

E-TEC

Revista de

Tecnologia e

Ciência

FACULDADE DE TECNOLOGIA
SENAI LONDRINA

E-TEC Revista de Tecnologia e Ciência

Corpo Editorial

Editor Chefe – V2-2018

Flávio Antunes Ferreira

Comitê Executivo

Camila Fogaça de Oliveira
Marcelo Antônio Strik
Rodolfo Alexandre Hildebrandt
Vicente de Lima Gongora

Editora: Faculdade de Tecnologia Senai Londrina
ISSN: 2358-5528

Direitos reservados

Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina
Rua Belém, 844 – Londrina PR.
43 -3294-5100 – faculdade.londrina@pr.senai.br

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida sem a autorização prévia e escrita da Editora Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. Este periódico publica nomes individuais, comerciais e marcas registradas e produtos pertencentes a diversas companhias. O Editor utiliza-se destes nomes somente para fins editoriais e em benefício dos proprietários dos nomes e marcas, sem intenção de atingir seus direitos. Observa-se ainda que os dados contidos nos artigos são de responsabilidade dos próprios autores.

Sumário

Prefácio.....	4
Introdução.....	5
Capítulo I: Automação de uma prensa excêntrica mecânica que molda cubos para bicicleta.....	6
Capítulo II: A reutilização de óleo de corte: estudo de caso em uma empresa de usinagem.....	25
Capítulo III: Caracterização do compósito de matriz polimérica com reforço de fibra de vidro: análise do processo de furação de placas isolantes.....	41
Capítulo IV: Estudo da rugosidade da cabeça femoral de uma prótese de quadril.....	66
Capítulo V: Estudo da broca de metal duro com e sem revestimento no processo de furação CNC utilizando aço abnt1045.....	87



e-TEC

A Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina agradece o apoio fundamental de toda a equipe do SENAI Londrina, para a realização e conclusão desta obra.

Prefácio

A Revista e-tec SENAI Londrina é um periódico técnico-científico com publicação semestral, cujo objetivo principal é fomentar a pesquisa nas áreas de inovação, educação profissional, científica e tecnológica. A revista publicada eletronicamente recebe artigos inéditos (teóricos ou teórico-empíricos) de usuários de todo o Brasil e do exterior; aceitando publicações em Português, Espanhol e Inglês. Publica também entrevistas com pesquisadores, profissionais e personalidades que contribuem de forma relevante com as linhas de pesquisa e com o perfil profissional do egresso da Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. Os entrevistados de cada edição são indicados pelo editor chefe ou pelo conselho editorial e avaliados pelos membros do comitê executivo.

Os artigos e resenhas podem ser submetidos à revista, de forma ininterrupta e são avaliados inicialmente pelo comitê executivo, que realiza o enquadramento nas linhas de pesquisa da revista; e, na sequência encaminha aos avaliadores cadastrados.

Os critérios para a composição do corpo editorial do periódico estão relacionados com a experiência profissional docente e as atividades de aprendizagem e de inovação que a Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina implementa conforme o seu plano de desenvolvimento institucional.

Introdução

Esta publicação tem caráter multidisciplinar e foi escrita com a intenção de ser utilizada por alunos de graduação e pós-graduação das áreas exatas e de gestão. Os diversos autores divulgam conceitos e experimentos aplicados na moderna indústria. Muitas vezes os procedimentos mostrados são resultados de trabalhos experimentais ou aplicados efetivamente solucionando as demandas industriais. O objetivo fundamental, a ser alcançado neste periódico, é a divulgação na comunidade acadêmica; visando, desenvolver suficiente habilidade para resolver questões semelhantes do dia a dia, que podem aparecer durante o desenvolvimento de trabalhos durante o decorrer dos cursos; e, em desafios profissionais no mundo do trabalho. O texto foi organizado e dividido em capítulos apresentando-se em cada um deles inicialmente um resumo, revelando ao leitor as características fundamentais e o foco de cada trabalho desenvolvido; desta forma, o leitor verifica e avalia o grau de interesse e pode dar continuidade no entendimento da obra escrita, observando com atenção os tópicos apresentados. Salientamos ainda que a estrutura de cada artigo é o modelo padrão deste periódico e o leitor quando motivado, pode submeter o seu trabalho para avaliação do corpo executivo através do e-mail “faculdade.londrina@pr.senai.br”.

Boa leitura!

CAPÍTULO I - AUTOMAÇÃO DE UMA PRENSA EXCÊNTRICA MECÂNICA QUE MOLDA CUBOS PARA BICICLETA.

< ALESSANDRO PICCIRILLI >¹
< PAULO BRONIERA JUNIOR >²
< KATIELLY TAVARES DOS SANTOS >³

Resumo: A competitividade vem de encontro com a necessidade de aperfeiçoar produtos e processos produtivos, buscando alternativas que viabilizem custos e benefícios, sem comprometer a qualidade de seus produtos. Em empresas de manufatura, uma parte de grande importância no processo produtivo refere-se a operações de conformação mecânica, como processos de corte, dobramento, estampagem, entre outros, a tecnologia empregada no processo é um fator importantíssimo que refletirá em um diferencial no mercado, tratando-se de máquinas que executam processos de conformação mecânica, o trabalho tem como proposta automatizar uma prensa excêntrica mecânica. As prensas são máquinas feitas para o processo em estampagem, conformação ou corte em uma só batida. O trabalho foi desenvolvido através de um estudo de caso, para se realizar essa automação utilizou-se controlador lógico programável (CLP), relês contadores, sensores magnéticos, válvula e atuador pneumático. Como resultado da automação da prensa obteve-se melhoria na segurança dos operadores e aumento da qualidade dos produtos.

Palavras-chave: Prensa. Automação. Conformação. Cubo de Bicicleta.

Abstract: The Competitiveness comes against the need to improve products and productive processes, seeking alternatives that make possible costs and benefits, without compromising the quality of its products. In manufacturing

¹ Graduação – Tecnólogo em Fabricação Mecânica, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: alessandro-piccirilli@outlook.com

² Mestre em Engenharia Elétrica, UEL. Docente de Graduação na Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: paulo.broniera@pr.senai.br

³ Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais, Unesp-Bauru. Docente de Graduação na Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: katielly.santos@sistemafiep.org.br

companies, a part of great importance in the production process refers to operations of mechanical conformation, such as cutting, folding, stamping, among others, the technology employed in the process is a very important factor that will reflect in a differential in the market, In the case of machines that excute processes of mechanical conformation, the work intends to automate an eccentric mechanical press. The presses are machines made for the process in stamping, conformation or cut in a single beat. The work was developed through a case study; to perform this automation was used Logic Programmable Controller (CLP), relays, contactors, magnetic sensors, valve and pneumatic actuator. As a result of the automation of the press, it was possible to improve operator safety and increase product quality.

Key-words: Press, automation, conformation, bicycle cube.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia empregada no processo é um fator importantíssimo que refletirá em um diferencial no mercado. Tratando-se de máquinas que executam processos de conformação mecânica, neste trabalho terá como foco uma prensa.

São máquinas utilizadas na conformação e corte de materiais diversos, nas quais o movimento do martelo - punção, é proveniente de um sistema hidráulico ou pneumático - cilindro hidráulico ou pneumático, ou de um sistema mecânico, em que o movimento rotativo se transforma em linear por meio de sistemas de bielas, manivelas, conjunto de alavancas ou fusos. (NORMAS REGULAMENTADORAS, 2016).

A prensa mecânica excêntrica é de fundamental importância nas indústrias “geralmente se emprega para quase todas as operações de corte, alguns tipos de dobrado, embutido e algumas operações combinada de corte e embutido realizado em um só estampo” (FRANCO, 1993)

Porém é umas das máquinas mais perigosas, pois contém seu ciclo completo, sendo impossível a parada durante o processo de prensagem onde pode ocorrer acidentes de trabalho podendo resultar em um de seus membros amputado, pois no ato da prensagem as mãos do operador estarão livres devido ao acionamento ser efetuado utilizando os membros inferiores, sem contar que por se tratar de uma prensa antiga, está totalmente fora das normas de segurança estabelecida na NR12, como por exemplo, acionamento por

pedal mecânico, fechamento da ferramenta por alavanca, partes moveis descobertas etc.

Nesse sentido, um trabalho voltado para automação e normatização desta prensa, se justifica dado que a segurança do trabalhador nas indústrias hoje é uma das principais preocupações dos gestores.

Segundo a revista Corte e Conformação (2012, 32 p.), a maioria das empresas brasileiras estão dispostas a fazer investimentos e adquirir novas máquinas, buscando novas tecnologias em relação ao processo de fabricação de seus produtos.

Há um projeto executado em uma empresa situada na cidade de Londrina-PR, que desde sua fundação vem fabricando aros de bicicleta, com um espaço no mercado veio a oportunidade de fabricar cubos para bicicleta, onde foi comprado cerca de vinte máquinas usadas, sendo uma delas uma prensa excêntrica de oito toneladas que tem por função moldar os cubos.

Diante da necessidade do aumento da qualidade, de uma melhor segurança durante a execução do trabalho, buscou se a adaptação da máquina (prensa) tais como a retirada do acionamento por pedal, fechamento da ferramenta por alavanca, buscando garantir total integridade do operário. Assim o trabalho propõe automação de uma prensa a qual é constituída basicamente em eliminar todos os esforços excessivos da operação, garantindo a qualidade exigida pelo cliente, mais especificadamente será implementado um sistema de acionamento no qual o operador utilize seus membros superiores de tal maneira que não age a possibilidade de um acidente, por estar em local inapropriado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Automação: conceito e aplicações

Automação de acordo com Silveira (2007) é “o ato ou poder de exercer domínios, fiscalizar, um novo perfil para o trabalho e emprego de sua mão-de-obra, diante das opções de controle de um sistema automático”.

Antes nos processos de fabricação era necessária a utilização da força humana e animal para realização das etapas de determinados tarefas em específicos.

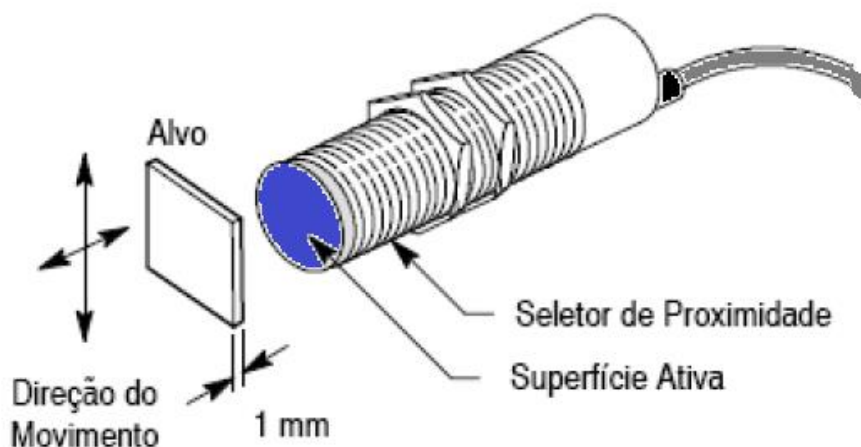
Hoje, na indústria, é possível que seja identificada sua aplicação em vários setores tais como: Área automobilística que atualmente existe linhas de montagem robotizadas, onde substitui todo processo manual de fabricação

devido à evolução dos componentes eletrônico, assim como o controlar logico programável (CLP).

2.1.1 Sensores

Segundo Thomazini (2010) os sensores são dispositivos que tem por função captar informações do processo, as quais podem ser luminosa, térmica, cinética ou que esteja relacionada a alguma grandeza onde precisa ser medidas, tais como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição etc. Neste trabalho utilizaram-se apenas sensores de proximidade indutiva, que não necessitam de contato com algum objeto metálico o qual queira identificar quando esta próximo, segundo Thomazini (2010), esses tipos de sensores “utilizam um campo de freqüência de radio com um oscilador e uma bobina. A presença de um objeto altera esse campo e o circuito eletrônico do sensor pode descobrir a alteração”. A Figura 1 representa um sensor de proximidade indutivo.

Figura 1: Representação de um Sensor de Proximidade Indutivo



Fonte: Controle e Automação Industrial (2016)

2.1.2 Controladores

CLP (controlador lógico programável), é basicamente um computador, que, recebe sinais de vários sensores tais como, sensor fim de curso (o que determina um curso máximo ou mínimo de uma máquina) e

manda para os atuadores de acordo com a programação, feita atrás de um software.

Segundo a norma International Electro-technical Commission - IEC 61131-1 (1962) que em português significa comissão internacional eletrotécnica, onde estabelece um padrão de programação do CLP, o CLP é composto “por componentes eletrônicos e memória programável ou não programável, que contêm dados e programas com a finalidade de ler e executar instruções, interagindo com o sistema que deve controlada por dispositivos input e output do tipo digital ou analógico”.

A programação feita no CLP é a “seqüência específica de instruções selecionadas de um conjunto de opções oferecidas pelo CLP em uso e, que irão efetuar as ações de controle desejada, ativando ou não as memórias internas” (SILVEIRA, 2007). A figura 2 demonstra um modelo de CLP.

Figura 2: CLP CLIP02 da Weg



Fonte: Weg (2015)

2.1.3 Atuadores

Atuadores segundo Thomazini (2010,), “são dispositivos que modificam uma variável controlada. Recebem um sinal proveniente do controlador e agem no sistema controlado. Geralmente trabalham com potência elevada” dentro da classificação de atuadores, podemos citar como exemplo.

- Válvulas
- Reles

- Cilindros
- Motores

Nesta automação utilizaremos uma válvula pneumática 5/3 vias centro fechado, para acionar o cilindro dupla ação que por si vai fazer o acionamento da conformação, motor hidráulico que tem por função fechar o molde (ferramenta) e reles para ampliação de corrente.

2.2 Prensas

Máquinas que executam processos de conformação mecânica segundo a Norma Regulamentadora NR12 (2016):

“são máquinas utilizadas na conformação e corte de materiais diversos, nas quais o movimento do martelo - punção, é proveniente de um sistema hidráulico ou pneumático - cilindro hidráulico ou pneumático, ou de um sistema mecânico, em que o movimento rotativo se transforma em linear por meio de sistemas de bielas, manivelas, conjunto de alavancas ou fusos”.

- Prensa hidráulica

Segundo Franco (1993), “nesta prensa os movimentos são obtidos por acionamento hidráulico, ou mais propriamente óleo dinâmico ou também hidropneumático.” Utiliza-se de um óleo para acionar o cilindro e assim fazer a conformação, segundo Franco suas vantagens é “alta velocidade de trabalho, e autonomia, curso facilmente regulável, assim como a pressão e velocidade”.

- Prensa de fricção

Segundo Franco (1993), “este tipo de prensa é usado para estampagem em altas pressões. Indicada para cunhagem de moedas, placas artísticas e outros objetos similares”, os seus movimentos são obtidos por meio de transmissão mecânica.

- Prensa excêntrica

Segundo Franco (1993), “geralmente se empregam para quase todas as operações de corte, alguns tipos de dobrado, embutido realizado em só estampo”, os seus movimentos são obtidos por meio de transmissão mecânica. A figura 3 ilustra a prensa excêntrica mecânica.

Figura3: prensa excêntrica mecânica



Fonte: Maquele máquinas e reformas (2015)

3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada tem como finalidade automatizar uma prensa excêntrica mecânica, bem como demonstrar os impactos da automação sobre o processo em que a mesma esta instalada.

A automação da prensa foi implementada em de um CLP o qual foi citado na seção 2 deste trabalho. O referido dispositivo terá como periféricos os contadores, pistão pneumático, bomba hidráulica, e todos os sensores instalados na máquina. De acordo com a produção e processo, uma das alternativas seria uma automação desta máquina (prensa excêntrica) seguindo as normas regulamentadoras de segurança (NR12), porém não esta 100% dentro dos requisitos da norma de segurança NR12, pois utilizou-se um reaproveitamento de componentes das máquinas já desabilitada (que não se encaixa na norma de segurança NR12), assim proporcionando segurança, com baixo custo.

Devido a características construtivas da máquina, a mesma exige esforços musculares significativos por parte dos operadores, assim sendo necessária a troca constante de operador.

3.1 Automação da prensa

Neste trabalho terá como foco uma prensa excêntrica mecânica que exerce uma pressão aproximadamente de 130 toneladas no martelo, da marca Ricetti, possui sua estrutura (corpo) em forma de “C”, sistema de engrenagens para redução e movida por um motor elétrico de 15 cv. A Figura 4 ilustra a prensa excêntrica utilizada neste trabalho antes do processo de automação.

Figura 4: prensa excêntrica mecânica do projeto antes da automação



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme podemos observar na Figura 5, o acionamento da prensa para a conformação é feita através de um pedal mecânico no qual possui uma haste que aciona a trava de conformação. O mesmo foi eliminado após a automação. A Figura 5 ilustra a prensa excêntrica utilizada neste trabalho após a automação.

Figura 5: prensa excêntrica mecânica do projeto após a automação



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 5 apresenta a prensa excêntrica automatizada já com a inclusão do conjunto da bomba hidráulica e com painel elétrico, porém esta faltando as proteções dos componentes móveis.

Para se realizar este trabalho foi utilizado um controlador lógico programável do fabricante Weg modelo TP02-60MR. Este CLP possui 36 entradas e 24 saídas de sinais analógicas. A Figura 6 ilustra o CLP utilizado no processo de automação apresentado neste trabalho.

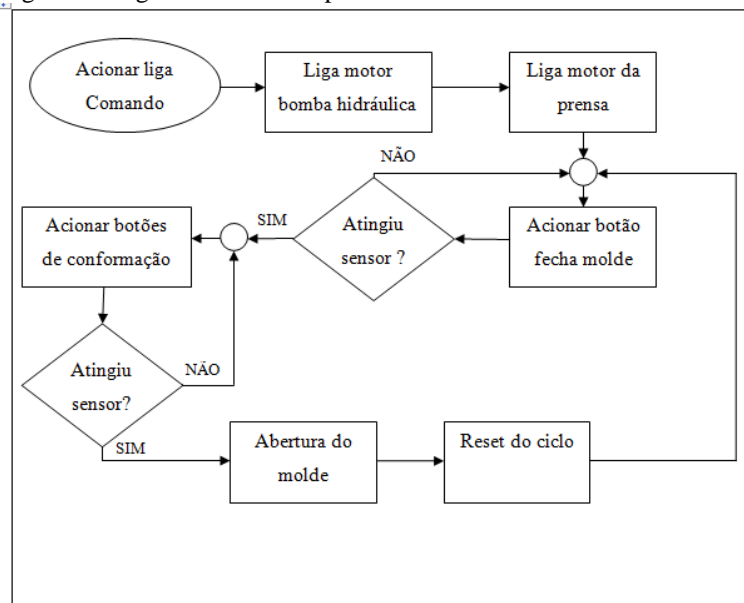
Figura 6: CLP Utilizado na Automação



Fonte: Elaborado pelo autor

Mais especificadamente, nele está implementado o algoritmo o qual controla a prensa. A Figura 7 ilustra um diagrama em blocos da prensa automatizada neste trabalho.

Figura 7: diagrama em blocos prensa excêntrica mecânica automatizada



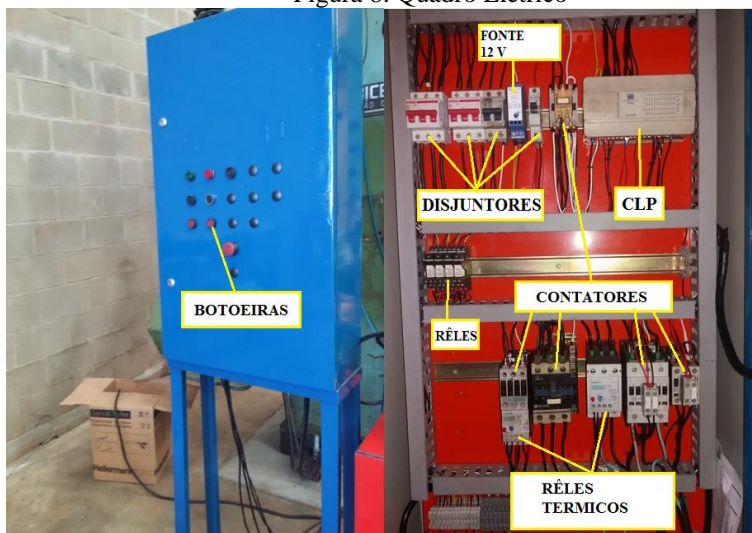
Fonte: Elaborado pelo autor

Para executar a operação deve ligar o comando, ligar o motor da prensa e o motor da bomba hidráulica, após o tempo do ciclo do acionamento dos motores, está disponível para o trabalho.

Foi implementado um painel de comando da operação contendo dois botões de acionamento e um de parada de emergência, acionando o botão do lado direito fecha-se a ferramenta, para acionar a prensagem deve pressionar os dois botão simultâneos como estabelece na NR12, assim inicia seu ciclo automático (conformação do cubo e em seguida abertura do molde para a retirada da peça conformada), caso seja necessário abrir o molde após ser fechado basta pressionar e segurar o botão do lado esquerdo.

O CLP, bem como os periféricos utilizados na automação, tais como sensores, contadores, relês, fusíveis e disjuntores foram acomodados em um painel auto-portante do tipo armário de comando e controle de baixa tensão. A Figura 8 ilustra o painel utilizado na automação da prensa excêntrica.

Figura 8: Quadro Elétrico



Fonte: Elaborado pelo autor

Os componentes utilizados no processo de automação os quais estão acomodados no quadro ilustrado pela Figura 8 são listados a seguir:

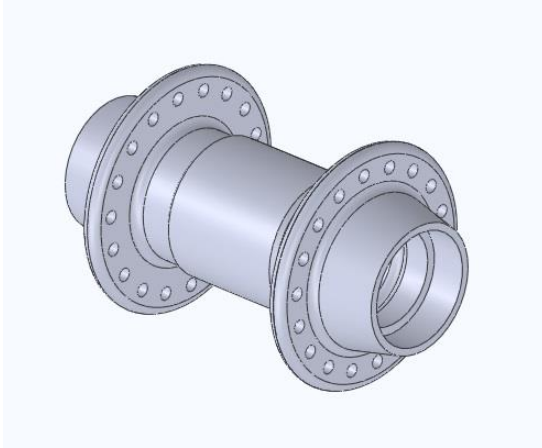
- Disjuntor trifásico 60 ampers para proteção do motor da prensa
- Disjuntor trifásico 50 ampers para proteção do motor da bomba hidráulica
- Disjuntor bifásico 10 ampers para proteção de comando
- Disjuntor monofásico 6 ampers para proteção 24 voltes
- Rêles para fazer a pilotagem das válvulas
- Contadores
- Reles térmico
- Botoeiras
- CLP

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise do processo

Um dos objetivos da automação é ter um padrão satisfatório nas medidas do cubo, a Figura 9, representa o cubo dianteiro através de um desenho, elaborado no programa SolidWorks.

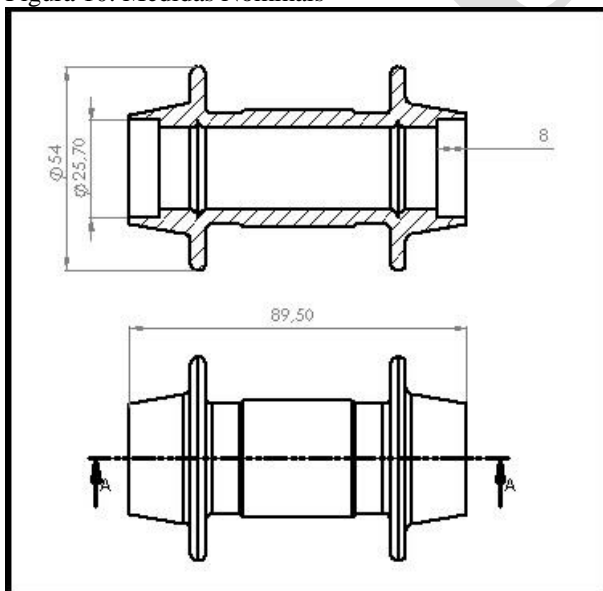
Figura 9: Desenho do Cubo Dianteiro, Elaborado no SolidWorks



Fonte: Elaborado pelo autor

As medidas nominais para fabricação do cubo são, comprimento (89,5 mm), profundidade do assentamento do rolamento (8 mm), diâmetro do assentamento (25,7 mm) e diâmetro do rolamento (54 mm). A Figura 10, representa as medidas nominais, tais medidas é de fundamental importante para passar para a próxima etapa do processo.

Figura 10: Medidas Nominiais



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 1 constam de forma resumida as medidas nominais utilizadas para parametrizar o processo de fabricação dos cubos.

Tabela 1: Medidas Nominais

Comprimento do cubo(mm)	Profundidade do assentamento do rolamento (mm)	Diâmetro do assentamento (mm)	Diâmetro do flange (mm)
89,5	8	Ø25,7	Ø54

Fonte: Elaborado pelo autor

Para validar o processo de automação realizado na prensa excêntrica mecânica foram analisados cinco cubos fabricados antes e depois da automação. A escolha dos cubos foi de forma sequencial durante a produção.

A tabela 2 apresenta um resumo das medidas obtidas nos cubos antes do processo de automação.

Tabela 2: Medidas Extraídas Antes da Automação

Teste	Comprimento do cubo (mm)	Profundidade do assentamento do rolamento (mm)	Diâmetro do assentamento (mm)	Diâmetro do flange (mm)
1° cubo	88,7	8,1	Ø25,8	Ø57,1
2° cubo	88,5	8	Ø25,8	Ø54,6
3° cubo	89,0	8,3	Ø25,8	Ø58,0
4° cubo	87,9	8,1	Ø25,8	Ø55,3
5° cubo	89,3	8	Ø25,8	Ø54,4
Media do desvio padrão	0,42	0,08	0	1,62

Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados obtidos nos cinco cubos antes a automação da prensa excêntrica mecânica foram:

- No cubo 1 foram obtidos um comprimento de 88,7 milímetro, uma profundidade de 8,1 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 57,1 milímetro.
- No cubo 2 foram obtidos um comprimento de 88,5 milímetro, uma profundidade de 8 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 54,6 milímetro.

- No cubo 3 foram obtidos um comprimento de 89,0 milímetro, uma profundidade de 8,3 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 58,0 milímetro.
- No cubo 4 foram obtidos um comprimento de 87,9 milímetro, uma profundidade de 8 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 55,3 milímetro.
- No cubo 5 foram obtidos um comprimento de 89,3 milímetro, uma profundidade de 8 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 54,4 milímetro.

A tabela 3 apresenta um resumo das medidas obtidas em cinco cubos após a automação da prensa excêntrica mecânica .

Tabela 3: Medidas Extraídas Após a Automação

Teste	Comprimento do cubo (mm)	Profundidade do assentamento do rolamento (mm)	Diâmetro do assentamento (mm)	Diâmetro do flange (mm)
1º cubo	89,4	8,1	Ø25,8	Ø54,1
2º cubo	89,7	8	Ø25,8	Ø55
3º cubo	89,3	8,1	Ø25,8	Ø54,8
4º cubo	89,5	8	Ø25,8	Ø54,4
5º cubo	89,4	8,2	Ø25,8	Ø54,7
Media do desvio padrão	0,12	0,08	0	0,6

Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados obtidos nos cinco cubos após a automação da prensa excêntrica mecânica foram:

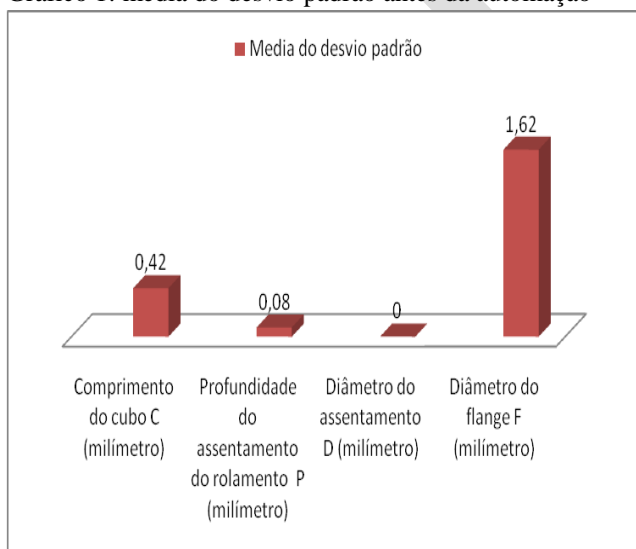
- No cubo 1 foram obtidos um comprimento de 89,4 milímetro, uma profundidade de 8,1 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 54,1 milímetro.
- No cubo 2 foram obtidos um comprimento de 89,7 milímetro, uma profundidade de 8 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 55 milímetro.

- No cubo 3 foram obtidos um comprimento de 89,3 milímetro, uma profundidade de 8,1 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 54,8 milímetro.
- No cubo 4 foram obtidos um comprimento de 89,5 milímetro, uma profundidade de 8 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 54,4 milímetro.
- No cubo 5 foram obtidos um comprimento de 89,4 milímetro, uma profundidade de 8,2 milímetro, diâmetro do assentamento de 25,8 milímetro e no diâmetro do flange de 54,7 milímetro.

4.2 Análise de qualidade

Conforme podemos observar nos resultados obtidos mostrado na tabela 2 e tabela 3, fica evidente a melhoria na qualidade após a automação, pois a mesma possui pouca variação, comparada com a antes da automação. Podemos observar esses resultados nos gráficos a seguir. O gráfico 1 mostra a média do desvio padrão antes da automação.

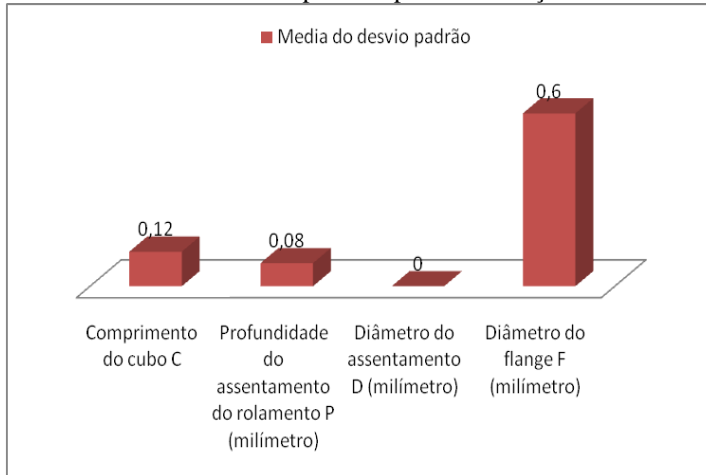
Gráfico 1: média do desvio padrão antes da automação



Fonte : Elaborada pelo autor

O gráfico 2 mostra a média dos desvios padrões dos cubos após a automação.

Gráfico 2: media do desvio padrão após a automação



Fonte: Elaborada pelo autor

De acordo com os resultados obteve uma redução significativa na variação após a automação, a media do desvio padrão do comprimento do cubo caiu de 0,42 mm para 0,12 mm e o diâmetro do flange caiu de 1,62 mm para 0,6.

4.3 Análise da segurança

Foi implementado o sistema de segurança com acionamento bimanual, para manter as mãos do operador fora da zona de perigo, seguindo os requisitos da norma regulamentadora 12.26, onde diz que “deve ser gerado somente quando os dois dispositivos de atuação do comando forem atuados com um retardo de tempo menor ou igual a 0,5s” (SEGURANÇA, 2013), dessa maneira reduz a possibilidade de um acidente durante a operação.

5 CONCLUSÃO

As empresas vêm buscando novas formas de aperfeiçoar o processo produtivo de forma que aperfeiçoem o custo de seus produtos. O trabalho contribui demonstrando uma opção para otimização dos custos do produto, reduzindo os desperdícios de matéria prima, aumentando a qualidade do produto e proporcionando segurança ao operador, através de um processo de automação de uma prensa excêntrica mecânica que molda cubos para bicicleta por meio de um controlador lógico programável. Por meio da automação objetivou-se melhorar as condições do processo de fabricação, bem como a segurança dos operadores da prensa.

Após a automação da prensa percebeu-se que os resultados de fabricação melhoraram de forma significativa. Já no quesito segurança vários dispositivos de proteção tal como o sistema de acionamento bimanual que garante que as duas mãos do operador fiquem fora da zona de perigo, proporcionando uma operação fácil e com segurança.

Conforme os resultados obtidos relacionado as medidas do produto, ouve uma redução das oscilação das medidas do produto, assim aumento a qualidade do produto e conseqüentemente a satisfação dos clientes.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para pesquisas futuras:

- Magazine com alimentação de tubos automática

REFERÊNCIAS

CONTROLE E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. Disponível em: <http://controleeautomacaointustrial3.blogspot.com.br/> Acessado em: 17 de out. 2016

CORTE E CONFORMAÇÃO De metais. São Paulo: Aranda editora, v.8,n.89, set. 2012

FRANCO, Antonio Geraldo Juliano. **Conformação de elementos de máquina**. São Paulo: F. Provenza, 1993.

MAQNELE MÁQUINAS E REFORMAS. Disponível em: <http://www.maqleme.com.br/reformas.php> Acessado em: 23 nov. 2015.

NORMA REGULAMENTADORA NR12. Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos: anexo VIII prensas e similares. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR12/NR-12AnexoVIII.pdf> Acesso em: maio de 2016.

SEGURANÇA e medicina do trabalho: normas regulamentadoras - NRs 1 a 35 - constituição federal (excertos) e CLT - legislação complementar. 4. ed., rev. ampl. atual. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2013.

SILVEIRA, Paulo Rogério da. **Automação e controle discreto**. 8. ed. São Paulo: Érica, 2007.

THOMAZINI, Daniel. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações** / Daniel Thomazini, Pedro Urbano Braga de Albuquerque. São Paulo: Érica, 2010

WEG Disponível em: <http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/CLPs-e-Controle-de-Processos/CLIC02> Acessado em: 23 nov. 2015

CAPÍTULO II - REUTILIZAÇÃO DE ÓLEO DE CORTE: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE USINAGEM

< CARLOS FERNANDO CILLI FIORATTE >¹

< ADRIANA GISELI LEITE CARVALHO >²

< MARCOS BERNARDO DE LIMA >³

Resumo: A produção industrial, nos mais diversos segmentos, enfrenta desafios permanentes para repensar seus processos internos e adquirir maior competitividade. O grande paradigma está centrado no aumento de sua capacidade de produção, ao mesmo tempo em que reduz a utilização de recursos e sua pegada ecológica. Cresce a preocupação com o meio ambiente e a fiscalização da responsabilidade ambiental das empresas, estimulando a busca por soluções viáveis para diminuir resíduos poluentes e minimizar custos. Presente na maioria dos processos de usinagem, o óleo refrigerante tornou-se um dos principais problemas de empresas metalúrgicas que, além de seu custo de aquisição, somam-se despesas para seu descarte correto, de acordo com normas vigentes. Este estudo apresenta o processo de reutilização de óleo refrigerante pela centrifugação dos cavacos resultantes da usinagem, como alternativa para minimizar a utilização de insumos poluentes e redução de custos. A metodologia aplicada consiste em fundamentação teórica com base em pesquisas em literaturas e estudo de caso em uma empresa metalúrgica da região norte do Paraná. Os resultados obtidos demonstram que os cavacos que antes, eram descartados contaminados com óleo refrigerante, após a inserção da centrífuga no processo de produção, os mesmos são limpos e o óleo totalmente reutilizado.

Palavras-chave: Fluido de Corte. Centrífuga de Cavacos. Custo do Processo.

Abstract: Industrial production, in the most diverse segments, faces permanent challenges to rethink its internal processes and become more

¹Graduação – Tecnólogo em Fabricação Mecânica, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: carlosfioratte@hotmail.com.

² Mestranda em Engenharia Mecânica – Docente da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: adriana.carvalho@pr.senai.br.

³ Mestre em Tecnologia – Docente da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: marcos.lima@mafiep.org.br.

competitive. The great paradigm is centered on increasing its production capacity, while reducing the use of resources and its ecological footprint. There is growing concern about the environment and the monitoring of environmental responsibility of companies, stimulating the search for viable solutions to reduce polluting waste and minimize costs. Present in most of the machining processes, the refrigerant oil has become one of the main problems of metallurgical companies that, in addition to its cost of acquisition, add expenses for its correct disposal, according to current norms. This study presents the process of reuse of refrigerant oil by the centrifugation of the chips resulting from the machining, as an alternative to minimize the use of polluting inputs and reduce costs. The applied methodology consists of theoretical foundation based on literature research and case study in a metallurgical company of the northern region of Paraná. The results show that the chips that were previously discarded contaminated with refrigerant oil after insertion of the centrifuge into the production process are cleaned and the oil completely reused.

Keywords: Cutting Fluid. Centrifuge of Chips. Cost of the Process.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com as questões ambientais e sua importância para o futuro e segurança das sociedades, coloca em foco a responsabilidade ambiental de pessoas, empresas e até mesmo, de países. Atitudes e procedimentos passaram a ser repensados, levando ao entendimento de que aspectos ambientais não possuem fronteiras no mundo atual, incentivando a formação de uma maior consciência coletiva a respeito da necessidade de conter impactos ambientais negativos.

Manufaturas do setor metal mecânico podem exemplificar a busca por novas soluções para minimizar ou eliminar problemas ambientais, as quais podem ser fundamentais para sua competitividade e permanência no mercado. Soluções de menor custo e maior eficácia são pesquisadas para minimizar a pegada ecológica, como a emissão de poluentes.

Entre os vários processos de fabricação mecânica, muitos produtos são usinados durante a etapa de desbaste ou de acabamento das peças. Para obter uma melhor produtividade, muitas vezes faz-se necessário a utilização do fluido de corte, que tem por objetivo “aumentar a vida da ferramenta, minimizar a geração de calor durante o processo, auxiliar na remoção de cavacos e melhorar a eficiência do sistema produtivo” (GONÇALVES, 2013,

p. 25). Seu uso acelera o sistema produtivo, aumentando aquilo que é o principal objetivo das empresas: a lucratividade. Por outro lado, fluidos de corte passaram a chamar atenção pelos danos causados aos operadores de máquinas e ao meio ambiente, desencadeando a criação de novas normas e regras para sua utilização e descarte. Práticas recorrentes de descarte irregular passaram a ser inaceitáveis (SANTOS, 2007).

Segundo Machado e Silva (1999), a usinagem transforma em cavaco um volume aproximado de 10% de toda a produção de metais. O descarte desse material, juntamente com o óleo refrigerante, pode causar danos irreparáveis ao ambiente. Sua composição pode conter entre outros elementos químicos nocivos: cloro, enxofre, antioxidantes, biocidas, dióxido de carbono, entre outros.

Este é o cenário encontrado em uma empresa metalúrgica da região norte do Paraná, onde se realiza essa pesquisa. Objetiva-se pesquisar a viabilidade de reduzir custos de usinagem provenientes da utilização de óleo refrigerante mineral, por meio de sua reutilização, utilizando-se uma centrifugação de cavacos e reduzir o volume a ser descartado na natureza. Serão levantados dados do volume de óleo reutilizado, dos tempos necessários para centrifugar os cavacos e a economia financeira prevista pela empresa no período de 1 ano. Ficará também evidenciada, a redução do descarte deste fluido com a utilização deste processo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fluido de corte

Fluido de corte pode ser entendido como líquidos e gases aplicados diretamente e simultaneamente em uma ferramenta de corte e na peça que está sofrendo o processo de usinagem, com o objetivo de facilitar o processo de corte. Suas principais funções são lubrificação e refrigeração durante o processo, visando reduzir o atrito entre a ferramenta e a peça e reduzindo o calor na operação. Segundo Dhar et al. (2007), apesar das vantagens tecnológicas que os fluidos de corte promovem, ultimamente vêm sendo questionados os efeitos negativos que eles causam, ou seja, além das agressões ambientais, também problemas relacionados à saúde do trabalhador.

Diniz (2013) afirma que o uso do fluido de corte foi introduzido por F.W.Taylor em 1980, quando utilizou água para resfriar a ferramenta. Depois, adicionou sabão para evitar a oxidação da peça e/ou da ferramenta.

Desde então, este insumo passou a ser essencial, pois possui características lubrificantes para os elementos da máquina e liberação dos cavacos da área da usinagem. Outras características decorrentes de seu uso são: ser um fluido anticorrosivo da própria máquina e também proporcionar peças com excelentes tolerâncias geométricas, devido a essa minimização da geração de calor na usinagem. Para Gonçalves (2013, p. 38):

O fluido de corte é um insumo ao processo de usinagem, que auxilia a ferramenta de corte a remover um maior volume de material, sem colocar a vida útil da ferramenta em risco. Para que o fluido possa realizar esta função é preciso de desempenho três funções principais:

Refrigeração, lubrificação e limpeza da região de corte.

O uso incorreto do fluido de corte pode gerar problemas, que vão desde a redução de sua vida útil e seu descarte prematuro. O contato do fluido com o operário pode ser direto ou através de vapores, névoa ou subprodutos formados durante a usinagem, podem causar problemas de pele, câncer, ou doenças pulmonares. A exposição a fluido contaminado com fungos e bactérias, devido à falta de inspeção e cuidado com o mesmo durante as operações, pode até mesmo prejudicar a saúde do trabalhador. Gonçalves (2010) e Souza (2011) indicam medidas preventivas como uso de cremes protetores e a adoção de EPIs adequados, os quais podem minimizar ou eliminar o risco de contaminação do operador.

Visando obter um menor impacto à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente, os usuários de fluido de corte devem estar atentos aos cuidados de sua utilização e descarte, seguindo criteriosamente as instruções fornecidas pelos fabricantes e órgãos ambientais, a fim de evitar ao máximo a ocorrência de problemas de saúde e ambientais.

2.2 Cavaco

Segundo o Centro de Formação Metal Mecânico (2016), cavaco é o excesso de material removido necessariamente durante um processo de usinagem para dar a geometria ideal a uma peça ou objeto. Para um melhor entendimento, podemos fazer uma analogia para um ato de apontar um lápis,

onde o lápis é um tarugo. A lâmina do apontador é a ferramenta de corte e o material removido é o cavaco. As etapas de formação do cavaco se definem como:

- Recalque do material contra a face da ferramenta;
- Deformação plástica do material no ponto de cisalhamento;
- Ruptura parcial ou completa no ponto de cisalhamento;
- Escorregamento do material cisalhado através da ferramenta de corte.

As características do cavaco, quanto a sua forma, irão depender de parâmetros de usinagem, qualidade de ferramentas e do próprio material usinado. Como padrão adotado, têm-se duas formas principais: contínuo (fita) ou quebradiço (figura 1).

Figura: 1



Fonte: Autor (2016).

2.3 Centrífuga de cavacos

Baseando-se em informações da empresa GV Máquinas (2016), fabricante de centrífuga de cavacos, entende-se que é uma máquina industrial cuja principal função é a secagem de peças e a separação de líquidos oleosos de cavacos oriundos do processo de usinagem. Permite assim, a limpeza de cavacos, a finalização de peças a serem entregues limpas para o cliente e possibilita a reutilização do óleo separado neste processo. Podemos entendê-la como um recipiente fixado ao chão com pés providos de coxins, que reduzem a vibração oriunda do cesto giratório, onde o cavaco é depositado para a eliminação dos líquidos oleosos. Utiliza uma resistência elétrica para

afinar os fluidos existentes, facilitando seu escoamento para um compartimento de armazenamento. As características de uma centrífuga de cavacos variam de acordo com seu modelo, capacidade de centrifugação e comando eletrônico, o qual ajusta o tempo de serviço e desliga automaticamente a máquina. A figura 2 mostra um exemplo de centrífuga de cavacos.

Figura 2: Centrífuga de Cavaco



Fonte: GV Máquinas (2016)¹

A partir de informações do mesmo autor, é possível analisar as dimensões de seu custo. A aquisição de um equipamento de cavacos está avaliada entre R\$ 5.000,00 a R\$ 10.000,00. O espaço ocupado pela varia entre 2 a 3 m² e o tempo dedicado de um funcionário no processo, que pode chegar até três horas diárias, dependendo dos serviços a serem executados. O consumo elétrico equivale ao consumo de um chuveiro elétrico.

Uma opção para minimizar investimentos e custos decorrentes do equipamento foi adotada na empresa, onde esse estudo de caso foi realizado. Segundo informações levantadas por essa pesquisa, a mesma optou por fabricar sua própria máquina. O custo estimado de aquisição passou de R\$ 7.000,00 para cerca de R\$ 3.000,00. Independente do valor inicialmente investido deve-se considerar o potencial de vantagens decorrentes deste processo, seja a nível econômico quanto ambiental.

¹Disponível em: <[http://www.gvmaquinas.com.br/default.aspx? pagina=centrifuga](http://www.gvmaquinas.com.br/default.aspx?pagina=centrifuga)>. Acesso em: 13 out 2016.

2.4 Sustentabilidade e produção mais limpa

Segundo Barros (2016), o conceito de sustentabilidade está relacionado a uma atitude ou estratégia ecologicamente correta, ou seja, que promova desenvolvimento econômico e preserve o meio ambiente. Este processo inclui desde a separação de lixo reciclável, diminuição do consumo elétrico e de água, até a implantação de um sistema complexo de tratamento de resíduos em uma grande indústria. Abrange a utilização de todas as ferramentas possíveis a favor do meio ambiente.

O mesmo autor comenta que devido à grandes catástrofes ambientais e acidentes ecológicos ocorridos nos últimos tempos, a população em geral está mais atenta às questões ambientais, pressionando mudanças em empresas de todos os setores, na busca por produtos e serviços mais ecológicos. Um produto que respeita o meio ambiente torna-se um candidato imbatível perante a concorrência. Não basta ser somente ecologicamente correto, para ser considerado sustentável, um empreendimento deve ainda conter atitudes que visem serem socialmente justos culturalmente aceitos e economicamente viáveis.

Outro fator que coloca à prova a eficiência dos modelos de negócios, sujeitando-os à reconsiderações, é a constante mudança tecnológica. Para Valle (2002), o desenvolvimento sustentável passa a ser um fator reorientador das ações, reconhecendo a importância do uso de tecnologias para conservar os recursos disponíveis e permitir sua renovação, de acordo com as demandas das futuras gerações. Atividades industriais utilizam recursos naturais em seus processos produtivos, estes recursos podem ser renováveis quando são repostos de forma natural e em tempo hábil. São considerados não renováveis quando são extraídos com velocidade maior do que são repostos.

Produção Mais Limpa (PML) é um modelo de gestão que foi criado com objetivo de ser um instrumento para conceitos e objetivos do desenvolvimento sustentável, ou seja, uma integração entre as atividades humanas com a natureza. Por um lado, a poluição ambiental é considerada uma ineficiência dos processos, por outro lado, conceito de produção mais limpa tem confirmado várias vantagens ambientais e econômicas. Barbieri (2011) afirma que a “Produção mais Limpa (Cleaner Production) é um modelo baseado na abordagem preventiva aplicada aos processos, produtos e serviços para minimizar os impactos sobre o meio ambiente”.

De acordo com Peneda (1995), a PML refere-se a uma nova filosofia e mentalidade de encarar a produção de bens e prestação de serviços, de

forma a evitar a degradação do ambiente, prevenindo ou gerando, no contexto dos atuais limites, tecnológico e econômico, o menor impacto ambiental possível. Este sistema de gestão agrega uma série de vantagens para empresas, que vão desde o desenvolvimento de estratégias de longo prazo para sua competitividade futura, diante das restrições ambientais. A responsabilidade ambiental vem como uma oportunidade, mesmo diante de custos adicionais. A reorganização dos processos produtivos e uma melhor definição do produto final irão refletir na redução da poluição e dos custos industriais. Dessa forma será possível reduzir custos hoje, para evitar custos previsíveis futuros.

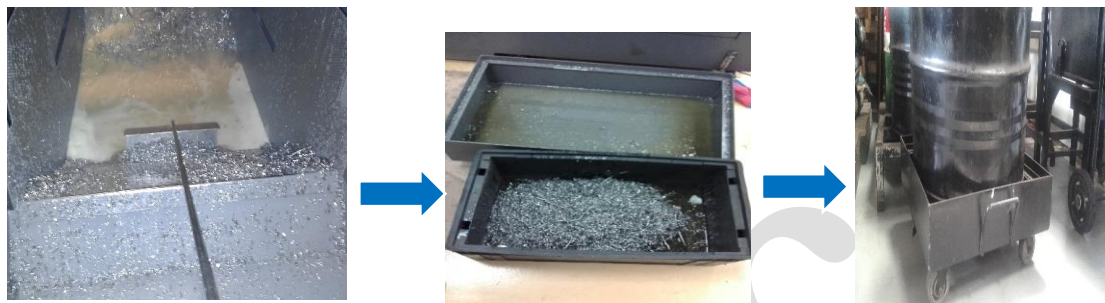
O processo de centrifugação de cavacos também pode ser incluído no conceito de produção mais limpa, reduzindo o impacto ambiental dos rejeitos do processo ao separar fluidos e cavacos, possibilitando a reutilização do fluido e um descarte não contaminado dos cavacos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Levantaram-se dados do estudo de caso em uma empresa de usinagem de produção, com sede em Londrina-Pr. Seu processo produtivo utiliza o aço inox 304, um rejeito de alto valor, devido a sua alta resistência à oxidação atmosférica, inúmeras aplicações e facilidade de reciclagem. Como insumo para usinagem, utiliza óleo refrigerante do tipo mineral integral e anular, resultando em cavacos misturados aos fluidos.

Uma das iniciativas da empresa para reduzir o consumo dos fluidos estabeleceu um procedimento de tratamento do óleo e cavacos descartados. O processo inicial consistia da retirada dos cavacos e fluidos da máquina, com o auxílio de uma pá metálica, permitindo que o excesso de óleo escorresse. Na segunda etapa, os cavacos são acondicionados em uma caixa plástica e posteriormente despejados em tambores vazados que permitem escorrer lentamente os fluidos ainda existentes (Figura 3). Por último, os cavacos são separados por tipo de material, para serem vendidos para empresas especializadas em reciclagem.

Figura 3: Etapas do Processo de Redução de fluidos em cavacos



Fonte: Autor (2016).

Tendo como base o processo anterior, esse estudo acompanhou o processo de utilização de uma centrífuga de cavacos e levantou os resultados do mesmo. Os recursos utilizados no desenvolvimento deste estudo consistiram de:

- Cavacos de aço inox 304;
- Óleo de corte Castrol Ilocut 482;
- Pá metálica para remoção de cavacos da máquina;
- Caixa plástica para pesagem e transferência de materiais;
- Centrífuga para cavacos, desenvolvida pela empresa (Figura 4).

Figura 4: Centrífuga de Cavacos

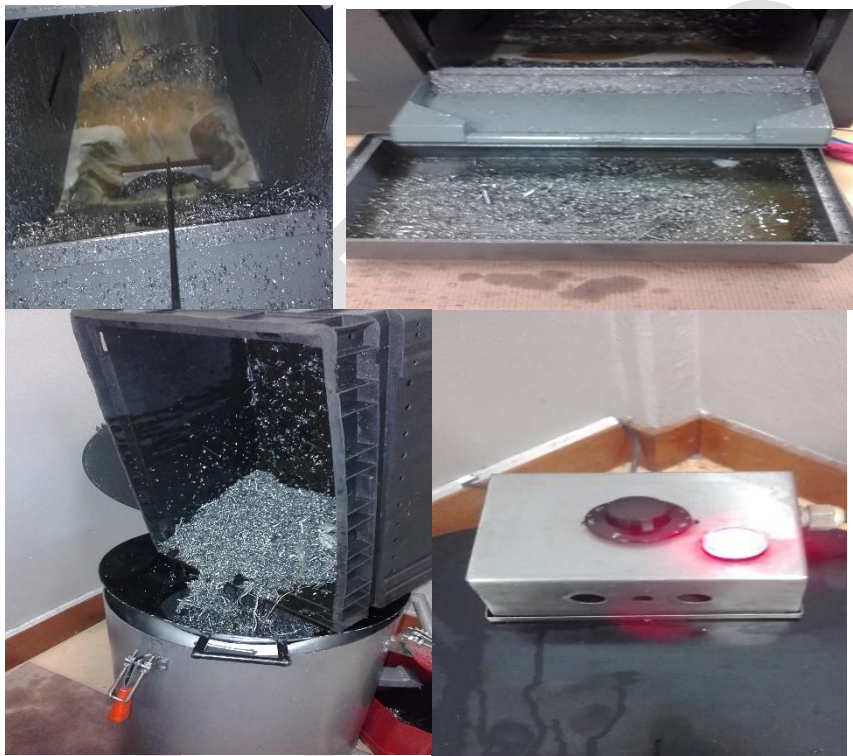


Fonte: Autor (2016).

Características:	
Motor:	1.5 cv
Resistência de Aquecimento	1500 w
Diâmetro externo da máquina	600 mm
Altura da máquina	700 mm
Medidas do cesto	250 Ø x 200 mm alt
Capacidade máxima	30 kg
Comando	Por Botoeira

A utilização da centrífuga de cavacos foi incorporada ao processo de separação dos fluidos do aço inox 304, consistindo das seguintes etapas (Figura 5). Retiram-se os cavacos da máquina com auxílio de uma pá metálica (a) deposita-se os resíduos na caixa com rodinhas para ser levado à centrífuga (b). Utiliza-se um funil para despejar o cavaco no cesto rotativo da centrífuga (c). Aciona-se a centrifugação por 10 minutos (d).

Figura 5: Processo de Centrifugação de Cavacos de Inox 304



Fonte: Autor (2016).

O processo pós-centrifugação (Figura 6), consiste do resfriamento dos cavacos por 2 minutos, com a máquina aberta (e); seguida da retirada em caixa plástica padrão e armazenamento do cavacos (f); prensagem em prensa hidráulica para reduzir o volume dos cavacos (g); a partir do qual apresentam forma achatada para comercialização (h).

Figura 6. Processo pós-centrifugação



Fonte: Autor (2016).

A partir do processo exposto, adotou-se como procedimentos para aferir a quantidade de fluidos a ser retirada dos cavacos, realizar a pesagem da caixa padrão e das etapas consecutivas do processo.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Tendo como objetivo levantar a quantidade de óleo reutilizável pelo processo de centrifugação, realizou-se o transporte do cavaco do aço inox 304 encharcado da máquina para um caixote com rodinhas, de uso exclusivo para o processo de centrifugação. Depois, com auxílio de uma pá metálica, que permite o escoamento dos fluidos, os resíduos foram acondicionados em uma caixa plástica padrão, com peso aferido de 4,38 kg. A caixa foi levada novamente à balança, totalizando 12,44 kg de cavacos contaminados. A figura 7 representa o as etapas seguintes: Despejou-se na centrífuga todo o conteúdo de cavaco contaminado (i); Centrifugou-se por 10 minutos (j); Após o tempo de resfriamento de dois minutos, o cavaco foi despejado novamente na caixa plástica limpa (k); Após nova pesagem, foi registrado 9,68 kg, apontando uma diferença de peso entre pesagens de 2,76 kg (l).

Figura 7. Aferição do desempenho da centrífuga



Fonte: Autor (2016).

Considerando que ocorre perda, tanto de óleo quanto de cavacos no processo de transferência entre a caixa – centrífuga e vice-versa, este estudo leva em consideração ser viável reincorporar 2 kg de fluidos resultantes do processo. Levando em consideração a densidade de 0,885 kg/L, obtem-se cerca de 2,26 litros. Na figura 8 são apresentados dados levantados e previstos pela pesquisa.

Figura 8: Reaproveitamento em quantidade

TARA CAIXA PLÁSTICA (kg)	4,38 kg
CAVACO CONTAMINADO (kg)	12,44 Kg
CAVACO CENTRIFUGADO (kg)	9,68 Kg
QTDE ÓLEO REAPROVEITADO (kg)	2,76 Kg
QTDE ÓLEO CONSIDERADA PARA ESTUDO (kg)	2 Kg
QTDE DE ÓLEO REAPROVEITADO EM LITROS	2,26 L
Nº DE LIMPEZAS DIÁRIA MÁQUINA	1
QTDE DE ÓLEO REAPROVEITADO POR DIA	2,26 L
QTDE DE ÓLEO REAPROVEITADO POR MÊS (22 DIAS)	49,72 L
QTDE DE ÓLEO REAPROVEITADO EM 12 MESES	596,64 L

Fonte: Autor (2016).

A redução de custos prevista com o processo, levando em consideração o preço de compra do óleo pela empresa estudada (Figura 9):

Figura 9. Economia de Óleo de Corte

PREÇO GALÃO 200 L ÓLEO ILOCUT 482	R\$ 2.800,00
ECONOMIA DIÁRIA	R\$ 31,64
ECONOMIA MENSAL	R\$ 598,08
ECONOMIA ANUAL	R\$ 8.352,96

Fonte: Autor (2016).

Estes foram cálculos baseados em uma amostragem, não podendo ser tratados como números reais deste processo de fabricação, pois seria necessário levar em conta diverso outros fatores como: quantidade de peças usinadas por ano, número de manutenções na máquina, retrabalhos, vazamentos tanto na máquina (Torno), quanto na própria centrífuga, entre outros. Porém, não deixa de evidenciar a eficiência do sistema, comprovando a possibilidade de reutilização de uma quantidade significativa de óleo, permitindo a geração de uma importante economia importante para a empresa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após analisar todos os pontos deste trabalho, conclui-se que é possível utilizar tecnologias simples e disponíveis no mercado, ou mesmo criar novas tecnologias, para se obter maior lucratividade nos processos de fabricação. A economia na compra de insumos exemplificada pelo fluído de corte, gera um menor impacto ambiental, reduzindo a captação de recursos da

natureza e seu respectivo descarte. Esse entendimento demonstra que novos conceitos e posturas de entendimento são imprescindíveis para produzir de forma mais limpa e respeitosa ao meio que vivemos. Esse estudo procura coloca em evidência a possibilidade de pesquisas futuras investigarem processos automáticos de centrifugação de cavacos e de equipamentos para briquetagem. Empresas que compõem a cadeia produtiva precisam estar voltadas para ações e comportamentos sustentáveis, buscando a reformulação de seus modelos de gestão, na busca por vantagens competitivas e alinhadas às dinâmicas do mercado.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, Modelos e Instrumentos**. Editora Saraiva, 3ª Edição. São Paulo 2011.

BARROS, Jussara de. **Sustentabilidade**. Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/educacao/sustentabilidade.htm>>. Acesso em 05 de dezembro de 2016.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. Estudo do Cavaco. Disponível em: <www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3632-estudo-do-cavaco#.WCzmMbIrKM8>
Acesso em: 10 de nov. 2016.

DINIZ, Anselmo Eduardo. MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemes. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo, 2013.

DHAR, N.R.; AHMED, M.T.; ISLAM, S. **An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel**. International Journal of Machine Tools & Manufacture, n. 47, p. 748-753, 2007.

GONÇALVES, Bruno Bastos; YAGINUMA, Gabriel Fernando; YAMAMOTO, Marcelo Kazuo. **Óleos de usinagem: tipos, classificação e desempenho**. Universidade Estadual Paulista, 2010, 13p. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_18.pdf> Acesso em: 30 /11/ 2015.

GONÇALVES, Janaina Fracaro Souza. **Proposição de Método de Desenvolvimento de Fluido de Corte de Base Vegetal**. 2013. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, área de Mecânica dos Sólidos e Estruturas – Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA. São José dos Campos - SP.

GV Máquinas. Disponível em: <http://www.gvmaquinas.com.br/default.aspx?_pagina=centrifuga>. Acesso em: 13 out 2016.

MACHADO, Álisson Rocha; SILVA, Márcio Bassi da. **Usinagem dos metais**. 4 ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1999. 224 p.

PENEDA, C.; FRAZÃO, R. **ECODESIGN no desenvolvimento de produtos**, Lisboa, INETI-ITA, 1995.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental: ISO 14 000**. São Paulo: SENA

CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO DE MATRIZ POLIMÉRICA COM REFORÇO DE FIBRA DE VIDRO: ANÁLISE DO PROCESSO DE FURAÇÃO DE PLACAS ISOLANTES

<IVAN MAGRE>¹
<ADRIANA GISELI LEITE CARVALHO>²
<ANTONIO CARLOS RODRIGUES>³

Resumo: especificamente sobre matriz polimérica com reforço de fibra de vidro, no formato de placas laminadas e as características em seu processo de perfuração com brocas. O objetivo do estudo é executar diversos furos em uma placa de fibra de vidro, anotando o tempo gasto durante o processo e registrando aspectos de acabamento dos furos e ocorrência de danificação da placa isolante e também da broca de aço-rápido, através de imagens fotográficas comuns. A metodologia aplicada consiste em construir um corpo de prova em placa de fibra de vidro comercial, utilizada para serviços industriais e executar nesta placa uma sequência de furos com uma broca de aço-rápido. Os resultados obtidos demonstram que embora a obtenção de brocas de aço-rápido seja fácil e de baixo custo, a sua aplicação em processos produtivos precisa ser repensada para o uso de ferramentas obsoletas e que é necessário modernizar tanto quanto possível a aplicação de ferramentas de usinagem com melhor nível tecnológico, sob o risco de se perder produtividade e lucratividade nos processos de fabricação.

Palavras-chave: Usinagem. Compósito. Fibra de Vidro.

Abstract: This study presents the general characteristics of composite materials, more specifically about polymeric matrix with glass fiber reinforcement, where the commercial format investigated was in fiberglass laminated plates and the implications in its process of machining by drills. The objective of the study is to drill several holes in a fiberglass board, noting the time spent during the process and recording aspects of finishing of the holes and occurrence of damage of the insulation board and also of the

¹ Graduação – Tecnólogo em Fabricação Mecânica, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: ivan.magre@gmail.com

² Mestranda em Engenharia Mecânica – Docente da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: adriana.carvalho@pr.senai.br

³ Especialista em Engenharia da Manutenção – Docente da Faculdade de Tecnologia do Senai londrina E-mail: antonio.rodrigues1@sistemafiep.org.br

fast steel drill, through photographic images Common. The methodology used is to construct a commercially available normalized glass fiberglass test piece used for industrial services and to perform a sequence of holes with a fast steel drill using two different cutting speeds in this plate and collect The possible information, to compare with authors who performed the same type of test with modern material drills as coated metal-hard and industrial diamond. The results obtained demonstrate that although fast steel drills are easy and inexpensive, their application in productive processes needs to be rethought by breaking paradigms of obsolete tools and that it is necessary to modernize as much as possible the application of Machining with a better technological level, at the risk of losing productivity and profitability in the manufacturing processes.

Keywords: Machining. Composite. Fiberglass

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico vem resultando cada vez mais na inovação de materiais, muitos produtos modernos exigem combinações de incomuns propriedades, em que um material comum não pode atender. Ao encontro desta necessidade, os materiais compósitos permitem criar novas possibilidades de combinações para estruturas de alto desempenho. De acordo com Callister; Rethwisch (2013), as técnicas de mistura de materiais com o objetivo de se conseguir um material com propriedades melhoradas, diferentes das originais foram observadas desde o início da civilização. O advento dos compósitos como uma classe de materiais distinta deu-se na metade do século XX, com a fabricação de compósitos multifásicos deliberadamente projetados e engenheirados, tais como os polímeros reforçados com fibras de vidro. Não há limites para o desenvolvimento desta classe de materiais, utilizando-se os conhecimentos de engenharia, estas combinações podem ser desenvolvidas em diversos tipos de materiais; entre eles os polímeros, cerâmicas e metais.

Os materiais compósitos são produzidos através da mistura de fases. A combinação básica do compósito ocorre a partir de dois materiais, chamados fases. Uma dessas fases é chamada de matriz e tem a característica de ser contínua dentro do composto, e envolve o outromaterial. A outra fase básica é chamada de reforço ou dispersa. A idéia central é que o reforço esteja envolvido pela matriz, que no caso do presente estudo, é uma resina polimérica.

Normalmente são formados a partir de resinas fenólicas. São classificadas como termorrígidas e consistem em uma reação química entre o fenol, formaldeído e outros tipos de derivados, que apresentam deformações muito pequenas. Diante de tantas possibilidades, para aplicação de materiais de fricção nos quais os requisitos de aplicação envolvem desde excelente resistência mecânica, resistência a vibração e ruído, resistência térmica, o grupo dos materiais compósitos enquadram-se muito bem, visto que eles podem ser constituídos com reforços em forma de partículas e fibras curtas.

Quando se fala em fibras curtas, o valor de 1 mm serve como medida de referência. Esse valor é chamado de comprimento crítico (l_c). Segundo Callister; Rethwisch(2013), os compósitos que tem fase dispersa igual ou menor que o comprimento crítico não adquire reforço significativo com essa fase reforço. Conforme aumenta o comprimento da fibra, acima do valor crítico, o reforço do compósito se torna mais efetivo e alcança grande proporção de resistência.

Na figura 1 apresenta-se a fabricação de um tubo utilizando fibra de vidro, fibra de carbono e resina polimérica.

Figura 1 - Tubo de compósito de fibras de carbono e vidro



Disponível: www.metalmat.ufrj.br-Acessado em 09/10/2016.

Pode-se observar que é uma forma de fabricação industrial, onde há uma estrutura sobre trilho que carrega um suporte com diversos filamentos de fibra sendo aplicados em camadas alternadas e cruzadas, ao mesmo tempo em que a fase matriz polimérica é aplicada na base do tubo.

Apesar de possuir diversas vantagens de aplicação, quanto submetidos a processos de fabricação, podem ocorrer danos, sendo estes por manuseio, transporte, processos de usinagem, entre outros.

Usinagem é um processo de fabricação que remove material da peça processada. Esse material removido é chamado de cavaco, limalha ou aparas.

Furação é um processo de usinagem onde a ferramenta mais empregada para a produção de furos cilíndricos é a broca helicoidal. A execução de furos com brocas é uma operação de desbaste. Segundo Silveira (2016), após esta etapa devem ocorrer outras operações para conferir as características de acabamento final. Quando se aplica o processo de perfuração de peças em materiais compósitos, as características são muito diferentes das que ocorrem com os metais comuns. O material compósito, placa de fibra de vidro tem características muito fortes de abrasividade, que influenciam na vida útil da broca.

Este grupo de materiais permite melhorar propriedades como rigidez dielétrica, resistência mecânica, tenacidade em condições ambiente ou sob variação de temperaturas entre outras. Conforme Callister e Rethwisch (2013), com relação às propriedades físicas, uma consequência é a resistência à usinagem pela alta abrasão do compósito, tornando o processo difícil. Para exemplificar o nível de abrasividade da placa de fibra de vidro, é como se fosse usinar uma pedra de esmeril, tal é o efeito de desgaste e aquecimento que a fibra de vidro provoca nas ferramentas de corte pelo processo de usinagem.

Existe uma diferença importante a ser considerada em empresas que trabalham com usinagem: as que possuem uma estrutura operacional determinada, onde se prepara um ferramental específico para executar as operações do produto fabricado. Outras por sua vez, trabalham com manutenção e recuperação. Comumente se deparam com peças e situações diferentes, que demandam ferramentas e estratégias operacionais diversas. Isso faz com que em grande parte das vezes, não se tenha um ferramental específico, que seria mais adequado ao processo, devido a essa rotatividade de tipos de serviços executados.

Analisando pelo ponto de vista de pequenas empresas de usinagem, manutenção e recuperação; é necessário utilizar recursos de criatividade e inovação de processos fabris dedicados e passageiros, para se executar maior gama de serviços, utilizando uma quantidade menor de tipos de ferramentas. A classe de ferramentas de aço rápido é uma das mais comuns que se dispõe em pequenas oficinas de usinagem para executar a fabricação de peças em fibra de vidro.

As brocas de aço-rápido têm preço bastante acessível quando comparado com as ferramentas mais modernas. Porém, sua limitação operacional em diversos tipos de tarefas acaba por tornar os processos de usinagem improdutivos ou ineficientes.

Outra opção de executar furos em peças são as brocas de metal-duro. O custo de uma broca de metal-duro alcança um valor de 10 a 30 vezes mais alto que uma broca em aço-rápido e não é encontrada em lojas de ferramentas com tanta facilidade.

Têm-se ainda as brocas que utilizam pastilhas de metal-duro intercambiáveis que são fixadas através de parafusos em um suporte. Essa broca tem a vantagem de poder trocar as pastilhas de corte quando ocorre o desgaste das arestas. A broca com pastilhas intercambiáveis é uma ferramenta especial e só é comprada em fornecedores especializados, muitas vezes sendo fabricadas sob medida para uma tarefa produtiva. Seu valor de compra pode chegar de 50 a 150 vezes o custo de uma equivalente de aço-rápido.

Na sequência tecnológica, existem as ferramentas fabricadas em material moderno, que envolvem revestimentos superficiais em brocas de aço-rápido ou de metal-duro.

Tem brocas que utilizam pastilhas que são feitas de cerâmica e tem propriedades de corte para materiais especiais

Existem as ferramentas que utilizam pastilhas de diamante industrial. Cada classe destas tem seu valor de compra proporcional ao nível de tecnologia envolvida em sua fabricação e especificação. Essas classes de ferramentas ainda têm diversas variantes de tipos de materiais e revestimentos superficiais.

Considerando a constante evolução nas diversas áreas industriais, conforme cresce o uso dos materiais compósitos na indústria, Para Milatias (2014), crescem também os desafios que os fabricantes de máquinas e ferramentas enfrentam para usiná-los, por vários motivos, entre eles: a natureza abrasiva dos materiais constituintes, principalmente do reforço; a infinidade de possibilidades de combinações de materiais e a possível¹ anisotropia do compósito em questão.

Levando em consideração que os compósitos possuem estrutura heterogênea e são formados por fibras dispersas alinhadas ou não, e a utilização de máquinas e ferramentas convencionais utilizadas no processo de

¹ANISOTROPIA diz respeito à forma irregular da composição das fibras durante o processo de fabricação da placa de fibra de vidro. (MILATIAS, 2014).

fabricação, o presente estudo tem por objetivo fazer uma análise do processo de furação de placas de fibra de vidro. Este material é muito utilizado na isolamento de máquinas elétricas industriais e na fabricação de geradores de eletricidade, esta análise visa abranger o desempenho da vida útil da broca, melhor acabamento dos furos e melhor produtividade para esse tipo de serviço, utilizando ferramentas de aço-rápido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Materiais Compósitos

A necessidade de avançar no desenvolvimento de produtos e tecnologias exige dos pesquisadores uma busca constante de novos materiais com características cada vez mais exigentes e específicas. Nesse contexto surge cada vez mais presente a aplicação dos materiais compósitos. Para Milatias (2014), uma definição básica que é bem aceita pelos estudiosos e comumente citada, é que compósitos são materiais compostos por duas fases, sendo uma matriz e um reforço, que podem ser ambos de natureza polimérica, metálica ou cerâmica, mas não se misturando a isto o conceito das ligas metálicas, que têm um procedimento próprio já muito bem definido.

Sendo a família dos materiais compósitos diferenciada pelas propriedades físico-químicas que possuem, uma parte que influencia diretamente na possibilidade de sua fabricação em escala comercial é a usinabilidade. Segundo Milátias (2014), se os pesquisadores conseguem um produtocompósito com características excelentes relativamente às propriedades de resistência térmica e ao desgaste; mas o material é de tal forma especial, que não oferece condições que permitam sua usinagem e beneficiamento, então não haverá condições de aplicação industrial para esse material.

Por especial que seja o material e a tecnologia de compósitos, não há uma condição de contemplar todas as situações que existem envolvendo determinada aplicação. Assim sendo, uma vez conseguida a junção compósita que atenda as condições de trabalho do projeto em estudo, fica o desafio aos pesquisadores, de montarem um processo de fabricação em torno do material de engenharia desenvolvido, para que respeite as restrições de usinagem que este material apresente. Entre estas, a se destacar como principais, a condição de equilibrar a usinagem das peças sem que ocorra a degradação ou destruição das propriedades compósitas conseguidas nesta junção.

2.2 Matriz Polimérica: Termoplástica e Termofixo

De acordo com Morassi (2013), a palavra polímero é originada do grego, cujo significado é "muitas partes", (poli: muitas, mero: partes). As unidades simples foram definidas como monômeros. A junção de muitos monômeros caracteriza o polímero.

2.2.1 Termofixos (termorrígidos)

Geralmente são líquidos e apresenta uma reação definitiva. Se for submetido a níveis de temperatura, seu próximo estado é queima deixando resíduos em forma de cinza ou carvão.

Exemplo de Termofixos:

- Poliéster Insaturado – Plástico reforçado com fibra de vidro
- Epóxi – Plástico reforçado com fibra de vidro
- Fenólicas – Adesivos para abrasivos e rebolos, resinas para fundição, espumaisolante antichama, Baquelite, Fenolite, Celeron.
- Melamínicas– Laminados decorativos, Tintas de alta resistência.
- Poliuretanos – Espuma isolante, revestimentos anti-corrosivos.
- Poli-isocianurato– Espumas isolantes

Os materiais polímeros termofixos são aplicados em produtos onde existe a necessidade da característica de resistir à elevação de temperatura sem se deformar, bem como de manter as propriedades de isolamento elétrica quando ocorre o aquecimento.

2.2.2 Termoplásticos

Fundem-se e solidificam várias vezes. Esta é a principal característica dos populares plásticos recicláveis.

Exemplo de Termoplásticos:

- PET – Poliéster saturado – Embalagens, carpetes, monofilamento etc.

- PVC – Policloreto de Viníla – Tubos, Isolação de cabos elétricos, filmes de revestimento.
- PE – Polietileno – Filmes para Embalagens, artigos domésticos.
- PP – Polipropileno – Filmes para Embalagens, artigos domésticos, indústria automobilística.
- ABS – AcriloButadieno Estireno - Eletrodomésticos, indústria automobilística
- PMMA – Polimetil metacrilato ou Acrílico – Polímero cristalino usado em várias aplicações.
- PC – Policarbonato – Vidros blindados, faróis de automóveis, indústria aeronáutica.
- PA – Poliamidas – “Nylon” – Plástico de engenharia – alta resistência mecânica e a temperatura.
- POM – Poliacetal – “Delrin” – Plástico de engenharia – características lubrificantes.
- PTFE – Politetrafluoretileno – “Teflon” – Baixas características mecânicas, elevada resistência térmica e características lubrificantes.

Materiais polímeros termoplásticos são versáteis, tem grande gama de aplicabilidade em produtos industrializados, e por isso mesmo, demandam estudo aprofundado para fazer um ciclo de reaproveitamento através de novas ligas plásticas.

2.3 Elementos de Reforço: Fibra de Vidro

Os compósitos com matriz polimérica (PMC – *polymer-matrix composites*) basicamente são formados por uma matriz e um reforço. A matriz é o elemento envolvente em torno do reforço, comumente em aspecto inicial líquido, com posterior cura e enrijecimento. A fase reforço ou dispersa, é formada por inúmeros tipos de materiais. No caso do reforço fibra

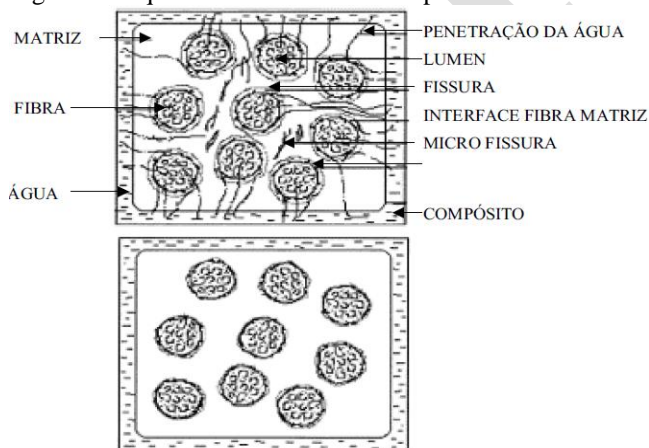
de vidro, o compósito adquire o nome de Compósito Polimérico Reforçado com Fibras de Vidro (GFRP – *Glass Fiber-Reinforced Polymer*). Conforme Callister; Rethwisch (2013). Quando se utiliza o nome *fiberglass*, isto indica apenas que o compósito foi fabricado com fibras de vidro sem, no entanto, definir características mais aprofundadas da constituição da fibra.

2.4 Interface Matriz e Reforço

O desenvolvimento de produtos cada vez mais exigentes em termos de tecnologia aplicada faz com que a mistura de materiais diferentes formando um terceiro material, aproveitando as melhores características desses materiais básicos se torne cada vez mais objeto de estudo de pesquisadores. Nos dizeres de Haje (1989), apud Oliveira (2007), para que essa mistura alcance características desejadas de resistência mecânica, térmica, elétrica, lubrificante ou inúmeras outras, deve-se ter especial cuidado com o elo entre a matriz e o reforço. Interface é a região de contato entre a matriz e o reforço do material compósito, na figura 2 pode-se ver uma representação esquemática de um recorte do compósito.

A interface é um dos parâmetros mais importantes a se considerar na junção compósita para que o resultado do material seja satisfatório.

Figura 2: Esquema construtivo do compósito



Fonte: (SREEKALA et al. 2002). Adaptado de (OLIVEIRA, 2007)

Os tipos de matriz e reforço são os mais diversos para características especiais e é necessário fazê-las combinar. Observa-se na figura 2, uma construção esquemática do material compósito, demonstrando problemas de

interface mal acoplada, tendo como consequência a perda de características mecânicas. Essa preocupação fez com que pesquisadores desenvolvessem processos ou produtos que auxiliassem na melhor acoplagem na interface entre a matriz e o reforço do compósito.

2.5 Processo de Usinagem de Compósitos

Os métodos mais comuns de usinagem, utilizando ferramental popular como Aço-rápido e Metal-duro, podem ser utilizados, mas de acordo com Durão et al.(2003), apud Santos(2010), deve-se ter o cuidado de reduzir a geração de danos por meios térmicos ou esforços mecânicos. Em muitos casos de aplicação prática, no momento de se executar o serviço proposto, a peça a ser fabricada pode exigir uma ação imediata para se conseguir um ferramental que possa executar o serviço proposto. Nesse momento precisa haver do profissional uma habilidade de superar a condição de não ter a ferramenta ideal para executar a usinagem e encontrar uma alternativa que possa dar continuidade ao processo de fabricação especial com as condições técnicas aceitáveis.

Observam-se como fundamentais, a preservação do limite térmico, o acabamento de superfície, a integridade das fronteiras de junção e a vida útil do ferramental empregado. Seguindo Takeshita (1985), apud Ferreira (1992), através de estudos efetuados a respeito da usinabilidade das placas de fibra de vidro, chegou-se a uma conclusão de que a relação entre o ângulo de incidência da ferramenta de usinagem, na unidade pontual da fibra é de extrema importância para determinar as forças de corte envolvidas. Isso conseqüentemente influi diretamente no acabamento de superfície do material usinado, o ângulo que favorece mais a usinagem para não ocorrer delaminação e lascamento são de 135 graus de relação entre a ferramenta e a unidade pontual da fibra em escala micrométrica. Ainda segundo o estudo, essa relação, ainda que ideal, é impossível de ser conseguida plenamente, por conta da condição de irregularidade da disposição das fibras na fabricação do material.

Um dos motivos que justificam a afirmação de Milatias (2014), referente às dificuldades de se conseguir homogeneidade no ângulo de ataque de corte das fibras compósitas é a disposição característica própria da matéria prima, que é fabricada em forma de feixe de fios de fibra de vidro e também com formato de tela quadriculada.

2.6 Ferramentas de Corte

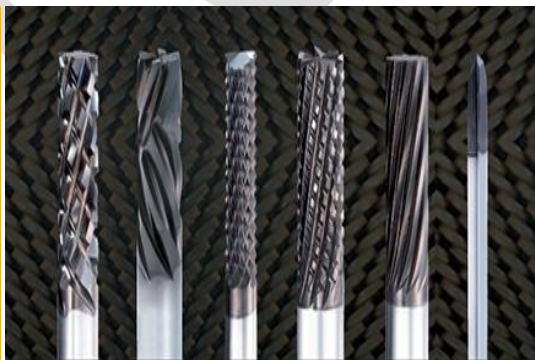
No processamento das placas de fibra de vidro, ocorre a descamação das fibras, principalmente na entrada e saída das ferramentas de usinagem. Um dos métodos para diminuir essa ocorrência é a preparação da geometria das ferramentas de corte, para que exerçam menor pressão de corte nas fronteiras da usinagem executada. Na figura 3(a) pode-se observar uma solução de engenharia na fabricação de brocas com geometrias especiais, com a finalidade de perfurar as placas de fibra de vidro causando menores estragos na estrutura da placa ao redor do furo e também visando uma maior vida útil das brocas durante o trabalho. Já na figura 3 (b) demonstra-se um conjunto de ferramentas desenvolvidas pela empresa OSG especialmente para usinagem de materiais compósitos, chamadas de “Fresa Dupla Hélice”. A geometria especial OSG desenvolvida para fresas de dupla hélice, desvia os esforços de corte, o que elimina a delaminação ou lascamento na usinagem de materiais compostos.

Figura 3 (a): Brocas Sandvik Corodril 854



Fonte: Milátias, 2015.

Figura 3 (b): Fresas OSG de dupla hélice



Fonte: www.osg.com.br-Acessado 02/10/2016

Observa-se nas duas imagens acima dois tipos de tecnologia. Na figura 3(a), tem-se uma ferramenta especial, em metal-duro com tecnologia de revestimento superficial, porém, com a ferramenta no formato convencional de broca helicoidal. A principal característica desse tipo de ferramenta é o desbaste em forma de furo, sem permitir corte axial, sob o risco de quebra da broca pelo esforço desproporcional. Segundo Santos (2010), a geometria dessa ferramenta indica uma aplicação em operações que

necessitam de furos, mas que tenham a característica do compósito abrasivo ou sanduíche como o composto chapa de alumínio e polímero.

Na figura 3(b) temos um conjunto de ferramentas modernas chamadas de fresas dupla hélice, onde a característica principal é o desbaste e acabamento no sentido axial, adequadas para se utilizar em centros de usinagem CNC ou fresadoras convencionais. São ferramentas de diâmetros pequenos, em torno de 6 mm, com capacidade para altíssimas velocidades de corte. Para suportar a abrasividade do compósito fibra de vidro, estas fresas recebem um revestimento de superfície à base de diamante. Disponível em: <www.osg.com.br> acessado 02/10/2016.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Santos (2010), quando se processa os materiais compósitos, em especial nesse caso, a fibra de vidro; as técnicas de usinagem convencional quando utilizadas, devem ser adaptadas de forma a reduzir a geração de danos por meios térmicos ou mecânicos, tanto nas brocas quanto nas placas. A metodologia utilizada é experimental, corpos de prova foram construídos em compósito de fibra de vidro na forma de placas.

3.1 Material

Trata-se de uma placa de fibra de vidro TVE (placa de tecido de vidro e resina epóxi), muito utilizado em fabricação de peças de engenharia, especialmente aquelas voltadas para recuperação de máquinas elétricas diversas, como motores, geradores, transformadores e diversos tipos de isoladores para eletricidade. Apresentam-se algumas características de fabricação deste material conforme especificação internacional regulamentada, demonstradas nas tabelas 1, 2 e 3.

Para atender às mais diversas aplicações na área industrial os fabricantes fornecem materiais com dimensões padronizadas, bastando conformar o material às dimensões exigidas pelo projeto em execução.

Tabela 1 Propriedades Elétricas da Placa.

Norma N.E.M.A.	Rigidez Dielétrica		Constante	Resist. superf.
	Paral. KV	Perp. KV/mm	Dielétrica mc/s	96/25/90 mΩ
G10	35	30	5,1	10
FR-4	35	30	5,1	10

Tabela 2 – Propriedades Mecânicas da Placa.

Norma N.E.M.A.	Comp. Perp.	Flexão Long.	Tensão	Impacto	Delaminação
	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	Long. Kgf/cm ²	Long. Kgf/cm ²	Kgf
G10	4300	4100	2500	15	700
FR-4	4300	4100	2500	15	700

Tabela 3 – Propriedades Físicas da Placa.

Norma N.E.M.A.	Absorção	de	Peso Esp. g/cm ³	Dureza RockWell	Temp.
	Água %			M	Trabalho °C
G10	0,20		1,70	111	130
FR-4	0,20		1,70	111	130

Fonte: Imcoplast (2016).

Formato disponível para aplicação comercial em laminado isolante a base de tecido de vidro impregnado com resina epóxi de alto poder aderente, tem como principais características seu excelente poder de isolamento, aliado a uma alta resistência mecânica e baixa absorção de água. Fabricado com resina do tipo “Flame resistant” (não propaga chamas), pode ser utilizado em alta e baixa tensão, em locais e condições desfavoráveis, no aspecto climático.

3.2 Corpo de prova

A fabricação de uma placa de fibra de vidro consiste em colocar sobre uma forma que pode chegar a 2 x 1 metros de comprimento e largura, camadas sucessivas de tecido de fibra de vidro em forma de manta quadriculada e resina polimérica, de forma a alcançar a espessura desejada após o processo de prensagem e cura sob temperatura. Esse processo de fabricação faz com que a disposição dos micro-fios da fibra de vidro estejam cruzados em todas as direções, de forma que quando se usina ou perfura essa placa, não se consiga definir posição angular entre a aresta da ferramenta de corte e os fios da fibra de vidro que estão prensados na placa.

A construção do corpo de prova utiliza uma placa de fibra de vidro com as dimensões de 500 x 80 x 8 milímetros. Pode-se observar na figura 4, a utilização de uma serra diamantada para executar os cortes dimensionais da placa de fibra de vidro. O tamanho comercial da placa é de 2 x 1 metro. Conforme a necessidade do projeto, a placa deve ser segmentada para adquirir as dimensões adequadas para construção da peça.

Figura –4: Corte da placa de fibra de vidro



Fonte: do autor

Observa-se na figura 4 a execução de corte de compósito de fibra de vidro com 22000 RPM. Isto é possível pela constituição do corte da serra ser composta por granulados de diamante industrial, o que possibilita altas rotações e altas velocidades de corte. Nesse caso, como se trata de uma ferramenta rudimentar, é adequada apenas para operações de desbaste.

3.3 Máquina

Para fazer o ensaio de furação foi utilizada uma fresadora ferramenta da marca Diplomat 3001, modelo FVF-2500, figura 5, cujas características principais são: Mesa com 1244 mm x 230 mm; Curso longitudinal 850 mm; Curso transversal 305 mm e Curso vertical 406 mm.

Como se pode observar pela figura 5, trata-se de uma máquina do tipo convencional, onde para que uma operação seja executada, o operador da fresadora precisa manipular a posição de cada furo conforme a medida especificada para a construção do corpo de prova. Essa forma de fabricar peças já se torna obsoleta, pois o tempo de operação se torna improdutivo.

Nas empresas voltadas a fabricação de peças industriais utiliza-se máquinas que trabalham de forma automática, controladas por programas de computador.

Figura –5: Fresadora Ferramenteira



Fonte: do autor

Observam-se as placas cortadas para iniciar a fixação sobre a mesa da fresadora e iniciar os procedimentos de furação da placa de fibra de vidro.

3.4 Ferramentas de Corte para Compósitos

A figura 6 demonstra o exemplo de uma ferramenta de corte com geometria especial, fabricada de forma manual para permitir executar na placa de fibra de vidro a usinagem do perfil da peça original a ser produzida.

Figura 6 – Ferramenta com geometria especial



Fonte: Autor

O exemplo da figura 6 é típico de uma aplicação especial, onde surgiu uma peça que precisou ser fabricada uma única vez, com desenho e geometria exclusiva. A solução de criatividade foi fabricar uma ferramenta em aço-rápido e executar uma afiação de perfil em modo manual. A operação embora lenta obteve sucesso na entrega ao cliente.

3.5 Parâmetros de Corte

Para executar os procedimentos de perfuração do corpo de prova foram utilizados os parâmetros de corte indicados na tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de corte para brocas

MATERIAIS NÃO METÁLICOS

Material a ser Usinado	Tipo de Aplicação	Velocidade de Corte (m/min.)	Lubrificação
Termoplásticos	Nylon, Teflon, Acrílico, PVC, Borracha	25 - 40	Água, ar comprimido.
Termofixos	Baquelite com Fibra de Vidro	16 - 25	Água, ar comprimido.
Borracha Sintética	Ebonite, Vulcanite	18 - 30	Ar comprimido

FÓRMULA PARA CALCULAR O RPM DA MÁQUINA

$$RPM = \frac{V_c * 1000}{\pi * D}$$

$V_c =$ Velocidade de corte (m/min)
 $D =$ Diâmetro da broca(mm)

TABELA DE AVANÇO DE CORTE NA FURADEIRA

da broca em mm									0	2	4	
vanço em mm/v *	,06	,08	,10	,11	,13	,14	,16	,18	,19	,20	,24	,26
da broca em mm	6	8	0	2	4	6	8	0	5	0	5	0
vanço em mm/v *	,28	,29	,30	,33	,34	,36	,38	,38	,38	,38	,38	,38

*Milímetro por volta

Fonte: Amatools (2016)

Esses parâmetros são fornecidos por fabricantes de ferramentas, nesse caso, a empresa Amatools, que responde pela fabricação e comercialização das brocas de Aço-Rápido, indicam as melhores condições de corte para diversos tipos de aplicação.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Tomando-se como referência de trabalho os dados obtidos na tabela 4, fornecida pelo fabricante de brocas de aço-rápido, optou-se por utilizar dois valores de velocidade de corte para realizar o ensaio de furação, VC1 de 20 metros por minuto e VC2 de 30 metros por minuto. Esses valores são apresentados na tabela 5.

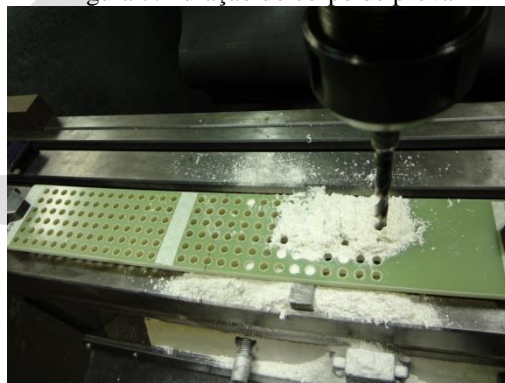
Tabela 5 – Parâmetros de corte

Corpo de Prova 1:	
Velocidade de corte 1: 20m/min	Broca: 8,0 mm em material Aço-Rápido
	Cálculo da Rotação da Broca:
	$RPM_1 = \frac{V_{C1} * 1000}{\pi * D} \quad RPM_1 = \frac{20 \text{ m/min} * 1000}{\pi * 8 \text{ mm}} \quad RPM_1$ $= 795 \text{ rpm} \sim 800 \text{ rpm}$
	Avanço da broca: 0,15 mm/volta
Corpo de Prova 2:	
Velocidade de corte 2: 30m/min	Broca: 8,0 mm em material Aço-Rápido
	Cálculo da Rotação da Broca:
	$RPM_2 = \frac{V_{C2} * 1000}{\pi * D} \quad RPM_2 = \frac{30 \text{ m/min} * 1000}{\pi * 8 \text{ mm}} \quad RPM_2$ $= 1193 \text{ rpm} \sim 1200 \text{ rpm}$
	Avanço da broca: 0,15 mm/volta

Fonte: Do autor.

Utilizando-se os valores de 20 e 30 metros por minuto e aplicando os mesmos na fórmula de cálculo de RPM da máquina, chegou-se a um valor de 800 rotações por minuto em VC1 e de 1200 rotações por minuto em VC2. Pode-se observar na figura 7 a execução dos furos na placa de fibra de vidro.

Figura 7: Furação do corpo de prova



Fonte: do autor

Na figura 7, a execução dos furos em VC1 já executados e VC2 em andamento. Importante destacar-se a remoção de cavaco em formato de pó. O

procedimento de resfriamento da broca é atmosférico e a remoção do resíduo de usinagem se faz utilizando um aspirador de pó.

Observam-se na tabela 6 as anotações de tempos de trabalho por número de furos executados. Na figura 8(a) pode-se verificar o estado de desgaste das arestas de corte da broca de aço-rápido utilizada em VC1. Na figura 8(b), o desgaste da aresta em VC2, onde a velocidade de corte foi maior.

Figura 8(a): VC1 de 20 m/min.



Fonte: do autor

Figura 8(b): VC2 de 30 m/min.



Fonte: do autor

Verifica-se nas imagens o acentuado desgaste das arestas de corte, para execução de tão poucos furos executados no corpo de prova. Em VC2, além do desgaste, observa-se a grande alteração de temperatura, demonstrada pela coloração azul escuro na ponta da broca.

Tabela 6 – Resultados

Dados obtidos na perfuração de corpo de prova 1 e corpo de prova 2 Placa de fibra de vidro Espessura 8mm					
	Vel. de corte (Vc)	Quantidade executada	Tempo gasto total	Tempo gasto por furo	Variação dimensional
Corpo de prova 1	20 m/min	84 furos	196 min	2,33 min	8,0 a 7,96 mm
Corpo de prova 2	30 m/min	84 furos	149 min	1,77 min	8,0 a 7,94 mm

Fonte: Do autor.

Na tabela 6 observa-se um referencial de tempo para execução dos furos no corpo de prova, utilizando-se as duas velocidades de corte escolhidas. Na figura 9(a) e 9(b), a disposição final da furação do corpo de prova.

Figura 9(a): furação em VC1

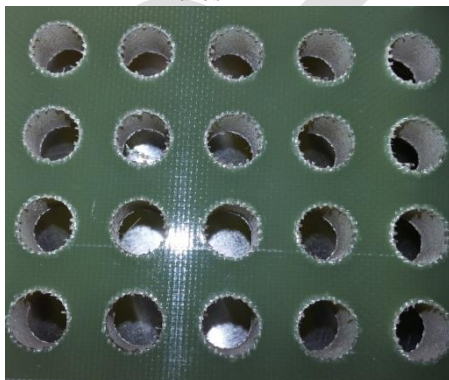
Figura 9(b): furação em VC2



Fonte: do autor

Mesmo em imagem de pouca resolução como mostrado na figura 9, observa-se irregularidade nas bordas dos furos. Nas figuras 10(a) e 10(b) abaixo, imagem em detalhe das bordas dos furos e o aspecto rugoso nas faces internas da parede do furo.

Figura 10(a): VC1 – Defeitos nos furos



Fonte: do autor

Figura 10(b): VC2 – Defeitos nos furos



Fonte: do autor

Visivelmente se constata os danos causados pela utilização da broca de aço rápido, em VC1, figura 10(a). Em VC2, figura 10(b) ainda mais grave no aspecto dos furos e nas arestas da broca figura 8(b). Quando a broca inicia a furação na superfície da placa de fibra de vidro, ocorre um efeito de puxar as fibras para cima, devido ao formato helicoidal da broca e também pelo próprio efeito da aresta de corte da broca, exercendo esforço para retirada do cavaco da peça. Isso faz com que as bordas do furo, quando a broca entra, fiquem danificadas, provocando uma rebarba cortante, que vai necessitar de um retrabalho posterior para regularizar. Passado essa fase, onde a broca já entrou e começa a vazar o furo que está sendo feito, surge um efeito de pressão de corte nas bordas do furo de saída, que vai provocar rebarbas e o lascamento das bordas, tecnicamente indicado como delaminação, por se tratar de placas laminadas de fibra de vidro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios efetuados, ainda que sem a utilização de instrumentação científica adequada para monitoramento e coleta de dados demonstra a ineficiência das ferramentas de aço-rápido para a execução de serviços em compósito de matriz polimérica com reforço de fibra de vidro.

A análise do processo de furação de placas isolantes, nesse momento, mesmo que seja pelo crivo visual, deixa claro que é necessário preparar recursos de ferramental mais adequados para materiais modernos, com índices elevados de abrasividade em sua composição.

O estudo indica que as ferramentas mais simples para se trabalhar com compósitos de fibra de vidro sejam as de metal-duro, e, sempre que possível, subir um nível tecnológico na aquisição de ferramentas mais modernas, que possam apresentar uma característica de multi-tarefa, auxiliando assim na customização do investimento em seu valor de compra.

Como contribuição para continuidade desta pesquisa, sugere-se a aquisição de 1 exemplar de ferramenta em metal-duro e 1 exemplar de ferramenta com revestimento à base de diamante, e se proceda novos ensaios, utilizando instrumentação científica e equipamentos de usinagem CNC.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, William D. & RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. Revisão técnica de José Roberto Moraes d’Almeida. 8. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2013.

Citações e referências bibliográficas –Citação o método –Anpad.

Disponível

em:<http://www.anpad.org.br/diversos/apa/apa_citacoes_referencias.pdf>.Pequisado em 23/08/2015.

FERREIRA, João Roberto. **Características da usinagem de um compósito de resina fenólica reforçada com fibras de vidro e carbono**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Tese de Mestrado. Campinas, 1992.

JESUS, Edilson Rosa Barbosa de. **Obtenção, Usinagem e Desgaste de Materiais Compósitos de Matriz Metálica Processados via Metalurgia do Pó**. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo. Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Tecnologia Nuclear – Materiais. São Paulo 1998.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha. Piovesan, Maurício. Bertoletti, Luísa Lima. Altmeyer, Sabrina. Vorpapel, Tatiane Hohm. **Fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados**. REGET/UFMS Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170). Janeiro-Abril 2013.

MILATIAS, Guilherme. **Introdução aos materiais compósitos**. Analista de processos – SandvikCoromant do Brasil Graduando em engenharia de materiais, Fundação Universidade Federal do ABC (UFABC). Disponível em <<http://www.omundodausinagem.com.br-Introdução aos materiais compósitos>>. Acessado em: 23/08/2015.

SANTOS, Carlos Eduardo Figueiredo dos. **Estudo e caracterização do processo de usinagem do compósito GLARE**. UNESP Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá.Guaratinguetá, 2010.

SEVERINO, Antonio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 22. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cortez, 2002. POPPER, K.R. **Conhecimento objetivo**. São Paulo: EDUSP, 1975.

Usinagem de compósito dá mais um passo a frente. Disponível em <http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7112-usinagem-de-composito-da-mais-um-passo-a-frente> (Por MyYellowCoat, traduzido por CIMM 16/07/2010). Pesquisado em 02/11/2015.

SILVEIRA, José Luis. **Notas de Aula de Usinagem**. Departamento de Engenharia Mecânica
Escola de Engenharia/UFRJ.
Disponível em:<[http://www.mecanica.ufrj.br/util/b2evolution/media/blogs/joseluis/usinagem .pdf](http://www.mecanica.ufrj.br/util/b2evolution/media/blogs/joseluis/usinagem.pdf)> Acessado em 02/11/2016.

MORASSI, Odair José. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. São Paulo - 09 e 10 de agosto de 2013. Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%ADmeros_0910082013site](http://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013site.pdf)>. pdf - Acessado em 17/11/2016.

OSG Sulamericana. Disponível em: <http://www.osg.com.br/v4/fotos/download/HIGHTECH_COMPOSTO.pdf> - <[http://www.osg.com.br/v4/paginas/produtos.asp?lang=pt&tipo=Ferramentas Especiais](http://www.osg.com.br/v4/paginas/produtos.asp?lang=pt&tipo=FerramentasEspeciais)>- acessado em 02/10/2016.

OLIVEIRA, Jorge Fernando de Souza. **Estudos da influência da configuração em compósitos poliméricos híbridos**. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM – da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15562/1/FernandoBMS.pdf>> Acessado em: 29/11/2016.

CAPÍTULO IV - ESTUDO DA RUGOSIDADE DA CABEÇA FEMORAL DE UMA PRÓTESE DE QUADRIL

<LUCAS EDUARDO DE MEDEIROS>¹
<RODOLFO HILDEBRANDT>²
<APARECIDO SERAPIÃO DOS SANTOS>³

Resumo: Uma prótese de quadril é um elemento utilizado em um procedimento cirúrgico para recuperar a articulação em um determinado paciente. Um implante de quadril deve apresentar características biocompatíveis obedecendo às normatizações, porém uma dos fatores limitantes da vida útil da prótese é a baixa resistência ao desgaste. Este artigo irá analisar a rugosidade de uma prótese de quadril explantada com, rugosímetro. Foi medido o parâmetro de rugosidade Ra para avaliar o controle de qualidade superficial da prótese, para comparar com parâmetros de rugosidade estabelecidos em normas, e uma pesquisa referencial sobre a rugosidade e como está diretamente associada ao desgaste. Será observado nos resultados como o fator rugosidade contribui para a taxa de desgaste do material, e como é importante na vida útil e qualidade da prótese.

Palavras-chave: Prótese de quadril, rugosidade, desgaste.

Abstract: A hip prosthesis is an element used in a surgical procedure to recover the joint in a given patient. A hip implant must have biocompatible characteristics obeying the norms, but one of the limiting factors of the life of the prosthesis is the low resistance to wear. This paper will analyze the roughness of a hip prosthesis explanted with, rugosimeter. The roughness parameter Ra was measured to evaluate the surface quality control of the prosthesis, to compare with roughness parameters established in standards and a reference survey on roughness and how it is directly associated with wears. It will be observed in the results how the roughness factor contributes

¹ Discente Graduando em Tecnologia em Fabricação Mecânica, Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina: luc987654@yahoo.com.br

² Docente Mestre; Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; rodolfo.hildebrandt@pr.senai.br

³ Docente Especialista; Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; aparecido.serapiao@sistemafiep.org.br

to the wear rate of the material, and how important it is in the life and quality of the prosthesis.

Keywords: Hip prosthesis, roughness, wears.

1. INTRODUÇÃO

Com surgimento de novos materiais e o desenvolvimento de técnicas cirúrgicas permitiu-se recuperar ou substituir parte do corpo e melhorar a qualidade de vida da população. Anualmente em todo o mundo, mais de 800 mil cirurgias de prótese de quadril são realizadas (CHALLONER, 2010).

Segundo (Valente, 1999) A implantação de dispositivos no corpo humano é uma prática de longa data, marcada principalmente até 1875 pela utilização de metais puros como ouro, prata e cobre. As ligas metálicas tomaram-se mais utilizadas entre 1875 e 1925 coincidindo com avanços nas técnicas cirúrgicas e posteriormente o desenvolvimento dos biomateriais metálicos. Os implantes que proporcionam boas respostas ao tecido hospedeiro são os que possuem capacidade de interagir diretamente com o osso sem promover a formação do tecido fibroso interposto, processo chamado de óssea integração, definido como o contato estabelecido entre o osso normal e remodelado e a superfície do implante sem a interposição de tecido conectivo não ósseo, em nível de microscopia óptica. Os implantes à base de titânio e suas ligas são os que têm apresentado maior porcentagem de sucesso de casos de óssea integração.

Os motivos mais relevantes se devem ao aumento da expectativa de vida e o conseqüente aumento do número de pessoas com doenças degenerativas (ex. artrose, artrite reumatoide), e o crescente número de acidentes automobilísticos (trincas, fraturas).

Quando nos referimos à prótese de quadril, significa que uma cirurgia é feita para a substituição da articulação do quadril por componentes metálicos, poliméricos e/ou cerâmicos (FERREIRA, 2011), esse procedimento é denominado Artroplastia Total do Quadril (ATQ).

Para melhor compreensão da aplicação do uso dessas próteses, é necessário compreender o funcionamento da articulação do quadril. Segundo Kapandji (1980), a articulação do quadril é composta por uma esfera (cabeça do fêmur), cavidade (componente acetabular – osso da bacia), envolvida por ligamentos e a cápsula articular (cartilagem), poderá ser observado na figura 1.

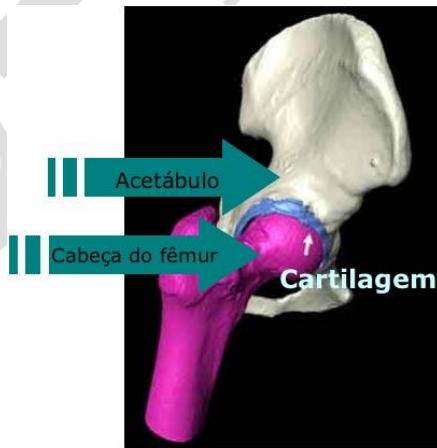
Figura 1: Articulação do quadril e Ligamentos



Fonte: Splabor

Na figura 2 observa-se uma visão mais técnica, sendo possível identificar o funcionamento da articulação.

Figura 2: Articulação do quadril imagem 3D



Fonte: Iafortopedia.

A cabeça do fêmur deve-se encaixar-se com perfeição no acetábulo, os ligamentos dão a estabilidade e a cartilagem tem a função de evitar o contato osso com osso, e também tem a função de lubrificação (Fig. 2).

Quando a cartilagem é saudável a espessura é maior que 5 milímetros, sua superfície é macia e lisa e banhada em líquido sinovial que é o lubrificante (FERREIRA, 2011).

A cirurgia de implante de prótese de quadril é realizada principalmente em pessoas que tem artrose grave e também em certos casos de fratura do colo do fêmur ou de necrose da cabeça do fêmur (RATNER, 1996).

Para que um material possa ser utilizado em implantes, é necessário que apresentem propriedades mecânicas as mais próximas possíveis dos ossos humanos. As mais importantes propriedades mecânicas para aplicações ortopédicas são resistência mecânica à tração, compressão e flexo-compressão e o módulo de elasticidade. O interessante é ter materiais que tenham módulo de elasticidade próximo ao tecido ósseo (VALENTE, 1999).

Na Tabela 1, são apresentados valores do módulo de elasticidade para alguns materiais.

Tabela 1 – Módulo de elasticidade de diversos materiais utilizados em implantes e tecido naturais

Material	Módulo de Elasticidade GPa
Aço inox 316 L	200
Liga Co-Cr fundida	248
Titânio	110
Ti6Al14V	124
Al ₂ O ₃	365
ZrO ₂	200
ZrO ₂ -Y ₂ O ₃	205
Osso esponjoso	0,7 - 4
dentina	18,2
Esmalte dentário	82,4
Hidroxiapatita sintética	110 – 279

Fonte: Valente (1999).

As próteses são basicamente divididas em componente femoral e componente acetabular, a parte femoral é dividida em cabeça, pescoço e haste. A haste e o pescoço são geralmente fabricados de ligas metálicas de aço ASTM F138, titânio ou cromo-cobalto, a cabeça é confeccionada em liga Cr-Co, titânio, alumina ou zircônia (cerâmica).

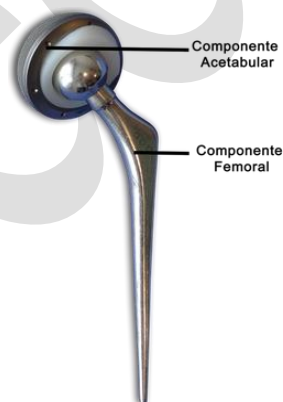
O componente acetabular geralmente é feito em polietileno de ultra-peso-molecular - UHMWPE (OLIVEIRA, 2013). A figura 3 (a) e (b) apresenta uma prótese de quadril.

Figura 3 (a): Prótese de Quadril



Fonte: Lookfordiagnosis

Figura 3 (b): Prótese de Quadril



Fonte: Medicinadoquadril

O cirurgião inglês John Charnley (1911-1982) deu origem à artroplastia de baixa fricção, que se tornou o procedimento padrão para a substituição de partes do quadril (CHALLONER, 2010), para que a prótese funcione adequadamente ela deve estar bem fixa no osso, como se observa na figura 4, e para isso existem duas técnicas, uma usa cimento ortopédico a qual funciona como uma argamassa, a outra baseia-se no crescimento do osso do paciente para dentro dos poros da superfície da prótese.

Cada paciente tem a necessidade de determinado tipo de prótese (HATEM, 2015).

Figura 4: Artroplastia de Quadril



Fonte :Sotstenio

A prótese de quadril, no geral, precisa ser trocada depois de um determinado tempo de uso, pois o maior desgaste ocorre entre a cabeça femoral e o componente acetabular.

Para que este trabalho tenha um resultado satisfatório, será analisado o material TITÂNIO através de um levantamento bibliográfico, para adquirir informações sobre o processo de desgaste da cabeça femoral.

Pretende-se realizar uma análise de medição de uma prótese para obter dados, e realizar alguns apontamentos quanto ao desgaste do produto de forma ter informações que possibilite relacionar rugosidade com a vida útil da prótese.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Materiais e Biomateriais

A qualidade das próteses depende de fatores muito amplos que começam com a escolha da matéria-prima. O denominado biomaterial é o que tem compatibilidade com o organismo humano, umas das definições mais aceitas é de Williams (Apud, Williams, 1987):

Biomateriais são substâncias, exceto drogas e fármacos, ou combinação de substâncias, de origens sintéticas ou naturais, que podem ser usadas por qualquer período de tempo, como parte ou como o todo dos sistemas, para tratar, ou aumentar ou substituir quaisquer tecidos, órgãos ou função do corpo.

Segundo Oliveira (2013, p. 20) a área de biomateriais engloba o conhecimento e a colaboração de diversas especialidades, desde o comportamento mecânico até as funções biológicas.

Os biomateriais mais utilizados na fabricação de próteses podem ser agrupados em: metálicos, poliméricos, cerâmicos e compósitos.

As ligas metálicas, usadas na fabricação de próteses de quadril, têm propriedades mecânicas adequadas e razoável resistência à corrosão, a que mais se destaca é o aço inoxidável ASTM F 138, pois tem boa usinabilidade e o custo relativamente baixo (Apud, GIORDANI, FERREIRA e BALANCIN, 2007).

2.2 Compósitos

Segundo Gomes (2013), materiais compósitos são aqueles que possuem dois componentes distintos que quando misturados formam um composto com propriedades impossíveis de se obter com apenas um deles. Sob este prisma o osso é um material compósito que apresenta fibras colágenas imersas em uma matriz inorgânica.

Referem-se à combinação de materiais de modo que as propriedades mecânicas resultantes sejam superiores a dos componentes isoladamente. Frequentemente agregam um elemento constituído por fibras a um elemento matricial, como as fibras de carbono adicionadas a uma matriz polimérica. Sob este prisma o osso é per se um material compósito que apresenta fibras colágenas imersas em uma matriz inorgânica (Gomes, 2013).

Várias tentativas de aumentar a tenacidade do cimento ósseo foram feitas através da produção de um compósito que incorporava outros elementos como a fibra de carbono, polietileno, titânio, grafite e aço entre outras substâncias. Contudo, a biocompatibilidade e complicações do processamento destes materiais comprometeram a implementação do processo de manufatura (Gomes, 2013).

Ainda segundo Gomes:

A opção por um determinado tipo de material é feita de acordo com sua resistência à corrosão e bio-compatibilidade, propriedades mecânicas e metalúrgicas assim como pelo comportamento do material durante o processamento e uso, custo e disponibilidade. De grande importância são as propriedades mecânicas, representadas principalmente pela resistência (Tensão de Escoamento, Tensão Máxima, Tensão de Ruptura), ductilidade, rigidez, tenacidade, dureza, fluência e fadiga.

Outros fatores como projeto, fabricação e acabamento são fundamentais no controle de qualidade das próteses.

2.3 Fabricação

A utilização de novos biomateriais exigiu-se a introdução de alguns processos de fabricação.

2.4 Forjamento de Precisão

O processo de fabricação da haste requer alta tecnologia, pois o forjamento de precisão exige muita pesquisa para resolver problemas de geometria. O forjamento de precisão é o processo de deformação plástica que visa obter forjados com todas as dimensões, ou algumas delas, iguais às do produto acabado permitindo a eliminação ou a diminuição do processo de usinagem (Apud. KUDO, 1990).

2.5 Usinagem Ultraprecisão

Na fase de acabamento onde a parte mais importante é a cabeça femoral a usinagem de ultraprecisão vai dar a tolerância ao componente. Segundo Vieira (2004) a usinagem de ultraprecisão pode trabalhar com peças cujas as dimensões são da ordem de até $1\mu\text{m}$ e resolução da ordem de 1nm , logo nanotecnologia.

2.6 Tribologia

Outro conceito importante nos estudos das próteses é a interação de superfícies onde segundo Gomes (2013), o termo tribologia se refere à ciência que estuda a interação de superfícies em movimento relativo e, os principais determinantes são o atrito, a lubrificação e o desgaste.

2.7 Atrito

O conceito de atrito diz respeito à obstrução (atrito estático) ou à restrição (atrito cinético) ao movimento relativo entre as superfícies de corpos em contato, quando sujeitos a uma força externa (GOMES, 2013).

A força de atrito é gerada pela deformação na superfície de contato entre os materiais, e pela adesão entre os átomos e moléculas das superfícies opostas. Age tangencialmente à superfície e seu módulo independe da área de contato aparente entre os corpos, porém é função direta do valor da força normal (Apud. Walker, 2013).

Diferentemente das propriedades mecânicas como o módulo de elasticidade e tenacidade, o coeficiente de atrito não é uma propriedade do material e, assim pode ter diferentes valores em função do par tribológico, da configuração de contato e do ambiente e regime de lubrificação (Apud. Mischler, 2006).

Os biomateriais constituintes do par tribológico, o design e a tecnologia de fabricação influenciam grandemente na intensidade do atrito, uma vez que sua origem está ligada à deformação na superfície de contato entre os materiais, e pela adesão entre os átomos e moléculas das superfícies opostas. Assim, a rugosidade e a deformação das superfícies em contato impõem certa restrição ao movimento (Gomes, 2013)

2.8 Rugosidade

Mesmo em implantes polidos e aparentemente lisos, o atrito pode ocorrer irregularidades superficiais (rugosidade) em nível microscópico, cujo perfil pode ser avaliado por um rugosímetro (GOMES, 2009).

A tabela 2 mostra alguns parâmetros de rugosidade para a melhor classificação da rugosidade.

Tabela 2: parâmetros de rugosidade

Grupos de rugosidades	▽			▽▽			▽▽▽			▽▽▽▽		
Rugosidade máxima valores em Ra (μm)	50			6,3			0,8			0,1		
Classes de rugosidade (Grade)	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
Rugosidade máxima valores em Ra (μm)	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
Informações sobre os resultados de usinagem												
Serrar	[Barra com hachuras diagonais]											
Limar	[Barra com hachuras diagonais]											
Plainar	[Barra com hachuras diagonais]											
Tornear	[Barra com hachuras diagonais]											
Furar	[Barra com hachuras diagonais]											
Rebaixar	[Barra com hachuras diagonais]											
Alargar	[Barra com hachuras diagonais]											
Fresar	[Barra com hachuras diagonais]											
Brochar	[Barra com hachuras diagonais]											
Raspar	[Barra com hachuras diagonais]											
Retificar (frontal)	[Barra com hachuras diagonais]											
Retificar (lateral)	[Barra com hachuras diagonais]											
Alisar	[Barra com hachuras diagonais]											
Superfinish	[Barra com hachuras diagonais]											
Lapidar	[Barra com hachuras diagonais]											
Polir	[Barra com hachuras diagonais]											

[Barra branca] Faixa para um desbaste superior
 [Barra com hachuras diagonais] Rugosidade realizável com usinagem comum
 [Barra com hachuras diagonais] Rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais

Fonte: Souza

O parâmetro de rugosidade Ra a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (l_m). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição (l_m) (NBR ISO 4287).

2.9 Lubrificação

Lubrificação: para que o atrito seja diminuído é importante que não haja contato direto entre as superfícies articulares durante o movimento e o suporte de carga, usa-se então a interposição de um filme líquido (Gomes, 2013).

2.10 Desgaste

A consequência inevitável do movimento entre duas superfícies opostas é a remoção de material devido à ação mecânica (desgaste), que pode gerar milhares de partículas nos tecidos adjacentes no ciclo de marcha (apud. BURCHHORN, 2001).

O desgaste é o principal problema que afeta a longevidade das próteses, segundo Souza (2011) milhões de partículas são liberados todo dia no espaço entre a junta, estas partículas geradas entre a cabeça femoral e o componente acetabular iniciam uma rejeição do tecido que ocasiona osteólise (síndrome de destruição óssea) e em alguns casos, o afrouxamento dos componentes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho serão apresentadas características do material utilizado, instrumento e procedimento utilizado para a realização da medição.

Foi medido o parâmetro de rugosidade Ra para avaliar o controle de qualidade superficial da prótese, para comparar com parâmetros de rugosidade estabelecidos em normas.

3.1 Prótese

Foi “estudada a prótese da marca Zimmer de modelo T610A-1-5/8” como mostra a Figura 5, com cabeça femoral de titânio do tipo não cimentada.

Figura 5; Prótese de Quadril Zimmer



Fonte: o autor

A cabeça femoral estudada é de titânio de acordo com a norma NBR ISO 5832-2 – implantes para cirurgia de materiais metálicos.

3.2 Procedimentos

Para que se tenha um bom entendimento da medição de superfície é necessário consultar a norma NBR ISO 7206-2: 2011, cujos requisitos básicos são:

Cabeça femoral metálica:

Quando medido de acordo com os princípios dados na ABNT ISO 4287, a superfície de articulação esférica do implante deve ter um valor de Ra não maior que $0,5 \mu\text{m}$ e um valor de RT não maior que $1,0 \mu\text{m}$, usando-se um comprimento de amostragem de $0,008 \text{ mm}$.

Os seguintes detalhes devem ser relatados juntamente com os valores medidos;

- a) Raio da ponta do apalpador (ou estilete);
- b) Posição de medição na amostra.

Quando inspecionada por visão normal ou corrigida a superfície de articulação deve estar livre de partículas engastadas e de arranhões e de marcas e riscos que não sejam oriundos do processo de acabamento.

As tolerâncias dimensionais em relação ao diâmetro nominal são de $+0,00$ e $-0,2\text{mm}$.

3.3 Equipamento

Foi realizada a medição de rugosidade com um rugosímetro da marca Taylor- Robson Surtronic 3+ (Figura 6), com as seguintes especificações; deslocamento máximo do apalpador: 0,25 – 17,5 mm. Cut off 0.25, 0.8, 2.5, 8mm. Filtro gaussiano, campo de medição 150 μ m, resolução de 0.01 μ m. Com raio da ponta do apalpador 2 μ m.

Figura 6: Rugosímetro



Fonte: o autor

Foram realizadas medições de rugosidade da cabeça femoral de acordo com parâmetros da NBR ISO 4287:2002 para o valor de Ra.

4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados e analisados os resultados sob a condição do estado da superfície através da rugosidade e suas características com relação ao desgaste.

Na medição de rugosidade colocou-se a peça em um suporte e realizou-se a medição em uma posição, como mostra figura 7.

Figura 7: Medição da rugosidade



Fonte: o autor

Nas medições de rugosidade para estabelecer o parâmetro Ra, foram utilizados os ajustes de deslocamento: LC= 1.25 mm, Cut off = 0.8mm.

Os resultados da análise de rugosidade da cabeça femoral estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Rugosidade superficial encontrada na cabeça femoral explantada

	Rugosidade Ra (μm)
Amostra	Cabeça femoral
Nova	$0,023 \pm 0,003$
Referência	$0,029 \pm 0,003$
Medida na explantada	0,4

Fonte: adaptado - Israel.

Verificou-se que o valor obtido está além das referências, pois se trata de uma prótese explantada e, portanto o valor mostra o enorme desgaste que se tem depois de alguns anos.

A prótese depois de medida e mostrando um resultado de $0.4 \mu\text{m}$, ainda assim trata-se de um de nível de polimento e mostra que para esse tipo de aplicação usa-se a usinagem de ultra precisão por exigir um controle rigoroso da peça.

A rugosidade da superfície de articulação é uma importante variável a ser estudada. A rugosidade está diretamente associada à resistência ao desgaste da prótese. Segundo Alhasan e Goswami (2008), diversos autores correlacionam a resistência ao desgaste à rugosidade do componente medido (Israel, 2010).

Partículas de desgaste são liberadas a partir de a superfície articular após o acúmulo desta deformação plástica crítica (Apud. AAOS, 2000).

Diversos estudos apontam que as partículas produzidas na interação entre dois corpos têm a ação de um terceiro corpo, acelerando ainda mais o desgaste. Partículas de cimento ósseo, osso ou metálica podem gera um terceiro corpo e se incorporar na superfície do acetábulo. Essas partículas rígidas podem contribuir para a desagregação localizada, comprometendo o regime lubrificante e resultando na aceleração da taxa de desgaste. Estudos indicam que a interação dessas partículas com o rolamento de superfícies é um dos principais fatores limitantes para o tempo de vida útil das próteses (Apud. BLUND, *et al.* 2009).

O desgaste dos implantes de quadril é influenciado por esses conjuntos de fatores primários, que levam ao afrouxamento do implante e a osteólise. A redução da massa como resultado do desgaste, levando à osteólise, pode causar deslocamento e, posteriormente, pode-se necessitar-se de uma

substituição do implante. Vários estudos tentam fazer previsões das taxas de desgaste que levam como o principal parâmetro a rugosidade da cabeça femoral (Apud. ALHASSAN, 2008).

A norma ABNT NBR ISO 14242-1, define como sendo a amostra de ensaio a cabeça femoral e o componente acetabular.

Para avaliação da amostra a norma ABNT NBR ISO 14242-1 estabelece como resultado do ensaio de resistência ao desgaste da prótese de quadril 5×10^6 de ciclos.

Em um estudo usado como referência de Israel (2010), especifica métodos de avaliação do desgaste usando técnicas gravimétricas.

Método gravimétrico: a amostra de ensaio é avaliada quanto ao desgaste pela determinação da perda de massa (ISRAEL, 2010).

Em seus resultados mostrou-se que para o aço ASTM F138, conforme a tabela 4 apresenta os resultados de massa obtidos.

Tabela 4: resultado da variação de massa resultando no desgaste de amostra

Tempo – milhões de ciclos	Varição da massa (Mg)
0,75	-90,1
1,5	- 114,9
3	- 155,1
5	-166,7

Fonte: Israel 2010

É possível a taxa de desgaste correlacionando a variação da massa (ou volume) alterada durante o ensaio em razão do número de ciclos aplicados na amostra (ISRAEL, 2010).

A tabela 5 mostra os valores da taxa de desgaste e fator de desgaste obtido pela digitalização interna do componente.

Tabela 5: resultados da taxa e fator de desgaste

Tempo de ensaio	Taxa de desgaste		Fator de desgaste (mm^3/Nm)	Desgaste linear
	Gravimétrico (Mg/Mc)	Dimensional (mm^3/Mc)	Dimensional	Dimensional
5 Mc	33,34	27,37	$0,9 \times 10^{-6}$	0,12mm/ Mc

Fonte: Israel, 2010

Segundo Israel 2010, observa-se na tabela 6 que a rugosidade do acetábulo decresceu tanto para a amostra de referência quanto para amostra de ensaio, quando comparadas com amostra nova. A média da rugosidade para amostra de referência foi superior à encontrada para amostra de ensaio provocando uma espécie de polimento. A situação é inversa na cabeça femoral, na qual a média da rugosidade das amostras de referência de ensaio foi maior que a amostra nova, além de apresentarem valores similares entre si. Apesar de não haver diferença significativa entre as condições de referência e de ensaio, observa-se um pequeno aumento do valor da rugosidade média para a segunda condição.

Tabela 6: rugosidade média acetábulo e cabeça femoral

Amostra	Rugosidade Ra (μm)	
	Acetábulo	Cabeça femoral
Nova	0,300 \pm 0,010	0,023 \pm 0,003
Referência	0,259 \pm 0,021	0,029 \pm 0,003
Ensaio	0,242 \pm 0,031	0,030 \pm 0,006

Fonte: Israel, 2010

A tabela 7 apresenta os resultados obtidos para amostra de ensaio, avaliada até 5 Mc. Observam-se diferentes resultados de medida para cabeça femoral e o acetábulo e a indicação da variabilidade das leituras por meio desvio-padrão.

Tabela 7: Resultados do ensaio de rugosidade superficial na amostra de ensaio em diferentes ciclos

Tempo – milhões de ciclos	Rugosidade Ra (μm)	
	Acetábulo	Cabeça femoral
0	0,3 \pm 0,01	0,023 \pm 0,003
0,75	0,242 \pm 0,031	0,030 \pm 0,006
1,5	0,134 \pm 0,017	0,049 \pm 0,002
3	0,128 \pm 0,023	0,045 \pm 0,007
5	0,133 \pm 0,02	0,053 \pm 0,01

Fonte: Israel, 2010

Segundo Oliveira (2011), um conjunto protético passa por estágios de milhões de ciclos executados com movimentos angulares das normas ISO

14242-1 e ISO 14242-3, o que num total de 12 milhões de ciclos equivale a 12 anos de uso clínico.

O número de ciclos é estimado com base na idade do paciente, normalmente adotado como sendo um milhão de ciclos, porém em alguns casos podendo chegar a até 10 milhões de ciclos por ano. Para o cálculo do fator de desgaste é correlacionado o volume de desgaste pela distância percorrida versus a carga (Apud. CALONIUS, 2003).

5 Conclusão

O estudo da rugosidade é uma importante ferramenta que permite parametrizar o desgaste da prótese, com os estudos de referência permitiu-se chegar a valores que pudessem relacionar a rugosidade e a taxa de desgaste. Observou-se que após 5 milhões de ciclos a rugosidade aumentou 0,053 μm valor próximo ao encontrado na literatura da norma ISO 7206-2. Na cabeça femoral podem-se observar vários riscos indicando que houve um desgaste abrasivo causado por um terceiro corpo o que veio acompanhado com o aumento da rugosidade. Embora a taxa de desgaste seja importante em questões de desempenho, a rugosidade contribui mais para qualidade das próteses de quadril.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

A análise da rugosidade de uma prótese explantada é muito importante para a criação de um banco de dados com diferentes tipos de materiais, para combinações de amostra (acetábulo e cabeça femoral com diâmetros diferentes). Essa análise pode contribuir para prever o comportamento das próteses com novos materiais antes de seu uso clínico.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15726: 2013 Implantes para ortopedia — Especificações para superfícies de articulação feitas de material metálico, cerâmico ou polimérico de endoprótese de quadril e de próteses para articulação total de quadril.

ABNT NBR 15719: 2016 Implantes para ortopedia - Prótese de quadril - Especificações para prótese acetabular.

ABNT NBR 15666: 2012 Implantes para ortopedia — Requisitos gerais para materiais, fabricação e estocagem de componentes metálicos.

ABNT NBR 16359: 2015 Implantes para ortopedia - Prótese de quadril - Método de ensaio para avaliação de colisão de componente acetabular.

ABNT NBR ISO 5832-2: 2001 Implantes para cirurgia - Materiais metálicos Parte 2: Titânio puro.

ABNT NBR ISO 7206-2: 2012 Implantes para cirurgia — Próteses parcial e total de articulação de quadril.

ABNT NBR ISO 4287: 2002 Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade.

ABNT NBR 4288: 2008 Especificações geométricas de produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade.

ABNT NBR 15670-2: 2009 Implantes para ortopedia - Prótese ortopédica modular

Parte 2: Método de ensaio para determinação da força de desencaixe axial de componente acetabular modular.

ALVES, Hugo Leonardo Rocha et al. **Método alternativo para fabricação de cabeça femoral cerâmica para prótese de quadril.** Revista brasileira de engenharia biomédica, SEBEB, v-20, n 2-3, p. 81-88, dezembro 2004.

BELLOTI, J.C. **Cenário atual do uso de próteses ortopédicas – Discussão sobre próteses nacionais versus importadas.** DiagnTratamento, 2009; 14, 9-11.

CALLISTER, Willian D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução/** Willian D. Callister, Jr., David G Rethwisch; tradução Sergio Murilo Stamile Soares; revisão técnica José Roberto Moraes d’Almeida. – [Reimpr.]. Rio de Janeiro : LTC, 2013.

CHALLONER, Jack; [tradução Carolina Alfaro, Pedro Jorgensen, Paulo Polzonoff Junior]. **1001 invenções que mudaram o mundo.** Rio de Janeiro: Sextante, 2010.

GOMES, Luiz Sérgio Marcelino. **Biomateriais em artroplastia de quadril; propriedades, estruturas e composição.** Clínica ortopédica da SBOT. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 2013.

<http://www.iafortopedia.com.br/orientacoes-para-pacientes/quadril/> Acesso em 07/09/15

ISRAEL, Charles Leonardo. **Desenvolvimento de uma máquina de desgaste em próteses totais de articulação de quadril.** Tese de doutorado. UFRS, 2010.

http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Pr%C3%B3tese+de+Quadril&lang=3 Acesso em 07/09/15

<http://medicinadoquadril.com.br/site/proteses> Acesso em 22/11/15

<http://sotstenio.blogspot.com.br/2009/04/artroplastia-do-quadril.html> Acesso em 22/11/15

<http://www.splabor.com.br/maleta-para-coleta/esqueletos/articulacao-do-quadril-resina-plastica-rigida-modelo-tg.html> Acesso em 07/09/15.

OLIVEIRA, André Luís de Lima. **Contribuição metodológica para investigar fenômenos de superfícies em tribossistemas protéticos articulares do quadril.** Tese de doutorado. Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

PORTO, Arthur José Vieira. **Usinagem de ultraprecisão**. São Carlos: RiMa, FAPESP, 2004.

SOUZA, Marcos Motta. **Estudo da Forma e da Rugosidade em Próteses Ortopédicas de Quadril**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

ZIMMER, Cíntia Gabriely ET al. **Análise de falha em implantes ortopédicos explantados: quatro casos de prótese de sistema de quadril**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Metalúrgica, de Minas e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2012.

e-TEC

CAPÍTULO V - ESTUDO DA BROCA DE METAL DURO COM E SEM REVESTIMENTO NO PROCESSO DE FURAÇÃO CNC UTILIZANDO AÇO ABNT1045

<LUAN GUSTAVO GUTTUZZO>¹
<APARECIDO SERAPIÃO DOS SANTOS>²
<ANTONIO CARLOS RODRIGUES>³

Resumo: A usinagem esta presente em quase todos os processos da indústria e a melhoria contínua é um item imprescindível para o crescimento da competitividade das empresas no mercado de trabalho. Uma maneira de aperfeiçoar o processo é melhorar a qualidade das ferramentas aplicando um revestimento. O objetivo deste trabalho e de analisar o rendimento da ferramenta com e sem o revestimento, proposto durante o período de produção utilizando como critério para análise a vida útil da broca de metal duro assinalada com evidência em um documento. Conclui-se que com a implantação de um revestimento Hélica no ferramental, junto com parâmetros adequados, proporciona um maior rendimento melhorando qualidade e custos do processo de furação em usinagens de precisão.

Palavras-chave: Usinagem, produção, revestimento.

Abstract: The machining is present in almost all processes in the industry and continuous improvement is an essential element for the growth of the competitiveness of companies in the labor market. One way to improve the process is to improve the quality of the tools by applying a coating. The objective of this work is to analyze the performance of the tool with and without the coating, proposed during the production period using as criterion to analyze the useful life of the carbide drill indicated with evidence in a document. It is concluded that the implantation of a helical coating in the tooling, along with suitable parameters, provides a higher yield improving the quality and costs of the drilling process in precision machining.

Keywords: Machining, production, coating.

¹ Discente graduando em Tecnologia de Fabricação Mecânica, Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; luan_guttuzzo321@hotmail.com.

² Orientador Especialista em Engenharia de Automação, docente da Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; aparecido.serapiao@pr.senai.br.

³ Orientador Especialista em Engenharia de Manutenção Industrial, docente da Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; aparecido.rodrigues@pr.senai.br

1. INTRODUÇÃO

A ferramenta quando vem de fábrica é estipulado um valor de sua vida útil, calculado em metros, onde ao chegar esse limite é necessária a troca da mesma e consequentemente enviar para uma empresa que realize sua reafiação.

Primeiramente Diniz (1998, pág. 151) afirma que “pode-se entender usinabilidade como o grau de dificuldade de se usar um determinado material” e para melhor compreender o conceito de usinabilidade, é importante conhecer quais as variáveis do processo que estão envolvidas:

Usinabilidade depende de dois fatores: estado metalúrgico da peça, dureza, propriedades mecânicas do material, composição química, condições da usinagem, que seriam as características da ferramenta, condições de refrigeração, rigidez da máquina, da ferramenta, do dispositivo, e as operações que a ferramenta executa no momento da usinagem, corte contínuo ou intermitente, condições de entrada e saída da ferramenta. (DINIZ, 1998).

Alguns aspectos são importantes durante a execução do processo de usinabilidade, tais como; material a ser usinado, vida útil da ferramenta, acabamento superficial da peça, esforços de corte, temperatura de corte, produtividade, e características do cavaco.

O processo mais utilizado nas indústrias de hoje em dia é a furação, com base nos conhecimentos de usinabilidade, percebe-se que a maioria das peças feitas nos tornos CNCs possui esse processo, com isso seu estudo é de elevada importância.

Uma das ferramentas mais utilizada para executar furação é a broca helicoidal de aço rápido, devido às máquinas não alcançarem alta rotação para avançar no processo.

Diniz (1998, pág. 197), afirma que “a utilização de broca de metal duro em máquinas modernas, que possibilitam alta rotação e rigidez, tem permitido a obtenção de furos mais precisos, muitas vezes sem utilização de furos de centro e/ou de pré-furos”.

Consequentemente diminuindo tempo de furação, número de ferramentas, garantindo medidas e acabamentos ajustados através do tempo efetivo de corte da ferramenta programado na máquina. A figura 1 demonstra modelo de broca helicoidal com e sem revestimentos.

Figura 3 - Broca Com e Sem Revestimento Respectivamente.



Fonte: Oerlikon Balzers.

O revestimento é um processo já conhecido na indústria e tem como propósito aumentar o rendimento da ferramenta, diminuindo seu coeficiente de atrito, seu esforço de corte, aumentar a dureza da ferramenta e etc.

Este trabalho tem por objetivo realizar um estudo do comportamento da broca de metal duro com e sem revestimento no processo de furação CNC utilizando o aço ABNT1045. Busca-se demonstrar o desgaste da ferramenta durante a usinagem, verificando a vida útil, compreender se houve um aumento de rendimento da ferramenta e o quanto influenciou nos custos do processo.

O trabalho apresentado está discriminado com bases no referencial teórico, que tem como finalidade fortalecer os conceitos apresentados e através do estudo de caso em observações feitas nos testes realizados em uma empresa de usinagem CNC, o acompanhamento do processo de furação utilizado como ferramenta a broca de metal duro com e sem revestimento, a fim de demonstrar seus desempenhos.

O material a ser escolhido para o trabalho foi o aço 1045 a fim de compreender o rendimento da ferramenta durante o processo, e após isso,

comparar os resultados obtidos de forma a apresentar os benefícios e ganhos que um processo de furação poderá obter com esta melhoria de processo.

2 fundamentação teórica

2.1 USINABILIDADE

O atual cenário econômico exige que as organizações sejam cada vez mais competitivas garantindo a qualidade de seus produtos. Deve destacar a importância da usinagem no processo produtivo na indústria, sendo um dos mais importantes segmentos, pois é difícil algo ser produzido sem que tenha passado por algum processo dessa natureza. (DINIZ, MARCONDEZ, COPPINI, 2013, pg. 151):

Usinabilidade pode ser definida como uma grandeza tecnológica que expressa, por meio de um valor numérico comparativo (índice de usinabilidade), um conjunto de propriedades de usinagem de um material em relação ao outro tomado como padrão.

Baseado nos conceitos acima, podemos entender o termo usinabilidade como o grau de dificuldade de usar certo material, pois a usinabilidade não depende somente do estado do material, mas também da máquina que irá ser utilizada para a realização de tal processo, fluidos de corte com concentrações estáveis, dispositivos de fixação das peças e os parâmetros de corte que corretos obtém rendimento e velocidade, todos esses fatores contribuem para a boa usinabilidade do material.

A usinabilidade depende do estado metalúrgico da peça, da dureza, das propriedades mecânicas do material, de sua composição química, das operações anteriores efetuadas sobre o material (sejam a quente ou a frio) e do eventual encruamento. (DINIZ, MARCONDEZ, COPPINI, 2013 pg. 151).

Portanto, segundo os autores supramencionados entendem-se como prioridades de usinagem, aquilo que expressa seu efeito sobre grandezas mensuráveis inerentes ao processo, dentre elas podemos destacar a vida útil da ferramenta, o acabamento superficial da peça, esforços e temperaturas de corte, a produtividade e as características do cavaco.

2.2 O processo de furação

A usinagem é composta de vários processos destinados aos materiais dentre eles (torneamento, fresamento, retificação, laminação, furação etc.). Entretanto aprofundaremos nosso estudo no processo de furação que segundo os autores (DINIZ, MARCONDEZ, COPPINI, 2013 pg. 197) é um dos processos de usinagem mais utilizados nas indústrias manufatureiras.

Todavia é apontado que este processo mesmo sendo tão utilizado recebeu poucos avanços tecnológicos há alguns anos atrás, visto que, ferramentas de outros processos como fresamento e torneamento, tiveram a progressão rápida com a inserção de novos materiais como o metal duro, cerâmica, nitreto de boro cúbico e diamantes. Já no processo de furação a ferramenta mais utilizada nas indústrias é a broca de aço rápido. Os autores exemplificam estes termos da seguinte maneira:

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 bem utilizada com velocidades compatíveis ao metal duro (V^c em torno de 200 m/ min), precisaria de uma rotação de ordem de 6400 RPM, muito alto para boa parte das máquinas utilizadas em furação. (DINIZ, MARCONDEZ, COPPINI, 2013 pg. 195).

Porém atualmente a utilização do processo de furação tem crescido em centros de usinagem, é facilmente encontrado máquinas deste tipo propiciando rotações do eixo-árvore superiores a 6000 RPM. A partir disso, inúmeros desenvolvimentos têm ocorrido na presença dos materiais de furação dentre eles:

Broca inteiriça de metal duro: quando o furo é pequeno (menor que 20 mm) e a máquina possui rotação, rigidez e potência suficientes, essa broca é uma boa alternativa. (DINIZ, MARCONDEZ, COPPINI, 2013 pg. 196).

Diniz, Anselmo Eduardo (2013, pg. 197) nos conta que “a utilização de brocas de metal duro em máquinas modernas, que possibilitam alta rotação e rigidez, tem permitido a obtenção de furos mais precisos (da ordem de IT9), muitas vezes sem a utilização de brocas de centro e/ou pré-furos”.

2.3 O processo CNC

Para um processo de furação mais eficiente e preciso, é utilizada a tecnologia CNC, onde a máquina executa o comando (ou ciclos) que são informados a ela. Atualmente, devido aos avanços tecnológicos, grande parte de indústrias metalúrgicas optam por esse equipamento, devido á suas vantagens na usinagem, tanto na produção quanto na precisão.

As empresas investem em máquinas-ferramenta CNC para aumentar sua capacidade competitiva através do aumento da flexibilidade, melhoria da qualidade, redução dos tempos de ciclos e habilidade de produzir lotes pequenos de maneira econômica. (SLACK, 1997 In IVAN CORRER. 2006).

Segundo Degarmo (1997) in Ivan Correr (2006) a tecnologia CNC recebeu altos investimentos nos últimos anos, visto que, a empresa ao adquirir esse equipamento tem como maior objetivo aumentar sua competitividade através de melhorias que a mesma propicia nos processos de produção, dentre elas podemos citar o aumento de flexibilidade, tempos reduzidos e a habilidade de produzir lotes pequenos de maneira econômica, podendo assim aperfeiçoar todo o processo.

Através destes conceitos podemos afirmar que o CNC é considerado dentre os processos de fabricação o mais dinâmico constituindo um dos maiores desenvolvimentos de automatização das máquinas operatrizes de usinagem. (LEATHAM, 1986) in (IVAN CORRER. 2006).

2.4 Aço 1045

Os aços podem ser classificados em grupos, em base de propriedades comuns: Composição, como aços-carbono e aços-ligas; Processos de acabamento, como aços laminados a quente ou a frio; Forma do produto acabado, como barras, chapas grossas ou finas, tiras tubos ou perfis estruturais.

Uma das classificações mais generalizadas, e a que serviu de base para a usada no Brasil sendo a que considera a composição química do aço, dentro dos sistemas conhecidos os mais usados são os da AISI (American Iron and Steel Institute) e da SAE (Society of Automotive Engineers).

No caso dessas duas classificações a nomenclatura coincide, tendo como exemplo o aço SAE/AISI 1045, os dois últimos dígitos informam a porcentagem de carbono do aço multiplicado por 100, ou seja, o aço exemplificado tem 0,45% de carbono, já os dois primeiros dígitos diferenciam os vários tipos de aços, pela presença do carbono como principal

elemento de liga ou pela presença de outros elementos de liga, como níquel, cromo, etc. (V. Chiaverini 1982).

Baseados nos conceito de (V. Chiaverini 1982) no caso do aço 1045, o numero 10 tem o significado simplesmente do carbono, outros exemplos são os da família 11, que são aços de fácil usinagem com alto teor de enxofre, ou aços 40 que apresentam 0,25% de molibdênio em média.

A princípio as propriedades mecânicas são afetadas pelos seguintes aspectos: a composição química e a microestrutura, limite de escoamento, o limite da resistência á tração e a dureza “... o elemento predominante é carbono que, à medida que aumenta, melhora as propriedades relativas à resistência mecânica”. (V Chiaverini 1982). Em contrapartida, tende a piorar a ductilidade e a tenacidade.

“Microestrutura - Está é inicialmente afetada pela composição química. Pois os constituintes presentes são ferrita, perlita e cementita, combinados de acordo com o tipo do aço, eutetóide, hipereutetóide, hipoeutetóide”. (V. Chiaverini. 1982).

Entretanto a microestrutura das ações é influenciada também pelos seguintes fatores: Estado ou condição do aço, sob o ponto de vista de fabricação, se fundido, trabalhado a quente (laminado, forjado) ou trabalhado a frio, tamanho de grão austenítico, velocidade de resfriamento.

No estado encruado os efeitos mais importantes dão os seguintes: Aumento da resistência mecânica; aumento da dureza; diminuição da ductilidade representada por um decréscimo de alongamento a estrição. (V Chiaverini 1982).

Em seu estado fundido o aço apresenta uma grosseira granulação, do tipo dentritico, pelo fato da austenita se formar a partir de altas temperaturas e o esfriamento do interior dos moldes é muito lento. (V Chiaverini 1982).

2.5 Ferramentas de corte

A usinagem consiste na remoção de cavaco, para realizar essa operação utilizam-se alguns tipos de ferramentas de corte que possuem formatos variados. Os elementos em sua composição geralmente são mais duros que os materiais que serão usinados com a mesma.

É vasta a diversidade dos materiais para ferramentas e é notório que as mesmas vêm evoluindo ao longo dos anos devido ao surgimento de materiais mais duros para usinar. Entretanto (Machado, Abrão, Coelho, Silva

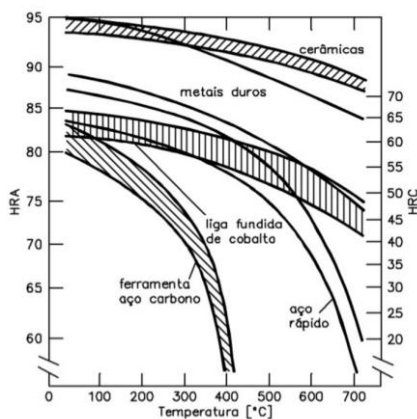
2011) apresentam alguns materiais que se fabricam para as ferramentas de corte (Aços- Carbono, aços ligados, aços rápidos, aços rápidos revestidos, aço rápido produzido pela metalurgia do pó, ligas fundidas, cermets, cerâmica a base de Al_2O_3 , Diamante e nitreto cúbico de coró, metal duro e metal duro revestido).

A escolha da ferramenta de corte é feita segundo da seguinte maneira:

Sendo a dureza a primeira propriedade importante para uma ferramenta de corte, Nota-se que até mesmo o metal duro e as cerâmicas têm suas propriedades reduzidas pela temperatura. Isso garante a aplicação dessas ferramentas sem condições de corte bem mais severas que as que podem se submeter os aços rápidos. (Machado, Abrão, Coelho, Silva 2011).

A figura 2 apresenta um diagrama que demonstra a variação de dureza de alguns materiais de ferramentas de corte em relação à temperatura.

Figura 4 - Variação de dureza de alguns materiais de ferramentas de corte.



Fonte: Komanduri, 2007.

Portanto seguindo os conceitos dos autores supramencionados a variedade de ferramentas de corte disponível no mercado cresceu bastante, ocasionando a necessidade de conhecer o processo que se utilizará a ferramenta para selecionar a que melhor se enquadra com as necessidades da usinagem.

2.6 Revestimento

Os revestimentos ou coberturas sobre as ferramentas de corte como brocas, fresas, alargadores e escariadores, servem para fortalecer a aresta de corte aumentando a resistência de desgaste, isolamento térmico, lubricidade e resistência a ataque químico.

O revestimento de ferramentas de metal duro ganhou uma importância muito grande, pois tal revestimento pode garantir um desempenho bem superior á ferramenta sem revestimento na usinagem de materiais ferrosos, sendo estes os materiais mais utilizados na indústria mecânica. (MACHADO; ABRÃO; COELHO; SILVA 2012).

Os autores (MACHADO; ABRÃO; COELHO; SILVA. 2012) apontam que dentre todos os materiais revestidos nas indústrias, os revestidos são os mais rentáveis, pelo fato de aperfeiçoar o trabalho, pelo fato de poder ser submetido á diversas técnicas de revestimento, o que gera um custo mais acessível os investidores.

Os revestimentos podem ser aplicados a partir de substratos de qualquer classe de metal duro. Ao contrario de ferramentas de aço revestidos que utilizam apenas o processo PVD (Disposição física de vapor), os metais duros podem receber tanto este mesmo processo quanto o processo CVD (Deposição química de vapor), demonstrando a diferença entre eles no quadro 1 abaixo:

Quadro 1 - Comparação de ferramentas revestidas pelos processos CVD e PVD.

	CVD – Deposição química de vapor	PVD – Deposição física de vapor
Temperatura de revestimento	Aproximadamente 1000°C	Aproximadamente 500°C
Tenacidade	Reduzida	Não e afetada
Aresta de corte	Arredondamento requerido	Pode ser quina viva
Espessura do revestimento	Até 12 µm	Até 4 µm
Camadas	Multicamadas TiC – TiN, TiN – TiCN – TiN, TiC - Al ₂ C ₃	TiN, TiCN, TiAl

Principais aplicações	Torneamento e mandrilamento	Fresamento, roscamento e furação.
Vantagens	<p>Maior resistência ao desgaste</p> <p>Maior resistência a craterização</p> <p>Grande vida da ferramenta</p>	<p>Substitui ferramentas sem revestimento: com mesma tenacidade, mesma configuração de aresta e mesma precisão.</p> <p>Reduz APC</p> <p>Maior vida da ferramenta</p>

Fonte: Machado Abrão Coelho Silva, 2012.

Por este fato, a utilização de altas temperaturas não acarreta em problemas ou alterações metalúrgicas para o metal duro. Segundo os conceitos dos autores (MACHADO; ABRÃO; COELHO; SILVA. 2012) outra variável na seleção de uma ferramenta de metal duro revestido é o número de camadas existentes, visto que, este revestimento pode ser apresentado em uma única camada de TIC, ou da maneira mais comum em um triplo revestimento (TIC, TICN e TIN).

Segundo os autores cada camada apresenta sua função específica e sua associação permite que o material apresente todas as vantagens possíveis de se obter através da técnica utilizada. "Normalmente, o TIC ou o TICN são revestimentos muito utilizados como a primeira camada, pois garantem uma coesão muito boa com o substrato" (MACHADO; ABRÃO; COELHO; SILVA. 2012) Além disso, o TIC é um dos revestimentos mais duros já utilizados e que garantem maior resistência ao desgaste.

Outro revestimento bem empregado nas ferramentas de metal duro é o Al₂O₃ que apresenta inúmeras vantagens, dentre elas podemos destacar a inércia química e a dureza, portanto mais resistente ao desgaste.

Outra característica positiva do mesmo citado pelos autores é a redução de sua condutividade térmica, ou seja, tende a garantir uma barreira térmica para a superfície da ferramenta. (MACHADO; ABRÃO; COELHO; SILVA. 2012).

Salienta-se que no revestimento, ao contrário do substrato, quanto menor a condutividade térmica, melhor, pois menor será a quantidade de calor que chegará ao substrato. Já para o substrato, quanto maior a condutividade térmica, melhor, pois o calor que chega será mais rapidamente disparado. (MACHADO; ABRÃO; COELHO; SILVA. 2012).

(MACHADO; ABRÃO; COELHO; SILVA. 2012) Apontam que nos dias atuais podemos encontrar no mercado ferramentas de metal duro com revestimento em diamante policristalino (PCD) conseguidas através do processo CVD. Neste caso a camada de revestimento é única e sua espessura é maior que a normal. São aplicados esses revestimentos em arestas com ângulo de saída positivo para desbaste dos materiais ferrosos. Dentre eles pode-se citar o alumínio, plásticos e compósitos.

A figura 5 demonstra a ferramenta, máquina e o material na realização do processo.

Figura 5 – Ferramenta Posicionada para Usinagem.



Fonte: Autor.

3 METODOLOGIA

A realização do experimento foi baseada na produção de uma empresa de usinagem que necessitava atender seu cliente, realizava-se a fabricação de peças em aço 1045, utilizando um torno CNC de alto desempenho, com processo e ferramental definidos.

A fabricação utilizava um processo de furação com uma broca de metal duro sem revestimento, obtendo certo rendimento dessa ferramenta durante o trabalho. Com a necessidade de melhoria contínua devida alta concorrência no mercado, notou-se a oportunidade de melhorar o rendimento dessa ferramenta através de um revestimento.

Ao executar a fabricação das peças, iniciou-se uma avaliação do processo de furação durante a usinagem, medindo o rendimento através de lotes diferentes de peças. O método adotado na execução dos testes foi o

mesmo para os dois tipos de brocas (com e sem revestimento), acompanhando e utilizando o documento para anotar os resultados obtidos.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados no decorrer do teste experimental foram: corpo de prova, ferramenta de corte utilizada, máquina-ferramenta, instrumentos de medição, parâmetros de usinagem, revestimento de ferramenta e documentos de registro.

3.1.1 Corpo de Prova

Para fabricação do corpo de prova utilizado no experimento demonstrado na figura 4, o material disponível foi de forma cilíndrica cujo diâmetro era de 34,925 milímetros (1.3/8 polegadas).

Figura 6 - Corpo de prova usinado.



Fonte: Autor.

O material foi furado no comprimento de 45 milímetros com uma broca de 12.5 milímetros de diâmetro.

No Quadro 2, é mostrado a composição química do aço ABNT 1045 utilizado:

Quadro 2 – Composição Química aço ABNT 1045.

Elemento	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo	Ni (%)	S (%)	P (%)
Teor	0,45	0,20	0,67	0,07	XX	0,04	0,02 0	0,01 7

Fonte: Chiaverini, 1982.

Os dados disponíveis no quadro 2 são de suma importância no momento de definir parâmetros de corte para realizar o processo.

3.1.2. Máquina – Ferramenta

Para realização da furação CNC, foi utilizado o Torno CNC Romi GL350B (Figura 8), esta possui as seguintes características:

- Potência do motor principal: 4020 CV (cavalo vapor);
- Faixa de velocidades: 6 a 6.000 RPM (rotação por minuto);
- Avanço Rápido Longitudinal: 30 (milímetros por segundo);
- Avanço Rápido Transversal: 30 (milímetros por segundo);
- Comando CNC: Fanuc;
- Número de ferramentas: 12;

Figura 5 - Torno CNC Romi GL 350B.



Fonte: Autor.

Essas características técnicas da máquina foram obtidas junto ao site do fabricante.

3.1.3. Ferramenta de Corte

Para realização do experimento utilizou-se brocas de metal duro com e sem revestimento (Figura 6 e 7 respectivamente).

Figura 6 - Broca com revestimento utilizada.



Fonte: Autor.

Figura 7 - Broca sem revestimento utilizada.



Fonte: Autor.

Para realizar a furação foi utilizada a broca de MD (metal duro), este que possui as seguintes características:

- Fabricante: Guhring;
- Descrição do fabricante: Broca MD serie 5510 alta penetração;
- Ângulo de ponta: 140°;
- Velocidade de Corte (V_c): 80 - 100 m/min (metros por minuto);
- Avanço de corte: 0.15 – 0.20 mm/vol (milímetros por volta);

Essas informações foram obtidas no catálogo no site do fabricante de ferramentas.

3.1.4. Revestimento Hélica.

Utilizamos na realização do processo, a cobertura BALANIT HÉLICA, que possui as seguintes propriedades:

Quadro 3 - Propriedades do revestimento.

Material do revestimento	AlCrN-based
Micro-dureza (HV 0.05)	3.000
Coefficiente de atrito no aço (seco)	0,25
Temperatura máxima de serviço (°C)	1.100
Cor do revestimento	Cobre

Fonte: Oerlikon Balzers.

Esse revestimento é indicado para processo de furação, proporcionando maior resistência à abrasão, uma menor tendência à adesão (aresta postiça), grande tenacidade e baixa rugosidade de sua superfície, permitindo aumentar claramente o rendimento da operação de furação.

3.1.5 Parâmetros de Corte

Os parâmetros de corte foram obtidos por meio do conhecimento do tipo de material e também pelos dados fornecidos pelo fabricante da ferramenta de furação e são apresentados a seguir:

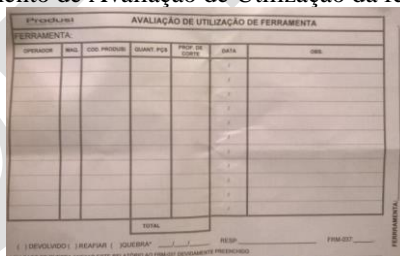
- Velocidade de Corte utilizada: 86 m/min;
- Avanço utilizado: 0,17 mm/vol;
- Profundidade de corte: 45 milímetros.

A profundidade de corte foi definida de acordo com o raio de ponta da ferramenta, assim a profundidade supera o valor do raio de ponta possibilitando a posterior análise.

3.1.6 Documento de Medição do Rendimento da Ferramenta.

Neste trabalho o documento de medição utilizado esta descrito a seguir na figura 8.

Figura 8 - Documento de Avaliação de Utilização da ferramenta.



O formulário, intitulado 'AValiação de Utilização de Ferramenta', contém uma tabela com as seguintes colunas: OPERADOR, MARCA, CÓDIGO PRODUTOR, QUANTIDADE DE PEÇAS, PROFUNDIDADE DE CORTE, DATA e OBS. A tabela possui 10 linhas para registro de dados. Abaixo da tabela, há um campo para 'TITULO' e uma seção de rodapé com o nome 'DEVELOPADO | LIGAPAR | QUALIBRA' e o número 'PRM-027'.

Fonte: Autor.

A figura 8 mostra o documento utilizado para medir a utilização da ferramenta e calcular seu rendimento por metro, onde são anotadas a quantidade de peças e a profundidade de corte que são essenciais para a execução dos cálculos.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os testes realizados e acompanhados nos mostram que a ferramenta com cobertura em sua área de contato com a peça rendeu praticamente o dobro de peças em relação à broca sem cobertura, demonstrados a partir da figura 9.

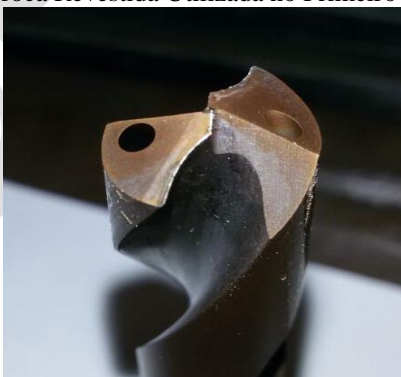
Figura 9 - Avaliação da Broca com Revestimento.

AVALIAÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTA						
FERRAMENTA						
OPERADOR	MAQ.	COD. PROGRAM.	QUANT. PEÇAS	PROF. DE CORTE	DATA	REMARKS
001	X	LOTE 1	825	45mm	25.05	BROCA COM COBERTURA
002	X	LOTE 2	917	45mm	03.06	"
003	X	LOTE 3	868	45mm	09.06	"
Número de Peças						
Profundidade de Corte						
$825 \times 45 = 37.12$						
METROS						
$917 \times 45 = 41.26$						
METROS						
$868 \times 45 = 39.06$						
METROS						
TOTAL						

Fonte: Autor.

A figura 9 demonstra o método de análise do desgaste, junto com o método de cálculo de seu rendimento, onde se multiplica a quantidade de peças fabricadas pela profundidade de corte, o resultado desta multiplicação é a utilização da ferramenta em metros, utilizando a mesma forma para a figura 11 adiante. A figura 10 mostra a ferramenta ao final do primeiro experimento.

Figura 10 - Broca Revestida Utilizada no Primeiro Lote.



Fonte: Autor.

A figura 10 demonstra visualmente o desgaste da broca com revestimento utilizada no lote 1, com rendimento de 825 peças e um total de

37,12 metros. A figura 11 mostra o rendimento da ferramenta sem revestimento.

Figura 11 - Avaliação da Broca sem Revestimento.

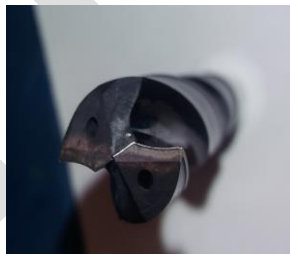
AVALIAÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTA						
FERRAMENTA						
OPERADOR	MAQ.	DIAM. PRECISO	QUANT. P/CA	TIPO DE COBRE	DATA	Obs
001	x	LOTE 3	789	45 mm	25/05	BROCA SEM COBERTURA
002	x	LOTE 2	403	45 mm	03/06	"
003	x	LOTE 9	373	45 mm	09/06	"
					NÚMERO DE PEÇAS	
					x	
					PROFUNDIDADE DE COBRE	
					384 x 45 = 17,28 metros	
					403 x 45 = 18,13 "	
					373 x 45 = 16,78 "	
TOTAL						

FERRAMENTA: BROCA METAL DADO Ø12,5mm

Fonte: Autor.

Na figura 11 acima, apresenta-se uma grande diferença em quantidade de peças feitas com apenas uma ferramenta, analisando os benefícios que esta melhoria proporciona. A figura 12 mostra a ferramenta ao final do primeiro experimento.

Figura 12 - Broca sem Revestimento Utilizada no Primeiro Lote.



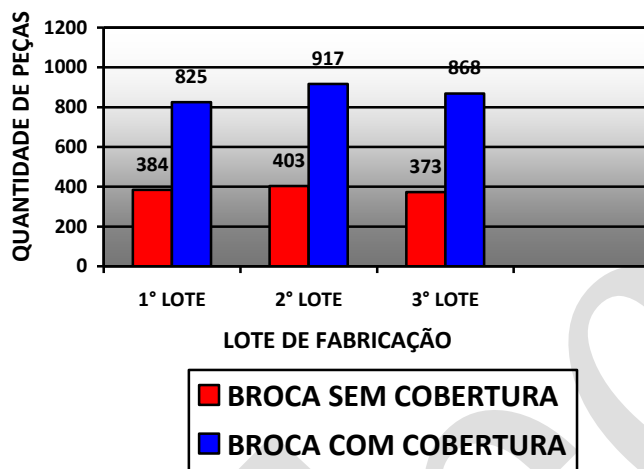
Fonte: Autor.

Na figura 12, a broca sem revestimento visualmente apresenta o mesmo desgaste que a broca com revestimento, porém com um número bem menor de peças fabricadas.

Tirando a média de peças fabricadas em três lotes, temos o resultado de 870 peças por broca com revestimento, e 387 peças por broca sem revestimento totalizando 483 peças a mais com este conceito de melhoria.

No gráfico 1 obtemos um ilustrativo representando a diferença de rendimento:

Gráfico 1 – Rendimento de ferramenta Quantidade de peças x Lote de fabricação.



Fonte: Autor.

Após concluir-se a análise de rendimento destacando no gráfico 1 as diferenças de rendimento, o próximo passo é demonstrar esses números convertidos em custos que a empresa reduziu na implantação da melhoria proposta.

Utilizando aproximadamente a média de peças que a ferramenta executou a furação (400 peças sem revestimento e 800 peças com revestimento) e a produção da empresa mensal (em torno de 5000 mil peças), constatou se que houve redução no custo, demonstrado no quadro 4 abaixo:

Quadro 4 - Comparação de custos de reafiação com x sem revestimento.

Lote de 5000 Peças.		
	Ferramenta com Revestimento	Ferramenta sem Revestimento
Número de Ferramentas Utilizadas no Lote	7	13
Custo de Reafiação	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Custo do Revestimento	R\$ 15,00	R\$ 00,00
Custo Total	R\$385,00	R\$520,00

Fonte: Autor.

Comparando e calculando os resultados obtidos e demonstrado no quadro 4, verifica-se que executar o revestimento nas ferramentas proporciona uma economia, diminuindo os custos totais obtendo redução do valor líquido.

Levando em conta também a troca de ferramenta, que leva em torno de 10 minutos, verifica-se a redução de tempo e custo, onde a hora máquina possui um valor médio de R\$100,00, demonstrado no quadro 5 abaixo:

Quadro 5 – Comparação de redução de custo com a troca de ferramenta.

Lote de 5000 Peças.		
	Ferramenta com Revestimento	Ferramenta sem Revestimento
Número de Ferramentas Utilizadas no Lote	7	13
Tempo de Troca de Ferramenta	10 minutos	10 minutos
Custo de Hora Máquina	R\$100,00	R\$ 100,00
Custo Total	R\$110,00	R\$210,00

Fonte: Autor.

Os dados do quadro 5 acima demonstram uma diminuição de tempo na troca da ferramenta durante o lote, conseqüentemente acelerando a produção.

5 Considerações Finais

Conforme análise e testes verifica-se que o revestimento de ferramentas proporciona um aumento em seu rendimento, conseqüentemente produzindo mais peças sem a necessidade de parada da produção, diminuindo o ciclo de fabricação e melhorando custo benefício para a troca da mesma dependendo da quantidade do lote.

A partir da constatação do aumento do rendimento da ferramenta, pode-se planejar a produção com uma maior eficiência, devida maior aproveitamento da ferramenta para a realização do serviço e o custo benefício que apresenta ainda mais vantagem no momento em que a ferramenta necessita de reafiação.

Como a reafiação de ferramenta é terceirizada e tem um determinado custo, a partir do momento que a empresa praticamente duplicou o rendimento de sua ferramenta e conseqüentemente aumentou a sua

produtividade com redução do número de afiações, gerou uma economia em seu processo.

Conclui-se com este trabalho que surtiu efeito reduzindo o número de afiações, a partir de um lote experimental de 5000 peças, constatou-se a redução de 13 ferramentas para 7 gerando uma economia com o custo do processo de usinagem.

O custo reduzido total para um lote de 5000 peças produzidas foi de R\$235,00 sendo (R\$135,00 de reafiações e R\$100,00 de hora máquina devido à redução do set up), ou seja, com a troca da broca sem revestimento para a revestida obteve-se uma forma de avanço tecnológico, garantindo o desempenho necessário para se adequarem às necessidades crescentes das tecnologias atuais de fabricação proporcionando uma melhora do processo sem a necessidade de investimento, melhorando a qualidade e reduzindo os gastos da instituição.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para pesquisas futuras:

- Experimentos em materiais mais duros, com maior porcentagem de carbono em sua composição.
- Investigar aplicação do revestimento em fresas.

REFERÊNCIAS

CHIAVERINI, V. ABM- Associação Brasileira de Materiais. São Paulo, 1982.

DEGARMO, E.P.; BLACK, J.J KOSHER, R. A. Materials and Process in Manufacturing. Prentice Hall, 1997.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. Tecnologia da Usinagem dos Materiais, São Paulo, 2013.

FERRARESI, Dino. Fundamentos da Usinagem dos Metais. São Paulo, 2012.

FITZPATRICK, Michael. Introdução aos Processos de Usinagem. Porto Alegre, 2013.

Guhring. Ferramentas. Disponível em:
<http://www.guhring.com.br/produtos/furacao/brocas-de-metal-duro>. Acesso em 29 de Março. 2016

Indústrias Romi. Máquinas. Disponível em:
<http://www.romi.com/produtos/linha-romi-gl/>. Acesso em 24 de Março. 2016.

LEATHAN, B.J. Introduction to Computer Numerical Control London. London: Pitman, 1986.

MACHADO, Alisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Márcio Bacci. Teoria da Usinagem dos Materiais. São Paulo, 2011.

Marmetini. M. M.; Beltrão. P. A. C. Análise comparativa do desempenho de brocas helicoidais revestidas com TIALN e ALCR na furação do aço SAE 4144 beneficiado. Disponível em:
<http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobef/2007/files/012008178.pdf>. 2007. Artigo.

Oerlikon Balzers. Ferramentas. Disponível em: <http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bbr/por/02-applications/03-cutt.php>. Acesso em 20 de março. 2016.

Rosa, S. N. Avaliação da superfície modificada de brocas de metal duro revestidas pelo processo de deposição física de vapor. Disponível em: <http://unicamp.sibi.usp.br/handle/SBURI/15931>. 2013. Artigo.

SLACK, N; CHAMBERS. S; HARLAND, C HARRISON, A JOSHSTON, R Administração da Produção. São Paulo: 1997.

Workfer Ferramentas. Disponível em: <http://www.workfer.com.br/brocas-de-metal-duro.asp>. Acesso em 22 de março. 2016.

Editora
FACULDADE DE TECNOLOGIA
SENAI LONDRINA - E-tec- V2-2018