



APLICAÇÃO DE BROCAS HELICOIDAIS DE METAL DURO NA MELHORIA DO PROCESSO DE FURAÇÃO COM CORTE INTERROMPIDO

Juliano Schimiguel¹

David Wellington Neves²

Irene Aparecida de Jesus³

Marcos Antônio Cagliari⁴

Odácio Machado⁵

Érica Alves Chaves⁶

- 1 Doutor em Ciência da Computação pela UNICAMP, Docente no Centro Universitário Anchieta (Jundiaí, SP),
Universidade Cruzeiro do Sul (São Paulo, SP), Universidade Nove de Julho (São Paulo, SP),
Anhanguera Educacional (Jundiaí, SP).

schimiguel@gmail.com;

- 2 Graduado em Engenharia de Produção, Centro Universitário Anchieta, 2014. Jundiaí, SP.

david_wellington_neves@hotmail.com;

- 3 Graduada em Engenharia de Produção, Centro Universitário Anchieta, 2014. Jundiaí, SP.

irene.cida@gmail.com

- 4 Graduado em Engenharia de Produção, Centro Universitário Anchieta, 2014. Jundiaí, SP.

marquinho.cagliari@globo.com

- 5 Graduado em Engenharia de Produção, Centro Universitário Anchieta, 2014. Jundiaí, SP.

odacio.machado@bol.com.br

- 6 Estudante do curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário Anchieta, 2015. Jundiaí, SP.

erica.alveschaves@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Juliano Schimiguel, David Wellington Neves, Irene Aparecida de Jesus, Marcos Antônio Cagliari, Odácio Machado y Érica Alves Chaves (2016): "Aplicação de brocas helicoidais de metal duro na melhoria do processo de furação com corte interrompido", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Brasil, (julio 2016). En línea: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/16/brocas.html>

RESUMO: O processo de produção tem várias etapas, este trabalho aborda o processo de perfuração fase importante da produção e amplamente utilizado na indústria, devido à sua versatilidade, baixo custo e simplicidade de operação. Dentro do processo de perfuração também temos as maiores restrições devido suas peculiaridades, e, assim, este trabalho relata o estudo com brocas helicoidais de metal duro e os seus diferentes tipos de desgaste, especialmente no processo com corte interrompido; onde a meta é aumentar em 16 % de produtividade. Conseguindo assim alcançar o cronograma exigido pela empresa nesta operação, e como resultado para eliminar a obstrução, reduzindo o desperdício e os elevados custos gerados pelas quebras constantes das brocas em estudo. O uso de *Six Sigma*, uma das ferramentas de qualidade mais eficientes foi extremamente importante para ajustar, estabilizar e controlar o processo de perfuração em questão. Os testes foram desenvolvidos em uma ampla gama de brocas, variando cobertura e geometrias que acabaram direcionando para uma mudança de extrema importância na aresta de corte da ferramenta e através desta melhoria foi alcançado um ganho substancial na vida útil da ferramenta e uma redução significativa no custo da mesma.

PALAVRAS-CHAVE: Furação, Broca Helicoidal, Corte Interrompido.

ABSTRACT: The production process has several steps, this paper addresses the major phase of production drilling process and widely used in industry due to their versatility, low cost and simplicity of operation. Inside the drilling process also we have the most restrictions because of its peculiarities, and thus, this paper reports the study with helical carbide drills and their different types of wear, especially in the process with interrupted cutting; where the goal is to increase by 16% productivity. thus managing to reach the schedule required by the company in this operation, and as a result to clear the jam, reducing waste and high costs generated by the constant breaks of drills under study. The use of Six Sigma, one of the most efficient quality tools was extremely important to adjust, stabilize and control the drilling process in question. The tests were conducted in a wide range of drills varying coverage and geometry which ultimately directing for a change of utmost importance in the tool cutting edge and through this improvement was achieved substantial gains in tool life and a significant reduction in cost of the same.

KEYWORDS: Drilling, Helical Drill, Cut Interrupted.

1 INTRODUÇÃO

Os processos de furação são um dos processos de usinagem mais utilizados na indústria manufatureira. A grande maioria das peças de qualquer tipo de indústria tem pelo menos um furo, e somente uma parte muito pequena dessas peças já vem com o furo pronto de processo de obtenção da peça bruta (fundição, forjamento, etc.).

Em geral, as peças têm de ser furadas em cheio ou terem seus furos aumentados pelo processo de furação. Desta forma seu estado é fundamental. Apesar de sua importância, tal processo recebeu poucos avanços até alguns anos atrás. As ferramentas de outros processos, como torneamento e fresamento, progrediram rapidamente com a introdução de novos materiais, como metal duro, cerâmico, nitreto de boro cubico e diamante. Na furação, no entanto, a ferramenta ainda mais utilizada é a broca helicoidal de aço-rápido.

Tal atraso tem diversas razões, mas a principal é o diâmetro dos furos. Uma broca de 10 mm de diâmetro (que é bem comum), para ser utilizada com velocidades compatíveis (V_c) ao metal

duro (V_c em torno de 200 m/min), precisaria de uma rotação da ordem de 6400 RPM, muito alta para boa parte das máquinas utilizadas em furação.

As necessidades das empresas de tornar sua produção mais rápida e efetiva vêm se tornando cada vez maior, sendo necessário o uso de novas tecnologias para atender a demanda do mercado e diminuir custos de produção.

Hoje em dia o mercado está cada vez mais competitivo, tanto para os fornecedores destes produtos que precisam estar em constante evolução, quanto para as empresas que necessitam reduzir custos de produção utilizando novas tecnologias; tudo isso devido a grande oferta no mercado. Através de novas tecnologias como brocas de metal duro entre outras ferramentas isto se torna possível para ambos os lados.

O mercado exige uma resposta muito rápida, devido o sistema utilizado pela maioria das grandes empresas conhecido como *Just-In-Time*, deixando de gerar estoque e produzir somente o encomendado. Portanto as empresas estão investindo cada vez mais em novas tecnologias de ferramentas de corte buscando estabilidade nos processos de perfuração para melhor atender o mercado cada vez mais exigente.

Através destas novas tecnologias também foi melhorado consideravelmente a qualidade dos furos produzidos, como as brocas trabalham em alta rotação isto faz com que ela se estabilize deixando o furo com qualidade muito melhor que a de HSS (High Speed Steel).

O objetivo deste trabalho é demonstrar a possibilidade de estabilizar um determinado processo e também a ferramenta, variando classe, cobertura e dados de corte em brocas de alto desempenho (metal duro). Além disso, também será demonstrada a viabilidade das brocas de metal duro dentro dos processos produtivos mostrando redução de custo, melhorias de qualidade e produtividade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Durante o processo de usinagem, a retirada de material através da penetração de ferramenta de corte na peça gera calor na interface peça/cavaco/ferramenta devido ao atrito, à deformação plástica e ao cisalhamento de material ocorrido. As temperaturas geradas dependem diretamente das condições de corte empregadas (como velocidade de corte, avanço e profundidade de usinagem) e da utilização de fluido de corte. De acordo com Ruffino (1977, apud Machado, 2011), através de suas pesquisas observou que com a aplicação de água na região de corte era possível aumentar a velocidade de corte em 33% sem prejuízo para a vida da ferramenta. Porém, de uma maneira geral, a temperatura é afetada principalmente pela velocidade de corte: estima-se que 80% do calor tenha origem pela deformação mecânica do cavaco 18% pelo atrito do cavaco na saída da superfície da ferramenta e somente 2% é gerado pelo atrito da ferramenta com a peça (Yuhara, 2001).

A temperatura gerada pode ser excessivamente alta, comprometendo assim, o tempo de vida da ferramenta e podendo trazer alterações dimensionais à peça. Por exemplo, a temperatura na zona de cisalhamento do material pode chegar a variar de 900°C a 1300°C na usinagem do aço utilizando ferramenta de metal duro, de acordo com Yuhara (2001).

Ademais, sabe-se que a maior parte da energia utilizada para o cisalhamento do material é convertida em calor, sendo que, 75% são removidos pelo cavaco e os 25% restantes são distribuídos entre peça, à ferramenta e o meio (Yuhara, 2001); sendo que um maior foco deve ser dado à elevação da temperatura da ferramenta. Este geralmente possui dimensões menores que a peça sendo usinada, e absorve aproximadamente quatro vezes mais energia térmica durante o processo.

Alguns dos mecanismos mais importantes ativados pelo aquecimento excessivo da ferramenta são: a deformação plástica superficial causada pelo cisalhamento a altas temperaturas, a deformação plástica da aresta de corte sob tensões de compressão, a difusão e a formação de trincas térmicas.

A energia desprendida com o cavaco não traz problemas ao processo, porque a quantidade de calor que flui para a peça não é significativa. A introdução de fluidos de corte, por sua habilidade de reduzir significativamente o atrito de corte, refrigeração e arraste de cavaco auxilia na implementação de maiores velocidades de corte e maior produtividade, e ainda impacta positivamente na durabilidade da ferramenta.

A refrigeração da ferramenta é considerada a principal função dos fluidos de corte quando utilizadas altas velocidades de corte, caso em que ocorre a máxima solicitação mecânica da ferramenta e a temperatura do gume se aproxima do ponto de amolecimento (Stemmer, 2005). Dessa forma, quando refrigeradas, o tempo de vida das ferramentas é aumentado, pois se previne que estas atinjam sua temperatura crítica - que afetaria características físicas e químicas. Também há aumento de precisão dimensional.

Para eliminar eficientemente o calor, é desejável que o fluido apresente baixa viscosidade (para melhor penetrar a interface), boa molhabilidade (capacidade para molhar a superfície sólida em contato) e altos valores de condutividade térmica e calor específico (para armazenar e conduzir o calor a taxas altas).

Além das funções já apresentadas, o fluido de corte deve ter ainda algumas qualidades acessórias. As qualidades exigidas variam com a aplicação, a qual atenda a todas as exigências de qualquer processo de usinagem em qualquer condição. O acréscimo de certos aditivos, por exemplo, melhora algumas qualidades do fluido, porém, piora outras. Dessa forma, constante estudo sobre cada caso torna-se imprescindível para a seleção do fluido mais adequado para o processo e as condições em que se esta trabalhando.

A redução do atrito na interface peça/cavaco/ferramenta acaba, também, por reduzir a produção de calor na mesma. Porém, uma vez que apenas cerca de $\frac{1}{4}$ do calor da usinagem é produzido pelo atrito, à lubrificação é considerada função secundária dos fluidos de corte.

Entretanto, indiretamente, a lubrificação reduz o trabalho de dobramento do cavaco (Stemmer, 2005).

Para evitar corrosão, um fluido deve prevenir que o metal entre em contato com umidade e oxigênio, através da formação de uma película protetora; pois metais ferrosos recém-usinados tendem a oxidar rapidamente, uma vez que qualquer camada de proteção que possuam previamente é removida ou alterada durante o corte. Caso o fluido de corte utilizado seja água ou a base desta, misturam-se aditivos anticorrosivos ou óleos emulsificantes.

A geometria de brocas é de plena importância no desempenho da usinagem. A broca pode ter o melhor material já produzido, mas se a geometria não estiver correta a broca não exercerá a função corretamente. Devido sua importância foi necessário normalizar para que todos os profissionais e especialistas utilizassem a mesma base. A norma responsável pela geometria das brocas é a norma brasileira NBR 6163 – Conceitos da Técnica de Usinagem: Geometria da Cunha Cortante: Terminologia (ABNT, 1980).

Para o conhecimento necessário e melhor compreensão do trabalho realizado foi analisado o material utilizado, o processo de furação, desgaste das brocas entre outros. Foi relatado o tipo de material da ferramenta, mas sem aprofundamento devido aos vários tipos de composição de metal duro e HSS (High Speed Steel). E neste primeiro estudo utilizou-se somente brocas de metal duro. Pode se dizer que hoje existem vários autores que investigam a furação com brocas de metal duro, como Miranda et. Al. (2001), Santos et. Al. (2001), Miranda (2003), Sharif et. Al. (2007).

Segundo Ferraresi (2003), a furação é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de um furo, geralmente cilíndrico, numa peça, com auxílio de uma ferramenta geralmente multicortante com movimento de corte circular. Para tanto a ferramenta ou a peça se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina. O processo de furação e seus principais movimentos de corte podem ser observados na figura 01.

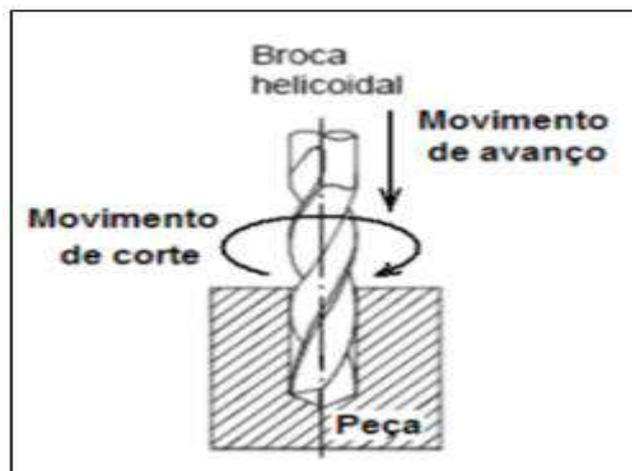


Figura 01 - Movimentos principais de corte na furação.

Fonte: (FERRARESI, 2003).

O processo de furação pode ser subdividido em seis principais tipos de operação, como mostra na figura 02.

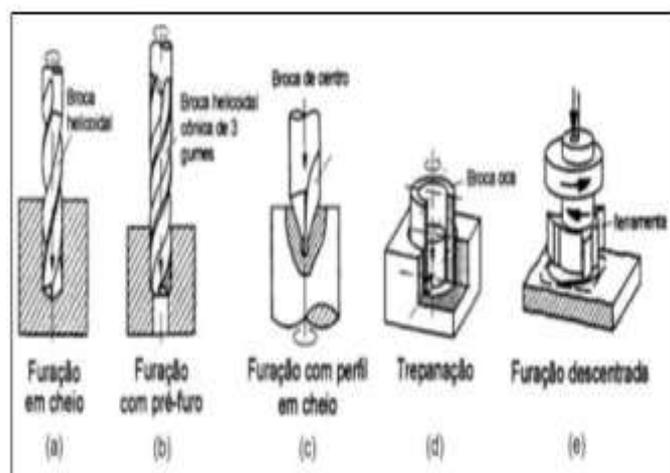


Figura 02 - Variações do processo de furação segundo norma DIN 8589.

Fonte: (SCHÖETER; WEINGERTNER, 2001b).

- a) Furação em cheio: Processo destinado à obtenção de um furo cilíndrico em uma peça, onde todo o material contido no volume do furo é retirado na forma de cavaco;
- b) Escareamento ou furação com pré-furo: Processo que tem por objetivo a obtenção de um furo cilíndrico em uma peça previamente furada, ou eliminação de rebarbas;
- c) Furação de centros: Processo que visa à obtenção de furos de centros que tem por objetivo facilitar a fixação da peça para operações posteriores;
- d) Trepanação: Processo de furação onde apenas o material contido no volume do furo, localizado próximo à circunferência que delimita o furo, é removido. Um núcleo permanece maciço após a operação;
- e) Furação descentrada: Processo que os eixos de rotação da ferramenta e da máquina não coincidem, podendo gerar furos e geometrias diversas;

A broca helicoidal é a ferramenta mais empregada no processo de furação, desenvolvida na década de 1820 pela “Moses Twist Drill and Machine Company”. Sendo a principal e primeira forma geométrica de broca é a broca helicoidal com tipo original de afiação cônica, conforme figura 03, onde hoje ainda é utilizada nas operações mais simples às mais complexas.

Brocas helicoidais conforme – DIN 1412:

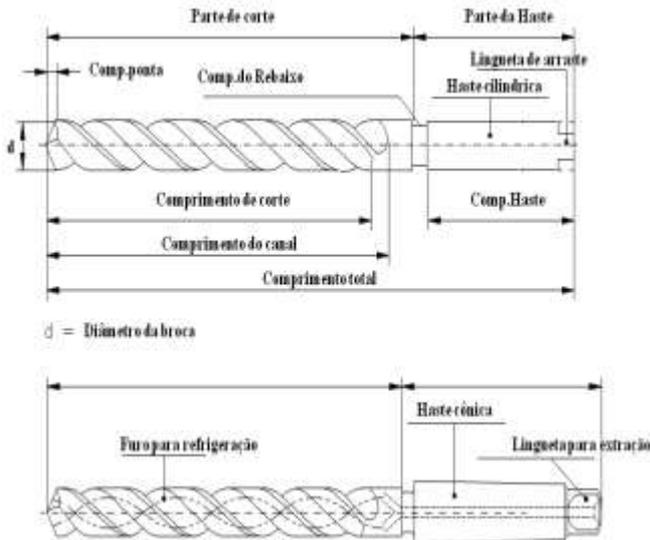


Figura 03 - Elementos básicos de uma Broca helicoidal.

Fonte: (STEMMER, 1995).

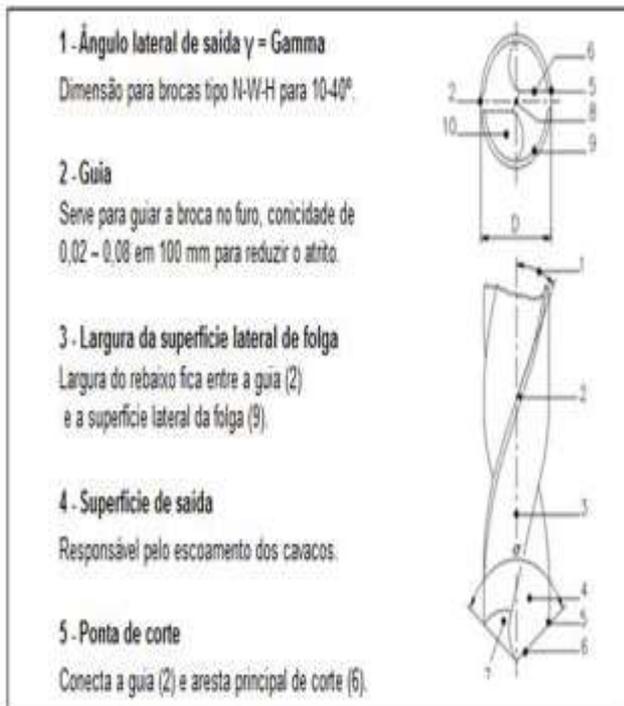


Figura 04 – Brocas helicoidais – Especificação

Fonte: (STEMMER, 1995).

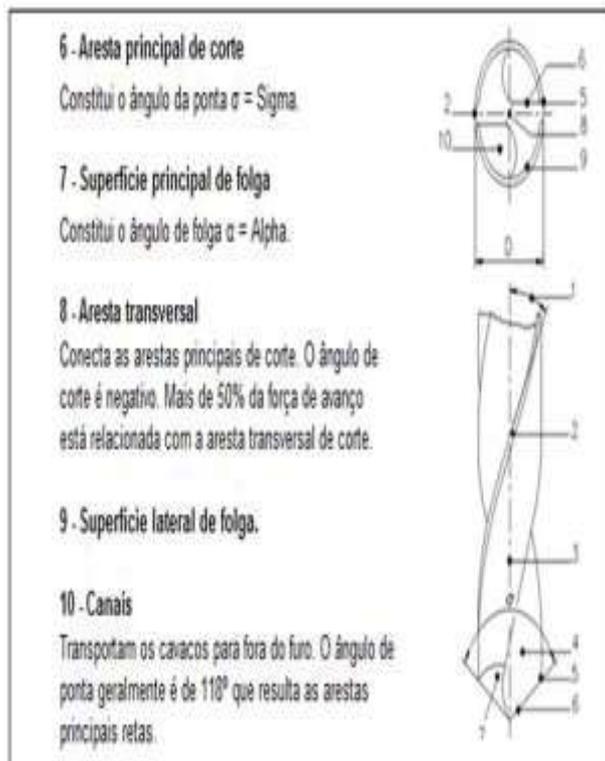


Figura 05- Continuação – Brocas helicoidais – Especificação

Fonte: (STEMMER, 1995).

Assim como as outras ferramentas têm seu desempenho afetado por sua geometria. A figura 06 demonstra todos os ângulos que formam a broca helicoidal:

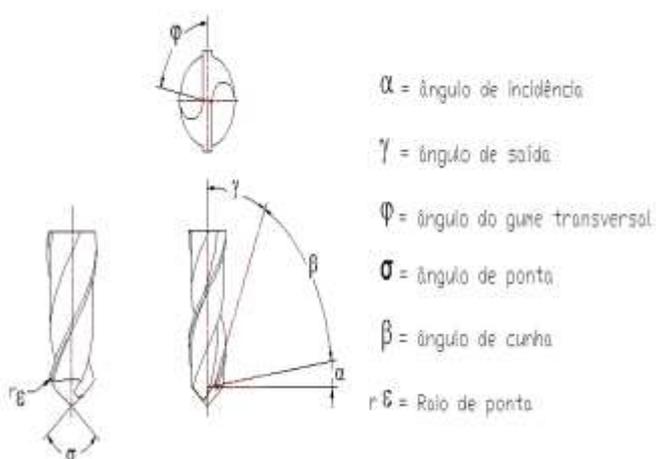


Figura 06 - Ângulos de corte de uma broca helicoidal (STEMMER, 2005).

Ângulo de incidência (α): É gerado pelo rebaixamento do flanco principal. Normalmente encontra-se entre 12 e 15 graus. Quanto maior o ângulo de incidência menor a chance de esmagamento de material pelo flanco da broca, sendo assim, reduzindo o esforço causado pelo avanço. Por outro lado, reduz a resistência do gume (TEIXEIRA, 1995).

Ângulo de saída (γ): O ângulo de saída auxilia no desprendimento do cavaco e no controle do acabamento e da profundidade do furo. Deve ser determinado de acordo com o material a ser furado, existem três classificações:

Tipo N: Utilizado para materiais como o aço (Aço alto carbono, Aço macio, ferro fundido, aço-liga).

Tipo H: Utilizado para materiais com dureza e tenacidade maior (Materiais prensados, ebonite, náilon, PVC, mármore, granito, ferro fundido duro, latão, bronze, Celeron, aço de alta liga).

Tipo W: Utilizado para materiais macios e que produzem cavaco longo (Alumínio, zinco, cobre, madeira, plástico).

Ângulo do gume transversal (j): É o menor ângulo formado entre os gumes principais e o gume transversal. Este ângulo é determinado pelo ângulo de incidência (STEMMER, 2005).

Ângulo de ponta (s): É formado pelo ângulo dos dois gumes principais. Este ângulo determina a espessura do cavaco quando utilizado mesmo avanço, quando o ângulo é menor o cavaco se torna mais fino, porém mais largo e vice e versa. Para o caso de alguns materiais de baixa usinabilidade, o cavaco mais grosso é mais vantajoso, pelo fato de fazer contato na face, num ponto mais afastado do gume. Um grande ângulo de ponta permite, usualmente, o aumento do avanço. Isto possibilita um aumento na velocidade de furação.

Com o aumento do ângulo de ponta a estabilidade da ferramenta diminui tornando mais difícil a centragem (STEMMER, 2005). A Figura 07 mostra tipos especiais de afiações conforme NRB 6176:

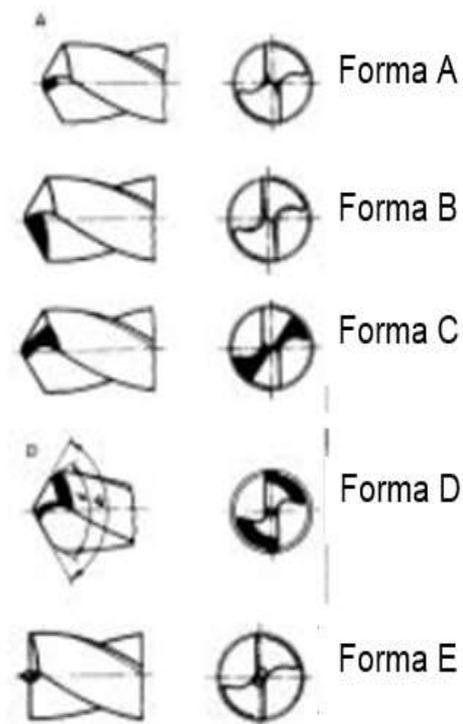


Figura 07 - Afiações especiais para brocas helicoidais. Fonte: (STEMMER, 1995).

Forma (A): Redução da aresta transversal Para aços até 900 N/mm².

Forma (B): Redução da aresta transversal Para aços até 900 N/mm² e ângulo de saída corrigido.

Forma (C): Afição em cruz sobre o gume transversal eliminando completamente o gume transversal - interessante particularmente para furações profundas.

Forma (D): Afição com cone duplo muito utilizado para furação de Ferro fundido.

Forma (E): Afição para centrar ligas de alumínio, cobre, zinco e aços em chapa fina.

Os canais helicoidais são de extrema importância para o funcionamento das brocas, além de ser a saída para os cavacos é a entrada para os líquidos lubrificantes.

O processo de usinagem baseia-se na remoção de metal, utilizando como ferramenta um material mais duro e mecanicamente mais resistente que a peça. Partindo-se do princípio da dureza relativa, o surgimento de novos materiais e ligas estruturais com excelentes propriedades de resistência mecânica e elevada dureza contribuíram para o aparecimento de novos materiais para a confecção de ferramentas mais resistentes para as operações de usinagem. Porém, a usinagem de materiais frágeis ou em operações de fresamento (cortes interrompidos, por exemplo) requer materiais que componham ferramentas com suficiente tenacidade para suportar os choques e impactos inerentes ao processo de usinagem. Como, em geral, dureza e tenacidade são duas propriedades distintas (normalmente alta dureza se associa a baixa tenacidade e vice-versa), o balanço dessas propriedades nos materiais de ferramenta de corte se tornou um desafio para os fabricantes. A conciliação dessas propriedades foi conseguida com a produção de ferramentas com diferentes composições químicas, refinamento de grãos, controle dos processos de fabricação e do tratamento térmico, o que lhes confere graus compatíveis de pureza e qualidade.

As principais propriedades desejáveis em um material para ferramenta de corte podem ser assim listadas: alta dureza, tenacidade suficiente para evitar falha por fratura, alta resistência ao desgaste abrasivo, Alta resistência à compressão, alta resistência ao cisalhamento, boas propriedades mecânicas e térmicas em temperaturas elevadas, alta resistência ao choque térmico, alta resistência ao impacto, ser inerte quimicamente.

Essas propriedades não se reúnem necessariamente em um só material, mas dependendo da aplicação, priorizam-se algumas delas, que possam ser reunidas. Desde as primeiras aplicações de processos de usinagem surgiram diversos materiais aplicados a ferramentas de corte. A seguir, apresentam-se os mais importantes com algumas de suas características, propriedades, limitações e aplicações.

As atuais brocas de metal duro são muito eficientes e estão muito à frente das obsoletas brocas helicoidais de aço rápido, que ainda são largamente usadas em muitas indústrias. Como consequência, o custo por furo usinado caiu drasticamente. Para brocas inteiriças de

metal duro, a vida útil da ferramenta é cerca de 20 vezes maior do que para as HSS e a capacidade de velocidade de corte é muitas vezes maior à mesma faixa de avanço. O conceito básico da broca helicoidal ainda permanece, mas de forma muito refinada. As geometrias de ponta de brocas usadas atualmente melhoram muito a ação de corte das arestas transversais e os materiais da ferramenta têm maior desempenho e maior vida útil.

As tolerâncias de furos para essas brocas podem estar na faixa IT8 e os acabamentos dentro da faixa Ra de um micron, dependendo do comprimento da broca, fixador e condições da ferramenta. A tolerância da haste da broca é h6. As opções de classe de metal duro são encontradas para todos os materiais, incluindo a classe de composto *twingrade* para furação de aço inoxidável. Duas diferentes classes de metal duro são sinterizadas juntas para fornecer capacidade de alta velocidade para a periferia e de baixa velocidade para o centro da ferramenta.

Graças à alta resistência à flexão do metal duro, é possível aplicar comprimentos de ferramenta até oito vezes o diâmetro em condições estáveis e de 12 a 14 vezes como especiais.

A broca de metal duro com pastilhas intercambiáveis oferece alta produtividade de usinagem, versatilidade e vida longa e confiável. As brocas atuais não são somente brocas para desbaste rápido. Elas são capazes de fazer furos ainda mais rapidamente do que as primeiras gerações dessas brocas, e também são capazes de dar acabamento a furos em um melhor nível e se manter dentro de tolerâncias mais estreitas do que anteriormente, não somente em operações de furação em cheio, mas também na tecnologia de furação em geral.

As tolerâncias de furo possíveis com as brocas de metal duro já foram reduzidas quase para a metade, para $\pm 0,05$ mm e, com avanço moderado, o acabamento superficial possível é de Ra de 0,5 micron. A economia de produção foi consideravelmente melhorada com a aplicação das brocas de metal duro, com taxas de produção quase duas vezes maiores.

3 ESTUDO DE CASO E METODOLOGIA

Com o aumento da demanda exigida pelo cliente e que coincidiu com a mudança de projeto no corpo forjado da biela, afetou diretamente a operação de furação, passando de um furo cego comum para saída interrompida, isso fez com que começa-se a quebrar brocas de uma maneira desordenada já que esse tipo de ferramenta não era mais adequada para esse tipo de furação. Essas variáveis transformaram a operação em gargalo, e o maior custo R\$/peça da linha pelo consumo de brocas e tempo de ciclo baixo.

Para este caso estudou-se a furação utilizando brocas helicoidais de metal duro com saída do furo da peça com corte interrompido, onde ocorria à perda de produção devido aos problemas ocorridos com as brocas, principalmente fatores como quebras, lascamentos e desgaste excessivo. Um dos objetivos deste experimento foi aumentar a produtividade que era de

123pçs/h para 143pçs/h de acordo com demanda do cliente e também reduzir os custos com quebras de broca.

Foram utilizadas para este processo brocas helicoidais de metal duro com diâmetro de 10,9 x 190 mm (medida especial considerada como ferramenta de furação profunda) com haste cilíndrica e refrigeração interna conforme figura08.



Figura 08 - Foto de uma das brocas utilizadas nos ensaios

Material a ser usinado: Biela de linha pesada (caminhões) aço forjado 44MNSIVS6 com resfriamento controlado, dureza de 296 à 341HB, conforme figura09.



Figura: 09 – Biela linha pesada

TABELA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

Corrida	Data	Dureza			Propriedades Mecânicas			
		Especificado: 296 - 341 HB			1000 a 1200 Mpa	680 Mpa Min	15% min	9% min
		Núcleo	1/2 raio	Superfície	LR (Mpa)	LE (Mpa)	Ra (%)	Alo (%)
NV	06/08/14	329	321	333	1099	794	30,1	12,7
		329	321	321				
NX	07/08/14	321	333	317	1103	800	26,9	12,1
		325	329	321				
NZ	07/08/14	309	309	329	1096	793	24,6	11,6
		310	313	329				

Tabela 01 – Dureza e propriedades mecânicas da peça.

Composição Química																Tendência de Ocorrências	
C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Al (%)	Mo (%)	Ni (%)	Cu (%)	N (%)	V (%)	Nb (%)	Ti (%)	AlN (%)	Ceq (%)	Frat.ura	Usinabilidade
0,46	1,44	0,63	0,024	0,07	0,25	0,01	0,02	0,08	0,18	0,018	0,213	0,004	0,003	0,56	0,81	Sim	Sim
0,45	1,44	0,65	0,023	0,072	0,24	0,009	0,02	0,08	0,2	0,0166	0,218	0,004	0,003	0,54	0,80	Sim	Sim
0,44	1,45	0,65	0,022	0,064	0,26	0,006	0,02	0,08	0,16	0,0203	0,218	0,003	0,004	0,30	0,80	Sim	Não

Tabela 02 – Composição química da peça

MÁQUINA UTILIZADA: CENTRO DE USINAGEM CHIRON DZ18L DUPLO FUSO:



Figura 10 – Centro de usinagem Chiron DZ18L duplo fuso

A princípio em análise ao processo existia a seguinte situação:

Nesta operação são usinadas quatro bielas, conforme figura 09, por vez. Em cada estágio do dispositivo utilizado na máquina possui dois dispositivos fixados a mesa. A utilização de dispositivos possibilita um ganho de produtividade para este tipo de máquina.



Figura 12– Bielas fixadas no dispositivo.



Figura 13 – Bielas fixadas no dispositivo.

Na saída da furação da peça existem quatro cortes interrompidos para o furo da broca $\varnothing 10$, 9x190mm onde não era possível modificar o dispositivo da máquina conforme figura 12.

Esta furação é na vertical o que dificulta também a remoção de cavaco do furo, porém assim que a broca rompia os furos acabava perdendo a refrigeração interna na ponta da broca, devido ao furo passante, causando o aquecimento e avarias na ferramenta. No início deste produto, com as várias quebras de brocas $\varnothing 10$, 9x190mm e sem conhecer as causas específicas foi solicitado várias brocas de teste a vários fornecedores, na tentativa de conhecer a ferramenta e suas variações e aproveitar o conhecimento técnico externo à empresa. Foram realizados vários testes programados e às vezes em caráter de urgência devido à falta de ferramentas. Sendo um produto de grande importância à empresa, foi à atenção por certo período devido aos gastos excessivos com ferramentas de consumo principalmente do item broca $\varnothing 10$, 9x190mm.

Foi feito uma cronoanálise para verificar os tempos da máquina e da operação e as possibilidades de verificar se havia a necessidade de altos avanços de usinagem e também a possibilidade de poupar algumas ferramentas com restrições no processo. Lembrando que um dos objetivos é atingir a produção de 143pç/hora sendo que se produzia 123pç/hora.

Em questão de tempo das quatro máquinas da produção, conforme tabela 03.

N° OPERAÇÃO	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	MÁQ. NÚMERO	N° OPERAÇÃO	CICLO EM MINUTOS	CICLO EM SEGUNDOS	PEÇA / CICLO	SEGUNDOS / PEÇAS	CICLO	% ADIC.	OPERAÇÃO	PEÇAS / HORAS	CONJUNTO
30	FURAR, ROSCAR	46381		05:15	315	4	78,75	1,31	12	1,47	40,82	0,37
		41639		05:21	321	4	80,25	1,34	12	1,50	40,05	
		41173		05:21	321	4	80,25	1,34	12	1,50	40,05	
		41642		05:22	322	4	80,5	1,34	12	1,50	39,93	

Tabela 03 – Cronoanálise da operação

Abaixo temos um exemplo do início do estudo de testes com um fornecedor (situação anterior):

TESTE Nº 1: - FORNECEDOR "A".

Nome: Marcos	Data de início: 19/07/2014	Título: Experimento de furação de bielas
Localidade: Linha de Usinagem Bielas Pesadas		Projeto: Bielas para Caminhão
Objetivo: Encontrar melhor ferramenta de usinagem - broca helicoidal de M.D.		
Variável Resposta		Técnica de Medição
Vida da broca M.D. Ø 10,9 x 190 mm		Contador de peças no painel da máquina CNC
Fatores		Valores dos Níveis
1. Velocidade de corte (Broca)		70 - 120 m/min
2. Avanço (Broca)		0,25 a 0,5 mm/min
3. Ângulo de ataque		135° (Ø10,9 mm)
4. Concentração do solúvel		8,5 a 10%
5. Pressão de fixação do dispositivo		200 Bar
6. Geometria do quebra cavaco		Conforme Geometria do Fornecedor A
7. Batimento da ferramenta no porta ferramenta		Fixo: Até 0,02 mm
8. Batimento da		Fixo: Até 0,03 mm

ferramenta no eixo árvore	
9. Fornecedor da broca	Fixo
Ruídos ou Variáveis	Método de Controle
1. Operador	As medições serão tomadas no contador de vida de ferramenta (Tool Life), na própria máquina, via CNC.
2. Corrida do material	
3. Máquina	
Replicação: O estudo será replicado para outras três máquinas.	

Tabela 04 – Ficha de controle de experimento do processo

Este padrão foi utilizado para os três fornecedores inicial.

Pode se evidenciar que houve vários problemas com o fornecedor “A” em questão a rendimento lascamento e quebras, além de não ultrapassar a vida útil de 120 peças/broca, qual seu custo tornava o item inviável a produção, porém atingia o tempo linha para uma produção de 143pçs/hora.



Figura 14– Desgaste da broca

Além das avarias dos testes decorridos com o fornecedor “A”, que foram em torno de 50 testes com este fornecedor, também ocorreram problemas com as brocas que voltavam da reafiação externa, fornecida pelo mesmo fornecedor, onde houve a necessidade de verificar broca a broca, antes que fossem colocadas em uso na produção, mesmo após algumas reclamações formal ao fornecedor, o mesmo não melhorou seus itens reafiados, sendo mais um motivo de continuar a busca de novos desenvolvimentos com outros fornecedores.

Segue algumas fotos de brocas reafiadas e separadas para retrabalho.



Figura 15 – Broca reafiada

Na figura 15 temos brocas reafiadas com '1'cm de lascamento e com cobertura, com lascamento de aresta, fissuras nas arestas de proteção, brocas imantadas e com diferença de proteção de aresta. Isto é, se essas brocas fossem disponibilizadas para a produção causariam quebras e refugos de peças, além de dificultar ainda mais a investigação sobre as causas reais das quebras de brocas.

3.1 Aplicação Das Ferramentas Six Sigma

A princípio foi elaborado um escopo do projeto ou estudo de caso para furação na operação 30, neste caso já estava definido para os testes o fornecedor "C". Foi elaborado um escopo utilizando as ferramentas para definir as entradas e saídas, ou ferramenta denominada SIPOC.

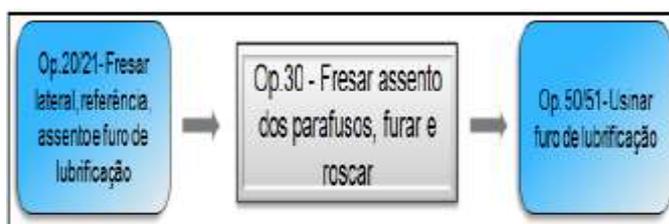


Figura 16 – Ferramenta 6sigma - SIPOC.

Foi feito um acompanhamento das brocas atuais do processo (fornecedor "B") de como estava a situação da produção, além das quebras estava ocorrendo muitos refugos de bielas. Foi avaliado através das etiquetas de rendimento que acompanhavam as brocas desde que eram disponibilizados ao processo, onde o operador era responsável pelo preenchimento, sendo organizado pelo técnico de ferramentas.

Indicador técnico													
Gráfico de quebras de brocas na													
operação 30 de Ø10,9 -													
Consolidado													
16													
10	10												
	4	2	1		4	3	0	1	0	2	2		
01/08/2014	02/08/2014	03/08/2014	04/08/2014	05/08/2014	06/08/2014	07/08/2014	08/08/2014	09/08/2014	10/08/2014	11/08/2014	12/08/2014	13/08/2014	14/08/2014

Gráfico 01 – Indicador de quebra de brocas -

No gráfico 01 está indicando quantas brocas estavam quebrando por dia, sendo como exemplo no dia 08/08/14 ocorreram 16 quebras de brocas.

3.2 MAPEAMENTOS LEAN

Foi realizado o mapeamento Lean a fim de conhecer e entender como o processo realmente funciona. Desenhar o mapa de fluxo do processo e enxergar a operação com maior potencial de economia financeira. Criar sinergia entre a equipe e os colaboradores que trabalham no processo, identificar os pontos que requerem melhorias e montar um plano de ação, identificar as entradas críticas do processo e elaborar uma base para desenvolvimento do PMAP.

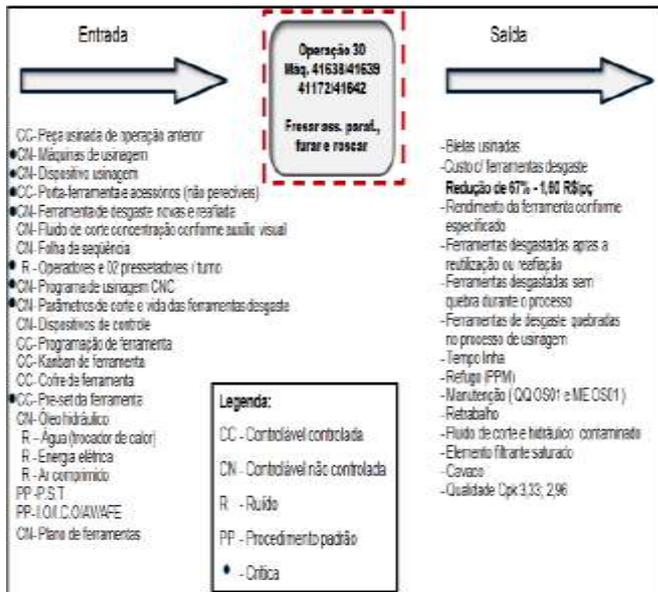


Figura 17– Entradas e saídas – SIPOC

ENTRADAS CRÍTICAS	ESPECIFICAÇÕES (OBJETIVOS)
- Máquinas	- Realizar verificação de geometria e alinhamento do fuso da máquina com fome especificação: < 0,06mm - Isento de vazamento hidráulico e sistema de refrigeração com alta pressão > 50 Bar
- Dispositivo de Usinagem	- Com pressão de fixação = 100 Bar - Fixado e alinhado na máquina conforme procedimento de set-up
- Porta ferramenta	- Verificar funcionamento garras, encosto e vazamentos - Com batimento radial e axial < 0,02mm e montado conforme o plano de ferramenta
- Ferr. de desgaste novas	- Conforme esp. do fabricante: Fornecedor "C"
- Operadores e pressetadores	- Actos a executar suas funções e quantidade necessárias por turno (treinamento e avaliado)
- Programa de usinagem CNC	- Funcionamento (conete), programa somente os utilizados na linha e back-up conforme sistemática.
- Parâmetros de corte	- Parâmetros de corte: serão alterado conforme definido no experimento (DOE)
- Pre-set	- Ferramenta montada de acordo com plano de ferrame em condições de uso

São premissas para o experimento que todas estas entradas estejam sob controle.

Figura 18– Análise das entradas críticas.

3.3 VERIFICANDO O PMAP

Entradas controláveis: Variáveis de entrada (x) que podem ser alteradas para verificar o efeito nas variáveis de saída do processo (y). Algumas vezes chamadas de variáveis de ajuste.

Procedimentos padrão de operação: Características que devem ser controladas através de procedimentos ou instruções de trabalho que descrevem como o processo deve rodar e identifica certos fatores para monitorar e manter;

Entradas ruído: Variáveis de entrada que impactam na saída, mas não são controladas por serem difíceis ou muito caras (custo / benefício) ou simplesmente não são controláveis. Podem estar relacionadas a causas comuns ou especiais de variação. (exemplo: variáveis de ambiente como umidade, temperatura, homem, etc);

Entradas críticas: Entradas (x's) que ferramentas (FMEA, NEM, DOE,...) e o conhecimento do processo provaram ter impacto mais importante na variação das saídas (Y's). Qualquer tipo de entrada poderia ser crítica (controláveis SOP ou ruídos).

Em relação ao mapeamento, o principal foco é baseado na operação de furação a qual se desenvolvia o estudo de caso, com o custo de 4,87R\$/pç onde utiliza a broca de diâmetro 10,9 e outras ferramentas. Vale lembrar que este custo é envolvendo as demais ferramentas da operação.

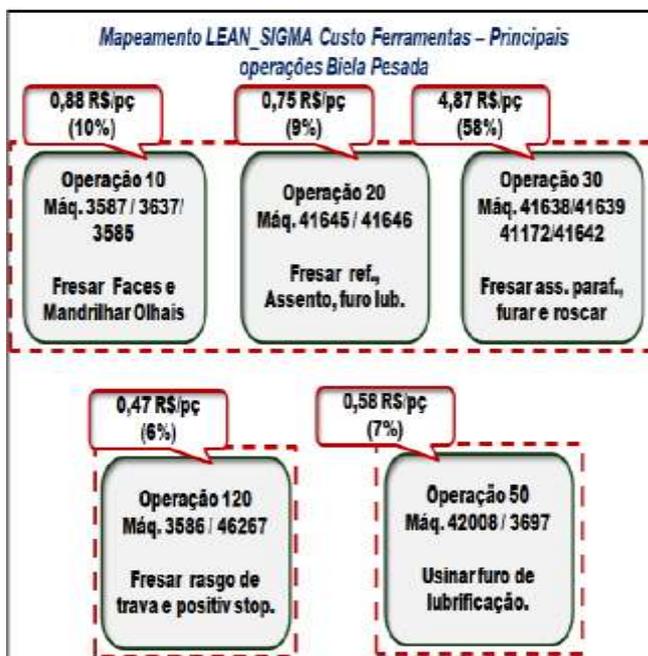


Figura 19 – Mapeamento Lean Sigma

3.4 PLANEJAMENTO DOE

Foi realizado testes com brocas reafiadas $\varnothing 10,9\text{mm}$ do Fornecedor "C", conforme figura 20, trabalhando com $V_c=90\text{m/min.}$ e $Av. \text{rot} = 0,3\text{mm/min}$ com vida útil = 200pçs.



Figura 20 - Broca do fornecedor "C".

- **Fatores e níveis:** Serão utilizados dois fatores, e um *Center point* de cinco combinações de *setup* o experimento terá uma resolução *Full* fatorial.

Vel. de corte => $V_c=85 \rightarrow 2480$ RPM

$V_c = 95 \rightarrow 2774$ RPM

Avanço => 0,25 mm/rot a 0,35 mm/rot

- **Serão observadas as saídas:**

Vida da ferramenta (número de peças usinadas).

Dimensão do furo: $10,9 + 0,075$ mm (medido a cada 50 pçs).

Será verificada a dureza superficial do furo a cada 100 pçs. (sem rosca)

Tempo de ciclo.

- **Manter sob controle outros fatores importantes como:**

Pressão do óleo solúvel > 50 Bar;

Concentração do óleo solúvel > 6,7 Produto Microcut B 510.F.

Fornecedor Quaker.

- **O critério da troca da broca será:**

Qualidade: Dimensão e posição real do furo.

Técnico: desgaste da aresta do inserto de até 0,3mm ou lasca.

- **Recursos:**

Ferramenta → será necessário 08 brocas (vidas) da broca Ø10,9 mm.

- Operador experiente da máquina.
- Técnico CNC
- Definir quem fará as medições na sala de qualidade.
- Quantidade de peças (aproximadamente 1000pçs).
- Refugo previsto: 04pçs para verificação da dureza superficial do furo.
- Tempo de máquina disponível 50 horas.
- Data do experimento: início em 21/06/14.

Planejamento no Minitab:

#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	VC	Avanço	Vida da ferr. fuso dir	Vida da ferr. fuso esq	rugosidade
1	1	1	1	1	05	0,25			
2	2	2	1	1	05	0,25			
3	3	3	1	1	05	0,35			
4	4	4	1	1	05	0,35			
5	5	5	0	1	00	0,30			

Figura 21 – Ferramenta 6sigma – DOE

Aplicação do DOE

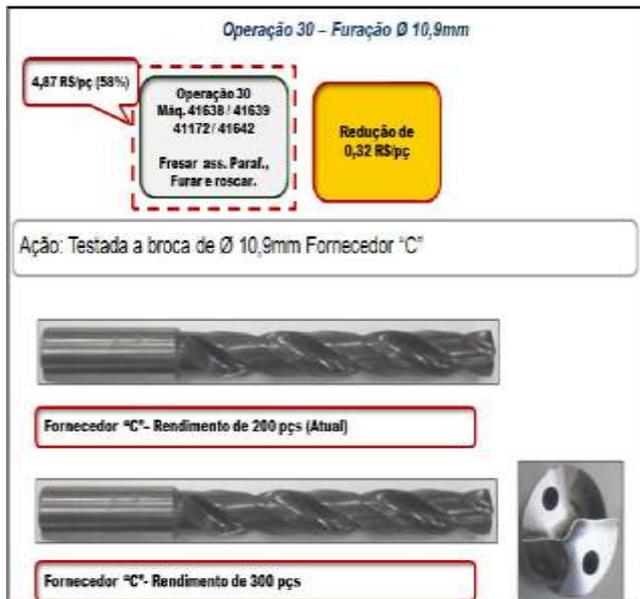


Figura 22 – Teste da broca fornecedor “C”

Foi realizado DOE utilizando dois fatores, gerando 4 combinações de *setup*, o experimento foi um *full-fatorial* com replicação.

Vel. de corte $V_c=80$ m/min $V_c=95$ m/min

Avanço 0,25 mm/rot 0,35 mm/rot

Foram observadas as saídas:

Podemos observar os valores obtidos na vida das ferramentas conforme figura 23.

#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8-T	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	VC	Avanço	Vida ferr. pcs	Corrida	Dureza Média
1	1	1	1	1	80	0,25	260	HX	327
2	2	2	1	1	95	0,25	220	JE	327
3	3	3	1	1	80	0,35	360	JB	329
4	4	4	1	1	95	0,35	212	JB	329
5	5	5	1	1	80	0,25	250	JE	327
6	6	6	1	1	95	0,25	226	JC	325
7	7	7	1	1	80	0,35	350	JC	325
8	8	8	1	1	95	0,35	218	JE	327

Figura 23 – Valores obtidos na vida das ferramentas.

No gráfico dos principais efeitos, notamos que a melhor vida se dá com a menor VC e maior Avanço.

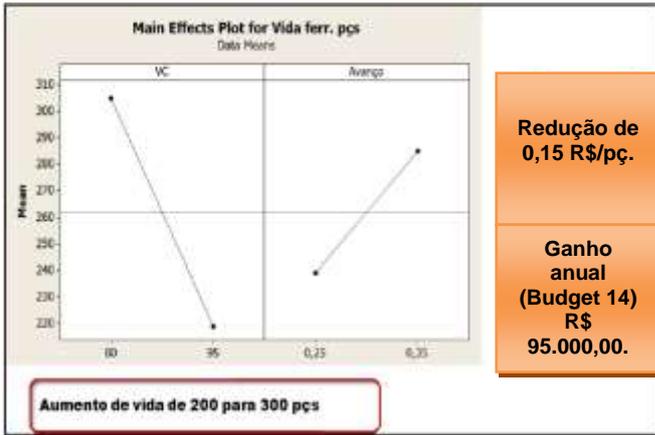


Gráfico 02 – Aumento da vida da ferramenta

No gráfico das interações nota-se que a interação é maior com a VC de 80m/min.

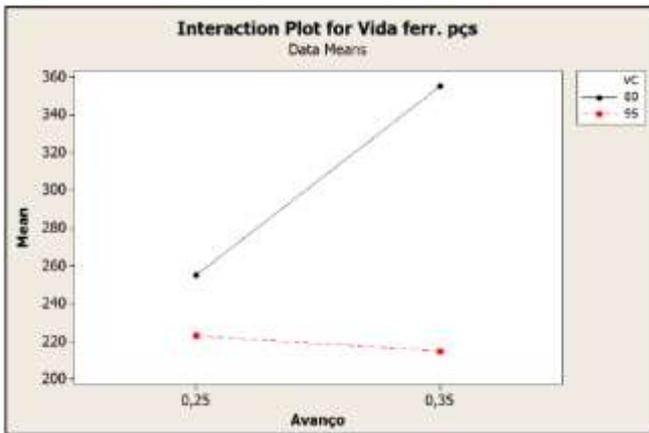


Gráfico 3 – Avanço de corte

Pode-se também verificar no gráfico de maximização que a ferramenta apresentou o melhor resultado na vida da ferramenta com uma VC=80m/min e Av/rot=0,35mm/min.

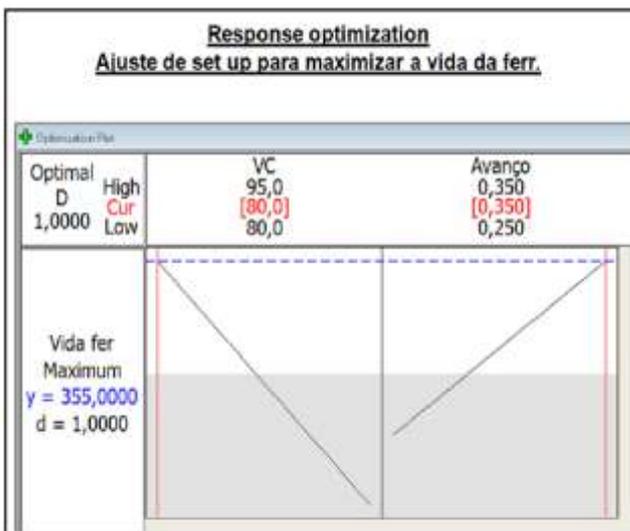


Gráfico 4 – Maximização da vida da ferramenta

Analisando criticamente o DOE está aprovado devido ter atingido o R-Sq de 99,46.

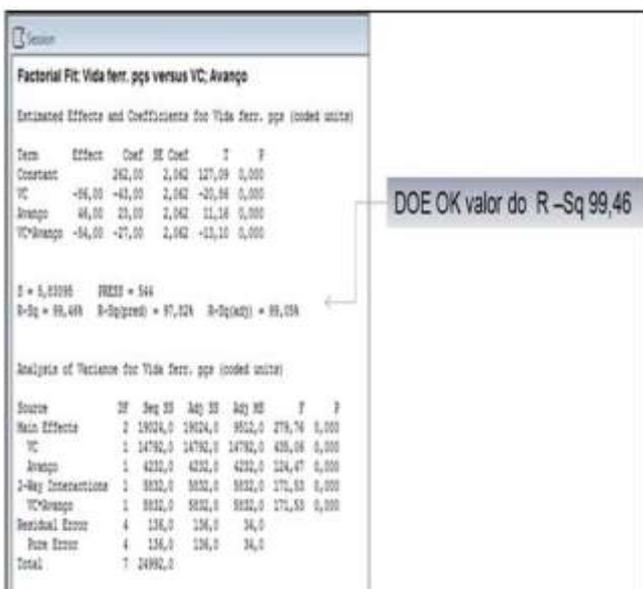


Figura 24 – Ferramenta 6sigma – DOE

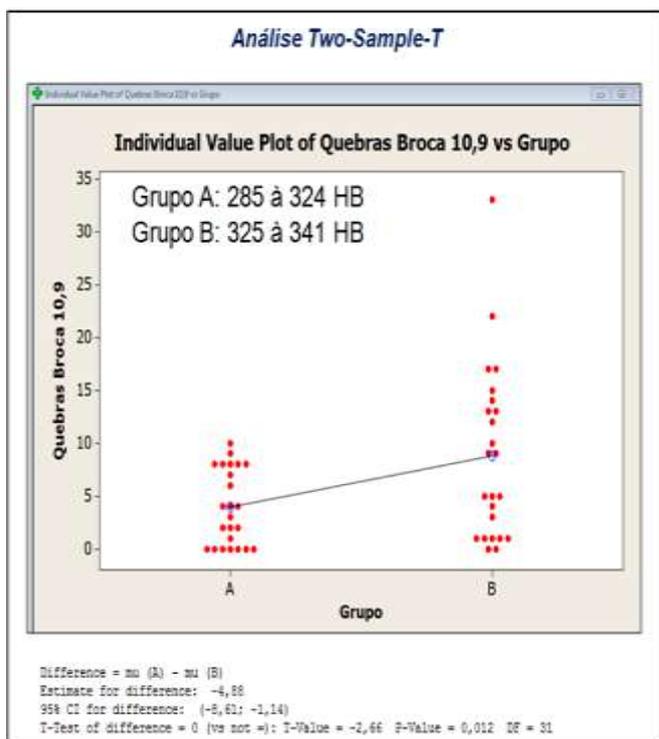


Gráfico 5 – Comparação de quebras de brocas

3.5 CONCLUSÕES DO DOE

Podemos verificar que a Velocidade de corte é o fator de maior influência na vida da ferramenta.

O estudo nos mostrou que o melhor *setup* para uma maior vida da ferramenta é com os fatores de $V_c=80\text{m/min}$ e Avanço $0,35\text{mm/aresta}$ (vida de 355 pçs), porém limitamos a vida em 300pçs para garantirmos a estabilidade da operação que é muito crítica pois a quebra da mesma gera refugo e risco de quebra do macho que é a ferramenta seguinte.

O DOE foi rodado com peças que estão no grupo de dureza maior do que 325 HB.

O estudo DOE comprovou mais uma vez ser uma ferramenta eficaz para estudar e melhorar o processo.

Que neste estudo de caso após a definição de alguns detalhes da ferramenta, ajudou a estabelecer a vida e melhor o aproveitamento da ferramenta com o menor custo.

O DOE também foi rodado em outras operações como fresamento e torneamento, o gráfico 6 se refere ao custo total da linha de produção.

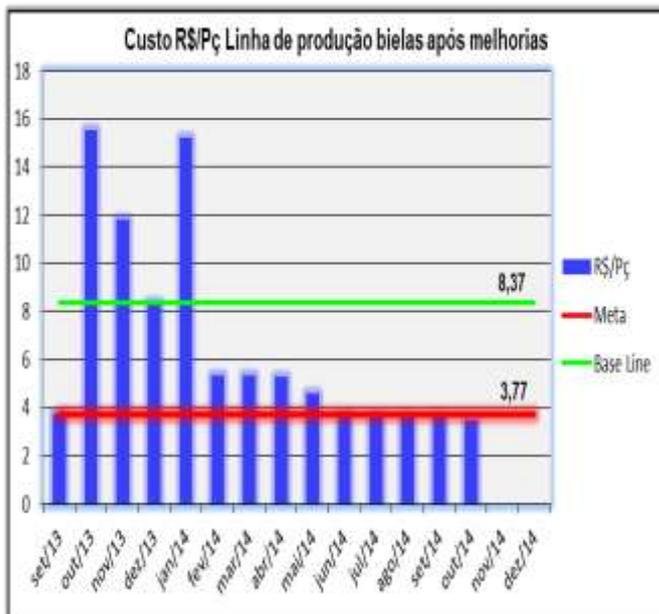


Gráfico 6 – Custo R\$/Pç. de ferramentas após rodagem do DOE.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se dizer que nos processos de furação em geral deve se ter atenção às particularidades do processo. No caso deste processo ocorrido nesta indústria ocorreu um grande investimento, a princípio sem muito planejamento. Desta forma ocorreram vários problemas iniciais de processo e com muitas perdas, em relação às ferramentas adquiridas. Ocorreu grande dificuldade de fabricação por serem itens especiais e importados onde nem todos os fornecedores tinham a pronta entrega os itens para testes.

Podem ser verificadas as várias tentativas nos testes realizados a princípio, as dificuldades encontradas, que serviram de aprendizado em cada item que era colocado em produção. Mesmo com erros, houve um grande ganho de experiência, em relação a parâmetros de corte, tipo de tratamento das brocas, cobertura e suas particularidades. Mas devido ao empenho de todos desde os fornecedores e as equipes de trabalho em juntar esforços e ideias para resolução do problema.

Contando também com o grande empenho das pessoas envolvidas diretamente na área de ferramentas, como técnicos que por experiência verificaram que havia melhorias a ser aplicada nas brocas helicoidais, como foi o fato de melhorar o chanfro de proteção de aresta 0,3mm x 45°, que foi um dos itens importantes para estabilizar a quebra da ferramenta. Assim como um dos outros fatores importantes para estabilizar o processo de quebra das brocas foi o tratamento da aresta frontal de corte da ferramenta com o tipo de roneamento por jateamento automatizado alcançando uma precisão de repetibilidade de cada ferramenta, considerando um trânsito de aproximadamente 200 brocas semanais.

Dados estes dois fatores específicos também devemos considerar que um dos fatores importantes para estabilidade das ferramentas, no caso das brocas diâmetro 10,9 x190mm consideradas longas, foi o fato de manter uma refrigeração de lubrificação com pressão de 60bar, principalmente no tipo de máquina com fusos na furação vertical.

E por fim foi aplicada uma ferramenta de grande importância para prática de melhoria contínua de processos, que é a ferramenta *Sixsigma* que no caso estudado foi principalmente a ferramenta DOE que veio mostrar que o processo além de estável em relação às quebras de ferramentas, pode ser melhorado.

Hoje o processo está estável, com casos esporádicos de quebras de brocas, baixo índice de refugos, mantendo a vida útil da broca de 300pçs por afiação, em uma produção de 143pçs/hora.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, Heraldo. Processo de Fabricação por Usinagem – Fluidos de Corte. Porto Alegre. Disponível em: http://www.ufgrs.br/gpfai/download/eng03343_14.pdf. Acesso: em 25 jul. 2014.
- ANNALS of the CIRP, v.43, p.551-561, 1994.
- Catai, E.R. et al. Estudo dos Métodos Otimizados de Aplicação dos Fluidos de Corte no Processo de Retificação. Revista de Ciências & Tecnologia, 2003, vol. 11, nº 22.
- DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. Tecnologia da usinagem dos materiais. 8ª ed. Artliber, São Paulo, 2013.
- DINIZ, A. E.; HARA, C. M. (1999). Revista Ciência e Tecnologia. UNIMEP, v.7, n.14, p.67-74.
- FERRARESI, D., 1972, “ Usinagem dos Metais”, Associação Brasileira de Metais – ABM, 4ª Ed., São Paulo.
- IOWA Waste Reduction Center. Cutting Fluid Management for Small Machining Operations. Iowa, 2010. Disponível em: <http://www.iwrc.org/downloads/pdf/cuttingFluid03.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2014.

- MACHADO,A. R., ABRÃO,A. M., COELHO,R. T., SILVA,M. B. Teoria da usinagem dos materiais. 2ª ed. Blucher, São Paulo, SP, 2011.
- SCHROETER, R.; WEINGERTNER, W. L. Processos de usinagem de ferramentas de corte – Nível 1, vol. 2 – Florianópolis: UFSC, 2001 (b).
- SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. Oxford: Oxford Science Publications, Tonshoff, H.K; König, W. Machining of holes, developments in drilling technology.
- STEMMER, Caspar Rich. Ferramentas de corte I. 6 ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005.
- VEIRA, Rodrigo de Souza et. al, Elementos de Máquina. Florianópolis, 2010.