Aplicação de Engenharia Reversa em uma fresa para usinagem de madeira

Giuliano Cesar Breda De Souza (UP) giuliano.breda@gmail.com
Jéssica Bruna Perussi (UP) jessicabrunaperussi@hotmail.com
Nailyn Andrade Moço (UP) nailyn_andrade@hotmail.com
Rafael Machado Guimarães (UP) rafael.mg@outlook.com.br

Resumo:
O atual cenário econômico demanda das empresas a criação, cada vez mais rápida, de produtos inovadores com custos reduzidos para que possam se manter competitivas frente aos concorrentes. Essa demanda faz com que a busca por ferramentas ou metodologias que auxiliem na obtenção destes quesitos cresça cada vez mais. Dentre as metodologias aplicáveis, pode-se citar a ER (Engenharia Reversa), cujo objetivo é a geração de documentos contendo informações técnicas do produto estudado para facilitar a fabricação de similares e acompanhar sua evolução. Para isso, existem ferramentas que auxiliam este processo, como a realização de análises metalográficas e ensaios mecânicos para se obter informações sobre as características do material utilizado para sua fabricação, bem como softwares para representação gráfica do produto. Este trabalho apresenta a aplicação desta metodologia com o auxílio da ferramenta SolidWorks para representação do produto e a realização dos ensaios micrográficos e de microduzeza para permitir a caracterização do material.
Palavras chave: Desenvolvimento de Produto, Ensaios Metalográficos, Engenharia Reversa.

Application of Reverse Engineering in a milling cutter for wood machining

Abstract
The current economic scenario requires companies to create, at a faster pace, innovative products with reduced costs so that they remain competitive against their competitors. This demand makes the search for tools or methodologies that aid in the persuit of these requirements grow more and more. Among the methodologies, we can mention the RE (Reverse Engineering), which objective is to generate documents, containing technical information of the studied product to facilitate the manufacture of similar and keep up with its development. Therefore, there are tools that support this process, such as perform metal analysis and mechanical testing to obtain information about the characteristics of the material used for its manufacture as well as the use of softwares for graphical representation of the product. This article presents an application of methodology with the aid of the SolidWorks tool for product representation and production of micrographic and microhardness tests to allow a characterization of the material.
Key-words: Product Development, Metallographic Testing, Reverse Engineering.

1. Introdução

O mundo globalizado e competitivo no qual as empresas estão hoje inseridas exige o desenvolvimento de produtos que promovam vantagem competitiva frente à concorrência e atendam as necessidades do mercado consumidor. Aliado à competitividade, a criação de novos produtos deve acompanhar o ritmo acelerado do mercado - principalmente no que se refere a produtos tecnológicos -, sempre prezando pela qualidade e redução de gastos relacionados a estudos e desenvolvimento de produto.

Para acompanhar o rápido desenvolvimento dos produtos e trazer inovações garantindo a qualidade e redução nos custos, as empresas utilizam diversas metodologias e técnicas que propiciam o alcance destes resultados. De acordo com Raja (2008), diversas empresas têm realizado investimentos em ferramentas que resultem na redução do ciclo de desenvolvimento do produto e que tragam benefícios à empresa dentre as quais se pode citar a Engenharia Reversa (ER).

O objetivo do presente trabalho é o de analisar um produto metálico, visando à obtenção de informações sobre suas características dimensionais, material de construção e tratamentos térmicos para reconstituir a documentação técnica que possibilitará a fabricação de um produto similar. Para apoiar este estudo serão utilizados: metrologia, ensaios metalográficos, ensaios mecânicos de dureza e *software* CAD para confecção do desenho técnico mecânico do produto analisado.

2. Engenharia reversa

Ao contrário do que se pensa a ER não tem seu uso destinado ao plágio, mas sim à análise multidisciplinar e desenvolvimento de novos produtos, segundo Aviz (2010). Porém, não se sabe quando e o que ocasionou o seu surgimento. Segundo Eilam (2005), a metodologia remonta a época da Revolução Industrial, porém o termo 'Engenharia Reversa', conforme Chikofsky e Cross II (1990) apresentam, originou-se do uso da metodologia na análise de *hardwares*.

Para Eilam (2005) ER é o processo de extrair dados ou desenhar objetos já existentes a fim de obter informações que não estão documentadas ou disponíveis publicamente. Em complemento a esta definição, Chikofsky e Cross II (1990), descrevem a metodologia como uma técnica que visa examinar um produto ou sistema, e não o alterar ou produzir cópias idênticas.

A aplicação da ER como metodologia de estudo e desenvolvimento de produto exige, segundo autores como Ferreira *et al* (2001) e Raja (2008), criar um modelo em 3D com as principais características do produto analisado. Ainda de acordo com Raja (2008), a aplicação da ER é dividida em três fases: medição da peça, processamento de alguns pontos específicos do produto e criação de um modelo 3D. Após a criação do novo modelo, o produto deverá passar por outras etapas como testes de qualidade.

Segundo autores como Eilam (2005), Chikofsky e Cross II (1990), Sokovic e Kopac (2003), e Raja (2008), há comum acordo de que o uso da ER reduz custos relacionados a ineficiência, manutenção, qualidade e tempo de estudo, desenvolvimento de produto e manufatura. Por isso é utilizada em áreas como ciência da computação, projetos, produção, manufatura, *design* e reprodução de joias e para fins militares.

3. Metrologia

Metrologia é definida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2012) como a "ciência da medição". Em complemento Bernardes (2010) afirma ser a unificação das medidas visando elevar a confiabilidade, credibilidade e qualidade, sendo, portanto,

considerada uma ciência multidisciplinar. Sua aplicação, segundo Ribeiro (2004), dá-se de 3 formas: técnica, para verificar se as dimensões do produto estão em conformidade com as especificações; legal, para controlar e validar se os produtos atendem à legislação, e científica, para o estudo e desenvolvimento de novas teorias. Com o passar dos anos, diversos instrumentos de medição surgiram e evoluíram, contribuindo para o desenvolvimento e aprimoramento desta ciência como um todo, produtos e serviços.

Com o desenvolvimento da humanidade e o início das transações comerciais surge, segundo Ribeiro (2004), a necessidade do uso de um sistema de medidas padrão, para tornar a troca de produtos e serviços possível e justa. Conforme o autor cita, existem dados históricos que comprovam o desenvolvimento das primeiras unidades de medida na época de 7000 a.C., porém somente no ano de 1873 um sistema foi adotado como padrão pela comunidade científica, o sistema CGS (centímetro-grama-segundo), desenvolvido na França no ano de 1795.

Porém, segundo Ribeiro (2004), o CGS não atendia todas as demandas da comunidade científica por abranger apenas medidas de comprimento, peso e tempo. De acordo com o autor, a necessidade de mensurar outras grandezas, como massa, peso e força, resulta no surgimento, em 1901, do sistema MKS (metro-quilograma-segundo), que define unidades de medida para estas grandezas. No ano de 1935 é adicionada, pela Comissão Internacional de Eletrotécnica (CEI), a unidade de medida para corrente, ampliando o sistema para MKSA (metro-quilograma-segundo-ampère).

Com os sistemas de medida para diferentes grandezas, decidiu-se criar um único que contemplasse todas as unidades de medida, de acordo com Ribeiro (2004). Portanto surge, em 1960, o Sistema Internacional (SI), visando estabelecer um padrão universal de medidas. Desde então, o SI é o sistema adotado por diversas áreas da ciência. Apesar do uso de medidas ser antigo, o termo "Metrologia", segundo Silva (2001), foi utilizado pela primeira vez em 1971, em um evento que envolvia diversos países da América Latina, realizado na Conferência de Brasília.

Segundo Silva *et al* (2000), em 1862 o sistema métrico foi adotado como padrão no Brasil, sendo utilizado até os dias de hoje, porém atendendo por outro nome, SI. Para avaliar, controlar e certificar o uso dos sistemas de medição em produtos e serviços surgiu, em 1973, segundo Silva (2001), o Sistema Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial (SINMETRO), tendo como único órgão creditador o Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

4. Desenho técnico

O desenho técnico é considerado por Ferreira *et al* (2008), como sendo uma ferramenta de auxílio às Engenharias e Arquitetura quando se trata de representação e desenvolvimento de novos produtos – sejam eles de qualquer natureza -, e edifícios. O autor define desenho técnico como sendo a "linguagem gráfica universal" das ciências citadas acima. Em complemento, segundo Ching (2011), apesar do avanço tecnológico, criação e desenvolvimento de diversos *softwares* de reprodução gráfica, o desenho manual tem a capacidade de representar objetos de modo mais claro e legível.

Desde a pré-história, segundo Cruz (2012), usam-se desenhos e figuras para representar, expressar e registrar informações, sentimentos ou para disseminar conhecimento, sendo seu uso anterior ao desenvolvimento da escrita. Durante o Renascimento – época de grande desenvolvimento e produção de conhecimento científico – surgem os primeiros desenhos voltados à Arquitetura e Engenharia, conforme cita Marques (2015). O uso da representação gráfica em áreas mais técnicas alavancou, segundo a autora, o surgimento da Geometria Descritiva, ciência desenvolvida pelo francês Gaspard Monge no ano de 1795, utilizada como

base para o desenvolvimento e aprimoramento do Desenho Técnico, e ganhando força durante a Revolução Industrial para representação de máquinas e novos produtos desenvolvidos nesta época.

Com a disseminação do desenho técnico e o crescente uso da ferramenta pelas diversas áreas das Engenharias e Arquitetura, convencionou-se que cada país pode, segundo Ferreira *et al* (2008), estabelecer suas próprias normas e regras de desenho técnico.

Porém, como resultado do desenvolvimento global e comercialização entre os países notou-se a necessidade de estabelecer normas universais, surgindo assim, em 1947, a comissão técnica International Organization for Standardization (ISO), segundo Ferreira *et al* (2008). Como explica o autor, quando um país desenvolve uma nova norma técnica e os demais a aprovam, ela pode ser internacionalizada e tornar-se exigência técnica pela ISO. No Brasil, o órgão responsável por aceitar e regularizar as normas de desenho técnico é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

4.1. Sistema CAD

Os sistemas CAD (Computador Auxiliando o Desenho) são definidos por Voisinet (1988) como ferramenta que auxilia na produção de um projeto através do uso de um computador. Em complemento, Kochan (1986) contextualiza que os sistemas CAD foram criados para suprir necessidades dos sistemas operacionais de representação gráfica, porém com o passar do tempo eles foram substituídos por sistemas mais robustos em associação de ambientes bem programados.

Segundo Lima (2003, p. 33) apud Sacchi (2000), a partir da década de 80 os sistemas CAD começaram a se transformar em uma das principais ferramentas no que diz respeito a desenvolvimento de produto, pois primeiramente se faz uma modelagem, em sistemas CAD, até finalizar posteriormente em um modelo físico geometricamente idêntico ao projetado.

Segundo o mesmo autor, com um desenho elaborado em um sistema CAD, a manipulação e as modificações podem ser realizadas com certa facilidade, mesmo que em desenhos mais complexos. Na ER, por diversas vezes, cria-se o modelo físico a partir de um desenho feito em sistema CAD e as alterações no projeto são realizadas e, posteriormente, recriadas para se ter a representação digital do modelo criado fisicamente, de acordo com o autor.

5. Metalografia

Segundo Baptista *et al* (2016) e Rohde (2010), a metalografia tem como objetivo relacionar a estrutura do material às suas propriedades físicas, podendo ser dividida em dois grupos, de acordo com o nível de detalhamento da análise que se pretende fazer:

a) Macrografia – Apresenta uma visão geral de quesitos do material como homogeneidade, distribuição de falhas e impurezas, processo de fabricação da peça, entre outros, devendo ser observada a olho nu ou com pouca ampliação (de até 50X);

b) Micrografia – Estudo do material com auxílio de equipamentos, como o microscópio, com o intuito de se analisar as fases, o tamanho e forma dos grãos, teor de carbono presente, entre outros.

Para realizar a análise metalográfica, é necessário utilizar um corpo de prova, que pode ou não ser embutido. Segundo Rohde (2010), o embutimento é de grande importância para os ensaios metalográficos, pois facilita o manuseio de peças de tamanho reduzido e evita que as arestas das peças danifiquem lixas e panos de polimento.

Para realizar o embutimento, muitas vezes, a peça precisa ser fracionada de forma a possibilitar

a análise metalográfica, cuidando para que a temperatura não ultrapasse os 100ºC, segundo Rohde (2010). O autor explica que altas temperaturas podem ocasionar a modificação da estrutura observada, alterando os resultados da análise.

De acordo com Baptista *et al* (2016), após o embutimento, é realizado o lixamento da amostra, sendo este passo essencial para a obtenção de uma superfície lisa e plana. O autor também adverte que podem surgir algumas deformações plásticas na superfície da amostra, ocasionadas pela dureza da peça, velocidade do lixamento e aumento da temperatura. Estas deformações geram uma imagem falsa e comprometem o resultado da análise.

Após a etapa de lixamento, segundo Rohde (2010), é realizado o polimento que segundo o autor é o processo que visa à obtenção de uma superfície isenta de marcas, podendo ser feito com o uso de abrasivos como pasta de diamante ou alumina.

Baptista *et al* (2016), afirmam que, para que seja possível a visualização dos grãos e das diferentes fases da microestrutura da amostra, é necessária a realização de um ataque químico, feito através do uso de um reagente escolhido com base no material que a compõem.

Callister (2010) afirma que a reatividade química ao ataque realizado em materiais monofásicos varia de acordo com a orientação cristalográfica dos grãos, portanto, em uma estrutura poli cristalina, as características irão alterar de grão para grão, o que afeta a forma como eles irão refletir a luz incidente, proporcionando melhor visualização dos contornos.

Além disso, o mesmo autor afirma que há formação de sulcos ao longo da região de contorno dos grãos devido ao ataque químico, pois os átomos desta região são, quimicamente, mais reativos. Esses sulcos se tornam mais fáceis de identificar, pois refletem a luz em direções diferentes daquelas que os grãos refletem.

Essas situações podem ser visualizadas através de um exame microscópico que, para Callister (2010), é de extrema importância para caracterização dos materiais. O autor elenca algumas das principais análises que podem ser feitas com o uso deste equipamento, como: compreender, corretamente, as associações entre propriedades, estrutura e defeitos, identificando as propriedades do material e determinar se foi realizado tratamento térmico no material e se este foi realizado corretamente.

Callister (2010) afirma que é necessário conhecer as propriedades mecânicas dos materiais para que se possa evitar o acontecimento de falhas ou de níveis de deformação acima do permitido para a estrutura ou componente em questão. Para isso, existem alguns tipos de ensaio que ajudam na identificação dessas características, como os ensaios de dureza, por exemplo.

Com estes ensaios, segundo o autor, busca-se mensurar o quão resistente é o material a uma deformação plástica feita de forma pontual. O princípio de funcionamento destes é verificar a profundidade ou tamanho da marca deixada após a utilização de um penetrador na superfície do material, com carga aplicada controlada.

Sua utilização é mais frequente que outros ensaios, devido a características como simplicidade do processo, custos menores para realização e pelo fato de ser um ensaio não destrutivo, permitindo que seja feito no produto acabado, sem a necessidade da preparação de um corpo de prova.

Dentro do grupo dos ensaios não destrutivos, pode-se citar, de acordo com Callister (2010):

a) Dureza de Rockwell – ensaio de dureza não destrutivo mais utilizado devido sua simplicidade. Neste ensaio pode-se obter diversas escalas através da utilização de penetradores de esferas de aço endurecida com diâmetros que variam de 1,588mm a 12,70mm ou de penetradores cônicos de diamante, combinados ao controle da carga aplicada. Segundo o autor,

o valor da dureza é determinado através da diferença da profundidade que o penetrador atinge com a utilização de uma carga inicial menor e posteriormente uma carga maior. Porém, como pontos negativos na utilização deste método, tem-se a imprecisão ocasionada por fatores como espessura do corpo de prova (caso seja feito), localidade da realização do ensaio (próximo às arestas do material) ou até mesmo a proximidade entre as duas medições;

b) Dureza de Brinell – baseado na utilização de um penetrador sob a superfície do material a ser analisado, sendo este geralmente feito de aço endurecido ou carbeto de tungstênio, com diâmetro de 10mm e cargas que variam entre 500 e 3000kgf. Neste ensaio a carga aplicada é mantida por um determinado tempo, que varia entre 10 e 30 segundos e os valores da dureza são obtidos pela relação da carga aplicada e o tamanho do diâmetro da marca deixada pelo penetrador. As exigências em questão de localidade da realização do ensaio e espessura do material são as mesmas do ensaio de dureza de Rockwell;

c) Dureza de Vickers – neste ensaio, de acordo com Baptista et al (2016) e Callister (2010), é utilizado um penetrador de tamanho reduzido, com forma piramidal feito de diamante. Callister (2010) afirma que as cargas necessárias para a realização deste ensaio são muito menores que as exigidas nos dois métodos citados acima, variando de 1kgf até 100kgf e o cálculo da dureza se baseia na observação feita da marca deixada pelo penetrador que, de acordo com Baptista *et al* (2016), é feita através do cálculo da média das duas diagonais da base da marca.

6. Descrição do produto

A máquina tupia de bancada (900mm x 900mm), do fabricante *Invicta* com eixo usinado de 29,8mm de diâmetro, é utilizada para a fabricação de móveis de madeira de uso residencial ou comercial, utilizando diferentes modelos de fresas, sendo um destes o objeto do estudo apresentado a seguir.

Cada modelo de fresa possui *design* apropriado para atender às especificações do projeto e se adequar ao material utilizado. Nas extremidades das fresas são colocadas pastilhas cujo objetivo é o corte e/ou desbaste da madeira, sendo ambas feitas de material metálico. A Figura 1 apresenta a fresa para usinagem de madeira analisada neste trabalho.

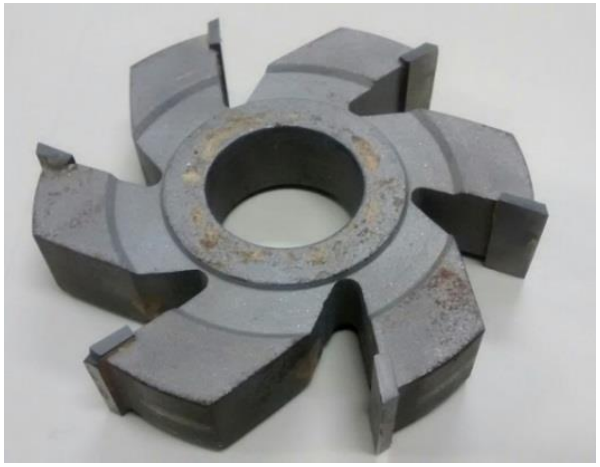


Figura 1 - Fresa utilizada para usinagem de madeira
Fonte: Autoria própria

7. Metodologia

Baseado nos conceitos da ER foram realizados o estudo das características e propriedades físicas do produto, a fim de gerar e documentar informações relevantes para sua reprodução. No início, foram obtidas as dimensões da peça, com o auxílio dos seguintes equipamentos de

medição: projetor de perfil Mitutoyo, com objetiva de 10X e opcionais de 20X, 50X e 100X, paquímetro quadridimensional, com capacidade de 150mm e resolução de 0,05mm, traçador de altura, com capacidade de 300mm e gabarito de raio com faixa de 1mm a 6,5mm, com incrementos de 0,25mm na faixa de 1 a 3mm e de 0,5mm na faixa de 3,5 a 6,5mm. Com base nesse levantamento, a peça foi modelada tridimensionalmente no CAD *SolidWorks*, tornando possível a geração do desenho técnico em 2D.

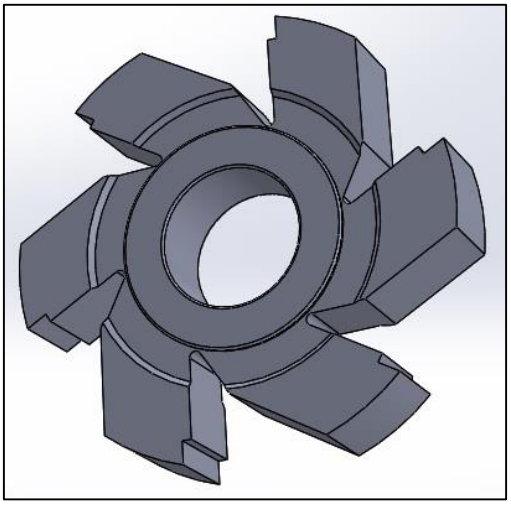


Figura 2: Representação tridimensional da peça no CAD *SolidWorks*
Fonte: Autoria Própria

Após reprodução em CAD, uma pequena amostra foi retirada através do uso de uma máquina de corte denominada *cut-off*, para os ensaios metalográfico e de microdureza. A Figura 3 apresenta a amostra retirada da peça.



Figura 3 - Amostra do objeto de estudo
Fonte: Autoria própria

Por se tratar de uma amostra de pequenas dimensões, esta foi embutida, facilitando os processos de lixar e polir. A amostra foi colocada na máquina de embutimento, juntamente com 10 gramas de baquelite e prensada por cerca de 8 minutos a uma pressão de 20 kN, conforme pode-se observar na figura 4.

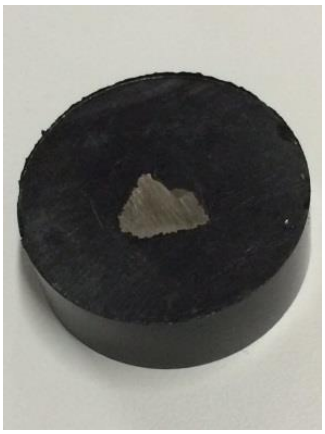


Figura 4 - Amostra embutida
Fonte: Autoria própria

Posteriormente, a amostra foi submetida ao processo de preparação, onde uma lixadeira metalográfica foi utilizada, com lixas de 4 diferentes gramaturas: 220mm, 320mm, 600mm e 1000mm. A cada novo lixamento – com a troca de gramatura - a amostra era rotacionada 90º em relação à última posição, para facilitar a detecção e reduzir os riscos resultantes do último lixamento. Após esta etapa, a superfície da amostra foi preparada para análise por meio de um disco com pano de polimento metalográfico e adição de alumina em suspensão, eliminando os riscos que ainda restaram.

Após o polimento, a amostra foi submersa por 30 segundos em Nital 2% – uma combinação de ácido nítrico (2%) e álcool etílico (98%) -, para realização do ataque químico. A análise e ensaio de dureza foram realizados em um microdurômetro (*Hardness Testing Machine*. HM-200, *Mitutoyo*). A estrutura da amostra pode ser observada na figura 5.

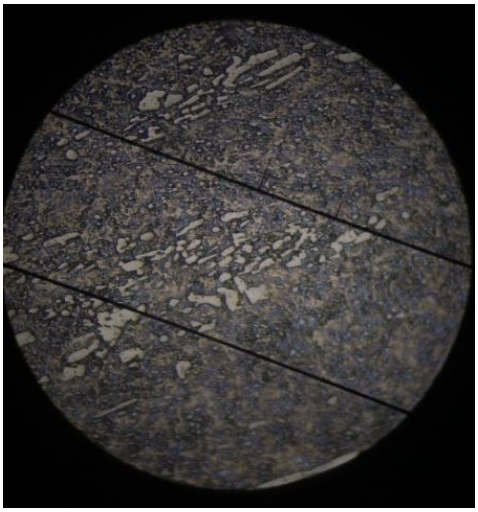


Figura 5 - Estrutura do material ampliada 400x
Fonte: Autoria Própria

Após análise micrográfica detectou-se que o objeto de estudo é composto por duas estruturas diferentes, uma mais clara e outra mais escura, sendo assimilada à de um aço rápido, conforme comparação entre as Figuras 6 (a) e (b):

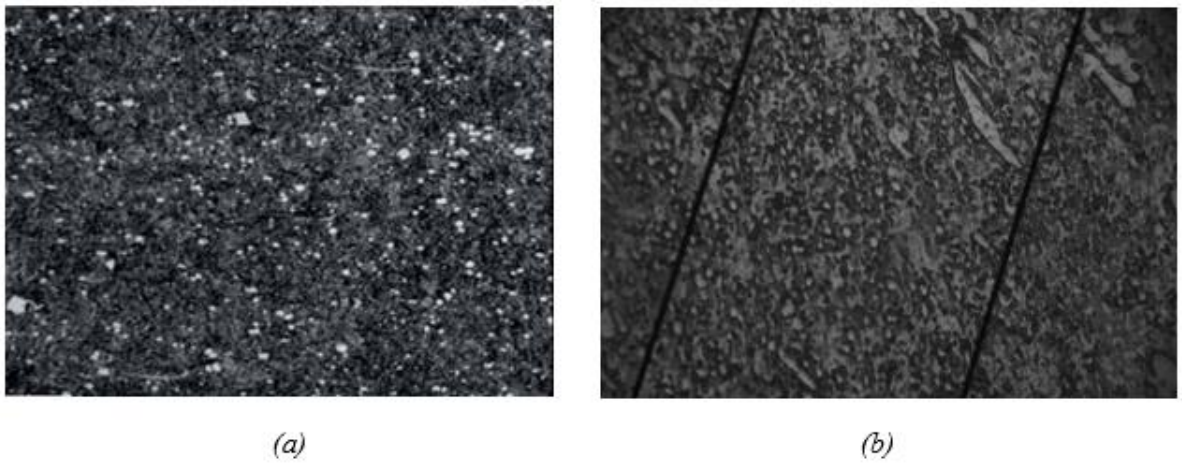


Figura 6 - Comparação entre a estrutura dos aços rápidos e do material analisado
(a) Microestrutura aço rápido (b) estrutura do material estudado
Fonte: A figura 6 (a) fonte: Bohler. Figura 6 (b) fonte: Autoria Própria

Para auxiliar no processo de caracterização do material foi realizado um ensaio de dureza em ambas as regiões (clara e escura). Executou-se o ensaio de dureza Vickers – com aplicação de 300kgf de carga, por aproximadamente 10 segundos.

Os valores encontrados foram de 786,5 HV (63,5 HRC – Dureza Rockwell "C") para a região clara, e 607,2 HV (55,7 HRC) para a região mais escura. A figura 7 apresenta a impressão do penetrador na amostra.

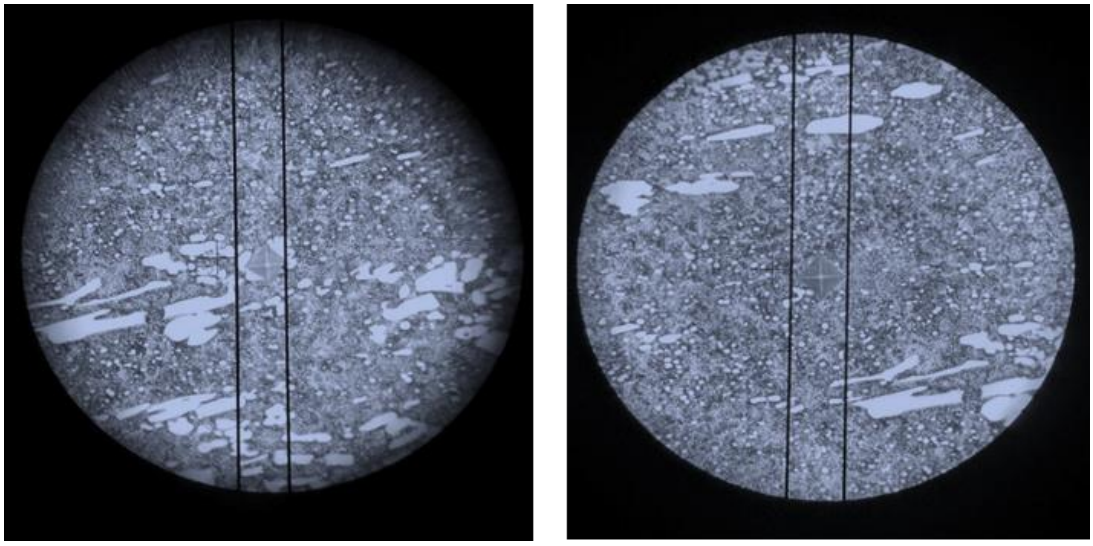


Figura 7 - Marca da impressão do penetrador utilizado no ensaio de dureza Vickers.
Fonte: Autoria Própria.

Após realização dos ensaios, comparou-se os valores de dureza obtidos com os esperados para aços rápidos que, de acordo com o *MatWeb* (2016), variam entre 513 HV (50 HRC) e 819 HV (64,5 HRC). Esses valores confirmam a estrutura do material.

Além disso, a diferença entre a dureza da região clara e escura evidenciam uma característica típica dos aços rápidos: a presença de carbonetos. De acordo com o fabricante Bohler (2016),

o carbono presente no aço forma os carbonetos, que tem como objetivo o aumento da resistência ao desgaste.

Já na região mais escura, de acordo com o mesmo autor, existe a presença de diversos componentes que formam o aço, como tungstênio, molibdênio, vanádio, cromo, etc. A escolha dos elementos e suas quantidades variam de acordo com os requisitos necessários à ferramenta que será fabricada, visto que cada um deles influencia no desempenho do produto final através das suas propriedades físicas e químicas.

8. Conclusão

A aplicação dos conceitos da ER, aliada aos ensaios metalográficos realizados, originou a produção deste artigo que contém informações técnicas do produto estudado, como dimensões e caracterização da estrutura do material. Os dados obtidos podem ser utilizados em caráter de consulta, seja para sua reprodução, alteração ou controle de qualidade. Os dados ainda podem ser utilizados para a criação de produtos similares, porém com custos e tempo de desenvolvimento reduzidos.

O estudo utilizou ferramentas específicas de metrologia para dimensionamento e, através do uso do *software SolidWorks*, o produto foi reproduzido tridimensionalmente, permitindo a visualização das características físicas e dimensões da peça, facilitando análises de alteração dimensional durante o desenvolvimento de um produto similar.

Os ensaios de microdureza auxiliaram na identificação da estrutura do material do produto estudado, pertencente à família dos aços rápidos e, pôde-se observar, de acordo com os resultados obtidos através do ensaio de dureza Vickers, que este material possui grau elevado de dureza.

Referências

AVIZ, D. de. *Estudo da Técnica de Engenharia Reversa para Construção de Geometrias Complexas focando Erros de Forma e Métodos de Digitalização Geométrica***.** Joinville: Instituto Superior Tupy, 2010. 147p.

BAPTISTA, A.L.B.; SOARES, A. R & NASCIMENTO, I.A. *O ensaio metalográfico no controle da qualidade.* UFF. Disponível em <http://www.spectru.com.br/ensaio_metal.pdf>. Acesso em 28 mai.2016.

BERNARDES, A. T.; SANTOS, M. C. H. dos; CARDOSO, C. A.; SANTOS, L. A. S. dos. *A Metrologia e a Avaliação da Conformidade no Ensino de Engenharia:* Uma Proposta do INMETRO. In: COBENGE, 2010, Fortaleza. Anais... p. 1-8.

BOHLER. *Survey of high speed steel grade.* Disponível em <http://www.bohler-brasil.com.br/br/b_1175.php>. Acesso em 16 jun. 2016

BOHLER UDDEHOLM. *Aços rápido*. Disponível em <http://www.bohler-uddeholm.com.br/media/bohler-uddeholm-RAPIDO.pdf>. Acesso em 05 jun.2016.

CALLISTER, W. D. JR. *Ciência e engenharia de materiais:* Uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CHIKOFSKY, E.J., CROSS II, J.H. *Reverse Engineering and Design Recovery:* A Taxonomy. IEEE Software, v.7, n.1, p. 13-17, 1990.

CHING, F. D. K. *Representação gráfica em arquitetura.* Porto Alegre: Bookman, 2011

CRUZ, M. da S. *A importância histórica do desenho e sua interface com o mercado no mundo contemporâneo.* São Paulo: Escola Superior de Propaganda e Marketing – ESPM, p. 1-13, 2012.

EILAM, E. *Reversing Secrets of Reverse Engineering.* Indianapolis, Indiana, Wiley Publishing, Inc., 2005.

FERREIRA, J.M.G.C.; ALVES, N.M.F.; MATEUS, A.J.S.; CUSTÓDIO, P.M.C. *Integrated product and tooling development via reverse engineering methodologies and rapid prototyping techniques.* Product: Management & Development, v. 1, p. 79-89, 2001.

FERREIRA, R. de C.; FALEIRO, H. T.; SOUZA, R. F. de. *Desenho Técnico.* Universidade Federal de Goiás. Goiânia, p. 1-49, 2008.

INMETRO. *Vocabulário Internacional de Metrologia:* Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados. 3. ed. Duque de Caxias: Inmetro, 2012.

KOCHAN, D. *Developments in Computer-Integrated Manufacturing.* Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg. Capítulos5, 6, 7 e 8, 1986.

LIMA, B. C. *Engenharia Reversa e Prototipagem Rápida Estudos de Casos.* Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, p. 33, 2003 apud

MARQUES, J. C. *O Ensino do Desenho Técnico e suas relações com a História da Matemática, da Arquitetura e a Computação Gráfica.* In: EBRAPEM, 2015, Juiz de Fora. Anais... p. 1-12.

MatWeb – *Material Property Data.* Disponível em <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=695427f2d1dc40b3a62a1a14fb5045b9>. Acesso em 07 jun.2016.

RAJA, V. *Introduction to Reverse Engineering. Reverse Engineering* - An Industrial. Londres: Springer, 2008 p. 1-8.

RIBEIRO, M. A. *Metrologia Industrial – Fundamentos da Confirmação Metrológica.* 6. ed. Salvador, 2004.

ROHDE, R. A. Metalografia. *Preparação de amostras:* Uma abordagem prática. Laboratório de ensaios mecânicos/URISAN, 2010.

SACCHI, R.; Poliakoff J. F.; HÄFELE K.-H. *Improved Extraction of Planar Segments for Scanned Surfaces.* IEEE. Department of Computing The Nottingham Trent University. Burton Street, Nottingham. England. 2000.

SILVA, C.A.; SILVA, E.G.L; SILVA, M.F. *Metrologia* – TeleCurso 2000. Disponível em <http://bmalbert.yolasite.com/resources/Telecurso%202000%20-%20Metrologia.pdf>. Acesso em 15 jun. 2016.

SILVA, E. A. da.; CAMPOS, R. de. *A Importância da Metrologia na Gestão Empresarial e na Competitividade do País.* In: ENEGEP, 2001, Salvador. Anais... p. 1-8.

SOKOVIC, M.; KOPAC, J. *RE (Reverse Engineering) as necessary phase by rapid product development.* In: ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING, 2001, pp. 825-830.

VOISINET, D. D. *CADD:* projeto e desenho auxiliados por computador: introdução, conceitos e aplicações. McGraw-Hill. São Paulo, 1988.