galvânico.

As análises de imagem revelaram alguns pontos esperados, como evidências características do comportamento dos diferentes ligantes, como a presença de trincas e porosidade no dressador cerâmico; além de que o fato de não serem identificadas mudanças significativas entre os estados era também esperado, uma vez que o dressador propõem-se, justamente, a preservar suas características para que seja capaz de dressar o rebolo.

A avaliação do consumo de faixa abrasiva através da taxa de desgaste também indica comportamento similar para as duas composições, destacando, no entanto, um despontamento na curva do dressador cerâmico indicando um desgaste

mais acelerado, indicando, um fim de vida para o dressador cerâmico anterior ao dressador galvânico.

Outro fator determinante para a conclusão deste trabalho é referente a viabilidade financeira de implementação do dressador cerâmico, considerando-se, neste ponto, que a ferramenta não é viável.

Sugere-se, para estudos posteriores, a avaliação do aumento do intervalo de dressagem com o dressador cerâmico, para se identificar um potencial de melhoria. Lembrando-se, no entanto, que tal aumento de intervalo está condicionado a capacidade das máquinas operarem sob condições mais agressivas. Além disso, para viabilizar a implementação do dressador cerâmico, sugere-se também um estudo para a eliminação da operação inicial do desbaste do rebolo mediante recebimento da ferramenta em condições mais adequadas a operação ou, ainda, a utilização de dois dressadores com duas composições diferentes, uma destinada a realizar o desbaste e outra para a dressagem.

## REFERÊNCIAS

ASM International. **ASM Handbook: Surface Engineering**. v.5, 1994.

ASM International. **ASM Handbook: Machining**. v.16, p. 826-932, 1995.

ASM International. **ASM Specialty Handbook: Tool Materials**. p. 101-114, 1995.

BRINKSMEIER, E., TONSHOFF, H.K., INASAKI, I., PEDDINGHAUS, J. **Basics Parameters in Grinding**. Annals of CIRP, 1993.

BOTTENE, Alex Camilli. **Método inovador para texturização de rebolos**. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: [file:///C:/Users/emanuel/Downloads/DissertBotteneAlexCamilliCorrig%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/emanuel/Downloads/DissertBotteneAlexCamilliCorrig%20(1).pdf)  
Acesso em 26 out 2018.

CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia dos Materiais uma Introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.

COSTA, Cesar da. **Indústria 4.0: o futuro da indústria nacional**. POSGERE – Pós-Graduação em Revista, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 5-14, set. 2017.

DANESHI, A., JANDAGHI, N., TAWAKOLI, T., Effect of Dressing on Internal Cylindrical Grinding, Procedia CIRP, Volume 14, p. 37-41, 2014.

DIAS, Everaldo Araujo. **Monitoramento da dressagem no processo de retificação centerless utilizando emissão acústica**. São João Del-Rei. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de São João Del-Rei, 2013. Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/portal2repositorio/File/ppmec/Everaldo%20Dias.pdf> Acesso em 26 out 2018.



DINIZ, Anselmo; MARCONDES, Francisco; COPPINI, Nivaldo. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo. Mm editora. 242 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **DIN EN 10084:2008-06**: Case hardening steels – Technical delivery conditions. Alemanha: Cen, 2008.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. Editora Edgard Blucher LTDA. São Carlos, 1970.

FIOCCHI, Arthur Alves. **INVESTIGAÇÃO DE UM PROCESSO ABRASIVO BASEADO NOS PRINCÍPIOS DA LAPIDAÇÃO E RETIFICAÇÃO**. In: III SEMINÁRIO DA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA – UNESP - BAURU, 3., 2009, Bauru. **Seminário**. Bauru: Feb, 2009. p. 1 - 15.

FUSSE, Ronaldo Yoshinobu. **Estudo Comparativo Entre a Lubri-Refrigeração Convencional e a MQL No Processo De Retificação Cilíndrica Externa De Mergulho**. Bauro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90817/fusse\\_ry\\_me\\_bauru.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90817/fusse_ry_me_bauru.pdf?sequence=1) Acesso em 19 out 2018.

GUO, Changsheng; MALKIN, Stephen. **Grinding Technology: Theory and Application of Machining with Abrasives**. 2 ed. Nova Iorque. Industrial Press Inc. p. 84-105, 2008.

HAGUENAUER, Lia. **Competitividade: conceitos e medidas: uma resenha da bibliografia recente com ênfase no caso brasileiro**, v. 16, n. 1, p. 146-176, abr. 2012.

HAHN, Robert S.; KING, Robert I. **Handbook of Modern Grinding Technology**. Boston, Springer, 1986. .

HAHN, Robert S.; LINDSAY, Richard P. **The Principles of Grinding**. The Science of Ceramic Machining and Surface Finishing, Proceedings of a Symposium, Maryland. p 60, 1970.

HEGEMAN, Johannes Bernardus Jan-Willem. **Fundamentals of Grinding: Surface Conditions of Ground Materials**. University of Groningen, Groningen. p. 17-19, 2000.

HUANG, Han. Effects of truing/dressing intensity on truing/dressing efficiency and grinding performance of vitrified diamond wheels, Journal of Materials Processing Technology, Volume 117, Issues 1–2, p. 9-14, 2001.

KLOCKE, FRITZ; KONIG, WILFRIED. **FERTIGUNGSVERFAHREN 2: schleifen, Honen, Läppen**. Springer, 2005.

KONIG, Wilfried; WEINGAERTNER, Walter L.. **Retificação, Brunimento e Lapidação**. Aachen: A, 1980. 2 v.

LAGO, Daniel Mousinho. **FABRICAÇÃO LOCAL DE UM PROTÓTIPO DE UM BICO INJETOR DIESEL COMMON RAIL EURO 5**. 2018. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

LEME, Sandro Petry Laureano. **DRESSAMENTO POR TOQUE DE REBOLOS DE CBN**. 1999. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

MALKIN, Stephan. **Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives**. Michigan: Sme, 2009.

MARINESCU, Ioan D. et al. **Tribology of Abrasive Machining Processes**. New York: William Andrew, 2004.

NETO, Luiz Maurício Gonçalves. Estudo das correlações dos parâmetros e fenômenos do processo de retificação centerless de passagem com a circularidade

da peça. Taubaté. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica). Universidade de Taubaté, 2008. Disponível em: [http://www.bdttd.unitau.br/tesesimplificado/tde\\_arquivos/5/TDE-2012-10-11T153205Z-295/Publico/Luiz%20Mauricio%20Goncalves%20Neto\\_parte%201.pdf](http://www.bdttd.unitau.br/tesesimplificado/tde_arquivos/5/TDE-2012-10-11T153205Z-295/Publico/Luiz%20Mauricio%20Goncalves%20Neto_parte%201.pdf) Acesso em 19 out 2019.

NOLL, Célio; BOING, Denis. **CUTTING SPEED INFLUENCE IN THE LIFE AND WEAR MECHANISMS OF CEMENTED CARBIDES TOOLS IN THE TURNING OF AISI 4340 HARDENED STEEL**. Revista da Unifebe, Brusque, v. 1, n. 16, p.61-75, 2015.

NUSSBAUM, Guillaume Ch.. **Rebolos e Abrasivos: Tecnologia Básica**. São Paulo: Ícone, 1988.

PFERD. **Catálogo 205 - Ferramentas diamantadas e de CBN**. Disponível em: <[https://www.pferd.com/br-pt/707\\_PTB\\_HTML.htm](https://www.pferd.com/br-pt/707_PTB_HTML.htm)>. Acesso em: 05 ago. 2019.

ROWE, William Brian. **Principles of Modern Grinding Technology**. 2 ed. Elsevier, 2013.

SHAW, Milton C.. **Metal Cutting Principles**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 2005.

SCHUIITEK, Aloisio José. **Estudo do Comportamento de Desgaste de Materiais Metálicos em Riscamento Circular**. 2007. 160 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SOUZA, Marcos Vieira de. **PROJETO ROBUSTO DE PARÂMETROS (PRP) APLICADO NA OTIMIZAÇÃO DE RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA COM MÚLTIPLAS RESPOSTAS**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte II: Brocas, Alargadores, Ferramentas de Roscar, Fresas, Brochas, Rebolos, Abrasivos**. 2ª ed. Florianópolis – SC Editora UFSC, 1992.

VANALLE, Rosangela; SALLES, José. **Relação entre montadores e fornecedores: modelos teóricos e estudos de caso na indústria automobilística brasileira**. Gest. Prod., São Carlos, v. 18, n. 2, p. 237-250, 2011.

WANG, Jen Po. **Avaliação da retificação com rebolo de CBN vitrificado aplicada em ligas de alto desempenho**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

WUNDER, Sherline. **MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA MICROTOPOGRAFIA DE SUPERFÍCIES RETIFICADAS COM FERRAMENTAS ESTRUTURADAS**. 2006. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.