

Sistemas Produtivos e Desenvolvimento Profissional: Desafios e Perspectivas**Análise experimental da temperatura durante o processo de furação em aço SAE 1030**Kleberson Cartolari de Souza^{1 a}Diego Conte Ayala Penalver¹Felipe Ribeiro Toloczko¹Marcos Roberto Nascimento¹Humber Furlan^{1 b}Faculdade de Tecnologia de São Paulo – São Paulo – Brasil¹klebersoncartolari@fatecsp.br^ahumber@fatecsp.br^b

A severidade do processo de furação durante a usinagem ocasiona um aumento da temperatura na região de corte da ferramenta. Esta condição de trabalho é mais rigorosa quando não existe pré-furação, resultando muitas vezes no desgaste excessivo da aresta de corte e aumento do número de trocas da ferramenta. Neste contexto, este artigo tem como objetivo a medição da temperatura próxima da região de usinagem durante o processo de furação. Ao final uma análise comparativa é apresentada a fim de verificar o comportamento das variáveis utilizadas.

Palavras-chave: Furação, Temperatura, SAE1030.

Abstract

During the machining the severity of the drilling process results in a significant temperature increase of the tool cutting region. This work condition is stricter when the hole is made without a pre-drilling hole, often resulting in excessive wear of the cutting edge and increase in the number of tool replacement. In this context, this paper aims at measuring the temperature of the machining region during the drilling process. At the end of a correlative analysis is presented in order to verify the behavior of the variables used.

Keywords: Drilling, Temperature, SAE1030.

1. Introdução

O processo de furação é uma das técnicas de usinagem mais utilizadas na produção de peças industriais, sendo responsável por aproximadamente 30% das operações de usinagem realizadas em metais (Tonshoff e Konig, 1994). Basicamente, a furação consiste na remoção de material através de uma ferramenta multicortante, objetivando produzir furos de dimensões variadas.

O atrito das arestas transversais da broca é um dos grandes responsáveis pelo aumento da temperatura e dos esforços de usinagem. Na região central da broca a geometria desfavorável associada a redução da velocidade de corte a zero no eixo de revolução, ocasionam o esmagamento do material (Diniz, 2010). O atrito entre cavaco, ferramenta e peça e o limitado espaço para a remoção do cavaco é outro fator importante na geração do calor (Tonshoff e Konig, 1994). Segundo Coz et al, 2012 o aumento da temperatura na interface cavaco-ferramenta altera as condições de escorregamento e de adesão de material. Como consequência deste fenômeno tem-se o desgaste da aresta de corte e limitação da vida da ferramenta, favorecendo o desgaste de flanco e a deformação plástica na superfície da ferramenta. Este carregamento térmico muitas vezes promove na região de contato peça/ferramenta mudanças microestruturais na superfície, gerando altas tensões residuais, consequentemente reduzindo a resistência a fadiga das peças usinadas.

As alterações de temperatura e integridade da ferramenta de corte provocam mudanças na potência consumida de usinagem (Coz et al, 2012). O aumento da temperatura está correlacionado com o crescimento dos esforços exigidos no motor principal da máquina. O mesmo ocorre em relação ao desgaste da ferramenta.

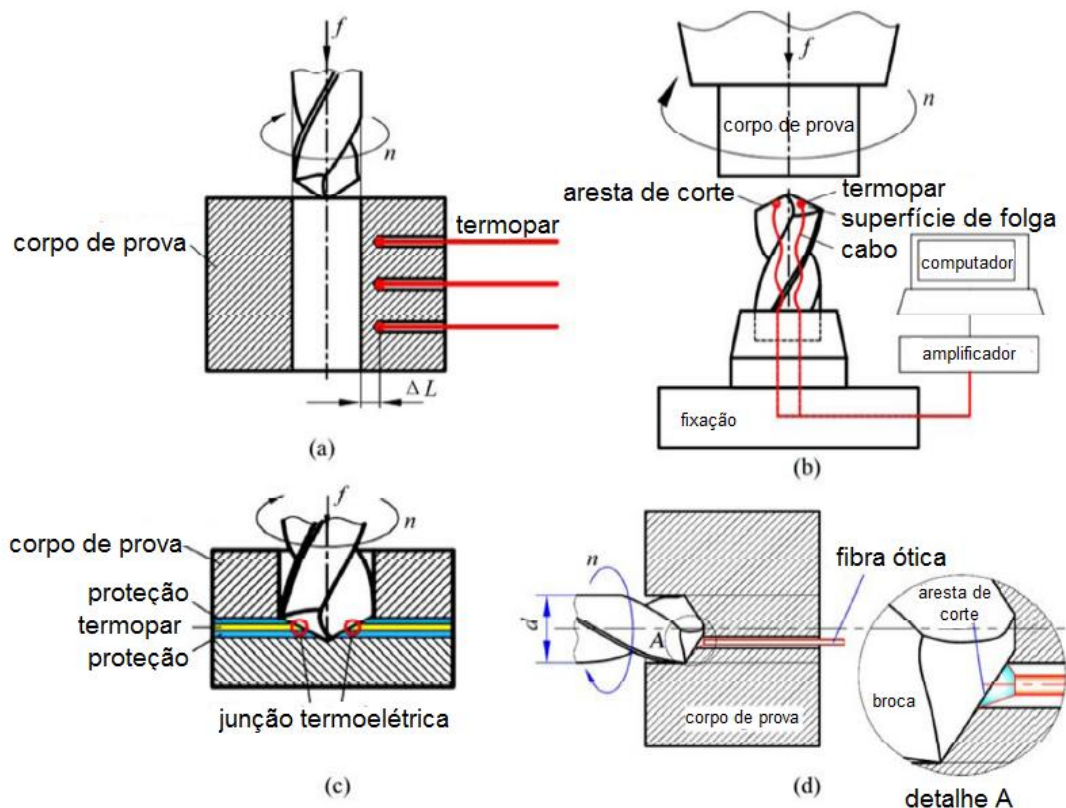
Este trabalho tem como meta ensaiar o processo de furação através de uma broca helicoidal de aço rápido de 17,5 mm de diâmetro e coletar dados referente a temperatura mediante uso de três termopares instalados em pequenos orifícios equidistantes. Esta análise estabelecerá a existência da correlação entre as variáveis mencionadas. Optou-se pela utilização de brocas helicoidais de aço rápido (HSS – *High Speed Steel*) porque este tipo ainda é largamente utilizado na confecção de furos. Isto pode ser explicado devido à baixa capacidade em atingir altas velocidades para grande parte das máquinas comuns na indústria (Bordinassi, Almeida, Stipkovic e Batalha, 2014).

2. Referencial Teórico

Para a medição correta da temperatura é necessário um posicionamento adequado do sensor para a coleta dos dados. Características oriundas do processo como alta velocidade relativa entre as superfícies em análise e a severidade do sistema ocasionam uma grande dificuldade para a obtenção de

informações. Diversos pesquisadores utilizaram variadas técnicas de análise na tentativa de reunir os dados de forma correta, Li e Shi, 2007 usaram termopares posicionados atrás da aresta de corte, canais foram feitos na broca para alojar os sensores, Brandão, Coelho e Lauro, 2011 e Souza et al., 2012 instalaram termopares na peça próximo a região de usinagem e perpendiculares à linha central da ferramenta, a medida da temperatura foi conseguida por condução no material, Beno e Huling, 2012, posicionaram termopares na região periférica e média da aresta de corte para o teste dos materiais aço ferramenta, inconel, titânio e fibra epóxi. Coz et al., 2012 utilizou um sistema inovador posicionando um pequeno termopar atrás da aresta de corte, as informações foram transmitidas por meio da ferramenta em movimento com um sistema de antena RF, Sato, Aoki, Tanaka e Takeda, 2013 inseriram um sensor de fibra ótica no canal de refrigeração da broca e Bogovic, Steve, Rupnik e Bajsic, 2015 fixaram um termopar na peça, próximo a região de trabalho e paralelo ao eixo de revolução da ferramenta. Grande parte dos métodos apresentados contemplam as técnicas mais comuns para este tipo de ensaio conforme é possível verificar na figura 1.

Figura 1 – Métodos mais comuns utilizados na medição de temperatura: a) Termopar inserido na peça de trabalho, b) termopar inserido na ferramenta, c) Termopar de sacrifício e d) Medição sem contato (adptado de Taskesen e Kutukde, 2015).



Os sistemas apresentados possuem vantagens e desvantagens que devem ser consideradas, é importante ressaltar que sistemas de medição onde

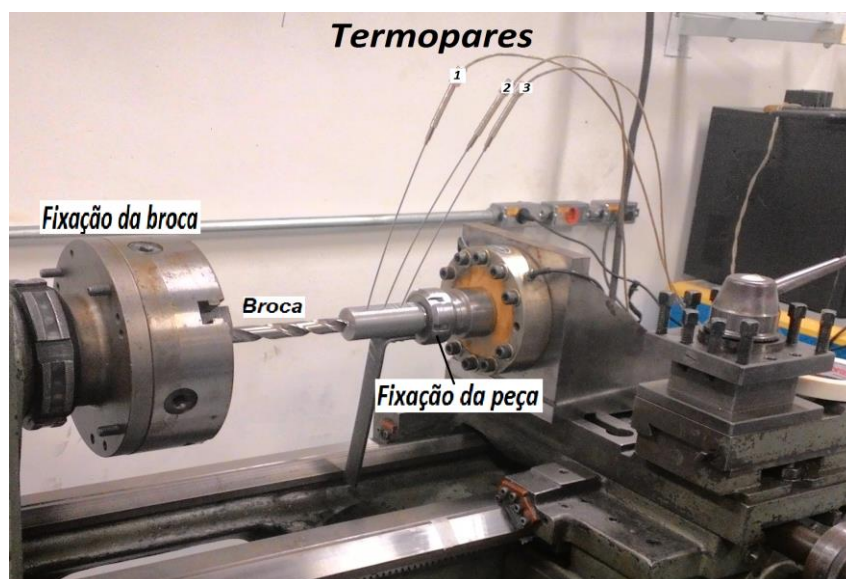
a temperatura é obtida por condução são mais baratos e de montagem simplificada, no entanto podem fornecer valores abaixo do esperado se não fixados bem próximo da zona afetada. Métodos onde o termopar é situado no percurso de usinagem proporcionam bons resultados, entretanto muitas vezes provocam a perda do termopar durante o ensaio. Outra técnica é o posicionamento de sensores nos canais de refrigeração, que apesar da montagem simplificada podem fornecer valores imprecisos devido a distância da interface de trabalho.

Baseado nesta máxima foi escolhido o sistema de três termopares similar ao apresentado na figura 1a. Este método foi selecionado devido a simplicidade e facilidade na aquisição dos dados.

3. Materiais e Métodos

A metodologia de aquisição dos dados foi baseada nas condições utilizadas por Brandão, Coelho e Lauro, 2011. Para o experimento foi usado um torno modelo P400 da Romi, uma adaptação no carro principal da máquina possibilitou a fixação da peça com controle da velocidade de avanço, conforme é possível visualizar na figura 2.

Figura 2 – Dispositivo utilizado para fixação do corpo de prova no torno e fixação da ferramenta.



Foram usadas no ensaio brocas modelo DIN 338 de diâmetro $d = \varnothing 17,5 \text{ mm}$ e um corpo de prova cilíndrico com 40 mm de diâmetro e 80 mm de comprimento útil. O material ensaiado foi a liga de aço SAE 1030 com composição química de acordo com a tabela 1. Os parâmetros aplicados ao

estudo foram velocidade de corte $V_c = 24,74 \text{ m/min}$ e avanço da ferramenta $f = 0,201 \text{ mm/rot.}$

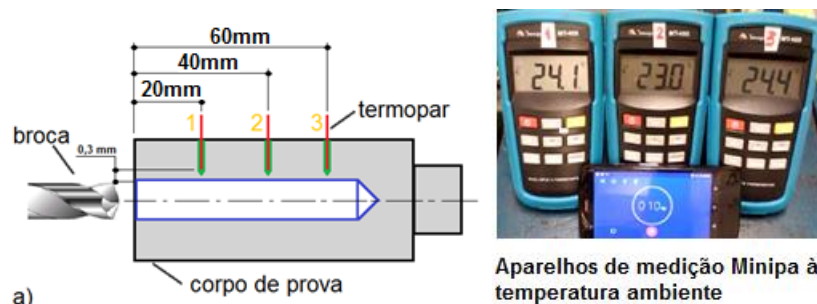
Tabela 1 – Análise espectrométrica da liga SAE 1030.

Composição química do aço SAE 1030				
	%C	%Fe	%Mn	%P
Tolerância:	0,27 – 0,34	98,67 – 99,13	0,60 – 0,90	$\leq 0,040$
Analisado:	0,283	98,6	0,665	0,0013

A medição da temperatura na peça deu-se através de três termopares tipo K (0 à $1250 \pm 2,2 \text{ }^\circ\text{C}$) com diâmetro $d = \varnothing 1,5 \text{ mm}$ fixados paralelamente entre si. O posicionamento foi adequado de modo a permitir a maior aproximação da região termicamente afetada (fig 3.), três sistemas de aquisição de temperatura modelo MT-455 Minipa (faixa de medição de -200 à $1372^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ ou $0,1\%$ FS) foram usados para coleta das informações.

Duas câmeras posicionadas adequadamente permitiram a colhimento dos dados em função do tempo para as variáveis relacionadas.

Figura 3 – a) Locação dos termopares na amostra e b) aquisitores de temperatura.

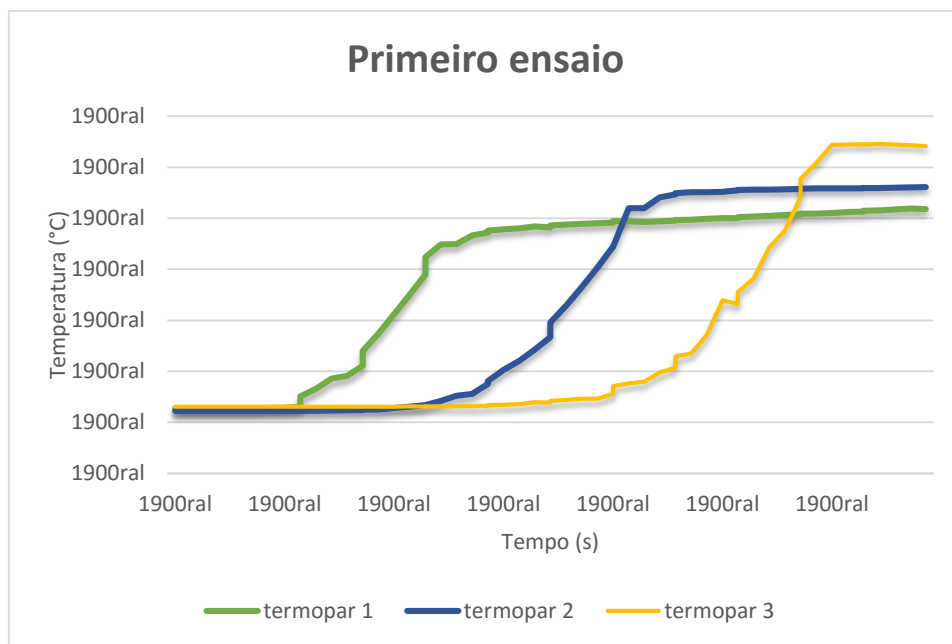


4. Resultados e Discussão

4.1 Análise da variação de temperatura

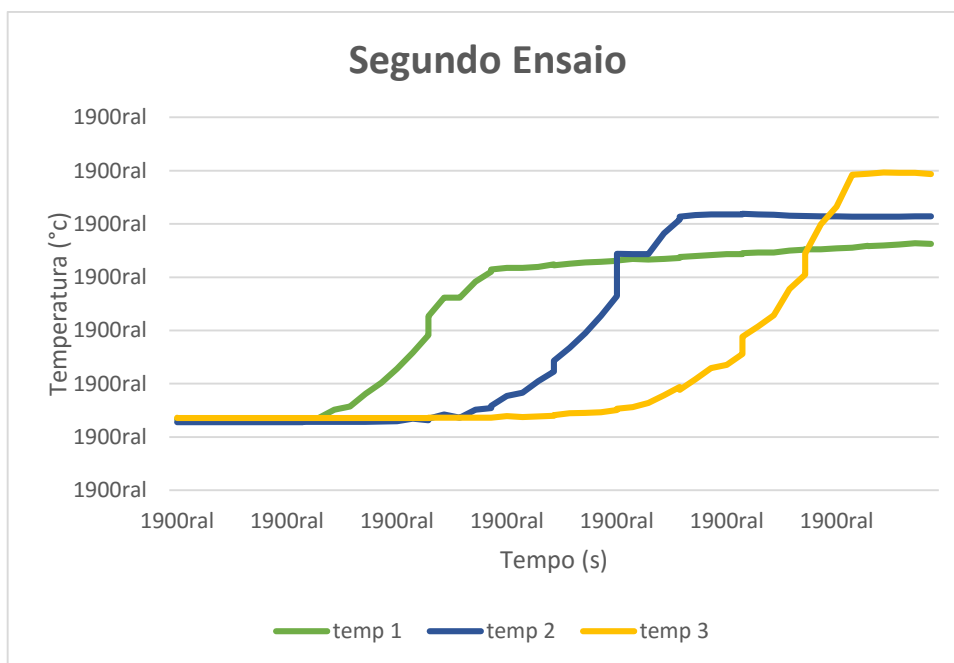
O estudo dos resultados referentes a variação de temperatura permitiu avaliar o comportamento da distribuição de temperatura em relação ao tempo durante a furação da peça, nas regiões medidas. Os gráficos das figuras 5 e 6 demonstram os dados obtidos para o experimento nas condições propostas com três réplicas.

Figura 4 – Dados obtidos durante os ensaios para comportamento da temperatura em função do tempo.



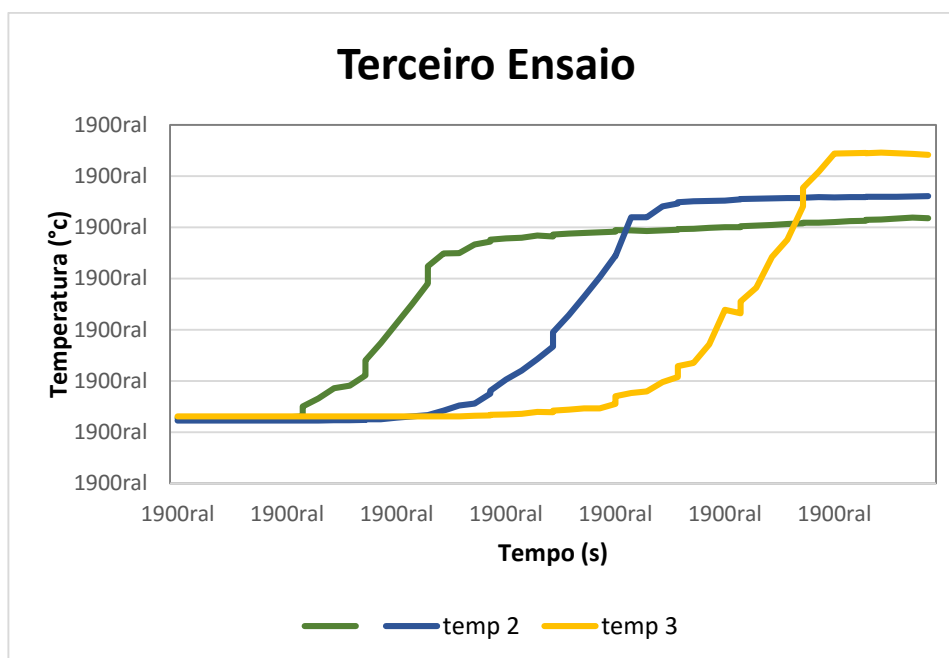
Fonte: própria autoria

Figura 5 – Segundo ensaio referente a repetição do teste.



Fonte: própria autoria

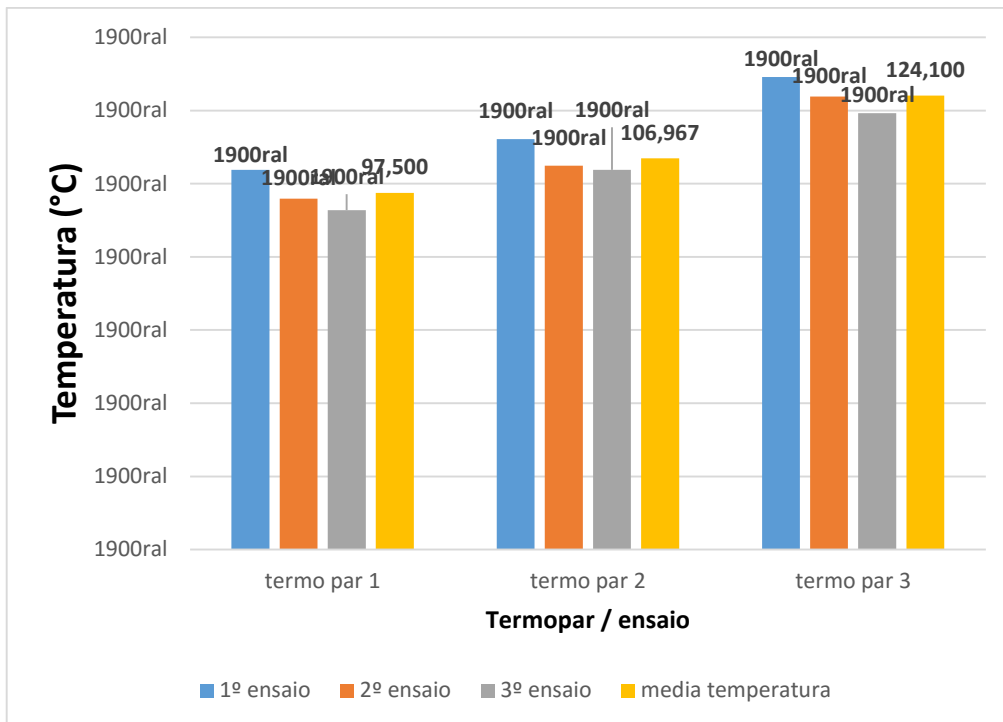
Figura 6 – a) Gráfico T (°C) x t (s) para o terceiro ensaio.



Fonte: própria autoria

Nos três gráficos apresentados observa-se uma uniformidade dos resultados, para todos os termopares o comportamento foi bastante similar entre os ensaios realizados com diferenças apenas no valor máximo alcançado. Avaliando os gráficos da figura 4, 5 e 6 verifica-se que a temperatura cresce rapidamente até um valor limite onde permanece aproximadamente constante. Percebe-se que o método de medição possui um retardo durante a passagem nos dois primeiros termopares, este fato ocorre possivelmente pela capacidade do material em conduzir calor. A temperatura do material cresce rapidamente com a continuidade da furação, mas necessita de um tempo para se aproximar do ponto máximo, apenas no terceiro termopar o pico é alcançado. Nota-se que as mudanças na taxa de crescimento da temperatura ocorrem aproximadamente nos valores de 80, 100 e 120 °C, correspondente as posições dos termopares com as profundidades de furação de 26; 47 e 62 mm respectivamente.

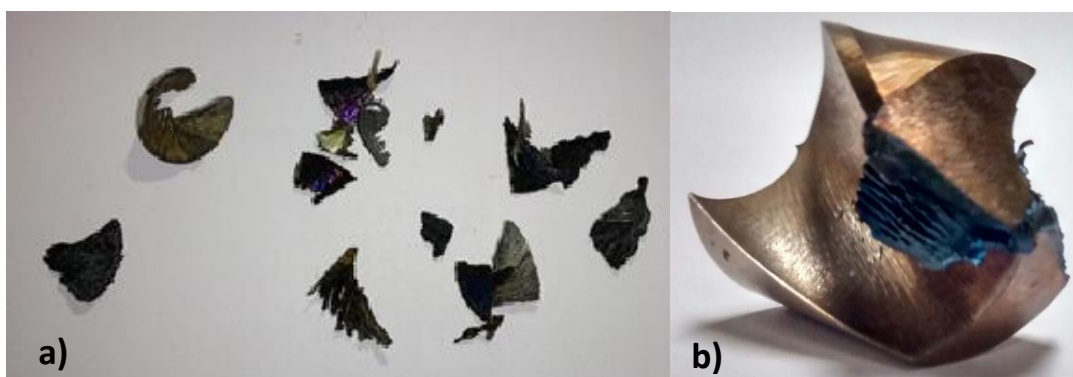
Figura 7 – a) Gráfico comparativo entre os resultados obtidos para os termopares e temperatura média.



Fonte: própria autoria

No gráfico da figura 7, nota-se que entre as três repetições houve um comportamento similar no aquecimento entre os termopares, para as repetições temos um erro igual ou menor que 11°C . Este valor de erro pode ter origem nas variações oriundas do processamento e na tolerância do sensor de medição. A variação média de temperatura entre o primeiro e o último termopar foi de $26,4^{\circ}\text{C}$.

Figura 8 – a) Cavacos removidos durante os ensaios e b) broca com cavaco aderido na superfície de saída da ferramenta.



Fonte: própria autoria

A figura 8a demonstra os cavacos removidos durante os ensaios, verifica-se que estes apresentam formas alternadas entre fita e lascas ou pedaços. Na

região interna da ferramenta (figura 8b) é possível notar o aparecimento de escamas ou lamelas, indicando a presença de grandes pressões de usinagem.

5. Considerações finais

Analisando os resultados obtidos durante os experimentos na liga SAE 1030 verificamos que:

- A medição com termopar forneceu dados similares para os três ensaios efetuados, produzindo resultados aproximadamente constantes.
- O sistema de medição da temperatura na peça por meio de termopares apresentou valores mais baixos em uma grande parte do percurso de usinagem, necessitando então de um tempo determinado para atingir o valor de pico.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Usinagem da Faculdade de Tecnologia de São Paulo pelo apoio na realização deste trabalho.

7.Referências

Beno, T.; Hullinga, U. Measurement of Cutting Edge Temperature in Drilling. 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Procedia CIRP 3 Pg. 531 – 536, 2012.

Bogovic, V.; Steve, A.; Rupnik, K.e Bajsic, A. Experimental analysis of the temperature rise during the simulation of an implant drilling process using experimental designs. Journal of Measurement, Vol. 63, Pg. 221–231, 2015.

Bordinassi, E.C.; Filho, C.O.C.A; Filho, M.S.; Batalha, G.F. Controle da Rebarbação e das Forças de Corte em Processos de Furação com Brocas Helicoidais. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2014.

Brandao, L.C.; Coelho, R.T.; Lauro, C.H. Contribution to dynamic characteristics of the cutting temperature in the drilling process considering one dimension heat flow. Applied Thermal Engineering, Vol. 31, 2011.

DINIZ, A.E; Marcones; Coppini, N.L. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. Ed. Artileber, 2010.

G. Le Coz, M. Marinescu, A. Devillez , D. Dudzinski , L. Velnom. Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys. Applied Thermal Engineering vol. 36, 2012.

H.K. Tönshoff, W. Spintig, W. König, A. Neises. Machining of Holes Developments in Drilling Technology. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 43, Issue 2, Pg. 551-561, 1994.

Li, R.; Shih, A.J. Spiral point drill temperature and stress in high-throughput drilling of titanium. International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 47, Pg. 2005–2017, 2007.

Ribeiro, C.A.C.; Ferreira, J.R.; Nova, H.F.V.; Carvalho, S.R.; Brito, R.F.; Silva, S.M.M.L. Estimativa De Fluxo De Calor E Temperatura Numa Ferramenta De Corte Usando Técnicas De Problemas Inversos E Ansys Cfx®, 7° COBEF, 2013.

Sousa, P.F.B.; Borges, V.L.; Pereira, I.C.; Silva, M.B.; Guimarães, G. Estimation of heat flux and temperature field during drilling process using dynamic observers based on Green's function. Applied Thermal Engineering, Vol. 48, 2012.

Sato, M.; Aoki, T.; Tanaka, H.; Takeda, S. Variation of temperature at the bottom surface of a hole during drilling and its effect on tool wear. International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 68, Pg.40–47, 2013.

Taylor, F.W. On the art of cutting metals. Transaction of the ASME, Vol. 28, Pg.31-350, 1906.