

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

LUCAS HOMEM GROSSI FERREIRA

**ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE
CAVIDADES DE MOLDE DE INJEÇÃO UTILIZADO E
RECONDICIONADO PARA A FABRICAÇÃO DE
PONTAS DE GUTTA-PERCHA**

SÃO CARLOS -SP
2023

LUCAS HOMEM GROSSI FERREIRA

ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE CAVIDADES DE MOLDE DE
INJEÇÃO UTILIZADO E RECONDICIONADO PARA A FABRICAÇÃO DE PONTAS
DE GUTTA-PERCHA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de São Carlos para
obtenção do título de mestre em Engenharia
Mecânica.

Área de Concentração: Materiais e
Processos de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Luis Antonio Oliveira
Araujo

SÃO CARLOS - SP
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Lucas Homem Grossi Ferreira, realizada em 31/05/2023.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Luis Antonio Oliveira Araujo (UFSCar)

Prof. Dr. Carlos Eiji Hirata Ventura (UFSCar)

Prof. Dr. Carlos Alberto Fortulan (USP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa, Sara, por compreender e apoiar meu desenvolvimento profissional e acadêmico. Ainda assim, estar o meu lado e me incentivar nos momentos em que a vontade de desistência deste objetivo foi maior do que o alcançar. Dedico também este estudo à minha mãe, Ana Eliza (*in memoriam*), que sempre me educou com seu carinho e amor mostrando que tenho capacidade mesmo nos instantes em que mais duvidei de mim.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de estudar e evoluir a cada dia de minha vida.

Agradeço ao meu Pai, Silvio, pela compreensão nos momentos em que estive longe para focar nos estudos, no suporte que me deu em toda minha trajetória, dos quais não chegaria onde estou sem ele. Ainda assim, demonstrou a capacidade de tratar o assunto com leveza, bom humor e positividade.

Agradeço a minha irmã, Laís, que sempre demonstrou ser uma pessoa estudiosa, sensata e incentivadora, quem me inspirou a adquirir conhecimento e expandir minhas habilidades acadêmicas como exemplo de ser humano.

Agradeço ao meu gerente, Henrique, que viabilizou, entendeu e apoiou quando foi necessário o foco de minhas atividades ao estudo. Agradeço também ao meu diretor, Frederico, por entender e apoiar a evolução de meus conhecimentos em favor da empresa Dentsply Sirona. A instituição teve papel primordial neste estudo, pois ofereceu todos os recursos para realização das atividades pertinentes aos testes do trabalho. A ela, sou eternamente grato.

Agradeço ao Departamento de Engenharia Mecânica da UFSCAR, por disponibilizar os recursos disponíveis para que fosse possível as medições necessárias. Em especial, ao Ms. Eng. Leonildo Bernardo Pivotto.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por promover e desenvolver o apoio a pesquisa.

Por fim e não menos importante, ao meu orientador Luis, que me apoiou ao longo de toda esta trajetória com os conselhos e direcionamentos que foram primordiais para o alcance dos resultados obtidos sempre com conhecimento, entusiasmo, profissionalismo e comprometimento no assunto.

“A única maneira de fazer um excelente trabalho é amar o que você faz”.

(Steve Jobs)

RESUMO

O sucesso de um procedimento odontológico, no que se diz respeito a processos de tratamento de canal (Endodontia), está diretamente relacionado ao material de preenchimento que servirá como substituto do tecido da raiz do dente. O material odontológico amplamente utilizado para esta função é conhecido como cones de Gutta-Percha (GP). Este polímero é extraído naturalmente de árvores da Península Malaia e Indonésia, polimerizado industrialmente e misturado com compostos orgânicos e inorgânicos. O processo por moldes de injeção é um dos tipos de manufatura de pontas cônicas de GP e evidencia-se escassez de literatura com abrangência no assunto. Sobre o processo de injeção, as cadeias poliméricas do material injetado tendem a ser tipicamente orientadas no sentido do fluxo de injeção e sofrem constante interferência devido ao atrito entre o material polimérico injetado e a superfície do molde. De maneira que o atrito está relacionado as características do polímero injetado e aspectos de rugosidade da superfície do molde, o estudo tem como objetivo investigar qual a influência no alcance de comprimento de pontas de GP durante o processo de injeção em dois diferentes perfis de rugosidade. Neste trabalho, foram avaliadas as características da superfície de um molde de injeção correlacionando as rugosidades das cavidades do molde com o alcance de comprimento das pontas antes e após tratamento superficial do molde. Após alteração do perfil de rugosidade da cavidade, as superfícies demonstraram aumento de suas irregularidades apresentando parâmetros de rugosidade, em μm , para Ra (0,30 - 0,75), Rq (0,56 – 1,68), Rt (3,43 – 20,97), Rz (2,51 – 8,76), Rp (1,73 – 16,30), Rc (1,72 – 10,03), Rsk (-0,02 – 2,97) e Ke (0,504 – 0,780) resultando na redução de comprimento de pontas de até 27%. Conclui-se que superfícies com perfis de rugosidade com maiores picos e maiores distâncias entre picos e vales influenciam negativamente no preenchimento de cones GP nas cavidades do molde.

Palavras-chave: Gutta-Percha. Processo de Injeção. Perfil de Rugosidade. Superfície Molde de Injeção. Condições Superficiais.

ABSTRACT

The success of a dental procedure, regarding root canal treatment processes (Endodontics), is directly related to the filling material that will serve as a substitute for the tooth root tissue. The dental material widely used for this function is known as Gutta-Percha (GP) cones. This polymer is extracted naturally from trees in the Malay Peninsula and Indonesia, industrially polymerized and mixed with organic and inorganic compounds. The process by injection molds is one of the manufacturing processes of GP conical points and there is evidence of a scarcity of literature with coverage in the subject. About the injection process, the polymer chains of the injected material tend to be typically oriented in the direction of the injection flow and suffer constant interference due to the friction between the injected polymeric material and the mold surface. Thus, friction is related to the characteristics of the injected polymer and aspects of roughness of the mold surface, the study aims to investigate the influence on the length reach of GP points during the injection process in two different roughness profiles. In this work, the surface characteristics of injection mold were evaluated by correlating the roughness of the mold cavities with the length reach of GP points before and after mold surface treatment. After modification of the cavity roughness profile, the surfaces showed an increase in their irregularities presenting roughness parameters, in μm , for Ra (0.30 - 0.75), Rq (0.56 - 1.68), Rt (3.43 - 20.97), Rz (2.51 - 8.76), Rp (1.73 - 16.30) and Rc (1.72 - 10.03) resulting in a reduction of point length up to 27%. It is concluded that surfaces with roughness profiles with higher peaks and greater distances between peaks and valleys negatively influence the filling of GP cones in the mold cavities.

Keywords: Gutta-Percha. Injection Process. Roughness Profile. Injection Mold Surface. Surface Conditions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura Química Isopreno	18
Figura 2 – Diferença Célula Unitária Repetição Fases α e β	19
Figura 3 – Apresentação Produto Pontas GP	20
Figura 4 – Exemplos de Canais Preenchidos com GP	24
Figura 5 – <i>Carrier-Based Obturing Devices</i>	25
Figura 6 – Dimensional Pontas GP	26
Figura 7 – Coeficientes Atritos Diferentes Polímeros e Tratamento Superficial	31
Figura 8 – Efeito Fonte e Geometria do Fluxo	33
Figura 9 – Camadas Extremas Solidificadas e Fluxo no Núcleo	33
Figura 10 – Constituintes de Textura Superficial	36
Figura 11 – Perfil Parâmetro Ra	37
Figura 12 – Representação Parâmetros Rp e Rmax	38
Figura 13 – Perfil com Variações de Ke	39
Figura 14 – Representação Curvas Rsk	40
Figura 15 – Fotografia Pontas Injetadas	42
Figura 16 – Representação 1 Lado Molde	42
Figura 17 – Injetora Arburg Allrounder 170S	43
Figura 18 – Microscópio Alicona Infinite Focus SL	43
Figura 19 – Quick Scope e Software de Medição	44
Figura 20 – Visão Geral Metodologia	45
Figura 21 – Perfil de Preenchimento Pontas	47
Figura 22 – Cavidades Escolhidas	48
Figura 23 – Medição no Quick Scope Comprimento. Eixo X Referência	49
Figura 24 – Região Perfilometria	50
Figura 25 – Exemplo Distribuição Normal	53
Figura 26 – Exemplo Probabilidade Normal	55
Figura 27 – Exemplo de Processos Capaz e Não Capaz	56
Figura 28 – Exemplo Relação PPL e PPU	57
Figura 29 – Perfil Inicial de Preenchimento Lado B	58
Figura 30 – Imagem Perfilometria Antes A) Cav. 1A B) Cav. 4A C) Cav. 8A	

D) Cav. 9A E) Cav. 12A F) Cav. 16A. Escala 200µm	66
Figura 31 – Imagem Perfilometria Antes A) Cav. 1B B) Cav. 4B C) Cav. 8B D) Cav. 9B E) Cav. 12B F) Cav. 16B. Escala 200µm	68
Figura 32 – Imagem Perfilometria Depois A) Cav. 1A B) Cav. 4A C) Cav. 8A D) Cav. 9A E) Cav. 12A F) Cav. 16A. Escala 200µm	79
Figura 33 – Imagem Perfilometria Depois A) Cav. 1B B) Cav. 4B C) Cav. 8B D) Cav. 9B E) Cav. 12B F) Cav. 16B. Escala 200µm	80
Figura 34 – Imagens Perfilometria Pontas Antes e Depois Tratamento	93
Figura 35 – Pentes Antes e Pós Tratamento Superficial Sobrepostos	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de Valores de Compostos Orgânicos e Inorgânicos	21
Tabela 2 – Picos Endotérmicos Distintos de GP	22
Tabela 3 – Especificações Dimensional Pontas GP	27
Tabela 4 – Parâmetros de Rugosidade Considerados	52
Tabela 5 – Valores Comprimento Pontas Injetadas Antes	59
Tabela 6 – Parâmetros Rugosidade Cavidades Lado A Molde Antes	67
Tabela 7 – Parâmetros Rugosidade Cavidades Lado B Molde Antes	68
Tabela 8 – Valores Comprimento Pontas Injetadas Depois	71
Tabela 9 – Parâmetros Rugosidade Cavidades Lado A Molde Depois	79
Tabela 10 – Parâmetros Rugosidade Cavidades Lado B Molde Depois	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 1 Antes	60
Gráfico 2 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 4 Antes	61
Gráfico 3 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 8 Antes	62
Gráfico 4 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 9 Antes	63
Gráfico 5 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 12 Antes	64
Gráfico 6 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 16 Antes	65
Gráfico 7 – Comparação Parâmetros Rugosidades Lados A e B Antes	69
Gráfico 8 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 1 Depois	72
Gráfico 9 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 4 Depois	73
Gráfico 10 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 8 Depois	74
Gráfico 11 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 9 Depois	75
Gráfico 12 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 12 Depois	76
Gráfico 13 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 16 Depois	77
Gráfico 14 – Comparação Parâmetros Rugosidades Lados A e B Depois	81
Gráfico 15 – Parâmetros Rugosidade Antes e Pós Tratamento Superficial	83
Gráfico 16 – Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 1AB	85
Gráfico 17 – Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 4AB	86
Gráfico 18 – Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 8AB	87
Gráfico 19 – Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 9AB	88
Gráfico 20 – Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 12AB	89
Gráfico 21 – Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 16AB	90
Gráfico 22 – Valores de K_e por Cavidade Antes e Depois	92
Gráfico 23 – Parâmetros Rugosidade Cavidade 1AB e Ponta Antes e Depois	95
Gráfico 24 – Parâmetros Rugosidade Cavidade 4AB e Ponta Antes e Depois	96
Gráfico 25 – Parâmetros Rugosidade Cavidade 8AB e Ponta Antes e Depois	97
Gráfico 26 – Parâmetros Rugosidade Cavidade 9AB e Ponta Antes e Depois	98
Gráfico 27 – Parâmetros Rugosidade Cavidade 12AB e Ponta Antes e Depois	99
Gráfico 28 – Parâmetros Rugosidade Cavidade 16AB e Ponta Antes e Depois	100

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AISI – American Iron and Steel Institute

AR – Resina Acrílica

BM – Material Base

D – Diâmetro Ponta Comprimento 0mm

D3 – Diâmetro Ponta Comprimento 3mm

D16 – Diâmetro Ponta Comprimento 16mm

ESPACENET – *European Patent Office*

GP – Gutta-Percha

H_0 – Hipótese Nula

H_1 – Hipótese Não Nula

HRC – Dureza Rockwell

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

ISO – International Standard Organization

Ke – Coeficiente de Esvaziamento

MC – Microseal Cone

MF – Microseal Microflow

NBR – Norma Brasileira

OB – Obtura

OF – Obtura Flow

PD – Produits Dentaires

PT – Poliéster

PTG – ProTaper Gold

PTU – ProTaper Universal

r-PA – Poliamida Reforçada

Ra – Média Aritmética dos Valores Absolutos de Picos e Vales

Rc – Altura Média do Perfil de Irregularidades do Perfil de Rugosidade

Rmax – Altura Máxima entre Picos e Vales do Perfil de Rugosidade dentro de um Comprimento de Amostragem

RMS – *Root Mean Square Average*

Rp – Máxima Altura de Pico do Perfil de Rugosidade

Rq – Desvio Médio Quadrático

Rsk – *Skewness*

Rt – Máxima Altura entre Picos e Vales do Perfil de Rugosidade

Rz – Altura Média entre Picos e Vales do Perfil de Rugosidade

TH – Thermafill

USPTO – *United States Patent and Trademark Office*

WIPO – *World Intellectual Property Organization*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	GUTTA-PERCHA	17
2.1.1	Propriedades, Comportamento e Manufatura da GP	18
2.1.2	Aplicação e Especificações Técnicas Cones GP	23
2.2	PROCESSO DE INJEÇÃO DE POLÍMEROS	27
2.2.1	Interação Ferramenta e Peça Injetada	30
2.3	RUGOSIDADE SUPERFICIAL E PARÂMETROS	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1	MATERIAIS	42
3.2	METODOLOGIA	44
3.2.1	Método Estatístico Aplicado	52
4	RESULTADOS	58
4.1	COMPRIMENTO PEÇAS ANTES TRATAMENTO SUPERFICIAL	58
4.2	RUGOSIDADE CAVIDADES ANTES TRATAMENTO SUPERFICIAL	66
4.3	COMPRIMENTO PEÇAS PÓS TRATAMENTO SUPERFICIAL	70
4.4	RUGOSIDADE CAVIDADES PÓS TRATAMENTO SUPERFICIAL	78
4.5	COMPARAÇÃO RESULTADOS ANTES E PÓS TRATAMENTO SUPERFICIAL	82
4.6	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	101
5	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS	107
	ANEXO A – TEMPERATURA TRANSFORMAÇÃO DE FASE DIFERENTES GP	111

1 INTRODUÇÃO

A saúde bucal das pessoas é uma área abordada e praticada desde os primórdios da humanidade da qual evidencia-se evolução das técnicas aplicadas na odontologia ao longo dos anos. De fato, de 3 a 5 bilhões de pessoas são afetadas por doenças infecciosas relacionadas a cáries ou interações bacterianas com a superfície do dente. As primeiras práticas resumiam-se exclusivamente em retirar totalmente a arcada dentária comprometida, porém com o advento da tecnologia e evolução da ciência, novos materiais, ferramentas e técnicas foram desenvolvidas. Dessa maneira, o tratamento de canal tornou-se a prática mais comum utilizada pelos profissionais da odontologia, uma vez que consiste em retirar a polpa comprometida da coroa do dente com base em análise e diagnóstico preliminar. (DOBRZAŃSKA *et al.*, 2021).

Nas últimas décadas, diferentes materiais foram testados com intuito de garantir os requisitos biológicos ao considerar o resultado de um tratamento odontológico de longa duração. Baseado em suas propriedades selantes, inertes e termoplásticas, a Gutta-Percha (GP) é o polímero que melhor se comportou na substituição dos espaços vazios de tecidos vivos tornando-se o principal material utilizado em técnicas de obturação. Aplicação com diversos propósitos, datado desde o século XVII, GP foi padronizada como principal material de preenchimento em tratamentos de canal apenas em 1959. Seiva coagulada de plantas tropicais tipicamente abundantes da Península Malaia, Indonésia e outros países tropicais, este polímero tem sido base de aplicação para profissionais da Endodontia (VISHWANATH; RAO, 2019).

Baseado nas informações mencionadas, o processo de manufatura de GP é constituído por uma mistura de componentes orgânicos e inorgânicos, em que geralmente é apresentada como produto final, pontas em forma cone (VISHWANATH; RAO, 2019).

Apesar de se encontrar informações sobre as características e propriedades do material, sejam elas térmicas, mecânicas ou químicas, existe poucos dados publicados sobre como GP é conformada na forma de cones para aplicação odontológica.

Sabe-se, pela experiência industrial, a partir da produção do composto GP o produto final é formado através de processos de rolagem manual e/ou automática, conformação por compressão em moldes e injeção plástica.

Processos de manufatura por injeção de plásticos tem a capacidade de conferir precisão de dimensões, geometria e características de rugosidade (ZABALA *et al.*, 2019). Processamento de polímeros por processos de injeção em moldes é uma realidade e mantém-se em desenvolvimento. Basicamente, um processo de injeção é cíclico e caracterizado por fases de dosagem, injeção, empacotamento, resfriamento e ejeção. Durante estas etapas, fenômenos tribológicos tomam lugar ao considerar a interação entre material injetado e a superfície das cavidades do molde, resultando em tensões de cisalhamento (CRISAN *et al.*, 2016).

Este trabalho estabelece a hipótese de que, os fenômenos resultantes das interações tribológicas como: desgaste, abrasão, adesão, atrito, assim como o perfil de rugosidade do molde; podem influenciar no processo de injeção de GP de maneira positiva ou negativa.

Conforme demonstrado por (ZABALA *et al.*, 2019), um polímero, por exemplo poliamida, reforçado com materiais que forneçam característica de muita abrasividade, pode fornecer coeficientes de atrito menores, mas proverá grande desgaste nas superfícies do molde tendendo a conclusão de que o material deslizará mais facilmente sob uma determinada superfície. De uma mesma maneira, um aço com perfil de rugosidade muito baixo pode falsamente induzir que um polímero seja facilmente injetado, porém o fenômeno de adesão deste polímero nas paredes das cavidades pode influenciar negativamente o fluxo de injeção piorando o processo. Estas premissas reforçam que as interações entre peça injetada e aço do molde precisam ser conhecidas e analisadas a fim de entender o comportamento do processo de injeção.

Sendo assim, este trabalho está baseado na análise e caracterização da superfície de um molde antes e pós tratamento superficial, assim como da ponta de GP, analisando seus respectivos perfis de rugosidade com intuito de criar uma correlação com o fluxo de preenchimento do polímero, considerando o alcance dimensional de comprimento da peça injetada, mantendo os parâmetros de processo constantes e variando apenas o perfil de rugosidade do molde.

1.1 JUSTIFICATIVA E OBJETIVO

Ao considerar as referências bibliográficas pesquisadas sobre o assunto, encontra-se um acervo de estudos com foco principal no material GP, em sua maioria sobre propriedades físico químicas e comportamento nos diferentes procedimentos de tratamento de canal. Adicionalmente, a origem do material, degradação depois de implantado, característica de preenchimento em canais radiculares, composições químicas do composto que resulta em pontas cônicas, estrutura molecular e fases microestruturais são os tópicos mais abordados pela literatura disponível. Pouco se encontra sobre os processos de manufatura do material desde sua mistura com materiais orgânicos e inorgânicos assim como na conformação em pontas cônicas.

O produto final, pontas cônicas, baseado na experiência industrial, envolve complexidades do ponto de vista de alcance de dimensional. Pontas de GP podem exigir valores de 0,1 mm de diâmetro inicial com tolerância de no máximo 0,05mm para mais ou menos. Adicionalmente, a conicidade da ponta necessita demonstrar uniformidade e é medida na casa dos milésimos de milímetros.

No que se diz respeito a processos de injeção, as máquinas, parâmetros e design de molde necessitam ser otimizados para que o produto seja injetado em conformidade com as especificações técnicas exigidas por Norma e mercado. Processos de injeção dispõem de uma variedade de condições como temperatura, fluxo de injeção, volume de dosagem, pressão, tempo e design do molde que podem ser usadas para viabilizar a produção em série de pontas de GP. Contudo, este tipo de manufatura tende fornecer complexidade tecnológica que envolve desde o estado da superfície do molde como as características do polímero que será injetado.

Por este motivo, o presente trabalho tem como objetivo compreender o comportamento do preenchimento de GP em moldes de injeção, com intuito de investigar a influência de perfis de rugosidade com mais irregularidades, maiores picos e maiores distâncias entre picos e vales no alcance de comprimento de pontas de GP nas cavidades do molde.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo é organizado segundo a fundamentação teórica e os temas abordados para o desenvolvimento deste trabalho: propriedades mecânicas, térmicas e químicas da Gutta-Percha. As interações tribológicas entre superfície do molde de injeção e material, e, por fim, rugosidade superficial.

2.1 GUTTA-PERCHA

A história da GP registra sua utilização desde o século XVII apresentando o polímero primeiramente na Europa em 1656. O primeiro contato da humanidade com o material foi marcado por admiração resultando em sua primeira aplicação, isolamento de cabos subaquáticos. A partir disso, GP teve seu campo de aplicação expandido multiplicando rapidamente sua produção industrial em produtos como tubos de cimento, instrumentos cirúrgicos, vestuário, carpetes, instrumentos musicais, bolas de golfe, guarda-chuvas, luvas, travesseiros, colchões, tendas e revestimento de navios (VISHWANATH; RAO, 2019).

A evolução da GP na odontologia foi marcada por quase dois séculos de desenvolvimento e pesquisa até que o polímero fosse de fato padronizado como material de preenchimento em tratamentos de canal. Apesar de ter sido oficializada em 1959, a GP tornou-se o material mais utilizado no campo da Endodontia apenas em 1967, porém com ressalvas de que os métodos de preenchimento de canal consumiam muito tempo e de grande dificuldade técnica (DOBRZAŃSKA *et al.*, 2021). Contudo, com advento da tecnologia, GP tornou-se ainda mais presente nos estudos e aplicações nos processos odontológicos, das quais resultaram em especificações de dimensional de cones de GP instituídas pela ANSI (American National Standards Institute) e ADA (American Dental Association) (VISHWANATH; RAO, 2019). Adicionalmente, também em 2006, foi criada a ISO 6877:2006(E) e revisada em 2021, da qual descreve as especificações gerais de pontas para obturação de tratamento de canal.

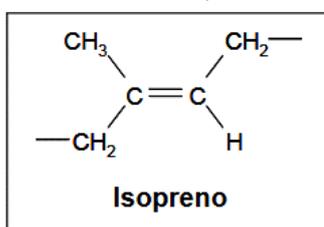
GP é um polímero natural coagulado e extraído de plantas da família Sapotaceae. Árvores de tamanho médio, 30 m de altura por 1m de diâmetro, e naturais do Sudeste da Ásia, particularmente da Malásia e arquipélago da Indonésia,

o suco do qual GP é extraída dá-se através de cortes em suas cascas. Antes da internacionalização desse polímero, os nativos malaios usavam o material para produzir cabos de facas, varas de apoio para caminhada dentre outros propósitos. (VISHWANATH; RAO, 2019)

2.1.1 Propriedades, Comportamentos e Manufatura da GP

Ao considerar o arranjo espacial dos átomos nas moléculas, GP apresenta uma configuração isomérica “trans” do proveniente da polimerização do monômero isopreno conforme estrutura molecular demonstrada na Figura 1. A estrutura química da GP é poli (1,4 trans isopreno) e é obtida através da coagulação do látex proveniente de árvores do arquipélago Malaio em sua grande maioria (FERREIRA, 2007). Polímero com alto peso molecular, sua estrutura é próxima ao da borracha natural poli (1,4 cis isopreno) em que, as diferenças mais marcantes referem-se ao posicionamento dos grupamentos CH₂ e as propriedades mecânicas da GP assemelhando-se ao comportamento de polímeros de estruturas cristalinas (VISHWANATH; RAO, 2019; FERREIRA, 2007). Uma vez que GP tem a classificação química “trans” da qual se demonstra linear com cristalização mais rápida, suas características mecânicas tendem a prover maior dureza, ductilidade e menos elasticidade quando comparada com a borracha natural (GOODMAN; SCHILDER; ALDRICH, 1974; FERREIRA, 2007).

Figura 1 – Estrutura Química Isopreno



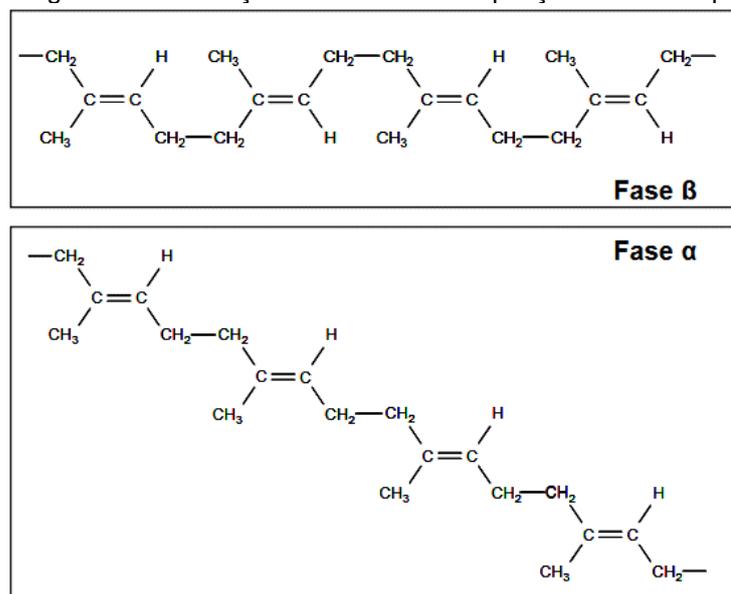
Fonte: Adaptado (FERREIRA, 2007)

Do ponto de vista da microestrutura, polímeros da família “trans” isopreno tendem a demonstrar regiões de grande organização molecular (cristalina) intermediadas por regiões de desorganização (amorfa). Esta miscelânea de características confere ao material, na fração cristalina, maior atração intramolecular, densidade e resistência mecânica. Contudo, a temperatura afeta radicalmente o

arranjo molecular de polímeros lineares assim como seu estado físico. Como resultado da excitação térmica, as cadeias moleculares formam arranjos espirais aleatórios com mudança contínua de orientação caracterizando o polímero em fase amorfa durante etapa de derretimento (GOODMAN; SCHILDER; ALDRICH, 1974).

O polímero GP pode existir em duas diferentes formas cristalinas, alpha e beta, das quais se diferem apenas por configuração de ligações químicas e distância da repetição molecular sendo possível a conversão entre si conforme ilustrado na Figura 2 (VISHWANATH; RAO, 2019). GP natural é extraída diretamente da árvore em fase α . Contudo, devido aos processos de manufatura dos quais requerem resfriamento rápido e mistura com outros componentes químicos (inorgânicos e orgânicos), a maioria das GP comercializadas são apresentadas em fase β . Durante o processo de manufatura, caso a GP seja resfriada a uma taxa menor do que 0.5 °C/hora, fase α é recristalizada (FERREIRA, 2007). Para aquecimentos acima de 65°C, alcança-se a fase amorfa em que o polímero funde (GOODMAN; SCHILDER; ALDRICH, 1974).

Figura 2 – Diferença Célula Unitária Repetição Fases α e β



Fonte: Adaptado (FERREIRA, 2007)

De uma maneira geral, as características físico químicas da GP estão relacionadas a taxa de resfriamento aplicada da qual resulta em uma determinada fase, α ou β . Contudo, é importante frisar que a pureza do polímero isopreno, assim como média do seu peso molecular, evidencia influência nos pontos de fusão. Portanto, tratando-se do isopreno, mesmo que os polímeros tenham arranjos

moleculares e sejam quimicamente similares, uma pequena variação de peso molecular e porcentagem de estrutura cristalina resultará em discrepância do ponto de fusão do material (GOODMAN; SCHILDER; ALDRICH, 1974).

Do ponto de vista de manufatura e comercial, as pontas cônicas utilizadas nos procedimentos endodônticos é o produto final e tem denominação igual ao da matéria-prima, no caso, Gutta-Percha (GP). As pontas GP, como podem ser vistas na Figura 3, são resultado de um composto do qual componentes orgânicos e inorgânicos são misturados com intuito de conferir propriedades mecânicas, térmicas e físicas ao material.

Figura 3 – Apresentação Produto Pontas GP



Fonte: Elaborada pelo Autor

A parcela orgânica é constituída principalmente de GP refletindo a matriz constituinte do composto. Ceras e resinas, por sua vez, completam a fração orgânica conferindo ao material maior flexibilidade e compressibilidade. Quanto a parcela inorgânica, sulfatos metálicos proporcionam radiopacidade ao material, característica pela qual um determinado elemento torna-se visível em exames radiológicos. Radiopacidade é o termo empregado para materiais que permitem a passagem ou não de raios eletromagnéticos gerando assim um contraste na radiografia. Em termos de visualização radiográfica, materiais radiopacos são as imagens mais claras e materiais radio lúcidos as mais escuras. Com o intuito de obter uma imagem radiográfica nítida e homogênea, a característica radiopaca é um requisito exigido para obturadores ou cones de GP (ALMEIDA SILVA; COSTA, 2004). Dessa maneira, os profissionais da odontologia conseguem identificar e avaliar a qualidade de cones de GP implantados em procedimentos previamente realizados.

A variação das composições de GP por diferentes fabricantes interferem nas propriedades físicas do material como fragilidade, rigidez, fluidez, plasticidade, radiopacidade, tensão de tração e comportamento térmico (LIAO *et al.*, 2021).

Segundo (LIAO *et al.*, 2021), as porcentagens de GP entre as pontas comercializadas variam significativamente. Seis diferentes marcas de pontas GP foram analisadas sendo elas Conform Fit™ Gutta-Percha Points for ProTaper Gold® (PTG) (Dentsply Sirona), ProTaper® Universal Gutta-Percha Points (PTU) (Dentsply Sirona), Autofit™ Feathered Tip Gutta-Percha (Kerr), Mtwo® Gutta-Percha (VDW), Gutta Percha Root Canal Points (GC) (GC Corporation) e Gutta-Percha Points ISO Color-Coded (ISO) (Dentsply Sirona). Ao utilizar-se de análise química quantitativa, evidenciou-se que o valor percentual da mediana referente a fração orgânica esteve entre 12-23% em que, 8.5-17% relaciona-se com GP e 3.5-6% com ceras e resinas. Quanto a fração inorgânica os valores apresentaram-se entre 77-86,5% (LIAO *et al.*, 2021). Através da mesma metodologia, porém com outras 5 marcas diferentes de pontas GP, Thermafil (TH) (Dentsply Maillefer), Obtura (OB) (Obtura Corporation), Obtura Flow (OF) (Obtura Corporation), Microseal Cone (MC) e Microseal Microflow (MF) (Analytic Endodontics), pôde-se identificar que a fração inorgânica é composta por constituintes que variam seus valores entre 66.2-77.3% de Óxido de Zinco e 1.72-7.57% de Sulfato de Bário (MANIGLIA-FERREIRA *et al.*, 2013). Os valores encontrados por experimentos conforme os autores referenciados encontram-se resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação de Valores de Compostos Orgânicos e Inorgânicos

Autores	Inorgânicos (%)		Orgânicos (%)		Produto
	Óxido de Zinco	Sulfato de Bário	Gutta-Percha	Resinas/Ceras	
LIAO <i>et al.</i> , 2021 (Valores Mediana)*	77 - 86,5		8,5 - 17	3,5 - 6	PTG/PTU/AUTOFIT/MTWO/GC/ISO
MANIGLIA-FERREIRA <i>et al.</i> , 2013 (Valores Médios)	66,2 - 77,3	1,72 - 7,57	15,2 - 22,4	3,4 - 7,8	TH/OB/OBF/MC/MF

*Autor não discrimina quantidades específicas para óxido de zinco e sulfato de bário

Fonte: Elaborado pelo autor

Baseado em suas composições químicas, as pontas de GP apresentam diferentes propriedades físicas, porém comportamentos térmicos similares no que se diz respeito a mudança de fase microestrutural. Ao analisar termicamente β -GP, dois picos endotérmicos no material são esperados dos quais correspondem primeiramente a transformação de β -GP em α -GP e posteriormente α -GP em amorfa GP. Adicionalmente, α -GP apresenta alta fluidez, baixa viscosidade e adquire

propriedades de adesão ao mesmo tempo que, β -GP apresenta propriedades contrárias as mencionadas após aquecimento (FERRANTE *et al.*, 2011).

Aparentemente não existem diferenças de propriedades mecânicas entre β e α -GP, mas existem diferenças térmicas e volumétricas. As conversões de estruturas internas ou fases cristalinas mudam especificamente sob pontos de transição entre aquecimento e resfriamento. Do ponto de vista molecular, isto resulta em estruturas cristalográficas distintas em que, conseqüentemente reflete-se em variações de volume induzidas por aquecimento e resfriamento de GP (GOODMAN; SCHILDER; ALDRICH, 1974).

De uma maneira geral, as pontas de GP se comportam igual apresentando dois picos endotérmicos durante o ciclo de aquecimento em que, o primeiro deveria ocorrer entre 42 e 49°C e o segundo entre 53 e 59°C (FERRANTE *et al.*, 2011). Contudo, o efeito de impurezas e solventes estão diretamente relacionados as diferentes temperaturas de transição de fases microestrutural (GOODMAN; SCHILDER; ALDRICH, 1974). A Tabela 2 agrupa os valores de picos endotérmicos encontrados por diferentes autores relacionado distintas pontas de GP. Para fins de referência, as pontas utilizadas nos experimentos por (FERRANTE *et al.*, 2011) foram Gutta-Percha PD (Produits Dentaires S.A.), Gutta-Percha Inline (BM Dentale), Gutta-Percha Mynol (Mynol), Gutta-Percha Microseal (Irvine) e Gutta-Percha Soft-Core (Axis Dental).

Tabela 2 – Picos Endotérmicos Distintos de GP

Autores	Picos Endotérmicos (°C)		Produto
	Fases β para α	Fases α para Amorfa	
LIAO <i>et al.</i> , 2021 (Valores Mediana)	47,98 - 50,63	59,78 - 60,04	PTG/PTU/AUTOFIT/MTWO /GC/ISO
MANIGLIA-FERREIRA <i>et al.</i> , 2013 (Valores Médios)	50,7 - 53,4	60,6 - 62,9	TH/OB/OBF/MC/MF
FERRANTE <i>et al.</i> , 2011 (Valores Médios)	48 - 55,9	61,2 - 66	PD/Inline/Mynol/Microseal/ Soft-Core
GOODMAN; SCHILDER; ALDRICH, 1974	42 - 49	53 - 59	Anexo A

Fonte: Elaborado pelo autor

É importante frisar que (FERRANTE *et al.*, 2011; MANIGLIA-FERREIRA *et al.*, 2013) aplicaram a mesma metodologia que consiste em aquecer as pontas de GP e resfriá-las espontaneamente permitindo assim diferentes ciclos de aquecimentos. Juntamente aos resultados obtidos, foi possível perceber que em algumas marcas de pontas GP, o primeiro ciclo foi marcado por dois picos endotérmicos e os subsequentes por apenas um pico do qual corresponde a transformação de fase α

para amorfa. O desaparecimento de transformação β para α é devido a cinética de cristalização uma vez que não existe tempo suficiente para formação da fase β antes do próximo aquecimento (FERRANTE *et al.*, 2011).

Uma vez especificado e revisado conforme literatura o comportamento térmico e propriedades físicos/químicas da GP, torna-se importante mencionar o comportamento reológico do polímero com intuito de revelar a reação do material submetido a resfriamento. É de conhecimento do campo de manufatura a base de injeção de polímeros que o material está susceptível a contração. Baseado no estudo apresentado por (LOTTANTI *et al.*, 2014), diferentes marcas de GP cone foram submetidas a aquecimento até 75°C e posteriormente resfriadas em temperatura ambiente até alcançar 37°C. A contração em referência ao dimensional da ponta apresenta valores significativos de redução média de aproximadamente 1,7% em seu dimensional linear ressaltando que as dimensões dos corpos de prova são apresentadas em grandezas de até 5mm de diâmetro. Os resultados mostram que, a partir do alcance da temperatura de 37°C, o fenômeno de contração reduz consideravelmente, porém a redução de dimensional continua em um passo mais lento (LOTTANTI *et al.*, 2014).

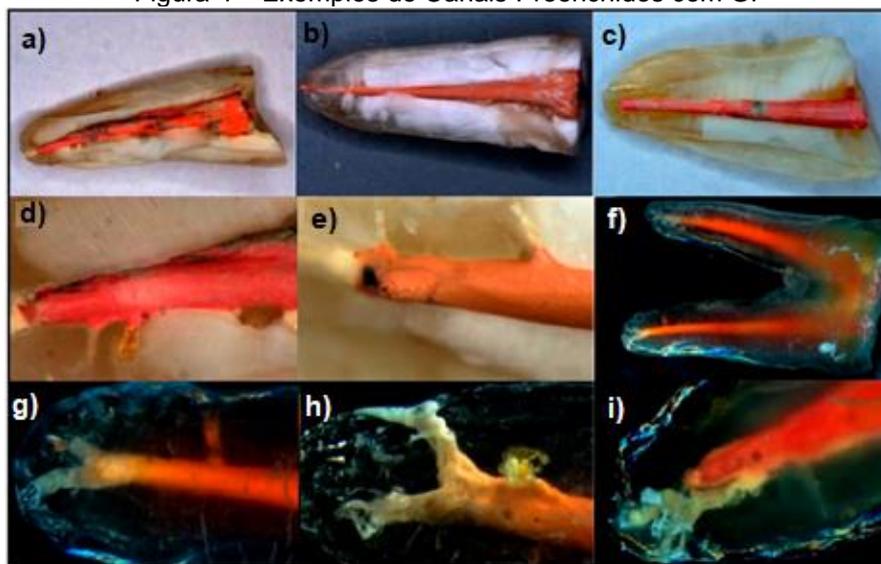
2.1.2 Aplicação e Especificações Técnicas Cones GP

A eficácia de um tratamento endodôntico consiste em uma correta preparação do dente antes do procedimento. A extração da polpa dentária comprometida, o acesso aos canais internos dos dentes e completa remoção do tecido comprometido, situado dentro dos canais, influencia significativamente no sucesso do tratamento. Dessa maneira, a identificação dos orifícios dos canais dentários, uma vez que têm anatomia irregular, adicionados as práticas de limpeza e desinfecção do canal são de suma importância para atingir o resultado desejado do procedimento. O profissional da odontologia precisa garantir completa visibilidade e acesso as paredes do canal assim como do perímetro completo da cavidade para utilizar dos materiais, instrumentos e métodos que melhor se aplicam ao caso (DOBRZAŃSKA *et al.*, 2021).

O procedimento de canal consiste em práticas de preparação, limpeza e obturação que, quando somadas e executadas de maneira correta, refletem em um tratamento de canal correto. Os cones de GP são usados na etapa final do tratamento

onde o processo de obturação toma lugar. É a partir dessa etapa que os canais são preenchidos e preparados para serem fechados e selados. As técnicas de obturação foram desenvolvidas ao longo dos anos e um único objetivo manteve-se o mesmo, perfeito preenchimento e selagem do sistema de canal (DOBRZAŃSKA *et al.*, 2021). A Figura 4 ilustra alguns dos possíveis canais para inserção de pontas cônicas de GP.

Figura 4 – Exemplos de Canais Preenchidos com GP



Fonte: Adaptado (DOBRZAŃSKA *et al.*, 2021)

O advento da tecnologia proporcionou ao ramo endodôntico a minimização de riscos com instrumentos, equipamentos, materiais e métodos cada vez mais voltados as práticas de preenchimento tridimensional. Dessa maneira, reinfecções ou pobre preenchimento de canais laterais menores tiveram seus eventos reduzidos evitando assim o retratamento. Métodos de obturação de canal baseiam-se na utilização de pontas cônicas de GP abrangendo técnicas das quais podem ser aplicadas com pasta selante ou simplesmente realizando o aquecimento do próprio cone. Neste último caso, a característica termoplástica do material assume a responsabilidade de preenchimento das irregularidades e canais laterais menores adjacentes.

Adicionalmente, técnicas de introdução de material GP totalmente fluido dentro do canal também podem ser empregadas, porém para preenchimento posterior. Ou seja, uma ponta com dimensional cônico pré-definido, mesmo que submetida a aquecimento prévio, será sempre utilizada em processos de obturação. Desta forma, para qualquer tratamento de canal, o uso de pontas que refletem o dimensional mais

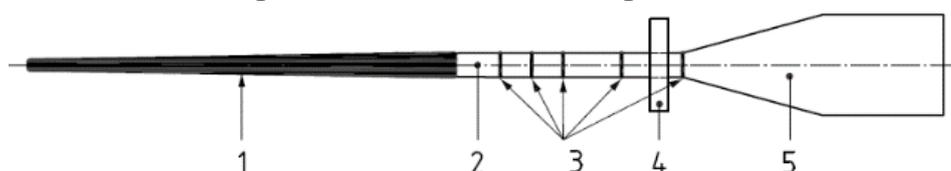
próximo possível do diâmetro e conicidade do orifício da raiz do dente são de extrema importância para garantir a correta selagem pós procedimento.

Por este motivo, comitês técnicos da odontologia entenderam a necessidade de criar padrões e requisitos de fabricação de cones de GP, uma vez que o produto se tornou amplamente utilizado no mundo. Dessa maneira, em 1995 foi criada a primeira edição da ISO sobre pontas de obturação, com revisão para segunda edição em 2006 e recentemente atualizada para terceira edição da *ISO 6877 Third Edition 2021-09 – Dentistry – Endodontic obturating materials*. Este documento tem como escopo a padronização de especificações técnicas de materiais de obturação para tratamento de canal (ISO 6877:2021(E)).

A ISO 6877:2021(E) abrange pontos como necessidade de avaliação de requerimentos de biocompatibilidade, dimensional das pontas incluindo suas respectivas conicidades, requerimentos de mínima radiopacidade, cor para identificação de calibres, metodologia de testes das pontas, taxas de derretimento do material, embalagem e identificação.

Com intuito de atender as técnicas de tratamento de canal das quais, assim como mencionado previamente, são aplicadas conforme necessidade de análise do cirurgião dentista, a ISO 6877:2021(E) aborda os materiais aplicados como pontas metálicas, poliméricas com tratamento superficial metálico e/ou apenas poliméricas. A categorização dos produtos é dividida como pontas padrão ISO ou *standard* (conicidade uniforme de 2%), pontas com conicidade maior que 2%, pontas com conicidade variável, pontas auxiliares (conicidades 2% a 9%), pontas com núcleo polimérico diferente de GP ou *carrier-based obturing devices* ilustrada conforme Figura 5 e por fim, material de GP usado em dispositivos de aquecimento para injetar GP fluida (*Pellets*).

Figura 5 – *Carrier-Based Obturing Devices*



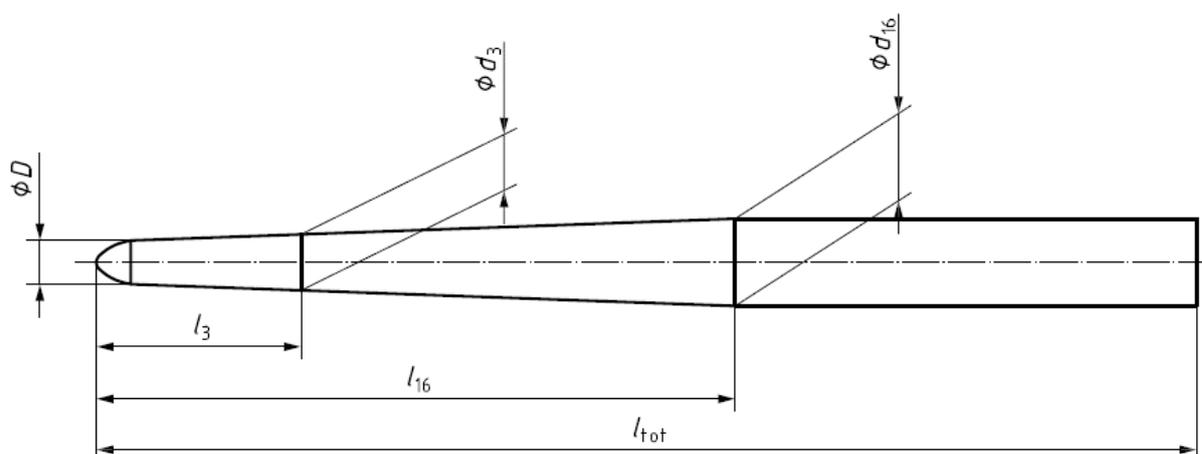
Fonte: Adaptado (ISO 6877:2021(E)).

Carrier-Based Obturing Devices são dispositivos dos quais tem um núcleo de material polimérico diferente da guta chamado de *carrier*. Segundo a ISO

6877:2021(E), os números indicados na Figura 5 correspondem sequencialmente a: 1 - *coating of thermoplastic material (polymeric material)*, 2 - *rigid or semi-rigid core*, 3 - *calibration marks*, 4 - *flexible stop* e 5 - *handle*.

Pontas *standard* ou padronizadas pela ISO devem apresentar geometria conforme ilustração esquemática apresentada na Figura 6. Esta representação demonstra os pontos dos quais seus requerimentos técnicos devem ser garantidos para que o cone de GP esteja em conformidade.

Figura 6 – Dimensional Pontas GP



Fonte: Adaptado (ISO 6877:2021(E))

Todas as medidas são expressadas em milímetros, onde: l_{tot} = comprimento total da ponta, l_3 = comprimento 3mm da ponta mais fina, l_{16} = comprimento 16mm da ponta mais fina, D = diâmetro da ponta mais fina, d_3 = diâmetro no comprimento 3mm e d_{16} = diâmetros no comprimento 16mm. Dessa maneira, baseado nas premissas acima mencionadas, o comitê técnico da ISO 6877:2021(E) padronizou as especificações de dimensional dos cones *standard* de GP conforme Tabela 3. Para pontas de material polimérico GP as tolerâncias são de $\pm 0,05\text{mm}$ (tamanhos 008 a 025) e de $\pm 0,07\text{mm}$ (tamanhos 030 a 140). A conicidade é uniforme e igual a 2% aumentando ao longo do comprimento da ponta de GP, ou seja, a cada 1mm no comprimento o diâmetro aumenta em 0,02mm. Para especificação de comprimento, a norma menciona que o comprimento total da ponta de GP não deve ser menor que 28mm, uma vez que não seja especificado pelo próprio fabricante do produto.

Tabela 3 – Especificações Dimensional Pontas GP

Calibre	D	D3	D16
008	0,08	0,14	0,4
010	0,10	0,16	0,42
015	0,15	0,21	0,47
020	0,20	0,26	0,52
025	0,25	0,31	0,57
030	0,30	0,36	0,62
035	0,35	0,41	0,67
040	0,40	0,46	0,72
045	0,45	0,51	0,77
050	0,50	0,56	0,82
055	0,55	0,61	0,87
060	0,60	0,66	0,92
070	0,70	0,76	1,02
080	0,80	0,86	1,12
090	0,90	0,96	1,22
100	1,00	1,06	1,32
110	1,10	1,16	1,42
120	1,20	1,26	1,52
130	1,30	1,36	1,62
140	1,40	1,46	1,72

Fonte: Adaptado (ISO 6877:2021(E)).

Ao correlacionar processos de fabricação de pontas GP com padronização de especificação técnicas, fica evidente que um produto de qualidade e conforme necessita com toda certeza refletir o dimensional informado na tabela 3 para seus respectivos calibres. Sendo assim, os métodos ou itens de controle devem estar focalizados nas informações dispostas na ISO 6877:2021(E). Analogamente, em processos de fabricação de GP dos quais moldes de injeção são utilizados para garantir o dimensional pré-determinado de um calibre de ponta, as especificações de diâmetros, conicidades e tolerâncias das cavidades do aço precisam ser garantidas conforme os requisitos técnicos descritos na ISO 6877:2021(E) independente do processo de manufatura utilizado para fabricação do molde.

2.2 PROCESSO DE INJEÇÃO DE POLÍMEROS

Peças plásticas injetadas com níveis técnicos de acuracidade de medidas têm sido requeridas em diversas áreas como automotiva, médicas, óticas e odontológicas.

O setor de processamento de plásticos é relativamente jovem quando comparado com a metalurgia ou indústrias de vidros e aço. A injeção de polímeros por moldes é um processo de manufatura de passo único do qual requer da ferramenta dimensões precisas, geometria e específica rugosidade. Os maiores desafios do processo de injeção de plásticos estão relacionados a importância do design do produto e desgaste do molde envolvendo manutenções de alto custo. O desenvolvimento do processo de injeção de polímeros relaciona-se ao aperfeiçoamento do processo de fabricação e domínio das condições de superfície dos moldes (CRISAN *et al.*, 2016; ZABALA *et al.*, 2019).

De uma maneira geral, a injeção de plásticos é um processo cíclico composto de etapas como dosagem, injeção, preenchimento, compactação e ejeção. A etapa de injeção é caracterizada por altas taxas de fluxo proporcionando maiores taxas de cisalhamento proveniente do contato do material com a superfície do molde. Assim que o material começa a ser preenchido na cavidade do molde, mecanismos de transferência de calor tomam lugar em que, a troca entre o material derretido e a parede da cavidade caracteriza perfis de preenchimento do material de acordo com fluxo e suas propriedades reológicas. A partir do instante que a etapa de preenchimento é concluída, a cavidade do molde é submetida a pressão de injeção de maneira que o material derretido continue sendo injetado iniciando assim o processo de compactação. Durante esta etapa, a contração do material já preenchido é compensada, uma vez que este inicia simultaneamente com o processo de resfriamento. Sequencialmente, a etapa de resfriamento toma lugar e o material injetado inicia o processo de solidificação de maneira que a condução térmica é o mecanismo de transferência de calor predominante permitindo o resfriamento completo da peça e posteriormente a ejeção do material. Durante esta última etapa o fenômeno de adesão pode acontecer entre a superfície do molde e a peça injetada (CRISAN *et al.*, 2016).

O estado da arte no que se diz respeito a replicação de geometrias de cavidades de moldes de injeção são destacadas pela importância de controle processo, análise e otimização da etapa de injeção. Temperatura do molde, temperatura de fusão do material, velocidade de injeção e temperatura de ejeção são características importantes para qualidade da peça replicada. Temperatura e pressão são fatores que podem impactar direto na estabilidade dimensional da peça. O

controle da pressão de injeção é fundamental para otimização da produção da peça e é o parâmetro crítico de processo para moldagem precisa em alta acuracidade do material termoplástico. Alta pressão de injeção tende a prover defeitos na peça como rebarbas assim como um ciclo de injeção pobre com baixa repetibilidade de processo. Influenciado por altos valores de entradas de pressão, a máquina de injeção pode oferecer diferentes condições de preenchimento das cavidades e dessa maneira resultando em diferentes propriedades na peça moldada (TOSELLO, 2018).

Com o advento da tecnologia, os processos de injeção evoluíram em escala acelerada proporcionando recursos para viabilização de peças micro injetadas. Moldes de micro injeção são amplamente aplicados em tecnologia de injeção de micro componentes poliméricos que requerem tolerâncias dimensionais em escala micrométrica, alto acabamento de superfície e complexidade geométrica. Comumente usada na manufatura de micro componentes médicos dos quais tem alto valor agregado, peças micro moldadas refletem o tipo de manufatura utilizada na produção sensores, implantes, tubos, pontas de cateteres dentre outros (TOSELLO, 2018).

Apesar do intervalo de tolerância variar na escala de centésimos de milímetros, a injeção de pontas GP demanda, conforme descrito na ISO 6877:2021(E), alta precisão de medidas. Cones de GP demonstram complexidade de alcance de dimensional ao se tratar do processo que tem quatro medidas primordiais, sendo elas D0, D3, D16 e comprimento. Com intuito de estar em conformidade, o processo de injeção de GP tem como requerimento os itens de controle mencionados onde precisam ser obtidos simultaneamente. Em outras palavras, considerando uma cavidade precisamente fabricada, a ponta de GP com comprimento parcialmente preenchido refletirá em diferentes valores de D0, D3 e D16 dos quais podem estar fora do intervalo tolerado. De uma mesma maneira, pontas totalmente preenchidas podem sofrer contração e estarem fora do intervalo de diâmetro e conicidade tolerados. Alta pressão de injeção aplicada ao processo pode gerar defeitos como rebarbas ou partes de injeção que transpõe a cavidade, dos quais são susceptíveis a reprovação por análise visual. De uma maneira geral, a soma de pontos como orientação molecular, dimensional preciso de cavidade e cone GP, cristalização do polímero, propriedades térmicas da peça injetada, pontas extremamente leves próxima de um miligrama e parâmetros de processo compactuam para um regime de

injeção complexo e dessa maneira caracterizam uma manufatura de peças micro injetadas.

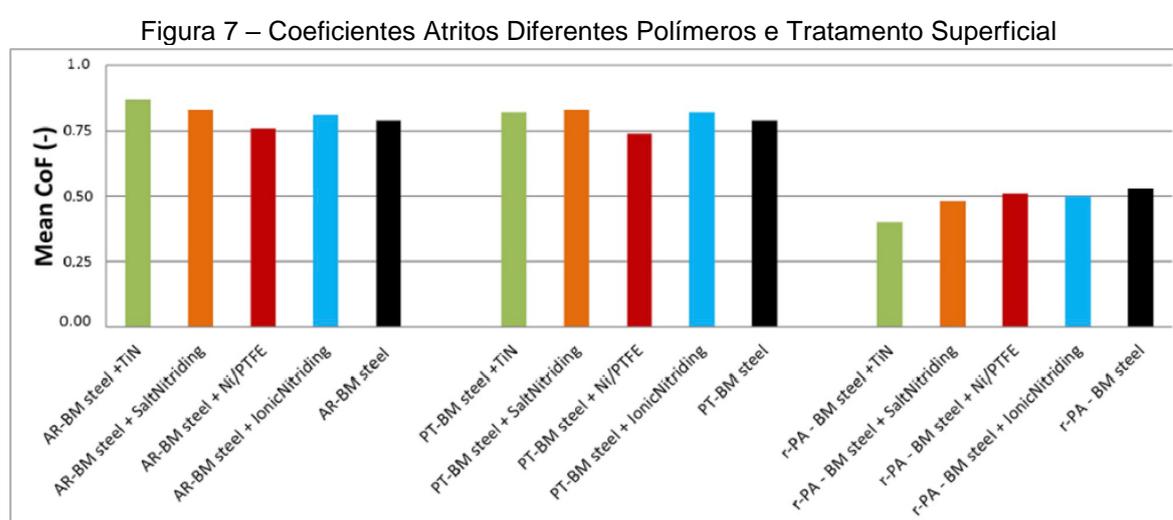
2.2.1 Interação Ferramenta e Peça Injetada

Processo de injeção por moldes pode envolver diversos mecanismos de transferência térmica, condições de contorno de variação de tempo, mudança de fases do material assim como conceitos mais amplamente abordados sobre o efeito das características do material e a geometria propriamente dita. O estudo da natureza de interação térmica entre polímero e superfície do molde, no que se diz respeito as diferentes fases do material em um ciclo de injeção, não são constantes com o tempo e estão fortemente ligadas as condições do processo. Por outro lado, os estudos focados nos fenômenos presentes entre o contato superfície do molde/polímero são relativamente escassos considerando os tópicos previamente abordados. Sendo assim, com intuito de superar deficiências de processo de injeção, as condições de interface de contato entre superfície do molde e peças plásticas precisam ser identificadas (CRISAN *et al.*, 2016).

Durante o processo de modelamento por injeção, as forças de atrito agem primeiro entre a superfície do molde e o material derretido e posteriormente quando o material é removido do molde. Intuitivamente, uma superfície de aspectos mais rugosos ou com maiores irregularidades pode tender a uma conclusão de aumento do coeficiente de atrito por gerar maiores resistências ao deslizamento (CRISAN *et al.*, 2016). Contudo, a redução de características de rugosidade, picos, vales e/ou irregularidades do perfil em questão, proporciona superfícies mais lisas das quais promovem maior área real de contato entre material injetado e cavidades do molde. Tratando-se de injeção de polímeros que possam apresentar comportamento de adesão nas paredes das cavidades, superfícies mais lisas ou com maior área real de contato tendem a gerar coeficientes de atrito ainda maiores do que em superfícies mais rugosas. Dessa maneira, a otimização do preenchimento cavidades depende diretamente dos aspectos de acabamento superficial da cavidade assim como propriedades físicas do polímero injetado.

De acordo com os experimentos performados por (ZABALA *et al.*, 2019), três polímeros foram usados para compreender os coeficientes de atrito em comparação

com os tratamentos de superfícies de um aço. Resina acrílica (AR) e poliéster (PT) não reforçados, poliamida reforçada (r-PA) com fibras de vidro e um aço não especificado e identificado como material base (BM) foram utilizados nos testes. Diferentes tratamentos superficiais foram utilizados para cada polímero dos quais podem ser citados Nitreto de Titânio (TiN), Nitretação de Sal (*SaltNitriding*), Níquel PTFE (Ni/PTFE) e por fim Nitretação Iônica (*IonicNitriding*). Os valores de coeficiente de atrito demonstraram ser menores para o polímero reforçado em comparação com os não reforçados conforme demonstrado na Figura 7.



Fonte: (ZABALA *et al.*, 2019)

O aquecimento do polímero proveniente do atrito do material em altas pressões e velocidades podem aumentar a temperatura de interface de deslizamento do polímero a valores maiores do que as apresentadas pela superfície do molde. Em outras palavras, mesmo que o molde forneça baixas temperaturas, a interação tribológica entre material e superfície podem proporcionar temperaturas elevadas ao material em questão. Dessa maneira, o polímero pode iniciar sua plastificação a temperaturas abaixo de sua transição vítrea condicionando o material a alto coeficiente de atrito correspondente ao fenômeno de adesão.

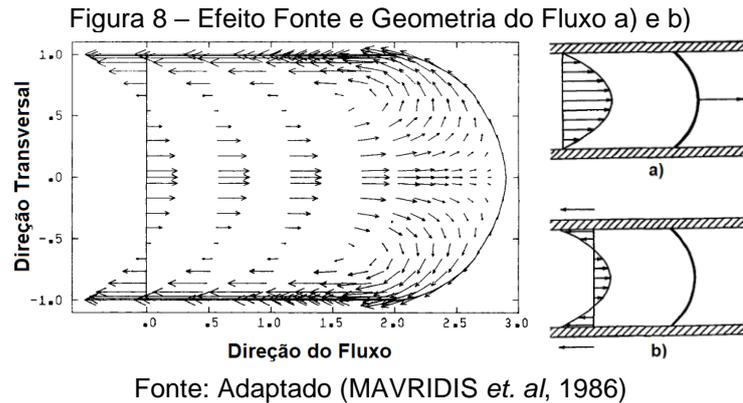
Para o polímero PA não reforçado, ou seja, sem adição de fibras de vidro, o material apresenta valores de atrito maiores atribuídos a adesão da matriz polimérica na parede do aço. Contudo, o composto r-PA apresenta menores valores de coeficiente de atrito devido a menores contatos de material polimérico na superfície de deslizamento. Adicionalmente, os polímeros não reforçados, em comparação com

o material base (BM), o tratamento de superfície que melhor se comportou em referência ao coeficiente de atrito foi o Ni/PTFE conforme demonstrado na Figura 7. Apesar dos valores estarem próximos a 0,75, o início do processo demonstrou medições próximas a 0,4 indicando assim que ao longo do tempo o tratamento de superfície perdeu eficácia devido ao subsequente processo de adesão de material à medida que o polímero sucessivamente escoava pelo molde (ZABALA *et al.*, 2019).

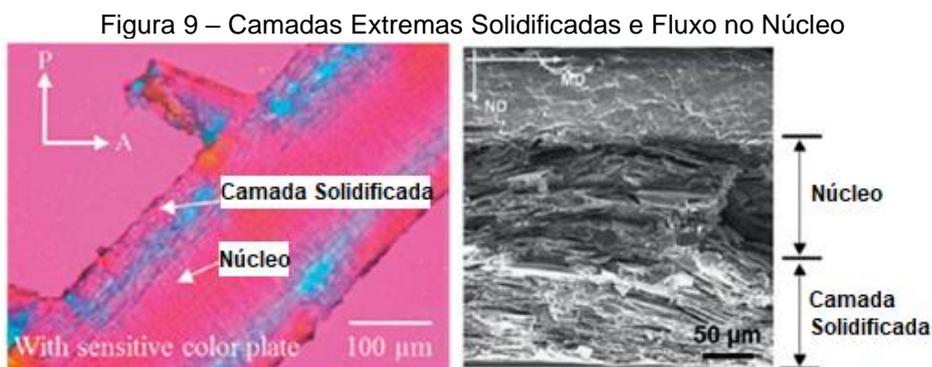
É importante ressaltar que a literatura aponta correlação entre o comportamento do polímero e superfície com base em suas propriedades térmicas e físicas, uma vez que o valor de análise é mensurado e proposto através de um coeficiente de atrito. Em outras palavras, o que indica se um polímero apresenta facilidade ou dificuldade de escoamento em contato com uma determinada superfície é a medição de seu coeficiente de atrito conforme descrito acima, mas não é discutido se o comportamento de deslizamento do material tem relação com as características de seu perfil de rugosidade.

No molde, as moléculas do polímero são tipicamente orientadas na direção do fluxo de injeção, mas durante a etapa de preenchimento elas são perpendiculares. O atrito com as paredes da cavidade influencia em menor velocidade das moléculas do material nas extremidades comparadas com as do centro do fluxo. Dessa maneira, a diferença de velocidade de fluxo resulta em cisalhamento rotacionando as moléculas até que elas retomem o sentido do fluxo (ZABALA *et al.*, 2019) resultando em um fenômeno conhecido como efeito fonte.

Apesar do fluxo no centro do material ser uniforme, a taxa de cisalhamento gerada no molde é causada pela alta velocidade de injeção do polímero e pela redução de velocidade devido ao atrito com as superfícies das cavidades. Este atrito depende do polímero a ser injetado e das condições de superfície do molde do qual, para evitar o preenchimento incompleto das cavidades, torna-se necessário o aumento da velocidade e pressão de injeção gerando maiores taxas de cisalhamento. Contudo, é importante salientar que o aumento dos parâmetros mencionados podem levar a diversos problemas na peça injetada como marcas, queimaduras, descoloração e marcas de ejeção no material uma vez que maiores coeficientes de atrito requerem maiores forças de ejeção (ZABALA *et al.*, 2019).



Conforme descrito por (TOSELLO, 2018), considerando a disposição interna do material da peça injetada, uma estrutura de diferentes camadas é evidenciada formando um primeiro nível próximo as paredes do molde e outro nível mais ao núcleo do material (denominação em inglês *skin-core structure*). Entre essas duas camadas é formada uma terceira denominada de camada cisalhante da qual tem orientação molecular causada pelo fluxo do polímero derretido (denominação em inglês *shear layer*). Conforme ilustrado na Figura 9, pode-se identificar a diferença de orientação molecular em suas respectivas camadas da seção transversal da peça injetada. Uma vez que a cristalinidade de um polímero semicristalino é afetada pelo grau de orientação molecular e tamanho desta região, as estruturas de camadas tem influência direta nesta orientação que variam de acordo com o tipo do polímero, condições de moldagem e parâmetros de processo. Geralmente, a orientação molecular é formada na camada do núcleo, área relativamente com baixa tensão. Camadas solidificadas externamente tendem a ficar estacionárias enquanto que o material no centro ou núcleo do material ainda derretido movimenta-se a favor da direção do fluxo de injeção.



Segundo (TOSELLO, 2018), os melhores resultados de replicação de geometrias em polímeros injetados está relacionado ao fornecimento de carga térmica buscando temperaturas de fusão dos polímeros e equalizando a temperatura do molde nas mesmas condições. A confirmação de diferença na replicação da superfície de molde pôde ser comprovada através de imagens polarizadas em que a seção transversal na direção do fluxo apresentou uma camada solidificada próximo as paredes da cavidade (*skin-shear*) e um núcleo (*core*) conforme ilustrado na Figura 9. A formação desta camada solidificada nas extremidades do fluxo proporcionou uma baixa orientação molecular. Para altas temperaturas de molde foi observado que esta camada próxima a superfície do molde diminuiu relacionando o aumento da espessura dessa camada com o distúrbio do fluxo do polímero, aumento de pressão interna e baixa razão de replicação da superfície.

De uma maneira geral, em processos de micro injeção, o material derretido é injetado com alta velocidade e pressão e subitamente resfriado. Esta característica de manufatura proporciona ao polímero diferentes estados de cristalização molecular uma vez que é submetido a excessivo cisalhamento e solidificação induzida por baixas temperaturas de molde no processo de injeção. Sendo assim, a influência da orientação molecular e rearranjo da estrutura cristalina tendem a ser mais intensas em processos de micro injeção do que injeção convencional desenvolvendo maiores ou menores espessuras de camadas solidificadas próximas as paredes da cavidade (*skin-shear*) (TOSELLO, 2018).

Os parâmetros de processo (temperatura do molde, tempo de compactação, pressão de compactação) e parâmetros de design (dimensões do canal e direção com respeito ao fluxo do polímero) influenciam na réplica fiel da geometria da peça injetada. Os parâmetros mencionados proporcionam ao processo de injeção um guia efetivo e design da peça injetada envolvendo um sistema de preenchimento. Adicionalmente, a combinação entre alta temperatura do molde e maiores tempos de compactação resultam em maior fidelidade na replicação da peça injetada em comparação com as cavidades da ferramenta de injeção (TOSELLO, 2018).

Os parâmetros são caracterizados entre fatores de fase de preenchimento (temperatura de fusão, temperatura do molde e velocidade da injeção) e fatores de pós preenchimento (pressão de empacotamento, tempo de empacotamento, tempo de resfriamento e forças de desmoldagem). Altas temperaturas de fusão garantem

menor viscosidade, queda de pressão nas cavidades inferiores e maior fluidez do material. Altas temperaturas do molde são requeridas para oferecer maior fidelidade de replicação pois solidificação prematura é prevenida. A temperatura elevada do molde é o fator principal que permite a minimização de defeitos de superfície e potencializa a replicação da superfície. Maiores pressões e tempo de compactação permite a compensação do fenômeno de contração do material preservando as geometrias replicadas. Durante o processo de injeção, do qual não é aplicado uma pressão e tempo de compactação com intuito de compensar a contração do material, a replicação fiel das geometrias são comprometidas (TOSELLO, 2018).

Segundo (LOTTANTI *et al.*, 2014), pontas GP desenvolvidas e designadas a aplicações termoplásticas sofrem contração rapidamente e extensivamente sob resfriamento. Baseado no estudo laboratorial conduzido em 2014, pontas GP de diferentes marcas e submetidas a resfriamento em temperatura ambiente de 75°C a 37°C apresentaram contração linear de dimensional significativamente superior a 2%. Adicionalmente, a cinética de contração ainda pôde ser observada de 5 a 10 minutos após a retirada de fonte de calor.

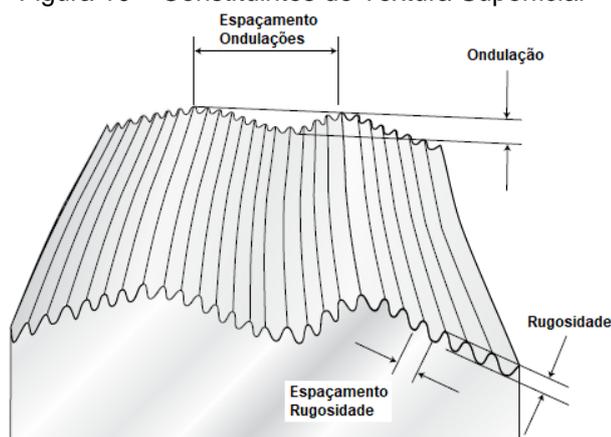
2.3 RUGOSIDADE SUPERFICIAL E PARÂMETROS

De maneira que a compreensão do comportamento de um polímero a ser preenchido nas cavidades de um molde está relacionada as interações tribológicas entre suas superfícies, o acabamento superficial das cavidades torna-se um parâmetro de suma importância em processos de injeção. Com o intuito de garantir funcionalidade para o conjunto, torna-se fundamental a especificação de acabamento de superfícies através da rugosidade superficial principalmente para peças sujeitas a atrito, desgaste, corrosão, escoamento de fluidos e até mesmo por esforço à fadiga. Uma vez que diferentes processos de manufatura proporcionam diversos acabamentos superficiais, o conjunto tenderá a oferecer melhores respostas a sua função designada quando o acabamento superficial é adequadamente aplicado para cada caso. Exemplos dessa relação podem ser citados como a vida útil e capacidade de carga de um mancal assim como resistência à fadiga, lubrificação considerando a espessura da película, transferência de calor por superfície de contato onde, em todos

os casos, quanto melhor for o acabamento superficial maior será influência positiva desse parâmetro sob o processo (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2020).

Perfis de rugosidade superficial podem conter diferentes formatos que representam irregularidades apesar de uma superfície analisada a olho nu refletir uma aparência reta e uniforme. Contudo, utilizando-se do auxílio de um microscópio e ampliando-se a imagem de um perfil de rugosidade, pode-se encontrar irregularidades de pequenos picos e vales espaçadas entre si que percorrem um caminho ondulado. Baseado neste conceito, de maneira sumariada, uma superfície pode ser caracterizada como curva, ondulada ou rugosa de acordo com o espaçamento de suas irregularidades (TAYLOR HOBSON AMATEK, 2011). Normalmente, superfícies exibem rugosidade e ondulação combinados conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Constituintes de Textura Superficial

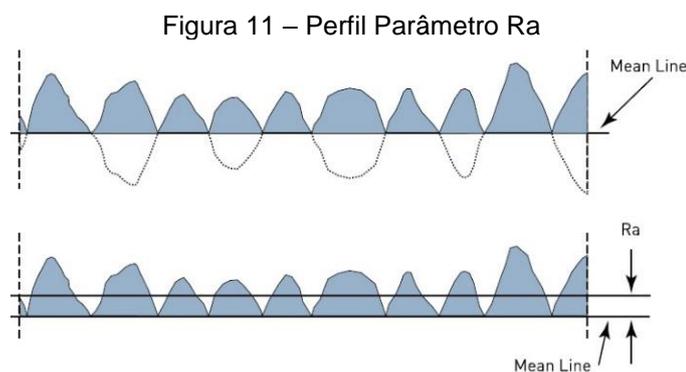


Fonte: Adaptado (TAYLOR HOBSON AMATEK, 2011)

Dessa maneira, as grandezas de rugosidade são medidas em referência ao perfil de rugosidade e não referente a ondulação do qual o sistema considera uma linha média paralela à direção do perfil ao longo do comprimento de amostragem. O parâmetro de rugosidade mais utilizado no mundo é a média aritmética dos valores absolutos de picos e vales em um determinado comprimento de amostragem conhecido como R_a expressada pela Equação 1 (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2020). Ao se tratar de média dos valores absolutos, pode-se ilustrar o parâmetro R_a considerando a inversão dos vales abaixo da linha de centro. Dessa maneira, o parâmetro reflete a média das alturas do perfil analisado, ou seja, a média dos valores absolutos ou de seus respectivos módulos. Sendo assim, não há distinção

entre picos e vales, o parâmetro não indicará relevâncias e não proverá informação significativa sobre a característica e forma da superfície.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i| \quad (1)$$



Outro parâmetro utilizado em conceitos de rugosidade é desvio médio quadrático Rq, em inglês expressado pela sigla RMS (*Root Mean Square Average*), do qual é definido como a raiz quadrática da média dos quadrados dos valores de picos e vales em um comprimento dado. Esta grandeza também é comumente utilizada pois a elevação do quadrado aumenta o efeito da irregularidade do perfil se afastando da média onde, o valor de Rq pode ser maior que Ra em 11% (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2020). A diferença entre os valores de Ra e Rq pode ser explicada de maneira que, Ra exibe facilidade em ser representado graficamente e então, inicialmente adotado antes da era digital. Rq por sua vez traz mais significado as análises quando utilizado para trabalhos estatísticos (TAYLOR HOBSON AMATEK, 2011). Rq pode ser expressado pela Equação 2.

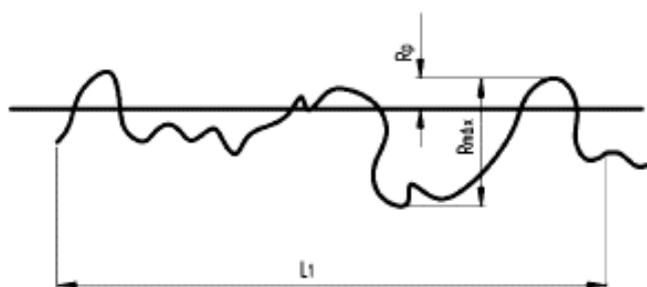
$$Rq = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (2)$$

Em sequência pode-se avaliar o parâmetro de altura máxima entre picos e vales do perfil de rugosidade dentro de um comprimento de amostragem. Este valor nomeado de Rmax dependendo da Norma a ser aplicada e conceito a ser vigorado, o parâmetro tem como definição a distância entre duas linhas tangenciais onde, a mais alta se encontra no topo da crista do maior pico e a mais baixo no ponto mais

fundo do vale. Dessa maneira, mede-se a distância entre o maior pico e o maior vale do perfil de rugosidade. Adicionalmente, pode-se também definir o parâmetro R_p do qual representa o valor do maior pico com base na linha de centro conforme ilustrados na Figura 12. Uma vez que R_{max} e R_p são obtidos, pode-se dizer que, estes são parâmetros baseados na profundidade do perfil de rugosidade. Contudo, sistema baseados em medidas proporcionais também podem ser calculados com intuito de fornecer informações mais específicas sobre a característica ou forma do perfil como é o caso do coeficiente de esvaziamento Ke expressado pela Equação 3 (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2020).

$$Ke = \frac{R_p}{R_{max}} \quad (3)$$

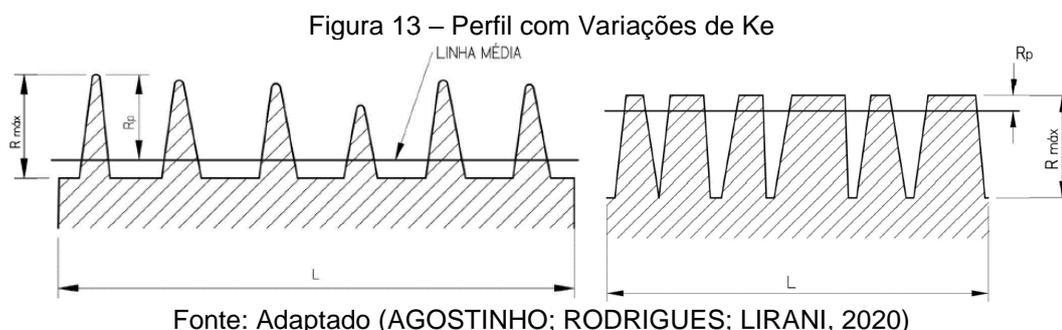
Figura 12 – Representação Parâmetros R_p e R_{max}



Fonte: Adaptado (AGOSTINHO et al., 2020)

O coeficiente Ke pode ser utilizado para a definição do tipo de superfície obtida e aplicação prática em relação a rugosidade superficial. Isto se dá por ser um coeficiente que relaciona o maior pico (R_p) com a maior altura entre picos e vales (R_{max}). Contudo, R_{max} oferece valores dentro de um comprimento de amostragem e R_t também apresenta valores de máxima altura entre picos e vales, porém do perfil de rugosidade como um todo. Dessa maneira, o conceito de Ke pode ser analogamente aplicado para visibilidade do perfil por completo. Sendo assim, sempre que R_p aumenta tendendo a valores iguais de R_t , o resultado de Ke tende a 1 deslocando a linha média para baixo. Isto indica que o perfil de rugosidade em questão apresenta uma superfície com muitos picos ou cristas proporcionando propriedades funcionais ruins para aplicações que dependam de uma superfície mais lisa. Analogamente, quando os valores de R_p tendem a ser menores que R_t , o coeficiente Ke tende a se aproximar de zero deslocando a linha de centro para cima.

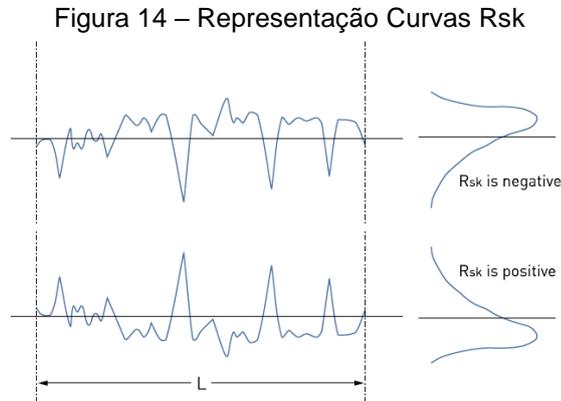
Isto significa que o perfil de rugosidade apresenta uma superfície com muitos vales e poucas cristas proporcionando boa funcionalidade para casos em que o acabamento superficial é aplicado para fornecer menos atrito como em mancais (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2020).



Por fim, o formato da superfície pode ser ilustrado pela curva de distribuição de amplitude que correlaciona os comprimentos totais relativos sobre o range do perfil de alturas acima ou abaixo da linha de centro. Em outras palavras, a maneira como a densidade da amplitude de alturas é distribuída sobre o perfil de comprimento pode demonstrar uma distribuição simétrica ou não, relacionando alturas de picos e vales. Para as distribuições assimétricas, o perfil de rugosidade proporciona uma curva oblíqua, termo em inglês *Skewness*, onde a direção do formato da curva depende se volume de material encontra-se em sua maioria acima da linha neutra (*skew* negativo) ou abaixo (*skew* positivo) (TAYLOR HOBSON AMETEK, 2011). Em outras palavras, obrigatoriamente, quando a massa de material está mais presente acima da linha neutra significa que o perfil tem maiores picos e abaixo da linha neutra, menores picos.

Portanto, a curva conhecida como *Skewness* do qual fornece parâmetro de valor numérico descrito como R_{sk} , proporciona um método para distinção entre duas superfícies com mesmo R_a , mas com perfis de rugosidade que apresentam formas diferentes. De maneira sumarizada, superfície que apresenta R_{sk} negativo tem a tendência de apresentar distribuição minimamente pontiaguda sendo adequadamente aplicada em situações que pouco desgaste e baixos níveis de atrito são aceitáveis, como por exemplo, em superfícies de apoio. Valores positivos de R_{sk} , podem ser adequadamente aplicados em superfícies que necessitam de maior interferência e atrito como em processo de revestimento de superfícies e cobertura por outros metais,

onde requerem superfícies mais pontiagudas para aderência do material (TAYLOR HOBSON AMATEK, 2011). Curva de Skewness pode ser ilustrada pela figura 14.



Fonte: Adaptado (TAYLOR HOBSON AMATEK, 2011)

É importante salientar que na maioria das vezes, dependendo do equipamento e método utilizado para caracterização da superfície, a nomenclatura dos parâmetros pode variar. Neste caso, deve-se utilizar dos conceitos descritos para aplicação dos cálculos e análises do perfil de rugosidade, de maneira que reflita a melhor aplicação possível. O presente trabalho tem este conceito como premissa e fornecerá uma abordagem mais específica e explicativa nas seções de Métodos, Resultados e Conclusões.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

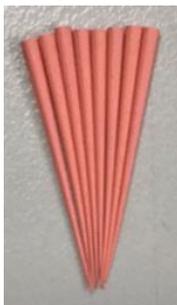
De modo geral, a metodologia e materiais usados nos testes baseiam-se na injeção de pontas GP através de um molde de injeção utilizado no processo do fabricante Dentsply Indústria e Comércio Ltda, onde a medição de perfil de rugosidade (molde e peça), assim como dimensional de comprimento das pontas foram executados antes e depois do tratamento superficial do molde com intuito de entender o comportamento de preenchimento do polímero em relação a característica de superfície da ferramenta. O perfil de preenchimento por sua vez foi definido como parcial para que fosse possível a visibilidade de diferencial de comprimento antes e depois do tratamento.

O design do molde de injeção, equalização de vazão de preenchimento dos canais e parâmetros de processo utilizados nos aparatos experimentais deste estudo são confidenciais e de propriedade da empresa Dentsply Indústria e Comércio Ltda. Quanto as pesquisas sobre patentes, elas foram realizadas em quatro diferentes bases de dados sendo United States Patent and Trademark Office (USPTO), World Intellectual Property Organization (WIPO), European Patent Office (ESPACENET) e o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Apenas uma patente relacionada com molde de injeção de pontas GP foi encontrada e publicada em outubro de 2022, titulada de *Forming mold for injection molding of large-taper gutta-percha point*. A propriedade intelectual tem número de aplicação CN202122824895U, cadastrada na classificação B29C45/26 e B29C45/28, dos quais descrevem os campos de estudo de moldes e equipamentos para corte de canais de injeção, respectivamente. O resumo da patente aborda o assunto de manufatura de moldes de injeção para cones GP de grandes conicidades apontando as estruturas da ferramenta especialmente desenvolvidas e posicionadas para atender problemas de uniformidade de medidas e eficiência de produção de ferramentas em métodos de usinagem. Com exceção da patente mencionada, os bancos de dados citados acima apresentam patentes de produtos e/ou cones de GP assim como métodos e/ou dispositivos voltados para tratamentos de canal, eliminando relações com design ou fabricação de moldes de injeção aplicados em manufatura de pontas de GP.

3.1 MATERIAIS

O produto utilizado foram pontas de GP ISO Calibre 120 para obturação de canais conforme ilustrada na Figura 15.

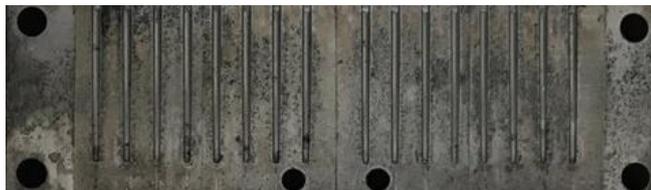
Figura 15 – Fotografia Pontas Injetadas



Fonte: Elaborada pelo Autor

A ferramenta é bipartida e constituída de 16 cavidades do qual referencia-se cada um de seus lados como Lado 1 e 2. A fotografia ilustrada na Figura 16 apresenta um do lado do molde. O molde foi fabricado em Aço denominado Stavax do qual sua nomenclatura padrão é especificada como AISI 420 modificado com dureza entre 48 e 50 HRC. Suas dimensões principais são 160x60x50 mm (comprimento x altura x espessura).

Figura 16 – Representação 1 Lado do Molde



Fonte: Elaborada pelo Autor

Massa de GP granulada usada para injeção de pontas foi utilizada com data de fabricação de junho 2022 fornecida pela empresa Dentsply Indústria e Comércio Ltda, conformemente aprovada pela análise do setor de controle de qualidade com validade de 4 anos e número de lote 384582O. Maiores detalhes sobre a massa e/ou sua composição são confidenciais.

A máquina injetora utilizada é de marca Arburg Allrounder Modelo 170S 125-70 fabricação 2008 conforme ilustrado na Figura 17.

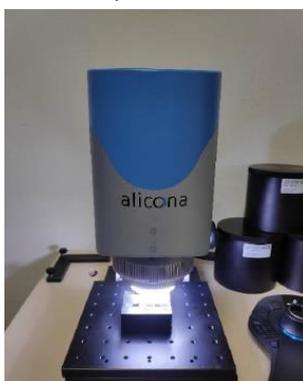
Figura 17 – Injetora Arburg Allrounder 170S



Fonte: <https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/presse/2009/25542-01-170s.jpg>. Acesso em 07/11/2022.

Após a injeção das pontas, a ferramenta e as peças injetadas foram submetidas a caracterização pelo método de Perfilometria óptica com intuito de conhecer quais os parâmetros de rugosidade podem ser encontrados no molde de injeção e também no polímero injetado. O equipamento utilizado foi o microscópio Alicona Infinite Focus SL, equipado com lente de 10x (aumento total de 100x), com resoluções vertical e horizontal ajustadas automaticamente situado no Laboratório de Processos de Fabricação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São Carlos.

Figura 18 – Microscópio Alicona Infinite Focus SL

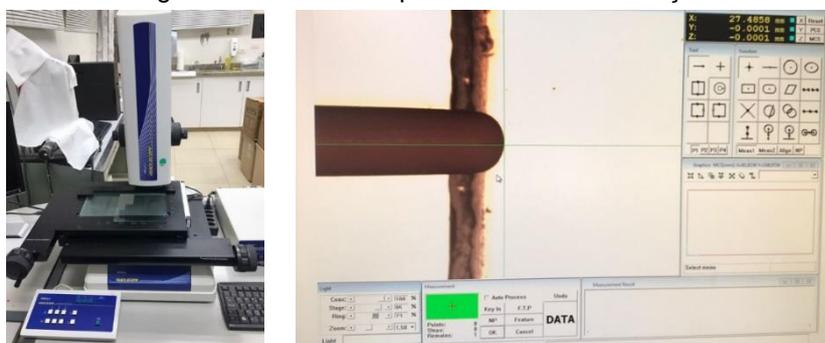


Fonte: Adaptado (RODRIGUES, 2021)

O equipamento utilizado para a medição do comprimento das pontas foi o Quick Scope do fabricante Mitutoyo Code No 359-710 -1A Serial No 100041302 com

precisão de 0,0001 mm para todos os eixos x, y e z. O software utilizado para auxiliar na obtenção das dimensões foi o QSPAK MSE V.3.1.

Figura 19 – Quick Scope e Software de Medição



Fonte: Elaborada pelo Autor

O processo de tratamento superficial do molde 120 foi executado pela empresa Polimaster Polimento e Texturização Eireli situada em Artur Nogueira, São Paulo. O processo empregado pelo fornecedor é denominado de SP1 com máximo grau e pasta 3 micrones final. Não houve recobrimento de material nas cavidades, elas apenas foram submetidas a remoção de material de até 0,03 mm no diâmetro com acabamento espelhado.

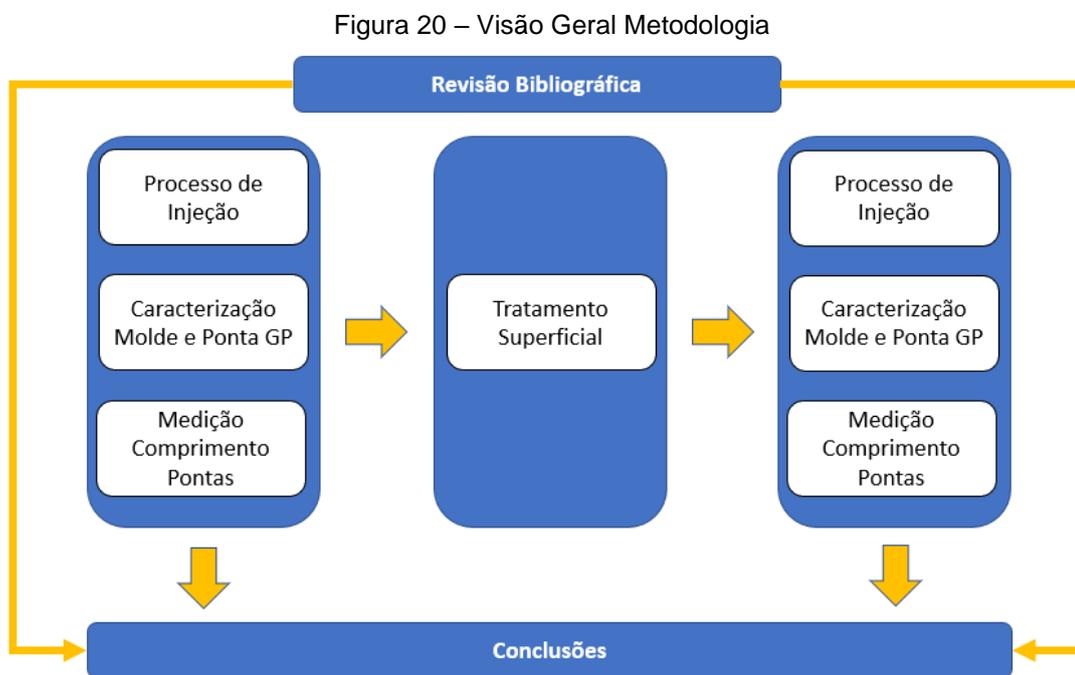
Os dados coletados pelas medições de perfilometria e comprimento foram trabalhados estatisticamente pelo software Minitab® 20.4 (64-bit). Este software foi desenvolvido pela empresa privada Minitab LLC com sede na Universidade Estadual da Pensilvânia, EUA (informação Minitab) ¹.

3.2 METODOLOGIA

Assim como mencionado anteriormente, a estratégia empregada neste trabalho consiste em injetar pontas utilizando um molde de injeção antes e depois de um tratamento superficial para modificação de perfil de rugosidade das cavidades do molde. Dessa maneira, conforme demonstrado na Figura 20, determina-se uma visão geral da metodologia utilizada que se baseia principalmente na caracterização das

¹Informação extraída website <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/>. Acesso 03/12/2022.

cavidades do molde e medição de comprimento das pontas antes e depois do tratamento superficial.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Teoricamente, o molde usado tem cavidades com dimensional de pontas GP ISO calibre 120. Contudo, é importante frisar que este molde foi retirado de linha produtiva devido ao desgaste ao longo dos anos – fim da vida útil – não refletindo pontas conformes do ponto de vista de dimensional de diâmetro/conicidade requerido pela ISO 6877:2021(E). Por este motivo, o molde foi cedido em caráter experimental para o presente trabalho do qual configura e atende

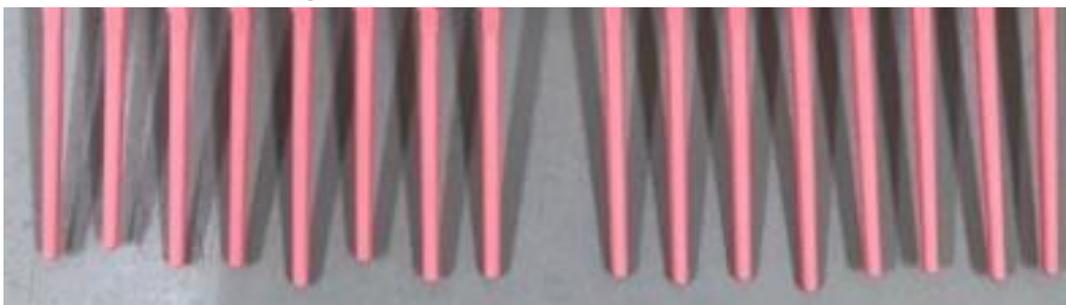
perfeitamente análises requeridas neste estudo, uma vez que o foco está voltado ao preenchimento do polímero relacionando as medidas de comprimento da cavidade e ponta injetada, assim como influência da característica da superfície do aço. O dimensional de diâmetro/conicidade das cavidades não é considerado no presente trabalho. Neste caso, conforme mencionado na seção 2.1.2, a ISO apresenta especificação de comprimento, porém a tolerância não é definida e por este motivo será considerado e aplicado neste trabalho a especificação técnica do fabricante Dentsply Indústria e Comércio Ltda, sendo ela +- 2mm.

Sendo assim, o primeiro passo inicia-se com os ajustes de parâmetros de injeção e o posicionamento do molde não tratado superficialmente na máquina injetora. Após a alocação de massa no silo da máquina injetora, uma extrusão inicial de molde aberto foi executada com intuito de garantir a não existência de massas anteriormente utilizadas. Esta tarefa funciona como um expurga de material ininterrupto até que seja visualizado a mudança de cor da massa evidenciando assim a sequência para próxima etapa. O expurga de material foi executado nas duas etapas de injeção de peças necessário para os testes, ou seja, ao realizar a injeção de peças usando o molde com e sem tratamento superficial.

Sequencialmente, os parâmetros de processo foram variados baseando-se nos conceitos obtidos e disponíveis na revisão bibliográfica, considerando os que mais influenciam na replicação de geometria do molde sendo eles temperatura dos canhões de injeção, volume de material dosado, pressão de injeção, tempo e temperatura de resfriamento do molde. Os parâmetros são confidenciais e propriedade da empresa Dentsply Indústria e Comércio Ltda. Ao alocar o molde sem tratamento superficial, o ajuste da máquina foi realizado através do método tentativa e erro a fim de identificar as entradas de parâmetros que melhor proporcionassem a peça injetada o alcance do comprimento parcial da cavidade conforme demonstrado na Figura 21. Em outras palavras, durante o ajuste inicial da máquina, no momento em que as primeiras cavidades visualmente alcançaram comprimento superior a metade da cavidade, o ajuste não foi mais alterado mesmo que as cavidades demonstrassem irregularidade de preenchimento.

Esta conduta tem como intuito garantir que os parâmetros utilizados forneçam ao sistema de injeção trabalho suficiente para injetar as pontas, sem esforço extra, permitindo que as cavidades sejam preenchidas de forma gradativa. Uma vez que se deseja entender se o perfil de rugosidade do molde influencia no comportamento de preenchimento do polímero nas cavidades, o mínimo de trabalho deve ser fornecido ao sistema de injeção mesmo que as cavidades sejam parcialmente preenchidas com intuito de comparar alcance de comprimento das pontas pós polimento da ferramenta. Apesar da possibilidade de preenchimento total ser viável forçando os parâmetros para tal função, esta conduta não é aplicável, pois não seria possível concluir se a superfície do molde teve ou não influência, uma vez que os parâmetros estariam definidos para suprir possíveis barreiras de preenchimento.

Figura 21 – Perfil de Preenchimento Pontas



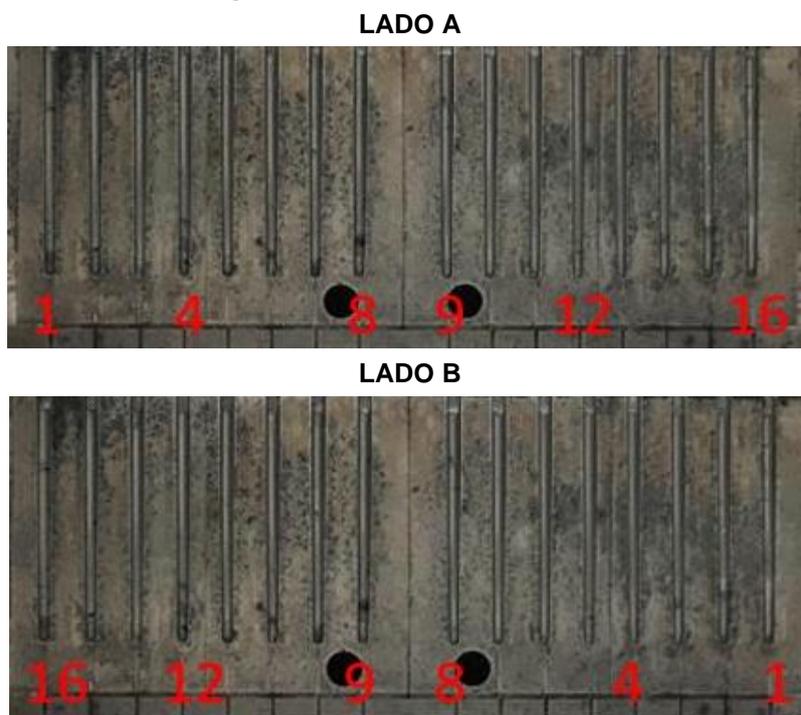
Fonte: Elaborado pelo Autor

Uma vez definidos os parâmetros, as primeiras 15 peças foram descartadas a fim de gerar repetibilidade de injeção na máquina e evitar possíveis interferências de início de processo como falta de equalização da temperatura nos canhões de injeção da máquina e no molde, volume de material presente nos passos da rosca de dosagem, cabeçote e bicos injetores, assim como sujeiras na superfície do molde e ainda possíveis resquícios de massas anteriormente utilizadas. Com o processo de injeção estável, as primeiras peças provenientes do molde sem tratamento superficial foram adquiridas, os parâmetros salvos no programa da máquina e não mais modificada.

Posteriormente a aquisição das primeiras peças, o molde foi submetido ao tratamento de superfície com intuito de alterar a rugosidade da superfície da cavidade. Após o tratamento, o molde foi novamente submetido a injeção do polímero sob mesmo método utilizando o programa salvo na máquina juntamente com a mesma massa, de mesmo lote e data de fabricação, utilizada na primeira etapa de injeção para obtenção de peças anterior ao tratamento da ferramenta.

Quanto as medições de comprimento através do Quick Scope, as pontas injetadas antes e pós polimento do molde foram medidas considerando apenas 6 cavidades escolhidas que representam posições distintas do molde. A escolha das cavidades teve como princípio considerar posicionamentos diferentes de injeção uma vez que, diferentes cavidades podem demonstrar perfis de preenchimento divergentes. A Figura 22 ilustra as cavidades escolhidas e aplicadas para medição dos comprimentos das peças injetadas.

Figura 22 – Cavidades Escolhidas

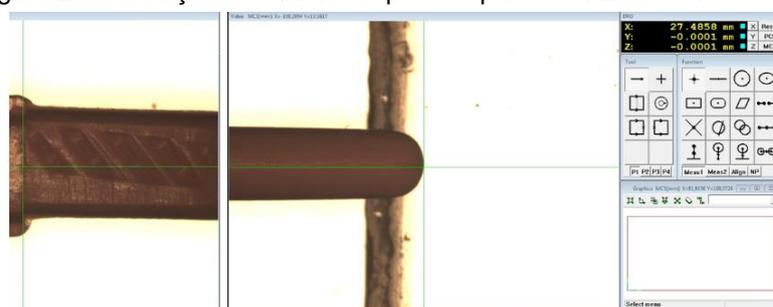


Fonte: Elaborado pelo Autor

Após os processos de injeção, 48 peças com 16 cavidades foram obtidas, onde 24 peças provenientes do molde não tratado e 24 peças provenientes do molde tratado superficialmente. O tamanho da amostragem de peças baseou-se na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira NBR 5426 de 01/1985 da qual instrui sobre Planos de Amostragens e Procedimentos na Inspeção por Atributos. De acordo com a norma, níveis de inspeção relacionam o tamanho da amostra baseado no tamanho do lote. O presente trabalho visa amostragem menores baseados em lote de 1 hora produtiva, do qual reflete 4000 unidades produzidas. Uma vez que o presente trabalho tem sua estratégia em entender o comportamento do preenchimento de polímero na cavidade e não necessariamente analisar pontas conformes, o nível de inspeção considerado foi S3 por possibilitar assumir níveis de risco alto. Em seguida, o tamanho de lote de pontas por hora de produção é entre 3201 e 10000 unidades. Sendo assim, a codificação de amostragem, com base nas Tabelas 1 e 2 da NBR 5426, foi definida como F, da qual reflete 20 unidades como tamanho de amostra mínima para cada cavidade. Por este motivo a quantidade de pontas considerados para medição foram 24 que resultam em 144 pontas considerando as 6 cavidades escolhidas.

As pontas das cavidades 1, 4, 8, 9, 12 e 16 tiveram seus comprimentos medidos através do Quick Scope em todas as 48 peças. Neste caso, por se tratar de comprimento, não houve a necessidade de distinção de medidas relacionadas a cada lado do molde. O método de medição foi realizado utilizando como referência apenas a região da ponta que reflete o dimensional de comprimento da cavidade do molde desconsiderando quaisquer outras características construtivas da ferramenta. Sendo assim, o comprimento foi medido considerando como referência a extremidade mais fina da ponta movimentando o eixo definido até a parte mais grossa, ou vice-versa, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Medição no Quick Scope Comprimento. Eixo X Referência.



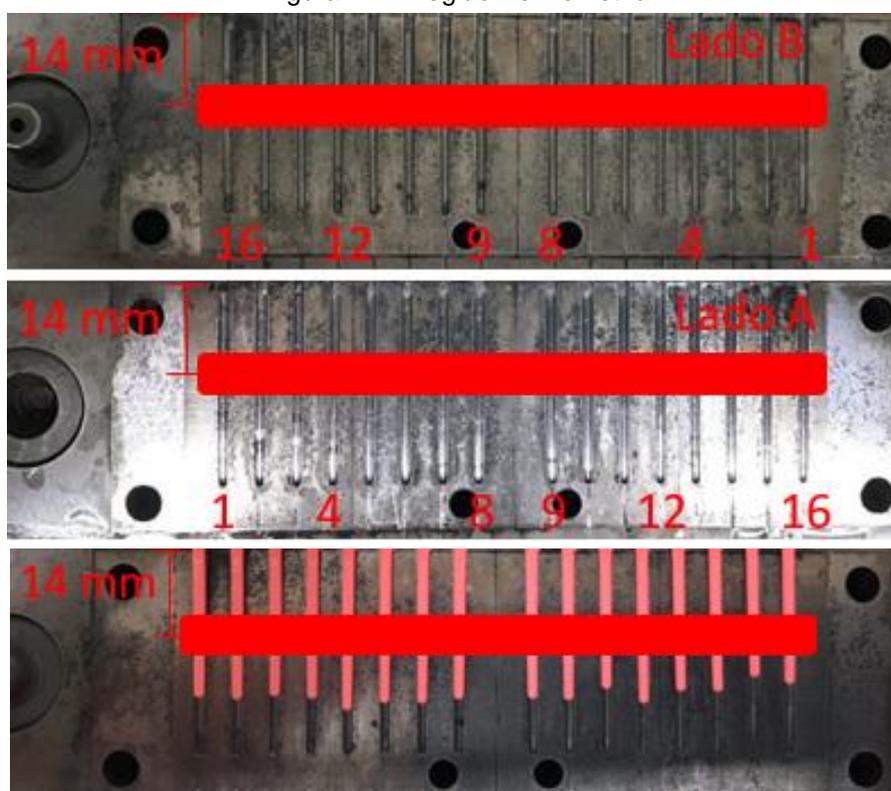
Fonte: Elaborado pelo Autor

O molde e uma amostragem aleatória de 1 peça injetada, antes e depois do tratamento superficial, foram submetidas a perfilometria a fim de conhecer o perfil de rugosidade tanto do molde quanto da peça. As regiões definidas para medição, tanto antes quanto após o tratamento superficial, foram as centrais ou metade do comprimento (14mm) das cavidades 1, 4, 8, 9 e 16 considerando os dois lados do molde conforme ilustrado na Figura 24. Analogamente, o perfil de rugosidade das peças injetadas provenientes das cavidades 1, 4, 8, 9, 12 e 16 foi obtido com base nas duas superfícies da ponta que refletem os dois lados do molde, 1 e 2. É importante ressaltar que a terceira imagem da Figura 24 tem o lado B como imagem de fundo meramente ilustrativa, pois de fato o comportamento de preenchimento do material na cavidade é influenciado pelos dois lados do molde.

Após a caracterização do molde e também das peças injetadas, valores médios de parâmetros de rugosidade obtidos para as cavidades escolhidas foram comparados com os valores das peças injetadas proveniente de sua respectiva

cavidade. O destaque para cavidades utilizadas (1, 4, 8, 9, 12 e 16) foi aplicado com intuito de medir locais distintos do molde pelos quais podem apresentar comportamentos diferentes de fluxo e/ou preenchimento do material. Em outras palavras, as peças centrais encontram-se mais próximas dos canais de entrada de material, diferentemente das peças nas extremidades. Dessa maneira, as cavidades centrais tendem a apresentar maior facilidade quanto ao preenchimento do material durante a injeção do que os canais da extremidade, uma vez que podem ser regidos por diferentes variáveis e/ou interferências

Figura 24 – Região Perfilometria



Fonte: Elaborado pelo Autor

Foram realizadas 100 medições de perfis apresentando os valores médios e de desvio-padrão dos parâmetros de rugosidades que podem ser encontrados na Tabela 4. O equipamento utilizado foi o Alicona InfiniteFocus SL, equipado com lente de 10x (aumento total de 100x), com resoluções vertical e horizontal ajustadas automaticamente apresentando valores de 580 nm e 3,91 μm , respectivamente. O comprimento de amostragem (cut-off) para medição foi definido como Lc 800 μm . O parâmetro de Ra foi escolhido por se tratar do valor mais utilizado no mundo e

aplicável na maioria dos processos de fabricação possibilitando a representação gráfica com mais facilidade. Parâmetro de R_q foi considerado no presente trabalho uma vez que representa valores mais distanciados da média potencializando os valores de irregularidades para maior significância estatística.

Quanto aos parâmetros R_t e R_p , estes foram escolhidos para que haja correlação do conceito de coeficiente de esvaziamento K_e para que comparação entre duas distribuições seja possível. Conforme abordado por (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2020), o coeficiente K_e correlaciona a altura máxima do pico (R_p) com altura máxima entre picos e vales dentro de um comprimento de amostragem (R_{max}). Sendo assim, aplica-se analogamente, o conceito demonstrado por (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2020), porém com ênfase na utilização dos parâmetros obtidos referente ao perfil de rugosidade relacionando-se a altura máxima de pico (R_p) com a altura máxima entre picos e vales considerando o perfil rugosidade (R_t) e não apenas um comprimento de amostragem. Dessa maneira, compara-se ou utiliza-se de parâmetros da mesma magnitude considerando a distribuição do perfil medido para entender se a superfície apresenta mais vales do que picos e vice versa, uma vez que este parâmetro correlaciona o deslocamento da linha média do perfil de rugosidade.

Adicionalmente, o relatório de parâmetros de rugosidade proveniente do Alicona Infinite Focus SL fornece um parâmetro que caracteriza a média da altura dos picos e vales do perfil de rugosidade (R_z) assim como a altura média do perfil de irregularidades do perfil de rugosidade (R_c). A escolha desses dois parâmetros tem como objetivo caracterizar o perfil da superfície das cavidades no que se diz respeito ao nível de irregularidades que a determinada superfície fornece. Em outras palavras, se R_z e R_c tenderem a valores maiores, isto significa que o perfil de rugosidade medido apresenta superfícies com picos e vales de maior discrepância, caracterizando assim uma superfície mais rugosa ou irregular.

Por fim, descreve-se a utilização do último parâmetro, sendo ele R_{sk} . Que possibilitará a identificação da característica do perfil, neste caso, se é mais pontiagudo ou não. Utilizando-se de R_{sk} , pode-se detalhar, de maneira mais significativa, a forma do perfil de rugosidade quando necessário. Todos os parâmetros foram adotados com base na premissa de facilitar a análise da caracterização da

superfície do ponto de vista de suas influências no comportamento de preenchimento do polímero nas cavidades.

Tabela 4 – Parâmetros de Rugosidade Considerados

Parâmetro	Descrição
Ra	Média Aritmética do Perfil Rugosidade
Rq	Desvio Médio Quadrático (RMS)
Rt	Altura Máxima entre Pico e Vale do Perfil Rugosidade
Rz	Altura Média entre Pico e Vale do Perfil de Rugosidade
Rp	Altura Máxima de Pico do Perfil Rugosidade
Rc	Altura Média do Perfil de Irregularidades do Perfil de Rugosidade
Rsk	Skewness do Perfil Rugosidade
Ke	Coefficiente de Esvaziamento (Rp/Rt)

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os dados coletados comprimento e rugosidade foram tratados pelo software estatístico Minitab a fim de facilitar a apresentação e compreensão das informações obtidas considerando os conceitos estatísticos apresentados nesta sequência explicativa de métodos aplicados.

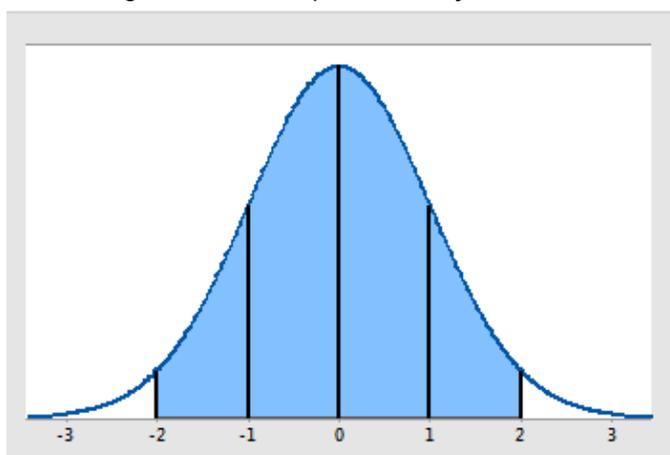
3.2.1 Método Estatístico Aplicado

A distribuição normal é a representação de uma distribuição em forma de sino da qual a observação de dados baseada na estimativa de porcentagem é estabelecida pelos desvios padrões da média conforme demonstrado na Figura 25. Sendo assim, pode-se determinar a porcentagem de valores que se encontram dentro de um intervalo específico. O teste utilizado para avaliar normalidade foi o de Anderson-Darling do qual analisa se os dados da amostra são normais comparando sua função de distribuição acumulada empírica com a distribuição esperada onde, se a diferença entre os dois conceitos for muito elevada, deve-se desconsiderar a hipótese nula e caracterizar a população como não normal (informação Minitab) ².

O conceito estatístico Anderson-Darling mede a performance dos dados ao seguirem uma distribuição particular. O Minitab calcula a estatística Anderson-Darling mais fortemente nas caudas da distribuição do qual gera índices com base nos limites de especificação abrangendo análises que melhor se adaptam ao presente trabalho, uma

vez que se precisa avaliar a produção de peças defeituosas que violem os limites superiores ou inferiores. Baseado em duas hipóteses onde, nula (H_0), os dados seguem uma distribuição específica e não nula (H_1), os dados não seguem uma distribuição específica, calcula-se um valor-p para um conjunto de dados (informação Minitab) ².

Figura 25 – Exemplo Distribuição Normal



Fonte: Adaptado Minitab ²

O conceito estatístico Anderson-Darling mede a performance dos dados ao seguirem uma distribuição particular. O Minitab calcula a estatística Anderson-Darling mais fortemente nas caudas da distribuição do qual gera índices com base nos limites de especificação abrangendo análises que melhor se adaptam ao presente trabalho, uma vez que se precisa avaliar a produção de peças defeituosas que violem os limites superiores ou inferiores. Baseado em duas hipóteses onde, nula (H_0), os dados seguem uma distribuição específica e não nula (H_1), os dados não seguem uma distribuição específica, calcula-se um valor-p para um conjunto de dados (informação Minitab) ².

O conceito estatístico Anderson-Darling mede a performance dos dados ao seguirem uma distribuição particular. O Minitab calcula a estatística Anderson-Darling mais fortemente nas caudas da distribuição do qual gera índices com base nos limites de especificação abrangendo análises que melhor se adaptam ao presente trabalho,

²Informação extraída website <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/>. Acesso 03/12/2022.

uma vez que se precisa avaliar a produção de peças defeituosas que violem os limites superiores ou inferiores. Baseado em duas hipóteses onde, nula (H_0), os dados seguem uma distribuição específica e não nula (H_1), os dados não seguem uma distribuição específica, calcula-se um valor-p para um conjunto de dados (informação Minitab) ².

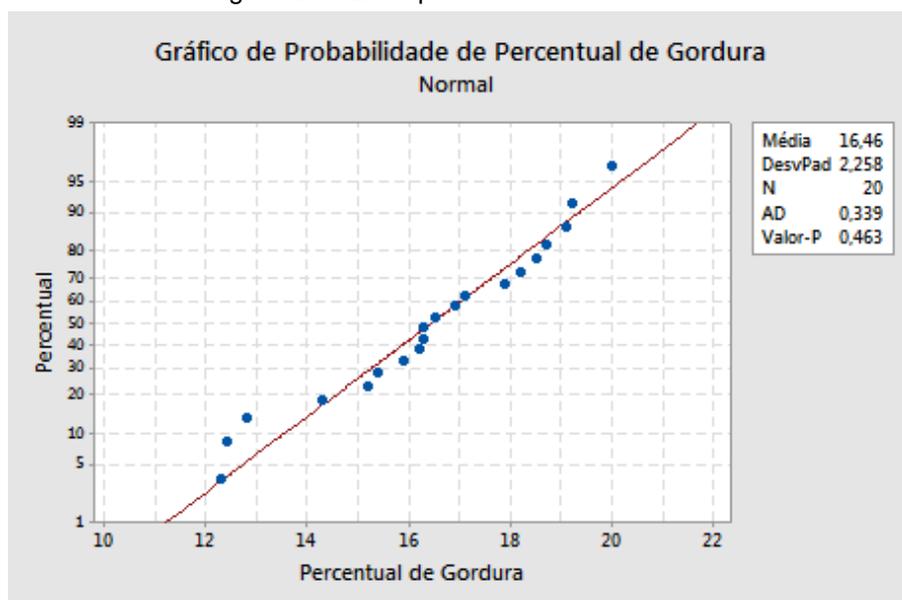
A interpretação do valor-p está vinculada a entender se existe evidência suficiente na distribuição para rejeitar H_0 . Dessa forma, compara-se o valor-p a um nível de significância denominado alfa (valor- α), do qual representa a probabilidade de rejeitar H_0 quando a hipótese nula é verdadeira. De uma maneira geral, o valor-p é uma evidência forte de que os dados utilizados tendem ou não a uma distribuição específica quando comparada ao valor- α . Mais conclusivamente, considerando que a hipótese nula representa distribuição normal como verdadeira, para valores $p > \alpha$, H_0 deve ser confirmada e a distribuição tenderá a normalidade, e para valores $p \leq \alpha$, H_0 deve ser rejeitado e a distribuição não tenderá a normalidade. O valor- α para este trabalho foi definido como 0,05 por ser tradicionalmente utilizado na estatística, do qual significa risco de 5% dos dados não seguirem uma distribuição normal quando de fato eles seguem (informação Minitab) ².

Com intuito de demonstrar a estatística de Anderson-Darling, o gráfico de probabilidade normal foi utilizado do qual informa dados de média, desvios padrão, número da amostragem e principalmente valor-p conforme ilustrado na Figura 26. Adicionalmente, é possível visualizar o quão próximo os pontos estão da linha de distribuição ajustada onde, distribuições normais tendem a ficar próximas da linha reta (informação Minitab) ².

Com intuito de demonstrar a estatística de Anderson-Darling, o gráfico de probabilidade normal foi utilizado do qual informa dados de média, desvios padrão, número da amostragem e principalmente valor-p conforme ilustrado na Figura 26. Adicionalmente, é possível visualizar o quão próximo os pontos estão da linha de distribuição ajustada onde, distribuições normais tendem a ficar próximas da linha reta (informação Minitab) ².

²Informação extraída website <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/>. Acesso 03/12/2022.

Figura 26 – Exemplo Probabilidade Normal



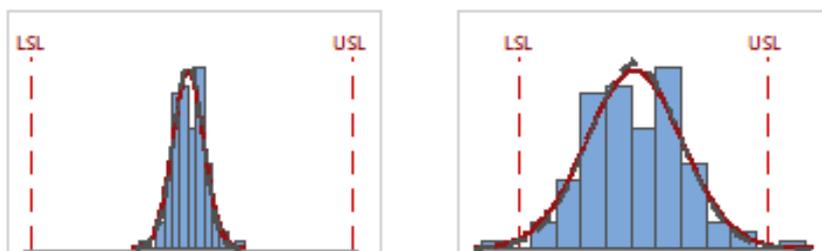
Fonte: Adaptado Minitab ²

A análise de capacidade do processo foi realizada com intuito de avaliar se, com base nos dados amostrais, o processo é capaz de produzir saídas que atendem os requisitos determinados. De maneira geral, para determinar a capacidade de um processo deve-se comparar a largura da dispersão dos dados com a largura dos limites de especificação denominados de limite inferior de especificação (LIE ou LSL) e limite superior de especificação (LSE ou USL) conforme apresentado na Figura 27. Evidencia-se que um processo é capaz quando a dispersão dos dados está centrada dentro dos limites de especificação produzindo consistentemente produtos que atendem os requisitos legais.

Em meio a avaliação de capacidade, pode-se analisar a Capacidade Potencial com base na localização e dispersão do processo do qual indica a probabilidade de o processo alcançar valores ideais de dispersão se os desvios e deslocamentos do processo pudessem ser eliminados. De uma maneira geral, ao calcular a Capacidade Potencial, índices como Cp e Cpk são gerados dos quais facilitam a interpretação da distribuição dos dados. Do ponto de vista de localização da dispersão dentro dos limites LIE e LSE, deve-se comparar os índices Cp e Cpk onde, valores próximos ou

²Informação extraída website <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/>. Acesso 03/12/2022.

Figura 27 – Exemplo de Processos Capaz e Não Capaz



Fonte: Adaptado Website²

Em meio a avaliação de capacidade, pode-se analisar a Capacidade Potencial com base na localização e dispersão do processo do qual indica a probabilidade de o processo alcançar valores ideais de dispersão se os desvios e deslocamentos do processo pudessem ser eliminados. De uma maneira geral, ao calcular a Capacidade Potencial, índices como Cp e Cpk são gerados dos quais facilitam a interpretação da distribuição dos dados. Do ponto de vista de localização da dispersão dentro dos limites LIE e LSE, deve-se comparar os índices Cp e Cpk onde, valores próximos ou iguais indicam centralização da distribuição e valores divergentes indicam posicionamento nas extremidades dos limites (informações Minitab) ².

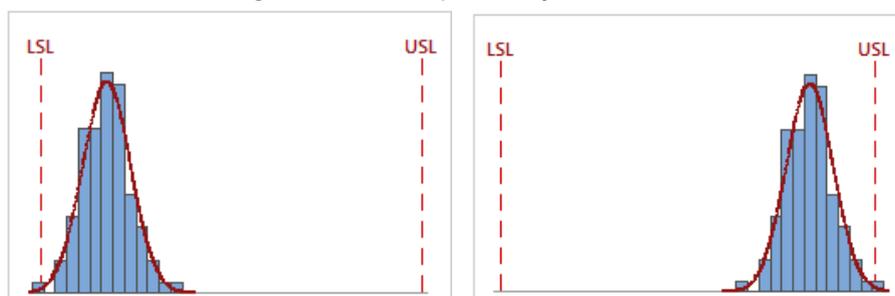
Adicionalmente, pode-se analisar a Capacidade Global da distribuição dos dados também baseada na localização e dispersão das informações, porém atribuindo conclusões sobre o real desempenho do processo em questão ao longo do tempo. De uma maneira geral, ao calcular a Capacidade Global, índices como Pp e Ppk são gerados, dos quais facilitam a interpretação da distribuição dos dados. Do ponto de vista de localização da dispersão dentro dos limites LIE e LSE, deve-se comparar os índices Pp e Ppk onde, valores próximos ou iguais indicam centralização da distribuição e valores divergentes indicam posicionamento nas extremidades dos limites (informações Minitab) ².

Por último, tem-se a relação dos dois últimos parâmetros disponibilizados pela capacidade global sendo eles, PPL e PPU. Ambos estão relacionados a capacidade do processo nos limites inferiores e superiores, respectivamente. Comparando os dois índices pode-se dizer que, para valores aproximadamente iguais o processo está centralizado, para $PPL < PPU$ possibilidade de peças defeituosas que violam LIE, para

²Informação extraída website <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/>. Acesso 03/12/2022.

índices pode-se dizer que, para valores aproximadamente iguais o processo está centralizado, para $PPL < PPU$ possibilidade de peças defeituosas que violam LIE, para $PPL > PPU$ possibilidade de peças defeituosas que violam LSE conforme demonstrado na Figura 28.

Figura 28 – Exemplo Relação PPL e PPU



Fonte: Adaptado Website²

Uma vez explicitado o método estatístico a ser empregado, é importante salientar que as pontas serão injetadas propositalmente para não alcançar o comprimento total da cavidade pois dessa maneira será possível a medição antes e depois do polimento analisando a possibilidade de aumento ou redução do comprimento da ponta. Por este motivo, com intuito de criar uma referência de limites superiores e inferiores que proporcionarão visibilidade do comportamento da peça injetada através dos gráficos de capacidade no Minitab, este trabalho utilizará como premissa o cálculo da mediana das 24 medições de cada cavidade e aplicará as tolerâncias mínimas e máximas definidas pelo fabricante, neste caso, $\pm 2\text{mm}$.

Finalmente, o intuito dos métodos apresentados dá-se referente ao entendimento da significância de influência do perfil de rugosidade da ferramenta no alcance de comprimento da ponta em contato com as paredes das cavidades do molde durante processo de injeção obtendo valores antes e pós tratamento superficial. Adicionalmente, o dimensional de comprimento proverá indicadores de favorecimento ou não de preenchimento de polímero nas cavidades, uma vez que todas as variáveis de processo foram mantidas constantes, variando apenas um único parâmetro, o perfil de rugosidade do molde.

²Informação extraída website <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/>. Acesso 03/12/2022.

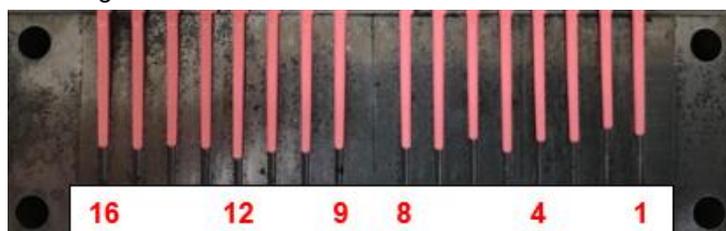
4 RESULTADOS

Os resultados foram divididos em quatro tópicos onde, o primeiro e segundo abordarão os resultados de medições de comprimento das peças no Quick Scope e suas respectivas medições de rugosidade durante a perfilometria antes do tratamento superficial da ferramenta. Quanto ao terceiro e quarto, serão apresentados os mesmos dados mencionados acima obtidos pós tratamento superficial.

4.1 COMPRIMENTO PEÇAS ANTES TRATAMENTO SUPERFICIAL

Conforme discutido na seção 3, após o ajuste de parâmetros iniciais de injeção, o primeiro perfil de preenchimento foi encontrado apresentando propositalmente características parciais. Durante a injeção das primeiras peças, foi possível perceber que todas elas alcançaram a medida central de comprimento, porém demonstrando irregularidade entre elas, ou seja, algumas cresceram mais que as outras. Baseado na premissa de que os parâmetros de injeção não devem fornecer ao sistema esforço extra para garantir preenchimento total de todas as cavidades, o ajuste foi realizado utilizando como referência o alcance da posição 14mm em relação ao comprimento. Sendo assim, conforme ilustrado na Figura 29, todas as peças pré-injeção, ou seja, as que foram descartadas inicialmente, assim como todas as 24 peças oficiais injetadas demonstraram de maneira uniforme o perfil parcial de preenchimento ligeiramente acima da posição 14mm.

Figura 29 – Perfil Inicial de Preenchimento Lado B



Fonte: Elaborado pelo Autor

Após a injeção das 24 peças com o molde não tratado superficialmente, os comprimentos das peças injetadas provenientes das cavidades 1, 4, 8, 9, 12 e 16

foram medidos e seus valores lançados no Minitab para análise estatística. Uma vez que 24 peças injetadas foram consideradas, cada cavidade obteve 24 medições de comprimento. Cada uma delas respeitando seu comportamento de preenchimento sem qualquer interferência exceto pela interação tribológica entre polímero e superfície das cavidades. Os valores medidos encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores Comprimento Pontas Injetadas Antes

Pente	CAV1	CAV4	CAV8	CAV9	CAV12	CAV16
1	18,6365	19,4163	20,4710	20,5118	21,9353	20,1808
2	21,1951	21,1699	22,6155	22,5590	23,8710	22,9548
3	19,3900	19,6566	20,8217	20,8569	22,3625	21,1214
4	19,1138	19,8155	20,9657	21,0473	22,4411	20,6864
5	19,8436	20,4751	21,6135	21,7291	22,9994	21,4482
6	20,1435	20,4086	21,6599	21,6728	23,0382	21,7649
7	20,7847	20,8550	22,2493	22,2336	23,5407	22,2001
8	20,3417	21,0297	22,3238	22,3901	23,5897	22,0303
9	19,7097	20,4406	21,5377	21,6587	22,8854	21,1990
10	20,0732	20,5601	21,8255	21,8102	23,1501	21,6512
11	20,8432	21,2315	22,5553	22,5466	23,8229	22,3822
12	19,9354	20,6715	21,9555	22,0751	23,3035	21,3810
13	19,1993	19,5521	20,7428	20,7837	22,2898	20,5718
14	19,4438	19,8912	21,1545	21,1234	22,5353	20,8313
15	19,8606	20,8925	22,1426	22,1803	23,7243	21,9044
16	19,5714	20,1371	21,4649	21,5082	22,8151	21,0517
17	20,7408	21,5207	22,5642	22,4905	24,1598	22,6229
18	19,7690	20,4146	21,4294	21,4798	23,0428	21,6835
19	20,0086	20,5574	21,5167	21,5180	23,0526	21,9492
20	19,4205	20,1002	21,3282	21,3887	22,7346	20,9640
21	19,5538	20,0248	21,3645	21,3240	22,6267	20,9255
22	20,6570	21,0466	21,9976	21,9621	23,3979	22,5000
23	19,0847	19,7834	20,7818	20,9838	22,3069	20,6060
24	19,7318	20,2645	21,4311	21,4999	22,8580	21,1060

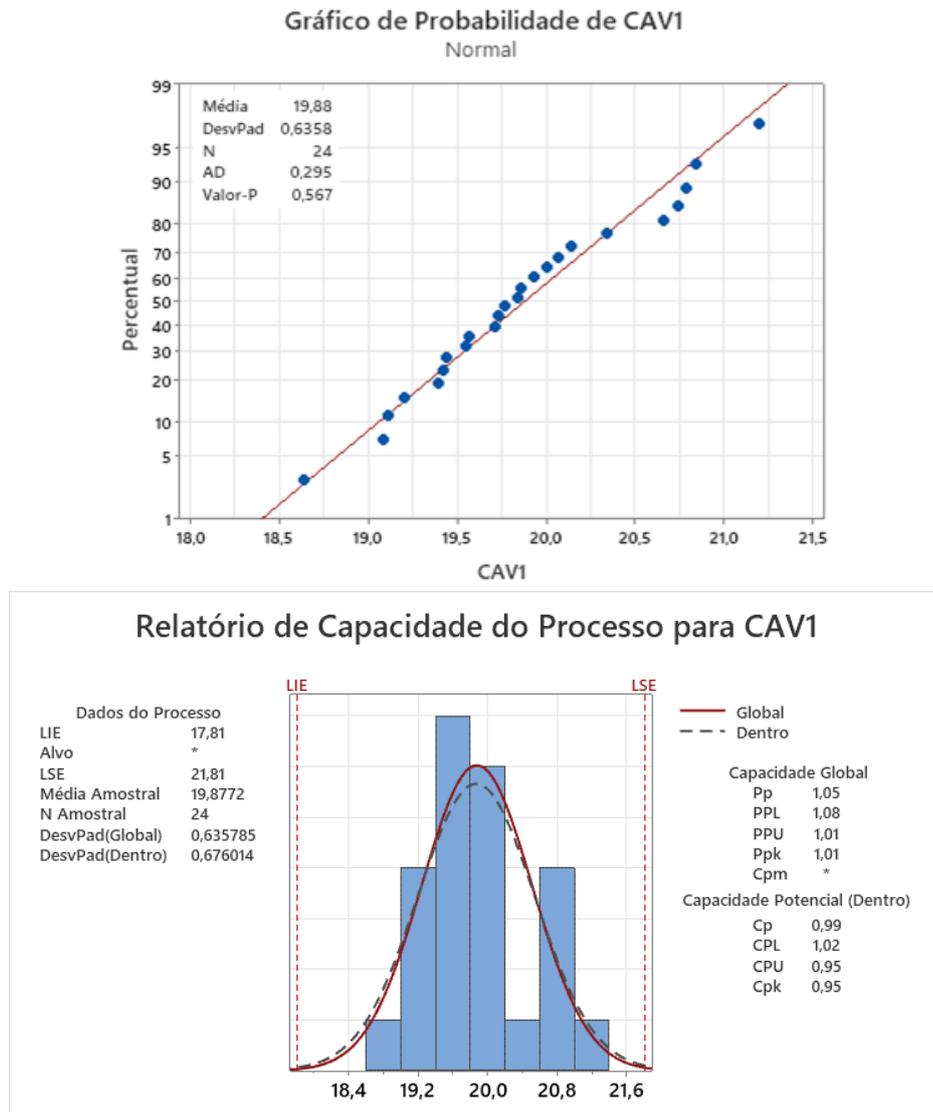
Fonte: Elaborado pelo Autor

Para as peças provenientes da cavidade 1, os resultados iniciais demonstraram tendência de distribuição normal uma vez que valor-p (0,567) é maior do 0,05 e os pontos estão próximos a linha de projeção conforme demonstrado no Gráfico 1 eliminando a hipótese H_1 e confirmando H_0 como verdadeira.

A largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação. Ainda assim, considerando capacidade potencial e global, valores de

Cp e Cpk (0,99 e 0,95) e valores de Pp e Ppk (1,05 e 1,01), são próximos indicando centralização da dispersão. Ao analisar PPL (1,08) próximo a PPU (1,01), este resultado indica que a distribuição tende a prover peças centralizadas na dispersão dos dados dentre dos limites de especificação conforme demonstrado pelo Gráfico 1.

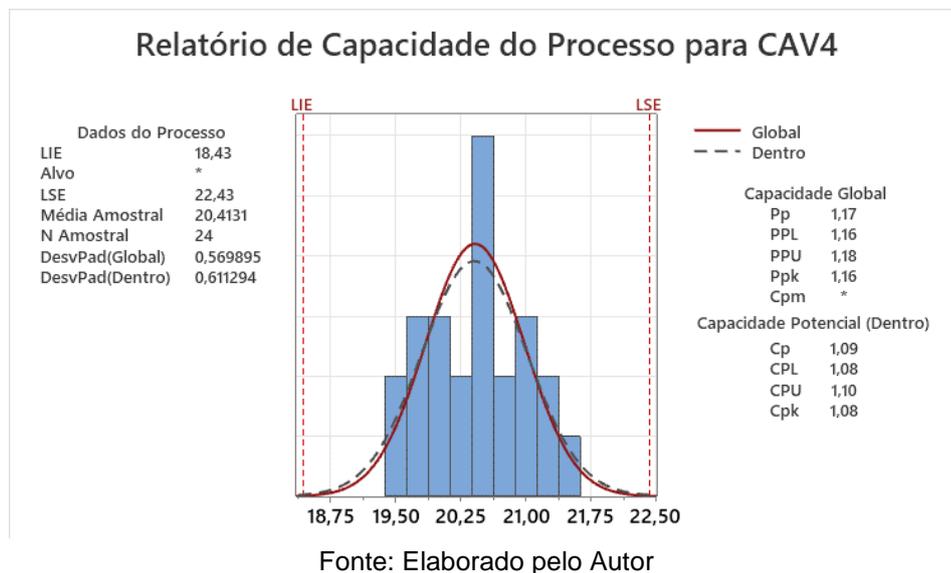
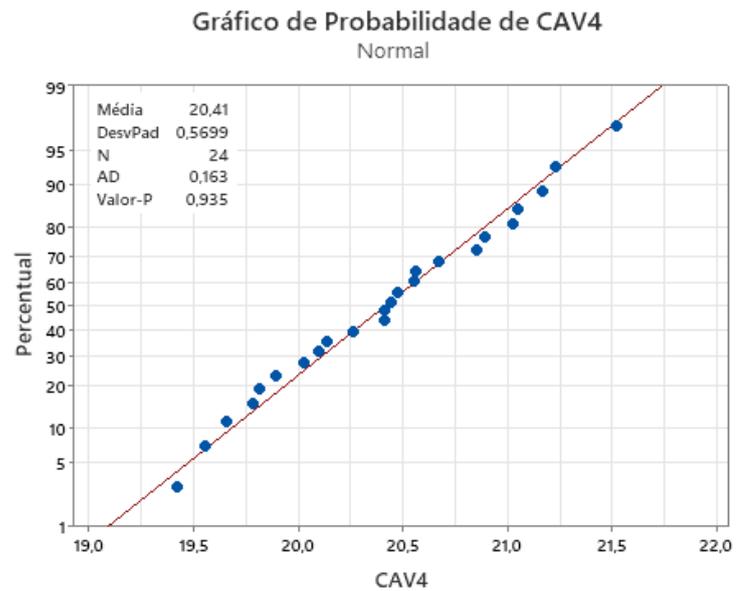
Gráfico 1 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 1 Antes



Os resultados de comprimento das peças injetadas provenientes da cavidade 4 demonstraram que a distribuição segue padrão de normalidade uma vez que o valor-p (0,935) é maior que o valor estipulado 0,05 e os pontos próximos a linha de projeção. Este resultado indica que o processo de injeção fornece repetibilidade e produz peças confiáveis com pouca variação e repetibilidade de comprimentos. Do ponto de vista

de capacidades potencial e global, C_p e C_{pk} (1,09 e 1,08), assim como P_p e P_{pk} (1,17 e 1,16), demonstram-se próximos e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de P_{PL} (1,16) e P_{PU} (1,18) são próximos e indicam centralização da distribuição conforme demonstrado pelo Gráfico 2.

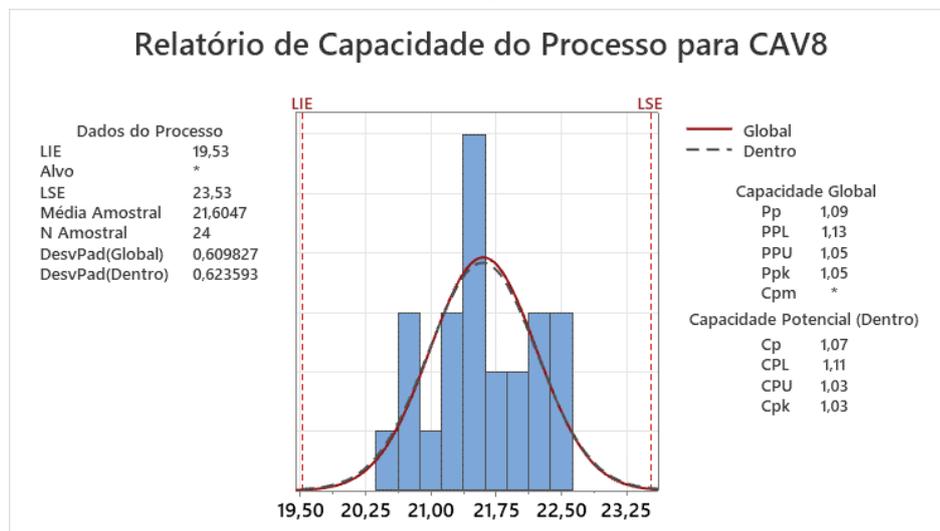
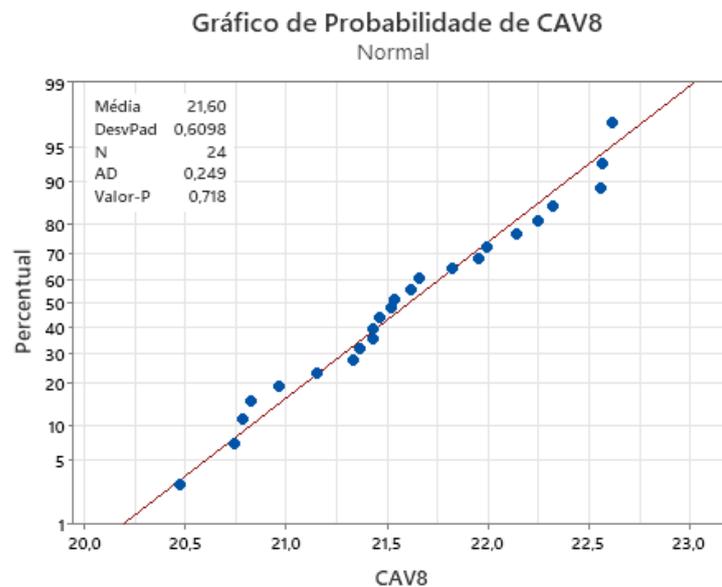
Gráfico 2 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 4 Antes



Os resultados de comprimento das peças provenientes da cavidade 8 demonstraram distribuição normal uma vez que o valor-p (0,718) é maior que 0,05 e a maioria dos pontos estão próximos a linha de projeção. A largura da dispersão dos dados encontra-se dentro dos limites de especificação. Do ponto de vista de

capacidades potencial e global, os valores de C_p e C_{pk} (1,07 e 1,03), assim como P_p e P_{pk} (1,09 e 1,05) demonstram-se próximos e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de P_{PL} (1,13) e P_{PU} (1,05) são próximos e indicam centralização da distribuição conforme demonstrado pelo Gráfico 3.

Gráfico 3 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 8 Antes

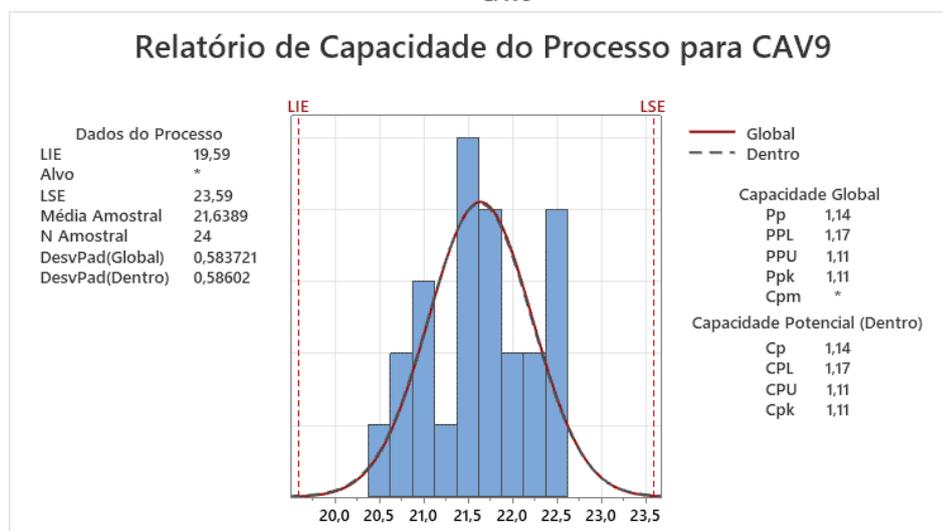
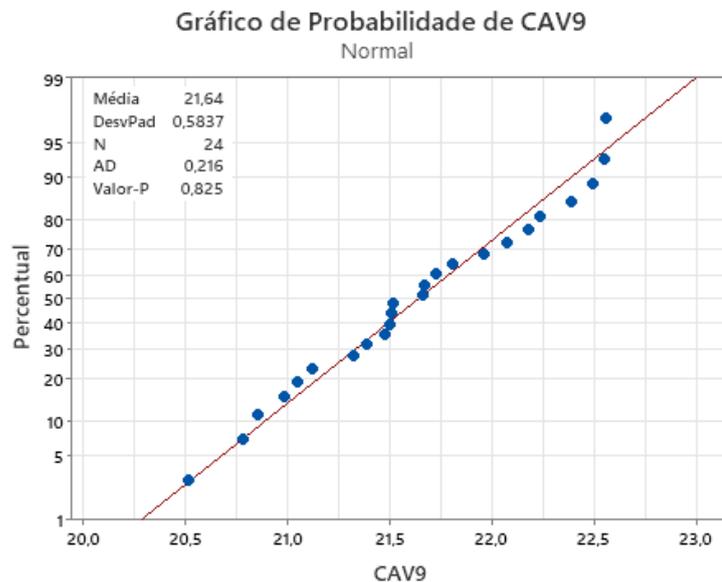


Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados de comprimento das peças injetadas da cavidade 9 apresentam distribuição normal devido ao valor-p (0,825) ser maior que o índice definido 0,05 confirmando a hipótese nula H_0 . Este resultado indica que o processo de injeção fornece repetibilidade e produz peças confiáveis com pouca variação e repetibilidade

de comprimentos. Adicionalmente, a maioria dos pontos da dispersão encontram-se próximos da reta de projeção e a largura da dispersão dos dados encontra-se dentro dos limites de especificação. Do ponto de vista de capacidades potencial e global, os valores de C_p e C_{pk} (1,14 e 1,11), assim como P_p e P_{pk} (1,14 e 1,11) demonstram-se próximos e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de P_{PL} (1,17) e P_{PU} (1,11) são próximos e indicam centralização da distribuição conforme demonstrado pelo Gráfico 4.

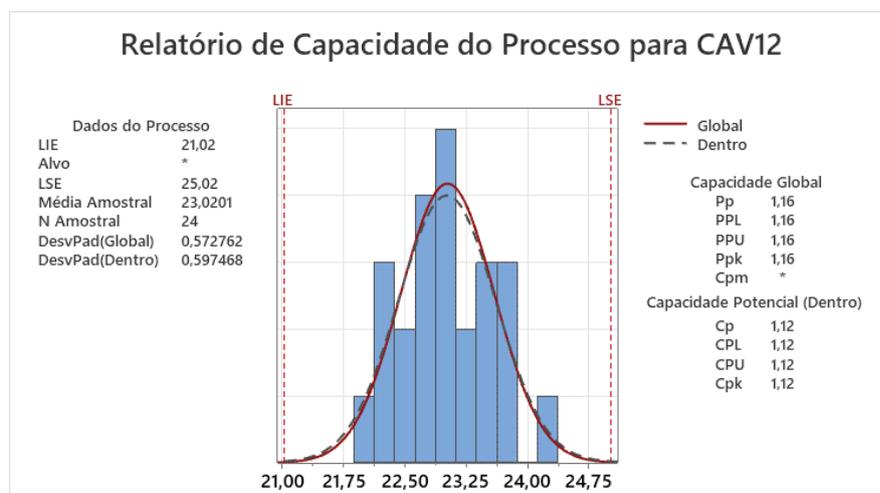
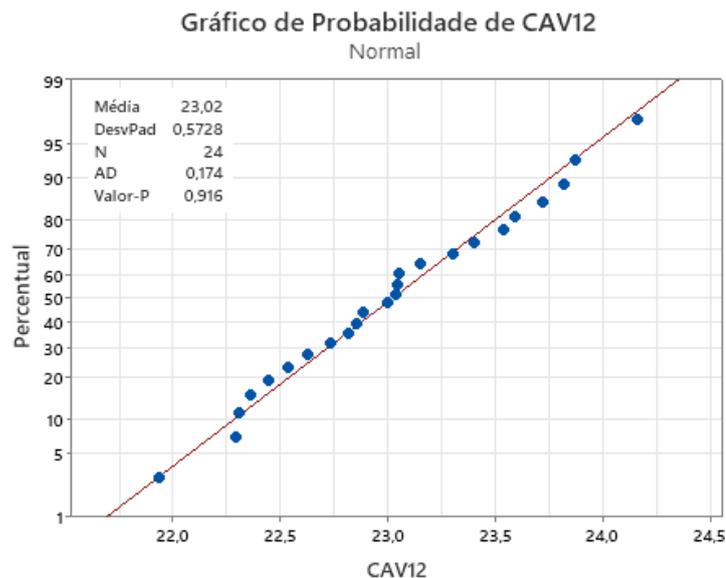
Gráfico 4 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 9 Antes



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados de comprimento obtidos das peças injetadas provenientes da cavidade 12 demonstram uma distribuição normal uma vez que, a maioria dos pontos estão próximos a linha de projeção e o valor-p (0,916) maior que 0,05 confirmando assim, a hipótese nula H_0 . A largura da dispersão dos dados encontra-se dentro dos limites de especificação. Do ponto de vista de capacidades potencial e global, os valores de C_p e C_{pk} (1,12 e 1,12), assim como P_p e P_{pk} (1,16 e 1,16) são iguais e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de PPL (1,16) e PPU (1,16) são iguais e indicam centralização da distribuição conforme demonstrado pelo Gráfico 5.

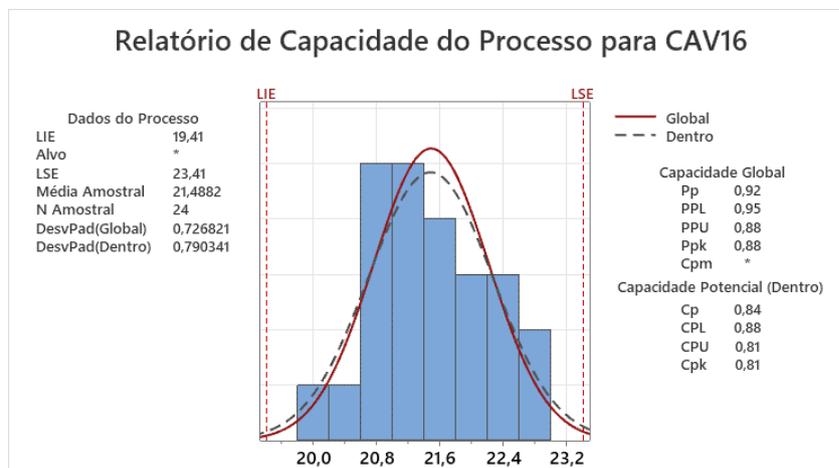
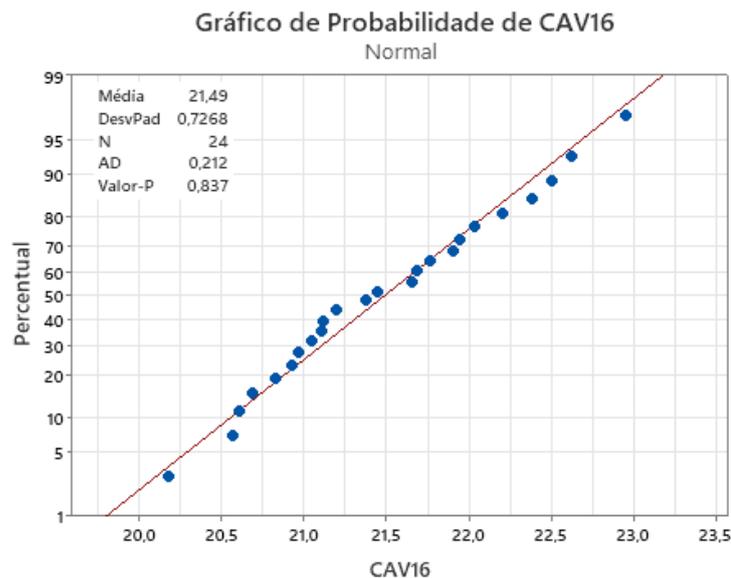
Gráfico 5 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 12 Antes



Fonte: Elaborado pelo Autor

Por fim, os resultados de comprimento obtidos das peças proveniente da cavidade 16 demonstram uma distribuição normal, pois os dados estão próximos a linha de projeção e valor-p (0,837) é maior que 0,05 confirmando assim a hipótese nula H_0 . Este resultado indica que o processo de injeção fornece repetibilidade e produz peças confiáveis com pouca variação e repetibilidade de comprimentos. A largura da dispersão dos dados encontra-se dentro dos limites de especificação. Do ponto de vista de capacidades potencial e global, os valores de C_p e C_{pk} (0,84 e 0,81), assim como P_p e P_{pk} (0,92 e 0,88) demonstram-se próximos e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de PPL (0,95) e PPU (0,88) são próximos e indicam centralização da distribuição conforme demonstrado pelo Gráfico 6.

Gráfico 6 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 16 Antes



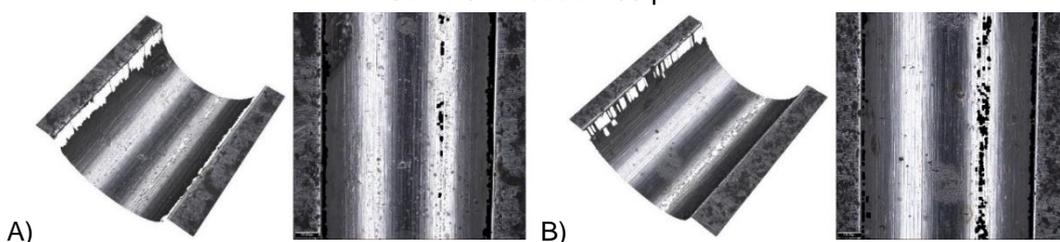
Fonte: Elaborado pelo Autor

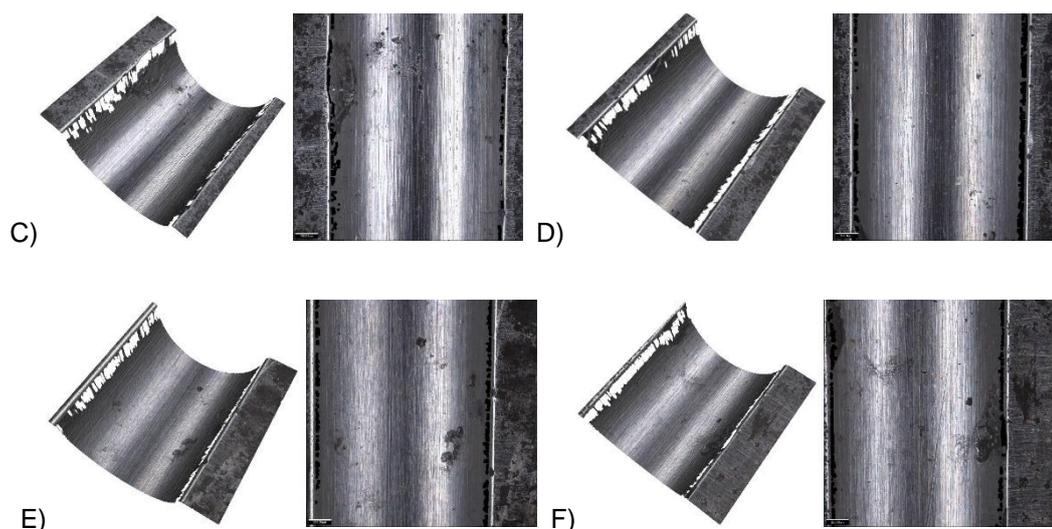
De modo geral, as pontas demonstraram uniformidade de crescimento em relação suas respectivas cavidades, todas com curvas normais e distribuição centralizada, o que evidencia uma regularidade de preenchimento e estabilidade de processo de injeção. Contudo, a dispersão de valores de comprimento nos comprova que cada cavidade apresentou uma variação de comprimentos dos quais pode-se calcular a amplitude dessa variação. Sendo assim, a estabilidade do processo pode ser confirmada analisando a diferença entre o menor e maior valor de comprimento encontrado nas pontas de cada cavidade. Dessa maneira obteve-se, em milímetros, para a cavidade 1 (2,5586), cavidade 4 (2,1044), cavidade 8 (2,1445), cavidade 9 (2,0472), cavidade 12 (2,2245) e por fim, cavidade 16 (2,7740). Considerando todas as cavidades analisadas, as variações encontram-se muito próximas evidenciando estabilidade do processo de medição mesmo em condições de preenchimento parcial e sem compactação. Isto significa que na média, as pontas de todas as cavidades variaram em 2,3089 mm e este resultado indica que, quando comparado as amplitudes com as medianas de comprimento obtida em cada cavidade, o processo apresentou variação de 9,48 a 12,95% no alcance de comprimentos das pontas.

4.2 RUGOSIDADE CAVIDADES ANTES TRATAMENTO SUPERFICIAL

Através da caracterização do perfil de rugosidade, as superfícies do molde das cavidades 1, 4, 8, 9, 12 e 16 foram submetidas ao processo e duas imagens, 2D e 3D, foram obtidas, das quais podem ser ilustradas nas seções subsequentes. As imagens das cavidades consideradas, referente ao lado A, do molde foram capturadas e seus parâmetros de rugosidade medidos, dos quais os valores estão dispostos nas tabelas a seguir.

Figura 30 – Imagem Perfilometria Antes A) Cav. 1A B) Cav. 4A C) Cav. 8A D) Cav. 9A E) Cav. 12A F) Cav. 16A. Escala 200 μ m.





Fonte: Elaborado pelo autor

Sendo assim, os valores dos parâmetros de rugosidade para o lado A do molde foram coletados, dos quais podem ser listadas na Tabela 6 com seus respectivos desvios medidos pela perfilometria.

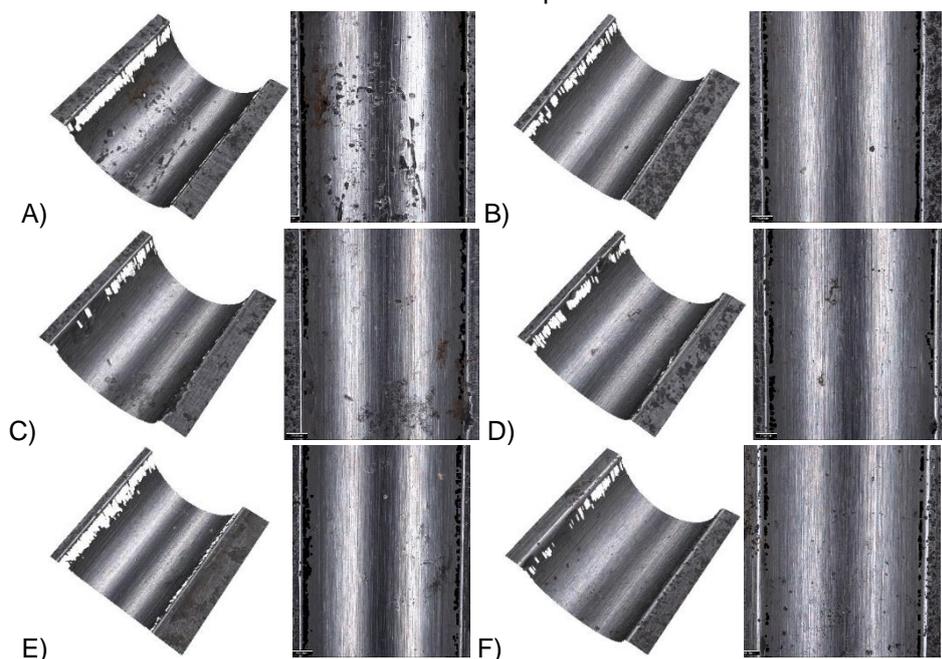
Tabela 6 – Parâmetros Rugosidade Cavidades Lado A Molde Antes

Parâmetro	Lado A											
	Cavidade 1		Cavidade 4		Cavidade 8		Cavidade 9		Cavidade 12		Cavidade 16	
	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.
Ra (µm)	0,35	0,07	0,31	0,04	0,42	0,05	0,30	0,05	0,49	0,06	0,52	0,06
Rq (µm)	0,47	0,09	0,43	0,09	0,62	0,10	0,38	0,06	0,62	0,07	0,68	0,08
Rt (µm)	3,15	0,80	3,06	1,13	4,69	1,58	2,35	0,34	3,61	0,45	4,24	0,53
Rz (µm)	1,99	0,28	1,75	0,29	2,44	0,29	1,73	0,24	2,71	0,27	2,92	0,35
Rp (µm)	1,33	0,26	1,22	0,33	1,55	0,37	1,17	0,21	1,79	0,24	2,12	0,40
Rc (µm)	1,47	0,32	1,43	0,49	2,45	1,18	1,18	0,17	1,89	0,20	2,03	0,22
Rsk (µm)	-0,58	0,61	-0,81	1,63	-1,49	1,84	0,01	0,26	0,00	0,25	0,03	0,34
Ke (Rp/Rt)	0,422	-	0,399	-	0,330	-	0,498	-	0,496	-	0,500	-

Fonte: Elaborado pelo Autor

Em seguida, obteve-se as medições do perfil de rugosidade das cavidades referente ao lado B conforme Figura 31. As imagens foram obtidas antes do tratamento superficial pela perfilometria óptica.

Figura 31 – Imagem Perfilometria Antes A) Cav. 1B B) Cav. 4B C) Cav. 8B D) Cav. 9B E) Cav. 12B F) Cav. 16B. Escala 200 μm .



Fonte: Elaborado pelo Autor

Sendo assim, os valores dos parâmetros de rugosidade para o lado B do molde foram coletados, dos quais podem ser listadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros Rugosidade Cavidades Lado B Molde Antes

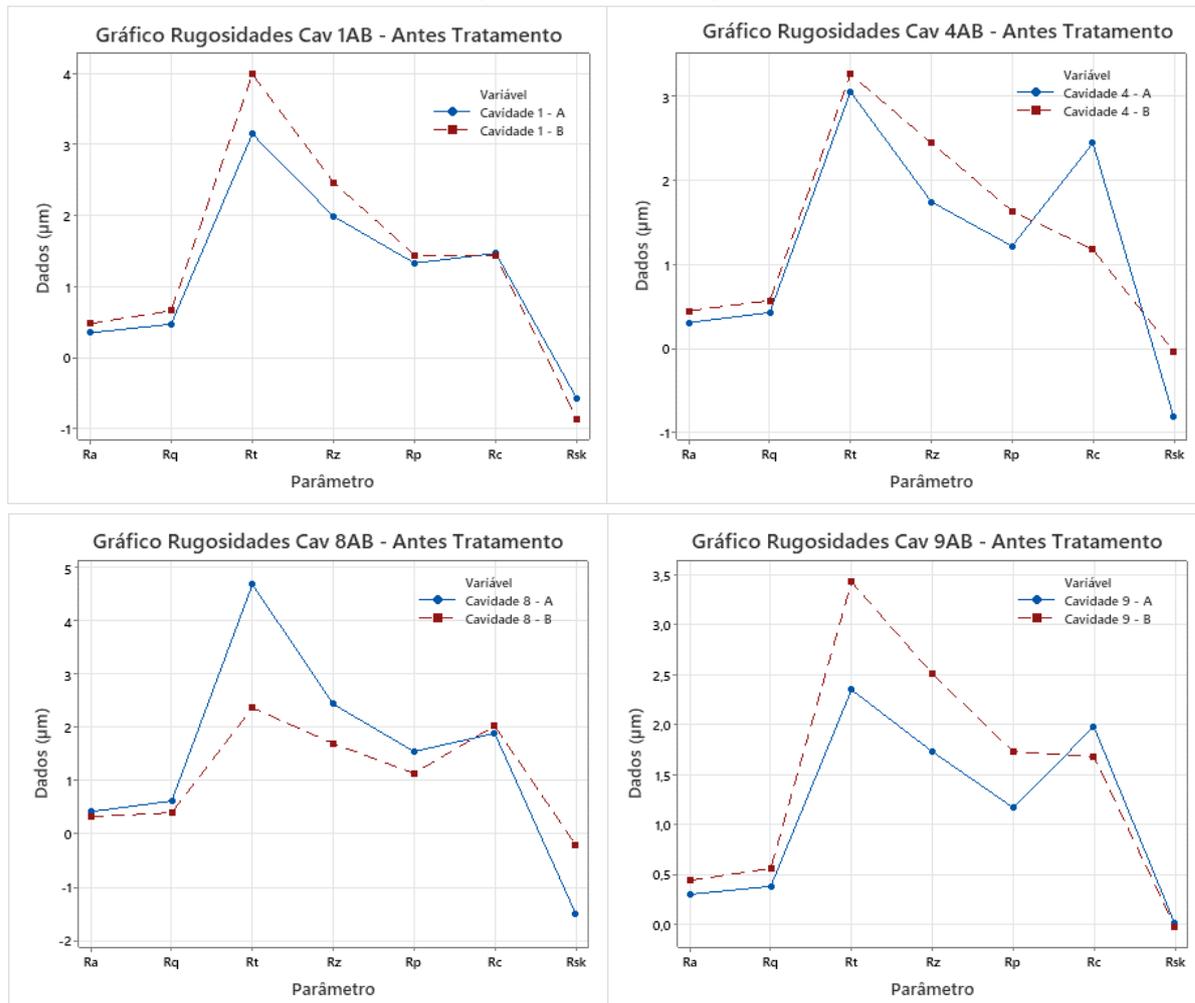
Parâmetro	Lado B											
	Cavidade 1		Cavidade 4		Cavidade 8		Cavidade 9		Cavidade 12		Cavidade 16	
	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.
Ra (μm)	0,48	0,09	0,45	0,06	0,32	0,03	0,44	0,06	0,39	0,05	0,47	0,04
Rq (μm)	0,66	0,15	0,57	0,07	0,40	0,04	0,56	0,08	0,51	0,06	0,59	0,05
Rt (μm)	3,99	1,07	3,27	0,40	2,37	0,34	3,43	0,51	3,16	0,78	3,40	0,40
Rz (μm)	2,47	0,48	2,45	0,31	1,70	0,17	2,51	0,36	2,17	0,24	2,55	0,22
Rp (μm)	1,44	0,38	1,64	0,30	1,14	0,20	1,73	0,25	1,77	0,81	1,76	0,28
Rc (μm)	1,98	0,56	1,68	0,21	1,19	0,15	1,72	0,24	1,55	0,35	1,81	0,19
Rsk (μm)	-0,86	0,91	-0,03	0,28	-0,20	0,30	-0,02	0,19	0,37	0,74	0,10	0,24
Ke (Rp/Rt)	0,361	-	0,502	-	0,481	-	0,504	-	0,560	-	0,518	-

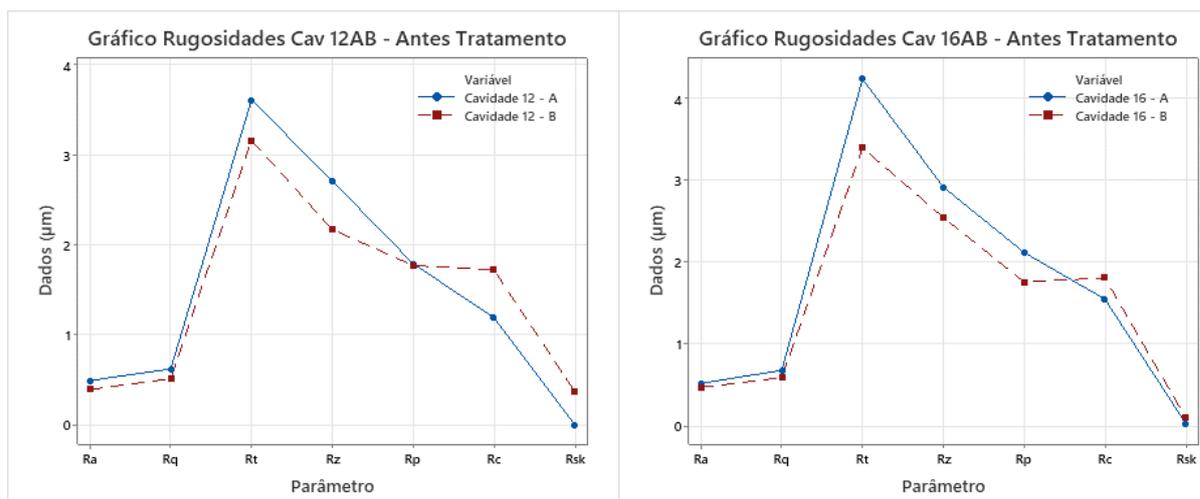
Fonte: Elaborado pelo Autor

Considerando todos os valores encontrados de rugosidade, tanto para o lado A quanto lado B do molde, sua distribuição é dispersa apresentando distribuições não padronizadas e definidas. Os valores de rugosidade para os dois lados do molde,

mesmo que considerando a mesma cavidade ou não variaram consideravelmente para cada um dos parâmetros considerados no presente trabalho. Vale frisar que o regime de preenchimento do polímero é regido pela interação tribológica dos dois lados do molde e a influência de cada lado de cavidade deve ser considerada. Sendo assim, confronta-se os valores de parâmetros de rugosidade entre lado A e B do molde com intuito de entender o estado inicial das duas superfícies antes do tratamento superficial e consequentemente entender o quão diferente são os perfis de rugosidade de cada lado do molde em suas respectivas cavidades. A comparação entre os valores dos parâmetros obtidos para as cavidades do lado A e B do molde podem ser encontradas no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Comparação Parâmetros Rugosidades Lados A e B





Fonte: Elaborado pelo Autor

De maneira geral, as cavidades dos dois lados do molde demonstraram valores que caracterizam as superfícies do molde como estado inicial para que elas sejam comparadas com os valores obtidos pós tratamento superficial. Sendo assim, é importante investigar se a distribuição dos resultados de fato segue uma padronização que seja confiável do ponto de vista estatístico e comparar os resultados antes e pós tratamento superficial correlacionando o crescimento da ponta em comprimento. Adicionalmente, o entendimento de qual característica de rugosidade da superfície que mais tem influência no preenchimento da cavidade está diretamente relacionado a análise dos valores dos parâmetros medidos antes e pós tratamento. Este tópico é discutido com mais ênfase na seção 4.5, onde encontram-se os gráficos com as análises e comparações.

4.3 COMPRIMENTO PEÇAS PÓS TRATAMENTO SUPERFICIAL

Após a injeção das 24 peças com o molde tratado superficialmente, os comprimentos das peças injetadas provenientes das cavidades 1, 4, 8, 9, 12 e 16 foram medidos e seus valores lançados no Minitab para análise estatística. Da mesma maneira apresentada na seção 4.1 antes do tratamento superficial, os valores de comprimento obtidos pós tratamento encontram-se na Tabela 8 medidos pelo Quick Scope.

Tabela 8 – Valores Comprimento Pontas Injetadas Depois

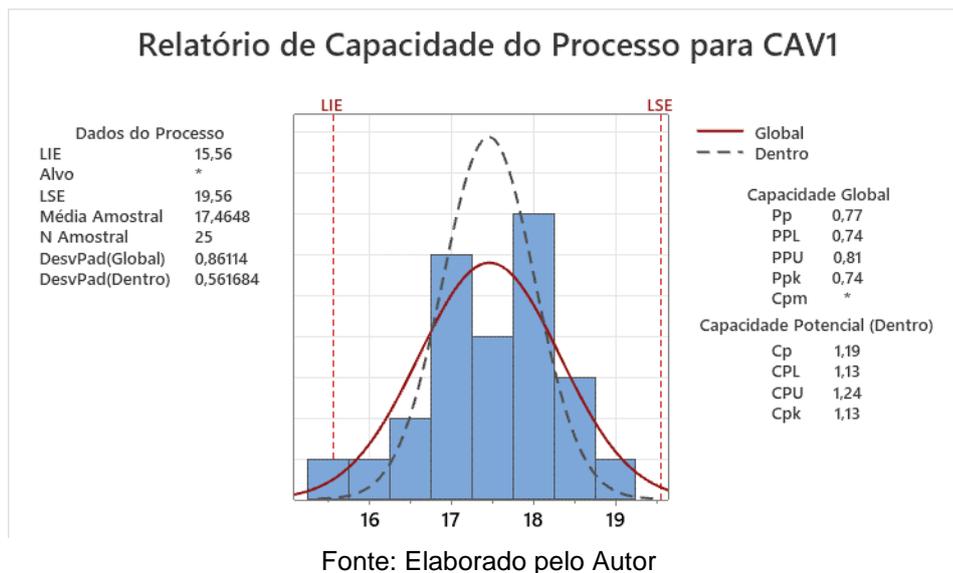
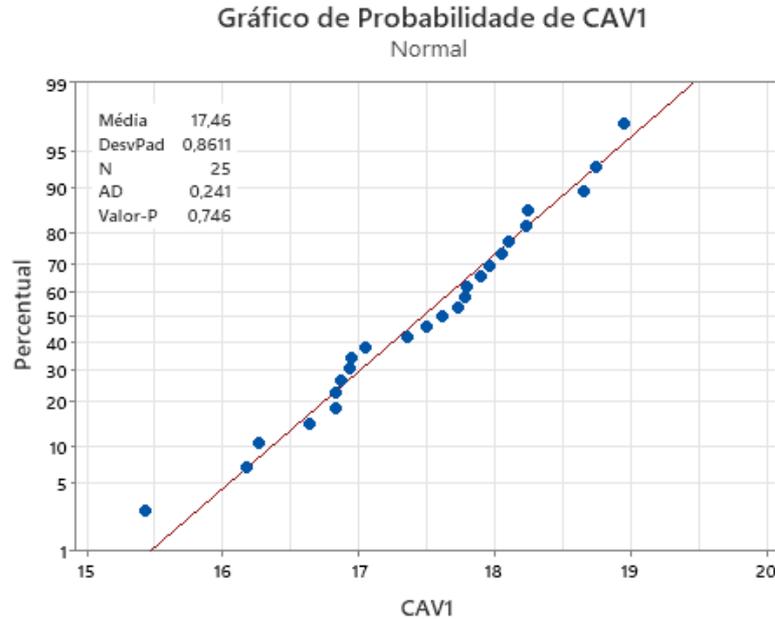
Pente	CAV1	CAV4	CAV8	CAV9	CAV12	CAV16
1	17,3608	18,8829	17,0272	16,5117	17,0711	15,7107
2	17,7938	19,1284	17,3907	16,7095	16,9222	15,7245
3	16,9457	18,2841	16,3976	16,0083	16,5398	15,2844
4	17,7255	18,9880	17,3119	16,6439	16,7914	15,6296
5	18,9497	20,0187	18,6455	17,8582	17,8711	16,7977
6	18,7451	20,0931	18,5726	17,7416	17,8361	16,8481
7	17,8989	19,4283	17,7462	17,1765	17,5286	16,5561
8	17,9611	19,2644	17,6282	17,0865	17,1774	16,1937
9	18,1094	19,4899	17,7795	17,0427	17,2088	15,9912
10	18,6591	19,6988	18,2919	17,5549	17,6001	16,7291
11	17,7797	18,9103	17,3010	16,6278	16,8229	15,8682
12	18,2529	19,3063	17,8339	17,0341	17,1603	16,3007
13	18,2390	19,5024	17,9952	17,2176	17,2822	16,4008
14	16,8690	18,2202	16,4403	15,8321	16,3846	15,3246
15	16,1798	19,8039	18,1464	17,2896	17,4418	14,3802
16	15,4326	19,3163	17,6383	16,9111	17,2734	14,1006
17	16,2599	19,7437	18,0386	17,2509	17,4776	14,3714
18	16,8325	19,8992	18,5152	17,4802	17,6104	14,8730
19	17,0541	20,1436	18,8548	17,7599	17,9231	15,2853
20	17,4997	20,1578	18,9641	17,8149	17,8618	15,2468
21	16,8276	19,5207	17,9612	17,1524	17,4968	15,3210
22	17,6207	19,9639	18,4721	17,6223	17,7942	15,9058
23	16,6339	19,0004	17,2941	16,6442	16,9312	15,2195
24	16,9376	19,1334	17,5175	16,7822	17,0581	15,3942

Fonte: Elaborado pelo Autor

Para as peças provenientes da cavidade 1, os resultados de comprimento medido demonstraram tendência de distribuição normal uma vez que valor-p (0,746) é maior do 0,05 e os pontos estão próximos a linha de projeção conforme demonstrado no Gráfico 8 eliminando a hipótese H_1 e confirmando H_0 como verdadeira.

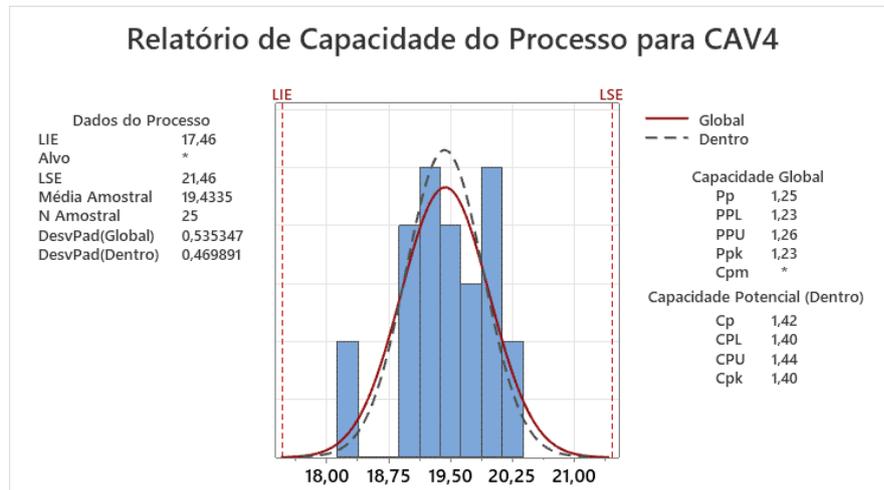
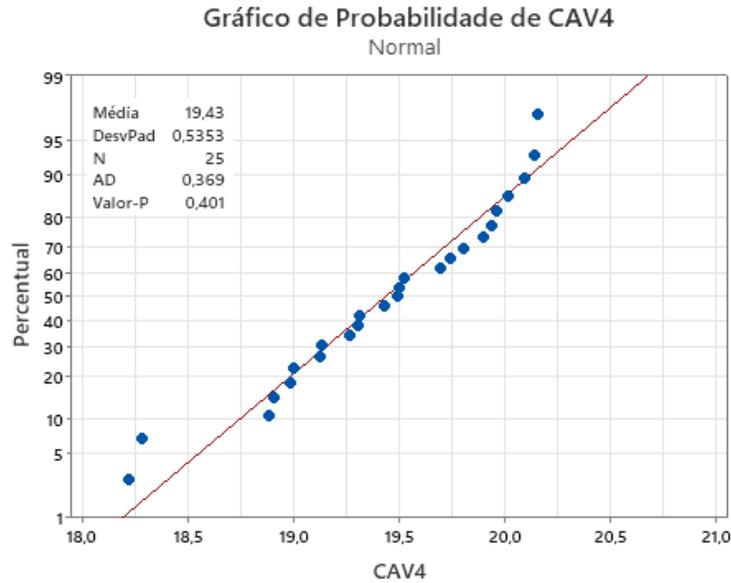
A largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação, porém com medidas próximas ao limite inferior. Ainda assim, considerando capacidade potencial e global, valores de C_p e C_{pk} (1,19 e 1,13) e valores de P_p e P_{pk} (0,77 e 0,74), são próximos indicando centralização da dispersão. Ao analisar PPL (0,74) menor do que PPU (0,81), este resultado indica que a distribuição tende a prover peças próximas ao limite inferior na dispersão dos dados conforme demonstrado pelo Gráfico 8.

Gráfico 8 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 1



Os resultados de comprimento das peças injetadas provenientes da cavidade 4 demonstraram que a distribuição segue padrão de normalidade uma vez que o valor-p (0,401) é maior que o valor estipulado 0,05 e os pontos próximos a linha de projeção. Do ponto de vista de capacidades potencial e global, Cp e Cpk (1,42 e 1,40), assim como Pp e Ppk (1,25 e 1,23), demonstram-se próximos e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de PPL (1,23) e PPU (1,26) são próximos e indicam centralização da distribuição conforme demonstrado pelo Gráfico 9.

Gráfico 9 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 4

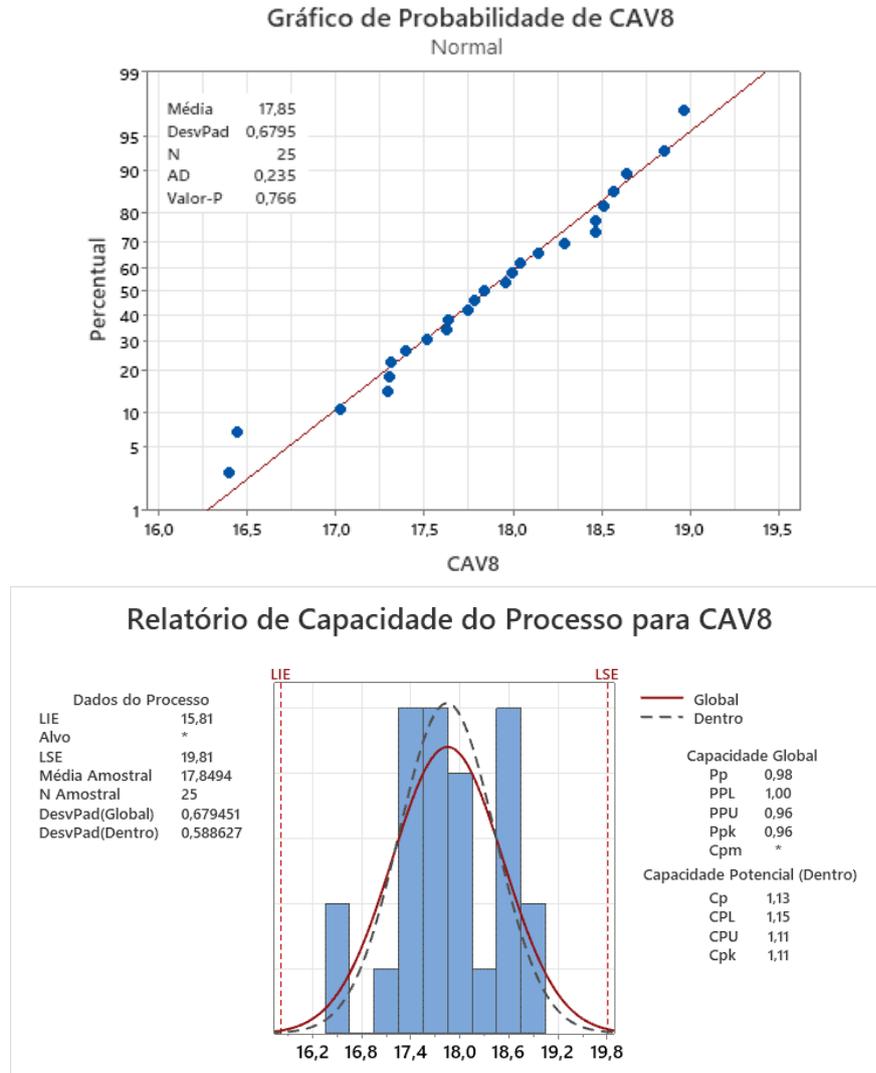


Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados de comprimento das peças provenientes da cavidade 8 demonstraram distribuição normal uma vez que o valor-p (0,766) é maior que 0,05 e a maioria dos pontos estão próximos a linha de projeção. Este resultado indica que o processo de injeção fornece repetibilidade e produz peças confiáveis com pouca variação e repetibilidade de comprimentos. A largura da dispersão dos dados encontra-se dentro dos limites de especificação. Do ponto de vista de capacidades potencial e global, os valores de Cp e Cpk (1,13 e 1,11), assim como Pp e Ppk (0,98 e 0,96) demonstram-se próximos e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de PPL

(1,00) e PPU (0,96) são próximos e indicam centralização da distribuição conforme demonstrado pelo Gráfico 10.

Gráfico 10 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 8

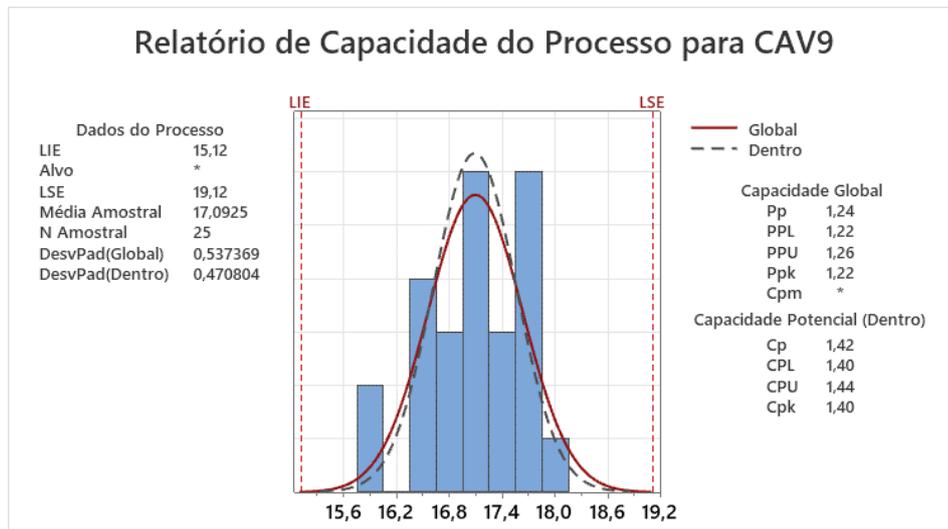
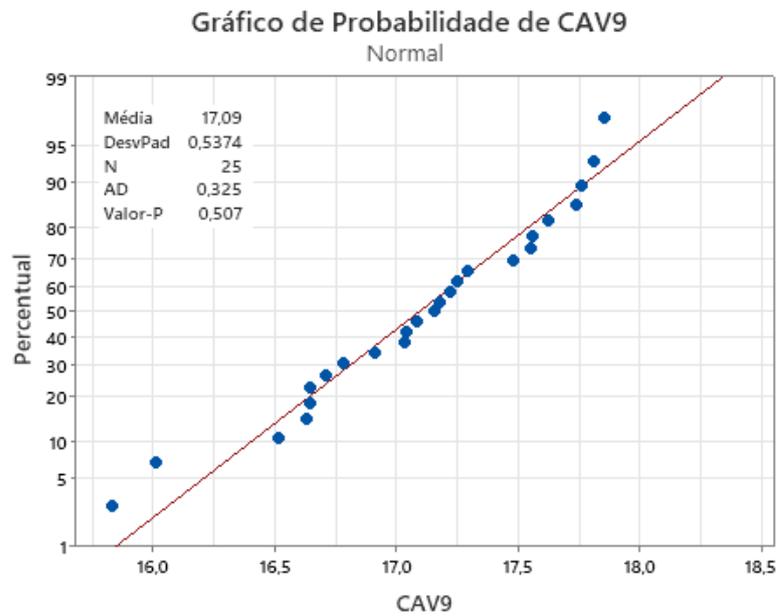


Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados de comprimento das peças injetadas da cavidade 9 apresentam distribuição normal devido ao valor-p (0,507) ser maior que o índice definido 0,05 confirmando a hipótese nula H_0 . Este resultado indica que o processo de injeção fornece repetibilidade e produz peças confiáveis com pouca variação e repetibilidade de comprimentos. Adicionalmente, a maioria dos pontos da dispersão encontram-se próximos da reta de projeção e a largura da dispersão dos dados encontra-se dentro dos limites de especificação. Do ponto de vista de capacidades potencial e global, os

valores de Cp e Cpk (1,42 e 1,40), assim como Pp e Ppk (1,24 e 1,22) demonstram-se próximos e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de PPL (1,22) e PPU (1,26) são próximos e indicam centralização da distribuição conforme demonstrado pelo Gráfico 11.

Gráfico 11 – Distribuição Comprimento Peças Cavidade 9

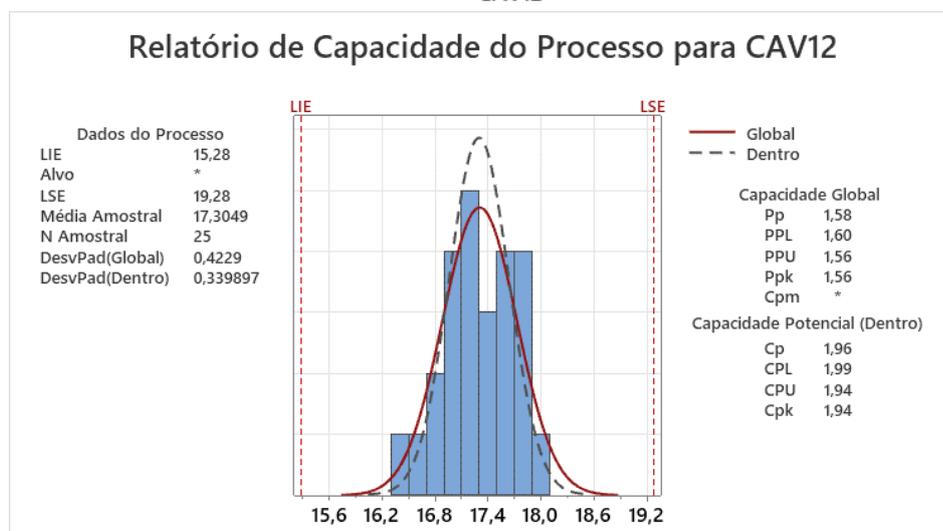
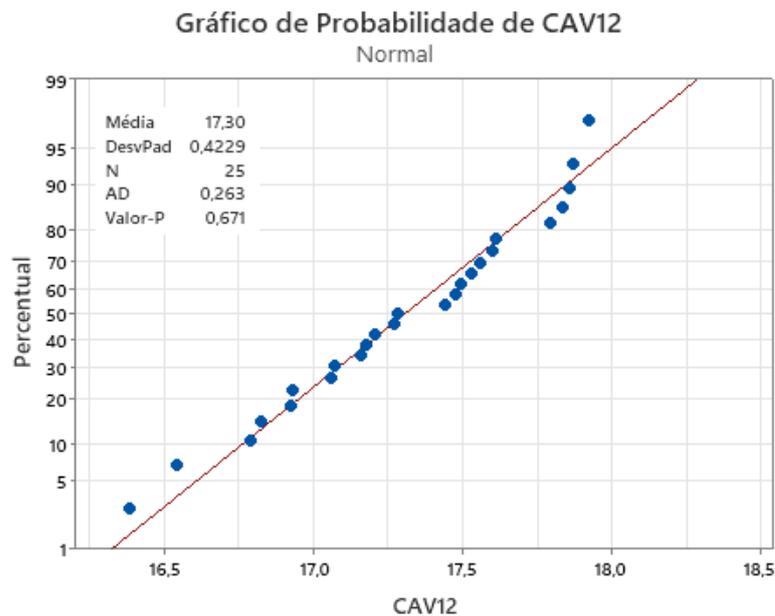


Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados de comprimento obtidos das peças injetadas provenientes da cavidade 12 demonstram uma distribuição normal uma vez que, a maioria dos pontos estão próximos a linha de projeção e o valor-p (0,671) maior que 0,05 confirmando

assim, a hipótese nula H_0 . Este resultado indica que o processo de injeção fornece repetibilidade e produz peças confiáveis com pouca variação e repetibilidade de comprimentos. A largura da dispersão dos dados encontra-se dentro dos limites de especificação. Do ponto de vista de capacidades potencial e global, os valores de C_p e C_{pk} (1,96 e 1,94), assim como P_p e P_{pk} (1,58 e 1,56) são iguais e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de P_{PL} (1,60) e P_{PU} (1,56) são próximos e indicam centralização da distribuição conforme demonstrado pelo Gráfico 12.

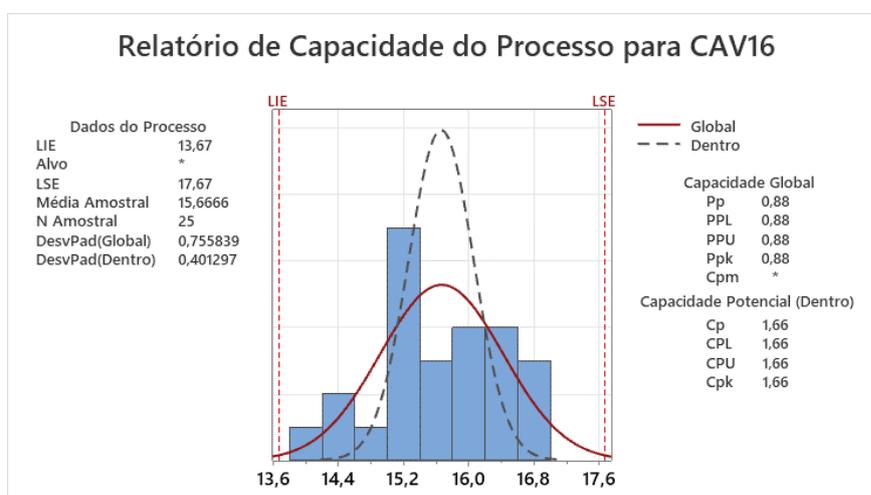
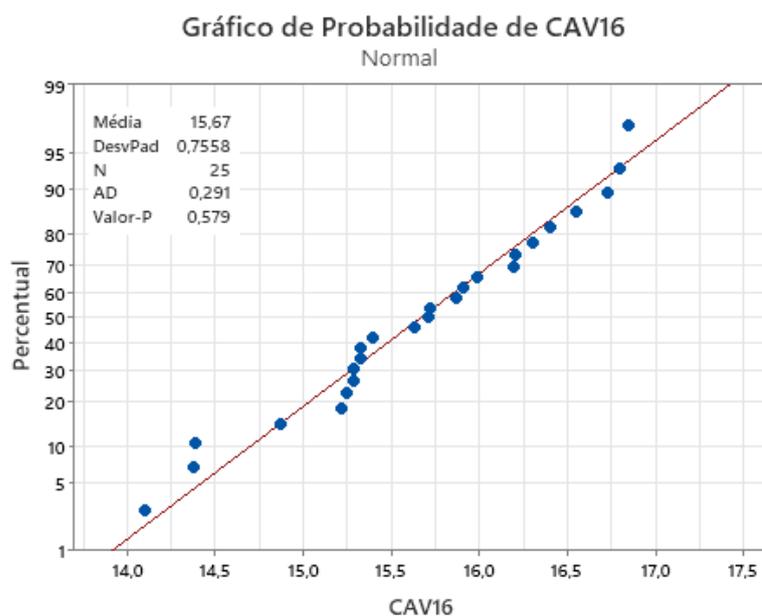
Gráfico 12 – Distribuição Peças Cavidade 12



Fonte: Elaborado pelo Autor

Por fim, os resultados de comprimento obtidos das peças proveniente da cavidade 16 demonstram uma distribuição normal, pois os dados estão próximos a linha de projeção e valor-p (0,579) é maior que 0,05 confirmando assim a hipótese nula H_0 . A largura da dispersão dos dados encontra-se dentro dos limites de especificação. Do ponto de vista de capacidades potencial e global, os valores de C_p e C_{pk} (1,66 e 1,66), assim como P_p e P_{pk} (0,88 e 0,88) demonstram-se iguais e dessa maneira a largura da dispersão de dados encontra-se dentro dos limites de especificação e centralizada. Os valores de P_{PL} (0,88) e P_{PU} (0,88) são iguais e indicam centralização da distribuição conforme Gráfico 13.

Gráfico 13 – Distribuição Peças Cavidade 16



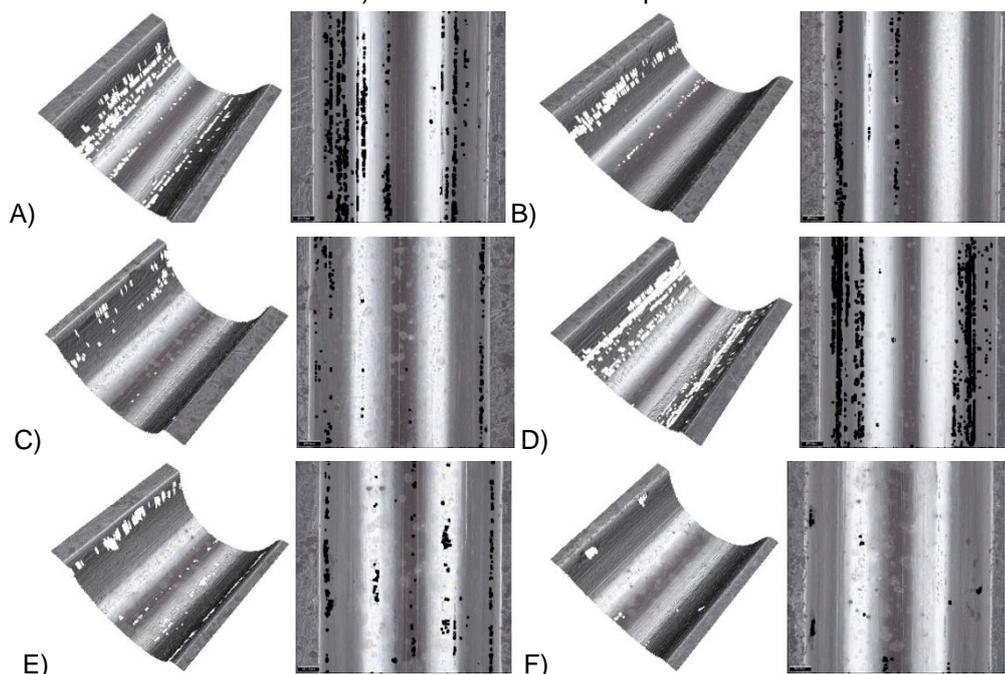
Fonte: Elaborado pelo Autor

Diferentemente da injeção previamente ao tratamento superficial, a distribuição das medidas apresentou maiores variações de comprimento posterior ao tratamento. A dispersão dos dados encontra-se dentro dos limites inferiores e superiores, porém com comprimentos menos centralizados e próximos aos limites de processo. Em outras palavras, houve exatidão dos comprimentos, mas não houve precisão. Contudo, as curvas demonstraram-se normais ainda que inferior ao obtido antes do tratamento superficial. Assim como antes do tratamento superficial, as pontas apresentaram variações de valores de comprimento obtidos nas 24 medições para suas respectivas cavidades. O cálculo de amplitude desta variação pode ser avaliado através da diferença do menor e maior comprimento de pontas obtido em cada uma das cavidades. Dessa maneira, obteve-se, em milímetros, para cavidade 1 (3,5171), cavidade 4 (1,9376), cavidade 8 (2,5665), cavidade 9 (2,0261), cavidade 12 (1,5385) e por fim, cavidade 16 (2,7475). Considerando as diferenças em amplitude de todas as cavidades, mesmo em condições de preenchimento parcial e sem etapa de compactação, houve variação na diferença dos valores sem apresentação de uniformidade entre eles. Isto significa que na média, a amplitude dos comprimentos das pontas variaram 2,3888 mm o que demonstra um valor próximo ao encontrado antes do tratamento superficial. Contudo, apesar de valores próximos na média, ao comparar a amplitude de variação com a mediana dos comprimentos obtida em cada cavidade, a variação de alcance de comprimento reflete uma flutuação de 8,9 a 20,03%.

4.4 RUGOSIDADE CAVIDADES PÓS TRATAMENTO SUPERFICIAL

Determinado e medido os parâmetros de rugosidade do molde para os dois lados, A e B, conforme descrição na seção de metodologia deste presente trabalho, a ferramenta de injeção foi submetida a um tratamento superficial com intuito de variar o perfil de rugosidade da superfície das cavidades. Baseado nisso, da mesma maneira aplicada a seção 4.2, as imagens 2D e 3D foram capturadas através da perfilometria ótica das cavidades 1, 4, 8, 9, 12 e 16 lado do molde A conforme demonstrado na Figura 32.

Figura 32 – Imagem Perfilometria Depois A) Cav. 1A B) Cav. 4A C) Cav. 8A D) Cav. 9A E) Cav. 12A F) Cav. 16A. Escala 200 μm .



Fonte: Elaborado pelo Autor

Sendo assim, os valores dos parâmetros de rugosidade para o lado B do molde foram coletados, dos quais podem ser listadas na Tabela 9. Os valores obtidos estão expressos juntamente com seus respectivos desvios e foram medidos pelo equipamento de perfilometria óptica.

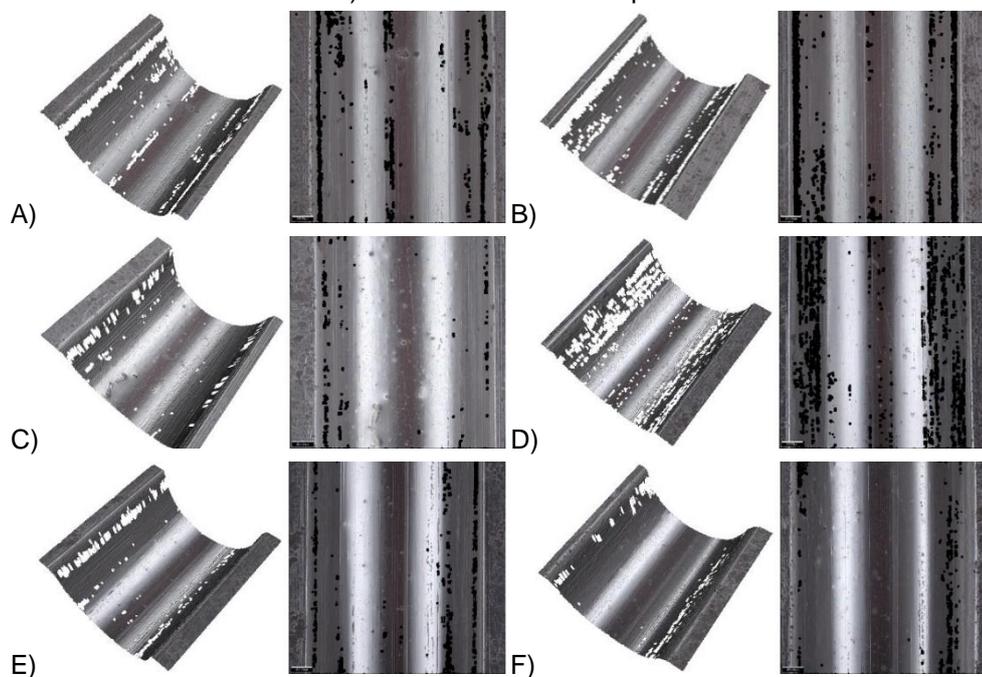
Tabela 9 - Parâmetros Rugosidade Cavidades Lado A Molde Depois

Parâmetro	Lado A											
	Cavidade 1		Cavidade 4		Cavidade 8		Cavidade 9		Cavidade 12		Cavidade 16	
	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.
Ra (μm)	0,60	0,15	0,45	0,06	0,46	0,07	0,75	0,11	0,50	0,14	0,48	0,07
Rq (μm)	0,77	0,19	0,59	0,08	0,62	0,10	0,97	0,14	0,66	0,18	0,63	0,11
Rt (μm)	4,73	1,29	4,50	0,94	4,79	1,23	6,65	1,67	4,94	1,54	4,93	1,46
Rz (μm)	3,36	0,90	3,11	0,49	3,25	0,64	4,65	0,89	3,33	1,12	3,10	0,68
Rp (μm)	2,46	0,86	2,25	0,67	2,74	1,12	3,82	1,59	2,77	0,95	2,78	1,34
Rc (μm)	2,43	0,74	2,10	0,38	2,27	0,51	3,19	0,59	2,34	0,71	2,20	0,48
Rsk (μm)	0,10	0,32	-0,11	0,30	0,33	0,64	0,09	0,53	0,35	0,46	-0,03	0,65
Ke (Rp/Rt)	0,52	-	0,50	-	0,57	-	0,57	-	0,56	-	0,56	-

Fonte: Elaborado pelo Autor

Em seguida, obteve-se as medições do perfil de rugosidade das cavidades referente ao lado B conforme Figura 33.

Figura 33 – Imagem Perfilometria Depois A) Cav. 1B B) Cav. 4B C) Cav. 8B D) Cav. 9B E) Cav. 12B F) Cav. 16B. Escala 200 μm .



Fonte: Elaborado pelo Autor

Sendo assim, os valores dos parâmetros de rugosidade para o lado B do molde foram coletados, dos quais podem ser listadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros Rugosidade Cavidades Lado B Molde Depois

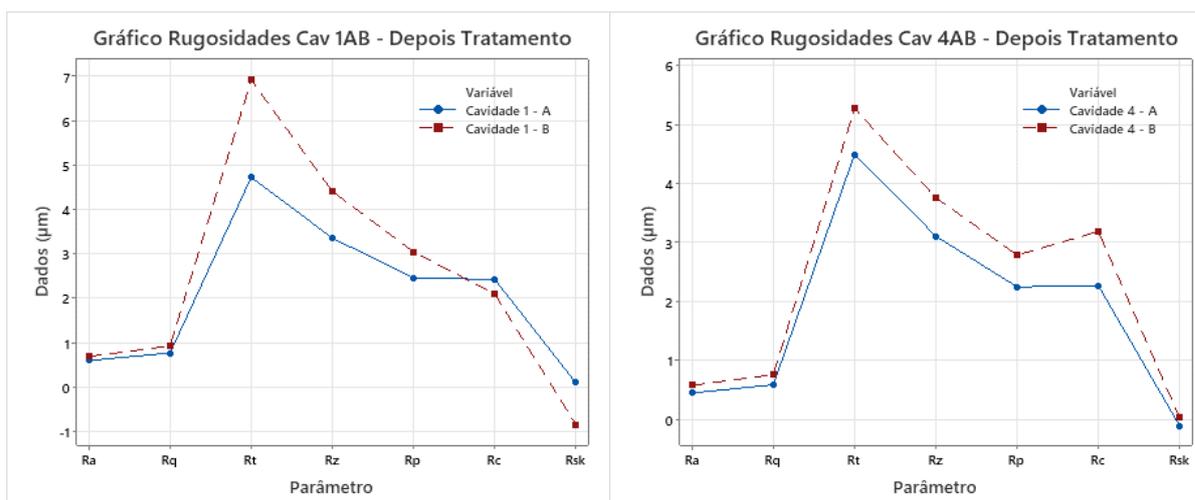
Parâmetro	Lado B											
	Cavidade 1		Cavidade 4		Cavidade 8		Cavidade 9		Cavidade 12		Cavidade 16	
	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.	Valor	Desv.
Ra (μm)	0,69	0,08	0,58	0,14	0,53	0,06	0,95	0,29	0,45	0,14	0,43	0,05
Rq (μm)	0,93	0,08	0,76	0,18	0,82	0,26	1,68	0,97	0,59	0,19	0,56	0,06
Rt (μm)	6,92	1,05	5,28	1,67	7,73	4,30	20,97	17,21	4,41	1,92	3,92	0,69
Rz (μm)	4,41	0,52	3,76	1,07	3,90	0,85	8,76	5,08	2,82	1,13	2,75	0,29
Rp (μm)	3,05	0,88	2,79	1,08	4,74	3,75	16,30	15,06	2,30	1,12	1,94	0,41
Rc (μm)	3,07	0,38	2,52	0,70	4,21	3,79	10,03	13,51	2,03	0,81	1,87	0,29
Rsk (μm)	-0,84	0,74	0,03	0,35	1,05	2,52	2,97	3,64	-0,10	0,62	-0,29	0,33
Ke (Rp/Rt)	0,44	-	0,53	-	0,61	-	0,78	-	0,52	-	0,49	-

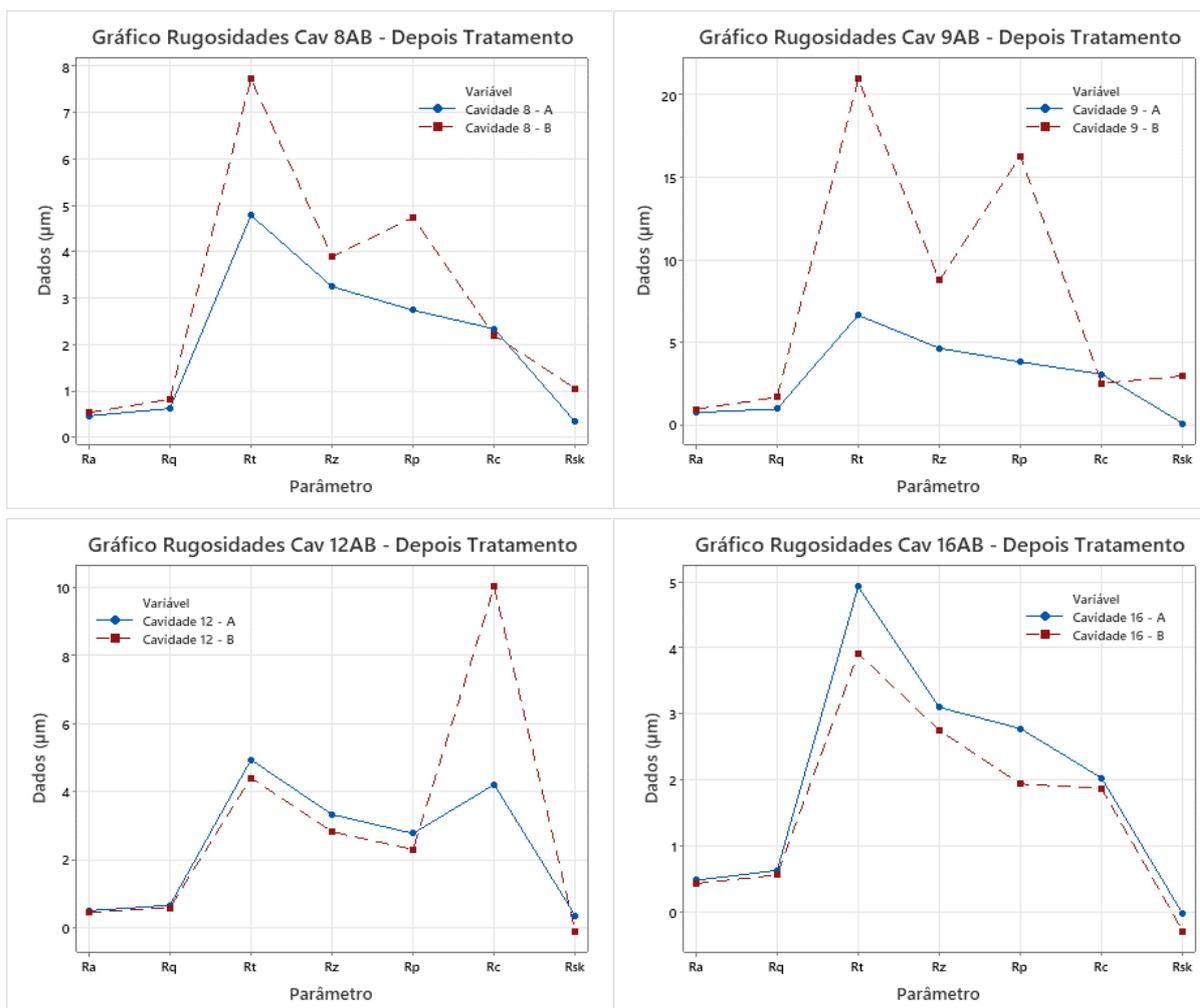
Fonte: Elaborado pelo Autor

Considerando todos os valores encontrados de rugosidade, tanto para o lado A quanto lado B do molde, após o tratamento superficial sua distribuição também é dispersa apresentando distribuições não padronizadas e definidas assim como encontrado antes do tratamento superficial. Os valores de rugosidade para os dois lados do molde, mesmo que considerando a mesma cavidade ou não, variaram consideravelmente para cada um dos parâmetros considerados no presente trabalho, principalmente para as cavidades 8, 9 e 12. A comparação entre os valores dos parâmetros obtidos para as cavidades do lado A e B do molde podem ser encontradas no Gráfico 14.

De maneira geral, as cavidades dos lados dos dois lados do molde demonstraram tendências de aumento de características de rugosidade pós tratamento superficial, uma vez que apresentam valores divergentes e maiores aos coletados antes do tratamento. Contudo, é importante investigar se a distribuição dos resultados de fato segue uma padronização que seja confiável do ponto de vista estatístico e comparar os resultados antes e pós tratamento superficial correlacionando o crescimento da ponta em comprimento. Este tópico é discutido com mais ênfase na seção seguinte, onde encontram-se os gráficos com as análises e comparações.

Gráfico 14 – Comparação Parâmetros Rugosidades Lados A e B





Fonte: Elaborado pelo Autor

4.5 COMPARAÇÃO RESULTADOS ANTES E PÓS TRATAMENTO SUPERFICIAL

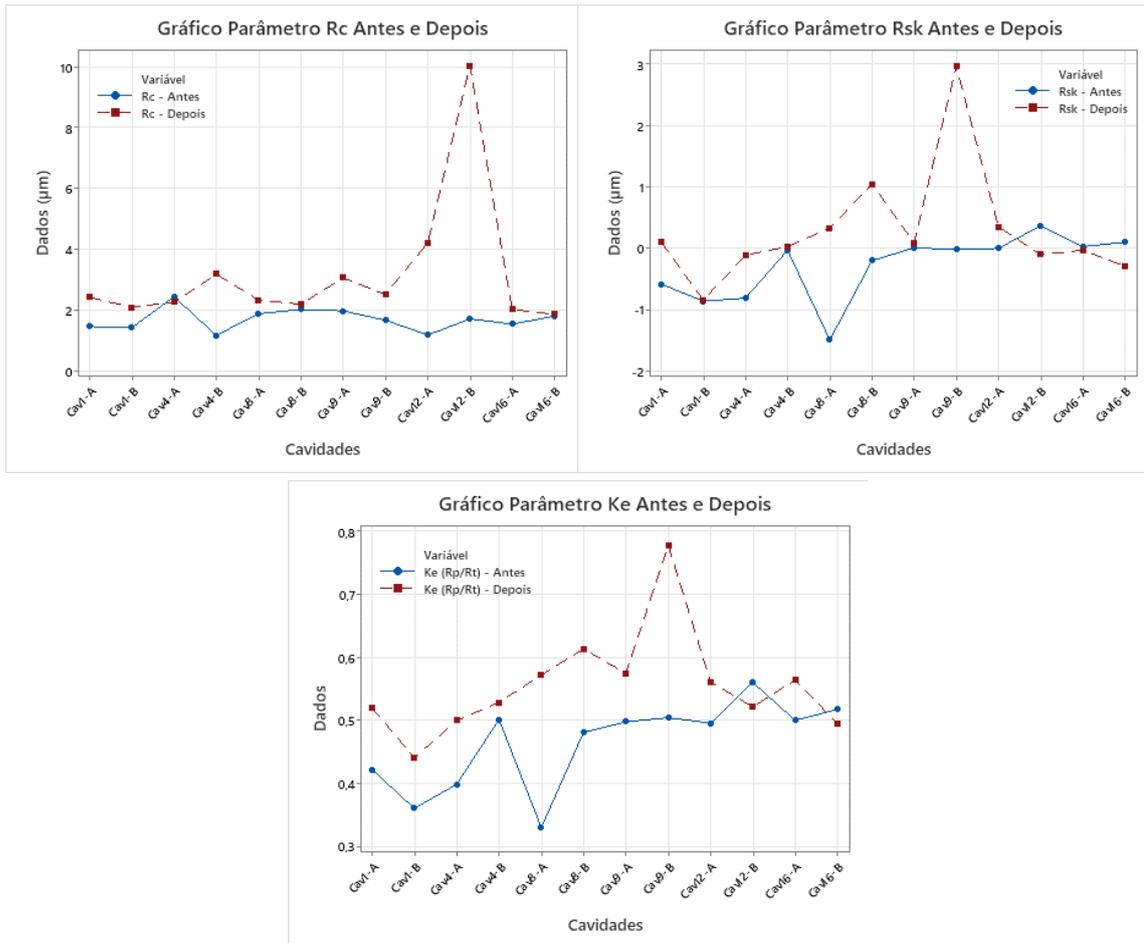
A correlação entre comportamento do material no processo de injeção e rugosidade da superfície das cavidades apresenta-se como estratégia principal do presente estudo. O entendimento das características de superfície que facilitam ou não o alcance de dimensional das pontas pode ser realizado através da comparação entre os dados coletados de comprimento das pontas preenchidas, assim como a rugosidade da superfície do molde antes e depois do tratamento superficial. Vale frisar que uma superfície pode ser caracterizada através de parâmetros que contribuem com o entendimento de diferentes atributos, que quando analisados em conjunto, geram visibilidade do aspecto de rugosidade das superfícies das cavidades. Somadas com a análise de comprimento das pontas, o conceito de preenchimento do molde pode ser entendido. É importante mencionar que a análise deve ser feita para os dois

lados do molde uma vez que o alcance de comprimento ou preenchimento da cavidade é de fato regida por interferências das duas superfícies.

Primeiramente, conforme demonstrado no Gráfico 15 inicia-se a comparação dos parâmetros de Ra, do qual indica a média aritmética do perfil de rugosidade junto a todas as cavidades medidas, tanto lado A quanto B. Conforme demonstrado no gráfico 15, Ra foi maior após o tratamento superficial do molde para as cavidades 1AB, 4AB, 8AB, 9AB, 12AB e menor para a 16AB. Destaque para a cavidade 9B da qual apresentou o maior valor medido para Ra. Em seguida, o parâmetro Rq, desvio quadrático médio, segue similarmente o comportamento de Ra sendo também menor para a cavidade 16AB após tratamento superficial e com destaque de maior valor para a cavidade 9B. De fato, os parâmetros representam um perfil mais rugoso para a maioria das cavidades, mas esta análise deve ser complementada pelos parâmetros a seguir.

Gráfico 15 – Parâmetros Rugosidade Antes e Após Tratamento Superficial





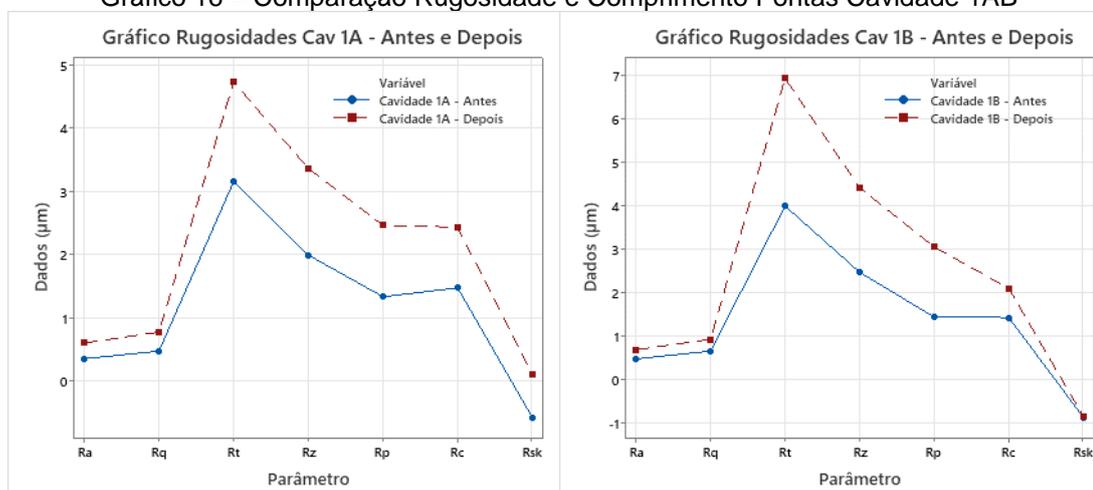
Fonte: Elaborada pelo Autor

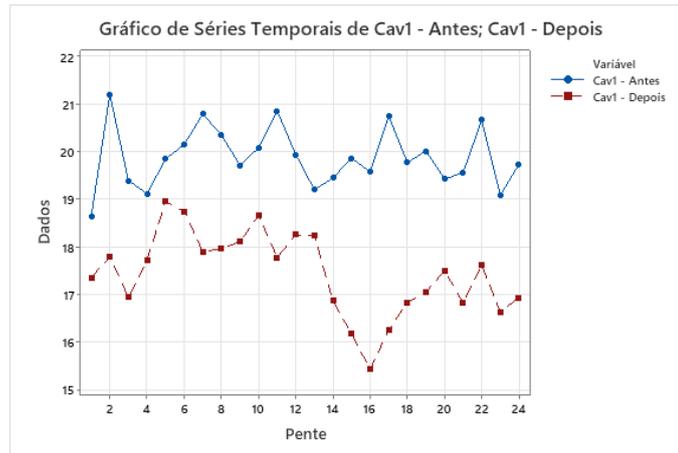
A altura máxima entre pico e vale do perfil de rugosidade, R_t , apresentou valores maiores para todas as cavidades, tanto lado A quanto B, após o tratamento superficial das cavidades dos moldes. Destaca-se o maior valor para a cavidade 9B. O parâmetro R_z ou altura média entre pico e vale do perfil de rugosidade foi maior em todas as cavidades destacando o maior valor para a cavidade 9B após o tratamento superficial. Continuamente, o parâmetro R_p , altura máxima de pico do perfil de rugosidade, apresentou dados superiores em todas as cavidades após o tratamento superficial com destaque de maior valor para cavidade 9B. Em seguida, a altura média do perfil de irregularidades do perfil de rugosidade, R_c , apresentou valor mais altos após o tratamento superficial para as cavidades 1AB, 4B, 8AB, 9AB, 12AB e 6AB com destaque de maior valor para 12B. Vale frisar que para as cavidades 8B e 16B os valores antes e depois foram muito próximos. O único parâmetro que demonstrou valor menor após o tratamento foi da cavidade 4A.

O parâmetro Rsk teve sua distribuição pouco padronizada quando comparada aos resultados dos outros parâmetros. Para as cavidades 1AB, 4AB, 8AB, 9AB e 12A, os valores foram maiores ou muito próximos comparados com os dados antes e pós tratamento superficial indicando que a superfície tende a característica mais pontiaguda posterior ao tratamento. Para as cavidades 12B e 16AB os valores obtidos após o tratamento superficial foram menores indicando superfícies menos pontiagudas. Por fim, o coeficiente de esvaziamento Ke foi calculado e seus valores são maiores após o tratamento superficial para as cavidades 1AB, 4AB, 8AB, 9AB, 12A e 16A indicado uma característica de superfície com mais picos quando comparadas com antes tratamento superficial. Contudo, as cavidades 12B e 16B apresentaram valores menores após o tratamento superficial.

De maneira que se obteve visibilidade dos parâmetros de rugosidade das cavidades do molde antes e depois do tratamento superficial, analisa-se que em sua maioria os valores foram maiores pós tratamento indicando que a rugosidade da superfície do molde aumentou. De acordo com isso, uma superfície mais rugosa tende ao influenciar o preenchimento do polímero nas cavidades dificultado ou não pela interação tribológica do material e aço. Sendo assim, se faz necessário analisar cavidade por cavidade, em seus dois lados, juntamente com o alcance de dimensional ou comprimento das pontas para concluir quais parâmetros que caracterizam a superfície do molde que mais influencia no preenchimento do material durante o processo de injeção. O Gráfico 16 correlaciona os parâmetros de rugosidade encontrados para cavidade 1AB juntamente com os comprimentos obtidos antes e pós tratamento superficial.

Gráfico 16 – Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 1AB

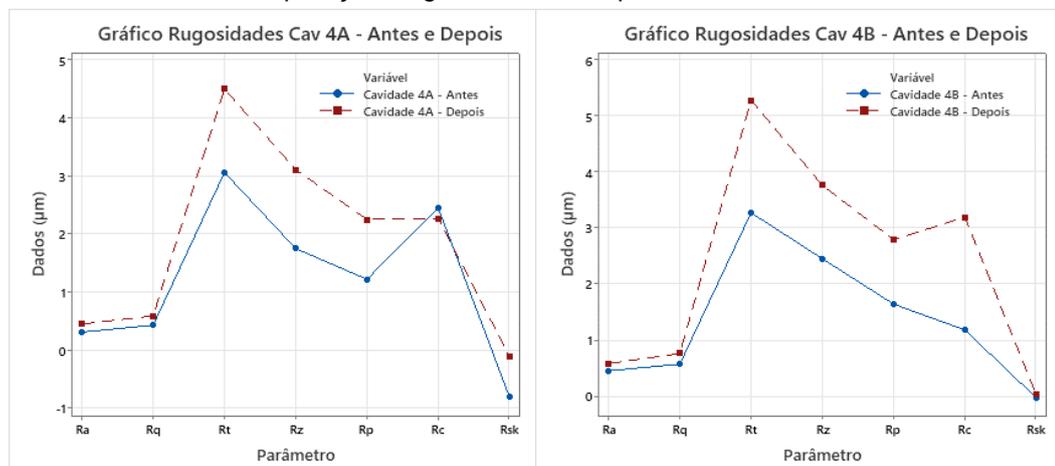


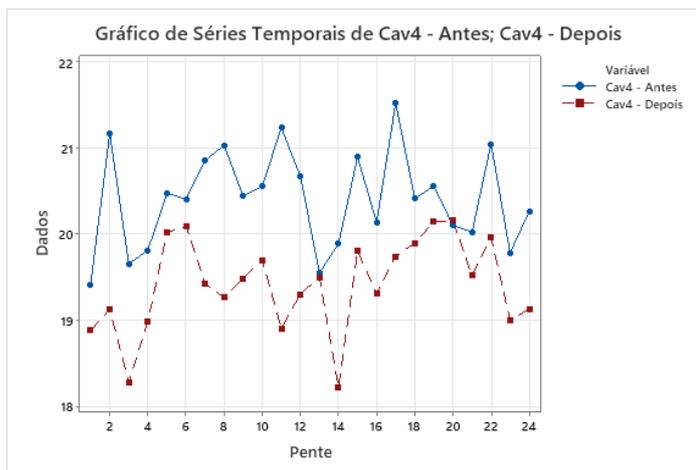


Fonte: Elaborado pelo Autor

Ao considerar a cavidade 1AB, os parâmetros de rugosidade que mais se destacaram maiores após o tratamento superficial foram R_t , R_z , R_p , e R_c indicando que a superfície apresenta maiores alturas entre picos e vales ao longo da superfície. Adicionalmente, a máxima altura de picos e altura média das irregularidades também são maiores no perfil após tratamento indicando que a superfície é mais irregular e rugosa apesar do valor de R_{sk} não demonstrar muita alteração pós tratamento para cavidade 1B. Contudo, R_{sk} da cavidade 1A é maior pós tratamento sugerindo que a superfície é mais pontiaguda. Uma vez que o preenchimento do polímero é influenciado pelos dois lados do molde, aponta-se que o conjunto das características apresentadas acima foram suficientes para que os comprimentos obtidos após tratamento superficial se apresentassem 12% menores em média. Em seguida, no Gráfico 17 são expostos os valores de rugosidade da cavidade 4AB juntamente com os comprimentos obtidos antes e pós tratamento superficial.

Gráfico 17 - Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 4AB

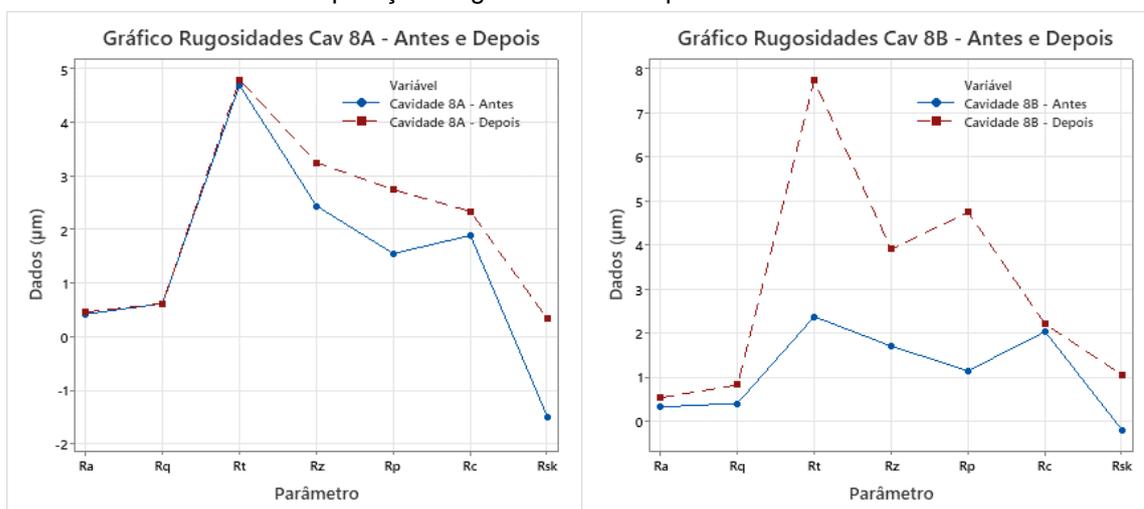


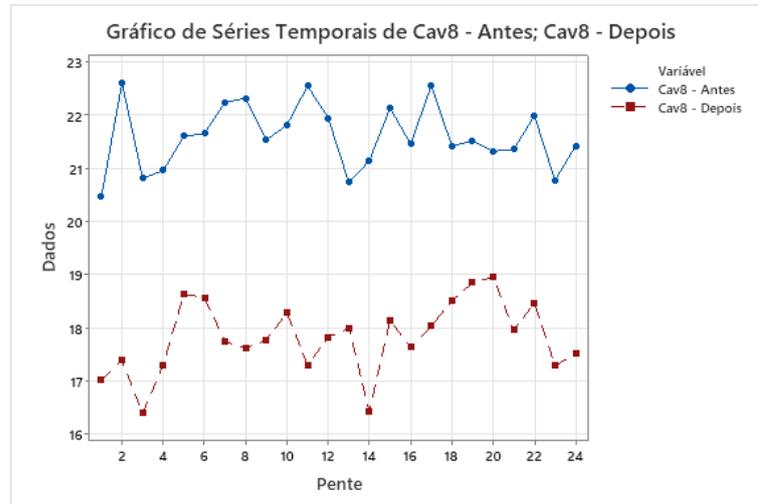


Fonte: Elaborado pelo Autor

Os parâmetros de rugosidade que mais se destacaram maiores pós tratamento superficial para a cavidade 4AB foram R_t , R_z , R_p e R_c implicando que a superfície tem maiores picos e vales, ou profundidades de vales e alturas de picos mais discrepantes que indicam uma superfície mais irregular principalmente por estes parâmetros se apresentarem nos dois lados do molde. Mesmo assim, R_c foi menor antes tratamento para cavidade 4A e R_{sk} para cavidade 4B. Apesar disso, ao analisar o conjunto de parâmetros, as cavidades sugerem uma superfície irregular com mais picos do que vales e distâncias de profundidade/altura maiores contribuindo para a variação de comprimento apresentada pelas pontas injetadas. Ainda assim, as pontas enfrentaram dificuldades de crescimento sendo em sua maioria menores que 5% em média pós tratamento superficial.

Gráfico 18 - Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 8AB

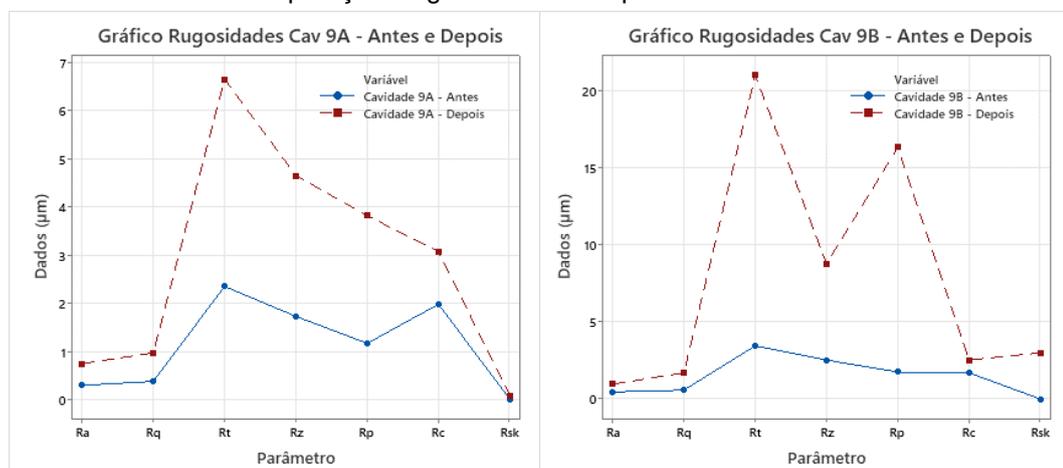


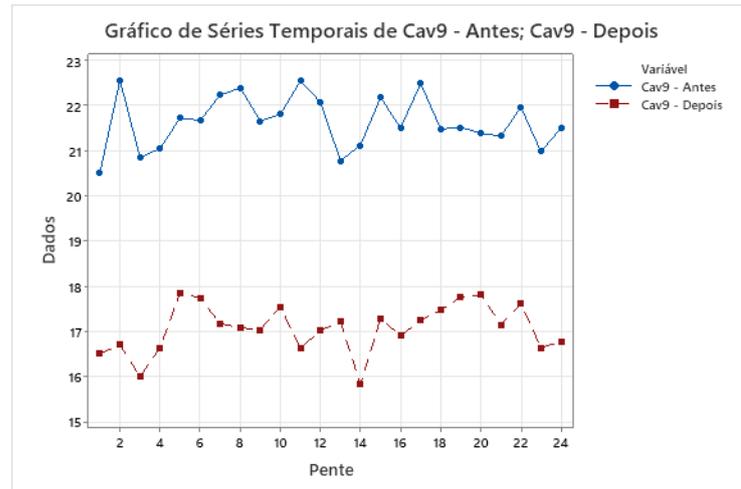


Fonte: Elaborado pelo Autor

De acordo com o Gráfico 18, ao analisar os resultados da cavidade 8AB, discute-se que os parâmetros que mais destacaram-se como maiores foram R_t , R_z , R_p e R_{sk} , apesar dos valores de R para antes e depois apresentarem-se muito próximos na cavidade 8A. Contudo, assim como para as cavidades anteriores, os parâmetros que mais representam uma superfície com picos altos e maiores alturas entre picos e vales tendem a influenciar o comportamento do preenchimento do material de maneira negativa. Adicionalmente, para esta cavidade os valores de R_{sk} foram maiores pós tratamento sugerindo uma superfície mais pontiagudo. Sendo assim, uma vez que os parâmetros indicam um perfil rugoso com muito picos e grandes alturas entre picos e vales, torna-se possível dizer que a interação tribológica com o preenchimento do material influenciou na redução de alcance de comprimento da ponta em média de 18% pós tratamento superficial.

Gráfico 19 - Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 9AB

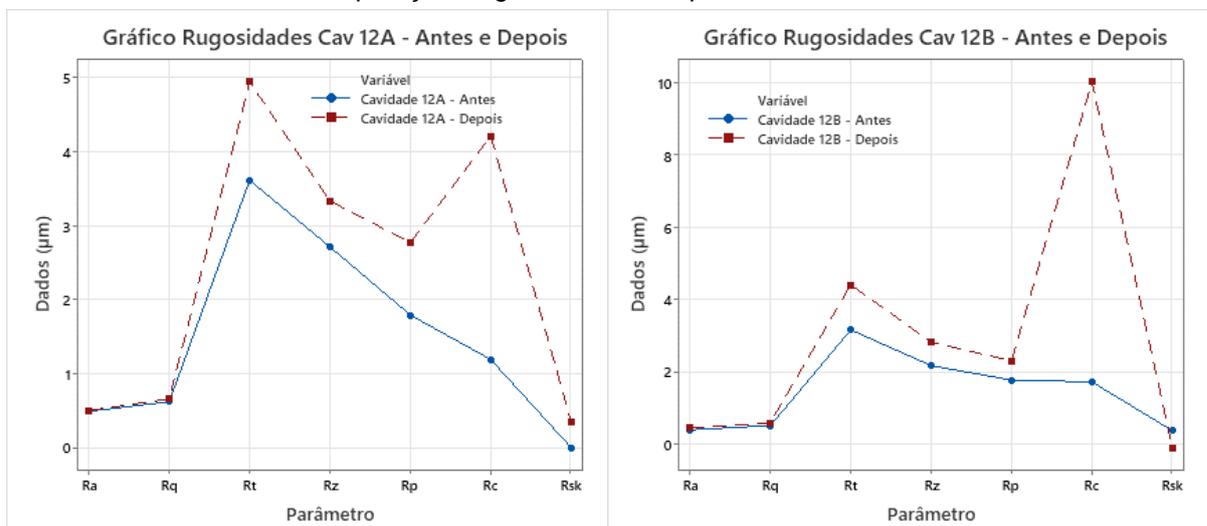


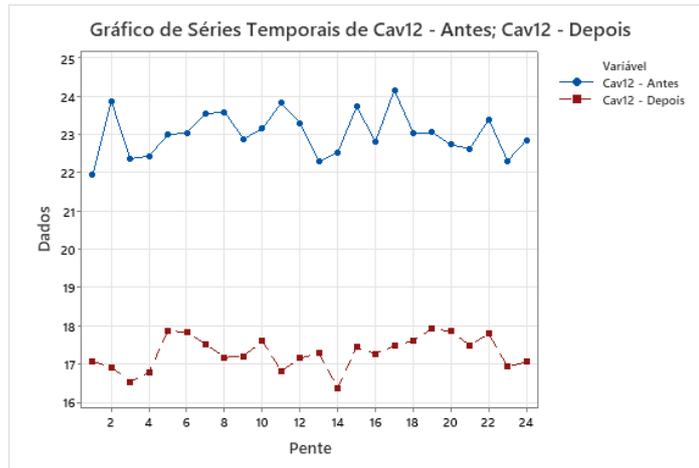


Fonte: Elaborado pelo Autor

No Gráfico 19 pode-se analisar os dados obtidos para cavidade 9AB. Analogamente, os parâmetros de rugosidade para cavidade 9AB que mais se destacaram como maiores foram R_t , R_z , R_p , R_c e R_{sk} apesar dos valores de R_{sk} e R_c serem menos expressivos para as cavidades 9A e 9B, respectivamente. Uma vez que os valores de parâmetros que indicam maiores alturas de picos e distancias entre picos e vales ao longo do perfil de rugosidade, os resultados sugerem que a superfície apresenta maiores protuberâncias das quais indicam um perfil rugoso. Adicionalmente, os valores encontrados para 9B apresentaram valores de maior magnitude variando aproximadamente entre as casas de 1 a 2 dezenas para R_t , R_z e R_p sugerindo que estas características contribuíram para alcance de menores comprimentos de pontas traduzido por peças 21% menores em média.

Gráfico 20 - Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 12AB

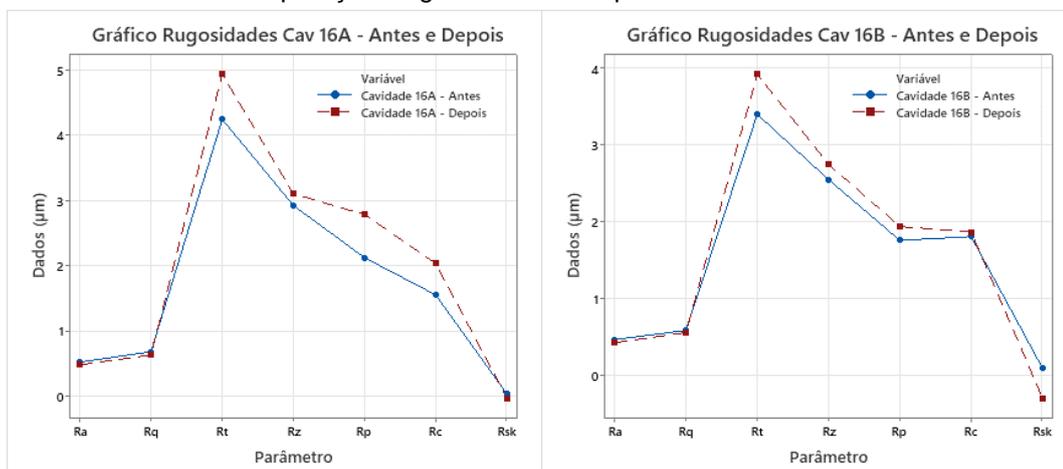


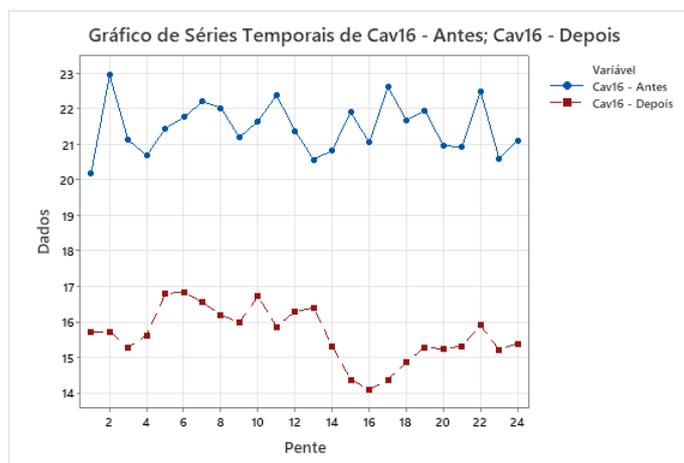


Fonte: Elaborado pelo Autor

Em seguida, os valores de rugosidade e comprimento obtidos para a cavidade 12AB conforme demonstrado no Gráfico 20. Para a cavidade 12AB os parâmetros demonstraram-se também maiores pós tratamento superficial, porém com mais destaque para Rc. Contudo, Rt, Rz e Rp continuam maiores e quando analisados em conjunto caracterizam a superfície da cavidade como mais rugosa com mais picos do que vales e maiores alturas entre picos e vales. Adicionalmente, com altos valores de Rc, sugere-se que a superfície seja extremamente irregular e assim como nas cavidades anteriores, estes aspectos influenciam negativamente na interação tribológica do material injetado e parede das cavidades. Rsk varia entre 12A e B para maior e menor valor, respectivamente. Contudo, os parâmetros Rt, Rz, Rp e Rc são suficientes para ditar a característica da superfície da cavidade da qual contribui com a redução do alcance de comprimento das pontas em média de 25% pós tratamento superficial.

Gráfico 21 - Comparação Rugosidade e Comprimento Pontas Cavidade 16AB





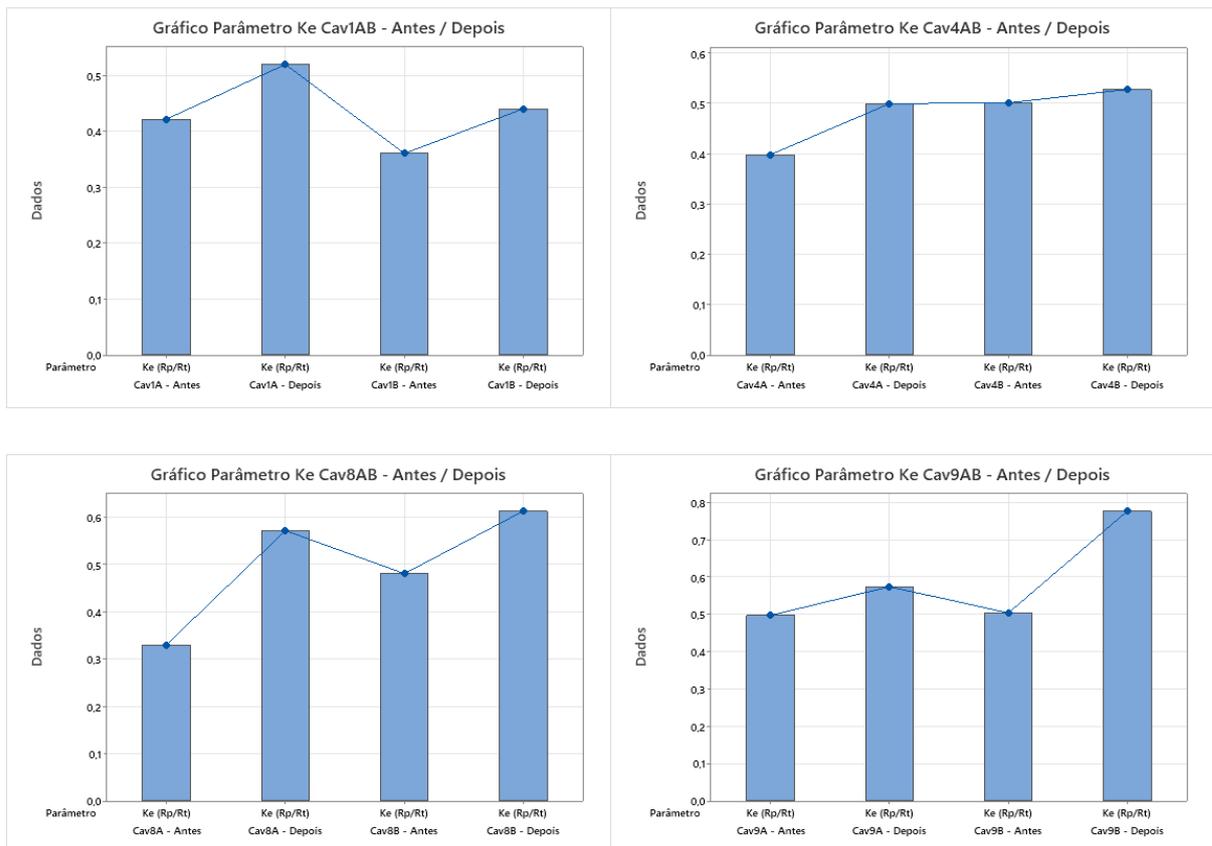
Fonte: Elaborado pelo Autor

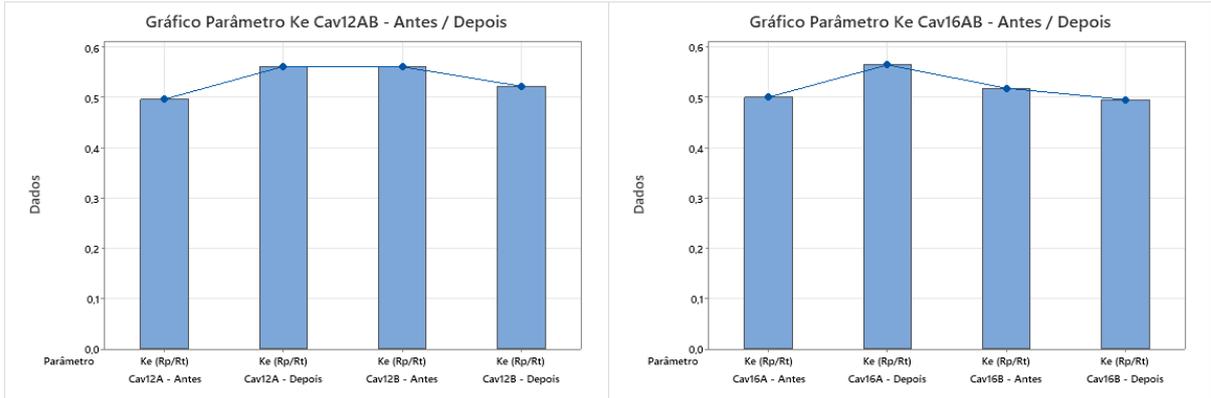
Por fim, conforme Gráfico 21, os dados obtidos para a cavidade 16AB são apresentados. Na cavidade 16AB, os parâmetros de rugosidade foram maiores posteriormente ao tratamento superficial com destaque para R_t , R_p e R_c , dos quais os dois últimos mais para 16A. Pós tratamento e R_{sk} foi menor para os dois lados do molde. De um modo geral, os parâmetros de rugosidade que caracterizam a superfície como mais rugosa com mais picos do que vales e maiores alturas entre eles estão presentes nos resultados da cavidade 16 explicando e sugerindo que a superfície mais rugosa influenciou a interação tribológica entre material injetado e parede da cavidade ditando valores menores de comprimento para as pontas injetadas pós tratamento superficial. Contudo, ainda não está claro a razão pela qual esta redução demonstrou-se maior na cavidade 16 do que nas outras, uma redução de 27% em média no comprimento das pontas.

Julga-se que esta redução foi potencialmente influenciada por fatores que estejam relacionados ao estado do canal de injeção do material que antecede a cavidade estudada neste trabalho e/ou outras características construtivas peculiares do molde. Dessa maneira, uma vez que as características do molde que não estejam relacionadas com as cavidades em si não são estudadas neste trabalho, os possíveis aspectos que influenciaram nesta redução de maior magnitude não podem ser endereçados devidamente. Ainda assim, a cavidade 16AB apresentou mesmo comportamento de interação tribológica que as demais cavidades sugerindo que maiores aspectos rugosos com características de maiores alturas de picos e alturas entre picos e vales influenciam negativamente no alcance de comprimento das pontas injetadas.

Conforme mencionado na seção 2.3, o coeficiente de esvaziamento, denominado de K_e , tem como intuito a diferenciação ou caracterização de dois perfis de rugosidade distintos. Este parâmetro permite identificar se a determinada superfície apresenta aspectos de mais vales ou picos contribuindo para análise comparativa do perfil de rugosidade. Desta maneira, K_e foi calculado para os dois lados do molde, antes e depois do tratamento superficial, apresentando maiores valores pós tratamento nas cavidades 1, 4, 8 e 9. Para as cavidades 12 e 16, os valores pós tratamento foram maiores apenas para o lado A do molde e menores para o lado B conforme Gráfico 22. Sendo assim, todas as cavidades apresentaram características de superfície com mais picos do que vales quando comparadas antes tratamento mesmo que apenas de um único lado do molde.

Gráfico 22 – Valores de K_e por Cavidade Antes e Depois Tratamento Superficial



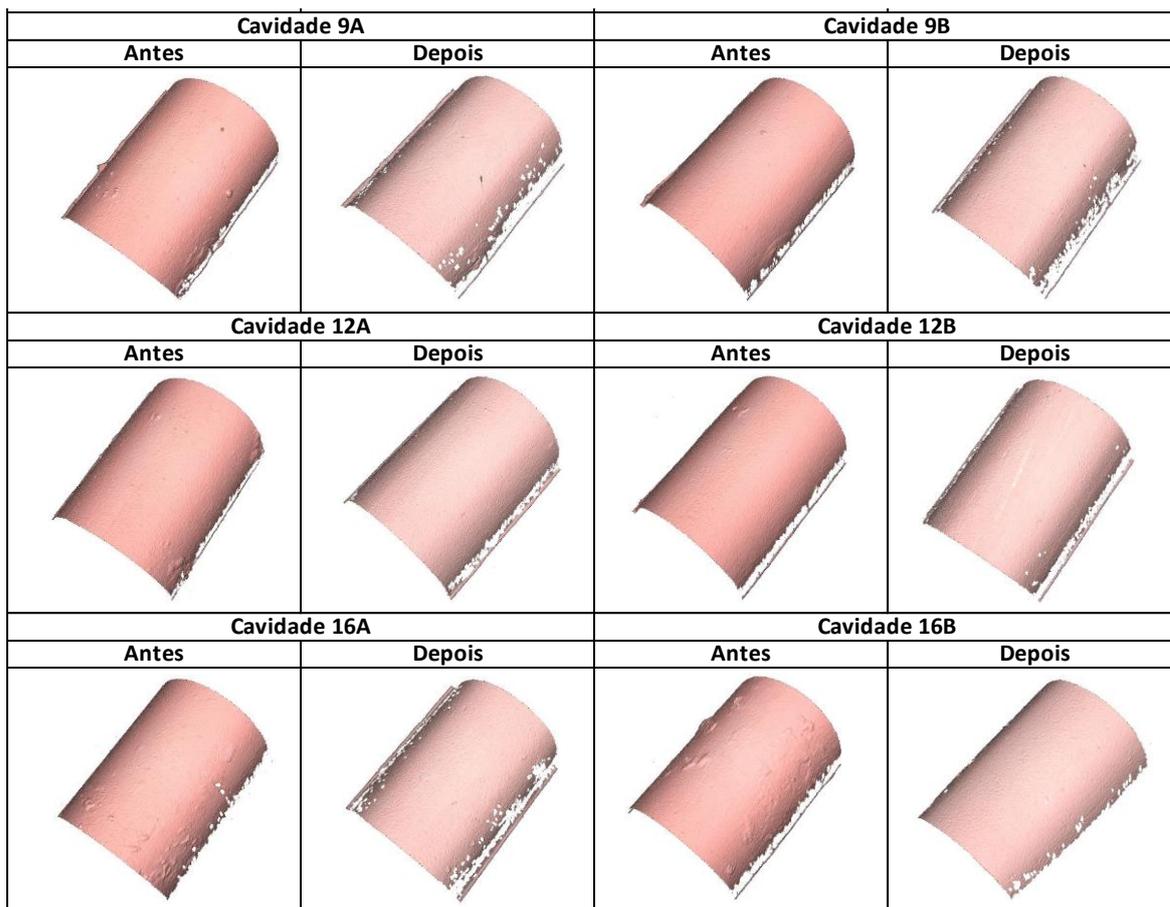


Fonte: Elaborado pelo Autor

Por fim e não menos importante, a Figura 34 demonstra as imagens das pontas obtidas das cavidades dos dois lados do molde através da perfilometria óptica. As discussões a seguir referem-se aos parâmetros de rugosidade medidos nas pontas em comparação com suas respectivas cavidades.

Figura 34 – Imagens Perfilometria Pontas Antes e Depois Tratamento

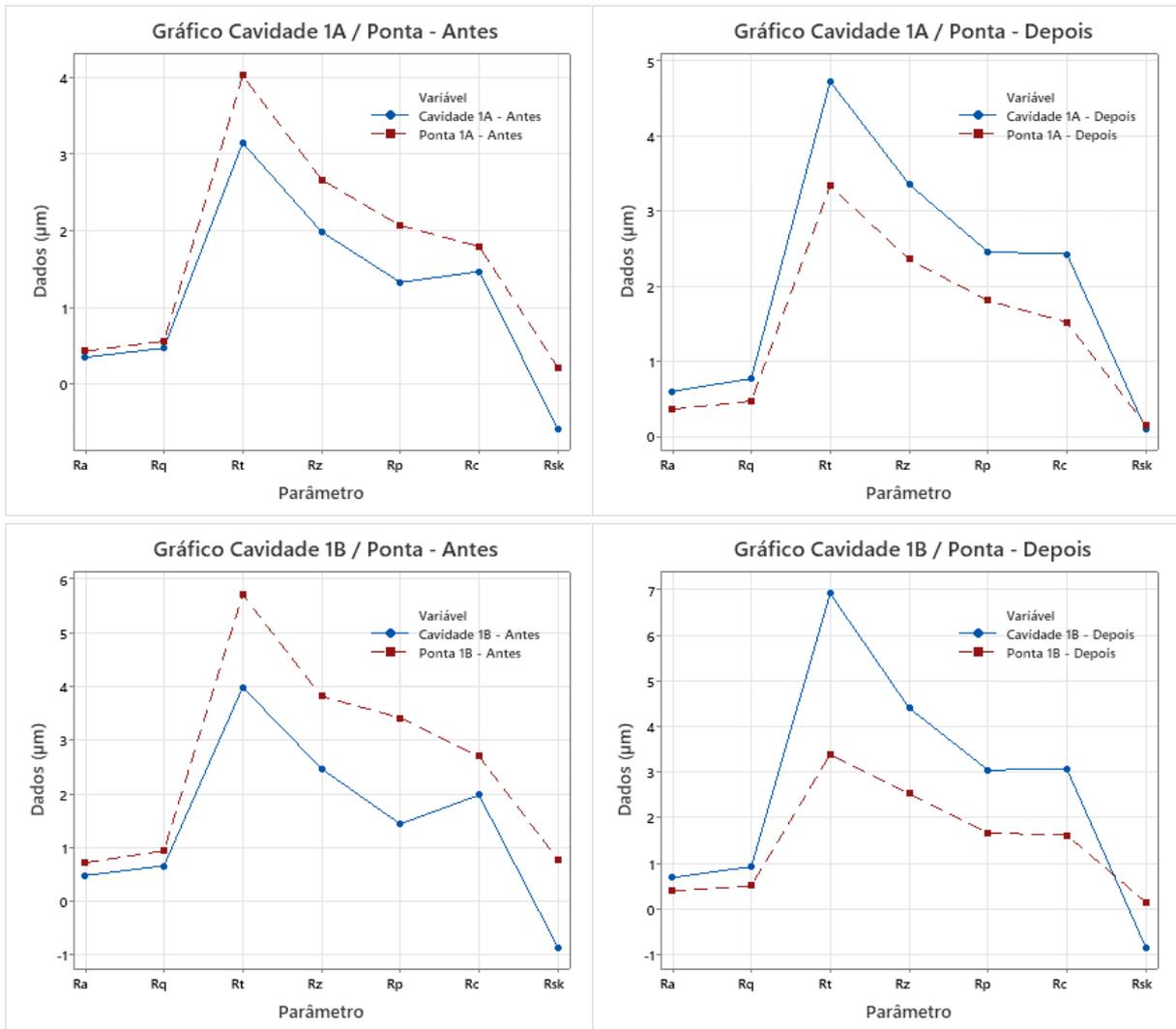
Cavidade 1A		Cavidade 1B	
Antes	Depois	Antes	Depois
Cavidade 4A		Cavidade 4B	
Antes	Depois	Antes	Depois
Cavidade 8A		Cavidade 8B	
Antes	Depois	Antes	Depois



Fonte: Elaborado pelo Autor

De modo que a correlação se complete, a comparação entre os parâmetros de rugosidade obtidos na cavidade e na ponta antes e depois do tratamento superficial são apresentados nos gráficos seguintes. Ao se tratar da cavidade 1AB, as pontas provenientes dos dois lados do molde demonstraram valores de parâmetros menores do que as cavidades pós tratamento do que antes tratamento conforme disposto no Gráfico 23. Isto indica que, uma vez que os perfis de rugosidade das cavidades do molde demonstraram aspectos valores maiores de picos, as pontas tendem a apresentar valores menores pois copiam o perfil das cavidades. Em outras palavras, se a característica de uma superfície se demonstra rugosa com muitos picos, o polímero em contato com ela replica esta textura em forma de vales. Uma vez que, os parâmetros escolhidos neste trabalho refletem atributos que apresentam significância de picos, consequentemente estes valores tendem a diminuir. Esta análise se dá devido a capacidade que o material polímero tem de replicar geometrias com facilidade quando aquecido a temperaturas acima de 50°C.

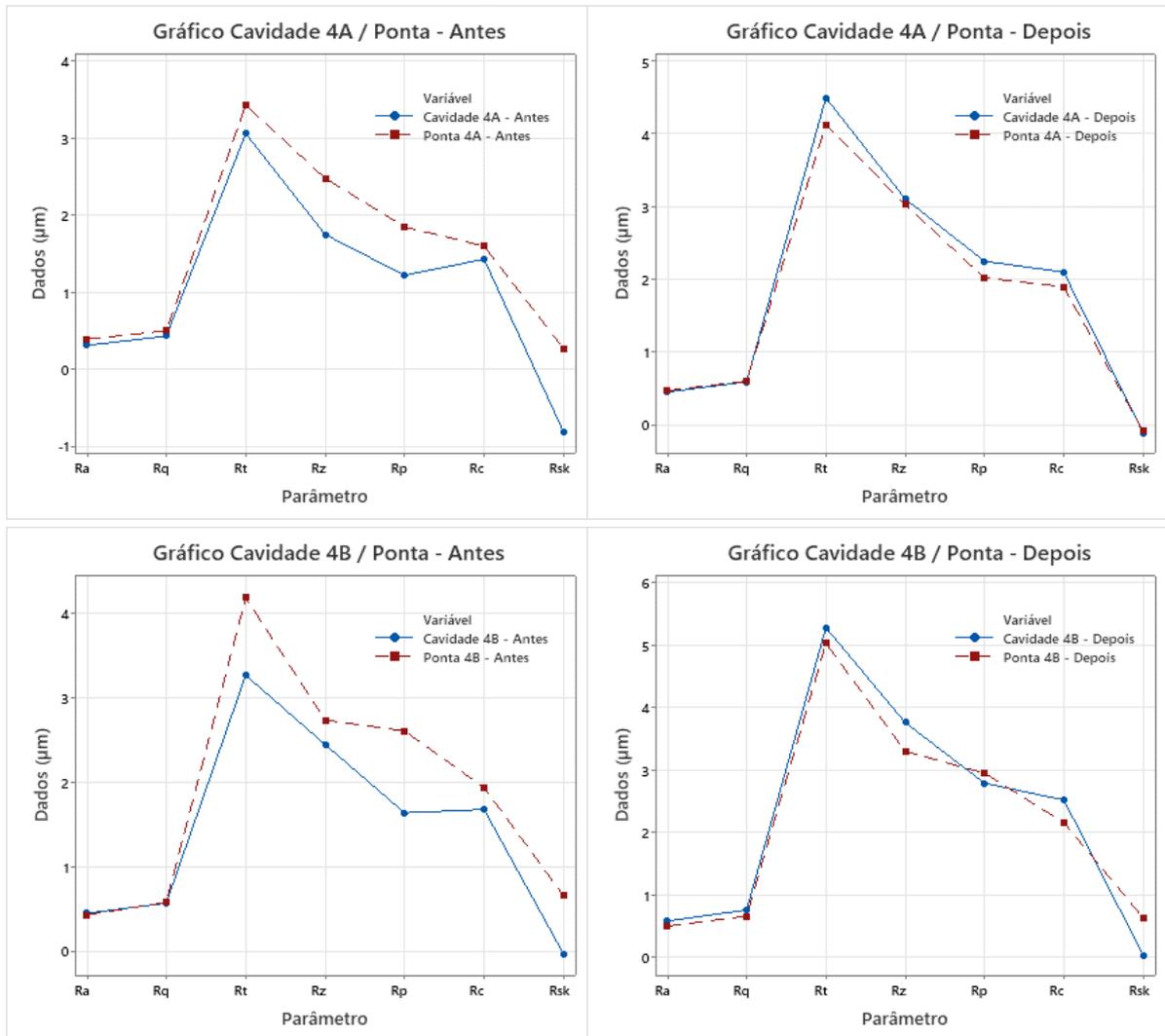
Gráfico 23 – Parâmetros Rugosidade Cavidade 1AB e Ponta Antes e Depois



Fonte: Elaborado pelo Autor

O Gráfico 24 demonstra os resultados comparados entre a cavidade 4AB e as pontas proveniente delas. No caso desta cavidade em específico, os valores de rugosidade das pontas são menores pós tratamento superficial seguindo o mesmo padrão demonstrado na cavidade 1AB. Contudo, os valores tiveram menos amplitude ou diminuíram em uma escala menor do que visto na cavidade 1AB. Mesmo assim, o padrão de redução de rugosidade da ponta proveniente da cavidade 4AB, devido a réplica da superfície do molde de forma negativa, proveu a ponta características de menos picos. É importante salientar que as pontas antes do tratamento demonstraram uma variação ou valores superiores de rugosidade quando comparadas ao perfil da cavidade, porém, após o tratamento superficial, as pontas demonstraram uma tendência de apresentar perfis de rugosidade muito próximos ao da cavidade.

Gráfico 24 – Parâmetros Rugosidade Cavityde 4AB e Ponta Antes e Depois

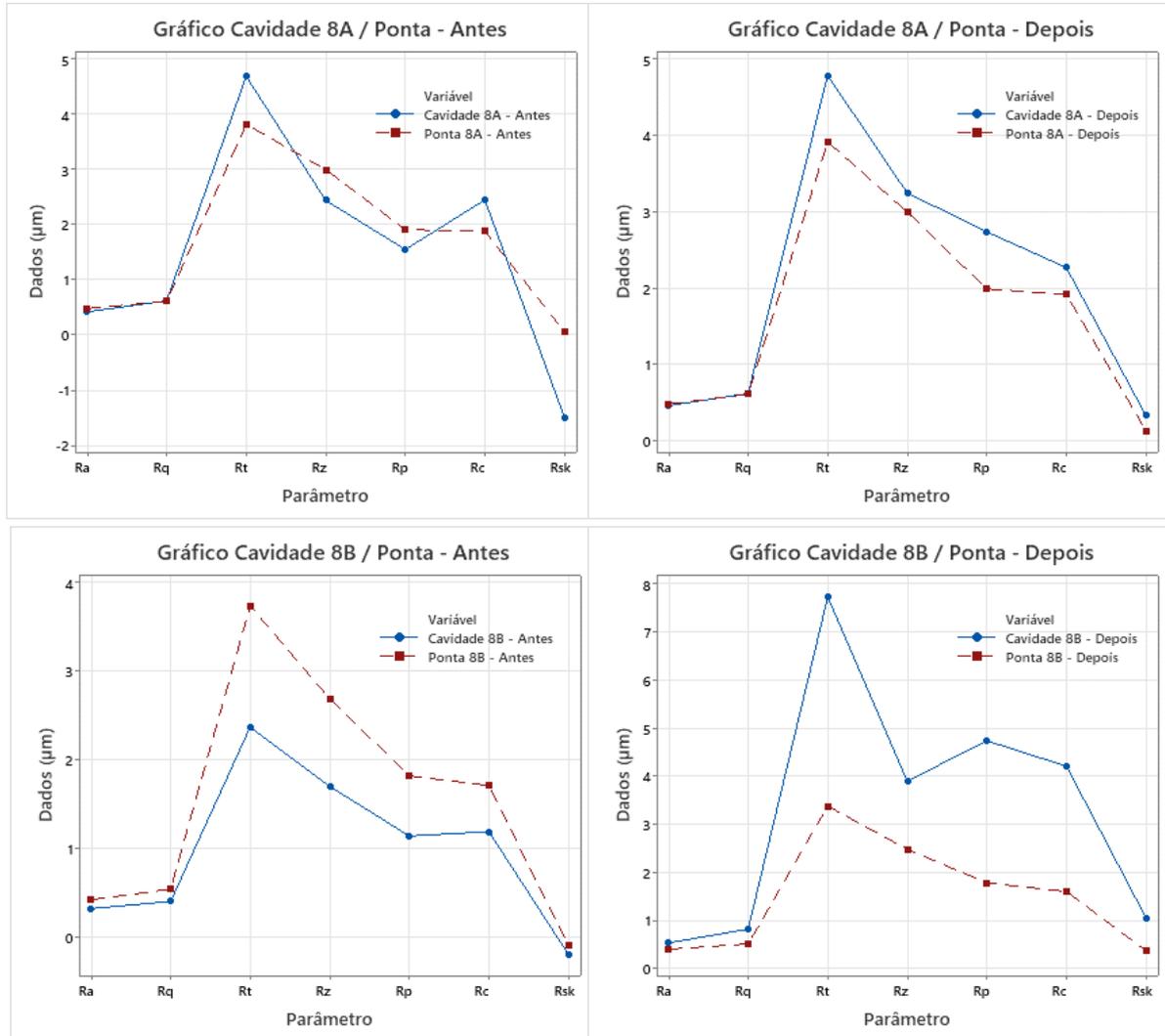


Fonte: Elaborado pelo Autor

Ao se tratar da cavidade 8, foi identificado também uma redução dos valores de parâmetros de rugosidade da ponta pós tratamento superficial conforme demonstrado no Gráfico 25, principalmente em relação ao lado B do molde, dos quais exibiram uma redução significativa quando comparada com a rugosidade da cavidade 8. Na cavidade 8A o perfil de rugosidade se demonstrou muito próximo antes e depois do tratamento superficial dando destaque ao aumento do parâmetro Rsk. Entende-se que para esta superfície em questão o tratamento superficial não demonstrou significativa efetividade. Contudo, os valores também demonstraram diminuição, porém menos do que visto na cavidade 8B. Ainda assim, as pontas da cavidade 8AB mantêm o padrão de decrescimento dos valores de parâmetros de rugosidade assim

como visto nas cavidades anteriores indicando que as pontas apresentam padrões de menos picos do que a superfície da cavidade.

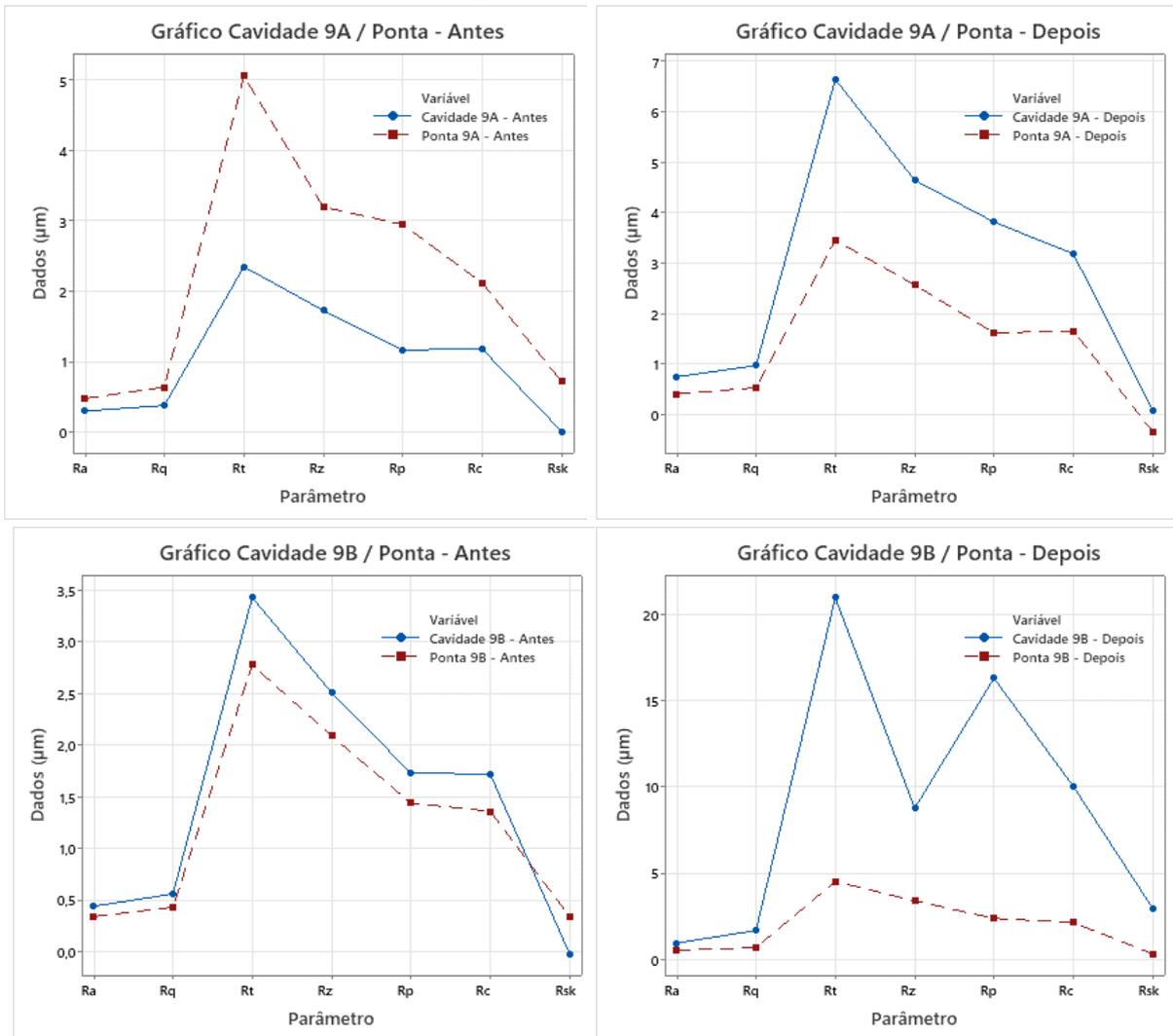
Gráfico 25 - Parâmetros Rugosidade Cavidade 8AB e Ponta Antes e Depois



Fonte: Elaborado pelo Autor

A cavidade 9AB foi também apresentada padrão de valores reduzidos pós tratamento superficial para as pontas provenientes dessa cavidade como pode-se averiguar no Gráfico 26. Vale ressaltar que, as pontas da cavidade 9B já haviam exibido parâmetros de rugosidade menores quando comparados com a superfície do molde. Contudo, a amplitude de redução dos parâmetros pós tratamento tem maior significância do que antes tratamento apontando a aspectos de menos picos no perfil de rugosidade da ponta devido a réplica em negativo da característica da cavidade do molde.

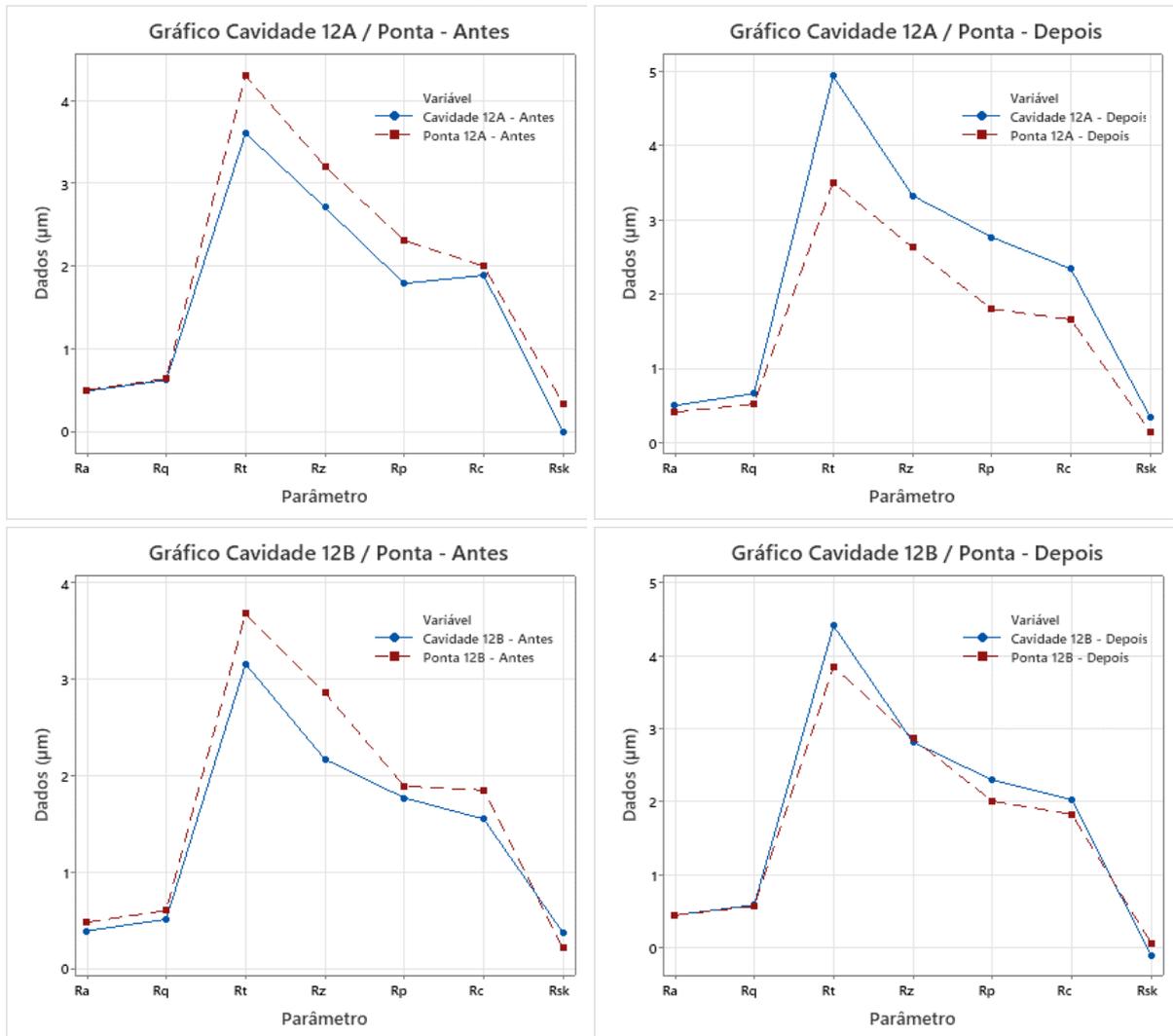
Gráfico 26 - Parâmetros Rugosidade Cavityde 9AB e Ponta Antes e Depois



Fonte: Elaborado pelo Autor

No Gráfico 27, os resultados de parâmetros de rugosidade da cavidade 12AB são dispostos e apresentando valores menores de parâmetros para o perfil de rugosidade das pontas pós tratamento do que antes. Este resultado entra em acordo com o padrão visto para as cavidades anteriores mostrando a tendência de cópia dos picos da superfície da cavidade refletindo em vales na superfície da ponta mesmo que estes valores sejam de menor magnitude para o lado B do molde. Para a cavidade 12 especificamente, o lado B demonstrou uma maior variação ou redução de valores de parâmetros do que para o lado A pós tratamento. Apesar disso, é importante salientar que o preenchimento das cavidades ocorreu de maneira parcial e sem etapa de compactação. Isto possibilita que a réplica dos parâmetros de rugosidade existentes na cavidade não seja uniforme gerando a variação demonstrada nos gráficos.

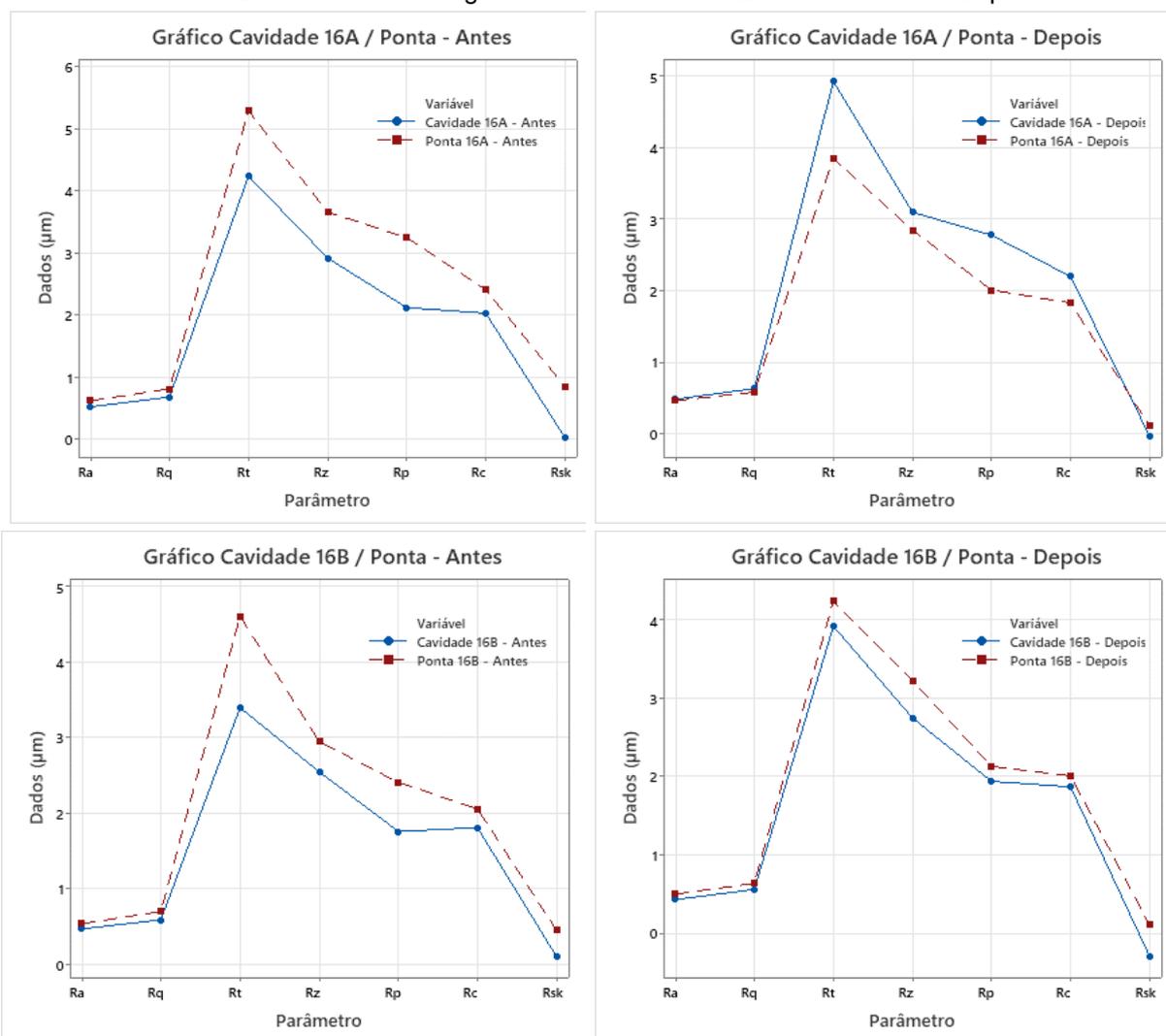
Gráfico 27 - Parâmetros Rugosidade Cavidade 12AB e Ponta Antes e Depois



Fonte: Elaborado pelo Autor

Por fim, os resultados obtidos para a cavidade 16AB são exibidos no Gráfico 28 confirmando o padrão de valores de parâmetros de rugosidade menores para as pontas proveniente do lado A do molde. As pontas proveniente da cavidade 16B foram as peças que mais demonstraram valores dos parâmetros de rugosidade desconexos com o padrão visto nas cavidades anteriores. As pontas antes do tratamento superficial demonstraram valores de parâmetros de rugosidade maiores quando comparados com as cavidades. Contudo, após o tratamento, apenas o lado A demonstrou redução dos valores conforme visto para as cavidades anteriores. Ainda assim, o lado B apresentou valores maiores que a cavidade pós tratamento, fugindo do padrão observado.

Gráfico 28 - Parâmetros Rugosidade Cavidade 16AB e Ponta Antes e Depois



Fonte: Elaborado pelo Autor

De um modo geral, as pontas refletiram perfis de rugosidade com valores de parâmetros menores pós tratamento superficial, salvo no caso da cavidade 16B. É importante frisar que as pontas foram injetadas propositalmente para não alcançar o comprimento total da cavidade para garantir um perfil de preenchimento parcial. Esta estratégia vai de encontro com a eliminação da etapa de compactação do material durante o processo de injeção. Isto significa que, as pontas não foram induzidas e forçadas contra as paredes das cavidades possibilitando assim uma cópia mais fiel e padronizada da superfície do molde mesmo que em réplica negativa. Adicionalmente, durante o preenchimento das cavidades, uma vez que o material não sofre compactação, predomina-se no perfil de preenchimento contatos intermitentes com a superfície da cavidade, do qual o material tende a não encostar na parede do molde

constantemente. Isto justifica a variação obtida entre os valores de perfis de rugosidades do ponto de vista de amplitude mesmo que apresentando, de certa maneira, uma padronização.

4.6 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Durante o processo normal de injeção de pontas GP ISO 120, o ciclo de injeção é significativamente rápido, uma vez que as etapas de dosagem, preenchimento, compactação, resfriamento e ejeção são executadas em tempos abaixo de 20 segundos para um único molde do qual apresenta 16 cavidades. Vale ressaltar que, o fenômeno de preenchimento dos canais é distinto tratando-se de pontas centrais e pontas da extremidade indicando maiores dificuldades de preenchimento para as últimas. Adicionalmente, o processo não proporciona aquecimento do molde durante a etapa de preenchimento em que a ferramenta é submetida constantemente a temperaturas abaixo de 10°C resultando em um processo de injeção sempre em condições de baixa temperatura de molde.

Contudo, para o presente trabalho, a etapa de compactação não é executada de forma sistemática e padronizada, uma vez que as pontas foram forçadas a preencher parcialmente a cavidade como estratégia do estudo. Isto significa que, as etapas de dosagem e preenchimento estão presentes no processo, porém a compactação não toma lugar na injeção, pois o material preenche parcialmente a cavidade e a força contrária a ele, que permitiria a etapa de compactação, não acontece porque o polímero não alcança as imediações da cavidade por completo proporcionando sempre espaço vazio na cavidade para preenchimento. Apesar disso, esta é uma condição adotada para que as diferenças de comprimento antes e pós tratamento superficial pudessem ser identificadas.

Os perfis de rugosidade das pontas de GP, quando comparadas com das cavidades, demonstraram valores de parâmetros de rugosidade menores pós tratamento em sua maioria. Dessa maneira, conclui-se que as pontas replicam as características da superfície do molde refletindo picos em vales e assim demonstrando valores inferiores aos da cavidade. Em outras palavras, uma vez que os parâmetros utilizados demonstram valores de picos e protuberâncias e seus valores obtidos no

molde foram maiores pós tratamento, os dados obtidos tendem a ser menores nas pontas de modo que os aspectos das superfícies replicaram-se nas pontas sob características de vales.

Adicionalmente, os resultados obtidos sobre os comprimentos antes do tratamento superficial indicaram, em todas as 6 cavidades escolhidas (1, 4, 8, 9, 12 e 16), tendência de distribuição normal e dentro dos limites de especificação definidos neste estudo. Isto significa que, independentemente do preenchimento parcial, cada cavidade foi preenchida similarmente refletindo comprimentos próximos peculiares a cada cavidade e o processo de injeção pode ser definido como estável. Todas as pontas, em suas respectivas cavidades, tiveram preenchimento constante e padronizado para as condições de superfície antes tratamento superficial refletindo uma variação de crescimento dessas pontas de 9,48% a 12,95%. Analogamente, as pontas injetadas pós tratamento superficial também demonstraram distribuição normal apesar de apresentarem uma variação de medidas maior que antes do tratamento. Ainda assim, as pontas se mantiveram dentro dos limites de especificação, porém sem precisão. Isto se dá devido a variação dos valores de comprimento refletirem uma variação de 8,90% a 20,17% no preenchimento da ponta pós tratamento superficial.

As pontas pós tratamento superficial demonstraram um crescimento inferior nas cavidades escolhidas quando comparadas com os comprimentos obtidos antes tratamento de superfície conforme ilustrado na Figura 35. Quantitativamente, as pontas pós tratamento apresentaram comprimentos de 5 a 27% inferiores as injetadas previamente indicando que o aumento de aspectos irregulares do perfil de rugosidade da ferramenta, de fato, influencia no comportamento de preenchimento do material. Isto se dá devido as interações tribológicas entre polímero e características rugosas da superfície da cavidade.

Figura 35 – Pentes Antes e Pós Tratamento Superficial Sobrepostos



Fonte: Elaborado pelo Autor

Tratando-se dos perfis de rugosidade medidos, tanto para antes como pós tratamento superficial, as cavidades demonstraram diferentes características de rugosidade para seus dois lados, A e B. De uma maneira geral, ao comparar os dois lados do molde, as cavidades intercalaram entre parâmetros de rugosidade hora maiores para o lado A, hora para lado B. Não ficou evidenciado uma padronização de distribuição similar exceto para a cavidade 1, mas ainda assim com diferenciação de valores. Para os parâmetros de rugosidade encontrados pós tratamento superficial e relacionados aos dois lados do molde, a análise pode ser aplicada analogamente. As cavidades apresentaram valores distintos para os lados A e B do molde sem padronização de distribuição, exceto para a cavidade 4 com diferenciação de valores, sendo maiores ou menores. Esta distinção de perfis de rugosidade indica que cada lado da cavidade influencia no preenchimento do material por meio de suas respectivas características e peculiaridades. Em outras palavras, o preenchimento do polímero está diretamente relacionado a ação dos parâmetros de rugosidade dos dois lados do molde, de maneiras dissemelhantes, que quando aplicadas em conjunto resultam nos comprimentos obtidos de cada cavidade.

Ainda sobre perfis de rugosidade obtidos, deve-se endereçar a comparação entre os parâmetros medidos antes e pós tratamento superficial junto aos comprimentos obtidos. Neste caso, os parâmetros que indicam maiores discrepâncias ou distanciamentos de altura entre picos e vales como R_t e R_z , maiores dados de altura de pico como R_p e média de perfil de irregularidades como R_c apresentaram-se maiores em todas as cavidades pós tratamento superficial, exceto para R_c na cavidade 4. Vale ressaltar que R_a e R_q acompanharam o aumento de valores apresentados para os parâmetros mencionados acima. Contudo, para cavidade 16AB os resultados de R_a e R_q foram ligeiramente menores ou muito próximos. Isto indica que apesar da média aritmética e desvio quadrático apresentaram os valores mencionados antes e depois tratamento, o perfil de rugosidade desta cavidade ainda assim apresenta maiores picos e alturas entre picos e vales baseado nos parâmetros R_t , R_z , R_p e R_c .

Para valores de R_{sk} , pelo menos em um lado do molde de todas as cavidades o parâmetro apresentou-se maior pós tratamento indicando que a superfície tende a ser mais pontiaguda, exceto para cavidade 16AB. Apesar disso, as características desta cavidade em específico demonstram ser de maiores picos e valores de altura

mais discrepantes entre picos e vales. Quanto ao coeficiente de esvaziamento K_e , índice adotado para comparação de duas superfícies, em todas as cavidades escolhidas, pelo menos um lado do molde apresenta valores maiores pós tratamento superficial apesar das proximidades de medidas. Isto significa que, o coeficiente de esvaziamento foi maior ou tendeu a 1 deslocando a linha neutra para baixo caracterizando a superfície com mais picos, proporcionando cavidades com superfícies de baixa funcionalidade para aplicações que requerem menos atrito. Sendo assim, os resultados apontam que todas as cavidades pós tratamento superficial demonstraram ter características com mais irregularidades, superfícies menos lisas com altos picos e maiores alturas entre picos e vales apresentando aspectos mais rugosos passíveis de maior interferência tribológica.

Adicionalmente, o resfriamento do polímero acontece durante o processo de preenchimento primeiro nas camadas iniciais de contato com a superfície do molde devido as baixas temperaturas da ferramenta. A análise baseia-se no conceito de que quando a GP é preenchida no molde de injeção e entra em contato com as superfícies das cavidades, o material sofre um choque térmico brusco uma vez que o polímero é injetado em temperatura de fusão e repentinamente resfriado ainda na etapa de preenchimento. Dessa maneira, entende-se que durante o contato entre as superfícies e troca de calor severa, o estado do material durante o fluxo de injeção apresenta rapidamente camadas externas de polímero solidificadas. Durante o processo normal de preenchimento completo da cavidade, a compactação compensa o dimensional, uma vez que o fluxo de material no núcleo da ponta continua em movimento expandindo a ponta do centro para fora no sentido da parede da cavidade. De maneira que a compactação não acontece para o processo de preenchimento parcial, o núcleo resfria mais rapidamente e o fluxo de material no núcleo torna-se menor. Apesar disso, este fenômeno acontece antes e pós tratamento superficial pois está relacionado ao preenchimento parcial e dessa maneira, as condições são replicadas nos dois cenários.

É importante frisar que, o contato do polímero quente nas superfícies frias do molde facilita a formação prematura de camadas solidificadas, gerando uma tensão de cisalhamento alta nesta região da cavidade. Dessa maneira, o polímero derretido no núcleo do material tende a ocupar as localidades subsequentes da cavidade, no sentido de fluxo, gerando um fenômeno conhecido como efeito de fonte. Este

fenômeno apresenta característica de preenchimento do material evidenciado por partículas de polímero que tomam direções contrárias ao fluxo de injeção. Uma vez que polímero de GP tem propriedades extremamente pegajosas ou glutinosas, o material facilmente apresenta capacidade de adentrar em irregularidades e copiar vales e picos. Dessa maneira, ao somar o fenômeno efeito fonte com as características do polímero durante o preenchimento, pode-se concluir que o material é facilmente bloqueado no sentido de fluxo de injeção de maneira que os maiores picos e vales funcionam como travas aumentando o coeficiente de fricção no que se diz respeito a interação tribológica do polímero com as paredes das cavidades. Em outras palavras, a camada de material solidificada consequente da temperatura do molde, a obstrução de deslizamento do material devido a retenção de polímero solidificado no altos picos e vales - funcionando como ancoragem - e o efeito fonte apresentam-se como os principais aspectos de impedimento de crescimento de cones de GP do ponto de vista de comportamento do material durante o preenchimento das cavidades.

5 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados encontrados e conclusões adquiridas através de suas análises, após o tratamento superficial aplicado, os parâmetros de rugosidade do molde apresentaram principalmente características de maiores valores de picos, maiores alturas entre picos e vales, maiores irregularidades exibindo valores máximos antes e depois, em μm , para Ra (0,30 - 0,75), Rq (0,56 – 1,68), Rt (3,43 – 20,97), Rz (2,51 – 8,76), Rp (1,73 – 16,30), Rc (1,72 – 10,03), Rsk (-0,02 – 2,97) e Ke (0,504 – 0,780).

Adicionalmente, temperaturas baixas de molde geram camadas solidificadas prematuras que proporcionam restrição no deslizamento do polímero GP injetado em condições de superfícies com maiores irregularidades. Estas características resultaram no travamento do material durante a etapa de preenchimento, promovendo dificuldade de escorregamento do polímero no sentido do fluxo em contato com as paredes da cavidade.

A soma destes eventos culminou na redução no alcance de comprimento de pontas de até 27%. Dessa maneira, conclui-se que, o comportamento do material no preenchimento das cavidades está diretamente relacionado ao tipo de polímero utilizado, características do perfil de rugosidade da superfície do molde e dos parâmetros de injeção utilizados. Apesar dos parâmetros de máquina serem constantes neste estudo, a temperatura baixa do molde foi um agravante para o crescimento de ponta indo de encontro com a literatura obtida sobre o assunto e evidenciando o compromisso com o objetivo do estudo neste quesito conforme mencionado na seção 1.1.

Sendo assim, torna-se evidente afirmar que superfícies que apresentam aspectos mais rugosos, principalmente características de maiores valores de picos, maiores alturas entre picos e vales, maiores irregularidades, superfícies menos lisas e mais pontiagudas que proporcionam maior atrito na interação tribológica entre superfície e material, associados as propriedades específicas de cones GP, influenciaram negativamente no preenchimento de polímero em um processo de injeção.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. DOS; LIRANI, J. **Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões**: Princípios de engenharia de fabricação mecânica. 2. ed. São Paulo. Edgard Blücher, 2020.

ALMEIDA SILVA, J. C. DE; COSTA, R. F. Análise da radiopacidade de cinco diferentes marcas comerciais de cones de guta-percha TT - Radiopacity analysis of five different commercial trade names of guta-percha points. **Pesqui. bras. odontopediatria clín. integr**, v. 4, n. 3, p. 171–177, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5426**: Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

BARBOSA, L. W. G. **Influência dos parâmetros de usinagem na integridade superficial da liga biomédica de CoCr ASTM F75**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

BOMTEMPO, G. V. DE O. **Análise da Rugosidade em Amostras Fabricadas por Manufatura Aditiva Metálica e Tipos de Roscas para Aplicações em Implantodontia**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

BORGES, E. J. B. **Parâmetros de Influência no Cálculo do Fator f_{ab} , em eventos produzidos via esclerometria retilínea**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

CALLISTER, W. D. J.; RETHWISH, D. G. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 10th ed. United States of America. Willey, 2018.

CASTANHA, E. M. DE M. **Caracterização da composição, estrutura, morfologia e propriedades térmicas de cones de guta-percha**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

CRISAN, N. *et al.* Tribological assessment of the interface injection mold/plastic part. **Tribology International**, France, v. 100, p. 388–399, oct. /apr. 2016.

DOBRZAŃSKA, J. *et al.* Is gutta-percha still the “gold standard” among filling materials in endodontic treatment? **Processes**, Switzerland, v. 9, n. 8, 1467, jul./aug. 2021

FERRANTE, M. *et al.* Thermal analysis of commercial gutta-percha. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Hungary, v. 103, n. 2, p. 563–567, may/aug. 2010.

FERREIRA, C. M. **Estudos da composição química, comportamento térmico e degradação do polímero gutta-percha**. 2007. Tese (Doutorado em Clínica Odontológica) - Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba, 2007.

GOODMAN, A.; SCHILDER, H.; WINTHROP; A. The thermomechanical properties of gutta-percha: II. The history and molecular chemistry of gutta-percha. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology**, Boston, v. 37, n. 6, p. 954–961, june 1974.

GOODMAN, A.; SCHILDER, H.; WINTHROP; A. The thermomechanical properties of gutta-percha: Part IV. A thermal profile of the warm gutta-percha packing procedure. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology**, Boston, v. 51, n. 5, p. 544–551, may 1981.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 6877**: Dentistry - Endodontic obturating materials. 3rd ed. Switzerland, 2021.

IBGE. **Normas de apresentação tabular**. 3. ed. Rio de Janeiro, 1993. 62 p.

JOBS, STEVE. **Trecho Discurso na Universidade de Stanford**. Califórnia, 2005. Disponível em: <https://www.pensador.com/frase/NTgyMzky/>. Acesso em: 03/05/2023.

LEACH, R. (Ed.). **Characterisation of Areal Surface Texture**. Germany. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

LIAO, S. C. *et al.* The investigation of thermal behaviour and physical properties of several types of contemporary gutta-percha points. **International Endodontic Journal**, v. 54, n. 11, p. 2125–2132, mar./aug. 2021.

LOTTANTI, S.; TAUBÖCK, T. T.; ZEBNDER, M. Shrinkage of Backfill Gutta-Percha upon Cooling. **Journal of Endodontics**, v. 40, n. 5, p. 721-724, may 2014.

MANIGLIA-FERREIRA, C. *et al.* Chemical composition and thermal behavior of five brands of thermoplasticized gutta-percha. **European Journal of Dentistry**, v. 7, n. 2, p. 201–206, apr./jun. 2013.

MARCIANO, M. A. *et al.* Analysis of four gutta-percha techniques used to fill mesial root canals of mandibular molars. **International Endodontic Journal**, v. 44, p. 321-329, mar./oct. 2010.

MARROQUÍN, B. B. *et al.* Thermoplastic Properties of Endodontic Gutta-Percha: A Thermographic *In Vitro* Study. **Journal of Endodontics**, v. 41, n. 1, p. 79-82, jan. 2015.

MAVRIDIS, H.; HRYMAK, A. N.; VLACHOPOULOS, J. Mathematical modeling of injection mold filling: A review. **Advances in Polymer Technology**, v. 6, n. 4, p. 457-466, 1986.

MEYERS, M. A.; CHAWLA, K. K. **Mechanical Behavior of Materials**. 2nd ed. United States of America. Cambridge University Press, 2009.

MINITAB. **Suporte ao Minitab 21**. Leme, 2023. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/>. Acesso em: 03/12/2022.

PETRY, B. L. **Avaliação da Radiopacidade de Gutta-Perchas Obturadoras em Espessuras Inferiores às Recomendadas pela Especificação Número 57 da ANSI/ADA**. 2015. Trabalho Conclusão de Curso (Graduação para título Cirurgiã-Dentista) - Faculdade de Odontologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PRUNER, H.; WOLFGANG, N. **Understanding Injection Molds**. 2nd ed. Germany. Carl Hanser Verlag, 2020.

RODRIGUES, G. A. **Análise Do Desgaste Do Rebolo Na Retificação De Insertos De Metal Duro**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

SCHILDER, H.; GOODMAN, A.; ALDRICH, W. The thermomechanical properties of gutta-percha: I. The compressibility of gutta-percha. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology**, v. 37, n. 6, p. 946-953, june 1974.

SCHILDER, H.; GOODMAN, A.; ALDRICH, W. The thermomechanical properties of gutta-percha: III. Determination of phase transition temperatures for gutta-percha. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology**, v. 38, n. 1, p. 109-114, july 1974.

SCHILDER, H.; GOODMAN, A.; ALDRICH, W. The thermomechanical properties of gutta-percha: Part V. Volume changes in bulk gutta-percha as a function of temperature and its relationship to molecular phase transformation. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology**, v. 59, n. 3, p. 285-296, march 1985.

TAYLOR HOBSON. **Exploring surface texture**. 7th ed. England: Metek Ultra Precision Technologies, 2011.

TOSELLO, G. **Micro Injection Molding**. Germany. Carl Hanser Verlag, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Apresentação de Sumário de acordo com NBR 6027/2012**. São Carlos: UFSCAR, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Apresentação do trabalho acadêmico de acordo com NBR 14724/2011**. São Carlos: UFSCAR, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Normalização Documentária: citações em documentos NBR 10520/2002**. São Carlos: UFSCAR, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Normalização Documentária: elaboração de Referência NBR 6023/2020**. São Carlos: UFSCAR, 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Numeração progressiva de acordo com NBR 6024/2012**. São Carlos: UFSCAR, 2018.

VISHWANATH, V.; RAO, H. M. Gutta-percha in endodontics - A comprehensive review of material science. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 22, n. 3, p. 216–222, may/jun. 2019.

ZABALA, B. et al. Mechanism-based wear models for plastic injection moulds. **Wear**, v. 440–441, October 2018, 2019.

ZHENG, R.; TANNER, R. I.; XI-JUN, F. **Injection Molding: Integration of Theory and Modeling Methods**. Germany. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

WEI, HU; YONGIUN, LUO.; JIANPING, YU.; RONG, HUANG. **Forming mold for injection molding of large-taper gutta-percha point**. Depositante: Changzhou Yiqi Medical Equipment Ltda Company. CN202122824895U, Depósito: 18 nov. 2021, Concessão: 06 Oct. 2022. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/081878784/publication/CN216708171U?q=CN202122824895U>. Acesso em: 01/05/2023

ANEXO A – TEMPERATURAS TRANSFORMAÇÃO DE FASE DIFERENTES GP

Table 1. Transformation temperatures of gutta-percha

	<i>Material</i>	<i>Transformation temperature</i>	
		<i>Run No. 1 (degrees C.)</i>	<i>Run No. 2 (degrees C.)</i>
1	Mynol compounded (dental)	46, 56	47, 55
2	Mynol uncompounded	49, 56	48, 57
3	Hygienic compounded (dental)	48, 56	47, 55
4	Hygienic uncompounded	46, 58	47, 57
5	Kerr Dental	46, 55	47, 57
6	Premier Dental	44, 56	46, 56
7	Starlite Dental	49, 58	49, 59
8	L. D. Caulk Dental	43, 54	42, 53
9	C. W. Zipperer Dental	45, 56	46, 58
10	C. G. Dental	46, 55	46, 57
11	Pulpdent Corp. Dental	47, 57	48, 56
12	Trans-Pip No. 2329	43, 48, 57	45, 49, 58
13	Trans-Pip No. 52130	39, 47, 56	42, 48, 57
14	Trans-Pip No. 42317	42, 56	45, 56
15	Hermann Weber crude	56	56
16	Hermann Weber refined	50, 57	49, 58
17	Acushnet gutta-percha	47, 58	47, 58
18	Acushnet balata	48	49
19	Bemis sample No. 5	44	43
20	Bemis sample No. 120	42	41
21	Merck & Co. Zinc Oxide	—	—

Fonte: Adaptado (SCHILDER et al., 1974)