

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DIMENSIONAL DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO NO TORNO
CNC DE AÇO SAE 1045**

PONTA GROSSA

2026

RODRIGO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DIMENSIONAL DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO NO TORNO
CNC DE AÇO SAE 1045**

**Dimensional Analysis of the Threading Process on CNC Lathe of SAE 1045
Steel**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Me. Péricles Secco Cancian

**PONTA GROSSA
2026**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RODRIGO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DIMENSIONAL DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO NO TORNO
CNC DE AÇO SAE 1045**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 02 de julho de 2026

Péricles Secco Cancian

Mestre

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gilberto Zammar

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Oscar Regis Junior

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2026

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a minha mãe e meu irmão, Lu e Diego, por todo apoio durante a minha vida. Sou grato por todo aprendizado, companhia e sacrifícios que fizeram para que eu pudesse chegar onde estou.

Gostaria de agradecer a Deus por me dar o dom da vida e oportunidade de concluir mais uma etapa dela.

Queria agradecer a minha namorada e futura esposa Giulia por me incentivar e estar comigo ao longo da minha caminhada. Essa é mais uma conquista que não é só minha.

Aos meus queridos amigos da XV de Outubro, em especial aos do handebol que foram campeões comigo numa jornada que nunca esquecerei. Nunca saberemos quando será a The Last Dance.

Aos meus amigos do grupo Faustaiada e ÉCK, muitos dos quais tiveram comigo desde o início da minha caminhada escolar, fazendo os dias serem mais leves e divertidos.

Agradeço a todos os meus professores, em especial ao meu orientador, vizinho e amigo, Péricles, que me auxiliou muito nesse projeto. Sempre serei grato a todos pelo ensino.

Por fim agradeço a UTFPR pelos anos que estive presente e todo ensinamento nessa jornada. Quem sabe nos veremos futuramente.

RESUMO

O processo de rosqueamento por torneamento CNC é amplamente empregado na fabricação de componentes mecânicos, sendo a qualidade dimensional da rosca diretamente influenciada pela estratégia de usinagem, geometria da ferramenta de corte e parâmetros empregados durante o processo. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar dimensionalmente roscas métricas M10 × 1,5 usinadas em aço SAE 1045. Os ensaios foram realizados em um torno CNC ROMI Galaxy 15S, empregando os ciclos G33, G37 e G76, além de parâmetros de penetração recomendados pelos fabricantes Sandvik, Seco e Mitsubishi. Foram produzidas 70 amostras, distribuídas em 14 condições experimentais, sendo cinco peças para cada condição. A avaliação consistiu na medição do diâmetro médio das roscas por meio de micrômetro de rosca com passo de 1,5 mm, realizando medições no início e no final da região rosqueada para determinação da conicidade. Também foram realizadas análises qualitativas da formação de cavacos, da qualidade superficial das roscas e do desgaste das ferramentas por microscopia óptica. Os resultados demonstraram que as ferramentas de perfil completo apresentaram menor variação dimensional, menor conicidade e maior repetibilidade entre as amostras, enquanto as ferramentas de perfil parcial produziram superfícies com melhor percepção tátil em grande parte das condições analisadas. A análise dos cavacos evidenciou maior uniformidade e melhor controle da formação para as ferramentas de perfil completo, ao passo que as ferramentas de perfil parcial apresentaram cavacos mais escuros e com menor tendência ao enrolamento. As imagens microscópicas indicaram formação de gume postigo e desgaste na ferramenta de perfil parcial, enquanto a ferramenta de perfil completo, revestida com PVD TiN, não apresentou desgaste significativo após os ensaios. Entre as estratégias de programação avaliadas, o ciclo automático G76 apresentou o melhor desempenho quanto à estabilidade do processo e à qualidade dimensional das roscas. Os resultados obtidos contribuem para a seleção de ferramentas e estratégias de rosqueamento mais eficientes, visando maior precisão dimensional, produtividade e vida útil da ferramenta.

Palavras-chave: rosqueamento; CNC; ferramenta de corte; análise dimensional;

ABSTRACT

CNC thread turning is widely used in the manufacturing of mechanical components, and thread dimensional quality is directly influenced by the machining strategy, cutting tool geometry, and cutting parameters. This study aimed to perform a dimensional analysis of M10 × 1.5 metric threads machined on SAE 1045 steel, comparing different threading strategies using partial-profile and full-profile inserts. The experiments were carried out on a ROMI Galaxy 15S CNC lathe using the G33, G37, and G76 threading cycles, as well as penetration strategies recommended by Sandvik, Seco, and Mitsubishi. A total of 70 specimens were manufactured under 14 experimental conditions, with five samples produced for each condition. The dimensional evaluation was performed using a thread micrometer for a 1.5 mm pitch, measuring the pitch diameter at both the beginning and the end of the threaded region to assess thread taper. Qualitative analyses of chip formation, thread surface quality, and tool wear were also conducted using optical microscopy. The results showed that full-profile inserts provided lower dimensional variation, reduced thread taper, and greater process repeatability, whereas partial-profile inserts generally produced smoother thread surfaces by tactile evaluation. Chip analysis revealed more uniform chip formation with full-profile inserts, while partial-profile inserts generated darker chips with less effective chip curling. Optical microscopy indicated the formation of built-up edge and noticeable wear on the partial-profile insert, whereas the PVD TiN-coated full-profile insert showed no significant wear after machining. Among the evaluated programming strategies, the G76 automatic threading cycle achieved the best overall performance in terms of dimensional accuracy and process stability. The findings contribute to the selection of more efficient threading strategies, improving dimensional accuracy, productivity, and cutting tool life.

Keywords: threading; CNC; cutting tool; dimensional analysis;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Ilustração esquemática do processo de torneamento e seus elementos principais.....	15
Figura 2.2 - Ilustração dos elementos de perfil de rosca.....	16
Figura 2.3 - Tabela para seleção de roscas métricas ISO.....	18
Figura 2.4 - Representação do processo de usinagem com penetração oblíqua	19
Figura 2.5 - Representação do processo de usinagem com penetração radial.	19
Figura 2.6- Ferramentas de perfil parcial e perfil completo.....	24
Figura 3.1 - Amostra após desbaste para aferimento de conicidade	29
Figura 3.2 - Ferramentas de corte utilizadas no processo, perfil parcial (a) e perfil completo (b).....	35
Gráfico 4.1 - Comparação entre as medidas no início e no final da rosca.....	37
Gráfico 4.2 – Comparação entre as medidas no início e no final da rosca em relação a tolerância de roscas externas ISO 6g.	38
Gráfico 4.3 - Comparação entre as medidas no início e no final da rosca.....	39
Gráfico 4.4 – Comparação entre as medidas no início e no final da rosca (medição com método dos três arames) em relação a tolerância de roscas externas ISO 6g.	40
Figura 4.1 - Cavacos coletados no processo de rosqueamento de perfil completo	41
Figura 4.2 - Cavacos coletados no processo de rosqueamento de perfil parcial	41
Figura 4.3 - Rosca do processo G33 com dados Mitsubishi de profundidade de corte e ferramenta de perfil completo sob microscopia óptica (30x).....	43
Figura 4.4 - Rosca do processo G33 com dados Mitsubishi de profundidade de corte e ferramenta de perfil parcial sob microscopia óptica (30x).	43
Figura 4.5 - Rosca do processo G33 com dados Sandvik de profundidade de corte e ferramenta de perfil completo sob microscopia óptica (30x).....	44
Figura 4.6 - Rosca do processo G33 com dados Sandvik de profundidade de corte e ferramenta de perfil parcial sob microscopia óptica (30x).	45

Figura 4.7 - Rosca do processo G33 com dados Seco de profundidade de corte e ferramenta de perfil completa sob microscopia óptica (30x).	46
Figura 4.8 - Rosca do processo G33 com dados Seco de profundidade de corte e ferramenta de perfil parcial sob microscopia óptica (30x).	46
Figura 4.9 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil completo e penetração radial sob microscopia óptica (30x).	47
Figura 4.10 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil parcial e penetração radial sob microscopia óptica (30x).	48
Figura 4.11 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil completo e penetração oblíqua sob microscopia óptica (30x).	48
Figura 4.12 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil parcial e penetração oblíqua sob microscopia óptica (30x).	49
Figura 4.13 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil completa, penetração oblíqua e repetição dos últimos dois passes sob microscopia óptica (30x).	49
Figura 4.14 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil parcial, penetração oblíqua e repetição dos últimos dois passes sob microscopia óptica (30x).	50
Figura 4.15 - Rosca do processo G76 com ferramenta de perfil completo e penetração radial sob microscopia óptica (30x).	51
Figura 4.16 - Rosca do processo G76 com ferramenta de perfil parcial e penetração radial sob microscopia óptica (30x).	52
Figura 4.17 - Visão superior da ferramenta de corte de perfil parcial Iscar sob microscopia óptica (20x).	53
Figura 4.18 - Visão da aresta de corte da ferramenta de corte de perfil parcial Iscar sob microscopia óptica (20x).	53
Figura 4.19 - Visão superior (a) e da aresta de corte (b) da ferramenta de corte de perfil completo Sandvik sob microscopia óptica (20x).	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Profundidade de corte (A_p), em diâmetro, a cada passe do processo de rosqueamento de passo 1.5.....	32
Tabela 3.2 - Profundidade de corte (A_p) por passe no programa G37	33
Tabela 3.3 – Profundidade de corte (A_p) por passe no programa G76.	34
Tabela 3.4 – Comparação entre profundidades de corte inicial e final.	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo Geral	13
1.2	Objetivo Específico.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Torneamento	14
2.2	Usinagem de roscas	15
2.2.1	Elementos de perfil de rosca	15
2.2.2	Tipos de penetração no rosqueamento	18
2.3	Esforços de usinagem no processo de rosqueamento.....	20
2.4	Defeitos relacionados aos esforços de usinagem.....	21
2.5	Ferramentas de corte	22
2.6	Medição de rosca.....	25
3	METODOLOGIA.....	28
3.1	Definição dos programas no CNC.....	28
3.2	Preparo das amostras	28
3.3	Rosqueamento das amostras	29
3.3.1	Rosqueamento no programa G33	29
3.3.2	Rosqueamento no programa G37	30
3.3.3	Rosqueamento no programa G76	31
3.3.4	Análise profundidade de corte	32
3.4	Análise dimensional	33
3.5	Análise dos cavacos.....	33
3.6	Ferramentas de corte	34
3.7	Análise do desgaste na ferramenta de corte.....	35
4	RESULTADO E DISCUSSÕES.....	36
4.1	Análise dimensional das amostras	36
4.1.1	Valores obtidos com micrômetro de rosca com pontas intercambiáveis	36
4.1.2	Valores obtidos com micrômetro de rosca com método dos três arames	38
4.2	Análise dos cavacos formados	40
4.3	Análise das amostras no microscópio	42
4.3.1	Roscas no programa G33.....	42
4.3.2	Roscas no programa G37	47

4.3.3	Roscas no programa G76.....	51
4.4	Avaliação do desgaste das ferramentas.....	52
5	CONCLUSÃO.....	55
6	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A - CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADO NOS PROCESSOS DE ROSQUEAMENTO	58

1 INTRODUÇÃO

O rosqueamento é um dos processos de usinagem mais empregados na indústria para a fabricação de elementos de fixação e componentes destinados à transmissão de movimentos e esforços mecânicos. As roscas estão presentes em diversos setores industriais, como automotivo, aeronáutico, agrícola, de petróleo e gás e de máquinas em geral, sendo fundamentais para garantir a intercambiabilidade, confiabilidade e segurança das uniões mecânicas. Para que esses requisitos sejam atendidos, é indispensável que as roscas sejam produzidas com precisão dimensional, atendendo os requisitos do projeto, qualidade superficial e conformidade com as normas técnicas vigentes.

Com a evolução dos sistemas de manufatura, a utilização de tornos com Comando Numérico Computadorizado (CNC) proporcionou maior repetibilidade, produtividade e controle sobre o processo de rosqueamento. Entretanto, a qualidade final da rosca continua sendo influenciada por diversos fatores, como a geometria da ferramenta de corte, a estratégia de penetração, os parâmetros de usinagem, a rigidez do sistema e as características do material usinado. Esses fatores afetam diretamente os esforços de corte, a formação dos cavacos, o desgaste da ferramenta e a precisão dimensional da rosca produzida.

Entre as diferentes alternativas disponíveis para o rosqueamento em tornos CNC, destacam-se as ferramentas de perfil parcial e perfil completo, bem como os ciclos de programação G33, G37 e G76. Embora amplamente utilizados na indústria, ainda existem dúvidas quanto à influência dessas estratégias sobre a qualidade dimensional das roscas e sobre o comportamento das ferramentas durante a usinagem, principalmente quando aplicadas ao aço SAE 1045, material amplamente empregado na fabricação de eixos, componentes mecânicos e elementos de máquinas.

Além da qualidade geométrica da rosca, aspectos como a formação dos cavacos, o desgaste da ferramenta e a estabilidade do processo exercem influência direta sobre a produtividade, os custos de fabricação e a vida útil dos insertos. Dessa forma, compreender a relação entre a estratégia de rosqueamento empregada e os resultados obtidos torna-se fundamental para a otimização dos processos produtivos e para a seleção das condições de usinagem mais adequadas.

Tendo em vista os problemas expostos acima, relevância do estudo está em compreender como os diferentes parâmetros de corte, métodos de torneamento e ferramentas de corte influenciam na usinagem de roscas. Para, assim, um melhor entendimento de possíveis falhas no processo.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo do estudo é avaliar os desvios dimensionais em roscas usinadas por torneamento externo em eixos de aço em função dos parâmetros de corte de rosca.

1.2 Objetivo Específico

Estudar o método de torneamento com avanço axial ou oblíquo;

Estudar os desvios dimensionais em função da taxa de remoção do material em função dos parâmetros de corte especificados por fabricantes de ferramentas de rosqueamento;

Verificar a efetividade de passes de acabamento para correção dimensional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresentará uma breve introdução sobre o assunto desse trabalho, trazendo informações baseadas na literatura já existente. Tais assuntos abordados serão: torneamento, usinagem de roscas, esforços de usinagem no processo de rosqueamento, defeitos relacionados aos esforços de usinagem, ferramentas de corte, formação de cavaco e por fim medição de roscas.

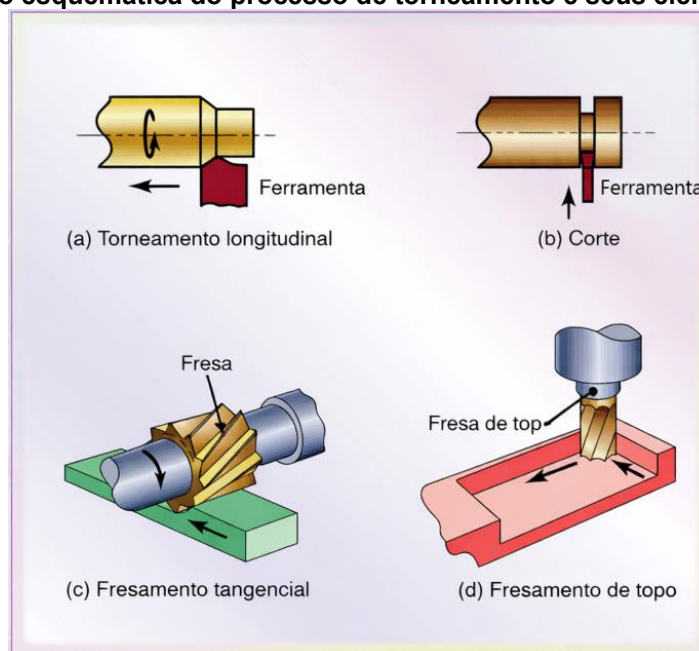
2.1 Torneamento

A usinagem pode ser definida como o processo de fabricação de peças por meio da remoção de material excedente, conferindo dimensões e acabamento específicos, tendo como subproduto o cavaco. Trata-se de um processo de elevada complexidade, devido à interação de diversas variáveis, como o material da peça, as características da ferramenta de corte e os parâmetros de usinagem. Dessa forma, o desempenho do corte de metais não pode ser previsto de maneira totalmente generalizada (SHAW, 2005; MACHADO, 2015; FERRARESI, 2018).

A usinagem pode ser classificada em convencional e não convencional, sendo o torneamento, pertencente ao primeiro grupo, um dos processos mais difundidos na indústria. Nesse processo, a peça é fixada no torno e submetida a um movimento de rotação, enquanto a ferramenta monocortante realiza o movimento de avanço, podendo gerar superfícies com trajetórias retilíneas ou cilíndricas (FERRARESI, 2018).

As operações de torneamento podem ser classificadas em desbaste e acabamento, sendo este último caracterizado por maior precisão e controle, com o objetivo de atender às tolerâncias dimensionais e às propriedades superficiais especificadas para a peça final. A figura 2.1 abaixo esquematiza de maneira sucinta o processo de torneamento e fresamento.

Figura 2.1 - Ilustração esquemática do processo de torneamento e seus elementos principais.



Fonte: Adaptado de Kalpakjan e Schmid (2014)

2.2 Usinagem de roscas

A usinagem de roscas é amplamente empregada na fabricação de elementos de fixação e sistemas de união desmontável, sendo um processo essencial na indústria mecânica. O rosqueamento pode ser realizado por diferentes métodos, selecionados conforme as características geométricas da peça e os requisitos de precisão (KALPAKJIAN, 2014; SCHMID, 2014).

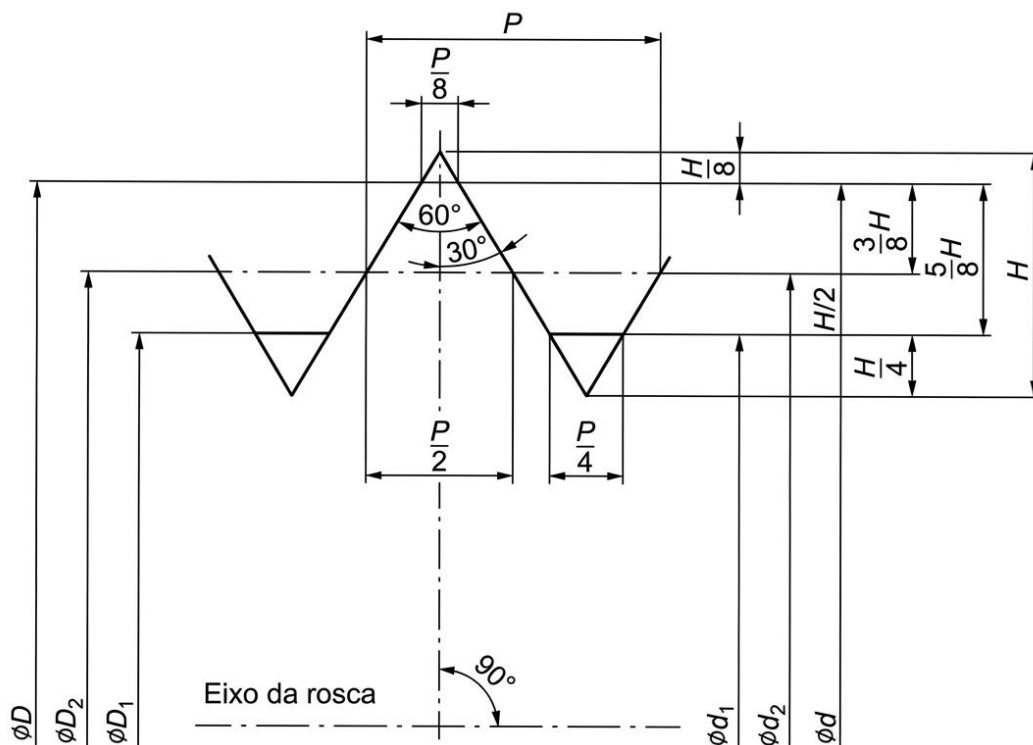
As roscas apresentam perfil helicoidal definido por parâmetros como diâmetro maior, diâmetro menor, passo e ângulo de perfil. Esses elementos são padronizados por normas técnicas, como a ABNT NBR ISO 68, ABNT NBR ISO 261 e 262, e a ABNT NBR 965.

2.2.1 Elementos de perfil de rosca

A ABNT NBR ISO 68 estabelece o perfil básico das roscas métricas ISO de uso geral, definindo a geometria fundamental da rosca, incluindo o ângulo de perfil de 60° , as relações geométricas entre crista, raiz e altura do filete, além da forma teórica do perfil triangular básico. Essa norma serve como referência para as demais normas

relacionadas às roscas métricas ISO e constitui a base geométrica para fabricação e controle dimensional. Na figura 2.2 abaixo observa-se os elementos padronizados na norma.

Figura 2.2 - Ilustração dos elementos de perfil de rosca



Fonte: ABNT NBR ISO 68

O passo (P) representa a distância linear entre pontos homólogos de dois filetes consecutivos, medida paralelamente ao eixo da rosca. Esse parâmetro está diretamente relacionado ao avanço axial promovido em uma volta completa do elemento roscado e influencia características como capacidade de fixação e velocidade de deslocamento axial.

A altura do perfil fundamental (H) corresponde à altura do triângulo fundamental teórico da rosca métrica ISO. Esse parâmetro é obtido geometricamente a partir do perfil triangular de 60° e serve como base para a determinação dos demais elementos geométricos da rosca, como profundidade do filete, diâmetro médio e diâmetro menor. A altura e o passo de rosca são relacionados conforme apresentado na equação:

$$H = \frac{\sqrt{3}P}{2} \quad (2.1)$$

O diâmetro maior (D ou d), também denominado diâmetro nominal, corresponde ao maior diâmetro da rosca, sendo limitado pelas cristas do filete externo ou pelas raízes da rosca interna. Já o diâmetro menor (D_1 ou d_1) define o diâmetro de núcleo da rosca, associado à resistência mecânica da seção resistente do elemento.

Outro parâmetro fundamental é o diâmetro médio (D_2 ou d_2), definido como o diâmetro de um cilindro imaginário no qual a largura do filete é igual à largura do vão entre filetes adjacentes. Esse diâmetro é considerado um dos principais parâmetros funcionais da rosca, pois influencia diretamente o ajuste entre componentes rosqueados e a distribuição de carga entre os filetes (KALPAKJIAN; SCHMID, 2014).

O ângulo do filete corresponde ao ângulo formado pela interseção dos flancos do perfil da rosca, medido em um plano axial. Nas roscas métricas ISO, esse ângulo possui valor padronizado de 60° , conforme já citado, e é estabelecido pelas normas técnicas aplicáveis.

Os flancos constituem as superfícies laterais dos filetes, responsáveis pela transmissão de esforços entre os elementos acoplados. Já a crista e a raiz correspondem, respectivamente, às regiões superior e inferior do filete. A geometria dessas regiões exerce influência significativa sobre a concentração de tensões, desgaste e resistência à fadiga dos componentes roscados (NORTON, 2013).

A ABNT NBR ISO 261 complementa essa padronização ao definir o plano geral das roscas métricas ISO, especificando os diâmetros nominais e os passos normalizados das séries de roscas. Já a NBR ISO 262 estabelece critérios para seleção de diâmetros e passos preferenciais utilizados em parafusos e porcas, contribuindo para a racionalização dimensional e padronização industrial. Essas normas permitem uniformizar aplicações mecânicas e facilitar processos de fabricação, montagem e manutenção.

A figura 3 exemplifica a escolha de diâmetros nominais e seus respectivos passos a serem usados num processo de usinagem de roscas.

Figura 2.3- Tabela para seleção de roscas métricas ISO.

Dimensões em milímetros

Diâmetro nominal <i>D, d</i>		Passo <i>P</i>		
1ª escolha	2ª escolha	Normal	Fino	
1	1,4	0,25		
1,2		0,25		
		0,3		
1,6	1,8	0,35		
		0,35		
2		0,4		
2,5	3,5	0,45		
3		0,5		
		0,6		
4		0,7		
5		0,8		
8		1		
	7	1		
8		1,25	1	
10		1,5	1,25	1
12	14	1,75	1,5	1,25
		2	1,5	
16		2	1,5	
	18	2,5	2	1,5
20	22	2,5	2	1,5
		2,5	2	1,5

Fonte: Adaptado Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004)

Além das dimensões nominais, a precisão das roscas depende diretamente do controle das tolerâncias. Nesse contexto, a série de normas NBR ISO 965 define os sistemas de tolerâncias aplicáveis às roscas métricas ISO, estabelecendo princípios básicos, desvios fundamentais e classes de tolerância para roscas internas e externas. Essas normas especificam limites dimensionais para parâmetros como diâmetro maior, diâmetro médio e diâmetro menor, garantindo condições adequadas de ajuste e montagem entre componentes roscados.

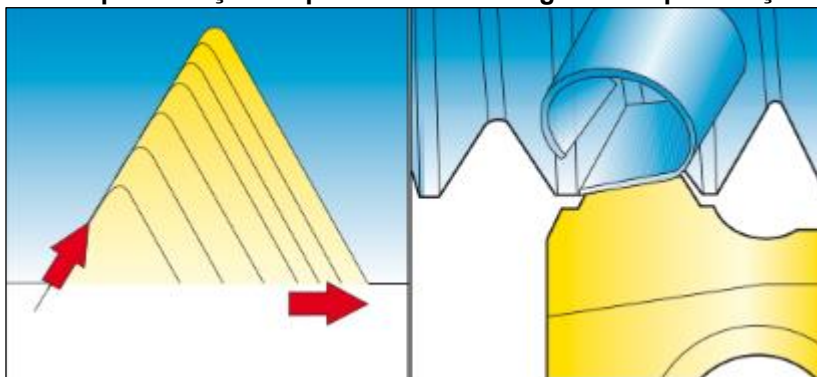
2.2.2 Tipos de penetração no rosqueamento

Dentre os métodos de fabricação, o torneamento de roscas destaca-se pela versatilidade e precisão, sendo amplamente aplicado em tornos convencionais e CNC. Nesse processo, o avanço linear da ferramenta é sincronizado com a rotação da peça, de modo a corresponder ao passo da rosca. A usinagem ocorre em múltiplas passadas, com redução progressiva da profundidade de corte, favorecendo a estabilidade do processo e a qualidade do acabamento superficial (KALPAKJIAN, 2014; SCHMID, 2014).

Além disso, o torneamento permite elevado controle sobre o perfil da rosca, possibilitando ajustes precisos nos parâmetros de corte ao longo do processo, característica particularmente relevante na usinagem de materiais de difícil usinabilidade ou na produção de roscas de grande diâmetro (DINIZ, 2014).

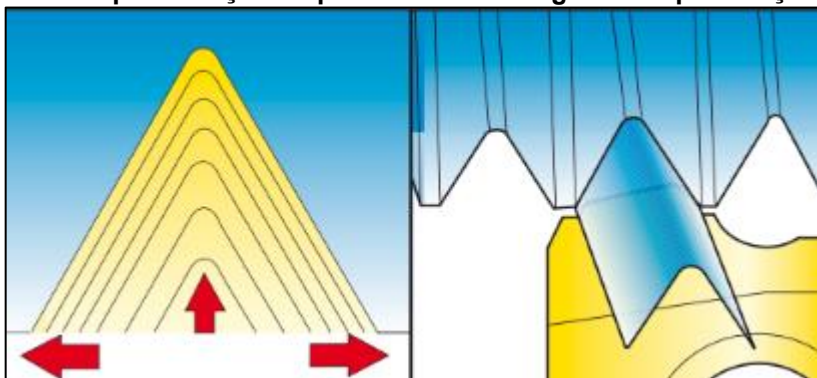
No que se refere às estratégias de penetração, destacam-se a penetração radial e a oblíqua. A penetração radial promove o corte simultâneo dos flancos da rosca, resultando em maiores esforços de usinagem, enquanto a penetração oblíqua concentra o corte em um único flanco, favorecendo a evacuação do cavaco e reduzindo o desgaste da ferramenta, sendo mais indicado para geometrias complexas (GROOVER, 2009). As figuras 1 e 2 ilustram o movimento da ferramenta durante os diferentes processos, sendo a primeira penetração oblíqua e o segundo penetração radial. Nas imagens é possível notar a diferença de formação do cavaco.

Figura 2.4 - Representação do processo de usinagem com penetração oblíqua.



Fonte: Catálogo e guia técnico: Rosqueamento SECO 2026.1

Figura 2.5 - Representação do processo de usinagem com penetração radial.



Fonte: Catálogo e guia técnico: Rosqueamento SECO 2026.1

2.3 Esforços de usinagem no processo de rosqueamento

Os esforços de usinagem exercem influência direta na qualidade da peça, na precisão dimensional e na vida útil da ferramenta. No rosqueamento, esses esforços são condicionados pela geometria da rosca, pelas características do material e pelas condições de corte.

As forças atuantes podem ser decompostas em componentes de corte, avanço e radial, apresentando comportamento variável ao longo do processo devido à geometria helicoidal e à variação da seção de corte. Essa característica resulta em oscilações de carga durante a usinagem, podendo comprometer a estabilidade do processo (KALPAKJIAN; SCHMID, 2014).

Durante o torneamento de roscas, a área de contato entre ferramenta e peça é significativa, especialmente nas primeiras passadas, o que contribui para a elevação dos esforços. Além disso, a variação da espessura do cavaco ao longo do perfil da rosca provoca distribuição não uniforme das forças, podendo gerar vibrações indesejadas.

Do ponto de vista físico, os esforços estão associados principalmente ao cisalhamento na zona primária de deformação e ao atrito na interface entre o cavaco e a ferramenta. Esses fenômenos são influenciados pela geometria da ferramenta, pelo ângulo de saída e pelas condições tribológicas do processo (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013; MACHADO, 2015).

A utilização de múltiplas passadas com profundidade progressiva contribui para a redução dos esforços e melhor distribuição das cargas ao longo do processo, aumentando sua estabilidade e favorecendo o acabamento superficial.

Outro fator relevante é a temperatura gerada durante a usinagem, decorrente da deformação plástica e do atrito. Embora o aumento térmico reduza a resistência do material, ele também intensifica o desgaste da ferramenta, exigindo controle adequado das condições de corte (MACHADO, 2015).

No fresamento de roscas, os esforços tendem a ser menores em comparação ao torneamento, devido ao caráter intermitente do corte, o que reduz a geração de calor e melhora a vida útil da ferramenta. Além disso, a possibilidade de ajuste da

trajetória contribui para uma distribuição mais uniforme das forças (KALPAKJIAN; SCHMID, 2014; DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

O uso de fluidos de corte também desempenha papel fundamental, reduzindo o atrito, facilitando a formação do cavaco e auxiliando na dissipação térmica, contribuindo para a diminuição dos esforços envolvidos.

2.4 Defeitos relacionados aos esforços de usinagem

Os defeitos na usinagem de roscas estão diretamente associados às condições de corte e aos esforços atuantes no processo, sendo influenciados pela geometria da ferramenta, pelos parâmetros de usinagem e pela rigidez do sistema entre máquina, ferramenta e peça.

Entre os defeitos mais comuns, destacam-se as vibrações, que ocorrem devido à instabilidade dinâmica do sistema. Esse fenômeno compromete o acabamento superficial e pode gerar irregularidades no perfil da rosca, especialmente em condições de elevada carga e baixa rigidez (MACHADO, 2015).

Outro problema recorrente é o desgaste prematuro da ferramenta, intensificado por condições severas de corte. Mecanismos como abrasão, adesão e difusão alteram a geometria da ferramenta, prejudicando a precisão dimensional da rosca (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

No processo de rosqueamento, variações no diâmetro primitivo podem comprometer a montagem e o desempenho mecânico da união, uma vez que esse diâmetro define a região efetiva de contato entre os flancos da rosca. Forças elevadas podem provocar deflexões da ferramenta e da peça, além de vibrações e deformações elásticas, resultando em alterações dimensionais no perfil da rosca (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005; MACHADO, 2015).

Além disso, o desgaste da ferramenta e a instabilidade do processo podem modificar a geometria do filete ao longo da usinagem, afetando diretamente o diâmetro primitivo e podendo gerar folgas excessivas ou interferências indesejadas entre os componentes rosqueados. Por esse motivo, a ABNT NBR ISO 965 estabelece classes de tolerância específicas para garantir o correto ajuste entre roscas internas e externas.

A formação inadequada do cavaco também pode comprometer o processo, principalmente quando há dificuldade de evacuação. O acúmulo de material pode aumentar os esforços, provocar travamentos e danificar a peça ou a ferramenta.

Defeitos como rebarbas, deformações nas cristas e variações no passo da rosca estão frequentemente associados a condições inadequadas de usinagem, incluindo excesso de carga e estratégias de avanço pouco eficientes (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013; MACHADO, 2015).

Além disso, a geração de calor pode provocar dilatações térmicas na peça e na ferramenta, resultando em desvios dimensionais. Sistemas com baixa rigidez também são mais suscetíveis à deflexão, podendo ocasionar erros geométricos, como excentricidade e variações no diâmetro da rosca (KALPAKJIAN; SCHMID, 2014; MACHADO, 2015).

Dessa forma, o controle adequado dos esforços de usinagem, aliado à correta seleção de parâmetros e estratégias de corte, é essencial para garantir a qualidade das roscas, reduzir a ocorrência de defeitos e aumentar a eficiência do processo produtivo.

2.5 Ferramentas de corte

As ferramentas de corte exercem papel determinante na usinagem de roscas, estando diretamente relacionadas à obtenção do perfil geométrico desejado e à estabilidade do processo. Sua seleção deve considerar o tipo de rosca, o material da peça e o método de fabricação adotado, de modo a garantir desempenho adequado durante a operação.

No rosqueamento, a geometria da ferramenta deve corresponder ao perfil da rosca a ser produzida. Para roscas métricas, por exemplo, o ângulo de ponta deve ser de 60°, conforme normas técnicas, assegurando a correta formação dos filetes e a compatibilidade entre componentes. (KALPAKJIAN; SCHMID, 2014)

Os tipos de ferramentas variam conforme o processo empregado. No torneamento, predominam as ferramentas de ponta única, que oferecem maior flexibilidade na geração do perfil e são amplamente utilizadas em operações que demandam precisão. Já no fresamento de roscas, utilizam-se ferramentas com

múltiplas arestas de corte e geometria helicoidal, possibilitando a fabricação por interpolação e maior controle dimensional (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

A geometria da aresta de corte influencia diretamente o comportamento do processo. Parâmetros como ângulo de saída e raio de ponta devem ser adequadamente definidos para favorecer a remoção de material e garantir a conformidade do perfil da rosca. (MACHADO, 2015)

No torneamento de roscas, as ferramentas de corte podem ser classificadas em ferramentas de perfil parcial e ferramentas de perfil completo, sendo a escolha dependente das características geométricas da rosca, da precisão requerida e das condições operacionais do processo. A geometria da ferramenta influencia diretamente a formação do perfil, os esforços de corte e a qualidade dimensional obtida durante o rosqueamento. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013; MACHADO, 2015)

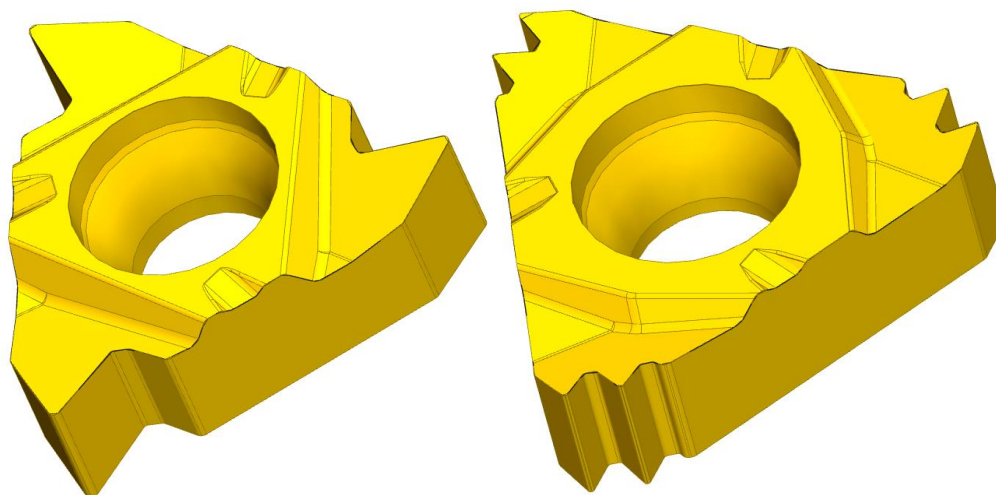
As ferramentas de perfil parcial possuem geometria capaz de produzir diferentes passos de rosca utilizando a mesma pastilha, desde que o ângulo do perfil seja compatível com o padrão da rosca usinada. Nesse tipo de ferramenta, a profundidade de corte deve ser cuidadosamente controlada para garantir a formação correta do perfil, uma vez que a crista da rosca não é totalmente conformada pela geometria da pastilha. Devido à sua versatilidade, essas ferramentas são amplamente empregadas em operações com grande variedade de diâmetros e passos de rosca, reduzindo custos com ferramental e aumentando a flexibilidade do processo. (GROOVER, 2009; MACHADO, 2015)

Entretanto, ferramentas de perfil parcial podem apresentar maior sensibilidade a vibrações, desgaste da ferramenta e erros de posicionamento, fatores que podem comprometer o acabamento superficial e a precisão dimensional da rosca. Além disso, o controle inadequado da profundidade de corte pode resultar em deformações no perfil e variações no diâmetro primitivo da rosca. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013; MACHADO, 2015)

As ferramentas de perfil completo, por sua vez, possuem geometria específica para determinado passo de rosca, conformando integralmente o perfil do filete, incluindo crista e fundo da rosca. Essa característica proporciona maior precisão geométrica, melhor repetibilidade dimensional e melhor acabamento superficial, sendo amplamente utilizada em operações CNC e processos seriados de fabricação.

Conforme ilustrado na figura 6, nota-se a diferença das ferramentas de perfil parcial (esquerda) e perfil completo (direita). (KALPAKJIAN; SCHMID, 2014; SHAW, 2005)

Figura 2.6- Ferramentas de perfil parcial e perfil completo.



Fonte: Sandvik Coromant (2026)

Além da melhoria dimensional, ferramentas de perfil completo tendem a promover maior estabilidade durante o corte, distribuindo de forma mais uniforme os esforços de usinagem ao longo da aresta de corte. Como consequência, ocorre redução da probabilidade de erros geométricos e melhor padronização das roscas produzidas. Entretanto, esse tipo de ferramenta apresenta menor flexibilidade operacional, já que cada passo de rosca exige uma pastilha específica, aumentando os custos de ferramental em operações com grande variedade de roscas. (SHAW, 2005; GROOVER, 2009).

Dessa forma, a escolha entre ferramentas de perfil parcial e perfil completo deve considerar fatores como volume de produção, variedade de passos, exigência dimensional e estabilidade do processo. A literatura demonstra que ambas as configurações possuem vantagens específicas, sendo sua aplicação diretamente relacionada aos requisitos de qualidade e produtividade do processo de rosqueamento. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013; KALPAKJIAN; SCHMID, 2014).

Quanto aos materiais das ferramentas, destacam-se, em tornos CNC o aço rápido (HSS) e o metal duro. A escolha do material está associada à resistência ao desgaste e à capacidade de suportar condições térmicas e mecânicas impostas durante o corte. Revestimentos como TiN e TiAlN são frequentemente empregados

para melhorar o desempenho tribológico e aumentar a vida útil da ferramenta (KALPAKJIAN; SCHMID, 2014).

As ferramentas de metal duro são amplamente utilizadas nos processos de usinagem devido à elevada dureza, resistência ao desgaste e capacidade de operar em altas velocidades de corte. Entretanto, durante o processo de rosqueamento, essas ferramentas estão sujeitas a mecanismos de desgaste que podem comprometer a qualidade dimensional da rosca e a estabilidade da usinagem. Entre os principais mecanismos observados destacam-se o desgaste por abrasão, causado pelo atrito entre ferramenta e material usinado, o desgaste por adesão, relacionado à transferência de material entre peça e ferramenta, e o desgaste por difusão, intensificado em elevadas temperaturas de corte. Além disso, o desgaste progressivo da aresta de corte pode provocar aumento dos esforços de usinagem, variações no perfil da rosca e deterioração do acabamento superficial, tornando necessário o monitoramento da vida útil da ferramenta e a adequada seleção dos parâmetros de corte. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013; MACHADO, 2015; KALPAKJIAN; SCHMID, 2014).

A escolha adequada da ferramenta de corte, aliada à sua correta aplicação, constitui um fator essencial para a obtenção de roscas com qualidade dimensional e geométrica, contribuindo para a confiabilidade e eficiência do processo produtivo, além de tudo para a redução de custos.

2.6 Medição de roscas

A medição de roscas é uma etapa fundamental para garantir a qualidade dimensional e funcional dos elementos produzidos por rosqueamento. Os principais parâmetros avaliados incluem o diâmetro maior, o diâmetro menor, o passo e, especialmente, o diâmetro médio, considerado determinante para o correto acoplamento entre componentes roscados (KALPAKJIAN; SCHMID, 2014).

Entre os métodos convencionais de inspeção, destacam-se os calibres do tipo “passa/não passa”, amplamente utilizados na indústria para verificação rápida da conformidade dimensional das roscas. Esses dispositivos permitem avaliar funcionalmente o ajuste entre componentes rosqueados, garantindo a intercambiabilidade prevista em normas técnicas. Também é comum a utilização de micrômetros específicos para roscas, projetados com pontas adaptadas ao perfil do

filete, possibilitando medições mais precisas do diâmetro médio quando comparadas aos instrumentos convencionais de medição linear (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Outro método amplamente empregado é o método dos arames calibrados, também conhecido como método dos três fios. Nesse procedimento, arames de diâmetro conhecido são posicionados entre os filetes da rosca e a medição é realizada com auxílio de um micrômetro externo. Esse método é considerado um dos mais precisos para determinação do diâmetro primitivo, pois minimiza erros relacionados à geometria helicoidal da rosca e permite elevada confiabilidade metrológica (WHITEHOUSE, 2002).

Além dos métodos convencionais, a literatura especializada em metrologia dimensional destaca o uso de instrumentos como projetores de perfil e máquinas de medição por coordenadas (CMM), que possibilitam análises mais detalhadas do perfil da rosca e identificação de desvios geométricos complexos (WHITEHOUSE, 2002; JAIN, 2009). O projetor de perfil permite ampliar opticamente a geometria da rosca, facilitando a avaliação de parâmetros como ângulo do filete, passo, altura do perfil e possíveis deformações superficiais. Já as máquinas de medição por coordenadas realizam inspeções tridimensionais automatizadas, sendo utilizadas em aplicações de elevada precisão e em processos industriais de maior complexidade.

Embora o paquímetro seja frequentemente utilizado em medições preliminares, sua aplicação na inspeção de roscas apresenta limitações significativas. Devido ao contato pontual e à dificuldade de adaptação às superfícies helicoidais, esse instrumento não oferece precisão adequada para medição do diâmetro primitivo e pode gerar leituras imprecisas, especialmente em roscas de pequeno passo. Além disso, a avaliação conhecida como “medição no ponto da rosca”, realizada diretamente sobre as cristas dos filetes, fornece apenas uma estimativa do diâmetro externo, não sendo suficiente para caracterizar funcionalmente a rosca (GROOVER, 2009).

A qualidade das roscas está diretamente relacionada às condições de usinagem durante o rosqueamento. Fatores como desgaste da ferramenta, variações nos parâmetros de corte e instabilidades do processo podem resultar em erros de passo, desvios no perfil e variações no diâmetro médio. Nesse contexto, a medição não apenas valida o produto final, mas também atua como ferramenta de

monitoramento do processo, permitindo a identificação de falhas e a correção de parâmetros operacionais (MACHADO, 2015).

De forma complementar, autores clássicos da área de manufatura ressaltam que a avaliação de roscas deve considerar não apenas os aspectos dimensionais, mas também sua funcionalidade, incluindo a capacidade de montagem, o ajuste entre as peças e a distribuição de carga entre os filetes. Essa abordagem funcional é essencial para garantir a confiabilidade das uniões roscadas, especialmente em aplicações sujeitas a esforços mecânicos elevados (GROOVER, 2009).

Assim, a medição de roscas desempenha papel estratégico no contexto da manufatura, não apenas como ferramenta de inspeção, mas também como suporte à otimização do processo de rosqueamento. A utilização de métodos adequados e o embasamento em normas técnicas e literatura especializada contribuem para garantir a precisão, a confiabilidade e a intercambiabilidade dos componentes produzidos.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido baseado nas referências bibliográficas, livros e publicações relacionadas ao torneamento e rosqueamento em torno CNC. Nesse tópico serão abordados os métodos utilizados durante o procedimento para alcançar o objetivo do projeto.

3.1 Definição dos programas no CNC

A execução das operações de rosqueamento foi realizada em um torno CNC ROMI Galaxy 15S, utilizando ciclos específicos de programação para usinagem de roscas disponíveis no comando da máquina. Utilizando como base da programação do torno o manual de programação e operação MACH9.

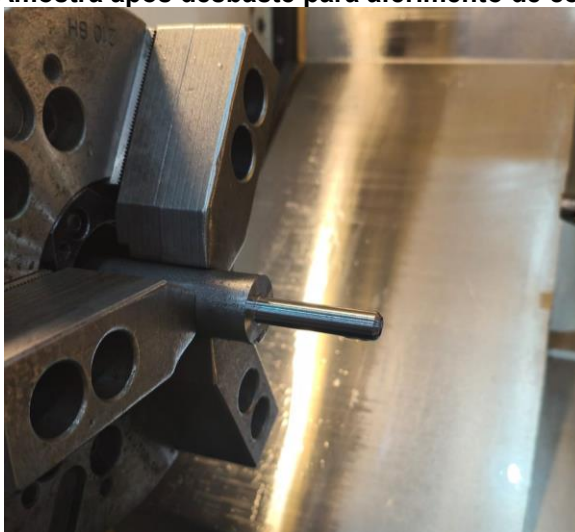
Inicialmente, foram empregados comandos básicos de definição de posição de amostra, por sequência, desbaste, rosqueamento e por fim corte do bedame. O rosqueamento foi baseado nas funções G33, G37 e G76. Todos os programas estão expostos no APÊNDICE A.

3.2 Preparo das amostras

Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Usinagem da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Ponta Grossa. O desenvolvimento do estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes estratégias de rosqueamento no torno CNC, utilizando como material de trabalho o aço SAE 1045.

Para a confecção das amostras, foram utilizados tarugos cilíndricos de aço SAE 1045 com diâmetro inicial de 25 mm. A definição do diâmetro final da rosca e seu comprimento foi baseado em testes de conicidade das amostras após o desbaste dos tarugos. Numa primeira vertente, foi analisado rosqueamento para diâmetro final M14 e comprimento de 75 mm, porém sem sucesso devido à alta vibração e conicidade presente após o desbaste. Assim foi efetuada a redução nos programas para o diâmetro 10 mm e comprimento de 45 mm. Após o novo processo foi analisada a medida no paquímetro no início e ao fim do torneamento obtendo uma diferença de 0,08 mm, valor considerável dentro dos padrões, assim então foi definido o diâmetro e comprimento de 40 mm de rosca a ser utilizado para o projeto.

Figura 3.1 - Amostra após desbaste para aferimento de conicidade.



Fonte: Autor (2026)

O preparo prévio das amostras foi realizado de forma padronizada para minimizar a influência de variáveis geométricas sobre os resultados obtidos. Após o preparo inicial, os corpos de prova foram submetidos às operações de rosqueamento em torno CNC, utilizando parâmetros previamente definidos para cada condição experimental analisada. Essa padronização permitiu que as diferenças observadas entre os ensaios fossem associadas principalmente às estratégias de penetração adotadas durante o processo de usinagem, às diferentes ferramentas de corte utilizadas e a profundidade de corte dos diferentes catálogos das fabricantes.

3.3 Rosqueamento das amostras

Após a preparação dos corpos de prova, foram realizadas as operações de rosqueamento no torno CNC ROMI Galaxy 15S utilizando roscas métricas M10 × 1.5 em aço SAE 1045. Com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos resultados e reduzir a influência de variações inerentes ao processo de usinagem, foram produzidas cinco amostras para cada condição experimental analisada.

3.3.1 Rosqueamento no programa G33

Os ensaios foram conduzidos utilizando diferentes estratégias de programação de rosqueamento. Para os testes executados com o comando G33, código presente no APÊNDICE A, os parâmetros de penetração foram definidos com base nas recomendações técnicas dos fabricantes de ferramentas Mitsubishi Materials, Sandvik

Coromant e Seco Tools, amplamente reconhecidos na área de usinagem. As estratégias adotadas seguiram as orientações desses fabricantes quanto à distribuição das profundidades de corte ao longo dos passes, buscando reproduzir condições representativas de aplicação industrial. A tabela 3.1 abaixo apresenta os valores de profundidade de corte nos catálogos das fabricantes para roscas métricas ISO de passo 1.5.

Tabela 3.1 - Profundidade de corte (A_p), em diâmetro, a cada passe do processo de rosqueamento de passo 1.5.

Passes	Profundidade de corte (mm)		
	Sandvik	Seco	Mitsubishi
1	0,46	0,44	0,44
2	0,38	0,40	0,42
3	0,34	0,34	0,34
4	0,28	0,28	0,28
5	0,22	0,24	0,24
6	0,20	0,16	0,12
Ap Total	1,88	1,86	1,84

Fonte: Adaptado catálogos SECO Tools, Sandvik Coromant e Mitsubishi Materials (2026)

3.3.2 Rosqueamento no programa G37

O comando G37 foi utilizado para automatizar parte da sequência de passes do rosqueamento, reduzindo a necessidade de programação individual de cada aproximação da ferramenta. Para os ensaios realizados com o ciclo automático G37, os parâmetros de rosqueamento foram previamente calculados a partir da geometria da rosca encontrando o valor de H (altura do filete) como requerido pelo manual do torno:

$$H = 0,65 \cdot \text{passo} \cdot 2 \quad (3.1)$$

A altura do filete define a profundidade total de corte durante o rosqueamento. No programa G37, o cálculo de A_p a cada passe é automaticamente fornecido pelo

próprio torno. Após inserir o código, presente no APÊNDICE A, no equipamento, pode-se observar os valores de profundidade de corte por passe na tela pela posição do eixo X da ferramenta de corte, os quais foram anotados e expostos na tabela 3.2 abaixo.

Tabela 3.2 - Profundidade de corte (A_p) por passe no programa G37

Passes	Profundidade de corte (mm)
1	0,7960
2	0,3297
3	0,2530
4	0,2133
5	0,1879
6	0,1699
7	0,0002
Ap total	1,95

Fonte: Autor (2026)

Notou-se que esse programa definiu 7 passes no rosqueamento, diferente dos outros programas utilizados. O rosqueamento no programa G37 foi dividido em seis condições. As duas primeiras na penetração radial nas ferramentas parcial e completa. Outras duas na penetração oblíqua ferramentas parcial e completa e as duas últimas foi feito o mesmo processo para as mesmas ferramentas anteriores com a mesma penetração, porém repetindo os dois últimos passes, totalizando 9 passes totais.

3.3.3 Rosqueamento no programa G76

Para os ensaios realizados com o ciclo automático do programa G76, disposto no APÊNDICE A, os parâmetros de rosqueamento foram previamente calculados a partir da geometria da rosca. A programação foi configurada para executar a usinagem em seis passes de corte, utilizando profundidade total de rosqueamento (A_p) de 1,86 mm. O ciclo foi responsável pela distribuição automática das profundidades de corte entre os passes, assim como a quantidade de passes que seria utilizada. Foi-se obtido

os valores da profundidade de corte por passe da ferramenta pela posição do eixo X do torno, os valores encontrados estão presentes na tabela 3.3 abaixo.

Tabela 3.3 – Profundidade de corte (Ap) por passe no programa G76.

Passes	Profundidade de corte (mm)
1	0,5600
2	0,6500
3	0,3250
4	0,1625
5	0,0812
6	0,0813
Ap total	1,86

Fonte: Autor (2026)

3.3.4 Análise profundidade de corte

A tabela 3.4 demonstra os valores de profundidade de corte inicial e final de cada processo.

Tabela 3.4 – Comparação entre profundidades de corte inicial e final.

	Profundidade de corte (Ap)				
	Sandvik	Seco	Mitsubishi	G76	G37
1° Ap	0,46	0,44	0,44	0,5600	0,7960
Último Ap	0,20	0,16	0,12	0,0812	0,0002*

Fonte: Autor (2026)

**Notas: O ciclo G37 utilizou 7 passes totais.*

O ciclo G37 utilizou a maior profundidade de corte inicial e um passe final de acabamento, concentrando os esforços nas primeiras passadas. No ciclo automático G76 os valores utilizados no primeiro passe são superiores aos das fabricantes e seu último é inferior a elas. Já os parâmetros propostos pelos catálogos da Sandvik, Seco e Mitsubishi apresentaram estratégias intermediárias, diferenciando-se principalmente pela intensidade dos passes finais, os quais influenciam diretamente a qualidade superficial e a precisão do perfil da rosca.

3.4 Análise dimensional

Após a conclusão das operações de rosqueamento, as amostras foram submetidas à análise dimensional com o objetivo de avaliar a uniformidade geométrica das roscas produzidas e verificar possíveis variações ao longo do seu comprimento. Ao todo, foram fabricadas 70 peças distribuídas em 14 condições experimentais distintas, sendo produzidas cinco amostras para cada processo. A utilização de múltiplas amostras por condição teve como finalidade aumentar a confiabilidade dos resultados e reduzir a influência de variações inerentes ao processo de usinagem.

A avaliação dimensional foi realizada por meio de um micrômetro para medição de roscas, instrumento amplamente utilizado para a determinação do diâmetro efetivo em elementos roscados. As medições foram executadas em dois pontos distintos de cada peça, sendo um localizado próximo ao início da rosca e outro próximo ao final da região usinada. Essa metodologia permitiu avaliar possíveis variações dimensionais ao longo do perfil roscado, possibilitando a identificação de desvios relacionados à conicidade, deflexão da ferramenta, desgaste do inserto ou instabilidades durante o processo de corte.

Os valores obtidos foram organizados e posteriormente tratados por meio da determinação das médias para cada condição experimental, permitindo a comparação entre os diferentes métodos de rosqueamento avaliados. A utilização dos valores médios teve como objetivo minimizar a influência de dispersões pontuais e fornecer uma representação mais consistente do comportamento dimensional de cada processo.

3.5 Análise dos cavacos

Foi realizada a análise dos cavacos gerados durante os diferentes processos de rosqueamento. A observação da morfologia dos cavacos constitui uma importante ferramenta para a compreensão do comportamento do processo de usinagem, uma vez que suas características estão diretamente relacionadas aos mecanismos de deformação do material, às condições de corte e à estabilidade da operação. Aspectos como formato, comprimento, grau de fragmentação e uniformidade dos cavacos permitem identificar indícios sobre a eficiência da remoção de material, a atuação da

ferramenta de corte e a influência dos parâmetros empregados durante o rosqueamento.

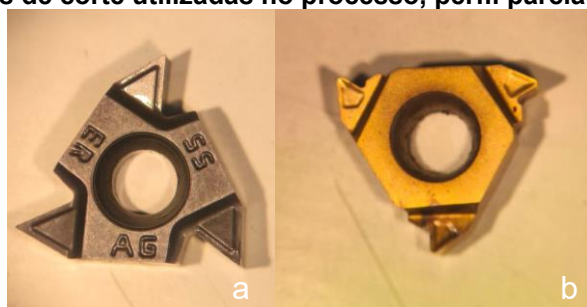
Para cada condição experimental foram coletadas amostras representativas dos cavacos produzidos, possibilitando a comparação entre as diferentes estratégias de usinagem avaliadas. A partir da análise visual, buscou-se relacionar a morfologia observada com o comportamento do processo, verificando possíveis diferenças associadas à formação do cavaco, à evacuação do material e à estabilidade operacional.

3.6 Ferramentas de corte

Para a realização dos ensaios de rosqueamento foram utilizadas duas ferramentas de corte com geometrias distintas, permitindo a comparação entre diferentes estratégias de geração do perfil da rosca. A primeira correspondeu a uma ferramenta de perfil parcial, fabricada pela Iscar, cuja geometria possibilita a usinagem de diferentes passos de rosca por meio da geração progressiva do perfil. A segunda foi uma ferramenta de perfil completo, fabricada pela Sandvik Coromant, destinada à usinagem de roscas métricas específicas e revestida com PVD de nitreto de titânio (TiN), proporcionando maior resistência ao desgaste e estabilidade durante o processo de corte.

Ambas as ferramentas foram empregadas na usinagem de roscas métricas M10 × 1,5 em aço SAE 1045, sendo submetidas às mesmas condições experimentais de velocidade de corte, fluido de corte e fixação da peça, variando apenas os parâmetros específicos de cada estratégia de rosqueamento. A utilização de ferramentas com geometrias distintas permitiu avaliar a influência do perfil do inserto sobre a qualidade dimensional das roscas, o acabamento superficial, a formação dos cavacos e o comportamento do desgaste durante os ensaios realizados. Na figura 3.2 é possível observar as ferramentas utilizadas no processo.

Figura 3.2 - Ferramentas de corte utilizadas no processo, perfil parcial (a) e perfil completo (b).



Fonte: Autor (2026)

3.7 Análise desgaste na ferramenta de corte

Após a conclusão dos ensaios de rosqueamento, as ferramentas de corte utilizadas foram submetidas à inspeção visual com auxílio de um microscópio óptico, com o objetivo de avaliar as condições das arestas de corte e identificar possíveis mecanismos de desgaste decorrentes da usinagem. A análise microscópica permitiu verificar alterações na geometria da aresta, bem como a ocorrência de fenômenos como adesão de material, formação de gume postigo e outros indícios de desgaste resultantes das condições de corte empregadas.

As imagens obtidas durante a inspeção foram utilizadas para comparar o comportamento das ferramentas de perfil parcial e perfil completo após a fabricação das amostras. Essa avaliação possibilitou relacionar o estado de conservação das ferramentas aos resultados obtidos na análise dimensional das roscas, na formação dos cavacos e na qualidade superficial das peças produzidas, contribuindo para uma compreensão mais abrangente da influência do tipo de ferramenta sobre o desempenho do processo de rosqueamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização de todos os processos do projeto, foram obtidos os seguintes resultados.

4.1 Análise dimensional das amostras

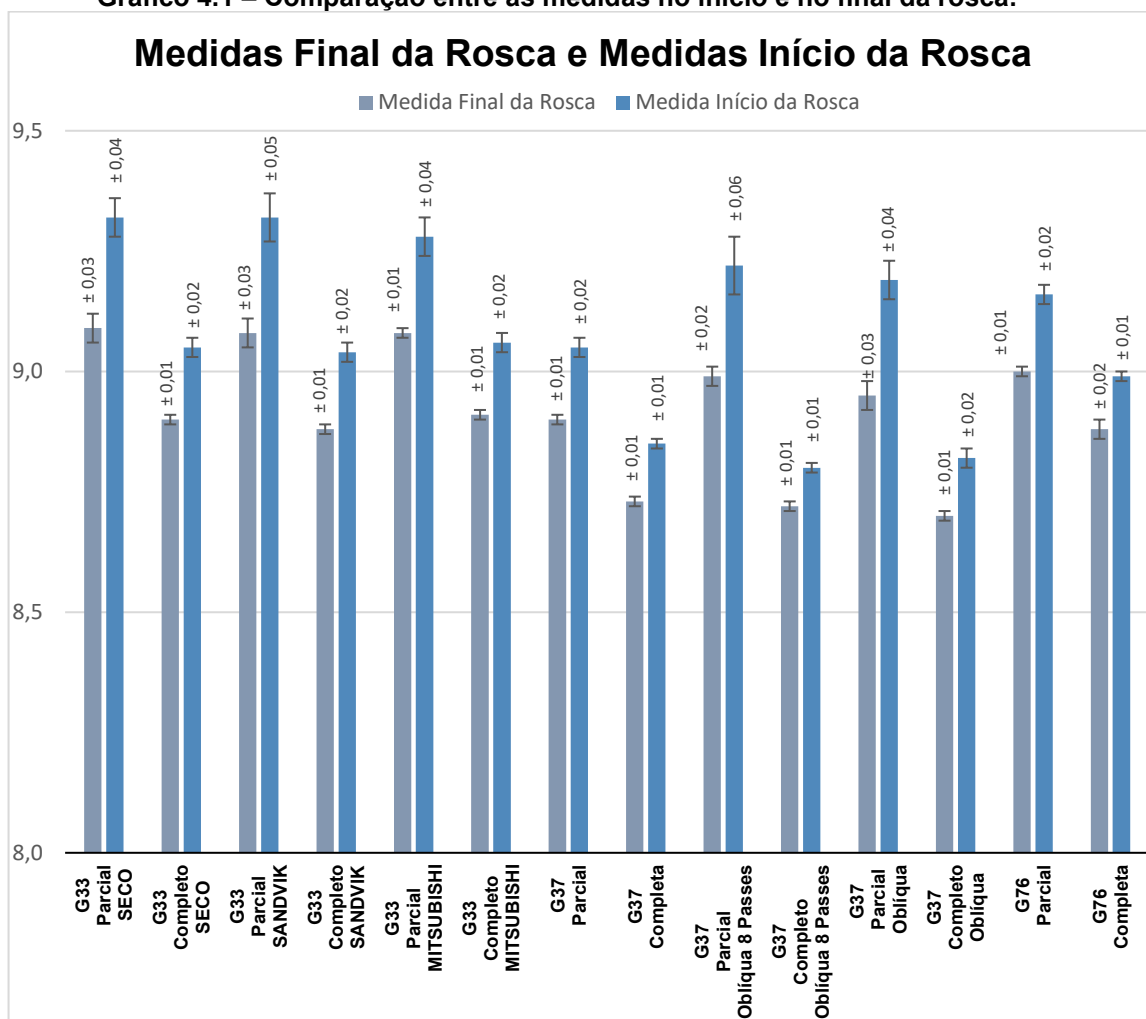
Concluída a etapa de fabricação das amostras, foi realizada a inspeção dimensional das 70 peças produzidas ao longo dos 14 processos de rosqueamento avaliados. Todas as medições foram efetuadas utilizando um micrômetro para roscas com passo de 1,5 mm, instrumento adequado para a verificação do diâmetro efetivo de roscas métricas M10 × 1,5. Para cada amostra, foram realizadas medições em dois pontos distintos da região rosqueada, correspondentes ao início e ao final da rosca, permitindo avaliar a uniformidade dimensional obtida durante o processo de usinagem.

A comparação entre os valores medidos possibilitou identificar a variação dimensional ao longo do comprimento da rosca, parâmetro diretamente relacionado à ocorrência de conicidade, deflexão da ferramenta, desgaste do inserto e demais fenômenos associados ao processo de rosqueamento. A partir dos dados coletados, foi calculada a diferença entre as medições realizadas no início e no final de cada rosca, permitindo uma análise comparativa entre as diferentes condições experimentais avaliadas.

Os resultados obtidos para todas as amostras são apresentados nos gráficos a seguir, no qual é possível observar a variação dimensional verificada em cada processo, bem como a magnitude da diferença entre as medições realizadas ao início e ao final da região rosqueada.

4.1.1 Valores obtidos com micrômetro de rosca com pontas intercambiáveis

Gráfico 4.1 – Comparação entre as medidas no início e no final da rosca.

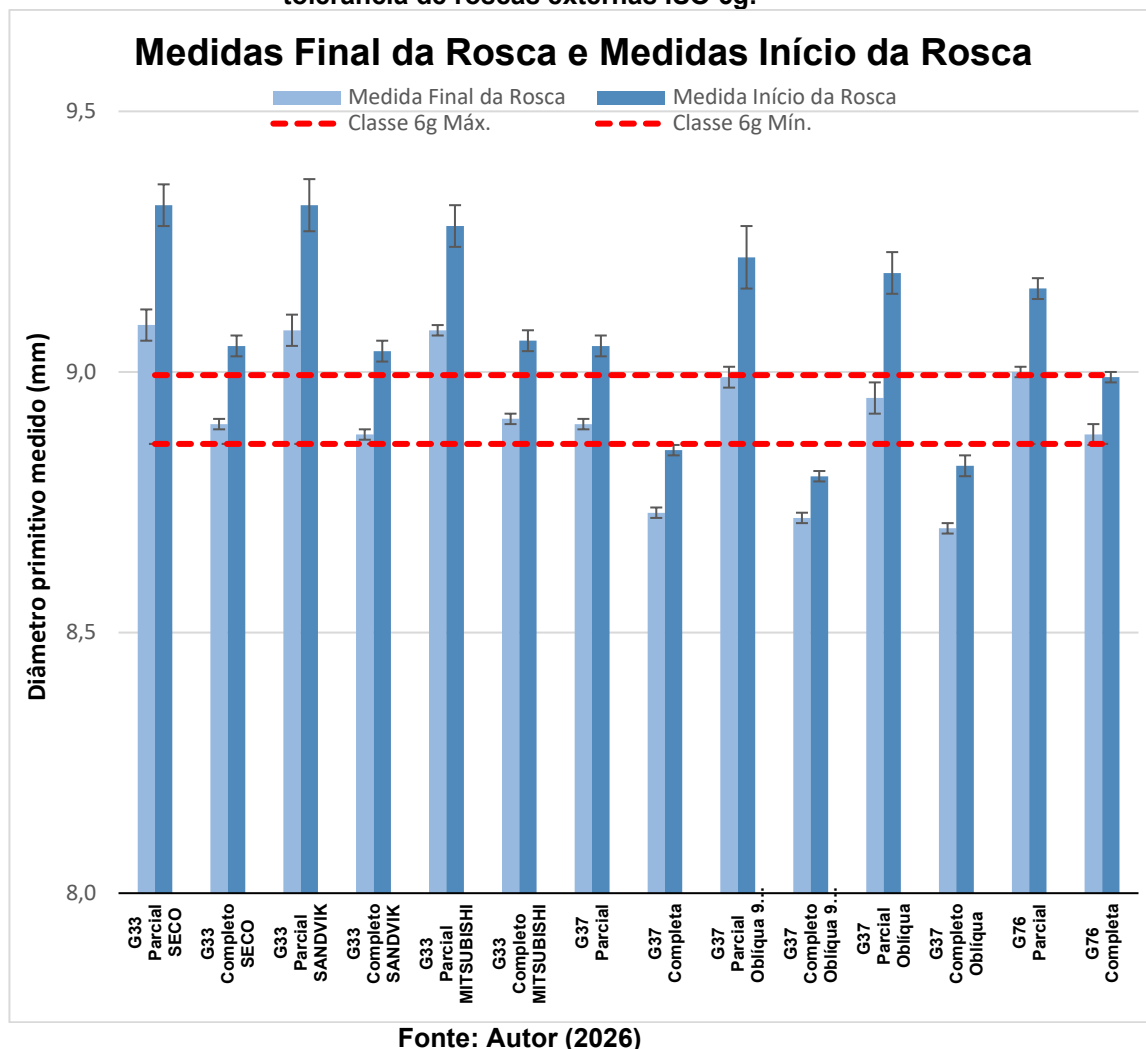


Fonte: Autor (2026)

A análise dos resultados apresentados no gráfico 4.1 evidencia uma tendência consistente entre os processos avaliados. De modo geral, os processos realizados com ferramentas de perfil completo resultaram em menores diferenças entre as medições efetuadas no início e no final das roscas, indicando maior uniformidade geométrica ao longo da região usinada. Além disso, observou-se menor dispersão dos resultados entre as peças de um mesmo lote, evidenciando maior repetibilidade e estabilidade do processo. Em contrapartida, as ferramentas de perfil parcial apresentaram diferenças dimensionais mais elevadas entre as extremidades da rosca e maior variação entre as amostras produzidas, sugerindo uma maior influência das condições de corte e dos esforços de usinagem sobre a geometria final da peça. Dessa forma, os resultados indicam que a utilização de ferramentas de perfil completo contribuiu para a obtenção de roscas com melhor controle dimensional e maior consistência entre os lotes analisados.

Comparando as amostras com valores de diâmetro primitivo mínimo e máximo de tolerância de rosca externa métrica ISO 6g, foi construído o gráfico 4.2 abaixo.

Gráfico 4.2 – Comparação entre as medidas no início e no final da rosca em relação a tolerância de roscas externas ISO 6g.

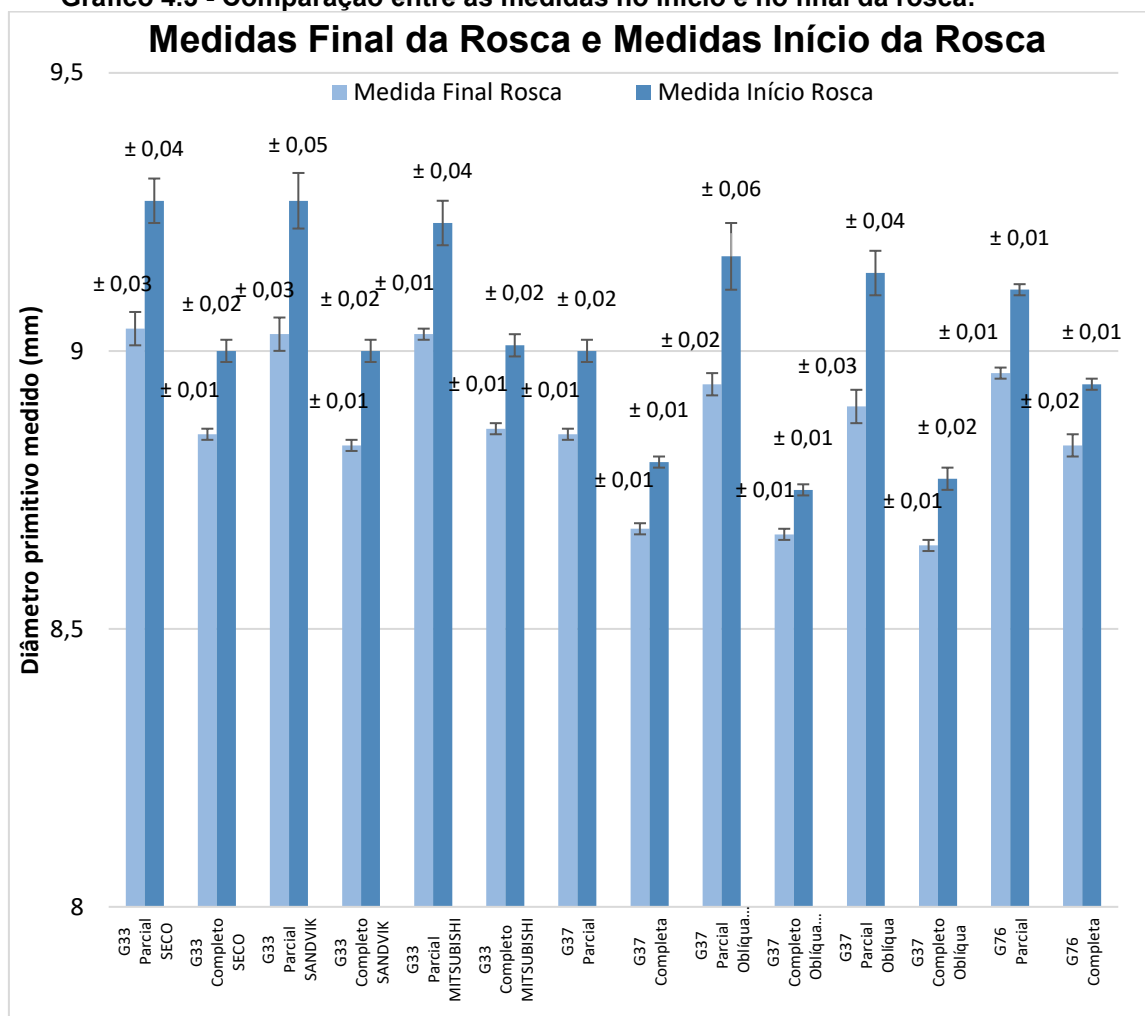


A análise do gráfico é possível observar que os valores das amostras, em sua maioria, ficaram fora da faixa de tolerância. Apenas um processo ficou entre os mínimos e máximos, G76 com a ferramenta de corte completa.

4.1.2 Valores obtidos com micrômetro de rosca com método dos três arames

Para uma melhor análise foram efetuadas as medidas com outro micrômetro de rosca utilizando o método dos três arames. Assim, o gráfico 4.3 foi construído.

Gráfico 4.3 - Comparação entre as medidas no início e no final da rosca.

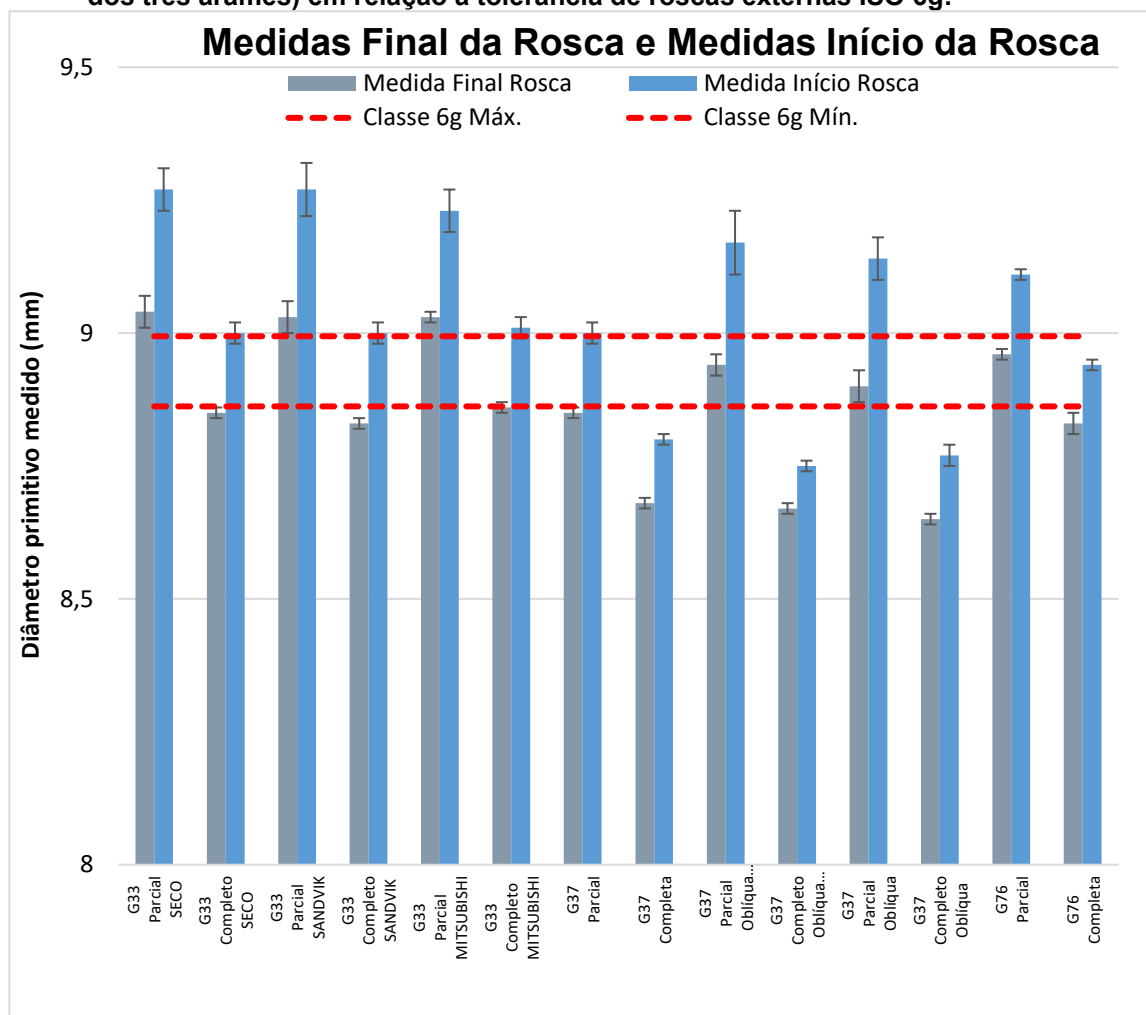


Fonte: Autor (2026)

A análise dos resultados apresentados no gráfico 4.3 mantém o mesmo padrão exposto no gráfico 4.1, medido com micrômetro de rosca com pontas intercambiáveis. De maneira geral, as ferramentas de perfil completo proporcionaram maior uniformidade geométrica, com menores diferenças dimensionais entre o início e o final das roscas e menor dispersão entre as amostras. Já as ferramentas de perfil parcial apresentaram maior variação dimensional e menor repetibilidade, indicando maior influência das condições de usinagem. Assim, o perfil completo demonstrou melhor controle dimensional e maior consistência entre os lotes analisados.

Da mesma maneira do gráfico 4.2, foi feita a plotagem do gráfico 4.4 com o intervalo de tolerância do diâmetro primitivo 6g, agora com os valores medidos com o micrômetro de rosca com o método dos três arames.

Gráfico 4.4 – Comparação entre as medidas no início e no final da rosca (medição com método dos três arames) em relação a tolerância de rosas externas ISO 6g.



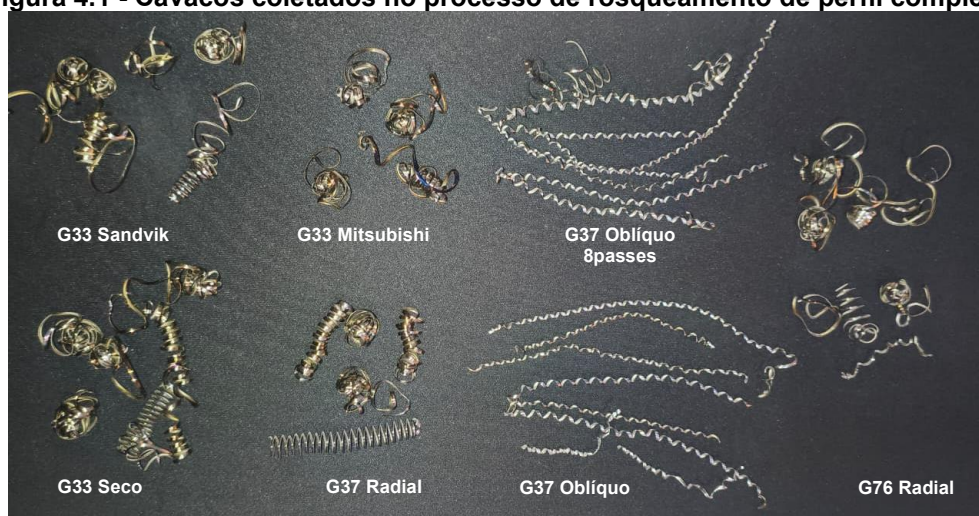
Fonte: Autor (2026)

Para os esses valores medidos, observou-se mais valores dentro da faixa de tolerância, porém nenhum processo com mínimos e máximos.

4.2 Análise dos cavacos formados

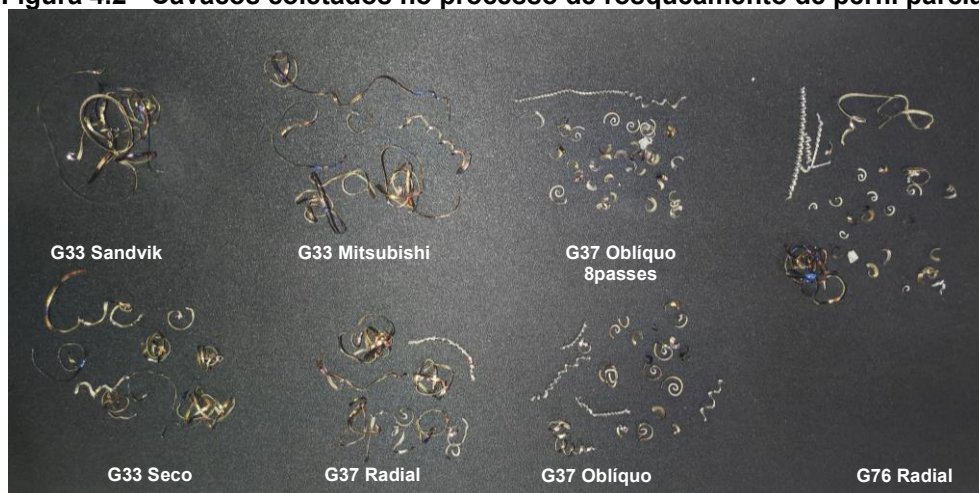
Os cavacos gerados após cada processo foram coletados e separados junto com sua respectiva amostra. Foram observados padrões presentes de geometria e coloração. Os cavacos coletados pelo processo com a ferramenta de corte de perfil completo estão presentes na figura 4.1, assim como os cavacos formados pelo processo com a ferramenta de corte de perfil parcial estão na figura 4.2.

Figura 4.1 - Cavacos coletados no processo de rosqueamento de perfil completo.



Fonte: Autor (2026)

Figura 4.2 - Cavacos coletados no processo de rosqueamento de perfil parcial.



Fonte: Autor (2026)

A análise visual dos cavacos gerados durante os ensaios permitiu identificar diferenças significativas entre os processos avaliados. Nas operações realizadas com ferramentas de perfil parcial, observou-se a formação de cavacos menos uniformes e com menor tendência ao enrolamento quando comparados aos produzidos pelas ferramentas de perfil completo. Além disso, os cavacos apresentaram coloração mais escura em diversas amostras, indicando uma maior concentração de calor durante o processo de usinagem.

Essa característica sugere que as condições de corte associadas às ferramentas de perfil parcial resultaram em maiores esforços de usinagem e maior atrito na interface entre a ferramenta e o material. O aumento da energia necessária

para a remoção do material contribui para a elevação da temperatura na zona de corte, refletindo diretamente na coloração observada dos cavacos. Em contrapartida, os cavacos produzidos pelas ferramentas de perfil completo apresentaram geometria mais regular, melhor conformação helicoidal e coloração menos intensa, indicando condições mais estáveis de corte e melhor controle da formação do cavaco.

Observou-se também que para a ferramenta de perfil parcial com penetração oblíqua houve formação de cavacos com geometria semelhante a uma vírgula em determinadas condições de rosqueamento. Esse formato é característico de uma quebra controlada do cavaco, indicando que o material sofreu deformação plástica suficiente para sua formação, seguida de ruptura em comprimentos adequados para evacuação. Do ponto de vista operacional, esse comportamento é considerado favorável, pois reduz o risco de emaranhamento do cavaco na peça ou na ferramenta e contribui para maior estabilidade do processo.

De maneira geral, os resultados observados sugerem que as ferramentas de perfil completo proporcionaram um processo de rosqueamento mais eficiente, favorecendo a formação e a evacuação dos cavacos, além de contribuírem para uma distribuição mais uniforme dos esforços de usinagem ao longo do processo. Essas características também estão alinhadas com os menores desvios dimensionais observados nas análises das roscas produzidas por esse tipo de ferramenta.

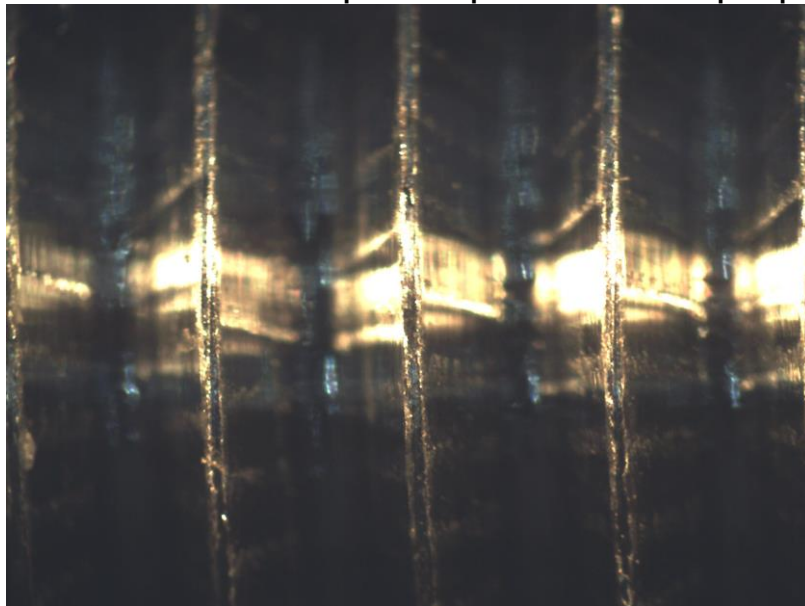
4.3 Análise das amostras no microscópio

As amostras foram analisadas no microscópio ótico com aumentos de até 50 vezes para ver existência de rebarbas e possíveis irregularidades das peças. Com auxílio do iluminador de fibra óptica halógena Motic MLC 150-C e sua câmera, foram capturadas as imagens para visualização das roscas.

4.3.1 Roscas programa G33

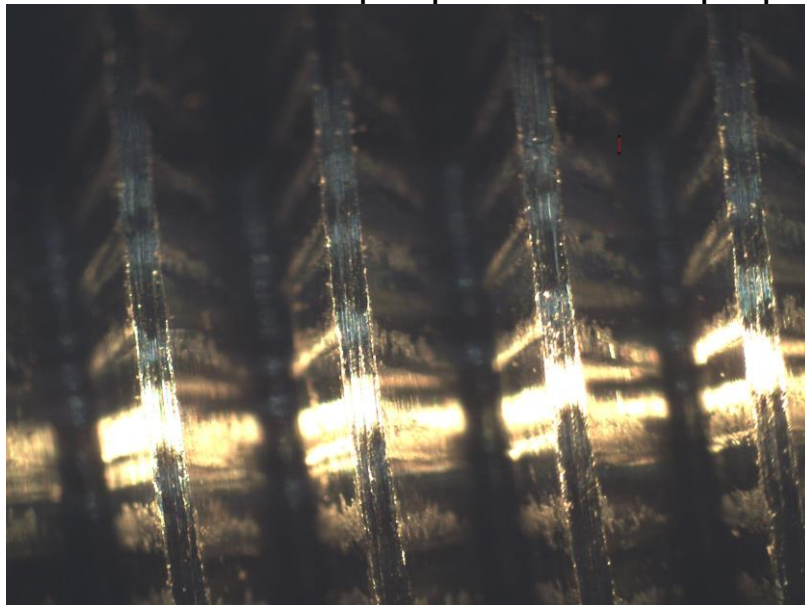
As fotos das roscas efetuadas pelo programa G33 e penetração radial podem ser observadas nas imagens 4.3 a 4.8.

Figura 4.3 - Rosca do processo G33 com dados Mitsubishi (A_p total de 1,84 mm) de profundidade de corte e ferramenta de perfil completo sob microscopia óptica (30x).



Fonte: Autor (2026)

Figura 4.4 - Rosca do processo G33 com dados Mitsubishi (A_p total de 1,84 mm) de profundidade de corte e ferramenta de perfil parcial sob microscopia óptica (30x).

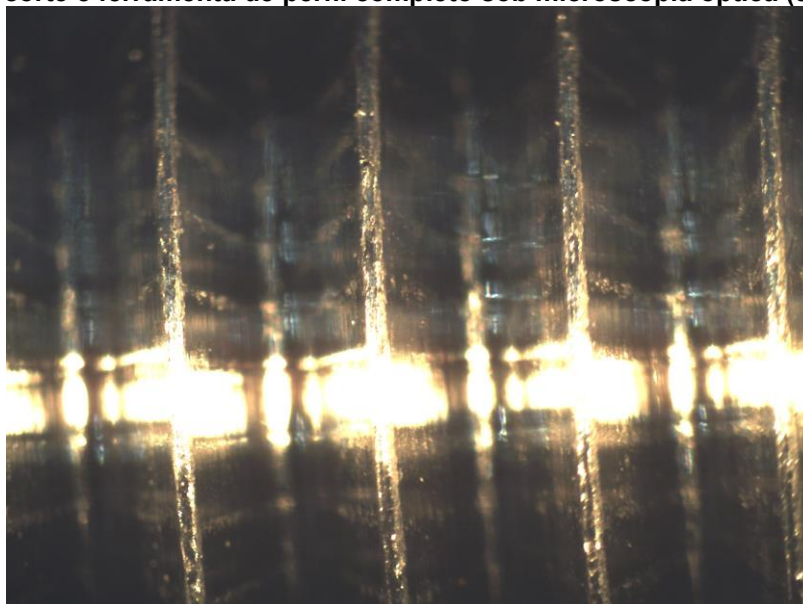


Fonte: Autor (2026)

Nas amostras com dados da Mitsubishi usinadas com ferramentas de perfil completo, observou-se que as cristas da rosca apresentaram aspecto mais fino e melhor definido quando comparadas às produzidas com ferramentas de perfil parcial, cujas cristas se mostraram ligeiramente mais largas. Essa diferença pode estar relacionada à própria geometria da ferramenta de perfil completo, que reproduz

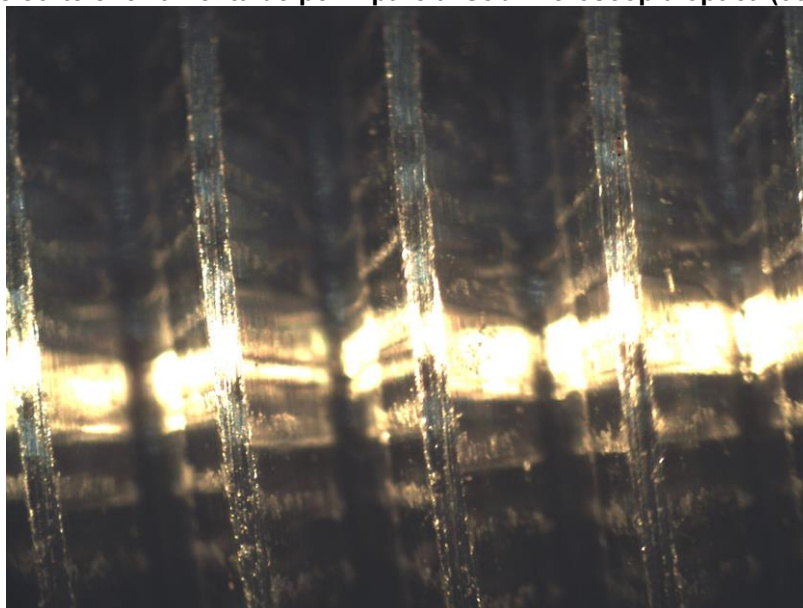
integralmente o perfil nominal da rosca durante a usinagem. Entretanto, durante a inspeção tátil das amostras, verificou-se que as roscas produzidas com ferramentas de perfil completo apresentaram uma superfície perceptivelmente mais áspera em comparação às obtidas com ferramentas de perfil parcial, que transmitiram uma sensação de maior suavidade ao toque. Embora essa percepção qualitativa não substitua uma avaliação por meio de ensaios de rugosidade, ela evidencia diferenças no acabamento superficial entre os processos e indica a necessidade de análises complementares para quantificar esse comportamento.

Figura 4.5 - Rosca do processo G33 com dados Sandvik (A_p total de 1,88 mm) de profundidade de corte e ferramenta de perfil completo sob microscopia óptica (30x).



Fonte: Autor (2026)

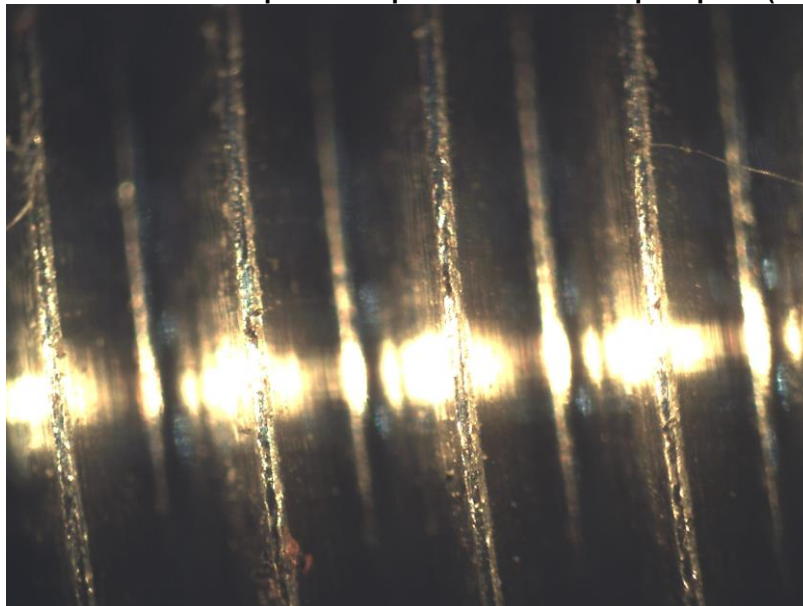
Figura 4.6 - Rosca do processo G33 com dados Sandvik (A_p total de 1,88 mm) de profundidade de corte e ferramenta de perfil parcial sob microscopia óptica (30x).



Fonte: Autor (2026)

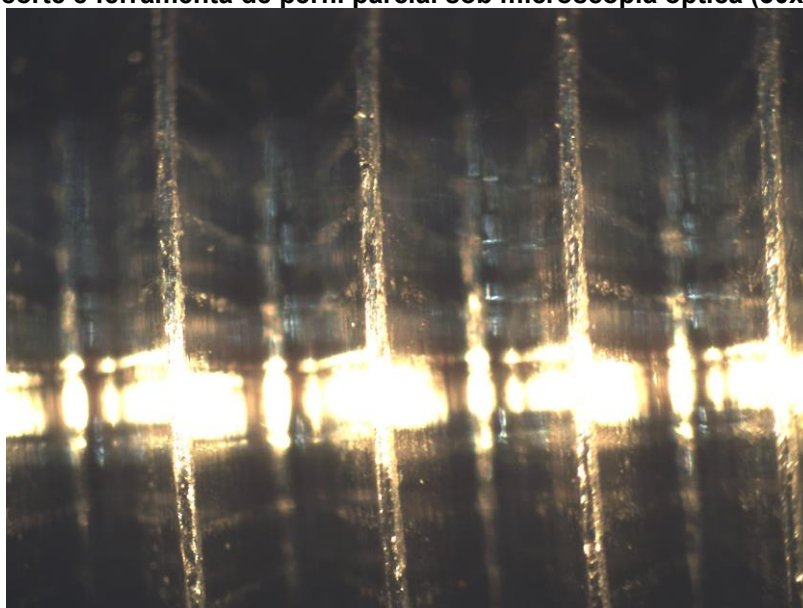
Nas amostras produzidas utilizando os parâmetros de rosqueamento recomendados pela Sandvik, também foram observadas diferenças entre as ferramentas de perfil parcial e perfil completo. A inspeção visual evidenciou que as roscas usinadas com ferramentas de perfil completo apresentaram cristas mais finas e com perfil mais definido quando comparadas às obtidas com ferramentas de perfil parcial, que apresentaram cristas ligeiramente mais espessas. Em contrapartida, durante a avaliação tátil das amostras, verificou-se que as roscas produzidas com ferramentas de perfil parcial apresentaram uma superfície mais lisa, enquanto as produzidas com ferramentas de perfil completo demonstraram maior aspereza superficial.

Figura 4.7 - Rosca do processo G33 com dados Seco (A_p total de 1,86 mm) de profundidade de corte e ferramenta de perfil completa sob microscopia óptica (30x).



Fonte: Autor (2026)

Figura 4.8 - Rosca do processo G33 com dados Seco (A_p total de 1,86 mm) de profundidade de corte e ferramenta de perfil parcial sob microscopia óptica (30x).



Fonte: Autor (2026)

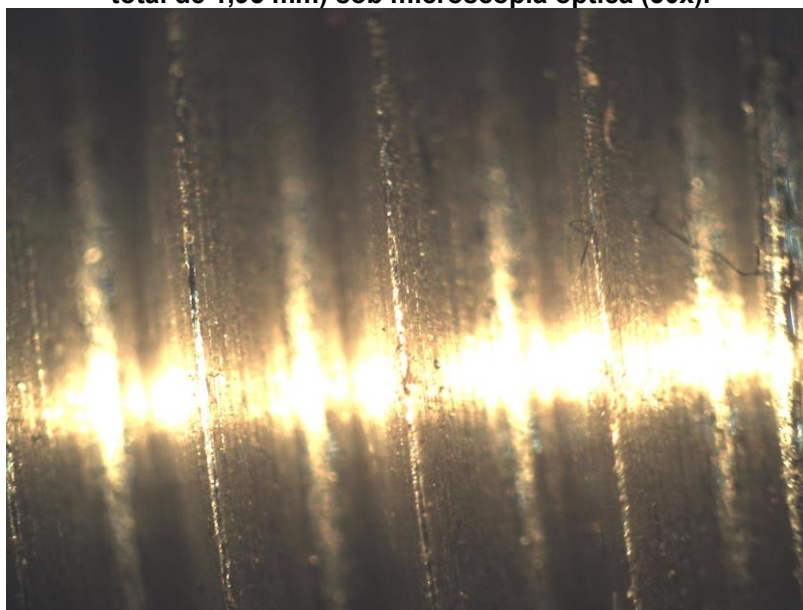
Nas peças usinadas com os parâmetros de rosqueamento recomendados pela Seco Tools, observou-se comportamento semelhante ao verificado nas condições anteriores. As roscas produzidas com ferramentas de perfil completo apresentaram cristas mais finas e melhor definidas em comparação às obtidas com ferramentas de perfil parcial, evidenciando maior fidelidade ao perfil geométrico da rosca. Em relação ao acabamento superficial, a avaliação tátil indicou que as roscas

produzidas com ferramentas de perfil parcial permaneceram mais lisas. No entanto, a diferença de aspereza percebida entre os dois tipos de ferramenta mostrou-se menos pronunciada quando comparada às demais condições experimentais, sugerindo que os parâmetros recomendados pela Seco contribuíram para um acabamento superficial mais uniforme nas roscas produzidas com ferramentas de perfil completo, sem alterar a tendência observada quanto à geometria das cristas.

4.3.2 Roscas programa G37

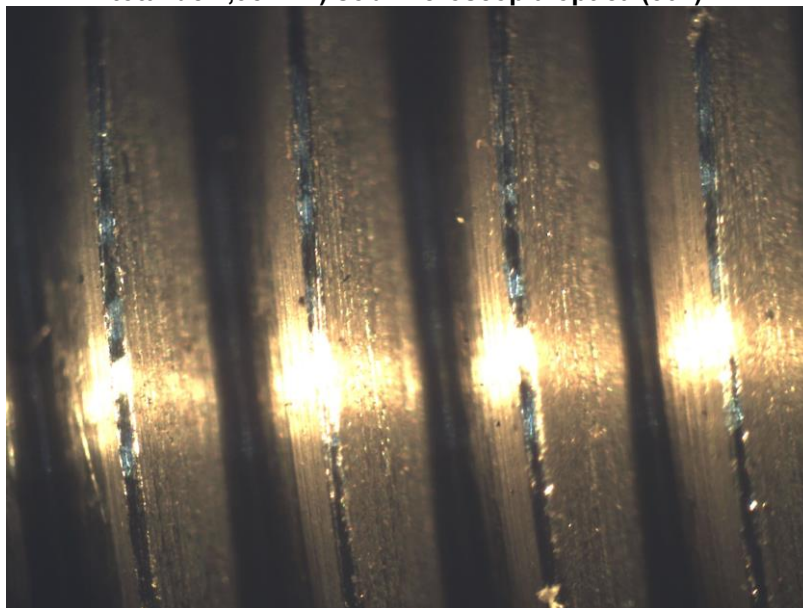
O resultado das imagens do processo G37 no microscópio óptico está presente nas figuras 4.9 a 4.14.

Figura 4.9 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil completo e penetração radial (A_p total de 1,95 mm) sob microscopia óptica (30x).



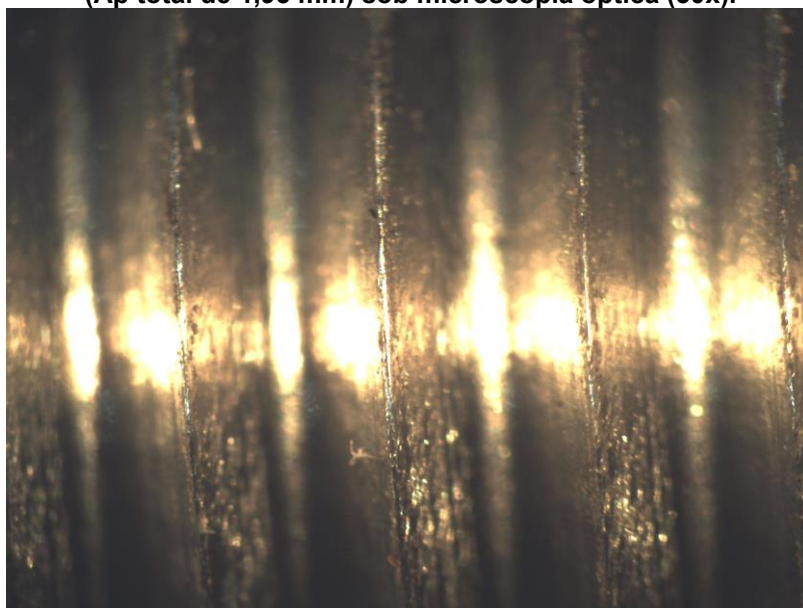
Fonte: Autor (2026)

Figura 4.10 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil parcial e penetração radial (A_p total de 1,95 mm) sob microscopia óptica (30x).



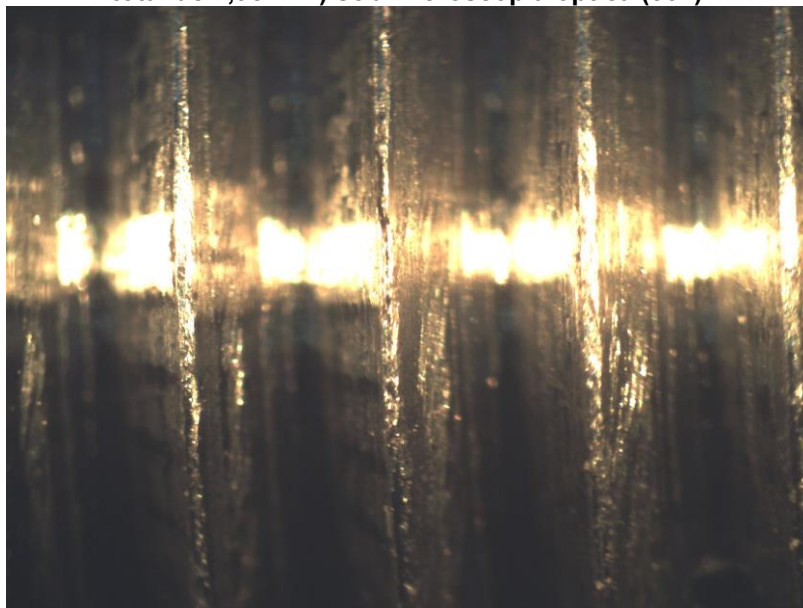
Fonte: Autor (2026)

Figura 4.11 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil completo e penetração oblíqua (A_p total de 1,95 mm) sob microscopia óptica (30x).



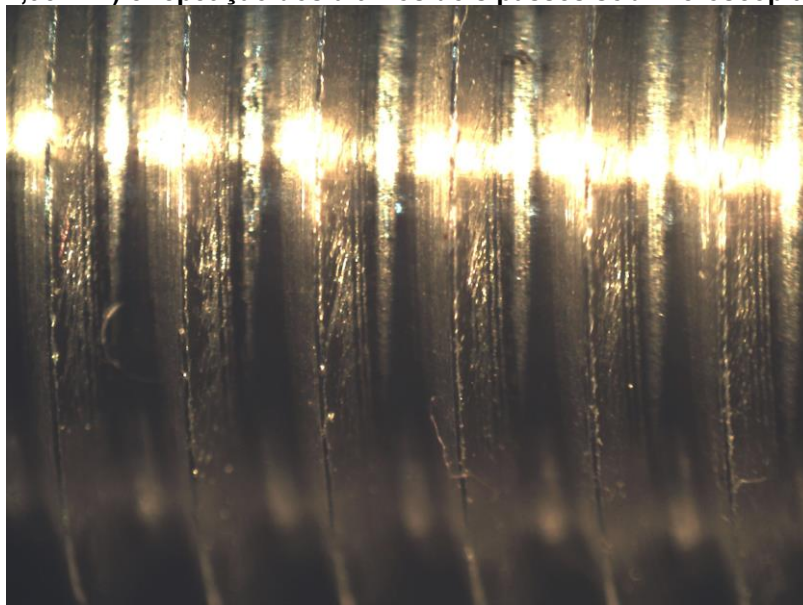
Fonte: Autor (2026)

Figura 4.12 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil parcial e penetração oblíqua (A_p total de 1,95 mm) sob microscopia óptica (30x).



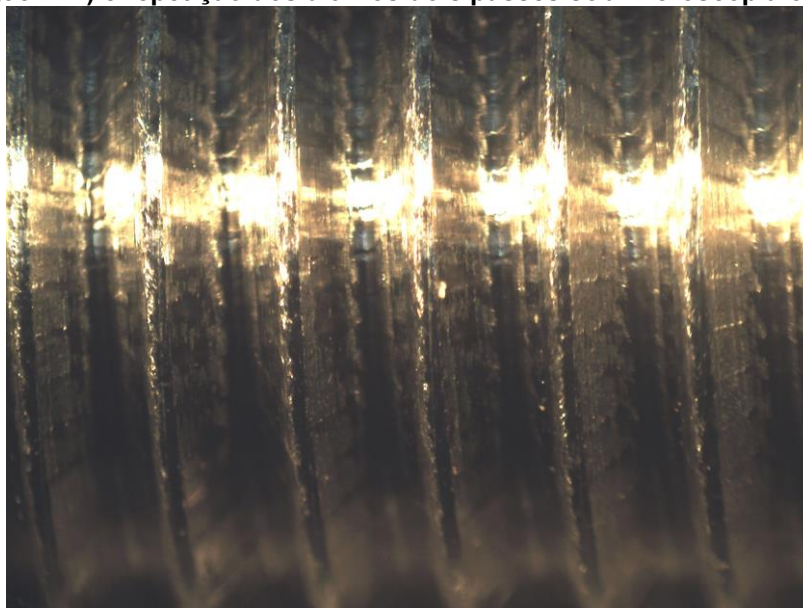
Fonte: Autor (2026)

Figura 4.13 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil completa, penetração oblíqua (A_p total de 1,95 mm) e repetição dos últimos dois passes sob microscopia óptica (30x).



Fonte: Autor (2026)

Figura 4.14 - Rosca do processo G37 com ferramenta de perfil parcial, penetração oblíqua (A_p total de 1,95 mm) e repetição dos últimos dois passes sob microscopia óptica (30x).



Fonte: Autor (2026)

A comparação entre as seis condições de rosqueamento realizadas por meio do ciclo G37 permitiu identificar um comportamento consistente quanto à influência do tipo de ferramenta sobre a geometria da rosca. Em todas as condições avaliadas, as amostras produzidas com ferramentas de perfil parcial apresentaram cristas ligeiramente mais espessas quando comparadas às respectivas amostras usinadas com ferramentas de perfil completo, cujas cristas se mostraram mais finas e bem definidas. Essa característica foi observada independentemente da estratégia de penetração empregada, tanto na penetração radial quanto na oblíqua, incluindo as condições em que foram utilizados nove passes de usinagem.

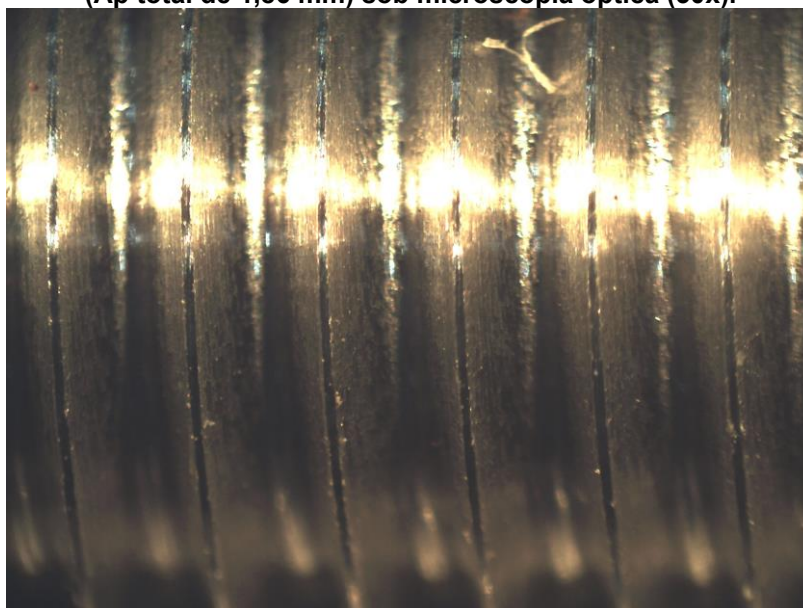
Em relação ao acabamento superficial, a inspeção tátil indicou que as roscas produzidas com ferramentas de perfil parcial apresentaram, de maneira geral, uma superfície mais lisa quando comparadas às obtidas com ferramentas de perfil completo. Essa diferença foi perceptível nas condições de penetração radial e oblíqua executadas com o número convencional de passes. Entretanto, nas amostras produzidas com penetração oblíqua utilizando nove passes, obtidos pela repetição dos dois últimos passes do ciclo de rosqueamento, a diferença de aspereza entre as ferramentas tornou-se pouco perceptível, indicando um acabamento superficial bastante semelhante entre ambas.

Além disso, observou-se que as roscas usinadas com penetração oblíqua apresentaram maior incidência de marca de avanço nos flancos em comparação às produzidas com penetração radial, independentemente do tipo de ferramenta empregado. Essas marcas mostraram-se mais evidentes nas superfícies obtidas com avanço oblíquo, sugerindo que a estratégia de penetração exerceu influência direta sobre as características superficiais dos flancos da rosca.

4.3.3 Roscas programa G76

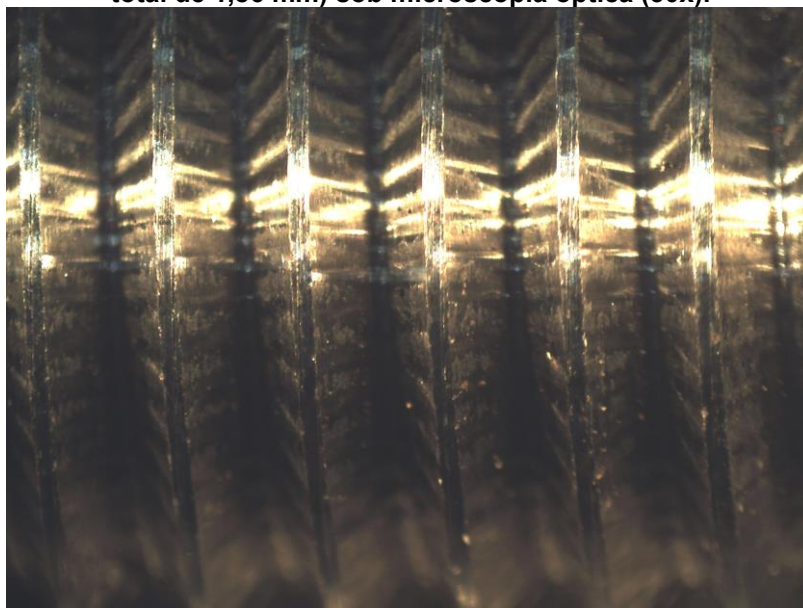
As imagens obtidas na análise microscópica do processo G76 está presente nas figuras 4.15 e 4.16.

Figura 4.15 - Rosca do processo G76 com ferramenta de perfil completo e penetração radial (A_p total de 1,86 mm) sob microscopia óptica (30x).



Fonte: Autor (2026)

Figura 4.16 - Rosca do processo G76 com ferramenta de perfil parcial e penetração radial (A_p total de 1,86 mm) sob microscopia óptica (30x).



Fonte: Autor (2026)

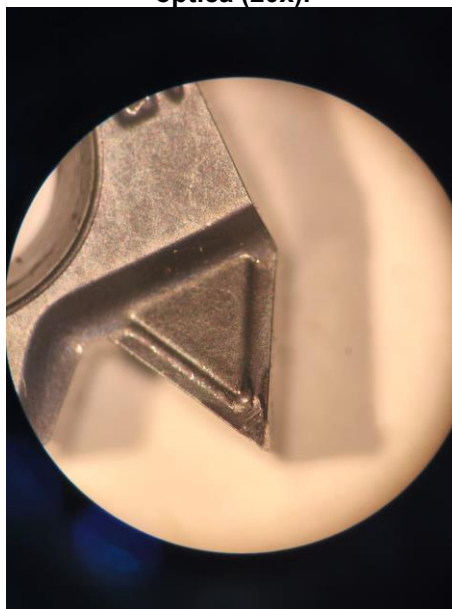
Nas amostras produzidas utilizando o ciclo automático G76, observou-se comportamento semelhante ao verificado nas demais condições experimentais quanto à geometria das cristas. As roscas usinadas com ferramentas de perfil parcial apresentaram cristas ligeiramente mais espessas, enquanto aquelas produzidas com ferramentas de perfil completo exibiram cristas mais finas e melhor definidas. Em relação ao acabamento superficial, a avaliação tátil indicou pouca diferença entre os dois tipos de ferramenta, apresentando ambas uma superfície com características muito semelhantes. Além disso, verificou-se baixa incidência de rebarbas nas roscas produzidas por ambas as ferramentas, evidenciando que o ciclo G76 proporcionou um processo de rosqueamento estável e com boa qualidade superficial, independentemente do perfil da ferramenta utilizado.

4.4 Avaliação do desgaste das ferramentas

Na finalização dos processos de rosqueamento foi analisado no microscópio as ferramentas de corte. As Figuras 4.17 a 4.19 apresentam imagens obtidas por microscopia das ferramentas de corte utilizadas nos ensaios de rosqueamento. Essas imagens permitem a avaliação visual das condições das arestas de corte após a

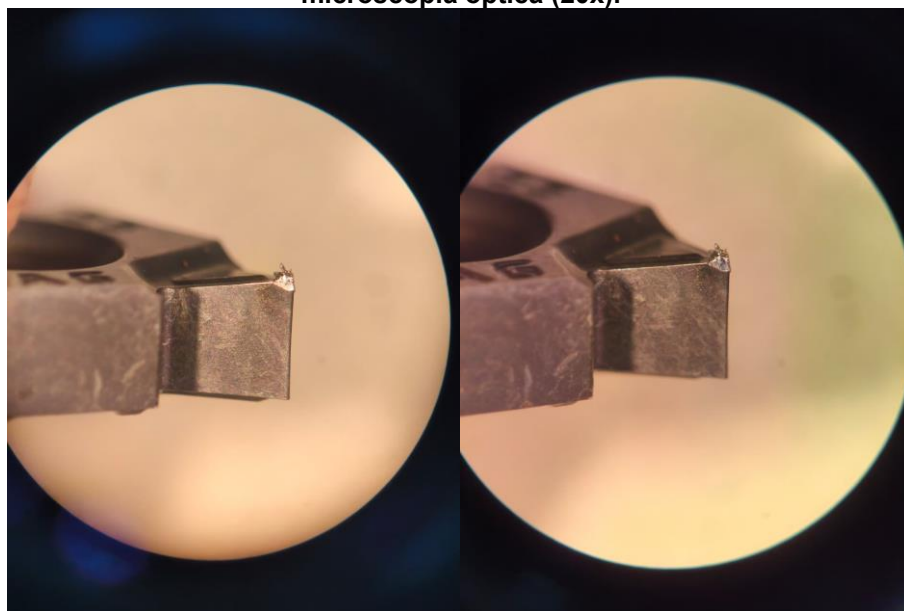
usinagem, possibilitando a identificação de características como desgaste, deformações e demais alterações decorrentes do processo de corte.

Figura 4.17 – Visão superior da ferramenta de corte de perfil parcial Iscar sob microscopia óptica (20x).



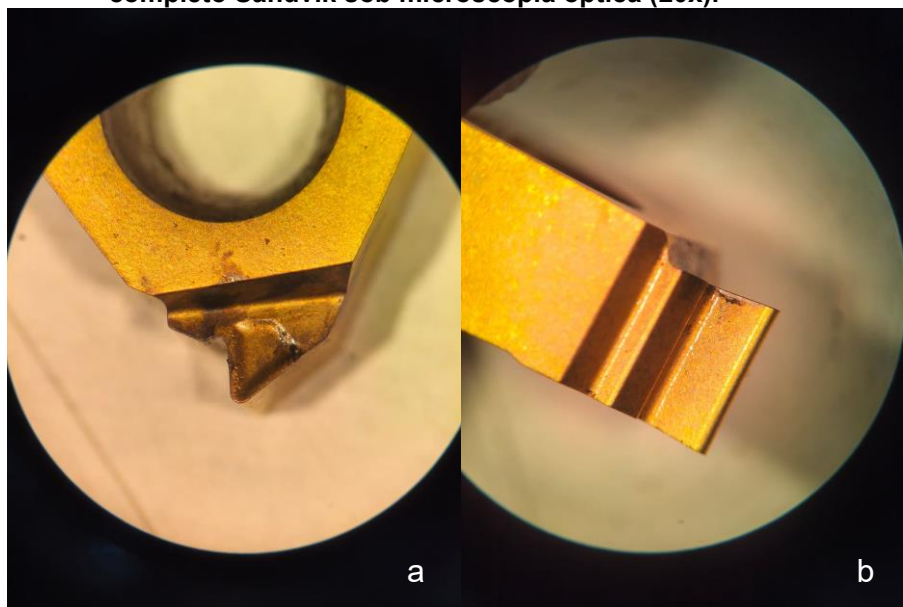
Fonte: Autor (2026)

Figura 4.18 – Visão da aresta de corte da ferramenta de corte de perfil parcial Iscar sob microscopia óptica (20x).



Fonte: Autor (2026)

Figura 4.19 – Visão superior (a) e da aresta de corte (b) da ferramenta de corte de perfil completo Sandvik sob microscopia óptica (20x).



Fonte: Autor (2026)

As análises realizadas por meio das imagens obtidas no microscópio evidenciaram diferenças significativas entre as ferramentas de corte após a execução dos ensaios de rosqueamento. Na ferramenta de perfil parcial, observou-se desgaste evidente da aresta de corte, caracterizado principalmente pela formação de gume postiço, decorrente da adesão de material da peça à superfície ativa da ferramenta. Esse fenômeno altera a geometria original da aresta de corte e pode comprometer a estabilidade do processo, influenciando diretamente a qualidade superficial e a precisão dimensional das roscas produzidas.

Em contrapartida, a ferramenta de perfil completo, revestida com PVD de nitreto de titânio (TiN), não apresentou evidências visíveis de desgaste ou formação de gume postiço após a realização dos ensaios. A aresta de corte manteve sua geometria original, indicando maior resistência ao desgaste e à adesão de material durante o rosqueamento. Esse comportamento pode ser atribuído às características do revestimento PVD TiN, que proporciona maior dureza superficial e reduz o coeficiente de atrito na interface entre ferramenta e peça, contribuindo para a preservação da integridade da ferramenta ao longo do processo. Esses resultados corroboram as observações obtidas durante a análise dimensional e visual das roscas, nas quais as ferramentas de perfil completo apresentaram maior estabilidade e repetibilidade em comparação às ferramentas de perfil parcial.

5 CONCLUSÃO

Com esses resultados obtidos é possível ressaltar algumas observações, a análise dimensional demonstrou que as ferramentas de perfil completo e com revestimento PVD apresentaram melhor desempenho e desgaste mínimo na ferramenta, produzindo roscas com menor conicidade, menor desvio entre as amostras e cristas mais finas. Corroborando com a análise dos cavacos coletados do processo, sendo eles mais uniforme e com coloração mais clara, evidenciando menor esforço durante o rosqueamento. É importante ressaltar que a ferramenta de perfil parcial teve um alto desgaste durante os processos, gerando maiores esforços, constatados pelos cavacos de coloração escura e não uniformes e resultando em desvios dimensionais superiores.

Outra conclusão é que se pode tirar com esses resultados, é que ao comparar os programas utilizados notou-se que no ciclo automático G76 os valores utilizados de profundidade de corte por passe calculados pelo próprio torno CNC tiveram os melhores resultados ao analisar em conjunto a conicidade, o rosqueamento e desvios dimensionais das amostras, com pouca rebarba e superfície lisa. Com isso a decisão de métodos para o rosqueamento em torno CNC pode basear-se em fatores como, tempo do processo, produtividade, repetibilidade, entre outros, já que para ferramentas de corte e programa de rosqueamento mostraram-se as alternativas mais vantajosas, conciliando qualidade dimensional e vida útil da ferramenta de fabricação.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de ensaios complementares, mudança de passo de rosca, assim como mudança do diâmetro nominal.

6 REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André R. de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. 2. ed. Barueri: Manole, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 68-1**: rosca ISO de uso geral — perfil básico — Parte 1: Roscas métricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 261**: rosca métrica ISO de uso geral — plano geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 262**: rosca métrica ISO de uso geral — seleção de dimensões para parafusos, pinos e porcas. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 965-1**: rosca métrica ISO de uso geral — tolerâncias — Parte 1: Princípios e dados básicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013.

ERICH STEMMER, C. **Ferramentas de corte II**. 2. ed. [s.l.: s.n.].

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentos da moderna manufatura: materiais, processos e sistemas**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

JAIN, R. K. **Engineering metrology**. New Delhi: Khanna Publishers, 2009.

KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. **Manufacturing engineering and technology**. 7th ed. Boston: Pearson, 2014.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

PIIPANEN, Veikko. **Theory of formation of metal chips**. *Journal of Applied Physics*, v. 8, n. 12, p. 827–835, 1937.

ROMI S.A. **R69001D: Manual de programação e operação CNC MACH 9**. Santa Bárbara d'Oeste: ROMI S.A., [s.d.]. Manual técnico.

SECO TOOLS. **Thread turning – Technical guide**. Fagersta: Seco Tools AB, 2022.

SANDVIK COROMANT. **Modern metal cutting: a practical handbook.** Sandviken: Sandvik Coromant, 1994.

SANDVIK COROMANT. **Thread turning application guide.** Sandviken: Sandvik Coromant, 2023.

SHAW, Milton C. **Metal cutting principles.** 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005.

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de engenharia mecânica.** 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

STEMMER, C. **Ferramentas de corte I.** , 1993

WALKER, J. R. **Machining fundamentals.** South Holland: Goodheart-Willcox, 2012.

WHITEHOUSE, David J. **Handbook of surface metrology.** Bristol: Institute of Physics Publishing, 2002.

APÊNDICE A – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADO NOS PROCESSOS DE ROSQUEAMENTO

Programa G33 Dados SANDVIK

;G33 Sandvik	N23	M0
N1 G99		
N2 T00	N24	;ROSCA
N3 G54	N25	T00
N4 G0X200.Z150.	N26	M8
N5 T0202	N27	G54
N6 M6	N28	G0X200.Z150.
N7 M8	N29	T0707
N8 M12	N30	M6
N9 G96	N31	M12
N10 S120.	N32	G97
N11 G92 S 3000M3	N33	S3000 M3
N12 G0X22.Z5.	N34	G0X15.Z5.
N13 G74X12.Z-45.I3.F.2U1	N35	;DADOS SANDVIK
N14 G0Z5.	N36	;1° PASSE 10-APX2
N15 G0X6.	N37	G0 X9.54
N16 G1Z0	N38	G33Z-40.K1.5
N17 G1X10.Z-2.F.2	N39	G0X15.
N18 G1Z-45.	N40	G0Z5.
N19 G1X26.	N41	;PASSE 2
N20 T00	N42	G0 X9.16
N21 G54	N43	G33Z-40.K1.5
N22 G0X200.Z150.	N44	G0X15.
N45 G0Z5.		
N46 ;PASSE 3	N66	;CORTE BEDAME
N47 G0 X8.82	N67	T00
N48 G33Z-40.K1.5	N68	G54
N49 G0X15.	N69	G0X200.Z150.
N50 G0Z5.	N70	T0404
N51 ;PASSE 4	N71	M6
N52 G0 X8.54	N72	M12
N53 G33Z-40.K1.5	N73	G96
N54 G0X15.	N74	S100.
N55 G0Z5.	N75	G92 S 2500M3
N56 ;PASSE 5	N76	G0X28.Z-45.
N57 G0 X8.32	N77	G1X-1.5F.08
N58 G33Z-40.K1.5	N78	G0Z0
N59 G0X15.	N79	M0
N60 G0Z5.	N80	;ALIMENTAR BARRA
N61 ;PASSE 6	N81	G0X15.Z30.
N62 G0 X8.12	N82	T00
N63 G33Z-40.K1.5	N83	G54
N64 G0X15.	N84	G0X200.Z150.
N65 G0Z5.	N85	M30

Programa G33 Dados Seco

;G33 SECO

N1 G99
 N2 T00
 N3 G54
 N4 G0X200.Z150.
 N5 T0202
 N6 M6
 N7 M8
 N8 M12
 N9 G96
 N10 S120.
 N11 G92 S 3000M3
 N12 G0X22.Z5.
 N13 G74X12.Z-45.I3.F.2U1
 N14 G0Z5.
 N15 G0X6.
 N16 G1Z0
 N17 G1X10.Z-2.F.2
 N18 G1Z-45.
 N19 G1X26.
 N20 T00
 N21 G54
 N22 G0X200.Z150.
 N23 M0
 N24
 N25 ;ROSCA
 N26 T00
 N27 M8
 N28 G54
 N29 G0X200.Z150.
 N30 T0707
 N31 M6
 N32 M12
 N33 G97
 N34 S3000 M3
 N35 G0X15.Z5.
 N36 ;DADOS SANDVIK
 N37 ;1° PASSE 10-APX2
 N38 G0 X9.56
 N39 G33Z-40.K1.5
 N40 G0X15.
 N41 G0Z5.
 N42 ;PASSE 2
 N43 G0 X9.16
 N44 G33Z-40.K1.5
 N45 G0X15.
 N46 G0Z5.
 N47

N48 ;PASSE 3
 N49 G0 X8.82
 N50 G33Z-40.K1.5
 N51 G0X15.
 N52 G0Z5.
 N53
 N54 ;PASSE 4
 N55 G0 X8.54
 N56 G33Z-40.K1.5
 N57 G0X15.
 N58 G0Z5.
 N59
 N60 ;PASSE 5
 N61 G0 X8.3
 N62 G33Z-40.K1.5
 N63 G0X15.
 N64 G0Z5.
 N65
 N66 ;PASSE 6
 N67 G0 X8.14
 N68 G33Z-40.K1.5
 N69 G0X15.
 N70 G0Z5.
 N71
 N72 ;CORTE BEDAME
 N73 T00
 N74 G54
 N75 G0X200.Z150.
 N76 T0404
 N77 M6
 N78 M12
 N79 G96
 N80 S100.
 N81 G92 S 2500M3
 N82 G0X28.Z-45.
 N83 G1X-1.5F.08
 N84 G0Z0
 N85 M0
 N86 ;ALIMENTAR BARRA
 N87 G0X15.Z30.
 N88 T00
 N89 G54
 N90 G0X200.Z150.
 N91 M30

Programa G33 Dados Mitsubishi

;G33 MITSUBISHI

N1 G99

N2 T00

N3 G54

N4 G0X200.Z150.

N5 T0202

N6 M6

N7 M8

N8 M12

N9 G96

N10 S120.

N11 G92 S 3000M3

N12 G0X22.Z5.

N13 G74X12.Z-45.I3.F.2U1

N14 G0Z5.

N15 G0X6.

N16 G1Z0

N17 G1X10.Z-2.F.2

N18 G1Z-45.

N19 G1X26.

N20 T00

N21 G54

N22 G0X200.Z150.

N23 M0

N24 ;ROSCA

N25 T00

N26 M8

N27 G54

N28 G0X200.Z150.

N29 T0707

N30 M6

N31 M12

N32 G97

N33 S3000 M3

N34 G0X15.Z5.

N35 ;DADOS MITSUBISHI

N36 ;1°PASSE 10-APX2

N37 G0 X9.56

N38 G33Z-40.K1.5

N39 G0X15.

N40 G0Z5.

N41 ;PASSE 2

N42 G0 X9.14

N43 G33Z-40.K1.5

N44 G0X15.

N45 G0Z5.

N46 ;PASSE 3

N47 G0 X8.8

N48 G33Z-40.K1.5

N49 G0X15.

N50 G0Z5.

N51 ;PASSE 4

N52 G0 X8.52

N53 G33Z-40.K1.5

N54 G0X15.

N55 G0Z5.

N56

N57 ;PASSE 5

N58 G0 X8.28

N59 G33Z-40.K1.5

N60 G0X15.

N61 G0Z5.

N62 ;PASSE 6

N63 G0 X8.16

N64 G33Z-40.K1.5

N65 G0X15.

N66 G0Z5.

N67 ;CORTE BEDAME

N68 T00

N69 G54

N70 G0X200.Z150.

N71 T0404

N72 M6

N73 M12

N74 G96

N75 S100.

N76 G92 S 2500M3

N77 G0X28.Z-45.

N78 G1X-1.5F.08

N79 G0Z0

N80 M0

N81 ;ALIMENTAR BARRA

N82 G0X15.Z30.

N83 T00

N84 G54

N85 G0X200.Z150.

N86 M30

Programa G37

N1 ;G37
 N2 G99
 N3 T00
 N4 G54
 N5 G0X200.Z150.
 N6 T0202
 N7 M6
 N8 M8
 N9 M12
 N10 G96
 N11 S120.
 N12 G92 S 3000M3
 N13 G0X22.Z5.
 N14 G74X12.Z-45.I3.F.2U1
 N15 G0Z5.
 N16 G0X6.
 N17 G1Z0
 N18 G1X10.Z-2.F.2
 N19 G1Z-45.
 N20 G1X26.
 N21 T00
 N22 G54
 N23 G0X200.Z100.
 N24 M0
 N25 ;ROSCA
 N26 T00
 N27 G54
 N28 G0X200.Z150.

 N29 T0707
 N30 M6

N31 M12
 N32 G97
 N33 S3000 M3
 N34 G0X15.Z5.
 N35 ;DADOS G37
 N36 G0 X15.Z5.
 N37 G37 X8.05 Z-40. K1.5 E5. D.796
 N38 G0X15.
 N39 G0Z5.

 N40 ;CORTE BEDAME
 N41 T00
 N42 G54
 N43 G0X200.Z100.
 N44 T0404
 N45 M6
 N46 M12
 N47 G96
 N48 S100.
 N49 G92 S 2500M3
 N50 G0X28.Z-45.
 N51 G1X-1.5F.08
 N52 G0Z0
 N53 M0
 N54 ;ALIMENTAR BARRA
 N55 G0X15.Z30.
 N56 T00
 N57 G54
 N58 G0X200.Z100.
 N59 M30

Programa G76

N1 ;G76	N40 ;CORTE BEDAME
N2 G99	N41 T00
N3 T00	N42 G54
N4 G54	N43 G0X200.Z100.
N5 G0X200.Z150.	N44 T0404
N6 T0202	N45 M6
N7 M6	N46 M12
N8 M8	N47 G96
N9 M12	N48 S100.
N10 G96	N49 G92 S 2500M3
N11 S120.	N50 G0X28.Z-45.
N12 G92 S 3000M3	N51 G1X-1.5F.08
N13 G0X22.Z5.	N52 G0Z0
N14 G74X12.Z-45.I3.F.2U1	N53 M0
N15 G0Z5.	N54 ;ALIMENTAR BARRA
N16 G0X6.	N55 G0X15.Z30.
N17 G1Z0	N56 T00
N18 G1X10.Z-2.F.2	N57 G54
N19 G1Z-45.	N58 G0X200.Z100.
N20 G1X26.	N59 M30
N21 T00	
N22 G54	
N23 G0X200.Z100.	
N24 M0	
N25 ;ROSCA	
N26 T00	
N27 G54	
N28 G0X200.Z150.	
N29 T0707	
N30 M6	
N31 M12	
N32 G97	
N33 S3000 M3	
N34 G0X15.Z5.	
N35 ;G76 PROGRAM	
N36 G0 X15.Z5.	
N37 G76 X8.14 Z-40. K1.5 U1.86	
W0.65	
N38 G0X15.	
N39 G0Z5.	