

INVESTIGAÇÃO DO ERRO DE CIRCULARIDADE NA FURAÇÃO DE UM AÇO AVANÇADO DE ALTA RESISTÊNCIA COM BROCAS DE AÇO RÁPIDO REVESTIDAS

Matheus Augusto Klosovski Likes, mlikes@alunos.utfpr.edu.br¹

Sílvia do Nascimento Rosa, silviarosa@utfpr.edu.br¹

Viviane Teleginski Mazur, vivianemazur@utfpr.edu.br¹

¹UTFPR, Avenida Professora Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava - PR, 85053-525

Resumo: Na última década, observou-se um avanço na indústria de aços estruturais, devido à necessidade por soluções inovadoras em equipamentos a fim de reduzir paradas e custos de manutenção, peso e tempo de fabricação. Os aços chamados aços avançados de alta resistência, AHSS - Advanced High Strength Steels, têm sido utilizados nessas soluções principalmente na indústria de transporte, como por exemplo na fabricação de estruturas de caminhões e equipamentos agrícolas, refletindo na redução de peso e economia de combustível. Mas, para que sejam alcançados esses resultados é necessário também que o processo de fabricação consiga entregar um produto dentro das especificações, ou seja, máquinas e ferramentas com bom desempenho. Nesse intuito o presente estudo investigou o comportamento de duas brocas comerciais de aço rápido Dormer - A100 revenidas a vapor com afiação padrão e A002 revestidas com TiN e afiação em cruz - na furação do AHSS Strenx® 700 da marca SSAB. O objetivo foi eleger através das análises de circularidade dos furos, a broca com melhor desempenho. Pela análise dos dados de circularidade, pôde-se concluir que a broca A100 apresentou o melhor custo-benefício.

Palavras chave: furação, aços avançados de alta resistência, circularidade

Abstract. In the last decade, an advance in the steel industry has emerged, due to the need for innovative equipment solutions in order to reduce maintenance downtime and costs, weight and manufacturing time. The steels called AHSS - Advanced High Strength Steels, have been used in solutions mainly in the transport industry, such as in the manufacture of truck structures and agricultural equipment, reflecting on weight reduction and fuel economy. However, in order to achieve these results it is also necessary that the manufacturing process is able to deliver a product within specifications, that is, machines and tools with good performance. To this end, the present study investigated the behavior of two commercial Dormer high speed steel drills - A100 steam-tempered with standard edging and A002 coated with TiN and cross edging - when drilling the AHSS Strenx® 700 from SSAB. The objective was to choose the drill with best performance through the analysis of the circularity of the holes. By analyzing the circularity data, it was possible to reach that the A100 drill presented the best cost-benefit ratio.

Keywords: drilling, AHSS, circularity

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, observou-se um grande avanço na indústria de aços estruturais, devido à necessidade por segurança, desempenho e autonomia dos veículos. Este fato culminou num rápido desenvolvimento dos chamados aços avançados de alta resistência, AHSS - Advanced High Strength Steels. Estes aços possuem uma melhor conformabilidade, ou seja, a capacidade de passar por deformações plásticas sem sofrer danos estruturais e apresentam alta resistência ao impacto se comparados a aços comuns. Os aços AHSS apresentam tensão de escoamento superior a 300 MPa e tensão de ruptura superior a 600 MPa. Ao contrário dos primeiros aços AHSS, nos quais a ductilidade era prejudicada com o aumento de resistência, os aços AHSS modernos são capazes de aliar alta resistência com uma boa ductilidade e conformabilidade (Kuziak *et al.*, 2008).

De acordo com Kuziak *et al.* (2008), quatro classificações são atribuídas aos aços AHSS: dupla fase (DP), plasticidade induzida por transformações (TRIP), fase complexa (CP) e martensíticos (MART). A tensão de ruptura é o principal fator que determina essas classificações, e podem ser verificadas na tabela 1.

Tabela 1. Classificações AHSS (Kuziak *et al.*, 2008)

Classificações AHSS	DP	TRIP	CP	MART
Tensão de ruptura (MPa)	500 até 1200	800	Superior a 800	Até 1500

Com base nessas classificações, obter um produto final em um desses aços através do processo de usinagem, já traz alguma preocupação, principalmente quanto à escolha da ferramenta de corte. Por exemplo, o processo de furação, apesar de ser um dos mais utilizados na indústria manufatureira, possui o obstáculo das máquinas convencionais em acompanhar o aumento da velocidade de corte, necessário para utilização de brocas em metal duro. Por este motivo, a maior parte das operações de furação ainda é realizada com aço rápido (HSS) com ou sem revestimento (Diniz *et al.*, 2014).

Os revestimentos usuais de ferramentas são compostos de nitretos ou carbonetos metálicos. Dois revestimentos muito conhecidos são o carboneto de titânio (TiC) e o nitreto de titânio (TiN). Trent e Wright (2013) comentaram que o TiN não é tão duro quanto o TiC, porém nas operações de corte o TiN apresenta uma resistência ao desgaste maior. A cor dourada brilhante do TiN permite também que a ferramenta seja facilmente identificada, já que o revestimento de TiC não é distinguível de ferramentas não revestidas. De acordo com Shaw (2005), o TiN é responsável pela redução do atrito entre a ferramenta e a peça, possibilitando que a operação ocorra em menores temperaturas. Isso faz com que seja possível a utilização de uma velocidade de corte maior. Rodrigues (1999) comenta também que apesar da aderência do TiN não ser tão intensa ao substrato da ferramenta, ele oferece uma maior estabilidade química, prevenindo a difusão durante o corte. O filme de TiN é formado nas brocas de aço-rápido através do processo de deposição física de vapor (PVD), processo que não prejudica as propriedades de dureza da ferramenta de aço-rápido.

Outro tratamento superficial comumente empregado para melhorar o desempenho de brocas e outras ferramentas de aço-rápido é a ferroxidação ou oxidação a vapor. Ferrari *et al.* (1981) observou que a vida útil de várias ferramentas de corte com este revestimento até dobrou. Este tratamento baseia-se na exposição da ferramenta em vapor d'água superaquecido, com o objetivo da formação de uma camada bastante aderente de óxidos na sua superfície, que resulta num aumento da resistência ao desgaste pelo decréscimo do coeficiente de atrito (Beiss, 1991; Franklin e Davies, 1977; Binder, 1996; Razavizadeh e Davies, 1979). A combinação do tratamento superficial da ferroxidação com o tratamento térmico de revenimento (procedimento que visa o alívio e correção de tensões) resulta no chamado revenimento a vapor (Da Silva, 2003).

Rodrigues e Santana (2012) analisaram os desempenhos de brocas em aço-rápido com revestimentos de cromo duro (Cr), tratamento superficial dourado (bronze) e revenimento a vapor. O estudo foi feito em uma empresa de manutenção de equipamentos pesados, caminhões e ônibus. Rodrigues e Santana (2012) constataram que a broca revenida a vapor teve o melhor desempenho na condição analisada, no caso, a furação de um chassi. A broca revenida a vapor não apresentou lascamento da aresta de corte, como foi observado na broca de cromo duro, e não apresentou adesão ao material usinado, como foi observado na broca com revestimento de bronze.

Santos (2002) verificou o desempenho de brocas de aço-rápido revestidas com TiN, TiCN, TiAlN/WCC e TiN/TiAlN na usinagem de ferro fundido cinzento. Os resultados da vida das ferramentas podem ser vistos na Figura 1. Percebe-se que o revestimento TiN tanto sem fluido de corte quanto com fluido de corte, supera todas as outras ferramentas com exceção da multicamada TiN + TiAlN. Ambas ferramentas, revenida a vapor e TiN demonstraram bons desempenhos nos estudos de caso, e foram superiores a revestimentos avançados como TiCN e cromo duro.

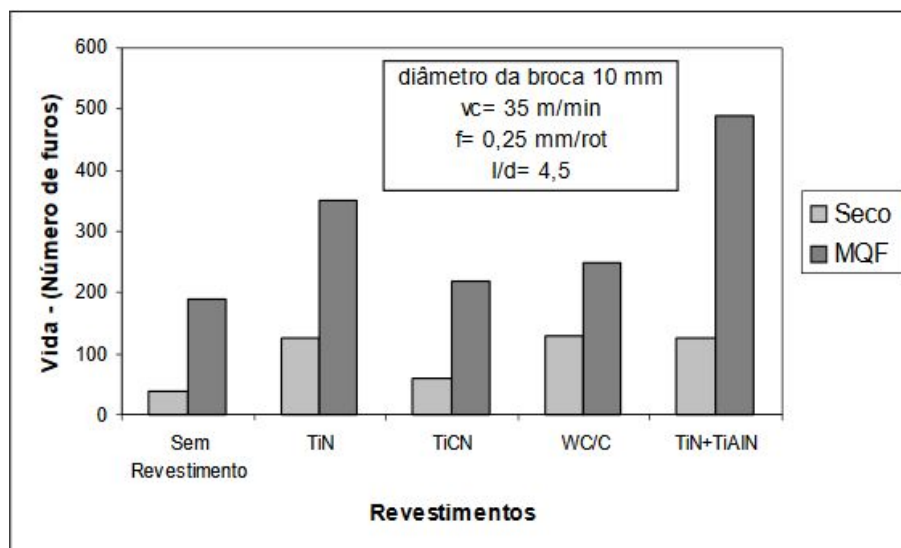


Figura 1. Desempenho das brocas de aço-rápido (Santos, 2002)

Baseados no trabalho de Rodrigues e Santana., os autores desse trabalho fizeram uma pesquisa em 2018 em oito oficinas que desenvolvem trabalhos com processos convencionais de usinagem em Guarapuava-PR, para verificarmos que tipos de brocas eram utilizadas nestes estabelecimentos. Foi verificado que em média 90% das operações de furação eram realizadas com brocas de HSS sem revestimento, pois segundo os operadores entrevistados a broca teria um valor muito alto e era difícil adquirir essas ferramentas.

Com todos esses resultados os autores tiveram o interessante em confrontar os revestimentos que tiveram os melhores desempenhos, buscando ofertar mais uma contribuição ao processo de furação que utiliza aço-rápido como ferramenta de corte. Como um dos nossos objetivos também era de fornecer informações à estas oficinas de que é possível adquirir as ferramentas revestidas e qual seria a melhor escolha, selecionamos como resposta para o estudo o erro de circularidade, já que é uma tolerância geométrica que contribui para acoplamentos de peças, sendo esse o resultado principal nestas oficinas.

Assim, o trabalho investigou a circularidade em furos feitos no Aço Strenx® 700, comparando duas brocas com afiações e revestimentos diferentes, compradas em um site de ferramentas de usinagem, Dormer A100 revenida a vapor e afiação padrão, e Dormer A002 revestida com TiN e afiação em cruz.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Aço Strenx 700

O aço Strenx 700® foi adquirido na empresa Ferro Extra e os tarugos cortados a jato d'água vieram na dimensão de 90x45x30 mm. Para caracterizar o aço foram realizados ensaios de dureza, de composição química e metalografia. Para a análise metalográfica, a amostra do aço foi cortada, embutida em baquelite, trabalhada com lixas até 1200 µm, polida com pasta diamantada 6 µm e atacada primeiramente com picral 5% e em seguida com nital 3%. O acompanhamento do ataque foi realizado em um microscópio óptico Olympus, a macro dureza do aço foi medida em um durômetro Digimess, e a microdureza em um microdurômetro Shimadzu.

2.2. Usinagem dos corpos de prova

A usinagem dos corpos de prova foi feita em um centro de usinagem CNC ROMI D 600, com rotação máxima de 8000 rpm. Ao total seis corpos de prova foram usinados e feitas tréplica para cada revestimento de broca. O avanço e a rotação utilizados para todos os ensaios foram de 0.12 mm/rev e 570 rpm, respectivamente. Estes parâmetros foram recomendações de furação com aço-rápido, retiradas do manual de usinagem do Aço Strenx, fornecido pela própria SSAB. A Figura 2 mostra como foi feita a fixação dos corpos de prova na morsa.

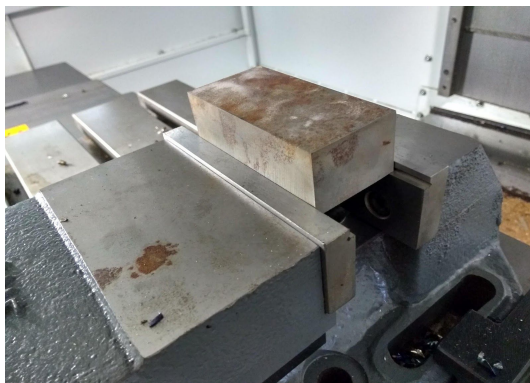


Figura 2. Fixação do corpo de prova para usinagem (Autoria própria).

Para o estudo, em cada corpo de prova teriam dez furos passantes conforme ilustrado na Fig. 3. A distância entre centros dos furos é de 15 mm, assim como a distância do centro dos furos até a parede mais próxima.

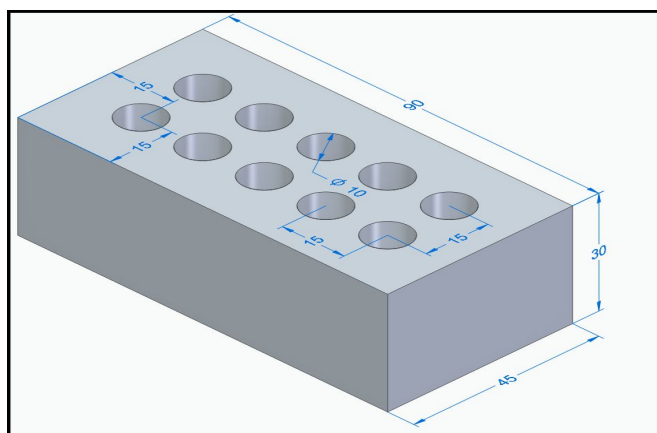


Figura 3. Corpo de prova (Autoria própria)

As brocas utilizadas são da marca Dormer, modelo A002 revestida com TiN e afiação em cruz com preço de R\$ 28,61 (World Tools, 2020) e modelo A100 revenida a vapor com afiação padrão com preço de R\$ 25,30 (World Tools, 2020). As ferramentas são mostradas na Fig. 4.



Figura 4. De cima para baixo: broca A002 e A100 (Dormer Tools, 2020).

Ambas brocas apresentam um ângulo de ponta de 118° , diâmetro de 10 mm, comprimento total de 133 mm e comprimento de corte de 87 mm.

2.3. Obtenção da circularidade dos furos

A circularidade foi medida por uma máquina de medir por coordenadas Mitutoyo modelo Crysta Apex S. Os dados coletados foram observados e interpretados através de um microcomputador. A Figura 5 apresenta o corpo de prova usinado, posicionado para medição.



Figura 5. Corpo de prova usinado posicionado para medição (Autoria própria).

O erro de circularidade foi medido no início e no final de cada furo, a 1mm da superfície do corpo de prova. A máquina foi programada no modo CNC, para medir automaticamente a circularidade dos 10 furos utilizando 10 pontos de contato em cada furo.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização do Strenx 700

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos de macro e microdureza para o Aço Strenx 700. Percebe-se que a macrodureza divergiu do fabricante em + 4 HBW e a microdureza em + 71 HBW.

Tabela 2. Dureza aço Strenx 700 (Autoria própria).

Dureza	Média (5 medições)	Conversão (HBW)
Macro (HRB)	$102,8 \pm 0,7$	264
Micro (HV)	$276,6 \pm 5,3$	271
Fabricante (HBW)	260,0	260

A Figura 6 mostra a imagem da metalografia realizada na amostra do Aço Strenx 700.

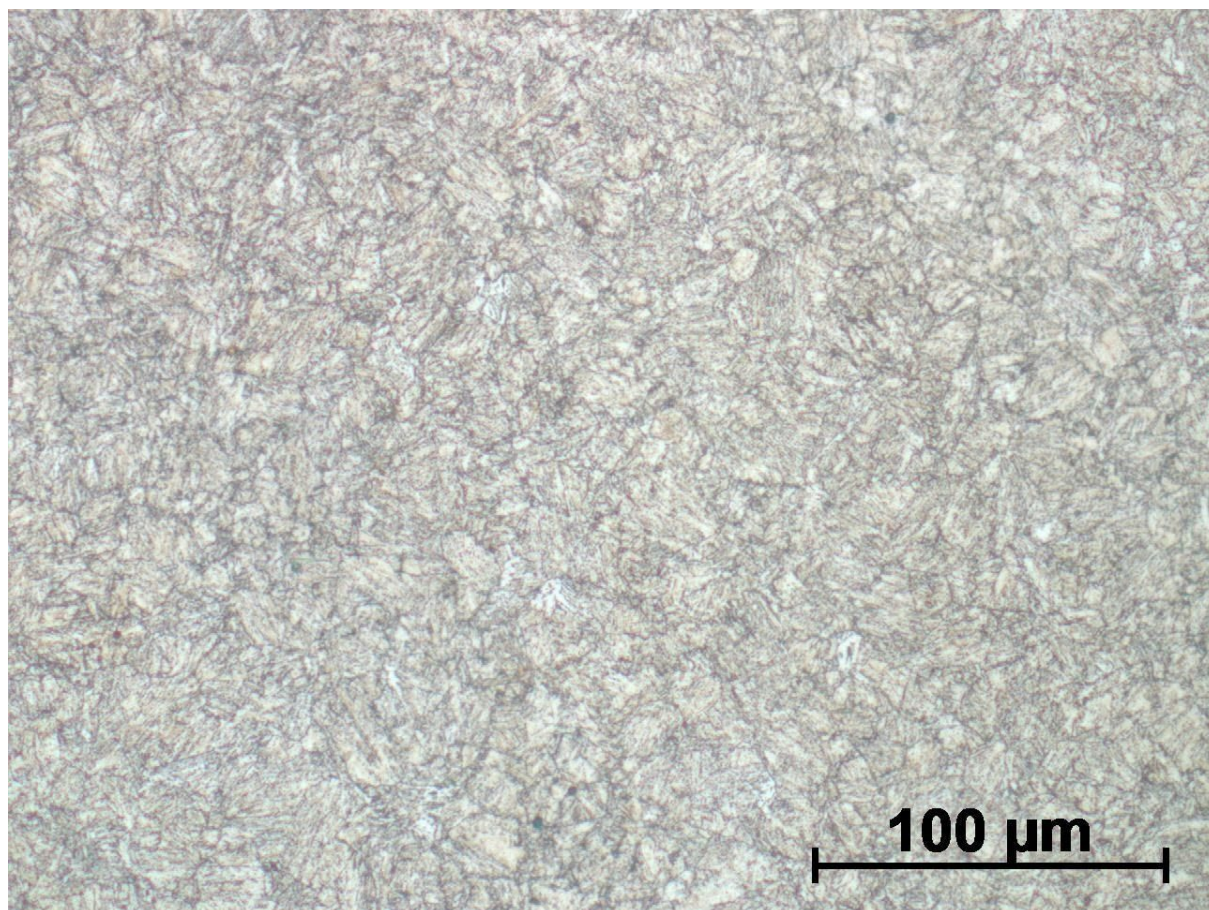


Figura 6. Metalografia da amostra de Strenx 700 com ataque químico (autoria própria).

A preparação da amostra é relativamente demorada nas primeiras lixas e para a etapa de polimento gastou-se em média 3 horas. A parte do ataque químico também foi uma etapa demorada, pois existem poucas referências de metalografia desses aços.

3.2. Análise da circularidade

A Figura 7 mostra um gráfico de variação no qual é possível visualizar sequencialmente a progressão da circularidade inicial nos 10 furos de cada corpo de prova, feitos pelas brocas A002 e A100. Nota-se que para a broca A002 o valor médio do erro ficou em torno de 0,07 variando para menos 0,02 e para mais 0,11 mm. Para a broca A100 o valor médio do erro ficou em torno de 0,05 mm variando para menos 0,01 e para mais 0,1 mm.

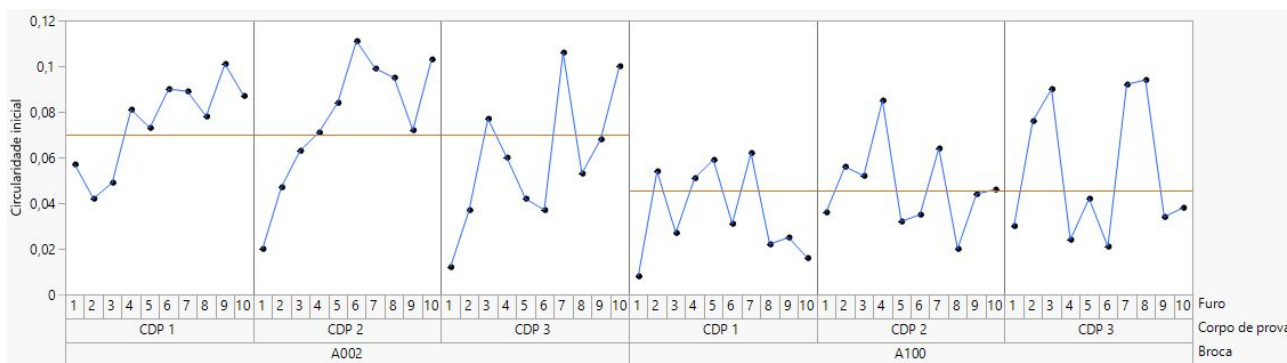


Figura 7. Gráfico de variação da circularidade no início dos furos (autoria própria).

Já na Figura 8, observa-se a variação da circularidade na posição final dos furos, para cada corpo de prova e broca. Nota-se uma maior estabilidade no resultado das medições realizadas nos furos da broca A100. Para a broca A002 não há uma repetibilidade de comportamento.

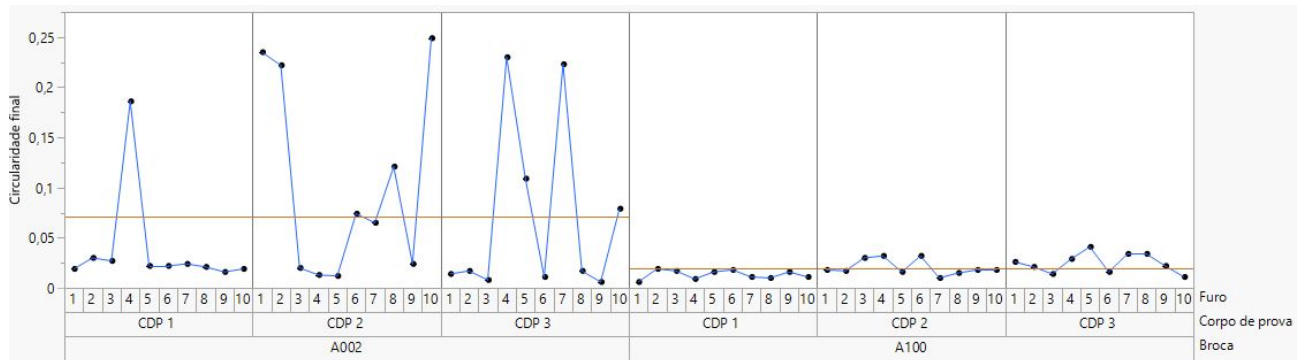


Figura 8. Gráfico de variação da circularidade no final dos furos (autoria própria).

Ao comparar as brocas, e analisando o limite de tolerância estabelecido na máquina de 0,100 mm e os 300 mm de comprimento de avanço percorridos por cada broca, percebe-se que a broca A100 não ultrapassou o desvio de circularidade adotado no estudo. Já a broca A002 consegue a tolerância apenas para o início dos furos, sendo que na região final de alguns furos chega a ultrapassar a tolerância em 0,15 mm.

4. CONCLUSÕES

Os atributos da broca A002 (afiação em cruz e revestimento TiN) poderiam levar à hipótese de que seu desempenho seria consideravelmente superior à broca A100. No entanto, com um custo de aquisição 13% maior que a broca A100, a broca A002 apresentou uma circularidade inicial média maior, justamente onde se esperava uma redução da excentricidade pela geometria autocentrante da afiação em cruz. Assim, baseado nos resultados desse estudo, a broca revestida com o processo de revenido a vapor apresentou o melhor desempenho pelo menor custo de aquisição da ferramenta.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos professores Anderson Geraldo Marena Pukasiewicz, do Laboratório de Metalografia da UTFPR-PG pelo auxílio nos ensaios de dureza e microscopia.

6. REFERÊNCIAS

- Beiss, P. 1991. "Steam treatment of sintered parts." *Powder Metallurgy*, Vol. 34, p. 173-177.
- Binder, R. 1996. *Influência dos processos de ferroxidação nas propriedades do ferro sinterizado*. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Da Silva, W.M. 2003. *Efeito da pressão de compactação e tamanho do pó de ferro na abrasão do ferro sinterizado oxidado a vapor*. Dissertação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Diniz, A. E.; Marcondes, C. F.; Coppini, N. L. 2014. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. Artiliber, São Paulo, 8ª edição.
- Ferrari, A.; Veronesi, V.; Gazzanica, G.C. 1891. "A study of the influence of steam treatment on the tribological behaviour of steel specimens." *Wear*, Vol. 66, p. 195-207.
- Franklin, P.; Davies, B.L. 1977. "The effects of steam oxidation on porosity in sintered iron." *Powder Metallurgy*, Vol. 20, p. 11-16.
- Kuziak, R.; Kawalla, R.; Waengler, S. 2008. "Advanced high strength steels for automotive industry." *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 8, p. 103-117.
- Razavizadeh, K.; Davies, B.L. 1979. "Influence of powder type and density on pore closure and surface hardness changes resulting from steam treatment of sintered iron." *Powder metallurgy*, Vol. 22, p. 187-192.
- Rodrigues, L.V. 1999. *Confiabilidade aplicada no comportamento da ferramenta de corte de geometria definida*. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Rodrigues, M.F.; Santana, S. 2012. "Otimização nos processos de usinagem." <<https://docplayer.com.br/26353203-Otimizacao-nos-processos-de-usinagem.html>>

Santos, S.C. 2002. “Estudo da Influência de Revestimentos e da Aplicação de Fluido de Corte no Desempenho de Brocas de Aço-Rápido e de Metal Duro Integral na Usinagem de Ferro Fundido Cinzento.” Dissertação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Shaw, M.C. 2005. *Metal cutting principles*. Oxford University Press, New York, 2nd edition.

Trent, E.M.; Wright, P.K. 2013. *Metal cutting*. Elsevier, Woburn, 3rd edition.

World Tools. 2020. Busca de preços de brocas de HSS revestidas do fabricante Dormer.
<<https://www.worldtools.com.br/busca?busca=BROCA+HSS+STANDARD+Ø+10%2C0>>

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.