

**Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital:
abrangência, significados e relações.**

**ANÁLISE DA TEMPERATURA DA FERRAMENTA DURANTE
PROCESSO DE FURAÇÃO À SECO**

Vitor Marcelo Costa Halcsik¹, Felipe Ribeiro Toloczko², Kleberon Cartolari de Souza³

Resumo - Na usinagem determinar a temperatura real do processo fornece dados que possibilitam a melhor otimização dos recursos disponíveis. Este trabalho apresenta um estudo das temperaturas geradas na ponta da ferramenta durante o processo de furação do alumínio aeronáutico AA2011F, utilizando brocas com ponta de metal duro intercambiável. A liga utilizada para os ensaios é uma das mais comuns na fabricação aeronáutica, apresenta dureza relativamente baixa, entretanto, a condição severa do ensaio sob ausência de fluido lubrificante aliado aos parâmetros de usinagem, além do mecanismo de formação do cavaco causa um grande aumento do calor na área de corte. Os resultados obtidos foram condizentes com a literatura avaliada o que valida o método utilizado.

Palavras-chave: Furação, Temperatura, Usinagem.

Abstract - In machining determine the actual temperature of the process provides data that enable better optimization of available resources. This work presents a study of the temperatures generated at the tip of the tool during the drilling process of AA2011F aeronautical aluminum, using interchangeable carbide tipped drills. The alloy used for the tests is one of the most common in aeronautical fabrication, it has relatively low hardness, and however, the severe condition of the test in the absence of coolant fluid coupled with the machining parameters, besides the chip formation mechanism causes a great increase of the heat in the cutting area. The obtained results were consistent with the evaluated literature, which validates the method used.

Keywords: Drilling, temperature, Machining.

¹ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, vitor.halcsik@fatecsp.br

² Faculdade de Tecnologia de São Paulo, felipe@fatecsp.br

³ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, kleberoncartolari@fatecsp.br

Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital: abrangência, significados e relações.

1. Introdução

Um dos principais objetivos das organizações é aprimorar seus processos administrativos e produtivos a fim de reduzir custos e melhorar a qualidade de seus produtos, assim buscam por tecnologias inovadoras que possibilitem aperfeiçoar seus métodos de fabricação.

Nas Indústrias mecânicas, a usinagem representa grande parcela dos processos, sendo a furação o mais utilizado, seja na furação em cheio ou alargamento de furos pré-existentes. (Diniz, Marcondes, Coppini, 2010)

O processo de furação consiste na remoção de material através de uma ferramenta multicortante, a broca, que tem por objetivo produzir furos em diferentes dimensões, possui características específicas como a dificuldade no escoamento dos cavacos e a falta de uniformidade na velocidade de corte dada a forma com que a broca é construída (Stemmer, 2005). E são esses fatores que o torna um dos mais complexos entre os processos de usinagem, onde qualquer alteração nas variáveis de entrada do processo pode representar uma significativa alteração na vida da ferramenta (Zeilmann et al., 2009).

Nos últimos anos foram feitos muitos estudos sobre a eliminação ou diminuição da utilização de fluidos lubrificantes na usinagem, com objetivo de reduzir gastos com a aplicação, manutenção e armazenagem dos fluidos, aumentar o cuidado com o meio ambiente e com a saúde do operador (Zeilmann et al, 2009). Entretanto, além das reações físicas e químicas que ocorrem durante o processo uma das variáveis na execução da furação é justamente a refrigeração visto que um dos principais problemas durante o processo é o atrito das arestas de corte com o material usinado, a falta de fluido acarreta no aumento da temperatura e na aceleração do desgaste e redução da vida da ferramenta (Tönshoff et al., 1994; Nedic, 2014).

Os fenômenos de calor que ocorrem na zona de corte estão diretamente relacionados à fatores como o desgaste da ferramenta, usinabilidade do material da peça, geometria da ferramenta, parâmetros de usinagem entre outras características do processo. O calor gerado vai da zona de corte e se distribui entre a peça, a ferramenta e a máquina, sendo o cavaco o responsável pela remoção da maior parte do calor (Nedic e Eric, 2014).

Tanto o desgaste da ferramenta quanto o calor gerado no processo de corte têm grande influência sobre: a qualidade da superfície usinada, a produtividade e precisão do processo de usinagem, além de outros parâmetros de saída do processo de usinagem. E por isso, a investigação, medição e conhecimento dos níveis e distribuições da temperatura de corte dentro da ferramenta e da peça de trabalho são de extrema importância em aspectos da prática (Machado et al. 2009; Nedic e Eric, 2014)

Este trabalho trata da aplicação de métodos apropriados a medição de temperatura na área próxima à zona de corte mais precisamente sob a aresta transversal da broca TAWSN2900S32 com diâmetro de 29 mm, na furação de alumínio aeronáutico AA2011F sem fluido refrigerante e verifica o desempenho do método utilizado para aquisição dos valores de temperatura.

Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital: abrangência, significados e relações.

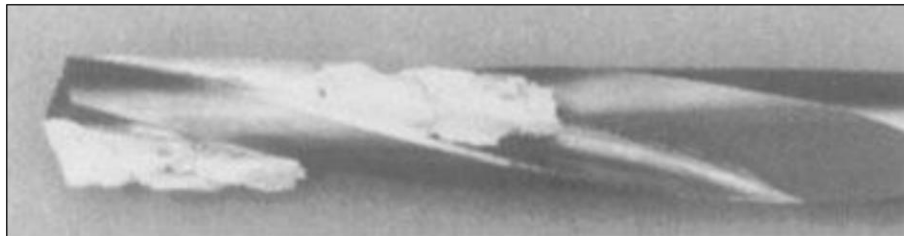
2. Referencial Teórico

A natureza do processo de furação e as condições severas de usinagem, são um desafio aos pesquisadores (Nedic e Eric, 2014).

A utilização de refrigeração é um aspecto muito importante no processo de furação e sua ausência representa a retirada de alguns de seus benefícios como a lubrificação, refrigeração e a evacuação dos cavacos (Machado et al., 2009; Zeilmann et al., 2009).

Na furação sem refrigeração há a tendência de ocorrerem maiores temperaturas na zona de corte o que pode dificultar ainda mais a saída de cavacos, pois a refrigeração ou falta dela, influencia diretamente na forma com que o cavaco é gerado, podendo resultar em cavacos com forma de fitas ou emaranhados, que podem obstruir os canais da ferramenta (fig.1) causando a sua ruptura (Zeilmann et al., 2009; König e Klocke, 1997). A fim de compensar a perda das funções do fluido lubrificante-refrigerante, é necessária que se faça ajustes quanto aos parâmetros de usinagem e a escolha correta da ferramenta quanto ao material, geometria e revestimento (Machado et al., 2009).

Figura 1 – Broca com canais obstruídos.

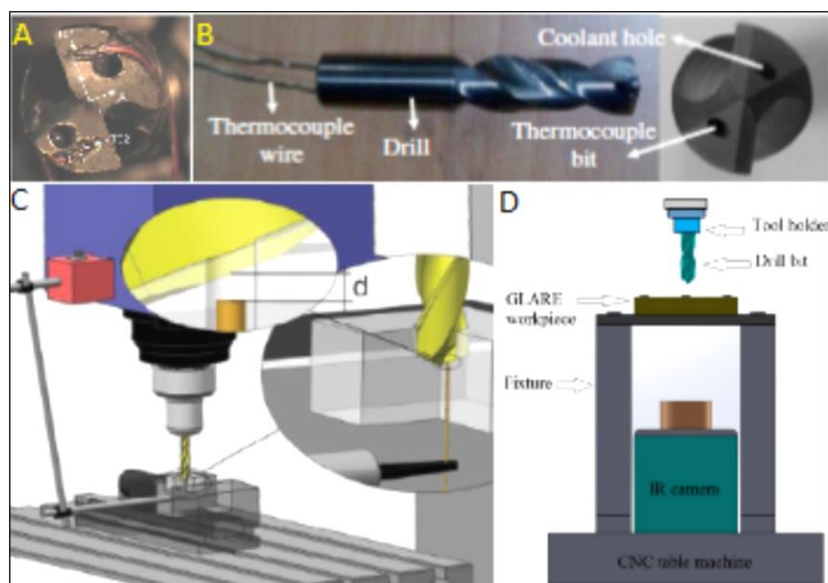


Fonte: adaptado de König e Klocke, 1997.

Diversos trabalhos experimentais têm utilizado várias técnicas a fim de determinar a distribuição de temperatura na zona de corte. Entre as técnicas amplamente aplicadas para a medição de temperatura, podem ser listadas: termopares soldado à superfície de folga da broca (fig. 2, a) (Li e Shih, 2007), termopares nos canais internos de refrigeração (fig. 2, b) (Çakiroglu e Acir, 2013), termopares na região de corte na peça (fig. 2, c) (Beno e Hullinga, 2012), câmera térmica (fig. 2, d) (Giasin e Ayvar-Soberanis, 2016), estas são algumas entre muitas técnicas importantes e cada técnica tem suas próprias vantagens e limitações. Para Bono e Ni (2005), contrariando os modelos matemáticos, o local mais adequado para a medição é na aresta transversal ou sob ela, segundo dados levantados em medições experimentais de vários pesquisadores que indicam ser este o ponto em que a temperatura atinge seu valor mais alto.

Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital: abrangência, significados e relações.

Figura 2 - Exemplos de técnicas de obtenção da temperatura no processo de furação.



Fonte: adaptado de Science Direct, 2018.

A escolha adequada do sistema de medição é fundamental para que as informações coletadas sejam as mais próximas da realidade, sendo assim a proposição apresentada por Bono e Ni (2005) apresenta-se como a mais provável de apresentar dados fidedignos.

3. Materiais e métodos

Para realização do estudo foi utilizado um torno Nardini 220 Gold com a adaptação de um suporte para a ferramenta sobre o carro transversal o que permite o avanço da ferramenta de modo automático possibilitando o controle da velocidade de avanço (fig. 3).

Figura 3 – Dispositivo utilizado para fixação da ferramenta no torno.



Fonte: Própria autoria.

Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital: abrangência, significados e relações.

Seguindo a referência da literatura pesquisada e dando continuidade a trabalhos anteriores o sistema de obtenção segue como o anteriormente adotado, onde o termopar é inserido através do núcleo da broca e posicionado abaixo da aresta transversal (Souza et al., 2016).

Neste ensaio foi utilizada uma broca de ponta intercambiável da empresa Mitsubishi modelo TAWSN2900S32 com diâmetro de 29 mm, que teve tanto a ponta, quanto a broca preparada; a ponta com um alojamento para receber um termopar em seu interior e a broca com um furo feito através de seu núcleo por eletroerosão a fim de permitir a passagem do termopar, assim representado pela linha vermelha na figura 4.

Figura 4 – Imagem representativa da ferramenta com adaptação do termopar



Fonte: Adaptado do catálogo MITSUBISHI, 2018.

Com a proposta de manter os ensaios com baixo custo a coleta dos dados foi feita com um sistema baseado na plataforma ARDUINO® com uma placa modelo UNO onde um *shield* (módulo) específico para termopar foi acoplado permitindo a comunicação entre o termopar e o computador.

Para os ensaios foram elaborados corpos de prova com as dimensões de Ø38 mm x 90 mm em alumínio aeronáutico AA2011F, preparados com um furo de centro para guiar a entrada da broca na peça. A composição química do material é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Análise de espectrometria da liga AA2011F.

Elementos	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Pb	Al
%	0,26	7,13	0,01	0,57	0,01	0,41	Balanço

Fonte: Própria autoria.

Para os ensaios realizados foram escolhidos três VCs (velocidades de corte): 80 m/min, 100 m/min e 140 m/min; entretanto, devido as limitações do equipamento (torno), as rotações foram ajustadas para valores próximos ao das VCs estipuladas, resultando nas seguintes rotações 950 rpm, 1180 rpm e 1500 rpm. Paralelamente foram determinadas três velocidades de avanço: 0,063 mm/rev, 0,151 mm/rev e 0,251 mm/rev é importante ressaltar que devido as condições de severidade do ensaio (furação à seco) foram determinados valores de avanços abaixo dos recomendados pelo fabricante de maneira que a geração de cavaco não influenciasse as temperaturas de maneira determinante. As

Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital: abrangência, significados e relações.

combinações de rotação e avanço podem ser vistas na tabela 2, conforme segue:

Tabela 2 – Rotações e avanços utilizados no trabalho.

Ensaio	Rotação do eixo arvore (rpm)	Avanço da ferramenta (mm/rev)
C1	1500	0,063
C2	1500	0,151
C3	1500	0,251
C4	1180	0,063
C5	1180	0,151
C6	1180	0,251
C7	950	0,063
C8	950	0,151
C9	950	0,251

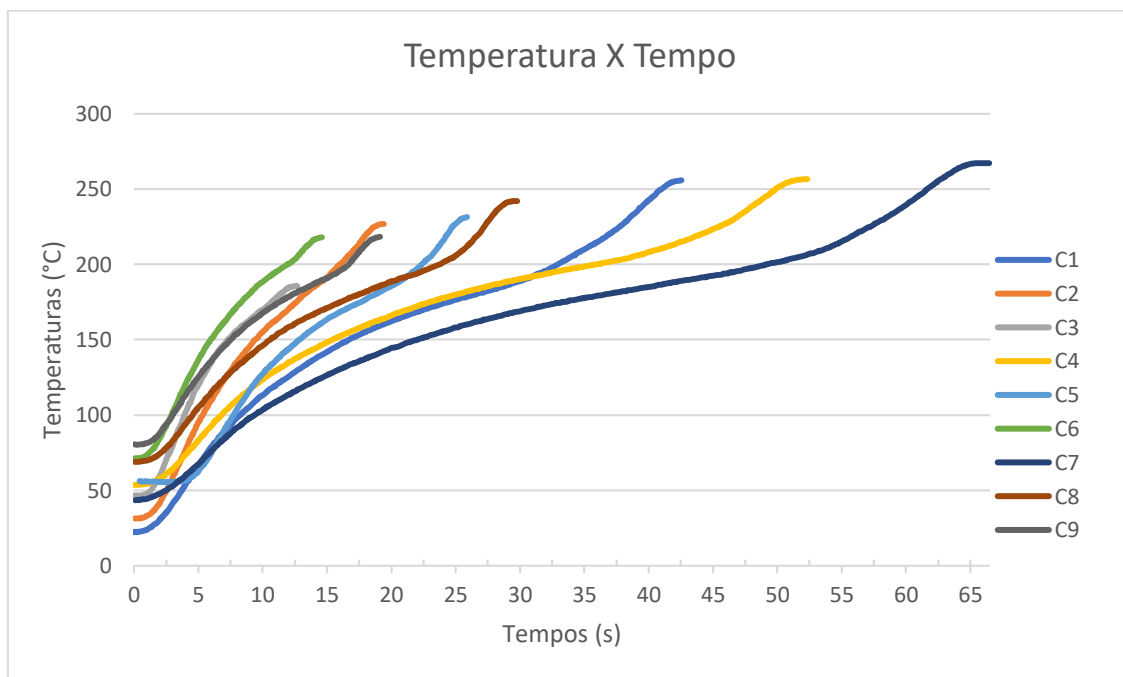
Fonte: Própria autoria.

4. Resultados e Discussão

4.1 Comportamento da temperatura

Com base nos métodos e ensaios realizados é possível analisar o comportamento da temperatura: sua evolução e seu valores máximos. A figura 5 apresenta o gráfico da temperatura x tempo.

Figura 5 – Gráfico de Temperatura (°C) x Tempo (s)



Fonte: Própria autoria.

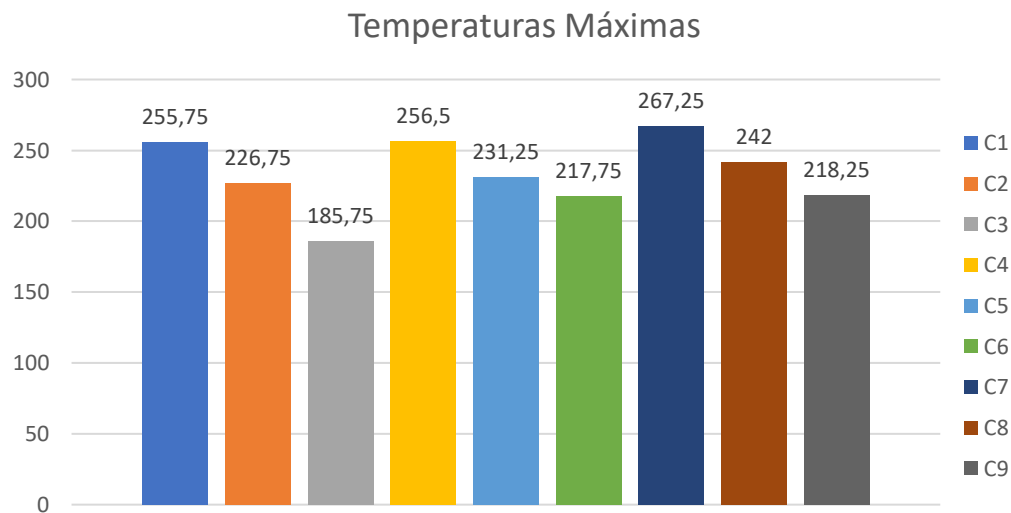
Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital: abrangência, significados e relações.

As curvas são provenientes da variação dos dados de corte e denotam a taxa de crescimento da temperatura e suas máximas.

Com as curvas de temperatura demonstradas é possível verificar uma diferença da temperatura inicial dos ensaios, que pode ser um fator de influência na diferença entre suas inclinações e suas máximas, isto pode ser explicado pelo curto intervalo entre os ensaios, outro ponto que se observa facilmente é que o ensaio C7 com rotação 950 rpm e avanço 0,063 mm/rev apresenta a maior temperatura, porém com a menor taxa de crescimento, já o ensaio C3 com a rotação de 1500 rpm e 0,251 mm/rev, apresenta a maior taxa de elevação da temperatura com a menor máxima. Podemos observar também que os avanços influenciam determinantemente no tempo de usinagem, ou seja quanto maior é o avanço menor é o tempo, enquanto C3 (maior avanço e maior rotação) leva por volta de 15s, C7 (menor avanço e menor rotação) leva 65s.

A fim de avaliar os resultados em função apenas do avanço ou da rotação e relacionar o efeito da temperatura máxima atingida durante os ensaios foi elaborado um gráfico de barras, conforme visualizado na figura 6.

Figura 6 – Gráfico das temperaturas máximas de cada ensaio.



Fonte: Própria autoria.

Pelo que se observa no gráfico da figura 6, o efeito da VC ou rotação sobre a temperatura máxima exerce pouca influência, os ensaios C1, C4 e C7, compartilham o mesmo avanço 0,063 mm/rev, mas com rotações diferentes 1500, 1180 e 950 rpm, respectivamente e verificamos que a redução da rotação causa pequena variação na temperatura máxima, isso também vale para os casos de C2, C5 e C8, como também para C3, C6 e C9, onde os avanços são mantidos e somente a rotação é variada.

Quando analisamos o gráfico em função do avanço, podemos verificar uma maior influência que este fator exerce sobre a temperatura máxima, quando isolamos as rotações, como em C1, C2 e C3 onde a rotação é de 1500 rpm e os avanços variam de 0,063, 0,151 e 0,251 rpm respectivamente, a temperatura máxima é reduzida conforme o aumento do avanço, esse comportamento se

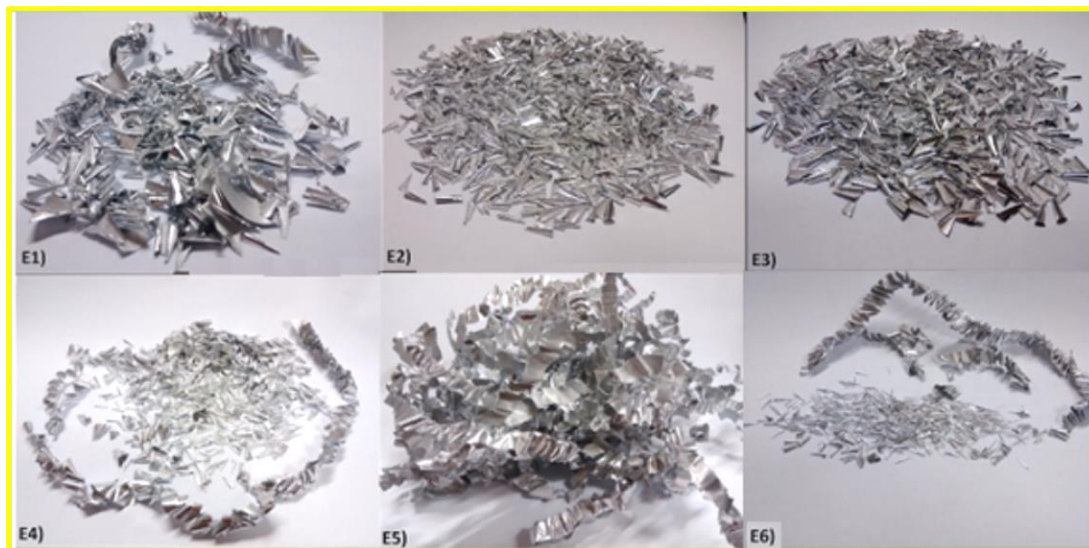
Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital: abrangência, significados e relações.

repete para os casos de C4, C5 e C6 como também para C7, C8 e C9, onde são mantidas as rotações e variados os avanços.

4.2 Formação do cavaco

Devido a severidade do processo faz-se necessário também uma avaliação da formação do cavaco, pois como visto na literatura altas temperaturas afetam a forma do cavaco causando problemas no escoamento, podendo provocar entupimento dos canais e quebras das ferramentas.

Figura 7 – Cavacos removidos durante os ensaios



Fonte: própria autoria

A figura 7 demonstra os cavacos removidos durante os ensaios, verifica-se que estes apresentam formas alternadas entre fita e lascas ou pedaços. Destaca-se o ensaio 5 onde o cavaco teve forma de fita durante todo o ensaio. No geral observa-se que houve uma maior presença de cavaco na forma de fita com a redução de rotação em comparação os ensaios para E1, E2, E3 com E4, E5 e E6, o avanço não apresentou influência perceptível para os ensaios realizados.

5. Considerações finais

Com base nas análises realizadas é possível concluir para a liga AA2011F:

- O procedimento adotado para aquisição dos dados de temperatura associado ao sistema de aquisição de baixo custo mostrou-se eficiente em sua proposta, possibilitando verificar a evolução da temperatura durante o processo de furação.

Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital: abrangência, significados e relações.

- A redução da VC implica em pequeno aumento da temperatura sendo a rotação fator não determinante para temperatura máxima.
- O avanço de usinagem revelou ser um parâmetro mais influente na temperatura máxima em relação a rotação de trabalho.
- O aumento da velocidade de corte e avanço diminuem o tempo de contato entre a peça e a ferramenta, o que também aumenta a produtividade.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem tanto ao Laboratório de Usinagem da Faculdade de Tecnologia de São Paulo bem como a empresa MITSUBISHI Materials do Brasil pelo apoio na realização deste trabalho.

7. Referências

Beno, T.; Hullinga, U.; Measurement of Cutting Edge Temperature in Drilling, 45^o CIRP Conference on Manufacturing Systems, 2012, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.091> > acesso 01 jun. 2018

Bono, M.; Ni, J.; The location of the maximum temperature on the cutting edges of a drill, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, p.901-907, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.04.020>> acesso em 05 jun. 2018

Çakiroglu, R.; Acir, A.; Optimization of cutting parameters on drill bit temperature in drilling by Taguchi method. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, v. 46, n. 9, p. 3525–3531, 2013.

Diniz, A.E.; Marcondes, F.C.; Coppini, N.L.; Tecnologia da Usinagem dos Materiais. Editora Artliber, 7^a ed., 2010.

Giasin, K.; Ayvar-Soberanis, S.; Evaluation of Workpiece Temperature during Drilling of GLARE Fiber Metal Laminates Using Infrared Techniques: Effect of Cutting Parameters, Fiber Orientation and Spray Mist Application. Materials, Vol. 9(8), 622. (2016). <http://doi.org/10.3390/ma9080622>

König, W.; Klocke, F.; Fertigungsverfahren 1, Drehen, Fräsen, Bohren; Editora Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 5^a ed., 1997

Li, R.; Shih, A. J. Spiral point drill temperature and stress in high-throughput drilling of titanium. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 47, n. 12-13, p. 2005–2017, 2007.

Machado, A.R.; Abrão, A.M.; Coelho, R.T.; Silva, M.B.; Teoria da Usinagem dos Materiais, Editora Blucher, 1^a ed., 2009

Nedic, B. P.; Eric, M. D.; Cutting Temperature Measurement and Material Machinability. THERMAL SCIENCE, Vol. 18, n. 1, p.259-268, 2014

Souza, K. C.; Toloczko, F. R.; Penalver, D. C. A.; Nascimento, M. R.; Furlan, H.; Medição da temperatura de furação no centro da ferramenta: uma abordagem

**Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital:
abrangência, significados e relações.**

experimental, Disponível em: <http://www.portal.cps.sp.gov.br/pos-graduacao/workshop-de-pos-graduacao-e-pesquisa/011-workshop-2016/workshop/trabalhos/sistemasprodutivos/TECN_PARA_SISTS_PRODUTIVOS/Medicao_da_temperatura_experimental.pdf> acesso em 31 maio 2018

Stemmer, C.E.; Ferramentas de Corte II, Brocas, Alargadores, Ferramentas de Roscar, Fresas, Brochas, Rebolos, Abrasivos. Editora da UFSC, 3ª ed., 2005

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

Zeilmann, R. P.; Vacaro, T.; Bordin, F. M.; Sonda, V.; Processos de usinagem e responsabilidade ambiental através da redução da utilização de fluidos de corte, XVII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, São Paulo, SP, 16-17 set., 2009.