

PROGRAMA PARA SELEÇÃO DE FERRAMENTA E ANÁLISE DE CUSTO DE TORNEAMENTO

Matheus Lisboa de Melo Andrade Alves, matheuslmaalves@gmail.com¹
André Luiz de Moraes Costa, andre.costa@ufs.br¹

¹Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe
Cidade Univ. Prof. José Aloísio de Campos, Av. Marechal Rondon s/n, São Cristóvão, Sergipe, CEP 49100-000

Resumo: Neste trabalho foi desenvolvido um programa para selecionar insertos de torneamento a partir do custo de usinagem de eixos. A rotina foi implementada usando o software MATLAB® e permite a comparação de múltiplos eixos informando o custo de fabricação, tempo de usinagem e demais parâmetros necessários para realizar a operação de usinagem, além de selecionar as ferramentas mais indicadas para a fabricação a partir dos catálogos de fabricantes. Ao final de cada análise o programa fornece um documento contendo todas as informações necessárias para a fabricação. Como exemplo de utilização da abrangência do programa, foram analisados dois fatores que influenciam os custos de usinagem de eixos: o coeficiente de segurança dos eixos e as ferramentas escolhidas para a operação. A base de dados das ferramentas foi retirada do catálogo da empresa Sandvik. Foi encontrado que, de maneira geral, o custo aumenta com o Limite de Resistência à Tração (LRT) e com o coeficiente de segurança do projeto, porém isso não se aplica a toda faixa de resistência. Em alguns casos, insertos com ângulos de inclinação negativos, embora mais caros, fornecem um custo de fabricação menor quando comparados com insertos com inclinação positiva. A partir dos resultados obtidos conclui-se que as condições mais baratas de usinagem são algumas vezes contra intuitivas, e que o programa desenvolvido apresenta grande potencial para auxiliar a tomada de decisão dos parâmetros de fabricação por torneamento de eixos.

Palavras-chave: custos de usinagem, insertos, torneamento de eixos

1. INTRODUÇÃO

O eixo é um componente fundamental de sistemas mecânicos, usualmente de seção transversal circular, usado para transmitir potência ou movimento. Em geral os eixos são fabricados por torneamento, e para se determinar o custo de fabricação é necessário determinar a ferramenta e as grandezas de corte a ser utilizadas.

Os parâmetros de corte importantes para realizar uma operação de torneamento são bem estabelecidos na literatura (Machado *et al.*, 2011), bem como as ferramentas de corte indicada para cada operação (sugeridos pelos catálogos dos fabricantes). No entanto, devido às combinações possíveis entre as variáveis de operação e a quantidade de ferramentas disponíveis, é difícil saber qual a solução ótima para cada peça a ser fabricada.

Os fabricantes de ferramentas de corte disponibilizam alguns programas que auxiliam o projetista na seleção dos parâmetros de usinagem e/ou escolha do inserto. A Sandvik Coromant (2017) fornece em seu endereço eletrônico, na seção “Calculators and software”, o programa on-line “Tool recommendation”, onde o usuário deve informar que tipo de operação está fazendo (usinagem interna ou externa), qual material está usinando, diâmetro inicial e final da peça, dentre outros parâmetros. Tendo preenchido os dados de entrada o programa retorna os insertos possíveis para aquela operação, bem como o número de passes e o tempo de usinagem. Porém, o usuário deve repetir este processo para cada seção do eixo que se deseja usinar e, além disso, o programa não fornece o custo de operação e não há possibilidade de comparação de usinagem entre diferentes projetos de eixo.

A Mitsubishi Materials (2017) disponibiliza on-line uma ferramenta de cálculo que ajuda o usuário a encontrar parâmetros de corte para um determinado passe de usinagem, a saber: velocidade de corte, avanço, tempo de corte e rugosidade teórica da superfície acabada. Entretanto, o programa não retorna o custo de usinagem, o inserto ideal a ser utilizado, e nem valores comparativos para outros eixos, deixando o projetista ainda com muito trabalho a fazer até encontrar uma solução otimizada para a operação de usinagem.

Analisando-se os programas acima nota-se que eles fornecem informações úteis para a análise econômica de fabricação de eixos, mas não fazem análise comparativa entre as ferramentas possíveis e nem entre diferentes possibilidades de projeto. Desta forma, é de interesse o desenvolvimento de um programa computacional capaz de analisar as diversas combinações possíveis e realizar o cálculo de custo e tempo de usinagem, permitindo que o especialista escolha entre as melhores rotas de processamento.

Neste trabalho foi desenvolvido um programa para calcular e comparar o custo de usinagem de diferentes projetos de eixos e selecionar as ferramentas indicadas para a operação. O programa foi desenvolvido na plataforma MATLAB™ e fornece um documento contendo as informações e procedimentos necessários para a fabricação dos eixos, permitindo analisar a influência da ferramenta de usinagem e dos parâmetros de projeto dos eixos, tais como material e coeficiente de segurança, sobre o custo de fabricação da peça.

2. FORMULAÇÃO TEÓRICA

2.1. Parâmetros de Corte

Como a usinagem predominante na fabricação de um eixo é o torneamento externo, os parâmetros de corte considerados para a elaboração do programa foram para este tipo de operação, a saber: Velocidade de corte V_c em m/min, definida pela Eq. (1), onde d = diâmetro da peça em mm e n = número de rotações por minuto (rpm), Velocidade de avanço V_f em mm/min, definida pela Eq. (2), onde f = avanço em mm/rev (mm por revolução) e n = número de rotações por minuto (rpm), Velocidade efetiva V_e , definida pela Eq. (3), e a Taxa de remoção de metal (Q) em volume por unidade de tempo (cm³/min), definida pela Eq. (4), onde a_p = profundidade de corte em mm.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1)$$

$$V_f = f \cdot n \quad (2)$$

$$\vec{V}_e = \vec{V}_c + \vec{V}_f \quad (3)$$

$$Q = V_c \times a_p \times f \quad (4)$$

2.2. Condições Econômicas de Corte

O cálculo econômico de corte utilizado neste trabalho tem como base o uso de pastilhas de metal duro, que são as ferramentas padrão na indústria. Dentre os fatores que influenciam as condições econômicas de usinagem, os principais são: grandezas de corte, tempo de corte, tempo total, custo da pastilha, tempo de vida por aresta da pastilha e número de arestas.

De acordo com Machado *et al.* (2011), um ciclo básico de usinagem de uma peça pertencente a um lote de Z peças pode ser constituído das seguintes etapas: Fase a: preparo da máquina-ferramenta para usinagem de um lote de Z peças; Fase b: colocação e fixação da peça para usinagem na máquina-ferramenta (carga); Fase c: aproximação ou posicionamento da ferramenta para o início do corte; Fase d: corte da peça; Fase e: afastamento da ferramenta; Fase f: soltura e retirada da peça usinada (descarga).

Cada etapa ou conjunto de etapas possui um tempo (dado em minutos) correspondente: t_t = tempo total de usinagem de uma peça (fases de “a” a “f”); t_p = tempo de preparo da máquina (fase “a”); t_s = tempo de carga e de descarga da máquina (fase “b” e “f”); t_a = tempo de aproximação e de afastamento da ferramenta (fases “c” e “e”); t_c = tempo de corte (fase d); t_{tf} = tempo de troca de ferramenta; T = tempo de vida de uma aresta em min. Sendo Z o número total de peças num lote, define-se nt = número de trocas de aresta na produção do lote de Z peças, e Zt = número de peças usinadas com uma aresta de corte no tempo (T).

Equação (5) fornece o tempo total de usinagem t_t e a Eq. (6) fornece o tempo de corte t_c . Entretanto, essas equações estão relacionadas à operação de um único passe, em uma única seção do eixo. A fim de calcular o tempo para uma operação completa de fabricação foram desenvolvidas as Eq. (7) a (12).

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a + t_c + \left(\frac{t_{tf} \cdot t_c}{T} - \frac{t_{tf}}{Z} \right) \quad (5)$$

$$t_c = \frac{l_f \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot V_c} \quad (6)$$

$$t_{c_sec} = \frac{l_{f_sec}}{V_{f_sec}} \cdot p_{sec} \quad (7)$$

$$t_{ctotal} = \sum t_{c_sec} \quad (8)$$

$$t_{a_sec} = t_a \cdot p_{sec} \quad (9)$$

$$t_{cT} = \frac{t_{c_sec} \cdot t_{tf}}{T_{sec}} \quad (10)$$

$$t_{sec} = t_{a_sec} + t_{c_sec} + t_{cT} \quad (11)$$

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + Z \cdot t_s + \sum t_{sec} - \frac{t_{tf}}{Z} \quad (12)$$

Onde t_{c_sec} = tempo de corte referente a cada seção do eixo em min, l_{f_sec} = comprimento da seção do eixo em mm, V_{f_sec} = velocidade de avanço da seção do eixo em mm/min, p_{sec} = número de passes da seção do eixo, D = diâmetro da seção do eixo em mm, t_{ctotal} = tempo de corte total do eixo em min, t_{a_sec} = tempo de aproximação e de afastamento da ferramenta para a seção do eixo em min, t_{cT} = valor equivalente a parcela $(t_{tf}t_c)/T$ da Eq. (5) mas referida para uma seção do eixo, t_{sec} = tempo total de usinagem da seção do eixo em min, e T_{sec} = tempo de vida da ferramenta usinando a seção do eixo em min.

Os valores de tempos fixos utilizados foram de acordo com o trabalho de Dutra (2011) como indicado na Tab. 2.

Tabela 2. Tempos fixos necessários para o cálculo das condições econômicas.

Tempo de preparo da máquina (t_p),	10,0 minutos
Tempo de carga e descarga da máquina (t_s),	2,0 minutos
Tempo de aproximação e afastamento da ferramenta (t_a)	0,2 minutos
Tempo de troca de ferramenta (t_{tf}).	1,5 minutos

Para o cálculo de custos define-se o C_p = custo de usinagem de uma peça de um lote de Z peças em R\$; C_m = custo de matéria-prima para uma peça em R\$; C_{mq} = custo de operação da máquina em R\$; C_e = custo energético em R\$; C_f = custo referente às ferramentas de corte em R\$. Desta forma, tem-se:

$$C_p = C_m + C_{mq} + C_e + \sum C_f \quad (13)$$

O custo da matéria prima (C_m) normalmente deve ser de conhecimento do projetista, mas na falta desta informação pode ser usada a relação entre o custo por quilo (R\$/kg) e o Limite de Resistência à Tração (MPa) do material a ser usinado obtida a partir do ajuste de dados listados por Callister e Rethwisch (2013):

$$C_m = 0,0072(LRT) + 0,68 \quad (14)$$

O custo de operação da máquina C_{mq} é definido pela Eq. (15), onde S_{mq} = custo da operação da máquina em R\$/h, utilizando-se R\$80,00/h a partir do trabalho de Dutra (2011). O custo energético C_e é calculado pela Eq. (16), onde $C_{energia}$ = Custo da energia elétrica (kWh) em R\$, definido em 0,41 R\$/kWh, U_{sec} = energia gasta pela máquina-ferramenta para realizar a operação em kW dada pela Eq. (17), e P_{mc} = potência do motor de acionamento do eixo-árvore em kW. O custo da ferramenta de corte C_f é calculado pela Eq. (18), onde C_{ins_sec} = custo do inserto utilizado em cada seção do eixo em R\$, definido a partir do catálogo de preços da Sandvik Coromant (2012a), n_f = número de faces do inserto utilizado em cada seção do eixo, n_a = número de arestas do inserto utilizado em cada seção do eixo.

$$C_{mq} = \frac{t_t \cdot S_{mq}}{60} \quad (15)$$

$$C_e = C_{energia} \cdot \sum U_{sec} \quad (16)$$

$$U_{sec} = P_{mc} \cdot \frac{t_{a_sec} + t_{c_sec}}{60} \quad (17)$$

$$C_f = \frac{C_{ins_sec}}{n_f n_a} \cdot \frac{t_{c_sec}}{T_{sec}} \quad (18)$$

2.3. Banco de Dados de Ferramentas

Para elaborar um algoritmo de seleção dos parâmetros de usinagem é preciso definir qual será o tipo de ferramenta de corte utilizada para realizar o torneamento. Para isto optou-se por usar o catálogo de insertos de metal duro da fabricante Sandvik Coromant, por ser este bem amplo e detalhado (Sandvik, 2012b). Mas vale destacar que o programa pode trabalhar com a lista de ferramentas de qualquer fabricante, pois basta colocar as informações necessárias numa planilha formato .xls.

Nem todas as ferramentas presentes no catálogo foram utilizadas, já que a fabricação de eixos é basicamente realizada pela operação de torneamento cilíndrico externo. Assim, foram selecionadas para a elaboração do programa os insertos positivos CoroTurn 107 para usinagem externa e os insertos negativos T-MAX P para usinagem externa. Foram

desconsideradas as operações de sangria, faceamento e rosqueamento. Em termos de formato da pastilha, foram desconsideradas as utilizadas para perfilamento.

2.4. Fatores de Correção da Velocidade de Corte

De acordo com a Sandvik (2012b), todos os valores de velocidades de corte recomendados para suas ferramentas tem como referência a usinagem de aço com dureza de 180 HB, portanto, se a operação de usinagem for realizada em um aço com outra dureza, deve-se utilizar um fator de correção de velocidade FC_1 dado pela Eq. (19):

$$FC_1 = 128,84(HB)^{-0,936} \quad (19)$$

O tempo de vida da ferramenta (T_v) é um fator extremamente importante para o cálculo de custo e é também necessário para se avaliar a produtividade da operação. A Sandvik define os valores recomendados de velocidades de corte baseado num tempo de vida padrão de 15 min. Caso se deseje trabalhar com tempos de vida diferentes, deve-se aplicar um fator de correção FC_2 na velocidade obedecendo a Eq. (20):

$$FC_2 = 2,0157(T_v)^{-0,258} \quad (20)$$

Ainda, caso seja necessário usar um avanço ou uma velocidade de corte diferente do valor recomendado, o outro parâmetro deve ser corrigido pela Eq. (21), onde ΔV_c = variação da velocidade de corte em % e Δf = variação do avanço em mm/rev.

$$\Delta V_c = -77(\Delta f) \quad (21)$$

3. ROTINA COMPUTACIONAL

Machado *et al.* (2011) recomendam que, de maneira geral, para a otimização da produtividade em um processo de usinagem deve-se, a princípio, aumentar a profundidade de corte, em seguida aumentar o avanço e, por último, elevar a velocidade de corte, mas sempre observando as limitações da máquina. Visando obter a melhor produtividade, o programa computacional foi concebido seguindo essa lógica. Assim, para se selecionar o inserto mais apropriado primeiro selecionam-se aqueles com maiores valores de profundidade de corte recomendados, em seguida, aqueles com maiores valores de avanço recomendados e, por último, aqueles com maiores valores de velocidade de corte recomendados.

O programa utiliza 4 bibliotecas: o banco de dados de ferramentas com todas os parâmetros recomendados, biblioteca de preços das ferramentas, biblioteca das bitolas comerciais de barras de aço, e a biblioteca de parâmetros do torno (velocidades e avanços permitidas). O fluxograma do programa é mostrado nas Fig. (1) e Fig. (2).

Os dados dos eixos que se deseja comparar devem ser colocados em um arquivo de EXCEL™ como o modelo mostrado na Tab. (3) e salvo na pasta de leitura do programa. A Tabela (4) mostra os dados de entrada e saída do programa.

Tabela 3. Modelo de arquivo com informações dos eixos.

Eixo 1				Eixo 2				Eixo 3			
Seção	D (mm)	Comp (mm)	LRT (MPa)	Seção	D (mm)	Comp (mm)	LRT (MPa)	Seção	D (mm)	Comp (mm)	LRT (MPa)
1	29,80	40	600	1	28,31	40	700	1	27,08	40	800
2	42,24	50		2	40,21	50		2	38,53	50	
3	55,04	80		2	52,46	80		3	50,32	80	
4	42,83	100		3	40,82	100		4	39,16	100	
5	29,80	80		4	28,31	80		5	27,08	80	

Tabela 4. Entradas e saídas do programa.

Entrada (input)	Saída (output)
• Limite de resistência à tração • Tipo de aço a ser usinado • Dimensões do eixo • Tipo do inserto escolhido • Tempo de vida desejado da pastilha • Valor do dólar • Custos fixos • Bibliotecas	• Insertos recomendados para cada operação • Profundidade de corte • Avanço • Velocidade de corte • Rotação utilizada no torno • Custo de usinagem • Tempo de usinagem • Taxa de remoção do material • Potência de corte • Tempo de vida real das pastilhas • Rugosidade teórica • Massa final do eixo • Porcentagem de massa perdida no processo de usinagem • Número total de passes

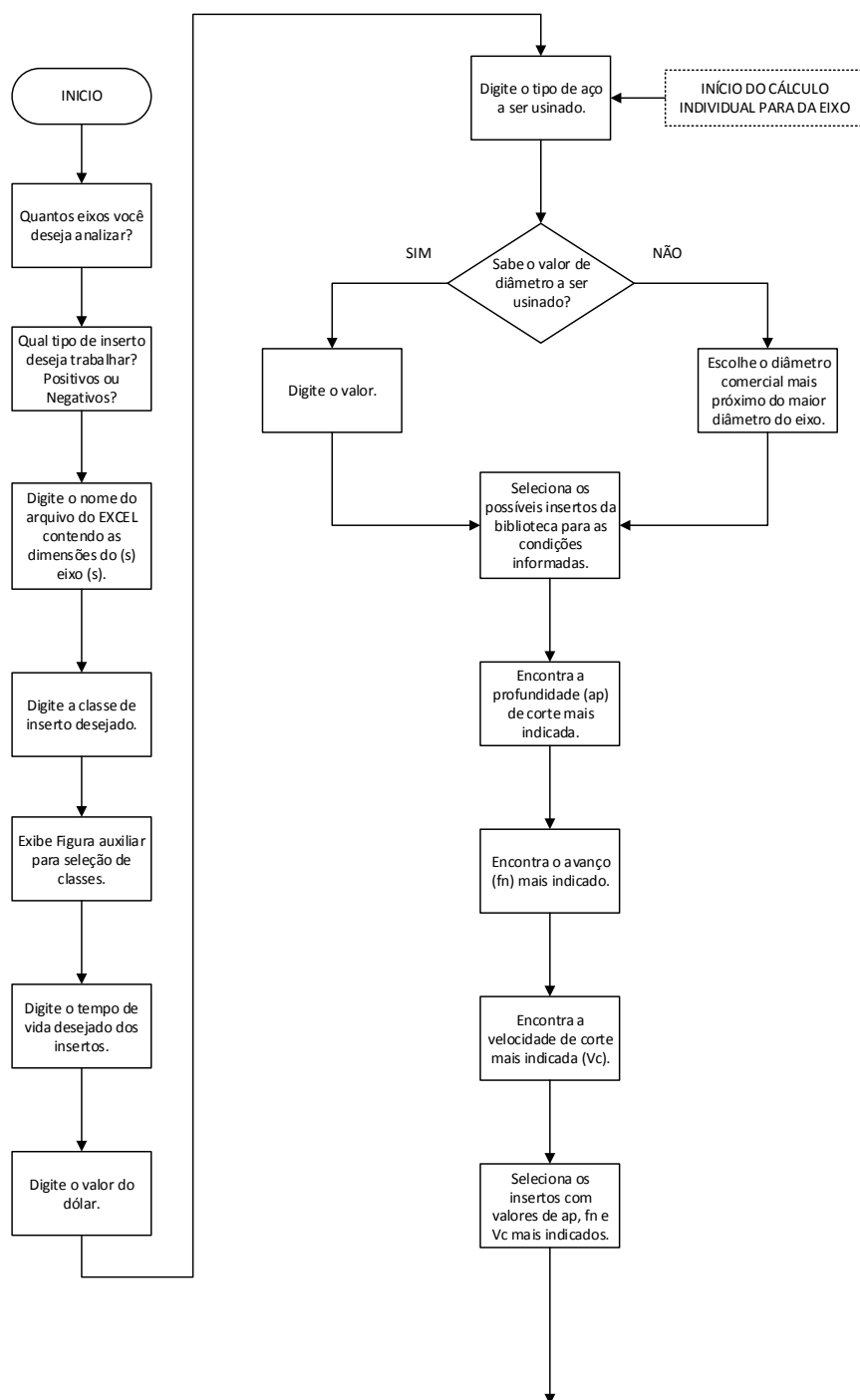


Figura 1. Fluxograma da rotina do programa (parte 1).

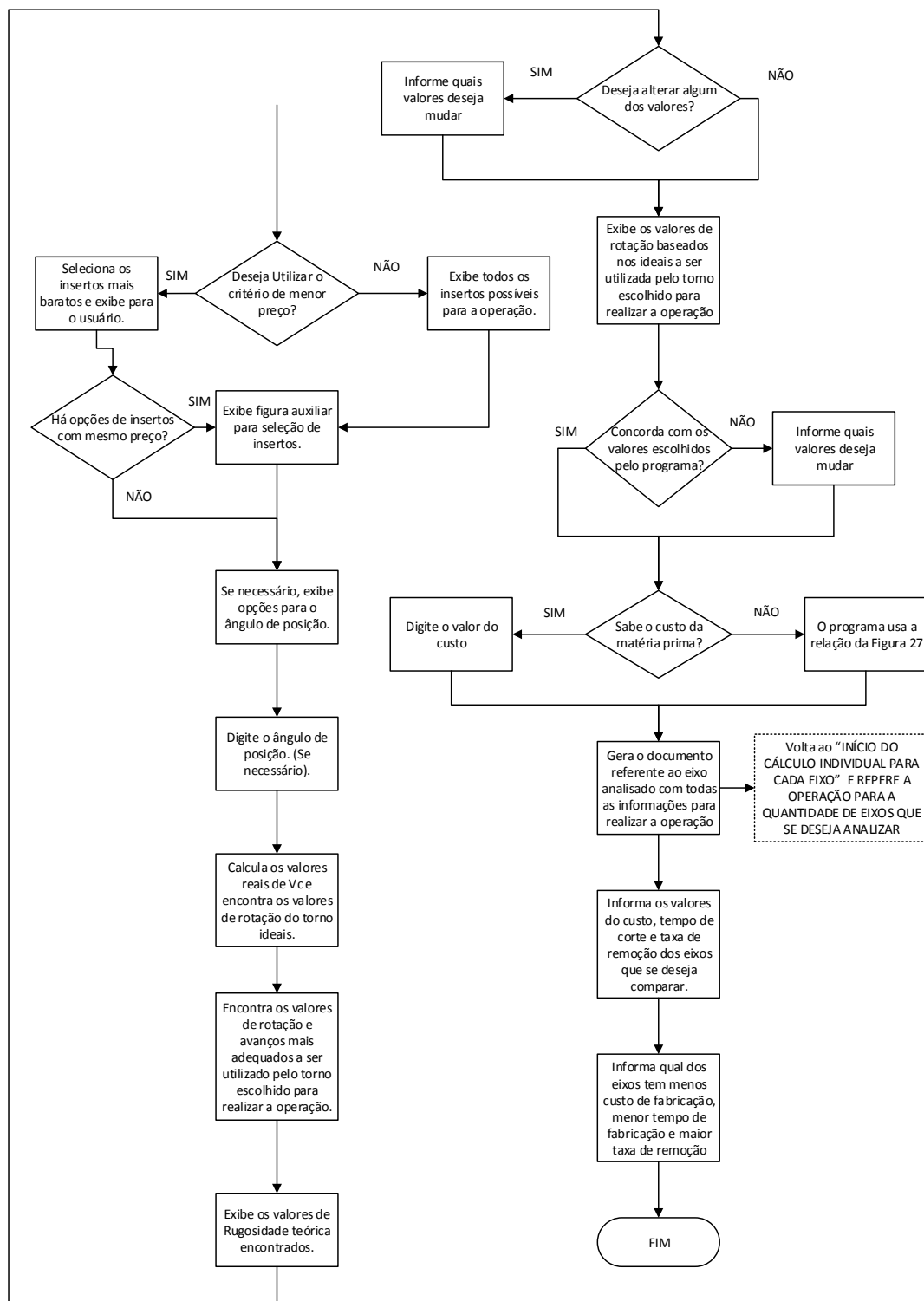


Figura 2. Fluxograma da rotina do programa (parte 2).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O programa desenvolvido funciona de tal maneira que ele se adapta às condições de fabricação do projetista. O usuário deve fornecer as informações sobre os inserts que tem disponível, bem como os parâmetros de entrada do torno que será utilizado na operação. Munido dessas informações, o programa é capaz de selecionar a melhor ferramenta com os melhores parâmetros de utilização, bem como o custo de operação. Todos esses dados são exibidos em um documento gerado ao final da simulação, como mostrado na Fig. (3) para um eixo com cinco seções.

Com esses resultados o especialista pode fazer análises detalhadas de qual eixo será mais vantajoso economicamente e quais velocidades de corte, avanço e profundidade de corte devem ser utilizados para sua fabricação, dentre outras especificações. Com o programa é então possível fazer avaliações sobre fatores de projeto de eixos que influenciam o custo de fabricação. Como exemplo, foram analisados o coeficiente de segurança e o material dos eixos, além dos inserts indicados para a operação.

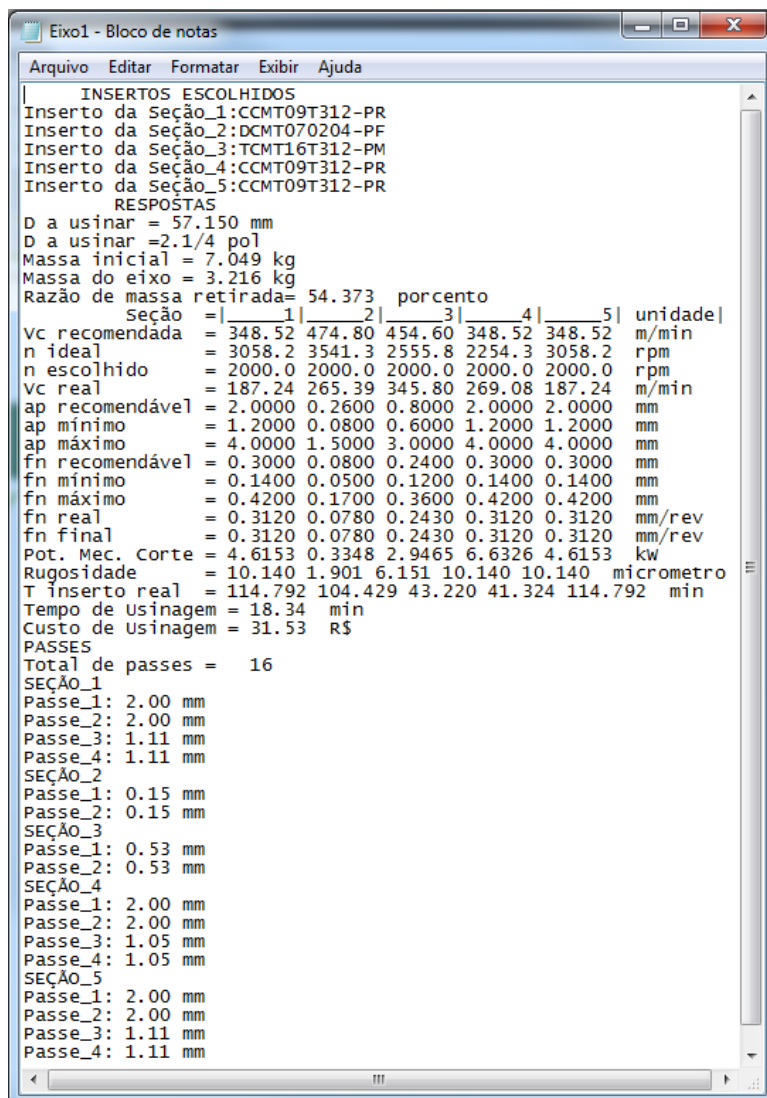


Figura 3. Parâmetros da operação indicados pelo programa para fabricar um eixo com 5 seções.

4.1. Influência do tipo de ferramenta utilizada no custo da operação

Os projetos de eixos usados como dados de entrada para as análises a seguir foram feitos utilizando o programa de dimensionamento desenvolvido em MATLAB por Pinheiro e Costa (2014). Todos os eixos estão submetidos às mesmas condições de carregamento transversal e apresentam mesmos valores de comprimentos de seção, possuindo 5 seções a um torque médio aplicado de 800 N.m. Para estudar a influência da ferramenta sobre o custo, foram projetados 12 eixos com um coeficiente de segurança (CS) 1,5 variando-se o Limite de Resistência a Tração – LRT do material de 400 MPa até 1500 MPa. A operação foi avaliada considerando inserts com ângulos de inclinação positivos e negativos das classes 4215, 4225 e 4235, sempre utilizando o critério de menor preço para escolha. A Figura (4) mostra o gráfico de Custo x LRT obtido a partir dos cálculos efetuados pelo programa.

De maneira geral, o custo de usinagem se comportou de maneira esperada, crescendo com o valor do LRT, pois alguns fatores também crescem com o LRT, como por exemplo, o custo da matéria prima e potência de usinagem. No entanto, alguns pontos contra intuitivos foram notados. O primeiro deles é que inserts negativos, que são normalmente mais caros que os positivos, proporcionaram um custo de usinagem menor. Tal resultado pode ser explicado pelo fato que as pastilhas negativas conseguem trabalhar com profundidades de corte superiores às positivas, onde em média, as negativas apresentam $a_p = 3,01$ mm e as positivas $a_p = 0,87$ mm. Dessa maneira os inserts negativos podem usinar a

mesma quantidade de material com menos passes, reduzindo o custo geral da operação. Entretanto, tal comportamento não é constante, como pode ser observado para a faixa entre 400 e 600 MPa a pastilha negativa com classe 4235 apresentou o maior custo dentre todas, enquanto que para LRT=900 MPa ela apresentou o menor custo (indicado pela seta), o que mostra a importância de se ter um programa capaz de gerar esses resultados e auxiliar o calculista.

É possível observar também pontos no gráfico (círculos em vermelho) em que alguns insertos fornecem o mesmo custo de fabricação. Dessa forma, o usuário pode utilizar outros critérios de escolha da ferramenta, como por exemplo, disponibilidade no estoque, disponibilidade no mercado, tempo total de operação, etc.

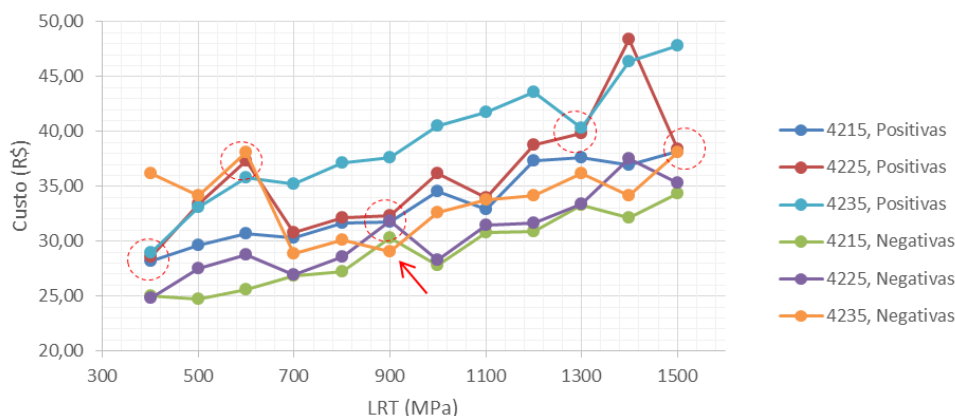


Figura 4. Gráfico Custo x LRT para eixos com CS = 1,5.

4.2. Influência do coeficiente de segurança no custo de operação

O coeficiente de segurança (CS) é um parâmetro fundamental no projeto de componentes mecânicos e existem diversas recomendações para diversos casos, mas não existem recomendações definitivas para todos os casos. Portanto, considerando que eventualmente o engenheiro pode optar por um eixo entre vários com coeficientes de segurança diferentes, o programa faz a comparação do custo de usinagem dos diferentes projetos de eixos, fornecendo assim subsídio para tomada de decisão. Como exemplo de aplicação, foram realizadas simulações para eixos com CS=1,5; 2,0 e 2,5, utilizando-se as mesmas considerações feitas na seção precedente.

Como resultado, foram observados diferentes variações de custo em relação ao LRT. De maneira geral, quanto maior o coeficiente de segurança do eixo mais cara é a operação de usinagem, pois o tamanho e o peso das peças são maiores. Isso pode ser mais bem observado na Fig. (5) para insertos negativos da classe 4225. Entretanto, nota-se que há dois pontos onde esse quadro se inverte, LRT = 600 MPa e 1300 MPa, tornando possível ter um eixo mais seguro por um custo mais baixo.

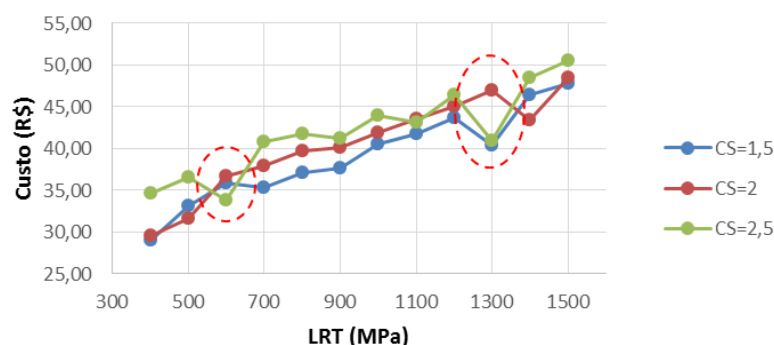


Figura 5. Gráfico Custo x LRT para insertos negativos de classe 4225.

Por outro lado, como mostrado na Fig. (6), para insertos negativos da classe 4235 um baixo coeficiente de segurança gera elevados custos de fabricação na faixa de materiais mais baratos (LRT entre 400 e 600 MPa). No caso positivos da Classe 4225, mostrados na Fig. (7), para materiais com valores de LRT intermediários (entre 700 e 1100 MPa) o comportamento do custo segue o esperado, mas para materiais baratos (LRT entre 400 e 600 MPa) e materiais mais caros (LRT entre 1200 e 1500 MPa) há um comportamento sem padrão definido, onde uma pequena variação do LRT muda a relação de custo com o CS.

Finalmente, a Fig. (8) mostra um comportamento muito interessante quando se consideram insertos negativos da classe 4215, onde os eixos com CS=2,5 se mantiveram com custos mais elevados, seguindo a regra geral, mas CS=1,5 e CS=2,0 tiveram custos muito próximos ao longo do LRT, principalmente para aços mais baratos (LRT entre 400 e 800 MPa), onde os custos foram praticamente idênticos. Tal resultado é interessante para o projetista, pois ele pode basear sua escolha do CS entre 1,5 e 2,0 apenas pelo desempenho mecânico do componente.

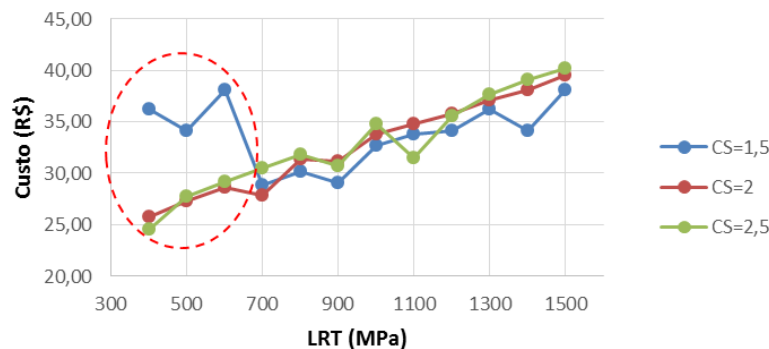


Figura 6. Gráfico Custo x LRT para pastilhas negativas de classe 4235.

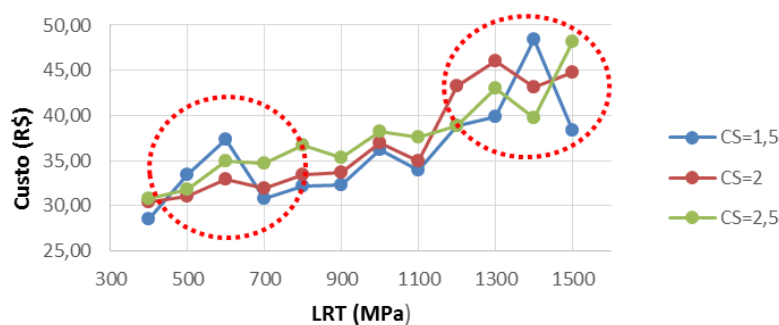


Figura 7. Gráfico Custo x LRT para pastilhas positivas de classe 4225.

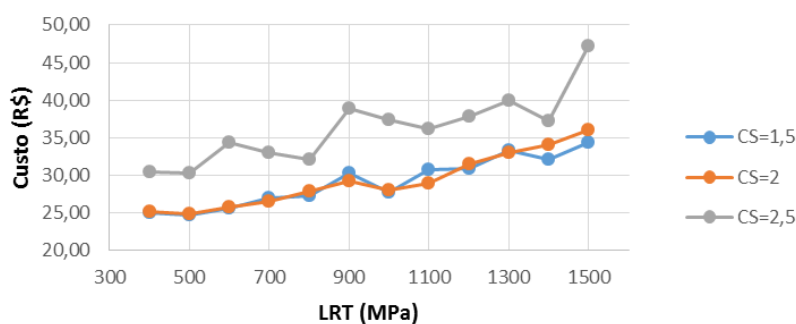


Figura 8. Gráfico Custo x LRT para pastilhas negativas de classe 4215.

De maneira geral o custo de fabricação cresce em relação ao aumento do LRT, como esperado. Porém, os resultados mostram faixas em que o custo sobe ou desce bruscamente. Isso ocorre porque em determinadas situações é preciso usinar mais ou menos material que em outras, devido à diferença de bitola inicial ou diâmetro das seções. Devido ao grande número de parâmetros inter-relacionados envolvidos nos cálculos, apenas com uma análise detalhada é possível identificar quais parâmetros determinam as variações de custo em cada caso.

Os resultados demonstraram a importância de ter um programa que possa comparar eixos e ajudar o projetista a decidir qual opção ele irá aplicar em seu projeto, pois evita prejuízos numa possível escolha errada de parâmetro de corte, ou de ferramenta. É interessante notar que usualmente a diferença de custo entre uma opção ou outra de ferramenta acaba sendo relativamente pequena, mas é importante lembrar que as análises foram feitas para a fabricação de apenas um eixo, ou seja, a economia gerada na fabricação de um lote de peças pode chegar a um valor significativo.

5. CONCLUSÃO

O programa computacional desenvolvido fornece um documento contendo todas as informações necessárias para a usinagem de um eixo. O programa permite ainda que suas bibliotecas sejam mudadas, se adequando às condições de trabalho: ferramentas disponíveis, máquina operatriz e parâmetros de projeto do componente.

As simulações realizadas mostraram que, de maneira geral, o custo de fabricação aumenta com a resistência do material e com o coeficiente de segurança do projeto, porém este comportamento não é linear. Nos projetos analisados foi também observado que, apesar dos insertos com ângulos de inclinação negativos serem mais caros, com eles o custo de usinagem se mostrou menor que o custo obtido com insertos de inclinação positiva. Assim, ressalta-se a importância do cálculo detalhado dos custos de usinagem para auxiliar o engenheiro em sua tomada de decisão, já que em algumas situações as condições mais baratas de usinagem são contra intuitivas.

6. REFERÊNCIAS

- Budynas, R.G., Nisbett, J.K., 2011, “Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica”. Ed. AMGH, Porto Alegre, Brasil, 8. ed.
- Callister, W.D., Rethewisch, D. G., 2013, “Ciências e Engenharia de Materiais: Uma introdução”. Ed. LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 8. ed.
- Dultra, B.L., 2011, “Elaboração de um Sistema de Custeio para a Formação do Custo do Serviço de Usinagem em uma Pequena Empresa”. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, Brasil.
- Machado, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., Silva, M.B., 2011, “Teoria da Usinagem dos Metais”. Ed. Blucher, São Paulo, Brasil. 2. ed.
- Mitsubishi Materials, 2017, “Fórmulas para Torneamento”. Disponível em: http://www.mitsubishicarbide.net/contents/mht/pt/html/product/technical_information/information/formula1.html >. Acesso em: 12 fev 2017.
- Pinheiro, V., Costa, A.L.M., 2014, “Algoritmo para Análise Gráfica e Dimensionamento de Eixos de Transmissão de Potência”. Anais do XIV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial, Salvador, Brasil, 2014.
- Sandvik, 2012a, “Price List: Cutting tools”. Sandviken, Sweden.
- Sandvik, 2012b, “Ferramentas para torneamento: Torneamento geral”. São Paulo, Brasil.
- Sandvik, 2017, “Tool Guide”. Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/coroplus-toolguide/pages/default.aspx> >. Acesso em 12 fev 2017.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ALGORITHM FOR TOOL SELECTION AND TURNING COST ANALYSIS

Matheus Lisboa de Melo Andrade Alves, matheuslmaalves@gmail.com¹
André Luiz de Moraes Costa, andre.costa@ufs.br¹

¹Department of Mechanical Engineering, Federal University of Sergipe
Cidade Univ. Prof. José Aloísio de Campos, Av. Marechal Rondon s/n, São Cristóvão, Sergipe, Brazil, CEP 49100-000

Abstract: *In this work we have developed a software to select turning tools by calculating the machining cost of mechanical shafts. The algorithm compares a number of shaft designs providing the manufacturing cost, machining time, and all cutting parameters needed to machining operation, indicating the most suitable tool from manufacturers' lists. As demonstration of the program possibilities, it was analyzed two design factors have influence on the shaft's manufacturing cost: the design's safety factor and the ultimate strength of the material. It was found that the software works very well, and the application results showed that the cheapest machining operation is sometimes counter-intuitive, asking for more expensive raw material and machining tool.*

Key-words: *machining cost, machining tool, shaft manufacturing.*

RESPONSABILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.