

METODOLOGIA ANALÍTICA PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CORTE TOTAL EM PROCESSOS DE DESBASTE DE PEÇAS CILÍNDRICAS

Adalto de Farias, afarias@fei.edu.br¹

¹ Centro Universitário da FEI, Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972 – 09580.901, São Bernardo do Campo, SP, Brasil

Resumo: Este artigo apresenta uma metodologia analítica para determinação do tempo de corte total em processos de desbaste de peças cilíndricas com geometrias variadas. Utilizando conceitos do cálculo integral analítico, um conjunto de equações que auxiliam na determinação do tempo de corte para o desbaste em torneamento é apresentado. O método proposto leva em conta o emprego de uma rotação constante para determinação do tempo de corte total. Afim de se atestar o método proposto, foram empregadas validações utilizando simulações com softwares de manufatura e ensaios práticos em um torno CNC. A inspiração para o desenvolvimento de tal método alternativo baseou-se em recentes publicações, que afirmam a carência em nossa literatura técnica do ramo de manufatura. A realização de estimativas para o processo de usinagem é uma etapa muito importante, muitas vezes complexa devido a diversidade de parâmetros envolvidos, mas imprescindível para a correta escolha e otimização da etapa de produção. Uma vez colocado em produção, um planejamento bem ou mal executado refletirá seu resultado ao término da produção, onde os apontamentos reais serão confrontados com as estimativas iniciais. De fato, dada a carência de literatura de métodos para tais estimativas analíticas, invariavelmente durante um planejamento manual de processos de fabricação, utilizam-se hipóteses simplificadoras que geralmente inferem erros consideráveis nas estimativas finais. A demonstração do método aqui proposto também tem seu valor quando empregada nos cursos de graduação em engenharia mecânica e afins, especificamente como demonstração da aplicabilidade de ferramentas básicas da disciplina de cálculo normalmente apresentadas ao estudante nas fases iniciais de curso. A metodologia analítica apresentada neste trabalho para o cálculo do comprimento total de corte no desbaste e tempo de corte total no desbaste, se mostrou consistente e passível de ser empregada como alternativa para geração de estimativas de tempos de produção.

Palavras-chave: Tempo de usinagem, planejamento do processo, simulação CAM, torneamento

1. INTRODUÇÃO

O método aqui apresentado é uma metodologia analítica para determinação de uma estimativa do tempo de corte total em processos de desbaste de peças cilíndricas com geometrias variadas. Segundo Coppini et al. (2015) é escassa a literatura versando sobre metodologias que tratam da determinação do tempo de corte em usinagem. Em geral os artigos publicados sobre cálculo do tempo de corte, referem-se ao tempo de produção. Ou seja, são artigos que estão preocupados com o ciclo de produção por peças ou por lotes de peças.

Em recente publicação, Coppini (2015) apresenta de forma didática como a indústria aborda os conceitos de planejamento de produção. Em seu trabalho aponta sugestões de como tornar a sua produtividade mais enxuta e competitiva, face aos novos desafios globais.

Diante deste quadro instigante, foi proposta uma metodologia que pode servir de complemento para auxílio na estimativa dos tempos de corte quando em processos de desbaste no torneamento. Para uma dada geometria (Figura 1) de peça constituída de formas variadas, calcular o tempo de corte no processo de desbaste partindo de uma barra cilíndrica bruta, sem o auxílio de um software de CAD ou de CAM é uma tarefa bem complicada.



Figura 1. Geometria para estudo de estimativa de tempo de corte.

A Figura 2 apresenta uma condição de simulação para estimativa dos movimentos da ferramenta em uma condição de desbaste. Para um valor de profundidade de corte a_p qualquer teremos a divisão de n passadas da ferramenta em diâmetros progressivamente menores e distintos da peça. No caso da Figura 2 o resultado serão n

movimentos da ferramenta em comprimentos de corte lc , distintos, dado o fato do desenho da peça ser constituído de figuras geométricas diversas cilíndricas e não cilíndricas. As linhas contínuas verdes representam o movimento da ferramenta em velocidade de corte e as linhas tracejadas em vermelho representam o movimento de retorno da ferramenta na velocidade de avanço do eixo máxima disponível para a máquina.

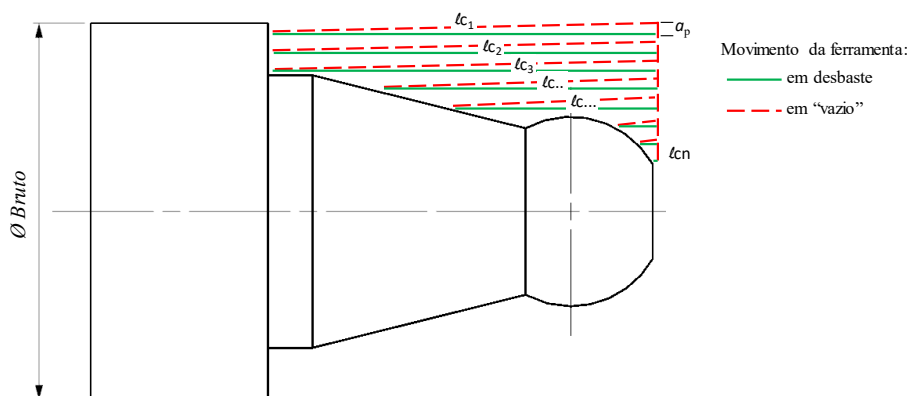


Figura 2. Simulação dos movimentos da ferramenta de corte no desbaste.

A realização de estimativas para o processo de usinagem é uma etapa importante e muitas vezes complexa devido à diversidade de parâmetros envolvidos. No entanto é uma tarefa imprescindível para a escolha e otimização das etapas envolvidas no processo de produção, como exemplo podemos citar a geração dos orçamentos para os setores de venda, tempos de fabricação para os setores de planejamento e controle da produção e previsão de consumo de ferramentas para o lote. Uma vez colocado em produção, um planejamento bem ou mal feito refletirá seu resultado somente após o término da produção, onde os resultados apontados serão confrontados com as estimativas iniciais.

Dada a carência de literatura apontada por Coppini et al. (2015) de métodos para estimativas analíticas, invariavelmente durante um planejamento de processos de fabricação, utilizamos hipóteses simplificadoras que geralmente inferem erros consideráveis nas estimativas finais. Quando disponíveis na empresa, recorreremos a softwares ou planilhas eletrônicas que nem sempre levam em conta todas as variáveis do processo ou geometrias da peça.

Tomando como base o trabalho apresentado por Gonçalves (2014), onde ele apresenta seu conceito do “Teorema usando a área do cavaco removido”, este mostra muito prático e funcional para geometrias cilíndricas, porém esbarra em um problema: quando a figura geométrica que entra na composição do desenho da peça não é um cilindro, ele começará a perder precisão em função dos arredondamentos impostos pelas hipóteses de simplificação.

Expandido o conceito para uma forma geral, obtivemos as equações para o cálculo do tempo de corte para qualquer figura geométrica regular que entre no desenho da peça. Utilizados os conceitos do cálculo integral analítico, um conjunto de equações que auxiliam na determinação do tempo de corte para o desbaste em torneamento foi apresentado. O método proposto leva em conta o emprego de rotação constante para determinação do tempo de corte total.

2. METODOLOGIA ANALÍTICA

A peça da Figura 2 foi constituída pela composição de três geometrias distintas: uma semiesfera na ponta, um cone na região central e um curto trecho cilíndrico. Foi desconsiderada a região do diâmetro bruto, trecho cilíndrico final, pois esta parte foi usada como região para fixação da peça na placa do torno. Observa-se pela figura que os comprimentos de corte lc não são iguais. Com exceção do trecho cilíndrico, onde os comprimentos de corte em função das passadas no diâmetro são idênticos, no cone e semiesfera existe uma redução gradativa nos comprimentos de corte, consequentemente no movimento da ferramenta. A redução dos comprimentos de corte no cone acontece de forma linear e neste caso seria possível até a criação de alguma relação linear específica, ou coeficiente que levasse em conta sua geometria. O caso crítico é a semiesfera, pois a redução no comprimento de corte se dá de maneira não linear, o que torna seu equacionamento ou a criação de alguma relação específica um pouco mais complexa.

A fim de evitar tais procedimentos específicos e não generalistas, este trabalho apresentou uma metodologia analítica para determinação do tempo de corte total em processos de desbaste de peças cilíndrica com geometrias variadas, utilizando conceitos do cálculo integral analítico.

2.1. ÁREA EQUIVALENTE DE CORTE

A Figura 3(a), apresenta o gráfico de uma função $f(x)$ qualquer no espaço de tal forma que, sua revolução em torno do eixo x pode gerar um sólido de revolução com a geometria específica dada por esta função. No caso deste trabalho, este sólido de revolução representa a peça final a ser torneada. Na Figura 3(a) também é possível verificar a

representação de um retângulo contido abaixo da curva de altura $f(x)$ e de largura infinitesimal dx . A área deste retângulo é dada pela Eq. (1).

$$a = f(x) \cdot dx \quad (1)$$

A soma de todos os retângulos infinitesimais contidos abaixo da função $f(x)$ irá resultar na área A abaixo da curva, apresentada na Figura 3(b). A equação que representa esta soma é a integral de $f(x)$ definida entre os limites l_a e l_b apresentados na Figura 3(b). A Eq. (2) apresenta o cálculo para a área abaixo da curva $f(x)$.

$$A = \int_{l_a}^{l_b} f(x) dx \quad (2)$$

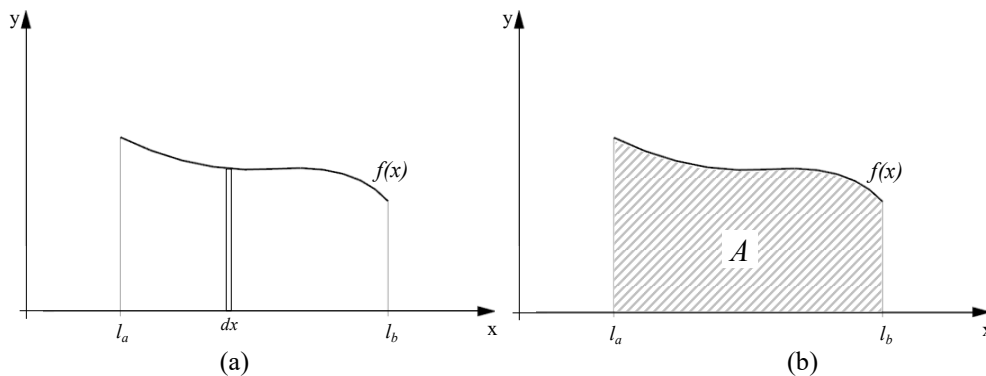


Figura 3. (a) Trecho infinitesimal de uma função $f(x)$ qualquer e (b) área A abaixo da função $f(x)$.

A área representada na Figura 3(b) correspondente à região interna da figura, para o caso de uma peça real seria o equivalente à seção longitudinal desta peça, onde a região hachurada representa o núcleo da peça.

Agora sejam duas funções, $f(x)$ e $g(x)$, representadas no espaço como apresentado na Figura 4(a), ambas limitadas pelos extremos l_a e l_b . A diferença entre as áreas destas funções calculadas representa a região A_{ec} na Figura 4(b) e pode ser representada pela Eq. (3).

$$A_{ec} = \int_{l_a}^{l_b} g(x) dx - \int_{l_a}^{l_b} f(x) dx \quad (3)$$

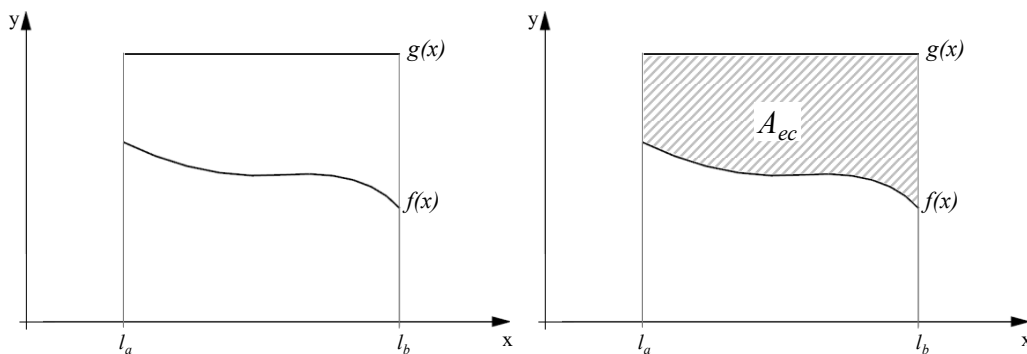


Figura 4. Representação das funções $f(x)$ e $g(x)$ no espaço.

A região A_{ec} na Figura 4(b) representa neste trabalho a Área Equivalente de Corte, ou seja, a região de material da peça que será removida durante o torneamento de desbaste. A função $g(x)$ representa o material em bruto e $f(x)$ a geometria da peça. Como exemplo de aplicação do método proposto, para a Figura 2 foi calculada a A_{ec} do trecho central da peça composto por uma geometria cônica. A Eq. (4) e Eq. (5), representam as funções envolvidas no cálculo da A_{ec} do trecho da peça, suas variáveis estão referenciadas na Figura 5.

$$f(x) = r_a + \frac{(r_b - r_a)}{L} \cdot x \quad (4)$$

$$g(x) = r_0 \quad (5)$$

A Equação (4) representa a reta inclinada, convenientemente adaptada para o trecho do desenho. Os valores de r_a e r_b representam respectivamente o menor raio e o maior raio do cone na peça, L representa o comprimento deste trecho na geometria no desenho. A Equação (5) representa uma linha reta horizontal, onde r_0 é o raio bruto da peça a ser usinada. Analisando o desenho da peça, o resultado do método deve levar à uma equação que indique a subtração da área de um retângulo por um trapézio conforme Figura 5.

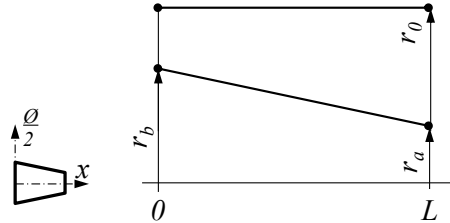


Figura 5. Representação do trecho cônico da peça para cálculo da A_{ec} .

Substituindo (4) e (5) em (3) temos:

$$A_{ec} = \int_0^L r_0 dx - \int_0^L \left[r_a + \frac{(r_b - r_a)}{L} \cdot x \right] dx \quad (6)$$

A Equação (6) representa a diferença da área de um retângulo de altura r_0 e largura L pela área de um trapézio de base L e alturas r_a e r_b . Resolvendo as integrais e aplicando os limites temos:

$$A_{ec} = r_0 \cdot L - \frac{(r_b + r_a)}{2} \cdot L \quad (7)$$

Como era esperado, a Eq (7) calcula a A_{ec} executando a subtração entre a área de um retângulo e a área de um trapézio, indicando que o método proposto resulta em uma equação analítica equivalente ao raciocínio aplicado no desenho.

2.2. COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE CORTE

Aplicando à Eq. (7) o teorema proposto por Gonçalves (2014), deve-se estabelecer uma igualdade de áreas para encontrar o que será chamado neste trabalho de Comprimento Equivalente de Corte lc_{ec} . Segundo Gonçalves (2014) existe um comprimento de corte lc que multiplicado por uma profundidade de corte a_p resulta em uma área idêntica à A_{ec} encontrada na Eq. (7):

$$A_{ec} = a_p \cdot lc \quad (8)$$

Aplicando-se a igualdade entre a Eq. (7) e Eq. (8) e reorganizando seus coeficientes, surge a relação que indica o valor do lc_e para o trecho cônico da peça em estudo:

$$r_0 \cdot L - \frac{(r_b + r_a)}{2} \cdot L = a_p \cdot lc$$

$$lc_e = \left[r_0 - \left(\frac{r_a + r_b}{2} \right) \right] \cdot \frac{L}{a_p} \quad (9)$$

Na Equação (9), ao parâmetro do comprimento de corte foi acrescentado o índice e para diferenciação em função de seu conceito de equivalência.

O comprimento de corte lc_e representa um único passe da ferramenta na profundidade de corte a_p , equivalente à soma de todos os passes que esta mesma ferramenta executaria no trecho cônico da peça. A mesma metodologia e o mesmo raciocínio podem ser aplicados para as outras regiões da peça da Figura 2, sendo elas a ponta semiesférica e o trecho cilíndrico posterior ao cone. Por questões de limite para o tamanho do artigo, as deduções destes trechos da figura e outras possíveis geometrias não são apresentadas, mas a Tabela 1 apresenta o lc_e , já resolvido para as geometrias mais comuns. A dedução para trechos esféricos é bastante extensa, inclusive o próprio resultado da equação é relativamente grande. Para as geometrias esféricas côncava e convexa preferiu-se manter o formato intermediário de substituição, pois este formato é conveniente e facilmente aplicado em planilhas eletrônicas de cálculo.

Figura 6. Dimensões da peça para validação das equações de lc_e .

A simulação da usinagem foi executada no software NX10 da fabricante Siemens, este software dispõe de um módulo específico para manufatura com vários recursos que auxiliam a geração de um caminho virtual para movimentação da ferramenta. Um bom software de CAM deve possuir, entre outros aspectos, capacidade de simulação dos movimentos para verificação dos resultados e possíveis erros, ter o controle dos parâmetros de corte e capacidade de pós-processamento do caminho da ferramenta para a linguagem específica da máquina CNC. Estas e outras características são apresentadas em detalhes por Souza e Ulbrich (2013). A Figura 7(a) apresenta o resultado da geração do caminho da ferramenta no software.

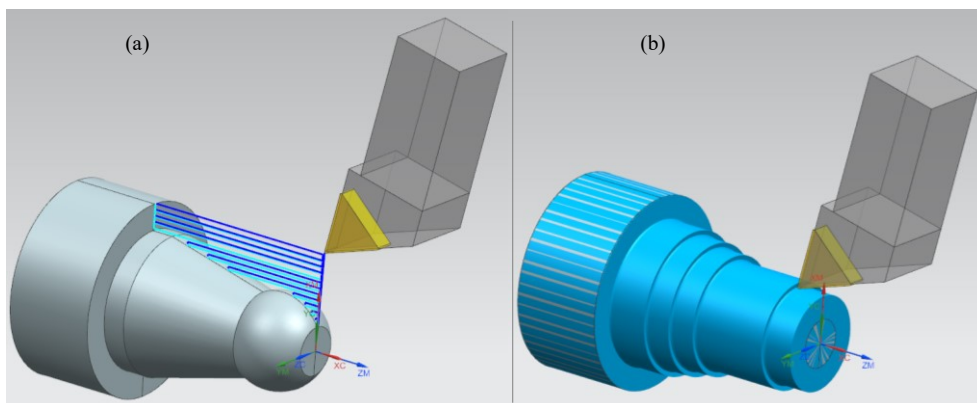


Figura 7. (a) Geração do caminho da ferramenta no software, (b) simulação do movimento em 3D.

Para a validação experimental foi executada a usinagem da peça da Figura 6 em um torno CNC. A máquina empregada foi o torno da marca ROMI modelo E320, este equipamento conta com um sistema de motorização e controle CNC da marca Fanuc modelo 21i. A velocidade máxima de deslocamento para posicionamento (G0) dos eixos é de 24m/min. O código do suporte de pastilha utilizado na operação foi o DTJNR-2525M-16 e a pastilha de usinagem foi uma TNMG 160408-PR GC4235, ambos da marca Sandvik. O programa de usinagem com os movimentos da ferramenta foi executado no software NX10 e pós-processado para linguagem ISO-G compatível com o CNC da máquina. A Figura 8 (a) apresenta a máquina empregada nos ensaios e a estação de NX10 utilizada para gerar o programa CNC.

Todos os testes e simulações foram executados no Centro de Laboratórios Mecânicos do Centro Universitário da FEI em São Bernardo do Campo.



Figura 8. (a) Máquina utilizada nos ensaios e (b) resultado da usinagem em um dos ensaios efetuados.

Para avaliar a precisão dos resultados de tempo de fabricação obtidos pelo método, foram trabalhadas quatro condições de profundidade de corte a_p na usinagem da máquina: 1mm, 2mm, 3mm e 4mm. A Figura 8 (b) apresenta o resultado da usinagem na peça para a condição de $a_p = 2\text{mm}$, pode-se notar os degraus deixados pela estratégia de usinagem de desbaste.

A geração do caminho da ferramenta no software foi feita da maneira mais simples e direta possível, isto é, sem interpolações circulares durante os movimentos. Por questões de segurança da ferramenta foram acrescentados movimentos de entrada e saída (em velocidade de avanço) para cada perfil usinado, sendo para entrada um valor de 0.4mm e na saída um valor de 1.3mm antes do retorno em G0 para próxima passada. Antes de cada ensaio a peça foi faceada e devidamente referenciada para o correto posicionamento da ferramenta nos passes seguintes.

Os parâmetros de corte selecionados para o ensaio na máquina foram arbitrados levando-se em consideração a recomendação do catálogo do fabricante de ferramentas, nenhuma otimização específica foi considerada. Para rotação da peça foi considerado um valor constante de $n = 800\text{RPM}$ e para o avanço por rotação um valor de $f_n = 0.3\text{mm/rot}$. A rotação foi calculada considerando-se um diâmetro médio de usinagem de 40mm com uma velocidade de corte de 100.5m/min. A usinagem de todas as peças foi realizada com a rotação constante do eixo árvore da máquina, mesmo com as possíveis implicações relacionadas ao desgaste da ferramenta. Uma alteração para consideração de velocidade constante na usinagem será tema para uma futura publicação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada condição de profundidade de corte foram usinadas duas réplicas, o tempo de usinagem da máquina foi obtido tomando-se a leitura em minutos do tempo de ciclo apresentado no painel da máquina. A Tabela 2 apresenta os valores encontrados para a usinagem na máquina, houve uma variação geral nas leituras de $\pm 0,01\text{min}$ que corresponde aproximadamente a 1 segundo. Esta variação pode estar associada ao tempo de resposta de processamento do programa e movimentação dos eixos da máquina, uma vez que a máquina CNC se trata de um sistema complexo com vários sensores e sinais a serem interpretados no momento da usinagem. Para fins de comparação posterior, foi obtida a média entre as duas medições e apresentada como tc médio na Tabela 2.

Tabela 2. Tempo de corte obtido na usinagem das peças.

a_p [mm]	1	2	3	4
tc 1 [min]	4,0243	1,9635	1,2606	0,9827
tc 2 [min]	4,0423	2,0032	1,2794	1,0026
tc médio [min]	4,0333	1,9833	1,2700	0,9926

Um dos recursos disponíveis no software de CAM é a possibilidade da simulação do tempo de fabricação. Neste sentido a simulação executada gerou resultados de tempo de fabricação que são apresentados na Tabela 3. Todos os valores simulados apresentaram valores menores do que os reais, este fato pode estar associado à configuração do software que não contempla todas as variáveis dinâmicas da máquina. Os dados envolvendo a dinâmica da máquina poderiam ser aplicados tornando a simulação mais precisa.

Tabela 3. Comparação dos valores de ensaio e simulação do software.

a_p [mm]	1	2	3	4
tc médio [min]	4,0333	1,9833	1,2700	0,9926
tc_s Simulado [min]	3,8500	1,9167	1,2167	0,9500
Diferença	-4,8%	-3,5%	-4,4%	-4,5%

O cálculo do tempo de corte pela metodologia do comprimento equivalente, foi executado em uma rotina de programação no software Matlab R2016. Porém, seria possível sua obtenção através de uma planilha de cálculos ou até mesmo de forma manual com o auxílio das equações apresentadas na Tabela 1. No cálculo foram considerados uma semiesfera convexa, um cone e um cilindro. A comparação dos valores é apresentada na Tabela 4, onde pode-se verificar que os valores se apresentam menores do que os reais obtidos no ensaio de usinagem. A exceção é o valor de t_c para a_p de 3mm que se apresentou maior do que o real obtido no ensaio. Apesar do fato de serem menores em relação aos obtidos, estes valores se apresentaram próximos aos da simulação com o software de CAM.

Tabela 4. Comparação dos valores de ensaio e calculado pelo lc_e .

a_p [mm]	1	2	3	4
tc médio [min]	4,0333	1,9833	1,2700	0,9926
tc_e Calculado [min]	3,8366	1,9183	1,2789	0,9591
Diferença	-5,1%	-3,4%	0,7%	-3,5%

Os valores calculados e apresentados na Tabela 4 apresentam diferença de até 5,1% na pior situação para a condição de ensaio. Estes valores não consideraram o retorno da ferramenta para o próximo passe e também não levaram em conta os trechos de entrada e saída da ferramenta, acrescentada em cada passada pelo software no momento da programação. Visando aproximar as condições de cálculo e simulação, para constatação da relevância destes termos no emprego da metodologia de cálculo, foi acrescentada na rotina de programação a contemplação do tempo de retorno

da ferramenta e os valores de entrada e saída do perfil. O tempo de retorno t_r foi calculado utilizando a seguinte relação (11):

$$t_r = \frac{lc_e}{24.000} \quad (11)$$

Onde o valor 24.000 mm/min é a velocidade máxima de deslocamento para reposicionamento dos eixos e lc_e o comprimento de corte para o a_p ensaiado. Este tempo foi somado ao tempo final calculado pela rotina de programação.

Para a consideração dos valores de entrada e saída da ferramenta no perfil em usinagem, foi necessário estabelecer um procedimento para quantificar o número de passes i_{teo} teóricos a serem efetuados pela ferramenta na peça. A seguinte relação foi empregada:

$$i_{teo} = \frac{\phi_{bruto} - \phi_{menor}}{2 \cdot a_p} \quad (12)$$

Toma-se a diferença entre a metade do diâmetro bruto (63,6mm) e metade do menor diâmetro da peça (16mm) divididos pela profundidade do ensaio. Deste resultado, é desprezada a parte decimal onde somente a parte **inteira** do número será considerada para o cálculo. A Equação (13) apresenta o cálculo do tempo de entrada e saída da ferramenta t_{es} .

$$t_{es} = \frac{i_{teo} \cdot (0,4 + 1,3)}{v_f} \quad (13)$$

Onde 0.4mm e 1.3mm são respectivamente os valores de folga para a entrada e saída da ferramenta no perfil. Este tempo foi somado ao tempo final calculado pela rotina de programação.

Após executadas estas considerações na rotina do programa de cálculos do tc_e , temos os seguintes resultados demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5. Comparação dos valores de ensaio e calculado pelo lc_e com as correções.

a_p [mm]	1	2	3	4
tc médio [min]	4,0333	1,9833	1,2700	0,9926
tc_e calc. corr. [min]	4,0369	2,0149	1,3409	1,0039
Diferença	0,1%	1,6%	5,3%	1,1%

É possível perceber que com as correções houve uma redução das diferenças, com exceção para a profundidade de 3mm que aumentou o erro. O conhecimento do processo e seus detalhes ajudaram a melhorar e enriquecer a metodologia de cálculo do tempo de corte, reduzindo as diferenças entre os valores observados. Os valores apresentados nas Tabelas 3 e 4, também se mostraram consistentes, e, portanto, passíveis de serem considerados como úteis a um departamento de planejamento. Em termos de estimativas de tempo de usinagem, a questão que deve ser levada em consideração é: qual o limite de erro aceitável para um bom resultado, pois uma vez estipuladas as projeções a partir destes valores, corremos o risco de somente no momento da produção descobrir o erro cometido.

5. CONCLUSÕES

- Foi apresentado uma série de equações que possibilitaram o cálculo do comprimento total de desbaste a ser torneado de uma peça com geometrias variadas partindo de uma barra bruta.
- A metodologia analítica apresentada neste trabalho para o cálculo do comprimento total de corte no desbaste e do tempo de corte total no desbaste, se mostrou consistente e passível de ser empregada como alternativa para geração de estimativas de tempos de produção.
- A metodologia apresentou erros, mas estes ficaram próximos aos valores apresentados por um software de programação CAM, que também serve como recurso para geração de estimativas.
- Foi possível melhorar a precisão das estimativas efetuando-se considerações extras nos cálculos, como por exemplo a consideração do tempo de reposicionamento para os passes seguintes e consideração de folgas para entrada e saída da ferramenta no perfil.
- Nem toda empresa dispõe de um software de CAM para auxílio com estimativas, mas planilhas eletrônicas são facilmente programadas utilizando as equações apresentadas neste trabalho.

- Em publicações futuras pretende-se ampliar a gama de equações disponíveis para o cálculo do comprimento total de desbaste.
- A demonstração do método aqui proposto também tem seu valor quando empregada nos cursos de graduação em engenharia mecânica e afins, especificamente como demonstração da aplicabilidade de ferramentas básicas da disciplina de cálculo normalmente apresentadas ao estudante nas fases iniciais de curso.

6. AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Centro Universitário da FEI de São Bernardo do Campo pelo apoio com a infraestrutura necessária para os testes de usinagem.

7. REFERÊNCIAS

- COPPINI, N. L. **Usinagem Enxuta - Gestão e Processo**. 1º ed. São Paulo: Artliber, 2015.
- COPPINI, N. L.; MARTINEZ, J. M.; ARAÚJO, A. C. DE; MARIA, A.; MACHADO, L. Desenvolvimento das equações para cálculo do tempo de corte em torneamento de peças com geometrias não cilíndricas. 8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. **Anais...** . p.10, 2015. Salvador, Bahia: ABCM.
- GONÇALVES, E. L. Z. Método prático para o cálculo do tempo de usinagem em um torno a CNC, usando a área do cavaco a ser removida. **O Mundo da Usinagem**, p. 40, abr. 2014. São Paulo. Disponível em: <<http://www.omundodausinagem.com.br/?p=4542>>. .
- SOUZA, A. F. DE; ULBRICH, C. B. L. **Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD/CAM/CNC - Princípios e aplicações**. 2º ed. Artliber, 2013.

8. DIREITOS AUTORAIS

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ANALYTICAL METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF TOTAL CUTTING TIME IN CYLINDRICAL PARTS

Adalto de Farias, afarias@fei.edu.br¹

¹ Centro Universitário da FEI, Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972 – 09580.901, São Bernardo do Campo, SP, Brasil

This paper presents an analytical methodology for total cutting time determination in roughing processes of cylindrical parts with non simple geometries. Using concepts of analytical integral calculation, a set of equations that help in determining the cutting time for turning is presented. The proposed method takes into account the use of a constant rotation to determine the total cutting time. In order to validate the proposed method, validations were made using simulations with manufacturing software and practical tests on a CNC lathe. The inspiration for the development of such an alternative method has been based on recent publications, which affirm the lack in our technical literature. Estimatives for the machining time process is a very important step, often complex due to the fact of having a large diversity of parameters involved, but essential for the correct choice and optimization of the production stage. Once put into production, a well-done or poorly done planning will reflect its result only after the end of production, where later the actual results will be compared with the initial estimatives. Indeed, given the lack of method for such analytical estimatives, invariably during a manual planning of manufacturing processes, one may use assumptions that generally infer considerable errors in the final results. The demonstration of the method proposed here also has its value when used in undergraduate courses in mechanical engineering and related, specifically as demonstration of the applicability of basic tools from calculus disciplines, usually presented to the student in the earlier years of the course. The analytical methodology presented in this work for the calculation of the total rough cut length and the total cut time, was shown to be consistent and could be used as an alternative for the estimation of production time.

Keywords: Machining time, process planning, CAM simulation, turning