



UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE MINITAB NA COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE DESVIO ARITMÉTICO MÉDIO (R_a) E TEMPERATURA DURANTE O FRESAMENTO DO AÇO ABNT 1020

Marcelo Adriano Marques de Almeida

Natália Fernanda Santos Pereira

marcelomarques9@yahoo.com.br

natsantos23@gmail.com

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Presidente Antônio Carlos nº6627, 31270-901, Minas Gerais, Brasil

Marcelo Araújo Câmara

marcelocamara@demec.ufmg.br

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Presidente Antônio Carlos nº6627, 31270-901, Minas Gerais, Brasil.

Pedro Américo Magalhães Junior

pamerico@pucminas.br

PUC MINAS - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Av. Dom José Gaspar nº 500, 30535-901, Minas Gerais, Brasil

Handerson Correia Gomes

handerson.gomes@newtonpaiva.br

PUC MINAS - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Av. Dom José Gaspar nº 500, 30535-901, Minas Gerais, Brasil

Resumo. *Para verificar a existência de diferença significativa em relação ao fresamento discordante e concordante considerando os parâmetros de saída desvio médio aritmético (R_a) e temperatura, utilizou-se o software estatístico Minitab, sendo o Teste de Hipótese a técnica estatística empregada. Para o teste, foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 30x15x100 mm do aço ABNT 1020. Os parâmetros de corte para o ensaio de fresamento tanto do movimento concordante e discordante foram: profundidade de usinagem (a_p) de 1mm, avanço por dente (f_z) 0,12 mm, velocidade de corte (v_c) 160 m/min, penetração de*

CILAMCE 2017

Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering
P.O. Faria, R.H. Lopez, L.F.F. Miguel, W.J.S. Gomes, M. Noronha (Editores), ABMEC, Florianópolis, SC,
Brazil, November 5-8, 2017.

trabalho (a_e) 30 mm e diâmetro da fresa (D_c) de Ø 63 mm. O fresamento foi realizado sem fluido de corte. A fresa aplicada aos ensaios possui 5 insertos de metal duro da classe P 25-40, sem revestimento. Após o ensaio, aplicou-se o Teste de Hipótese na qual, verificou-se uma diferença significativa em relação aos dois movimentos sobre o parâmetro R_a , obtendo um menor valor de R_a para o movimento discordante. Quanto ao parâmetro temperatura, não houve uma diferença significativa verificada pelo Teste de Hipótese em relação as temperaturas obtidas durante os ensaios para os dois movimentos, obtendo médias de 96,8°C para discordante contra 72,14°C para o concordante.

Palavras chave: *Fresamento, Movimento discordante, Movimento concordante, Minitab.*

1. INTRODUÇÃO

A operação de fresamento, dentre todos os processos de usinagem empregados atualmente, apresenta-se como um dos mais importantes da indústria, tanto pela sua enorme versatilidade de aplicação como também por sua grande capacidade de remoção de cavaco. A operação de fresamento caracteriza-se por ser um corte interrompido. Durante uma volta completa da ferramenta, esta passará por momentos em que estará cortando o material da peça (ciclo ativo) e o restante da volta estará em vazio (ciclo inativo). Esta característica do corte interrompido faz com que a ferramenta esteja submetida, durante cada rotação, a elevadas variações térmicas e de tensões mecânicas que promoverão o aparecimento de avarias e desgaste da ferramenta (Souto, 2007).

Outra particularidade é que a operação de fresamento ocorre em dois sentidos, no movimento concordante e no discordante e a diferença entre os dois influencia vários fatores na usinagem, como no desgaste das ferramentas, na rugosidade do material, na temperatura, na força de corte e apresenta uma relação direta com as folgas da máquina (Dib *et al.*, 2015). Nesse sentido, o presente trabalho apresenta como objetivo, avaliar qual movimento deve-se adotar na operação de fresamento que assegure um melhor acabamento, menores temperaturas e como consequência a redução do desgaste de ferramentas. No movimento concordante, a velocidade de corte e a velocidade de avanço ocorrem no mesmo sentido, a aresta de corte ao penetrar na peça faz com que a espessura de corte seja máxima e prossegue o corte até atingir um valor igual à zero. No discordante, a velocidade de corte ocorre no sentido contrário do avanço de corte, sendo que a espessura de corte ocorre progressivamente de zero até um valor máximo e devido ao alto atrito no início da usinagem ocorre grande geração de calor.

No teste experimental realizado por (Hadi *et al.*, 2013) o movimento discordante afetou significativamente a distribuição da tensão durante a remoção do material e também no desempenho de corte, tendo assim como resultado aceleração do desgaste de flanco, quando comparado ao movimento concordante. Mas por outro lado, este movimento tende a atenuar a folga existente na máquina contribuindo para um bom acabamento. Portanto, ao usinar uma peça utilizando os mesmos parâmetros de corte para os dois movimentos, os valores de desvios aritméticos médios R_a e temperaturas são diferentes para as duas situações. Resultados experimentais realizados por (Toh, 2005) mostraram que a temperatura da superfície do cavaco produzida no movimento concordante foi em geral mais baixa em comparação com o fresamento discordante.

O presente trabalho buscou analisar por meio do software estatístico Minitab, se existe diferença significativa em relação aos dois movimentos estudados. De acordo com (Diniz *et al.* 2013), os principais tipos de fresamento são o tangencial e o frontal, além do corte ser concordante ou discordante. Estudo realizado por (Sandvik, 2017) destaca que no corte discordante a aresta de corte é forçada dentro do corte, criando um efeito de esfregamento ou de queima devido ao atrito, altas temperaturas e, geralmente, contato com a superfície endurecida pelo trabalho causado pela aresta anterior. De tal modo, estes fatores reduzem a vida da ferramenta. Já no fresamento concordante, a espessura dos cavacos diminuirá no início do corte, gradualmente atingindo zero no final do corte. Isto evita que a aresta se esfregue ou queime contra a superfície antes do contato no corte. Com o resultado deste estudo, avalia-se qual movimento de corte apresenta melhores condições para a ferramenta de corte e que propicie um menor desvio aritmético médio e menores temperaturas.

Nesse sentido, usinaram-se dois corpos de prova um em cada sentido de corte, na operação de fresamento e foi monitorado o desvio aritmético médio e a temperatura. Após conclusão dos experimentos, aplicou-se o teste de hipótese com o objetivo de verificar se estatisticamente existe uma diferença significativa para os dois movimentos avaliados e qual apresentou melhor comportamento em relação às variáveis de saída estudadas, visto que os dois movimentos de corte são utilizados na operação de fresamento. Porém, devido suas particularidades técnicas, os parâmetros de saída avaliados podem sofrer influências e entendê-los auxiliará na melhor escolha quando realizar uma operação de fresamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para a realização dos experimentos, empregaram-se corpos de prova em aço ABNT 1020, nas dimensões de 30 x 15 x 100 mm conforme indicado na Fig. 1. O processo de usinagem foi realizado na fresadora ferramenteira, marca Clarck modelo FFH-2 conforme detalhado na Fig. 2, do laboratório de usinagem da Universidade Newton Paiva, campus Buritis, Belo Horizonte-MG. Foi utilizado uma fresa com 5 insertos, fornecedor Iscar. Os insertos de metal duro são da classe P 25-40, fornecedor Iscar, conforme indicado na Fig. 3. Para controle e coleta dos dados do desvio aritmético médio - (R_a) utilizou-se um rugosímetro digital TR-200 da marca TIME e um perfilômetro modelo T8000 fabricado pela Hommelwerk. Para medição da temperatura utilizou-se uma câmera térmica FLIR i7, marca FLIR. Os dados estatísticos foram analisados no software Minitab versão 17.



Figura 1. Corpos de prova utilizados no experimento

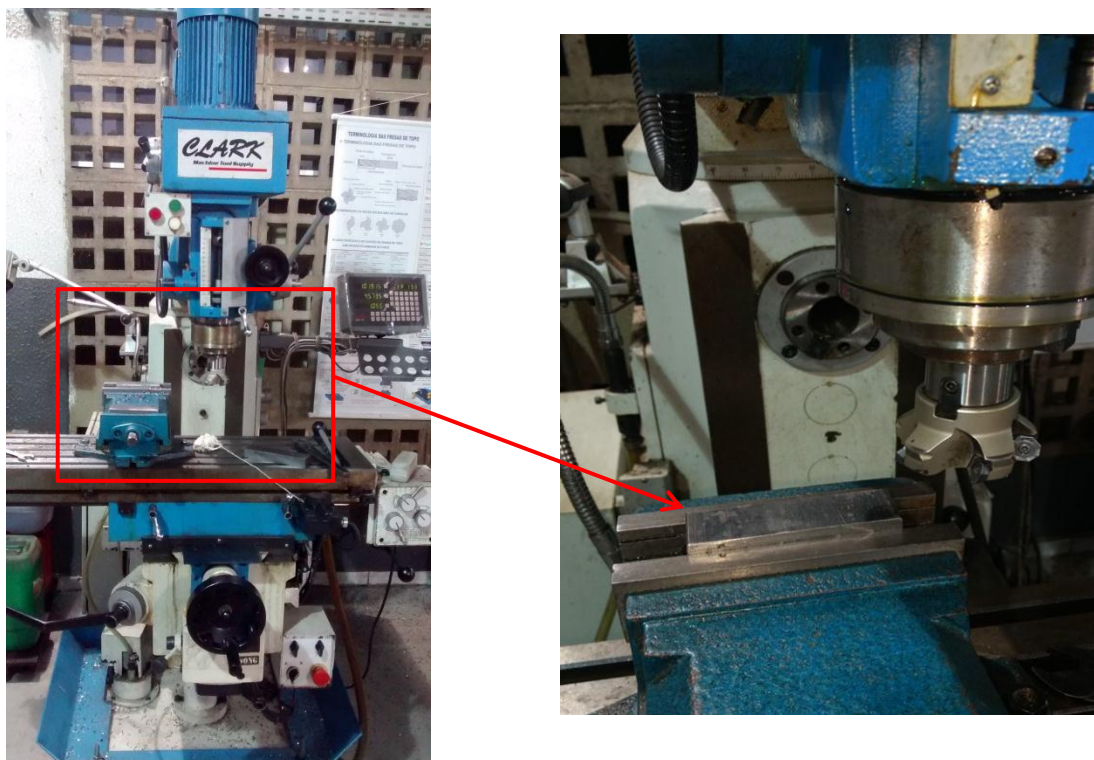


Figura 2. Fresadora ferramenteira (fresamento frontal)



Figura 3. Inserto de metal duro classe P 25-40

2.2 Metodologia

Considerou-se para o ensaio de fresamento, a realização de 10 passes em cada corpo de prova correspondente ao movimento discordante e concordante. O ensaio foi realizado sem fluido de corte e para cada corpo de prova utilizou-se arestas de corte novas. Os parâmetros de corte do ensaio foram: velocidade de corte (v_c) 160 m/min; profundidade de usinagem (a_p) de 1mm; avanço por dente (f_z) 0,12 mm/aresta; penetração de trabalho (a_e) 30 mm e diâmetro da fresa (D_c) de Ø 63 mm.

A cada passe usinado nos corpos de prova, realizaram-se as medições do desvio aritmético médio - (R_a) com o rugosímetro digital de acordo com a NBR ISO 4287. Empregou-se um comprimento de amostragem de 0,8 mm, e comprimento de avaliação de 4 mm, para os valores de R_a entre 0,1 e 2 μ m. Os valores recomendados para os comprimentos de amostragem e de avaliação estão de acordo com a norma ISO 4288 *apud* (Machado *et al.*,

2011). Acompanhou-se o perfil tridimensional no final do ensaio com o perfilômetro. As imagens foram analisadas no software Hommelmap expert 6.2. A temperatura foi coletada durante o processo com câmera térmica, em que o ponto focal foi direcionado sobre a aresta de corte fazendo aquisição da temperatura sobre a superfície do cavaco. Independente do tipo de movimento, a temperatura na zona de aderência não é possível obter por meio dessa técnica, devido à zona de aderência esta localizada abaixo da superfície do cavaco. Sendo assim, a medição da temperatura nessa região pode ser aplicada por meio de sensores termopares, onde é possível a medição mais próxima da zona de aderência, porém é um método mais complexo na qual não foi abordado neste trabalho. O estudo da temperatura por meio da câmera térmica permite uma avaliação comparativa da temperatura, sendo possível avaliar o seu efeito para os dois movimentos estudados na operação de fresamento frontal.

3. RESULTADOS

3.1 Desvio aritmético médio (R_a) e temperatura

Na Tabela 1 estão relacionados os valores de (R_a) e temperatura obtidos, durante a operação de fresamento. Foram utilizados os dados relacionados à Tabela 1 para aplicação do teste de hipótese.

Tabela 1. Valores do desvio aritmético médio (R_a) e da temperatura

Desvio aritmético médio - R_a [μm]			Temperatura $^{\circ}\text{C}$		
Passes	Movim. Discordante	Movim. Concordante	Passes	Movim. Discordante	Movim. Concordante
1	1,132	1,691	1	135,0	73,8
2	1,236	1,923	2	122,0	94,6
3	1,114	1,675	3	73,0	62,0
4	1,085	1,741	4	93,0	63,0
5	0,903	1,608	5	90,0	65,0
6	0,905	1,708	6	98,0	78,0
7	0,931	1,663	7	92,0	75,0
8	0,897	1,687	8	87,0	69,0
9	1,010	1,654	9	95,0	72,0
10	0,901	1,525	10	83,0	69,0
Média	1,010	1,687	Média	96,8	72,14

3.2 Teste de hipótese

A fim de atestar os dados do desvio aritmético médio R_a e validar o teste de hipótese para os dois movimentos discordante e concordante, foi necessário verificar se a distribuição de probabilidade poderia ser aproximada pela distribuição normal, e, para isso, aplicou-se o teste de Anderson-Darling. De acordo com o Minitab, este teste compara a função de distribuição acumulada empírica dos dados amostrais com a distribuição esperada se os dados fossem normais. Para isso, verifica-se o p-valor, sendo necessário apresentar um valor superior ao nível de significância para um teste com intervalo de confiança escolhido, sendo de 95%. Se o

Utilização do software Minitab na comparação dos resultados de desvio médio aritmético (R_a) e temperatura durante o fresamento do aço ABNT 1020

p-valor for menor que o nível de significância, os dados não seguem uma distribuição normal. Sendo assim, a Fig. 3 apresenta o gráfico de probabilidade normal dos resíduos para os dados do desvio médio aritmético R_a .

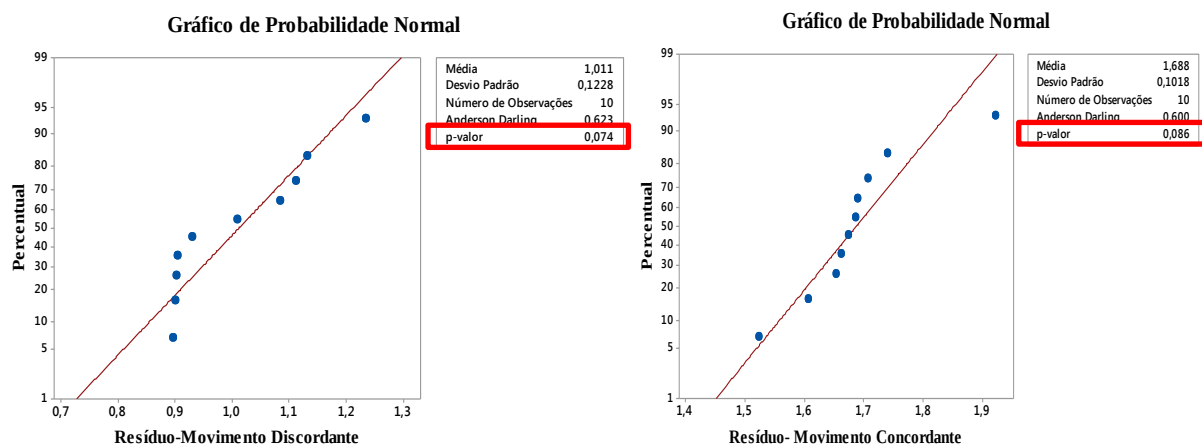


Figura 3. Gráficos de probabilidade normal para o desvio médio aritmético

De acordo com a Fig. 3 é possível observar que o p-valor, de 0,074 e 0,086 para os dois movimentos estão acima do nível de significância de 0,05, validando que os dados seguiram uma distribuição normal.

Para avaliação se existem diferenças significativas quanto aos valores de desvio aritmético médio e temperatura em relação aos dois movimentos concordante e discordante, avaliou-se os dados coletados por meio do software estatístico Minitab sendo a técnica estatística empregada denominada Teste de Hipótese. Nesse planejamento, os resultados são obtidos a partir de ensaios realizados de forma aleatória, sem a definição exata de uma variável de influência, ou de seus limites de análise. De acordo com Montgomery e Runger (2016), o teste de hipótese empregado é aplicado quando se deseja verificar se a média ou a variância de uma população é igual a um dado valor, ou comparar as médias e variâncias de duas populações distintas. Este procedimento consiste em analisar uma amostra aleatória e por meio do teste estatístico rejeitar ou não a hipótese nula. Essa rejeição é baseada num conjunto de valores denominado região crítica ou região de rejeição. Nesse sentido, o teste foi realizado considerando-se as seguintes hipóteses:

- hipótese nula (H_0): se a média da amostra μ_1 é igual a média da amostra μ_2 , sendo $\mu_1 = \mu_2$;
- hipótese alternativa (H_a): se existe alguma diferença significativa em relação a média para os dois movimentos concordante e discordante, sendo $\mu_1 \neq \mu_2$.

Para a realização do teste de hipótese foi considerado algumas premissas tais como: os dados amostrais são independentes, obtidas num planejamento totalmente aleatorizado, com variâncias assumidas como iguais, mas desconhecidas e o tamanho da amostra para definição de qual distribuição será aplicada. Sendo assim, de acordo com Montgomery e Runger (2016) se os dados amostrais forem menores que 30, o teste estatístico utilizado terá uma distribuição *t de Student*. Portanto, os dados do desvio médio aritmético verificado no Minitab para as

duas amostras estão sintetizadas na Fig. 4 que considerou-se o nível de significância (α) de 0,05.

Teste T para Duas Amostras e IC: Desvio aritm. médio-Disc; Desvio aritm. médio-Conc				
Teste T para 2 amostras para Desvio aritm. médio-Discordante vs Desvio aritm. médio-Concordante				
	N	Média	DesvPad	EP Média
Desvio aritm. médio-Disc	10	1,011	0,123	0,039
Desvio aritm. médio-Conc	10	1,688	0,102	0,032
Diferença = μ (Desvio aritm. médio-Discordante) - μ (Desvio aritm. médio-Concordante)				
Estimativa para a diferença: -0,6761				
IC de 95% para a diferença: (-0,7821; -0,5701)				
Teste T de diferença = 0 (versus $\neq$): Valor T= -13,40 Valor-P = 0,000 GL = 18				
Ambos usam DesvPad Combinado = 0,1128				

Figura 4. Dados do Minitab para o desvio aritmético médio Ra em relação ao movimento Discordante e Concordante

Para definir se a hipótese nula (H_0) poderia ser rejeitada, deve-se comparar t_0 com o valor da distribuição t, sendo $n_1 + n_2 - 2$ graus de liberdade. Se $|t_0| > t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}$, então H_0 seria rejeitada, ou seja, as médias das distribuições relativas às duas amostras seriam diferentes. Nesse sentido, o Minitab calculou o valor do t sendo de -13,40. O valor de t_0 foi verificado na tabela correspondente a distribuição t, conforme Montgomery e Runger (2016) sendo de $\pm 2,101$. Portanto como t_0 de $\pm 2,101$ é maior que t de -13,40 pode-se rejeitar H_0 com nível de significância de 0,05. Dessa forma, pode-se afirmar que existe uma diferença significativa para o desvio aritmético médio R_a para os movimentos discordante e concordante no fresamento do aço 1020.

A Figura 5 apresenta o boxplot para o desvio médio. O diagrama de caixas conhecido como boxplot é uma apresentação gráfica que descreve simultaneamente várias características importantes de um conjunto de dados, tais como centro, dispersão, desvio da simetria e identificação das observações não usuais ou *outliers* (Montgomery e Runger, 2016). Nesse gráfico, pode-se destacar que a variação do tipo de movimento tem um efeito sobre desvio médio aritmético. Apesar de que o movimento discordante apresenta uma maior variabilidade para os dados, visivelmente apresentado pelo maior tamanho da caixa (box), esse apresentou menores valores de desvio. O desvio aritmético médio R_a é o resultado da ação inerente do processo de corte causado pela ferramenta, que impacta diretamente na qualidade da superfície usinada. Menores valores apresentam um melhor acabamento superficial.

Utilização do software Minitab na comparação dos resultados de desvio médio aritmético (R_a) e temperatura durante o fresamento do aço ABNT 1020

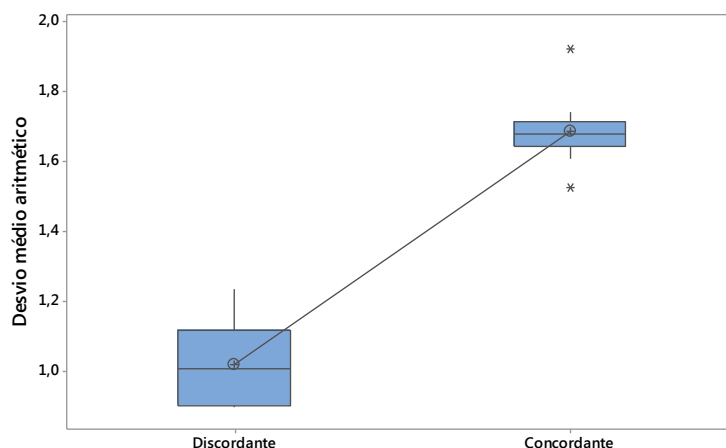


Figura 5. Boxplot para os dados do desvio aritmético médio R_a

Para atestar os dados da temperatura e validar o teste de hipótese para os dois movimentos discordante e concordante foi necessário verificar se a distribuição de probabilidade poderia ser aproximada pela distribuição normal, avaliada pelo teste de Anderson-Darling. Sendo assim, a Fig. 6 apresenta o gráfico de probabilidade normal dos resíduos para os dados da temperatura. É possível observar que o p-valor, de 0,054 e 0,169 para os dois movimentos estão acima do nível de significância de 0,05, validando que os dados seguiram uma distribuição normal.

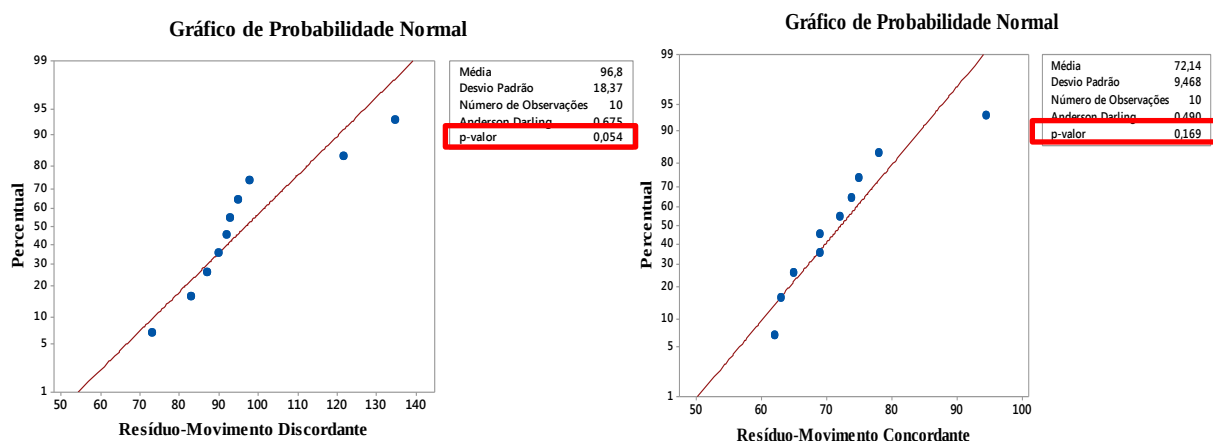


Figura 6. Gráficos de probabilidade normal para a temperatura

Análogo ao teste de hipótese para o desvio aritmético médio aplicou-se esse mesmo teste para os dados da temperatura para os dois movimentos com nível de significância de 0,05. A Fig. 7 detalha esse teste.

Teste T para Duas Amostras e IC: Temperatura- Discordante; Temperatura-Concordante				
Teste T para 2 amostras para Temperatura- Discordante vs Temperatura-Concordante				
	N	Média	DesvPad	EP Média
Temperatura- Discordante	10	96,8	18,4	5,8
Temperatura-Concordante	10	72,14	9,47	3,0
Diferença = μ (Temperatura- Discordante) - μ (Temperatura-Concordante)				
Estimativa para a diferença: 24,66				
IC de 95% para a diferença: (10,93; 38,39)				
Teste T de diferença = 0 (versus $\neq$): Valor T= 3,77 Valor-P = 0,001 GL = 18				
Ambos usam DesvPad Combinado = 14,6105				

Figura 7. Dados do Minitab para a temperatura em relação ao movimento Discordante e Concordante

O valor de t_0 foi verificado na tabela correspondente a distribuição t, sendo de $\pm 2,101$. Portanto como t_0 de $\pm 2,101$ é menor que t de 3,77 não se pode rejeitar a H_0 com nível de significância aplicado. Dessa forma, pode-se afirmar que não existe uma diferença significativa para a temperatura média em relação ao movimento discordante e concordante. Em relação ao boxplot apresentado na Fig.8, pode-se verificar que as médias estão próximas constatando que hipótese nula não pode ser rejeitada.

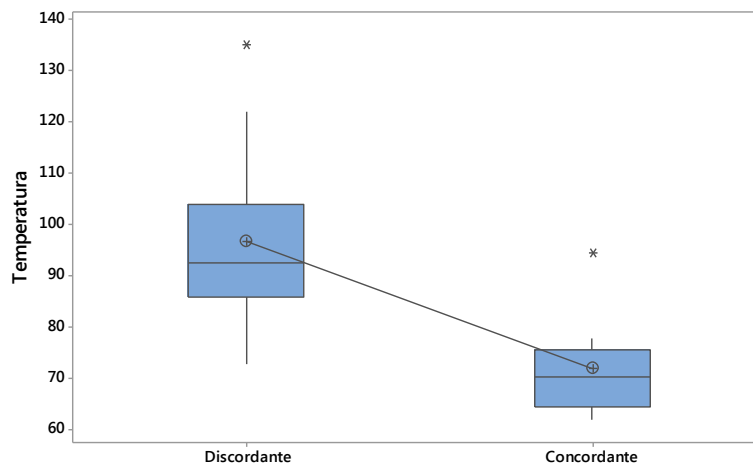


Figura 8. Boxplot para os dados da temperatura

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Desvio aritmético médio e acabamento superficial

A fim de verificar a superfície dos movimentos discordante e concordante, realizou-se a análise do perfil tridimensional das superfícies dos dois corpos de prova após a operação de fresamento, conforme detalhado na Fig. 9 e Fig. 10. O movimento discordante apresentou um melhor acabamento e menor valor de R_a corroborando com o teste de hipótese aplicado, que apresentou como resultado a existência de uma diferença significativa em relação aos dois movimentos.

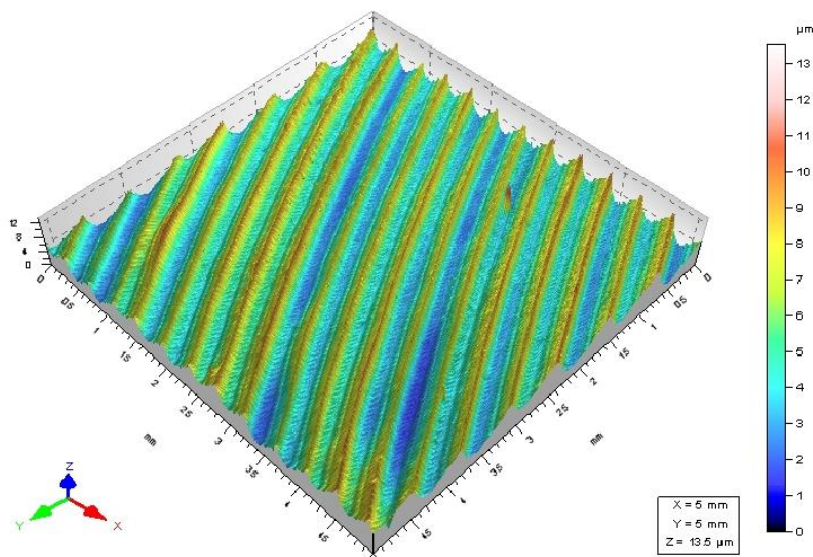


Figura 9. Perfil tridimensional para o movimento discordante

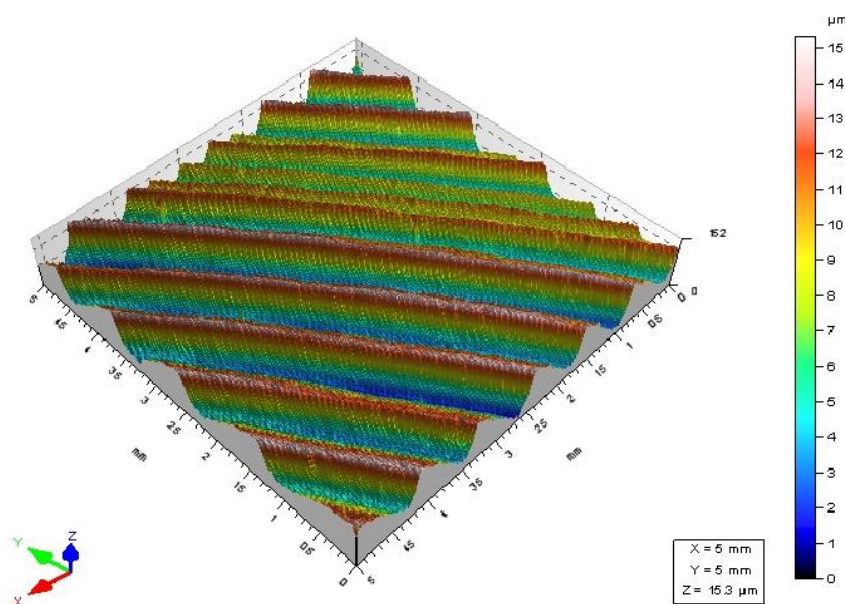


Figura 10. Perfil tridimensional para o movimento concordante

O perfil 2D destaca os valores de R_a e o perfil da superfície para os movimentos discordante e concordante. Analisou-se o perfil em quatro regiões conforme detalhado na Tabela 2 e 3. De acordo com os valores de R_a avaliados no perfil da superfície para o movimento discordante, esse apresentou uma média de 1,18 μm . Já para o movimento concordante apresentou um valor de R_a de 1,38 μm , confirmando os menores valores de R_a para o movimento discordante.

Tabela 2. Perfil 2 D para o movimento discordante

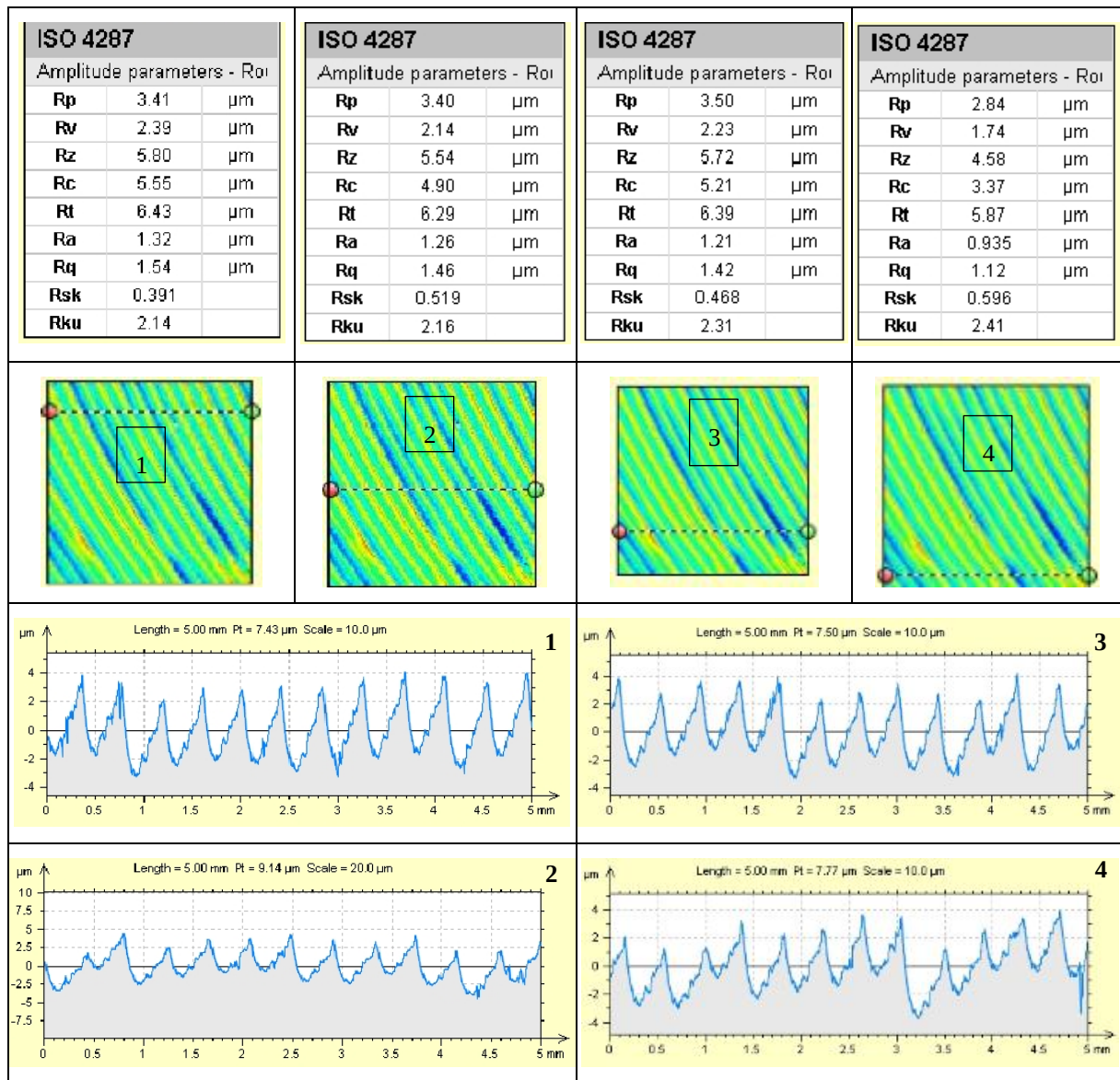
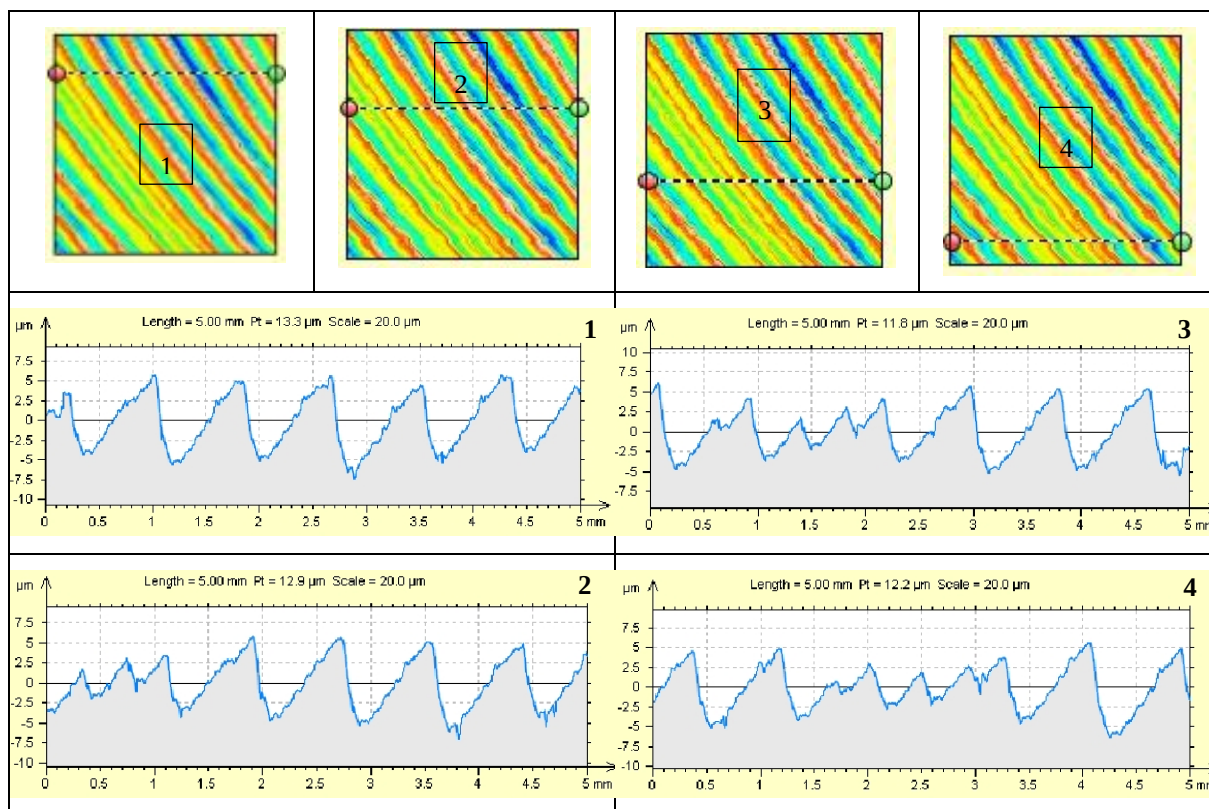


Tabela 3. Perfil 2 D para o movimento concordante

ISO 4287	ISO 4287	ISO 4287	ISO 4287
Amplitude parameters - Roi	Amplitude parameters - Roi	Amplitude parameters - Roi	Amplitude parameters - Roi
Rp 4.25 μm	Rp 4.01 μm	Rp 3.60 μm	Rp 3.53 μm
Rv 3.66 μm	Rv 3.29 μm	Rv 2.98 μm	Rv 2.91 μm
Rz 7.91 μm	Rz 7.30 μm	Rz 6.58 μm	Rz 6.43 μm
Rc 4.98 μm	Rc 4.53 μm	Rc 4.40 μm	Rc 5.66 μm
Rt 8.38 μm	Rt 8.29 μm	Rt 7.89 μm	Rt 8.19 μm
Ra 1.56 μm	Ra 1.41 μm	Ra 1.27 μm	Ra 1.28 μm
Rq 1.94 μm	Rq 1.77 μm	Rq 1.57 μm	Rq 1.58 μm
Rsk 0.193	Rsk 0.445	Rsk 0.250	Rsk 0.235
Rku 2.40	Rku 2.67	Rku 2.46	Rku 2.38

Utilização do software Minitab na comparação dos resultados de desvio médio aritmético (R_a) e temperatura durante o fresamento do aço ABNT 1020



O menor desvio médio aritmético R_a no movimento discordante se justifica, devido ao fato de utilizar uma máquina convencional, pois a folga desse equipamento se dá no sentido contrário ao movimento reduzindo a folga, atribuindo a melhores acabamentos. Porém, no movimento concordante os maiores desvios médios aritméticos se deram devido à folga já existente na máquina, uma vez que o sentido do corte para esse movimento contribui para aumentar a folga e assim prejudicar o acabamento. Os autores (Hutchings e Shipway, 2017) discutem a influência do modo de deformação em relação ao grau de penetração (D_p), que no caso determina o ângulo de saída em relação à força de cisalhamento interfacial, conforme detalha a Fig. 11. No movimento discordante, a espessura de corte aumenta progressivamente de zero até o valor máximo, sendo assim, quando a aresta toca a peça, ela é forçada para dentro da peça, criando um excessivo atrito que apresenta deformação plástica ao invés de formação do cavaco e altas temperaturas. Quando a pressão da aresta cortante atinge um valor capaz de vencer a tensão de ruptura do material da peça, a ferramenta penetra a peça e com os movimentos de usinagem, retira uma porção de cavaco. Nesse sentido, como a espessura de corte inicialmente é menor, ou seja, o grau de penetração e a força de cisalhamento são baixos, ocorre o modo de deformação por sulcamento (*ploughing*), dessa forma, não há corte de material e sim deformação, similar ao que acontece com o movimento discordante, como consequência uma menor rugosidade do material.

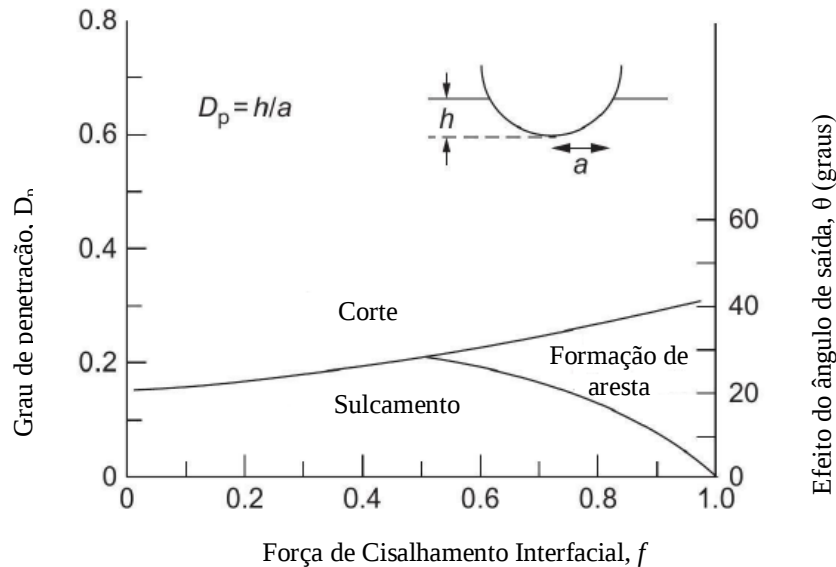


Figura 11. Modo de deformação observado em um deslizamento de uma esfera dura de bronze em um plano de aço carbono (0,45%) e aço inox (AISI 304), na qual o grau de penetração da esfera (D_p) determina o ângulo de saída efetivo θ que também é plotado

4.2 Temperatura

A Figura 12 retrata as imagens coletadas pela câmera térmica durante a operação de fresamento. De acordo com as temperaturas coletadas, o movimento concordante apresentou menores valores de temperatura, enquanto que no discordante as temperaturas foram mais altas. Apesar de que, estatisticamente no teste de hipótese indicar que não existe uma diferença significativa para as médias das temperaturas para os dois movimentos, sabe-se que a temperatura influencia tanto no desgaste das ferramentas e na operação de fresamento.

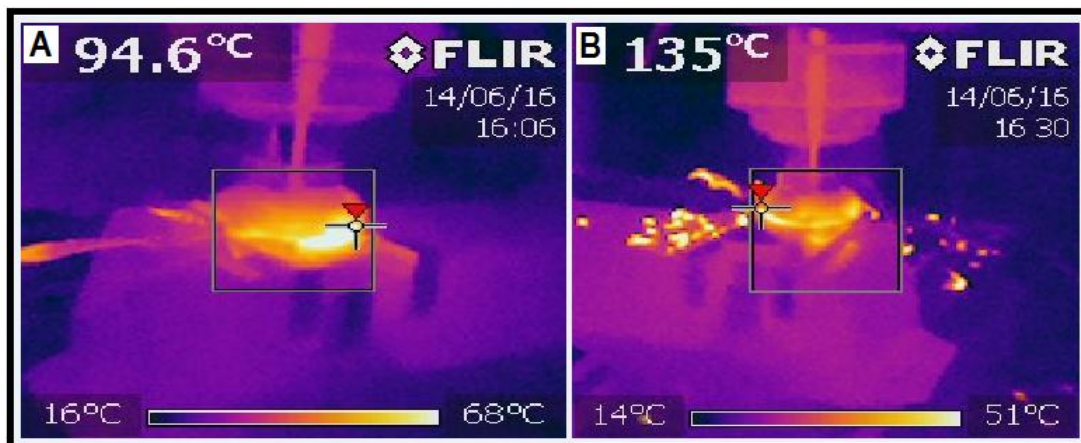


Figura 12. Temperatura durante a operação de fresamento a) movimento concordante; b) movimento discordante

A maior temperatura no movimento discordante se justifica, pois o calor gerado no fresamento é atribuído às deformações plásticas do material, ao cisalhamento do cavaco no plano de cisalhamento, ao atrito do cavaco com a ferramenta e o atrito da ferramenta com a

peça, como no movimento discordante o corte se inicia com espessura de corte zero e vai progressivamente aumentando a camada de retirada de material até chegar ao seu valor máximo, o atrito inicial provoca grande geração de calor, tal fato corrobora os estudos de Sandvik (2017). Porém no movimento concordante a espessura de corte é máxima no início do fresamento, sendo assim o calor gerado por atrito se torna menor.

5. CONCLUSÕES

Para o movimento discordante foram obtidos menores valores de desvios aritméticos médios atribuindo a um melhor acabamento, conforme observado no perfil tridimensional, corroborando o teste de hipótese que existe sim uma diferença significativa quanto os desvios médios para os dois movimentos no fresamento. No que se refere à temperatura, o movimento concordante obteve menores valores quando comparado ao discordante. Essas diferenças impactam diretamente no acabamento e desgaste da ferramenta, sendo assim, baseado nos resultados obtidos nesse experimento, deve-se utilizar o movimento discordante quanto ao acabamento, porém haverá um desgaste mais severo na ferramenta de corte devido a altas temperaturas. Quando a peça usinada não exigir um bom acabamento, opta-se pelo movimento concordante que permitirá uma redução do desgaste da ferramenta devido a um menor calor gerado para esse movimento.

O teste estatístico para a temperatura apontou que não existe uma diferença estatística para a média das temperaturas dos dados coletados para esse estudo, mas sabe-se que a temperatura é um fator que influencia no processo de usinagem. O software estatístico auxilia para a validação dos dados coletados principalmente pelo teste de normalidade e o teste de hipótese sendo aplicado quando se deseja verificar se a média ou a variância de uma amostra é igual ou diferente em relação a um parâmetro de saída.

AGRADECIMENTOS

Os autores dessa pesquisa agradecem a Universidade Newton Paiva, pela disponibilidade dos equipamentos do Laboratório de Usinagem do departamento de Engenharia Mecânica, bem como a Universidade Federal de Minas Gerais, departamento de Engenharia Metalúrgica pela disposição do perfilômetro aplicado a esse estudo.

REFERÊNCIAS

- Dib, M. H. M.; Benjamin, G. M.; Jasinevicius, R. G. Uma Análise Experimental do Fresamento Discordante e Concordante. Revista Iluminart, 2015.
- Hadi, M. A.; Ghani, J.A.; Che Haron, C. H.; Kasim, M.S. Comparison between up-milling and down-milling operations on tool wear in milling Inconel 718. The Malaysian International Tribology Conference, MITC2013.
- Diniz, A.E.; Marcondes, F.C.; Coppini, L. Tecnologia da usinagem dos materiais. 8ed. São Paulo: Artliber, 2013.

HUTCHINGS, I.M.; Shipway, P. Tribology: friction and wear of engineering materials. 2 ed. Butterworth-Heinemann, 2017.

Machado, A. R.; Abrão, A. M.; Coelho, R.; T.; Silva, M. B. Teoria da Usinagem dos Materiais. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

Minitab. Disponível em <http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/data-concepts/anderson-darling/>. Acesso em: 16/08/2016.

Montgomery, D.C.; Runger, G.C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

Sandvik Coromant. Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position>. Acesso em: 04 de Outubro 2017.

Souto, U. B. Monitoramento do desgaste de ferramenta no processo de fresamento via emissão acústica. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

Toh, C. K. Comparison of chip surface temperature between up and down milling orientations in high speed rough milling of hardened steel. Journal of Materials Processing Technology, 2005.