

Desenvolvimento de um programa computacional de rugosidade para suporte ao projeto, fabricação e medição de peças torneadas

Development of a roughness computer program to support the design, fabrication and measurement of turned parts

DOI:10.34117/bjdv7n10-114

Recebimento dos originais: 07/09/2021

Aceitação para publicação: 11/10/2021

Mázio Silva de Araújo

Graduando em Engenharia Mecânica

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE

Av. Professor Luis Freire, 500, Cidade Universitária, Recife - PE

CEP: 50.740-545, Brasil

msa@discente.ifpe.edu.br

José Eduardo Ferreira de Oliveira

Doutor

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE

Av. Professor Luis Freire, 500, Cidade Universitária, Recife - PE

CEP: 50.740-545, Brasil

joseferreira@recife.ifpe.edu.br

Clóvis Góis de Lacerda Filho

Mestre

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE

Av. Professor Luis Freire, 500, Cidade Universitária, Recife - PE

CEP: 50.740-545, Brasil

clovislacerda@recife.ifpe.edu.br

George Marinho do Nascimento

Especialista

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE

Av. Professor Luis Freire, 500, Cidade Universitária, Recife - PE

CEP: 50.740-545, Brasil

georgenascimento@recife.ifpe.edu.br

Nelson Gonçalves da Silva

Mestre

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE

Av. Professor Luis Freire, 500, Cidade Universitária, Recife - PE

CEP: 50.740-545, Brasil

nelsongoncalves@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

Os processos de fabricação necessitam estabelecer parâmetros de rugosidade de acordo com as exigências funcionais das peças. Por outro lado, a expressão do resultado de medição com confiabilidade metrológica requer a determinação da incerteza de medição

de forma realística. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar as etapas de desenvolvimento do programa computacional intitulado RUGOSIDADEV1, o qual foi desenvolvido na linguagem de programação *Visual Basic for Applications* – VBA, com o intuito de dar suporte às operações de torneamento cilíndrico externo, desde a fase de projeto, até a medição. Será ainda apresentada neste trabalho uma aplicação envolvendo as fases de projeto, fabricação e medição de peças torneadas, através da utilização deste programa, comparando os resultados obtidos para o parâmetro R_a , com as especificações e selecionando-se o avanço e o raio de arredondamento da ponta da ferramenta, de acordo com a rugosidade teórica pretendida com base na função da peça (ponta de eixo).

Palavras-chave: Acabamento superficial, Rugosidade, Programa computacional, Torneamento.

ABSTRACT

Manufacturing processes need to establish roughness parameters according to the functional requirements of the parts. On the other hand, the expression of the measurement result with metrological reliability requires the determination of the measurement uncertainty in a realistic way. Within this context, the objective of this work is to present the stages of development of the computational program entitled RUGOSIDADEV1, which was developed in the programming language Visual Basic for Applications - VBA, in order to support external cylindrical turning operations, since the design phase, up to measurement. It will also be presented in this work an application involving the design, manufacturing and measurement phases of turned parts, through the use of this program, comparing the results obtained for the R_a parameter, with the specifications and selecting the feed and the rounding radius of the tool tip, according to the theoretical roughness desired based on the function of the workpiece (shaft tip).

Keywords: Surface finish, Roughness, Computer program, Turning.

1 INTRODUÇÃO

O acabamento superficial de peças torneadas é estabelecido, de acordo com as exigências funcionais das mesmas (MESQUITA, 1992), sendo, portanto, um pré-requisito para os projetistas, não apenas o conhecimento da função da peças, mas também sobre a capacidade de se poder fabricá-la e de se medi-la com confiabilidade metrológica, integrando as três fases de acordo com a estrutura básica de um Sistema de Especificação Geométrica de Produto (GPS – *Geometrical Product Specification*) (FLACK et al., 2005).

A rugosidade é um dos principais parâmetros a serem considerados no projeto de peças, pois possui um impacto direto na qualidade das montagens, representando uma condição de otimização dos parâmetros de usinagem (OLIVEIRA, 1999), de forma que para o processo de torneamento, objetivo deste trabalho, conhecendo-se a rugosidade teórica pretendida, determina-se o avanço, alinhado a uma ferramenta pré-estabelecida, que gerará na superfície, tal rugosidade.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar o programa computacional RUGOSIDADEV1, desenvolvido com base nas normas NBR ISO 4287 (2002) e NBR 8404 (1984), e utilizando a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* – VBA. Ele possui os seguintes módulos:

- ✓ Determinação dos parâmetros teóricos de rugosidade R_a , R_t e R_q , em função do avanço e do raio de arredondamento da ponta da ferramenta para o processo de torneamento;
- ✓ Apresentação das classes de rugosidade;
- ✓ Determinação do *cut off* mínimo em função do parâmetro R_a pretendido;
- ✓ Determinação do resultado de medição com a expressão da incerteza de medição com base no ISO GUM (2008);
- ✓ Determinação do avanço máximo permitido para o processo de torneamento, em função do parâmetro de rugosidade (R_a , R_t ou R_q);
- ✓ Simbologia para indicação do estado das superfícies.

Além de todo o desenvolvimento do programa RUGOSIDADEV1, será apresentada ainda neste trabalho, uma aplicação envolvendo o uso da simbologia no desenho, seleção do avanço ideal e expressão do resultado de medição, utilizando o programa em uma ponta de eixo de aço ABNT 1020.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PARÂMETRO R_A

Este parâmetro, intitulado desvio médio aritmético de rugosidade ou valor médio de rugosidade, é definido como sendo a média aritmética do valor absoluto das ordenadas (Y) do perfil de rugosidade, dentro do comprimento de medição (l_m), tomando-se como referência a linha média (OLIVEIRA, 2009). Para a operação de torneamento cilíndrico externo, este parâmetro se relaciona com o avanço (f) e com o raio de arredondamento da ponta da ferramenta (r_e), através da Eq. (1) (CASSIER, 1986) e da Eq. (2) (PRASAD, 1997).

$$R_a = \frac{f^2}{31.r_e} \quad (1)$$

$$R_a = \frac{f^2}{18 \cdot \sqrt{3} \cdot r_e} \quad (2)$$

2.2 PARÂMETRO R_T

A rugosidade total máxima é definida como a distância entre o pico mais elevado e o vale mais profundo do comprimento medido de um perfil de rugosidade (ARAÚJO et al., 2020). Para a operação de torneamento cilíndrico externo, a Eq. (3) apresenta uma relação deste parâmetro com o avanço e com o raio de arredondamento da ponta da ferramenta (BRAMMERTZ, 1961; KÖNIG, 1984; TOOL AND MANUFACTURING ENGINEERS HANDBOOK, 1983).

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_e} \quad (3)$$

2.3 PARÂMETRO R_Q

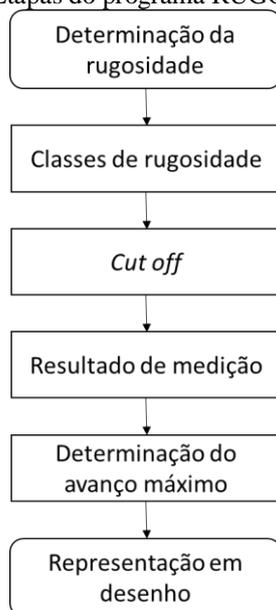
O desvio médio quadrático ou RMS (*Root Mean Square*) é definido como sendo a raiz quadrada da média dos quadrados das amplitudes do perfil em relação à linha média. Para a operação de torneamento cilíndrico externo, está relacionado com o avanço e com o raio de arredondamento da ponta da ferramenta, conforme apresentado na Eq. (4) (FERRARESI, 1977).

$$R_q = 1,05 \text{ a } 1,01 \cdot R_a \quad (4)$$

3 ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL RUGOSIDADEV1

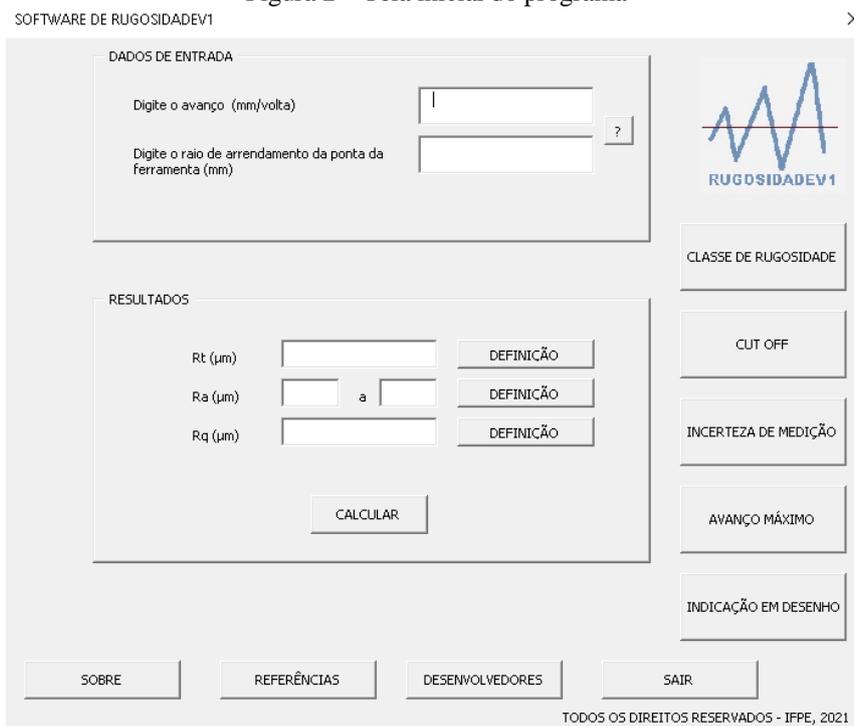
O programa RUGOSIDADEV1 foi desenvolvido na linguagem de programação VBA, podendo ser utilizado em qualquer computador que tenha instalado o *Microsoft Office*. A sua estrutura está apresentada no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Etapas do programa RUGOSIDADEV1



Todas as funções são acessadas diretamente a partir da tela inicial, conforme Figura 2. Nela, verifica-se, inicialmente, que a opção apresentada se refere ao cálculo dos parâmetros R_t , R_a e R_q , inserindo-se um avanço e um raio de arredondamento da ponta da ferramenta, bastando para tal, se clicar no botão CALCULAR. Nesta opção, é apresentada a definição de cada um dos três parâmetros. Para o parâmetro R_a são obtidos os dois valores, descritos nas Eqs. (1) e (2)

Figura 2 – Tela inicial do programa



Em seguida, ao se clicar no botão CLASSE DE RUGOSIDADE, será aberta a tela, conforme Figura 3, que apresenta as 12 classes de rugosidade (GUIMARÃES, 1999). Ao se clicar, por exemplo na classe N10, aparecerá o valor do parâmetro R_a que corresponde a essa classe, conforme Figura 4.

Figura 3 – Tela referente às classes de rugosidade

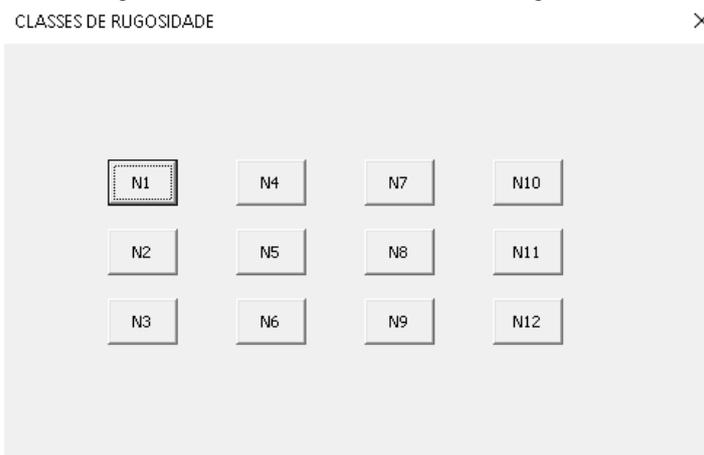
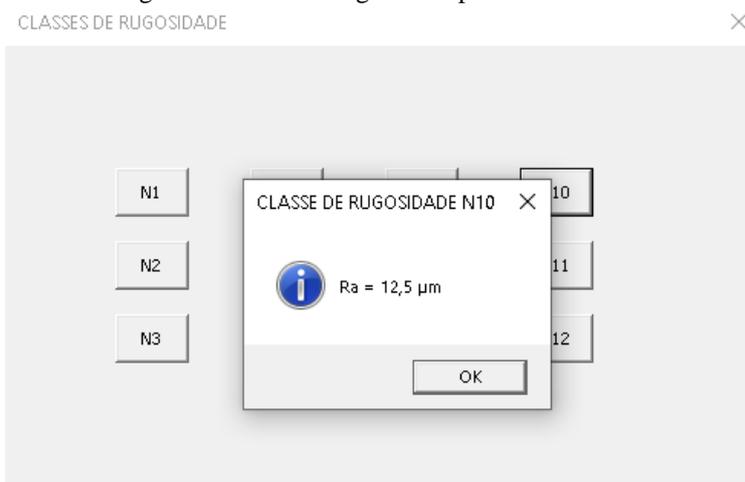
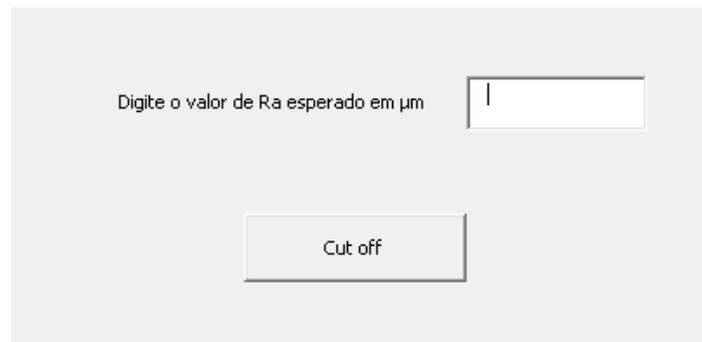


Figura 4 – Valor de rugosidade para a classe N10



Ao se clicar no botão *cut off*, será aberta a tela da Figura 5, onde o usuário insere o valor do R_a esperado e o programa apresenta quatro possíveis valores mínimos de *cut off*: 0,25 mm, 0,80 mm, 2,50 mm e 8,00 mm (MARCHIORI, 2013).

Figura 5 – Tela do programa para determinação do mínimo *cut off*
INDICAÇÃO DO CUT OFF



A etapa seguinte, diz respeito à determinação da incerteza expandida de medição, bem como da apresentação do resultado da medição de rugosidade, independentemente do parâmetro. Para a determinação dessa incerteza (ISO GUM 2008) foram consideradas três fontes de incerteza de medição (ARAUJO et al., 2021; SOUSA et al., 2013):

- ✓ Incerteza estatística (tipo A);
- ✓ Incerteza herdada do rugosímetro (tipo B);
- ✓ Incerteza da resolução do rugosímetro (tipo B).

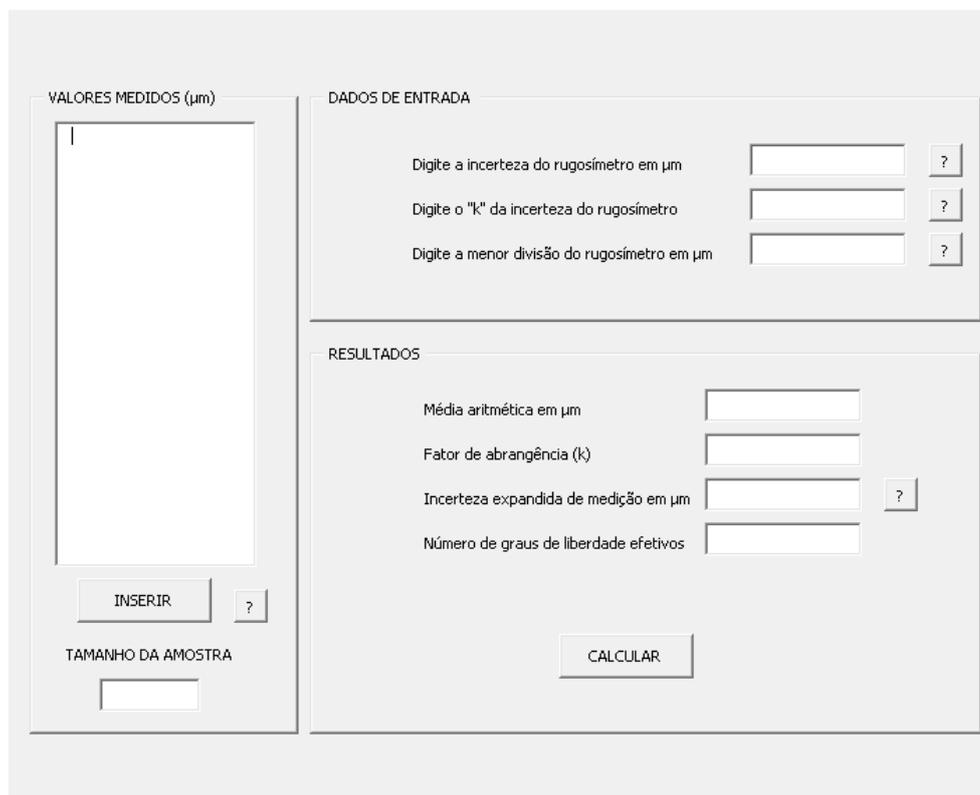
A incerteza expandida de medição (U) é calculada pelo programa, multiplicando a incerteza combinada, por um fator de abrangência (k), fornecendo assim, um nível de confiança de aproximadamente 95%. A Figura 6 apresenta a tela referente ao cálculo da incerteza de medição.

As etapas que o programa utiliza para o cálculo da incerteza expandida de medição são:

- ✓ Atribuir uma distribuição probabilística para cada uma das três fontes de incerteza padrão;
- ✓ Determinar a incerteza combinada com aproximadamente 68% de confiabilidade;
- ✓ Determinar o número de graus de liberdade efetivos;
- ✓ Determinar o fator de abrangência k , utilizando a distribuição *t-Student*;
- ✓ Determinar a incerteza expandida de medição.

Para utilização deste módulo, o usuário deverá inserir a incerteza do rugosímetro com o fator de abrangência dessa incerteza. Ambos os parâmetros são obtidos do último certificado de calibração do rugosímetro. Deverá ainda inserir o valor da menor divisão do rugosímetro. Caso o mesmo seja analógico, a menor divisão deverá ser multiplicada por dois. À fonte de incerteza padrão referente à resolução do rugosímetro, é atribuída a distribuição de probabilidade retangular ou uniforme. O programa comporta até mil valores medidos, onde os mesmos poderão ser inseridos manualmente ou copiados e colados. Como resultados, ele apresenta os seguintes dados: média aritmética das indicações, incerteza expandida de medição, fator de abrangência associado à esta incerteza e o número de graus de liberdade efetivos, calculado pela fórmula de *Welch-Satterthwaite* (ISO GUM, 2008).

Figura 6 – Tela do programa para determinação da incerteza expandida de medição
INCEZTA DE MEDIÇÃO



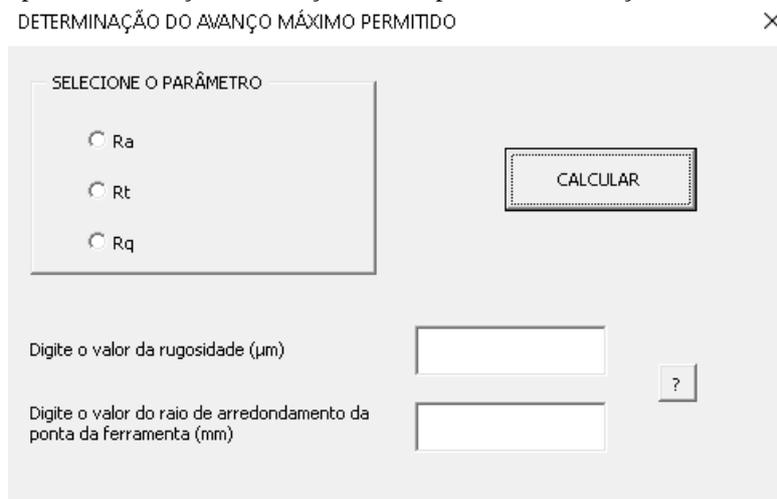
The screenshot shows a software window titled "INCEZTA DE MEDIÇÃO" with a close button (X) in the top right corner. The interface is divided into several sections:

- VALORES MEDIDOS (μm):** A large text area for entering measured values. Below it is an "INSERIR" button with a help icon (?) and a "TAMANHO DA AMOSTRA" input field.
- DADOS DE ENTRADA:** Three input fields with corresponding help icons:
 - Digite a incerteza do rugosímetro em μm
 - Digite o "k" da incerteza do rugosímetro
 - Digite a menor divisão do rugosímetro em μm
- RESULTADOS:** Four output fields:
 - Média aritmética em μm
 - Fator de abrangência (k)
 - Incerteza expandida de medição em μm (with a help icon ?)
 - Número de graus de liberdade efetivos
- A "CALCULAR" button is located at the bottom right of the results section.

Ao clicar no botão AVANÇO MÁXIMO na tela inicial do programa, será aberta a tela da Figura 7, cujo objetivo consiste na determinação do avanço ideal em função do acabamento superficial para o torneamento cilíndrico externo. Para tal, o usuário deverá, inicialmente, selecionar um dos parâmetros de rugosidade (R_a , R_t ou R_q), digitar o valor da rugosidade, digitar o valor do raio de arredondamento da ponta da ferramenta e acionar

o botão CALCULAR. Com relação ao avanço máximo utilizado no processo de torneamento, vale ressaltar que o valor obtido geralmente é comparado com o avanço máximo permitido em função da espessura de corte (JUNIOR, 1995) e o menor valor entre eles é o adotado.

Figura 7 – Tela para determinação do avanço máximo permitido em função do acabamento superficial



DETERMINAÇÃO DO AVANÇO MÁXIMO PERMITIDO

SELECIONE O PARÂMETRO

Ra

Rt

Rq

CALCULAR

Digite o valor da rugosidade (μm)

Digite o valor do raio de arredondamento da ponta da ferramenta (mm)

?

A próxima opção do programa diz respeito à simbologia empregada para a indicação de rugosidade de superfícies em desenhos, conforme apresentado na Figura 8. As Figuras 9 a 18 apresentam as telas para cada uma das opções de indicação do estado das superfícies. As mesmas aparecerão ao se clicar em um dos botões. Com relação à indicação do processo de fabricação, a simbologia pode indicar tanto um processo de fabricação quanto um tratamento superficial, como por exemplo, uma superfície que foi cromada. O programa apresenta ainda o botão SOBRE, informando sobre o propósito do mesmo, um botão DESENVOLVEDORES e um botão apresentando as referências bibliográficas utilizadas.

Todas as etapas do programa que apresentam dados numéricos foram devidamente validadas, através de cálculos utilizando calculadora, e comparando-os com os valores gerados pelo RUGOSIDADEV1.

Figura 8 – Simbologia para indicação do estado das superfícies



Figura 9 – Indicação do símbolo básico

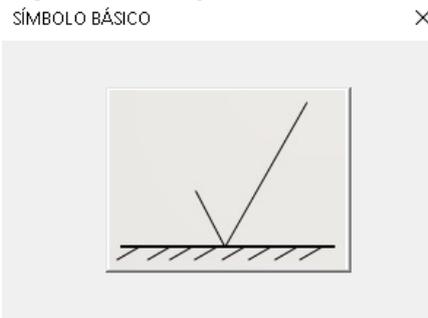


Figura 10 – Indicação quando se tem remoção de material na superfície



Figura 11 – Indicação quando a remoção de material não é permitida

SUPERFÍCIE SEM REMOÇÃO DE MATERIAL X

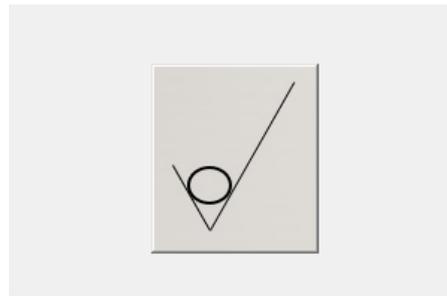


Figura 12 – Indicação do valor da rugosidade

INDICAÇÃO DO VALOR DA RUGOSIDADE X

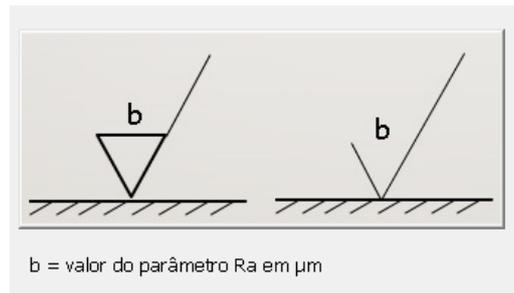


Figura 13 – Indicação dos valores máximo e mínimo da rugosidade

INDICAÇÃO DOS VALORES MÁXIMO E MÍNIMO X

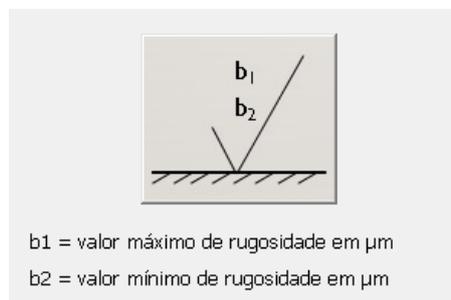


Figura 14 – Indicação do processo de fabricação

INDICAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO X

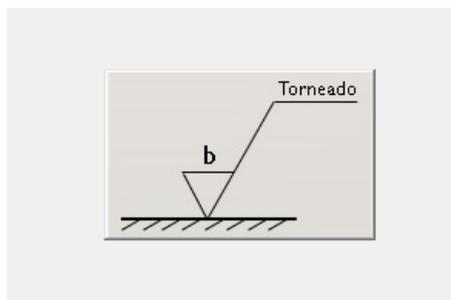


Figura 15 – Indicação do comprimento de amostragem

INDICAÇÃO DO COMPRIMENTO DE AMOSTRAGEM ✕

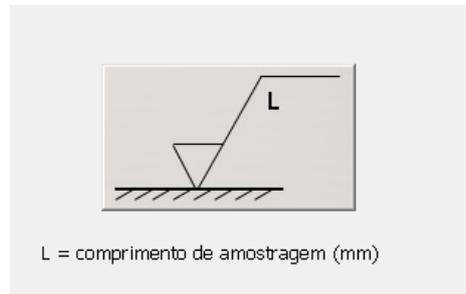


Figura 16 – Indicação da orientação dos sulcos

INDICAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DOS SULCOS ✕

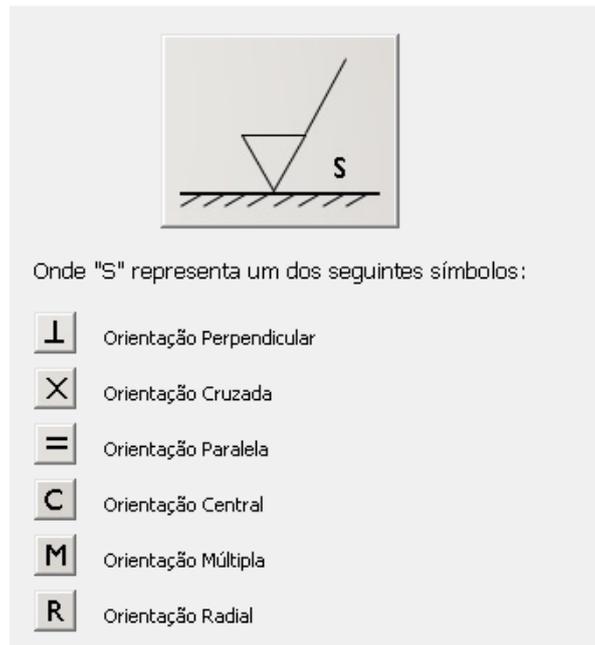


Figura 17 – Indicação de sobremetal para usinagem

INDICAÇÃO DE SOBREMETAL PARA USINAGEM ✕

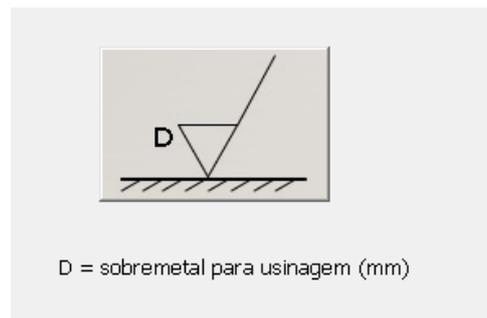
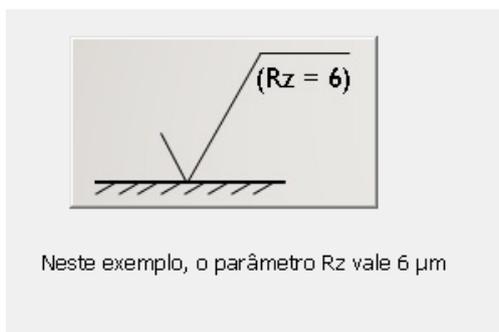


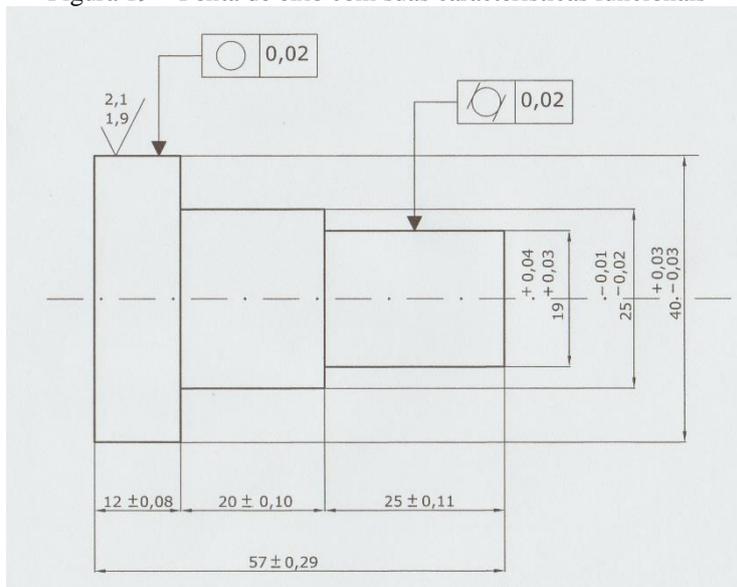
Figura 18 – Indicação de parâmetro diferente de R_a
INDICAÇÃO DE PARÂMETRO DIFERENTE DE R_a ✕



4 RESULTADOS

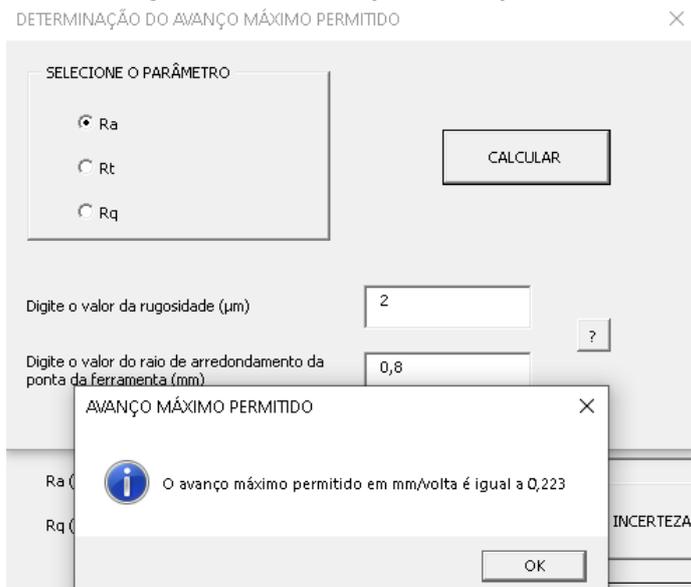
A fim de apresentar o funcionamento do software, será utilizada uma ponta de eixo de aço ABNT 1020, conforme Figura 19, cuja superfície do maior diâmetro deverá possuir uma rugosidade nominal de 2,1 µm, com valor mínimo igual a 1,9 µm e valor máximo de 2,1 µm. Assim, a indicação da rugosidade deverá ser representada, conforme Figura 13.

Figura 19 – Ponta de eixo com suas características funcionais



Foram fabricadas três peças em um torno CNC, utilizando uma ferramenta de metal duro quadrada, referência DCMT 11T3 08 – UR, e porta ferramenta referência SDJCR 2525 M11, com raio de arredondamento de ponta igual a 0,8 mm. Desta forma, utilizando o módulo do programa para determinação do avanço ideal, a Figura 20 apresenta o resultado gerado.

Figura 20 – Determinação do avanço ideal



Para a medição das peças foi utilizado um rugosímetro com as seguintes características:

- ✓ Menor divisão = 0,0001 μm ;
- ✓ Incerteza expandida = 0,0220 μm ;
- ✓ Fator de abrangência $k = 2$.

A Figura 21 apresenta a medição da rugosidade da peça, enquanto a Tabela 1 apresenta os três valores medidos em cada uma das três peças (OLIVEIRA, 2009). Aplicando-se o teste de *Anderson-Darling* (ARNASTAUSKAITE et al., 2021), conforme Figuras 22, 23 e 24, verificou-se, através do *valor-p*, normalidade nas três amostras de peças para uma confiabilidade de 95%.

Figura 21 – Realização da medição de rugosidade (OLIVEIRA, 2009)

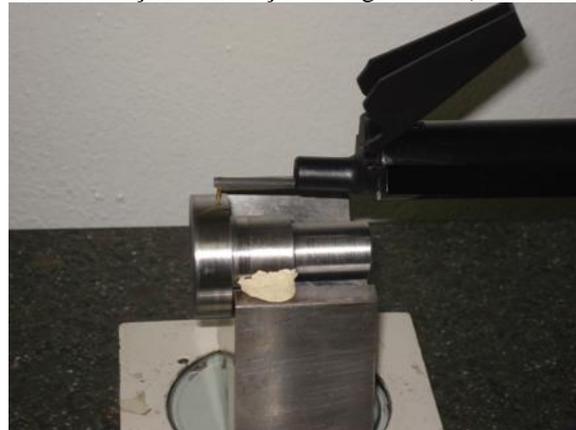


Tabela 1: Valores medidos do parâmetro R_a

Peça	Medições (μm)		
	x_1	x_2	x_3
1	2,8525	2,7499	2,7628
2	2,4254	2,2837	2,2519
3	1,9067	1,9016	1,8984

Figura 22 – Teste de *Anderson-Darling* para as medições da peça 1

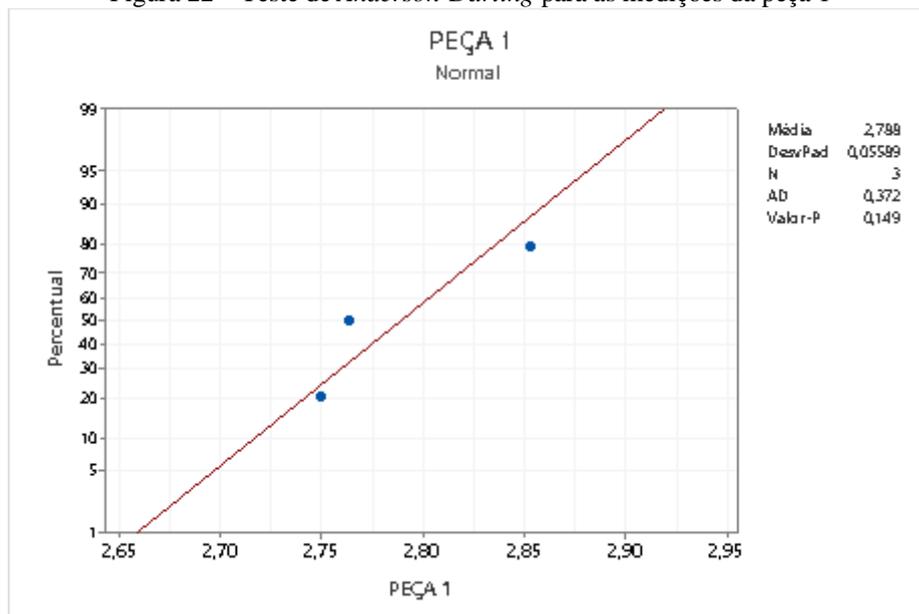


Figura 23 - Teste de *Anderson-Darling* para as medições da peça 2

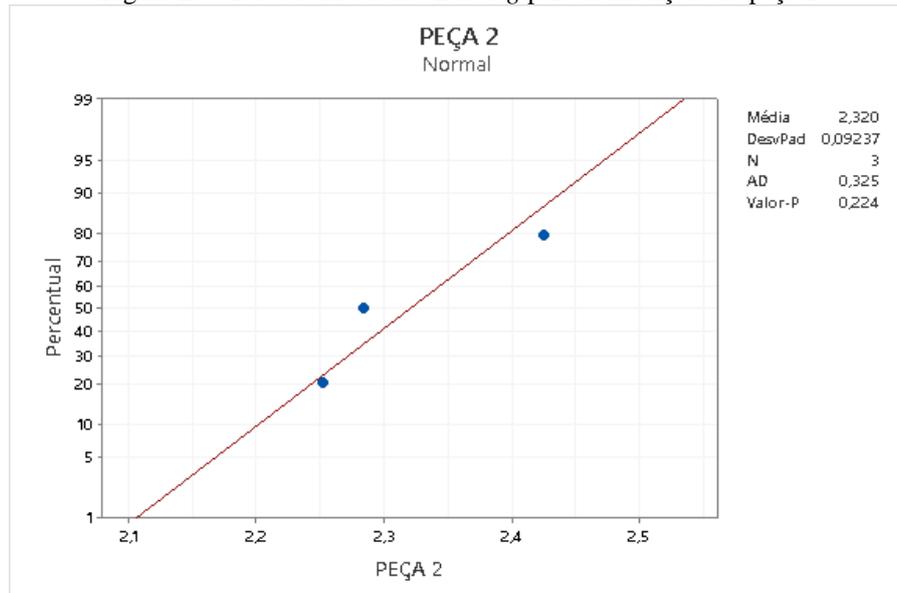
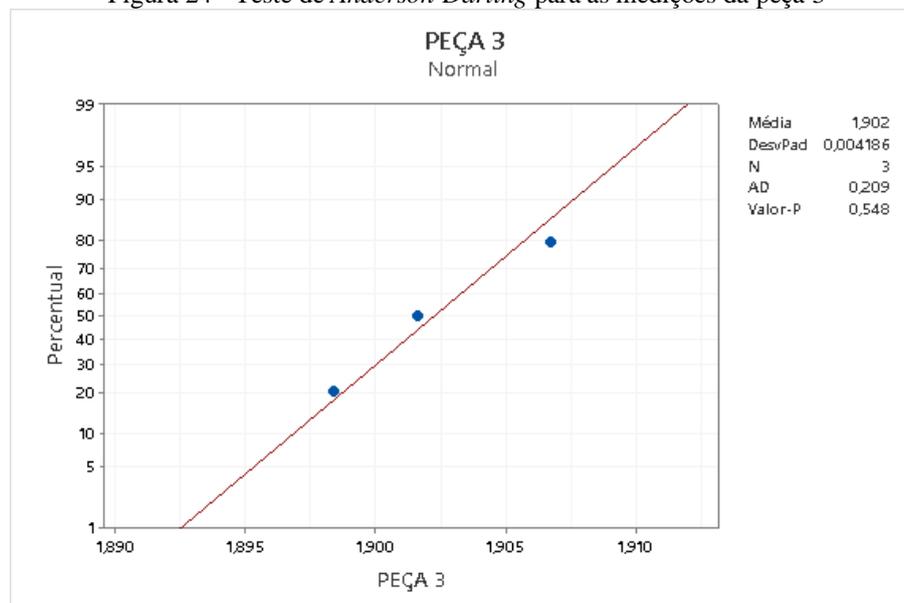


Figura 24 - Teste de *Anderson-Darling* para as medições da peça 3



Utilizando-se o módulo de incerteza de medição do RUGOSIDADEV1, conforme exemplo da Figura 25 para a peça 1, a Tabela 2 apresenta os valores de incerteza de medição para cada uma das peças.

Figura 25 – Determinação da incerteza de medição para a peça 1

INCERTEZA DE MEDIÇÃO X

VALORES MEDIDOS (μm)

2,8525
2,7499
2,7628

INSERIR ?

TAMANHO DA AMOSTRA

3

DADOS DE ENTRADA

Digite a incerteza do rugosímetro em μm ?

Digite o "k" da incerteza do rugosímetro ?

Digite a menor divisão do rugosímetro em μm ?

RESULTADOS

Média aritmética em μm

Fator de abrangência (k)

Incerteza expandida de medição em μm ?

Número de graus de liberdade efetivos

CALCULAR

Tabela 2: Valores da média aritmética e incerteza de medição de R_a

Peça	Média aritmética (μm)	Incerteza expandida de medição (μm)	Fator de abrangência (k)	Número de graus de liberdade efetivos
1	2,78840	0,15431	4,53	2,49193
2	2,32033	0,24648	4,53	2,17380
3	1,90223	0,02255	2,00	943,11541

A Figura 26 apresenta o *boxplot* dos valores medidos, enquanto a Figura 27 apresenta o gráfico da média e incerteza de medição para cada peça. Ambas as figuras apresentam os limites de especificação de rugosidade, representados por linhas vermelhas.

Figura 26 – Boxplot obtido através do Minitab 19

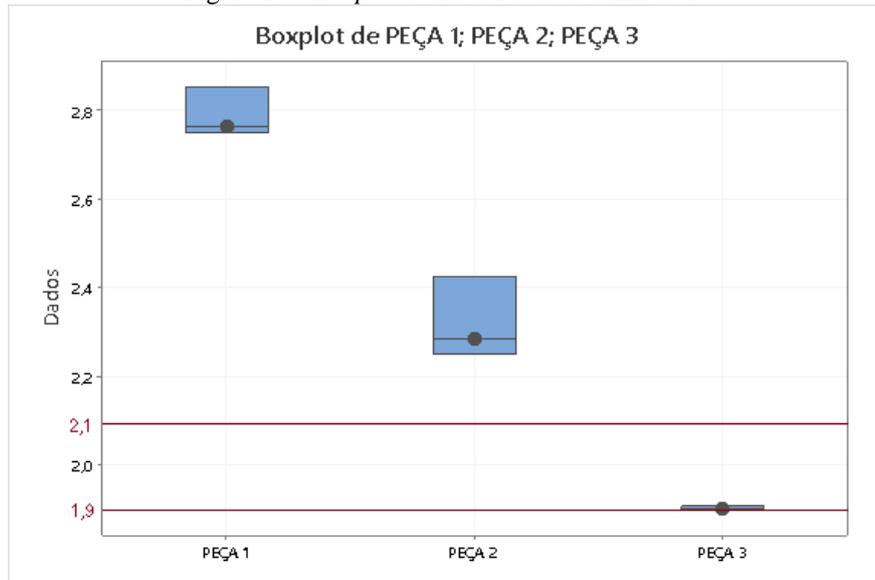
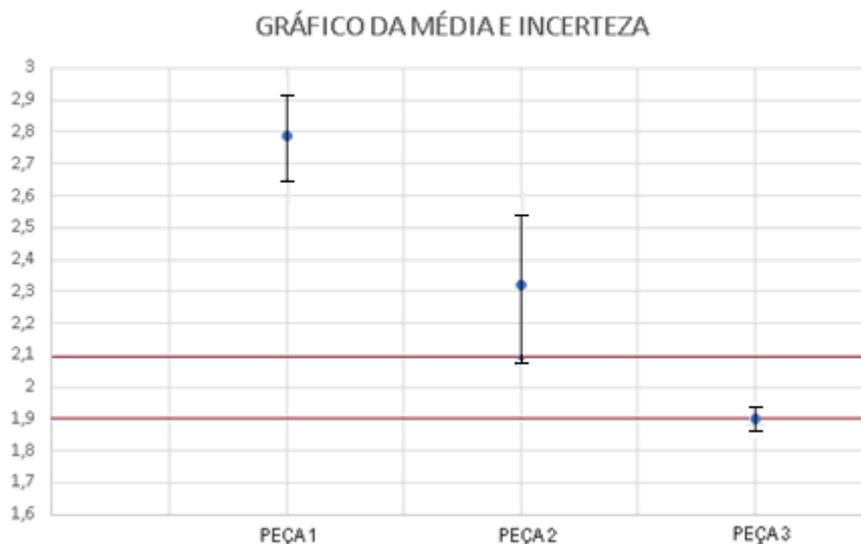


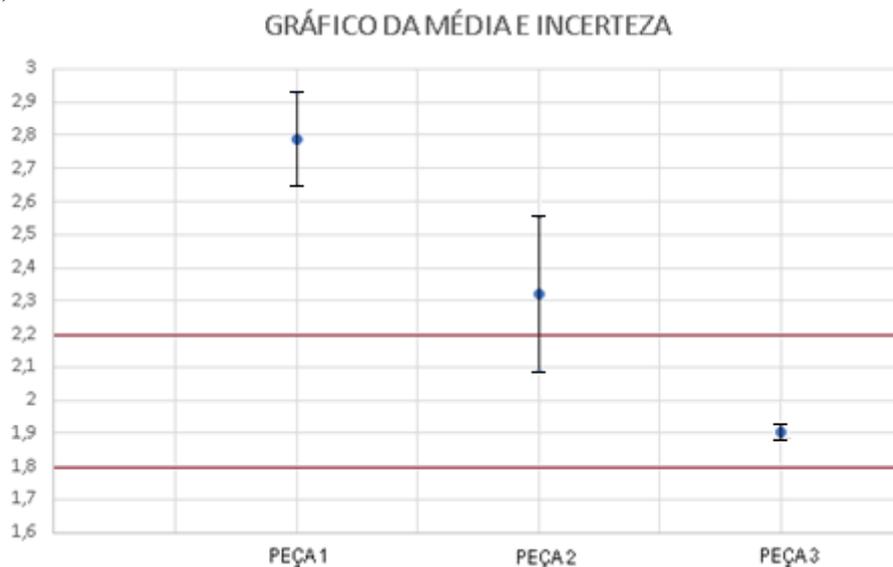
Figura 27 – Apresentação da média e da incerteza de medição para as medições em cada peça (tolerância de 0,2 μm)



Analisando-se os dois gráficos, e considerando-se apenas a média das indicações, somente a peça 3 se enquadra nos limites de especificação. No entanto, ao se considerar a incerteza expandida de medição, há uma possibilidade de que o valor verdadeiro do parâmetro R_a para a peça 3 se encontre fora dos limites de especificação. Caso a tolerância da rugosidade fosse de 0,4 μm ao invés de 0,2 μm , a peça 3 estaria aprovada, pois toda a faixa de incerteza estaria dentro dos limites de especificação, conforme mostrado na Figura 28. Mesmo assim, as peças 1 e 2 continuariam reprovadas, mesmo a peça 2 apresentando a possibilidade de que o valor verdadeiro se encontre dentro dos limites de especificação, uma vez que parte da zona de dúvida (incerteza) se encontra dentro do intervalo de especificação.

Através de ambos os gráficos, percebe-se ainda que a peça 2 apresentou a maior dispersão dos resultados, enquanto a peça 3 apresentou a menor.

Figura 28 – Apresentação da média e da incerteza de medição para as medições em cada peça (tolerância de 0,4 μm)



5 CONCLUSÕES

O RUGOSIDADEV1 alinhou em uma única ferramenta, um conjunto de módulos que agrega confiabilidade ao tratamento da rugosidade, desde a representação da mesma em desenhos, até o cálculo da incerteza de medição pelo método analítico.

O cálculo da incerteza de medição é imprescindível para a tomada de decisão no tocante à aceitação ou rejeição do acabamento superficial gerado, com base nas exigências funcionais da superfície. Mesmo havendo uma probabilidade pequena de que o valor verdadeiro da peça 3 se encontre fora dos limites de especificação, a mesma deverá ser considerada e, portanto, a peça também deverá ser reprovada neste sentido. Para que a superfície seja aprovada, toda a faixa de incerteza deverá estar localizada dentro dos limites de especificação.

É importante salientar que os resultados de medição obtidos, são dependentes das condições de corte utilizadas no torneamento (velocidade de corte, profundidade de corte, utilização ou não de fluido de corte, do avanço e da ferramenta e porta ferramenta utilizados), do número de medições realizadas, das características e condições do rugosímetro (incerteza herdada, repetibilidade, exatidão, menor divisão), do metrologista, das condições ambientais (temperatura, umidade relativa do ar), do sistema de fixação da peça e do rugosímetro, do estado da superfície (sujeira, oxidação), da correção dos erros

sistemáticos, das fontes de incerteza de medição utilizadas e da distribuição de probabilidade adotada em cada fonte de incerteza do tipo B.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. C.; MOUGO, A. L.; CAMPOS, F. O. Usinagem para engenharia: um curso de mecânica do corte. 1 ed., Rio de Janeiro: E-papers, 2020.

ARAÚJO, M. S.; OLIVEIRA, J. E. F.; FILHO, C. G. L.; NASCIMENTO, G. M.; SILVA, N. G.; SOARES, A. M. F. Estudo da influência da medição do raio de arredondamento da ponta da ferramenta no acabamento superficial de peças torneadas. *Brazilian Journal of Development*, v.7, n.2, Curitiba, 2021.

ARNASTAUSKAITE, J.; RUZGAS, T.; BRAZENAS, M. An Exhaustive Power Comparison of Normality Tests. *Mathematics* 2021, 9, 788.

BRAMMERTZ, P. H. Die Entstehung der Oberflächenrauheit beim Feindreihen. Bericht aus dem Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der TH Aachen, 1961.
CASSIER, Z. Critérios de optimización de parâmetros de corte en el torneado de piezas utilizando sistemas CAD-CAM. Departamento de Mecânica – Universidad Simón Bolívar, Caracas, 1986.

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1977.

FLACK, D.; BEVAN, K. “Fundamental good practice in the design and interpretation of engineering drawings for measurement processes”. National Physical Laboratory, Middlesex, July, 2005. ISSN 1368-6550.

GUIMARÃES, V. A. Controle dimensional e geométrico: Uma introdução à metrologia dimensional. EDIUPF, Passo Fundo, 1999.

ISO GUM (2008), Avaliação de dados de Medição - Guia para a expressão de incerteza de medição, 1ª edição brasileira.

JUNIOR, R. S. U. R. Determinação das condições otimizadas de usinagem com aplicação em torneamento. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

KÖNIG, W. Fertungsverfahren, vol. 1, p. 178 – VDI – Verlag gmbH – Düsseldorf, 1984.
MARCHIORI, M. M. Estudo de um sistema de medição a laser na análise da textura da superfície gerada por torneamento. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MESQUITA, N. G. M. M. Avaliação e escolha de uma superfície segundo sua função e fabricação. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1992.

NBR 8404. Indicação do estado de superfície em desenhos técnicos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1984.

NBR ISO 4287. Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2002.

OLIVEIRA, J. E. F. Desenvolvimento de um programa computacional para a integração de dados de projeto, fabricação e medição de peças torneadas com ênfase na síntese de tolerâncias dimensionais determinísticas. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Recife, 2009.

OLIVEIRA, J. E. F. Otimização de processos de fabricação por usinagem via programação linear. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Recife, 1999.

PRASAD, A. Optimal selection of process for turning operation in CAPP system. Taylor and Francis Ltd, International Journal of Product Research, vol. 3, issue 6, pp. 1495-1522, London, 1997.

SOUSA, J. A. G.; SANTOS, A. F. M.; NASCIMENTO, C. G.; SOUSA, M. N.; MACHADO, A. R. Avaliação da rugosidade superficial dos furos usinados com ferramentas de metal duro reafiadas. 7^o Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Penedo, 2013.

TOOL AND MANUFACTURING ENGINEERS HANDBOOK. Society of manufacturing engineers. Volume 1, Machining, Fouth Edition, Michigan, 1983.