

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
RAYANE APARECIDA DANTAS

**PROCESSO DE BRUNIMENTO EM CAMISAS DE
CILINDROS**

Taubaté - SP
2019

RAYANE APARECIDA DANTAS

**PROCESSO DE BRUNIMENTO EM CAMISAS DE
CILINDROS**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. Msc Ivair Alves dos
Santos

Taubaté – SP

2019

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

D192p Dantas, Rayane Aparecida
Processo de brunimento em camisas de cilindros / Rayane Aparecida
Dantas. -- 2019.
37 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.

Orientação: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos, Departamento de
Engenharia Mecânica

1. Brunimento. 2. Ferramentas de corte. 3. Rugosidade. 4. Usinagem.
I. Título. II. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 671

Ficha catalográfica elaborada por **Shirlei Righeti – CRB-8/6995**

RAYANE APARECIDA DANTAS

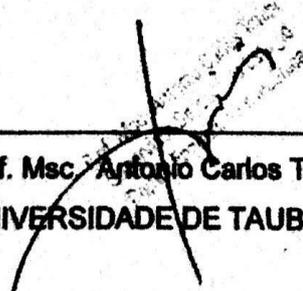
PROCESSO DE BRUNIMENTO EM CAMISAS DE CILINDROS

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

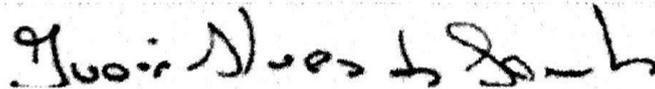
DATA: 27/05/2019

RESULTADO: APROVADO

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Msc. Antonio Carlos Tonini
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Dr. Msc Ivair Alves dos Santos
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus. Agradeço pela minha vida, minha inteligência e persistência, minha família e meus amigos.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados e sempre prontos a ajudar e passar todos seus conhecimentos.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Msc Ivair Alves dos Santos* por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

À minha família que sempre apoiou meus estudos.

Aos meus colegas de classe que fizeram toda diferença durante este ciclo de formação.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso, tem por finalidade evidenciar o processo de Brunimento, um dos mais complexos processos dentro da usinagem, muito aplicado na indústria automobilística especificamente em blocos de motores à combustão. Trata-se de um estudo de revisão de literatura, no qual serão utilizados artigos científicos em português e inglês de revistas indexadas nas bases de dados *Scielo* e Repositório da produção científica e Intelectual da Unicamp, bem como sites e livros. Neste contexto se descreverá primeiramente o conceito, principais métodos, características do processo de usinagem, levando em consideração as peculiaridades envolvidas em cada processo. Além disso, definir-se-á o que é o processo de Brunimento, evidenciando suas aplicações e métodos de controles de medições.

Palavras Chave: Usinagem. Brunimento. Rugosidade. Ferramentas de corte.

ABSTRACT

This work is to demonstrate the Brunimento process, one of the most complex machining processes, which is widely applied in the automotive industry, specifically in bladed engines. This is a literature review, in which scientific articles in Portuguese and English of journals indexed in the Scielo and Repository databases of the scientific and Intellectual production of Unicamp, as well as sites, books and Anhanguera Virtual Library. In this context, we will first describe the concept, main methods and characteristics of the machining process, taking into account the peculiarities involved in each process. In addition, it will be defined what is the process of Brunimento, evidencing its applications and methods of measurement controls.

Key Words: Machining. Honing process. Roughness. Cutting Toll.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detalhes dos grãos abrasivos de uma ferramenta	15
Figura 2 - Diferentes tipos de abrasivos de pedra de brunir	16
Figura 3 - Imperfeições que podem ser corrigidas pelo processo de brunimento	19
Figura 4 - Brunimento convencional	21
Figura 5 - Movimento realizado pela ferramenta e detalhes da superfície brunida ...	21
Figura 6 - Mandril e pedra de brunimento	22
Figura 7 - Aspecto superficial da ferramenta de brunimento de passe único.	22
Figura 8 - Ferramenta de brunimento convencional x ferramenta de passe único	23
Figura 9 - Brunimento à laser	24
Figura 10 - Geometria das ferramentas de brunir	26
Figura 11 - Diferentes ângulos de cruzamento – a) menor que 90° b) maior que 90°	28
Figura 12 - (a) Sistema de ensaio panorâmico; (b) Aspecto visual de uma superfície brunida	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipo de grão abrasivo, aplicações e parâmetros referenciais de corte de brunimento	17
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Grandezas de entrada do processo	27
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVOS	10
1.2	Objetivo Geral	10
1.3	Objetivos Específicos	11
1.4	Delimitação do Estudo	11
1.5	Relevância do Estudo	11
1.6	Organização do Trabalho.....	12
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1	Usinagem: conceito, métodos e características.	13
2.2	Ferramentas de corte.....	14
2.3	Refrigeração.....	17
2.4	Brunimento.....	18
2.5	Brunidora.....	20
2.6	Tipos de brunimento.....	20
2.6.1	Brunimento convencional.....	20
2.6.2	Brunimento de passe único	22
2.6.3	Brunimento a laser.....	23
2.7	GRANDEZAS DE ENTRADA.....	24
2.7.1	Sistema.....	24
2.7.2	Pressão de contato.....	24
2.7.3	Velocidade de corte	24
2.7.4	Tempo de brunimento.....	25
2.7.5	Comprimento do curso	25
2.7.6	Geometria da ferramenta.....	25
2.7.7	Especificação da ferramenta	26
2.7.8	Influência da peça no processo	26
2.7.9	Influência do fluido de corte.....	27
2.8	Controles de brunimento	27
2.9	Aplicabilidade do processo de brunimento	29
2.10	Brunimento de camisas de cilindros.....	30
3	METODOLOGIA	31
3.1	Classificação dos Métodos de Pesquisa	31
3.2	De acordo com a abordagem.....	31
3.3	De acordo com o objetivo.....	31

3.4	De acordo com os procedimentos técnicos.....	32
4	RESULTADOS	33
5	CONCLUSÃO	34
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Na necessidade de apresentar ao mercado produtos cada vez mais satisfatórios, as empresas automobilísticas procuram desenvolver constantemente componentes que atendam o crescente avanço tecnológico.

A redução no consumo de combustível e o controle de emissões em motores são questões debatidas globalmente para atender clientes que presam pela qualidade dos produtos e pelo meio ambiente. Esses resultados estão diretamente relacionados ao acabamento da superfície dos cilindros.

A superfície acabada precisa resistir ao atrito e elevadas temperaturas, armazenar lubrificantes e suportar carga. Através do processo de brunimento é possível conseguir o acabamento dentro das especificações exigidas, portanto, a qualidade do mesmo impacta diretamente na vida útil, rendimento, consumo, nível de emissão de poluentes e entre outros itens de desempenho. Por esses motivos as empresas mantêm em sigilo os procedimentos de brunimento das camisas dos blocos de motor. Juntamente com os fabricantes, elas procuram cada vez mais otimizar os processos de usinagem e os parâmetros de controle de qualidade das superfícies brunidas.

Para avaliar o acabamento final dos cilindros dos blocos de motores é utilizado parâmetros de rugosidade e controle do ângulo de brunimento. Essas inspeções visam diminuir o atrito gerado entre as camisas dos cilindros e pistões, além de reter fluidos que mantêm a lubrificação e refrigeração do sistema.

1.1 OBJETIVOS

1.2 Objetivo Geral

Esta pesquisa literária tem como objetivo estudar a metodologia DMAIC na gestão e sedimentação dos diversos incidentes que podem ocorrer com ferramentas durante o processo de usinagem tendo em vista potencializar a manufatura, aumentar a qualidade do produto final e minimizar os custos de fabricação de produtos usinados.

1.3 Objetivos Específicos

O objetivo específico deste trabalho, baseia-se em empregar a metodologia Seis Sigma (DMAIC) aos processos de uma empresa de Usinagem, constatando como esta abordagem pode ser extremamente eficaz para viabilizar vantagem competitiva à organização que a executa.

1.4 Delimitação do Estudo

Esta pesquisa literária foi desenvolvida em uma empresa automobilística localizada no Vale do Paraíba. A empresa possui processos de usinagens nesta planta há mais de 30 anos, sempre tendo como principais peças o bloco do motor, virabrequim e cabeçotes.

Após reuniões realizadas com os setores envolvidos no processo e análise dos indicadores de qualidade foi evidenciado a necessidade de aplicação da metodologia DMAIC na identificação de fatores que influenciam na qualidade do produto fabricado nas linhas de usinagens da mesma.

1.5 Relevância do Estudo

O tema abordado neste trabalho tem como princípio a aplicação da metodologia Seis Sigma (Método DMAIC) para análise e solução de problemas, visando à melhoria da produtividade e custos de usinagem pela racionalização do uso das ferramentas de corte. Tal metodologia foi baseada na aplicação dos conceitos de DMAIC. Com a aplicação destes conceitos foi possível identificar, qualificar e quantificar as variáveis que influem no acabamento dos cilindros de blocos de motores.

Este trabalho delimita-se ao estudo e aplicação da metodologia DMAIC em uma empresa automotiva situada na cidade no Vale do Paraíba, visando aprimorar a qualidade do produto, aumentar a produtividade e reduzir os custos.

1.6 Organização do Trabalho

O trabalho está estruturado em capítulos e subcapítulos. No capítulo 1, são expostos a justificativa do estudo, o escopo do trabalho, os objetivos e a metodologia adotada.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre processo de fabricação, especificamente o brunimento.

O capítulo 3 explica a metodologia adotada na pesquisa, apresentando como foi feita a coleta de dados da pesquisa.

O capítulo 4 apresenta as considerações finais, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas neste trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo aborda a utilização da metodologia DMAIC, descrevendo suas fases: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, com suas definições e modelo dentro do processo de Usinagem, envolvendo a qualidade que o mercado, nos dias de hoje, exige para o fabricante se manter em uma posição de destaque.

2.1 Usinagem: conceito, métodos e características.

Desde a época pré-histórica até os dias atuais o conceito de usinagem vem sendo aprimorado, muitos destes aconteceram durante Revolução Industrial, no século XX, com o intuito de desenvolver técnicas para uma maior produtividade, alinhadas com qualidade e baixo custo de obtenção para usinagem de novos materiais que iam sendo descobertos, matérias mais resistentes e duráveis, ou seja, materiais com uma usinabilidade mais complexa (MACHADO *et al*, 2011).

De acordo com Groover (2014) “Usinagem é um processo de fabricação em que uma ferramenta de corte afiada é utilizada para remover material e produzir o formato da peça desejada”.

Basicamente a usinagem é a remoção de material por uma ferramenta, gerando uma ação de cisalhamento que geram cavacos. O cavaco é a porção de material da peça retirada pela ferramenta, geralmente não possuem forma geométrica concreta, mas sim uma forma geométrica irregular (FERRARESI, 1970). É frequentemente utilizada na indústria, pela variedade de materiais que podem ser processados, e formas geométricas que se pode obter, além da precisão dimensional e um bom acabamento superficial (FITZPATRICK, 2013). Dentre os processos de usinagem mais conhecidos estão o torneamento, fresamento e furação. Contudo subsistem os processos por abrasivos, tal qual inclui a retificação e brunimento, por exemplo (GROOVER, 2014). Peças com geometrias complexas podem utilizar várias operações de usinagem, tanto de forma manual, utilizando tornos, fresas e furadeiras convencionais, como também com máquinas CNC e centros de usinagem, que utilizam várias ferramentas de corte no seu magazine de ferramentas (FITZPATRICK, 2013). Há variáveis que podem influenciar um bom acabamento, como por exemplo, afiação da ferramenta, velocidades de corte e avanço e refrigeração. Em função disso, é essencial o estudo do material, quanto a sua estrutura, análise da melhor ferramenta

a se utilizar e RPM, para que com isso possa obter um produto com qualidade (FITZPATRICK, 2013).

2.2 Ferramentas de corte.

Geralmente as ferramentas de corte são construídas de um material mais duro e resistente do que a peça. Todo processo terá que ser analisado de forma individual, pois depende de qual material será usinado, para a escolha correta de qual ferramenta será alocada para aquela operação. O maior desafio para os fabricantes de ferramenta tem sido justamente unir dureza com tenacidade, tendo em vista que são grandezas inversamente proporcionais. Para obter a união dessas grandezas o tratamento térmico, análise microestrutural, refinamento de grãos das ferramentas foram realizados. (MACHADO *et al.*, 2011).

Segundo Diniz (2000), a geometria de corte de uma ferramenta é uma das principais influenciadoras no desempenho da usinagem, o material da ferramenta pode ser o melhor e o mais resistente, mas se a geometria não for preparada corretamente não haverá êxito. Por isso foram definidas normas para a padronização da geometria de corte da ferramenta. Um exemplo de norma é a NBR 6163: Conceitos da técnica de usinagem; Geometria da cunha cortante; Terminologia (ABNT, 1980).

Fitzpatrick (2013) enfatiza que, existe grande variedade de ferramentas, de formas e estruturas diferentes, porém, nas principais operações de usinagem convencional, algumas características são universais em todos os tipos de ferramentas, são elas: o ângulo de saída, ângulo de folga, grau de ponta e ângulo de posição. Sendo frequentemente fabricadas com aço rápido ou cerâmicas. Cada característica da ferramenta tem a sua devida importância durante o processo, como por exemplo:

- a) Ângulo de saída: que é responsável pelo deslizamento do cavaco e proporcionar correta direção ao material retirado pela ferramenta.
- b) Ângulo de folga: É responsável pelo contato exato da ponta da ferramenta com a peça, evitando um atrito maior da ferramenta na peça.
- c) Ângulo de posição: Distribui a largura do cavaco.
- d) Grau de ponta: Assegura a suavidade do corte no processo, além ajudar na durabilidade da ferramenta e no bom acabamento da peça.

A remoção é realizada pela ação de grãos, mais ou menos disformes, de materiais duros que são postos em interferência com o material da peça.

Diferentemente das operações de usinagem com ferramentas de geometria definidas, na usinagem por abrasão o material da peça é retirado por meio de abrasivos, que são partículas não metálicas, extremamente duras. Alguns processos que utilizam esse tipo de usinagem são as retificas, brunidoras, jateadoras (MACHADO *et al.*, 2011).

Os abrasivos ou pedras de brunimento consistem em grãos de óxido de alumínio, carboneto de silício, diamantes e aglomerados. Diferentes das ferramentas tradicionais, o grão do aglomerado que é o corte da ferramenta, deve ser frágil o suficiente para se auto afiar e duro o suficiente para suportar as pressões exercidas durante o processo. Cada uma das composições das ferramentas abrasivas, tem uma utilidade e é recomendado para cada tipo de material (VISQUE, 1998).

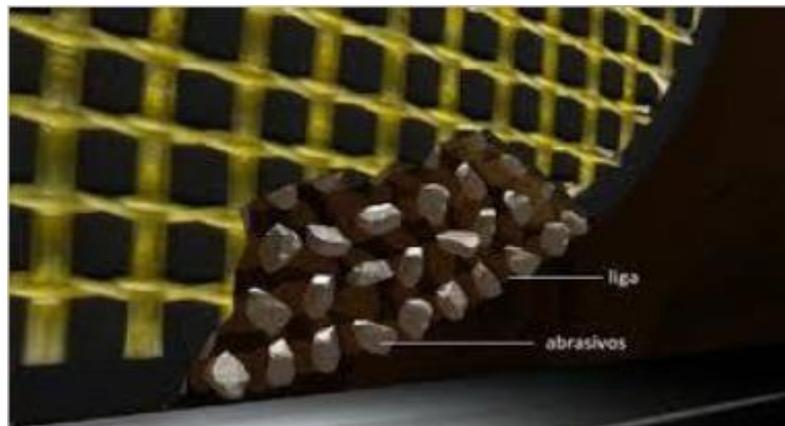


Figura 1 - Detalhes dos grãos abrasivos de uma ferramenta
Fonte: Bolezina, Frighetto, Bortolon (2016)

A seleção dos abrasivos depende principalmente do material a ser brunido (tratamentos superficiais, dureza, tipo), da condição da peça (rugosidade, conicidade, ovalização), das características dimensionais do furo (descontinuidades geométricas, relação comprimento/diâmetro), do acabamento requerido e da taxa de remoção de material desejado. Abrasivos mais grossos resultam em uma superfície mais rugosa por removerem material mais rápido. São indicadas para acabamento as pedras de granulação com número maior (CANASSA; RORIZ, 2011).



Figura 2 - Diferentes tipos de abrasivos de pedra de brunir
 Fonte: Canassa; Roriz (2011)

De acordo com Canassa e Roriz (2011), o carboneto de silício (SiC) e o óxido de alumínio (Al_2O_3) são abrasivos convencionais aplicados para brunimento e de menor custo. O Al_2O_3 tem a menor dureza comparado aos outros sendo principalmente utilizado em operações de rebarbagem de aços.

Por sua vez, o carboneto de silício, é mais empregado para materiais de baixa resistência ao cisalhamento ou para materiais frágeis, destacando no uso em ferro fundido.

O diamante e o nitreto cúbico de boro (C.B.N.) são abrasivos de custo bem mais elevado que os convencionais, são mais duros que, conseqüentemente, desgastam menos, tem uma taxa de remoção mais elevada. Em algumas brunidoras mais modernas já vem sendo utilizados.

O C.B.N. é utilizado, principalmente, para brunir aços endurecidos, ligas de níquel e cobalto, aços-ferramenta e superligas.

No caso de brunimento de produção, o uso de abrasivos de diamante pode ser uma alternativa mais econômica, pois a durabilidade do mesmo compensa seu custo inicial.

Tabela 1 - Tipo de grão abrasivo, aplicações e parâmetros referenciais de corte de brunimento

Tipo do abrasivo	Aplicações	Vc (m/min)	Pressão dos brunidores (psi)
Óxido de alumínio	Recomendado tanto para materiais endurecidos ou não, porém para desbaste. Baixo custo, dureza inferior.	5 - 30	15 - 60
Carboneto de Silício	Recomendado tanto para materiais endurecidos ou não, porém quebradiços. Resulta em acabamentos superficiais mais uniformes. Frequentemente usado no acabamento em ferros fundidos. Custo baixo.	5 - 30	15 - 60
CBN	Cortes mais rápidos e vida dos brunidores maior. Aplicados em aços endurecidos, aços rápidos e de alta liga. Mínima velocidade de corte de 75 m/min em aços de baixo carbono. Custo elevado.	35 - 90	60 - 300
Diamante	Aplicado no brunimento de metal duro, cerâmica, vidro e ferro fundido. Vida elevada.	130 - 260	85 - 170

Fonte: Araujo (2014) - Adaptado pelo autor

2.3 Refrigeração

Segundo Canassa e Roriz (2011), é de total importância o uso de um fluido durante o brunimento, pois é responsável pelo controle da temperatura, limpeza e lubrificação da região de contato entre a peça e a ferramenta a ser usinada.

Em geral, a finalidade mais significativa do fluido no brunimento é a desobstrução dos poros da pedra de brunir, uma vez que no processo as temperaturas alcançadas não são elevadas. Esta lubrificação reduz o coeficiente de atrito, melhorando a micro e a macroestrutura do abrasivo.

Limpeza – compreende na remoção de cavaco, garantindo a limpeza de todo o mecanismo e cessando possíveis erros.

Controle da temperatura – o processo de brunimento não se caracteriza por um aumento elevado da temperatura durante a usinagem. Ainda assim, vale ressaltar que o fluido também acumula a função de estabilizador de temperatura evitando dessa forma, a ocorrência de erros dimensionais.

Lubrificação – sua função tem por resultado diminuir o coeficiente de atrito e, por conseguinte melhorar na macro e microestrutura além de, melhorar no rendimento do processo.

Os fluidos de corte trazem muitos benefícios quando escolhidos de maneira correta, levando em consideração sua composição química, viscosidade e material em que será aplicado. Existem ainda, máquinas de última geração que não utilizam a refrigeração, essas máquinas usam sistema MQL (Mínima Quantidade de Lubrificação) (MACHADO *et al.*, 2011).

Patrick Wislow, em 1984, observou que adicionando grande quantidade de água na região de corte poderia aumentar a velocidade de corte em 33%, sem prejudicar a vida de ferramenta. Desde então vários estudos foram realizados para obtenção de melhores fluidos de corte, com esse crescente, houve também uma pressão no âmbito ambiental para que tais fluidos sejam menos nocivos a quem o utiliza e ao meio ambiente (MACHADO *et al.*, 2011).

Segundo Magalhães (2013), os fluidos de corte podem ser divididos em três estados, sólidos, líquidos e gasosos. Sendo que o mais utilizado na usinagem são os fluidos líquidos. Os fluidos líquidos se subdividem em grupos. São eles:

a) Óleos de Corte Puro: São óleos que não são misturados com nenhum outro elemento, como alguns são misturados com água. Como consequência disso, não é o mais indicado para absorver o calor gerado no processo de usinagem.

b) Óleos de Corte Emulsionáveis: São óleos que são misturados a água, em concentrações especificadas. Tem a função de tanto refrigerar o processo quando lubrificar a área de contato.

c) Fluidos de Corte Sintéticos: São óleos que não contem óleo mineral em sua composição, possui componentes químicos e água. Esses tipos de lubrificantes possuem baixo poder lubrificante, e um alto índice de refrigeração sobre o processo. Não é o mais indicado para processos que precisam de uma maior lubrificação.

2.4 Brunimento

Moos e Bähre (2012) definem o processo de brunimento como um processo de manufatura que mantém medidas de pequenas tolerâncias no que diz respeito à forma e geometria de furos cilíndricos, o que assegura boa capacidade de retenção de

lubrificantes sendo indispensável para peças móveis como blocos de motores, cilindros hidráulicos e componentes de sistema de injeção diesel. O brunimento pertence ao grupo de processos de usinagem com ferramenta de geometria não definida pois não existe uma aresta de corte com geometria definida e sim grãos abrasivos com tamanho médio.

O propósito comum do brunimento é conseguir peças com boa exatidão dimensional e geométrica, e boa qualidade superficial (rugosidade, integridade e forma). É possível obter superfícies pouco rugosas e com características deslizante e impermeabilizante, além de alcançar restritas tolerâncias de fabricação. Conforme diz a norma VDI, o processo também envolve a correção de erros oriundos de operações de usinagem anteriores. Alguns dos erros comuns encontrados em peças cilíndricas que são, comumente, causados por usinagem ou tratamento térmico. Todas essas imperfeições podem ser corrigidas pelo brunimento, sem que haja necessidade de retirada de bastante material (SANTOS, 2017).

A Figura 3 apresenta as imperfeições que o processo de brunimento é capaz de corrigir.



Figura 3 - Imperfeições que podem ser corrigidas pelo processo de brunimento
 Fonte: Santos (2017)

Junior (2008) defende que esse processo assegura integridade superficial da peça, uma vez que, as novas características construtivas das ferramentas como por

exemplo, a velocidade de corte baixa, na ordem de 0,2 m/s à 2,0 m/s, resulta em peças de elevada precisão e isso reflete sensivelmente na produção.

2.5 Brunidora

Para Visque (1998) o processo de brunimento pode ser realizado de modo manual onde o operador exerce pressões manuais sobre a pedra, ou controles manuais sobre as dimensões obtidas. Encontra-se dois tipos de brunimento manual: o horizontal e o vertical. O primeiro é utilizado em desbaste e peças de pequeno diâmetro, a ferramenta por sua vez, é mantida horizontalmente e o corte é dado pela pressão que o operador realiza na peça. Já no brunimento vertical a força de corte é estabelecida pela máquina e a medida final pelo operador, através de dispositivo por ar comprimido.

No modo automatizado, a máquina através de dispositivos pneumáticos, realiza a medição e o controle da peça e pode ser realizado na horizontal ou vertical, sendo a última mais utilizada.

2.6 Tipos de brunimento

De acordo com Araújo (2014), diante disto, em função das características cinemáticas e aplicação na indústria automotiva, encontra-se três tipos principais de processos de brunimento, o convencional ou de expansão, de passe único e a laser.

2.6.1 Brunimento convencional

O processo de brunimento convencional ou de expansão é o mais utilizado em materiais endurecidos, como os componentes de sistema de injeção Diesel e na usinagem de blocos de motores. Nesse processo, o material é removido pela penetração gradativa dos grãos abrasivos na peça, associado aos movimentos simultâneos de rotação e oscilação axial do fuso da máquina. Isso produz na peça usinada, trajetórias helicoidais gerando marcas típicas em formato de hachurado com traços entrelaçados com o objetivo de retenção de óleo, para uma melhor lubrificação da camisa do cilindro (MOCELLIN, 2007).



Figura 4 - Brunimento convencional

Fonte: Bolezina, Frighetto, Bortolon (2016)

No processo de brunimento convencional, conhecido também como “Plateau”, a ferramenta abrasiva realiza um movimento simultâneo alternado (de avanço) e rotacional (de corte) produzindo na peça uma superfície com sulcos cruzantes (CANASSA; RORIZ, 2011).

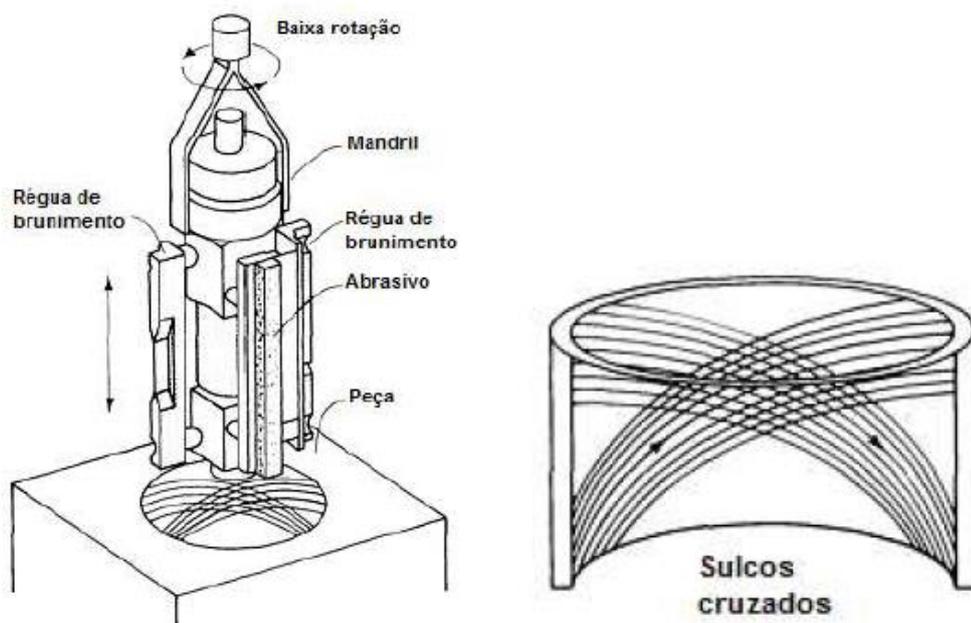


Figura 5 - Movimento realizado pela ferramenta e detalhes da superfície brunida
Fonte: Canassa; Roriz (2011)

A Figura 6, é um exemplo de brunidor ou pedra de brunir, guiados durante o corte por um mandril de brunimento, que por meio de uma cunha promove o avanço radial das pedras abrasivas.

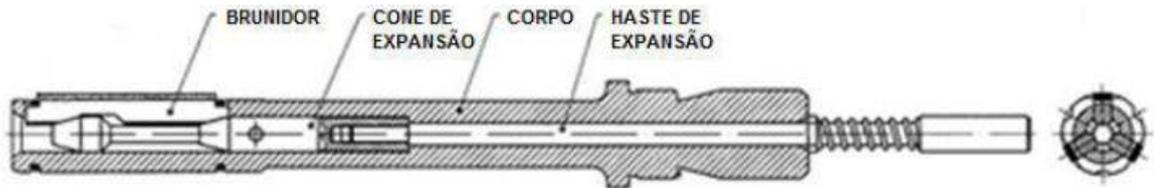


Figura 6 - Mandril e pedra de brunimento
Fonte: Araujo (2014)

2.6.2 Brunimento de passe único

Em contrapartida, o Brunimento passe único, enfatiza mais precisão geométrica dos furos do que os requisitos da textura superficial. Este processo constitui-se de uma ferramenta composta de uma luva expansiva, coberta externamente com grãos abrasivos por processo galvânico que são sustentados por uma camada de liga metálica e ficam salientes cerca de 50% da sua altura, isso propicia boa área de contenção de cavaco. Além disso, ele trabalha com um avanço axial determinado no fuso da máquina o que favorece o uso deste processo em peças com paredes finas (ARAÚJO, 2014).

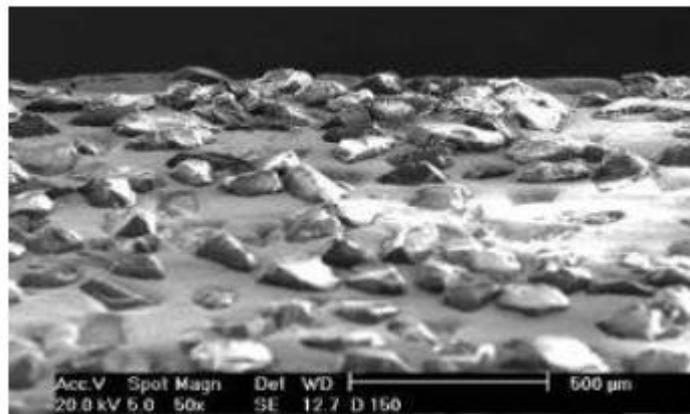


Figura 7 - Aspecto superficial da ferramenta de brunimento de passe único.
Fonte: Araujo (2014)

Enquanto que o brunimento de Plateau, os brunidores se expandem até a dimensão desejada (penetração radial), combinado com o movimento de oscilação e

a rotação do fuso da máquina, o brunimento de passe único opera com um avanço axial já determinado no fuso da máquina, visto que o brunidor possui a dimensão fixa.



Figura 8 - Ferramenta de brunimento convencional x ferramenta de passe único
 Fonte: Araújo (2014)

2.6.3 Brunimento a laser

O Brunimento a laser combina duas operações: o brunimento convencional para corrigir os erros de forma e gerar o perfil base da rugosidade, e a estruturação a laser em que pequenos bolsões microscópicos são gerados no cilindro, afim de gerar retenção do óleo lubrificante e armazenamento para condições extremas. O processo se dá a partir do feixe de laser que por sua vez remove o material da superfície e é disparado em sincronia com o número de bolsões programados. Depois disso é realizado o brunimento convencional de Plateau, para remover as micro rebarbas geradas pelo processo a laser e controlar a profundidade final dos bolsões formados. Essa junção de processos, permite-se obter superfícies mais lisas nos cilindros, diminuir atrito dos pistões, e conseqüentemente proporciona menor consumo de combustível e emissão de poluentes (ARAÚJO, 2014).



Figura 9 - Brunimento à laser
Fonte: Bolezina, Frighetto, Bortolon (2016)

2.7 GRANDEZAS DE ENTRADA

A seguir será apresentado as principais grandezas que afetam os resultados dentro do processo de brunimento, de acordo com Bolezina, Frighetto e Bortolon (2016).

2.7.1 Sistema

- a) Máquina: comportamento dinâmico, dados de potência, rigidez;
- b) Peça: geometria e propriedades;
- c) Ferramenta: qualidade, precisão, geometria, composição do brunidor;
- d) Fluido de corte: viscosidade, tipo, equipamento, concentração.

2.7.2 Pressão de contato

- a) Regulagem da força entre a peça e a ferramenta;
- b) A seção de usinagem e o número de cavacos aumentam de acordo com a quantidade de gumes e a penetração dos mesmos;
- c) O desgaste da ferramenta está ligado diretamente com o aumento da pressão de contato;
- d) Quanto maior a pressão, maior a taxa de remoção de cavacos, maior a rugosidade e maior o ruído de trabalho.

2.7.3 Velocidade de corte

- a) Define os cavacos usinados na unidade de tempo, tal como o seu comprimento médio;

b) O aumento do desgaste é correlacionado com a solicitação mecânica alternante no grão abrasivo, pois as forças variam de acordo com a posição.

2.7.4 Tempo de brunimento

a) Decisivo nos parâmetros de rugosidade;

b) Os picos de rugosidade são removidos rapidamente no começo do processo, e a rugosidade tende sucintamente a um valor final.

2.7.5 Comprimento do curso

a) Influência nos erros de cilindridade e circularidade;

b) Pedras compridas são menos suscetíveis a seguir as irregularidades da peça e conseguem transferir sua própria forma;

c) Pedras de brunir largas ajudam a uniformizar o diâmetro da peça;

d) Pedras mais finas removem material mais rapidamente, porém tendem a vibrar muito.

2.7.6 Geometria da ferramenta

a) Quanto maior o grão, menos preciso o processo;

b) Quanto menor o grão, mais preciso é o brunimento;

c) Importante na correção de erros e formas;

d) Para melhor cilindridade são utilizadas ferramentas de brunir mais longas;

e) Pedras de brunir largas removem material primeiro apenas dos lugares onde o diâmetro é menor, ajudando a uniformizar a peça. Com elas é possível diminuir a pressão existente entre a ferramenta e a peça e com isso, diminuir também, a velocidade de remoção de material já que, as pedras mais largas implicam em mais área de contato com o material a ser brunido;

f) Pedras mais finas tendem a remover material mais rapidamente, porém tendem a vibrar muito durante o processo, causando desgastes excessivos na ferramenta, diminuindo sua vida útil.



Figura 10 - Geometria das ferramentas de brunir
Fonte: Stoeterau (2014)

2.7.7 Especificação da ferramenta

- a) São levados em conta a granulometria, tipo de ligante, dureza e embebedimento;
- b) Materiais abrasivos utilizados: corindum, carboneto de silício, CBN, diamante;
- c) Utilização de grãos maiores: maior taxa de remoção, diminuição da qualidade superficial e menor desgaste;
- d) Grãos afiados possuem uma rugosidade elevada, enquanto que grãos cegos provocam o alisamento da superfície. Dessa forma, com o aumento da dureza da pedra de brunir, há a redução da rugosidade, pois isso causa o cegamento dos gumes antes da sua quebra;
- e) O uso de pedras de brunir de diamante ou CBN é extremamente limitado pelo fato de que o seu custo é muito alto. Algumas aplicações destes materiais verificam-se na usinagem de ferro fundido, aços temperados, cerâmica e vidro.

2.7.8 Influência da peça no processo

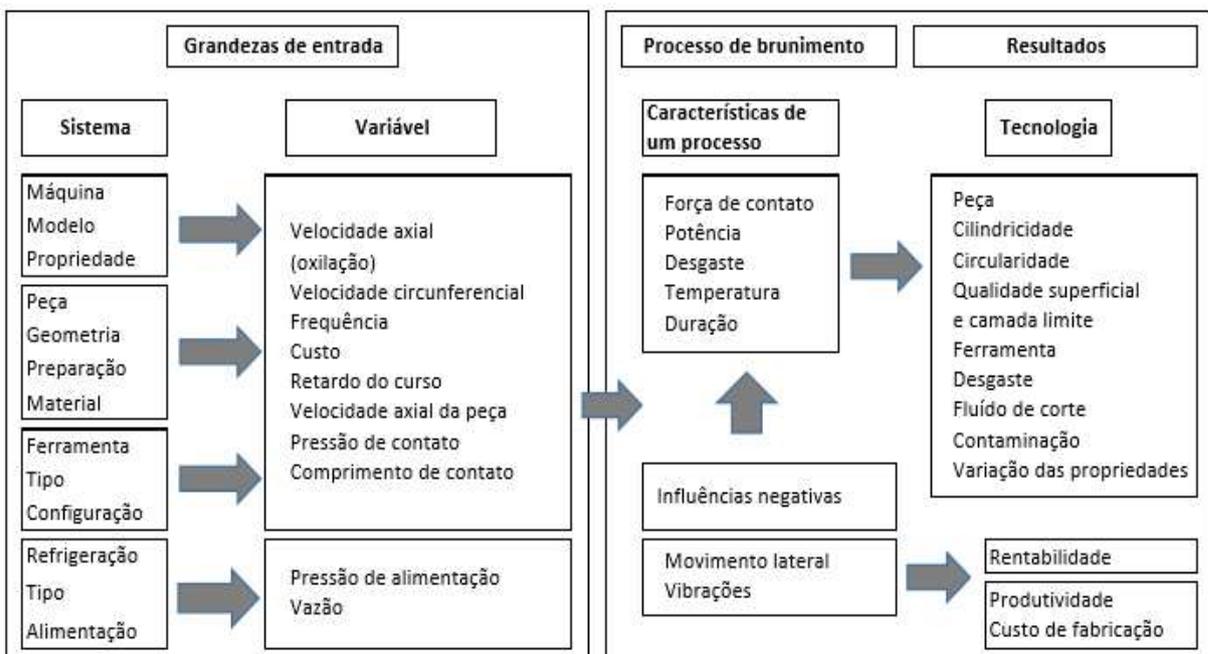
- a) Características e propriedades do material;
- b) Usinagem anterior;

c) Peças de materiais mais duros causam um maior cegamento dos grãos abrasivos induzindo a um melhor acabamento.

2.7.9 Influência do fluido de corte

- Responsável por 30% da produtividade do processo de brunimento total;
- Limpeza;
- Lubrificação;
- Controle de temperatura;
- Apenas 5% do custo.

Quadro 1 - Grandezas de entrada do processo



Fonte: Bolezina, Frighetto, Bortolon (2016) - Adaptado pelo autor

2.8 Controles de brunimento

Alguns controles são geralmente realizados a fim de garantir a qualidade do brunimento. Normalmente os parâmetros avaliados envolvem controle visual, ângulo de brunimento, perfil e rugosidade da superfície.

a) Controle visual

A superfície deve estar clara e brilhante após a operação. Geralmente usam-se iluminação adequada e lentes de aumento. Verifica-se também a orientação dos sulcos e rebarbas.

b) Controle do ângulo de brunimento

O ângulo de brunimento ou cruzamento é alcançado conforme o movimento manipulado da rotação e do avanço do cabeçote brunidor. Quando são iguais as velocidades de translação e rotação, o ângulo de brunimento é 90° . Quando a rotação é maior que a velocidade de translação, o ângulo é menor que 90° .

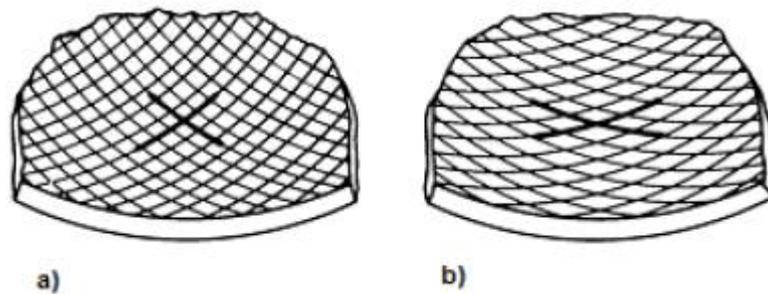


Figura 11 - Diferentes ângulos de cruzamento – a) menor que 90° b) maior que 90°
 Fonte: Ferreira; Magalhães (2009)

Como já visto, o processo de brunimento corrige erros de forma e produz ranhuras, chamada também de “textura de estrias cruzadas”, na superfície do cilindro, característica importante para a retenção de fluídos que mantêm a refrigeração e lubrificação do sistema, além de diminuir o atrito entre dois componentes. As superfícies brunidas devem resultar um ângulo de brunimento definido, e conseqüentemente, “[...]os riscos precisam estar paralelos aos riscos vizinhos e inclinados de um ângulo controlado em relação aos riscos reversos. Além disso, os riscos devem ter um aspecto regular e contínuo[...]” (GONÇALVES JR., 2005).

Na Figura 12, é ilustrado um sistema óptico panorâmico para inspeção e medição dos ângulos de brunimento em cilindros:

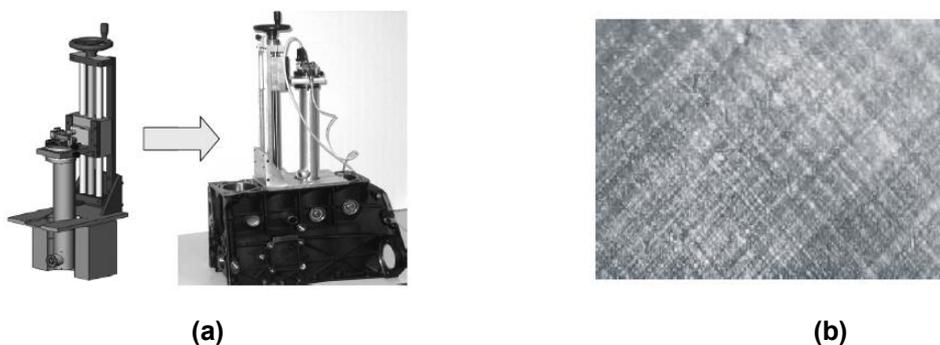


Figura 12 - (a) Sistema de ensaio panorâmico; (b) Aspecto visual de uma superfície brunida
 Fonte: Gonçalves Jr. (2005)

c) Rugosidade

Segundo Ferreira; Magalhães (2009), rugosidade é o conjunto de irregularidades de uma superfície, formado por pequenos picos (saliências) e vales (reentrâncias) que podem ser avaliadas com o auxílio de rugosímetros, são medidas em microns.

O acabamento superficial é de extrema importante onde houver atrito, desgaste, resistência à fadiga, corrosão, transmissão de calor, escoamento de fluidos, superfície de medição (paquímetros, micrometros, bloco-padrão, etc).

A rugosidade influência no comportamento dos componentes mecânico como: qualidade de deslizamento, resistência oferecida pela superfície ao escoamento de lubrificantes e fluidos, resistência ao desgaste, qualidade de aderência que estrutura oferece às camadas protetoras, resistência à fadiga e à corrosão, aparência e vedação.

O grau de irregularidades da rugosidade, orientação e a grandeza tem como causa raiz desgaste das ferramentas, imperfeições nos mecanismos das máquinas-ferramenta, vibrações no sistema peça-ferramenta e o próprio método de conformação da peça (FERREIRA; MAGALHÃES 2009).

2.9 Aplicabilidade do processo de brunimento

O processo de brunimento é empregue em peças que necessitam de uma lubrificação constante, em cilindros hidráulicos (movimento entre haste e pistão), rolamentos (entre as esferas e os anéis internos e externos), tambores de freio, furos da biela, é também utilizado em camisas de motores à combustão. Pois garante uma qualidade boa ao produto e um controle dimensional na casa de 1 micron (VISQUE, 1998).

Embora o processo de brunimento seja aplicado de uma forma mais incisiva em ferros fundidos, com o avanço das tecnologias diversos materiais que não eram comumente brunidos, atualmente utilizam o brunimento, pois é um processo mais barato e menos maçante comparado a retificação por exemplo, até vidros e compósitos plásticos podem ser brunidos (FERREIRA E MAGALHÃES, 2009).

Na indústria automobilística obteve um crescimento expressivo nos últimos anos. Entretanto, segundo o Ministro da justiça do Governo Federal, o Recall

automotivo atingiu mais de 275 mil carros em 2017. Para garantir a qualidade do produto e evitar que algum inconveniente chegue nas mãos dos seus clientes, visto que a má qualidade do bloco do motor especificamente (onde é realizado a operação de brunimento), influência no desgaste, ruído e consumo excessivo de componentes importantes do motor.

2.10 Brunimento de camisas de cilindros

Segundo Ferreira; Magalhães 2009, o brunimento de camisas de cilindros além de, garantir à camisa boas características geométricas, tem como objetivo principal a obtenção de uma superfície com rugosidade controlada, exibindo pequenos picos e microsulcos onde servirá de alojamento para o óleo lubrificante. Assegurando assim, um desgaste menor dos anéis de segmento no decorrer do período de amaciamento dos motores, aumentando a vida útil tanto dos anéis quanto da própria camisa.

O brunimento de produção de camisas de cilindro é precedido por uma operação de usinagem fina, onde a peça chega praticamente acabada com o mínimo ou nenhum erro de forma, necessitando apenas melhorar ainda a precisão dimensional e certificar à superfície uma rugosidade excelente com microsulcos postos com angulação desejada.

3 METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão de literatura, no qual serão utilizados artigos científicos em português e inglês de revistas indexadas nas bases de dados *Scielo* e Repositório da produção científica e Intelectual da Unicamp, bem como sites e livros da biblioteca da Universidade de Taubaté.

Foi realizado um levantamento bibliográfico utilizando-se as seguintes palavras-chave: usinagem, brunimento, rugosidade, ferramentas de corte.

Em inglês: machining, honing process, roughness, cutting tools.

3.1 Classificação dos Métodos de Pesquisa

De acordo com Gil (1991), uma pesquisa pode ser definida como um procedimento racional e sistemático que tem como intuito possibilitar argumentos aos problemas apresentados. Um trabalho científico inicia-se quando não possuímos informações satisfatórias e será necessário levanta-las para resolver o problema ou então as informações existem, porém precisam ser organizadas antes de analisadas.

A pesquisa é desenvolvida através de um processo com diversas fases, desde o início na formulação do tema a ser investigado até a apresentação dos resultados e conclusões (SILVA; MENEZES, 2005).

3.2 De acordo com a abordagem

Uma vez que foi definido o problema a ser estudado, a próxima etapa deve ser a escolha do modelo de pesquisa que encaminhará as posteriores ações. Referente a abordagem do problema, esse modelo de pesquisa pode ser classificado como qualitativo ou quantitativo conforme Gil (1991).

Consideramos a pesquisa como quantitativa, onde os problemas podem ser mensuráveis em busca de análises e soluções, através da utilização de técnicas estatísticas e ferramentas da qualidade (SILVA; MENEZES, 2005).

3.3 De acordo com o objetivo

De acordo com os objetivos, as pesquisas podem ser classificadas em Pesquisa Exploratória, Pesquisa Descritiva e Pesquisa Explicativa (GIL, 1991).

Segundo Gil (1991) as pesquisas exploratórias têm como finalidade promover maior familiaridade com o problema e torna-lo concebível visto que o mesmo pode ser construído fundamentado em hipóteses ou intuições abrangendo levantamento bibliográfico, citações e exemplos que contribuam para a compreensão do assunto, além de entrevistas com pessoas que tiveram conhecimento prático com o problema pesquisado. Pesquisas bibliográficas e estudos de caso são muito aplicados nas pesquisas exploratórias, uma vez que utilizam muito a intuição do pesquisador.

A Pesquisa Descritiva tem como princípio descrever minuciosamente o objeto de estudo (população, fenômeno, problema) utilizando coleta e levantamento de dados qualitativos, mas principalmente quantitativos (GIL, 1991).

A pesquisa explicativa busca identificar e explicar as causas de determinado problema a ser estudado, expondo a realidade ao explicar a razão das coisas. Costumam dar continuidade a pesquisas descritivas e exploratórias, uma vez que oferecem uma visão mais detalhada do assunto e do tema abordado.

3.4 De acordo com os procedimentos técnicos

Segundo Gil (1991), os procedimentos técnicos são classificados em: Pesquisa Bibliográfica cuja qual é desenvolvida baseada em materiais já elaborados, composto principalmente por livros e artigos científicos; Pesquisa Documental, semelhante a bibliográfica, porém trata-se de materiais que ainda não foram avaliados criticamente; Pesquisa Experimental, consiste em estabelecer formas de controle e de observação dos resultados que a variável origina.

4 RESULTADOS

Neste trabalho, conforme os objetivos propostos, buscou-se introduzir o que é um processo de usinagem, demonstrando ferramentas, refrigerações e outras variáveis dentro do processo de usinagem convencional e não-convencional. Tornando como foco principal as peculiaridades do processo de brunimento, fomentando sua importância e sua aplicabilidade.

Os tópicos apresentados foram baseados em diversos estudos e aplicações desenvolvidas em áreas distintas mostrando as ferramentas e os tipos de brunimento, com o objetivo de melhorias dentro do processo, melhorias tais como acabamento e rugosidade, das quais estando fora do especificado em cilindros de motores à combustão podem gerar mal funcionamento, perda de potência e ruído.

Levando em conta o trabalho proposto, pode-se dizer que os objetivos foram alcançados de certa forma, através dele adquire-se os conhecimentos básicos necessários para a interpretação do conceito de brunimento, vale salientar que cada processo possuiu suas peculiaridades (como material a ser usinado, qual tipo de brunimento utilizar, qual ferramenta mais indicada, entre outros) e a aplicação dos conceitos exige um estudo de forma mais aprofundada em cada aplicação.

Alguns tópicos podem ser abordados em trabalhos futuros, como o estudo da influência do rpm na rugosidade de cilindros de motores à combustão; análise do estado da superfície brunida da camisa do cilindro após horas de trabalho do motor.

5 CONCLUSÃO

Para atender a demanda e exigência do mercado, as empresas cada vez mais buscam metodologias a fim de melhorar a qualidade de seus produtos. Analisar e solucionar os problemas de forma eficaz e rápida, além de potencializar a manufatura e minimizar os custos de fabricação, garante uma vantagem competitiva à organização.

Neste trabalho, foi apresentado o conceito básico de um dos processos de fabricação muito utilizado em grandes empresas automotivas, o brunimento. Vimos que este método de fabricação possuiu várias variáveis como, ferramentas de corte, fluídos refrigerantes, máquinas, que afetam no produto final.

A escolha adequada de cada item e seu controle certifica o padrão de qualidade e eficiência da peça.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, Gilberto de Lima. **Uma contribuição ao brunimento de precisão**. 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <
http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265869/1/Araujo_GilbertodeLima_M.pdf>
 Acesso em: 08 abril, 2018.
- BOLEZINA; FRIGHETTO; BORTOLON. **Brunimento**. 2016. Universidade de Caxias do Sul.
- CANASSA, R.; RORIZ, G. **Rebolos e ferramentas de brunir**. 2011. Florianópolis.
- DINIZ, Anselmo Eduardo. **Tecnologia da usinagem de materiais**. São Paulo: Art Liber, 2000. 244 p. ISBN: 9788587296016
- FERRAREZI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 1970, 12ª reimpressão- 2006.
- FERREIRA, B. E. M.; MAGALHÃES. **Projeto mecânico de equipamento para brunimento de camisas de cilindro**. 2009. Rio de Janeiro.
- FITZPATRICK, M. **Introdução aos processos de usinagem**. Porto Alegre: AMGH, 2013. 488 p. (Série Tekne). ISBN 9788580552287.
- FITZPATRICK, Michael. **Introdução a usinagem com CNC**. Porto Alegre: AMGH, 2013.. 365 p. ISBN 97885805525
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 1991. São Paulo: Editora Atlas S.A. Disponível em:
 <https://professores.faccat.br/moodle/pluginfile.php/13410/mod_resource/content/1/como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf>
 Acesso em: 14 fev, 2019.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.
- GONÇALVES JR., Armando Albertazzi et al. **Sistema óptico panorâmico para avaliação automatizada da qualidade de brunimento em 360° dos cilindros**. 2005. Disponível em:
 <<http://www.photonita.com.br/downloads/Artigo%20SAE%202005.pdf>>
 Acesso em: 05 maio. 2018.
- GROOVER, M. P. **Introdução aos processos de fabricação**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 737 p. ISBN 978-85-216-2640-4.
- MACHADO *at al*. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2 ed. , 2011. 400 p. ISBN: 9788521206064

JUNIOR, R. F. M. **Análise topográfica da superfície de cilindro de motores a combustão interna**. 2008. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Curitiba. Disponível em: < <http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgem/banco-teses/dissertacoes/JUNIORRaimundoFerreiraMatos.pdf>> Acesso em: 08 abril, 2018.

MAGALHÃES, S. B. de. **Análise econômica da influência do fluido de corte no processo de torneamento cilíndrico externo do aço inox 304I**. 2013. 52 f. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005317.pdf>> Acesso em: 10 out, 2013.

MOCELLIN, Fabiano. **Desenvolvimento de tecnologia para o processo de brunimento de cilindros de blocos de motores em ferro fundido vermicular**, 2007. 264 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina.

MOSS, Uwe. , BAHRE, Dirk. **Analysis of Process Forces for the Precision Honing of Small Bores**, 2012. Institute of Production Engineering, Saarland University, D-66123 Saarbrücken, Germany. Disponível em: < https://ac.els-cdn.com/S2212827115003819/1-s2.0-S2212827115003819-main.pdf?_tid=42caf4c4-d792-4ebd-b66a-db8252b9f037&acdnat=1540159845_882d3259783900bc5e838ce1facc5e66> Acesso em: 09 set, 2018.

SANTOS I. A. **Material De Aula Para Engenharia Mecânica, Universidade De Taubaté**, Ed. 01, 2017.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis, 2005.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Usinagem com ferramentas de geometria não definida – brunimento, lapidação, polimento, lixamento e jateamento**. 2014.

VISQUE, E. J. **Uma contribuição ao estudo do processo de brunimento**. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/264161/1/Visque_EdvaldoJose_M.pdf> Acesso em: 09 set, 2018.