CENTRO UNIVERSITARIO PARA O DESENVOLVIMENTO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ

ANTÔNIO CESAR DE OLIVEIRA

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE BRUNIMENTO DE CAMISAS DE CILINDRO NA EMPRESA METALÚRGICA RIOSULENSE S.A.

RIO DO SUL

MARÇO 2011

CENTRO UNIVERSITARIO PARA O DESENVOLVIMENTO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ

ANTÔNIO CESAR DE OLIVEIRA

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE BRUNIMENTO DE CAMISAS DE CILINDRO NA EMPRESA METALÚRGICA RIOSULENSE S.A.

Relatório a ser apresentado para o Estágio Supervisionado do curso de Engenharia de Produção, área das Ciências Naturais, da Computação e das Engenharias, do Centro Universitário para o desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

Prof. Orientador: Leandro Simchak

RIO DO SUL

2011

ANTÔNIO CESAR DE OLIVEIRA

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE BRUNIMENTO DE CAMISAS DE CILINDRO NA EMPRESA METALÚRGICA RIOSULENSE S.A.

Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia de Produção, área das Ciências Naturais, da Computação e das Engenharias, do Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí.

_____

Prof. Orientador: Leandro Simchak

Banca Examinadora:

_____

Prof. MSc Nestor Agostini

_____

Prof. Aline Pâmela Perfoll

Rio do Sul, Março de 2011.

Em primeiro lugar aos meus familiares e em especial a minha esposa Zenita e meus filhos Eduardo e Cauã, pela compreensão e apoio neste e em outros momentos de nossa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me deu perseverança para buscar meus objetivos e concedeu saúde para alcançá-los. Aos familiares e amigos, que me ajudaram e deram apoio no decorrer do curso, em especial colegas de classe, que apesar serem de turmas distintas e cursos diversos, contribuíram para minha formação profissional e como acadêmico nestes 5 anos de caminhada.

Agradecimento à Metalúrgica Riosulense S.A. pela confiança depositada e pelo apoio prestado durante o estágio desenvolvido, por acreditar em seus colaboradores e oportunizar a qualificação destes.

Ao professor e orientador, Sr. Leandro Simchak, pela colaboração para realização deste trabalho e a todos os professores que colaboraram para a minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço também ao Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí – UNIDAVI pela oportunidade, pela formação recebida e pela dedicação de seu corpo docente.

RESUMO

O projeto desenvolvido baseia-se na busca pela redução de custos e melhoria das condições de trabalho. Pois as dificuldades atuais do mercado, as empresas buscam alternativas mais eficientes para processamento de seus produtos e para a empresa sobreviver no mercado, faz-se necessária uma série de benefícios ao cliente final, um deles é a disponibilidade de estoque de peças para todas as aplicações, neste caso, não basta ter um item de aplicado certo motor sem ter os demais componentes necessários para um conserto. No setor de camisas de cilindro, existe uma oportunidade de melhoria, que seria a otimização do processo de brunimento de camisas de cilindro, onde identificamos uma possibilidade de ganhos, com uma expectativa de abertura de novos mercados, amplamente solicitada pela área comercial da empresa. O projeto tem como meta aumentar a capacidade produtiva atual, sem a necessidade de investimentos em novo equipamento, com a melhoria dos parâmetros do processo, a identificação das melhores condições para realização do trabalho e uma avaliação das opções existentes no mercado para uma futura expansão da atividade. O setor onde foram desenvolvidos os trabalhos é um setor em fase de reestruturação, com melhorias constantes e busca pela eficiência máxima dos processos produtivos e a redução dos custos de fabricação. Os ganhos esperados são o atendimento à demanda atual do setor, pois o equipamento de brunimento está limitado aos tempos de processamento nos demais equipamentos que compõem a célula de produção, onde atualmente é o gargalo e motivo pelo qual foi considerado com possibilidade de melhoria, com resultado tanto para aplicação dos conhecimentos obtidos no curso quanto na possibilidade de ganhos financeiros à empresa que nos possibilitou este estágio.

Palavras-Chave: Camisas de cilindro, Brunimento, Melhoria contínua.

ABSTRACT

The project developed based on the quest for cost reduction and improvement of working conditions. For the current difficulties in the market, companies seek more efficient alternatives for processing of their products and the company survive in the market, it is necessary a lot of benefits to the end customer, one of them is the availability of stock parts for all applications, in this case, not enough to have a certain item of motor applied without the other components needed for a repair. In the sector of cylinder liners, there is an opportunity for improvement, which would optimize the process of honing of cylinder liners, where we identified a possibility of gains, with an expected opening of new markets, largely prompted by the company's commercial area. The project aims to increase current production capacity without the need for investments in new equipment, improving the parameters of the process, identifying the best conditions for work performance and an assessment of the options available in the market for future expansion activity. The section where the works were developed sector is undergoing restructuring, with constant improvements and search for maximum efficiency of production processes and reducing manufacturing costs. The expected gains are now meeting the demand in the industry, honing equipment is limited to processing times in other equipment that make up the production cell, where he is currently the bottleneck and why it was considered with the possibility of improvement, with result both for application of knowledge obtained in the course and in the possibility of financial gain to the company that enabled us to that stage.

Key-words: Cylinder Liners, Honing, Continuous Improvement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Vista aérea da Metalúrgica Riosulense S.A. 15
Figura 2 Detalhe Montagem da camisa no bloco 18
Figura 3 Detalhe de um motor em corte 19
Figura 4 Camisa Molhada 19
Figura 5 Camisa Seca 20
Figura 6 Detalhe da montagem da Camisa Molhada 21
Figura 7 Detalhe de pedras de brunimento convencionais 25
Figura 8 Detalhe de pedras de brunimento diamantadas 26
Figura 9 Detalhe brunidor convencional 27
Figura 10 Detalhe brunidora convencional 28
Figura 11 Foto da Brunidora utilizada no Projeto 30
Figura 12 Dispositivo de fixação antigo 33
Figura 13 Dispositivo de fixação novo 34
Figura 14 Detalhe brunidor com réguas diamantadas Brunitec 36
Figura 15 Detalhe brunidor com simples expansão, porta abrasivos convencionais ... 37
Figura 16 Desenho régua diamantada FDB, com 150 mm de comprimento e base de alumínio 38
Figura 17 Detalhe brunidor com simples expansão, porta abrasivos convencionais ... 40
Figura 18 Projeto de sistema de refrigeração com tubos e curvas roscadas 44
Figura 19 Projeto de sistema de refrigeração com tubos calandrados 45
Figura 20 Sistema de filtragem onde será instalado a serpentina para resfriamento do óleo de corte 45
Figura 21 Desenho do porta régua aparelho Brunitec 8 réguas 46
Figura 22 Desenho do porta régua alterador para régua de 150 mm e Ø128 mm 47
Figura 23 Desenho do porta régua – Montagem e tabela de dimensões dos conjuntos 48
Figura 24 Detalhe dos novos porta réguas confeccionados na ferramentaria da Riosulense 48
Figura 25 Parâmetros de brunimento por modelo de peça, parcial 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Alteração do dispositivo de fixação. 34
Tabela 2 Redução de tempo de set up. 35
Tabela 3 Produtividade por conjunto de ferramentas. 38
Tabela 4 Alteração da ferramenta de usinagem..... 39
Tabela 5 Rugosidade atingida com ferramental com abrasivos convencionais. 39
Tabela 6 Rugosidade atingida com ferramental de brunimento diamantado 40
Tabela 7 Rendimento de ferramentas versus temperatura do óleo de corte..... 43
Tabela 8 Variação de temperatura do item 61.5174.035. 47
Tabela 9 Variação dimensional com ferramenta convencional. 49
Tabela 10 Variação dimensional com ferramenta diamantada..... 50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Variação de rugosidade por tipo de ferramenta. 41
Gráfico 2 Variação de dimensional por tipo de ferramenta. 51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de grão de diamantes 42
Quadro 2 – Classificação de grão de carboneto de silício. 42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al_2O_3 - Óxido de Alumínio

ANSI - American National Standards Institute

ASTM - American Society for Testing and Materials

CBN - Nitreto de Boro Cúbico

DIN - Deutsche Industrie-Norm

FEPA - Federação Européia de Fabricantes de Abrasivos

MESH - Padrão de classificação de granulométrica de materiais da norma ANSI

R3z - Rugosidade média do terceiro pico e vale

Rk - Porção central da banda de rugosidade

Rmax - Profundidade máxima individual de rugosidade

Rpk - Altura media de pico reduzida

Rvk - Profundidade de vale

Ry - Altura máxima de pico a vale da operação anterior

Rt - Rugosidade total

Rz - Profundidade média de rugosidade

SiC - Carboneto de silício

VDI – The Association of German Engineers

VDI 3220 – Classificação e definições de fabricação, principalmente em usinagem de precisão

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 14
1. PROBLEMA DA PESQUISA 16
1.1 OBJETIVOS 16
1.1.1 Objetivos Gerais 16
1.1.2 Objetivos Específicos 17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 18
2.1 CAMISAS DE CILINDRO 18
2.1.1 Processos de Fabricação 21
2.1.2 Processos de Fundição 21
2.1.3 Processos de Usinagem 21
2.2 PROCESSO DE BRUNIMENTO 24
2.2.1 Brunimento com abrasivo convencional 24
2.2.2 Brunimento com ferramenta diamantada 24
2.3 O EQUIPAMENTO 26
3 METODOLOGIA 30
4 RESULTADOS DA PESQUISA 31
5 CONCLUSÕES 53
RECOMENDAÇÕES 55
REFERÊNCIA 57

INTRODUÇÃO

A Metalúrgica Riosulense S.A. está em fase de expansão de sua linha de produtos e ha quatro anos vem desenvolvendo o processo de usinagem de camisas de cilindro, visando atender os clientes de forma mais ampla, com a oferta de todos os itens que fazem parte da reparação de um motor, alem das guias de válvulas, sedes de válvulas e tuchos mecânicos, já tradicionais de sua linha, esta oferecendo uma linha completa de camisas de cilindro para as mais diversas aplicações. No desenvolvimento desta linha chegamos às camisas molhadas, que são os itens mais complexos de linha de produtos, pois além de possuírem requisitos de durabilidade superiores as camisas secas, estas possuem tolerância dimensionais mais restritas que as camisas secas. Dentre as principais diferenças nos processo de usinagem entre às camisas secas já desenvolvidas e as camisas molhadas, está o processo de brunimento que requer atenção especial aos requisitos de erros de formas e principalmente acabamento superficial, pois estes segundo estudos das motandoras é fator relevante na economia de combustível e no consumo de lubrificantes

Nosso projeto tem com meta aperfeiçoar o processo de brunimento, pois este ainda possui limitações de produtividade, precisão e principalmente acabamento superficial.

A Metalúrgica Riosulense S/A é a empresa onde foi realizado o estágio, está situada em Rio do Sul/SC. É uma empresa do ramo metal mecânico fornecedora de autopeças para o mercado nacional e internacional.

Este trabalho destaca-se também sobre sua área de aplicabilidade, é uma oportunidade de complementação das competências de um Engenheiro de Produção, onde as principais atividades envolvem a busca de soluções e adaptação das necessidades para o desenvolvimento da sociedade e bem público.

De forma geral este trabalho justifica-se para atender os requisitos exigidos pela Universidade e por transformar os conhecimentos adquiridos ao longo de curso na área de Engenharia, em ações aplicáveis na prática que poderão ser revertidos em crescimento intelectual, profissional e pessoal.

Figura 1: Vista aérea da Metalúrgica Riosulense S.A.
Fonte: Metalúrgica Riosulense S.A.

Esta empresa começou suas atividades em 1946, iniciando como uma oficina mecânica, prestadora de serviços às indústrias madeireiras e fécula de mandioca. Mais tarde em 1956 adquiriu uma pequena fábrica de autopeças (guias e sedes de válvula), tornando esta sua principal atividade. Em 1985 iniciou o processo de desenvolvimento tecnológico, em 1988 inicio a construção de uma nova unidade fabril vindo a mudar-se para esta em 1992. Em 2000 consolidou-se como fornecedora de autopeças para Montadoras, em 2009 iniciou a atividade na nova planta de fundição São 10 mil metros quadrados de área construída, totalmente automatizada, o que faz com que a empresa amplie sua capacidade de produção em até 40%.

1 PROBLEMA DA PESQUISA

Atualmente o processo de brunimento é realizado em um equipamento automático com expansão hidráulica e ajustes elétricos e mecânicos de parâmetros, porém as ferramentas empregadas são limitadas na aplicação, por se tratarem de abrasivos de oxido de alumínio (Al_2O_3), que não possuem o mesmo desempenho de ferramentas diamantadas que possibilitam maior remoção de material e melhor controle dimensional, nosso desafio é buscar alternativas que possam melhorar o desempenho e otimizar a utilização dos recursos existente, limitando os investimentos e aprimorando o processo.

1.1 OBJETIVOS

Otimizar o processo de brunimento de camisas de cilindro.

1.1.1 Objetivo Geral

Melhorar o processo de brunimento de camisa de cilindro na Metalúrgica Riosulense, através da adoção de ferramentas de brunimento (réguas), diamantadas, visando à redução dos tempos de usinagem e melhoria dimensional da peças produzidas

Desenvolver novo sistema de fixação de peças e novos modelos de porta réguas que possibilitem aperfeiçoar a aplicação das ferramentas de brunimento com o menor investimento possível.

1.1.2 Objetivo Específico

- Desenvolver especificações de réguas diamantadas para os diversos modelos de peças e aparelhos de brunimento;
- Selecionar os melhores ajustes do equipamento possibilitando maior estabilidade na operação;
- Aperfeiçoar o sistema de refrigeração da peça, evitando o aquecimento e as quebras de ferramentas;
- Reduzir o tempo de operação do processo;
- Reduzir custos de mão-de-obra;
- Desenvolver novos porta-réguas, viabilizando maior aproveitamento dos aparelhos de brunimento disponíveis;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CAMISAS DE CILINDRO

A camisa de cilindro é o revestindo dos cilindros de alguns motores, que podem ser classificadas em secas e úmidas (ou molhadas). A camisa é o revestimento do cilindro no bloco para que o pistão não o desgaste durante a realização de trabalho.

As camisas de cilindro são responsáveis, junto com o pistão e anéis, pelo movimento do motor, provocado pela explosão do combustível e posteriormente transmitidos em movimento mecânico pela biela e virabrequim, depende do acabamento da camisa, o rendimento do motor e o consumo de combustível.

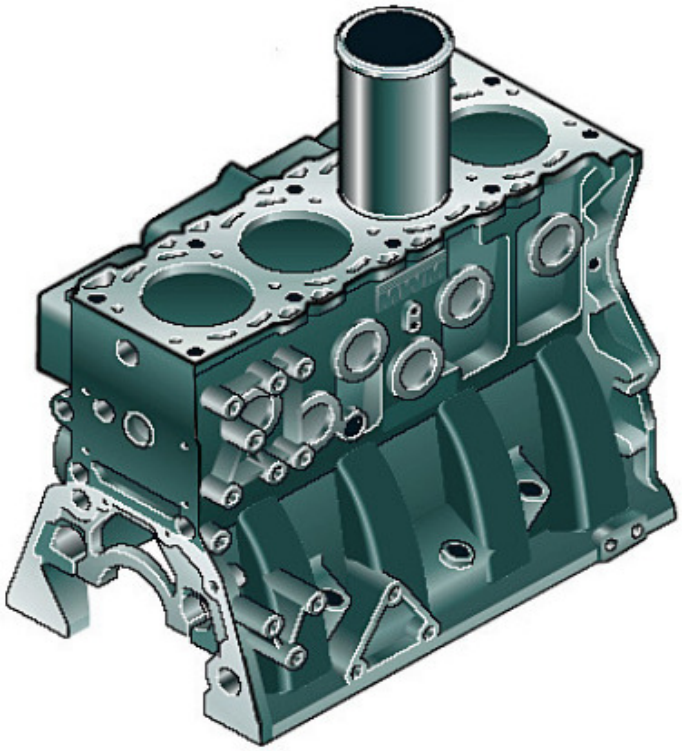


Figura 2: Detalhe Montagem da camisa no bloco.
Fonte: Apostila de treinamento MWM International motores

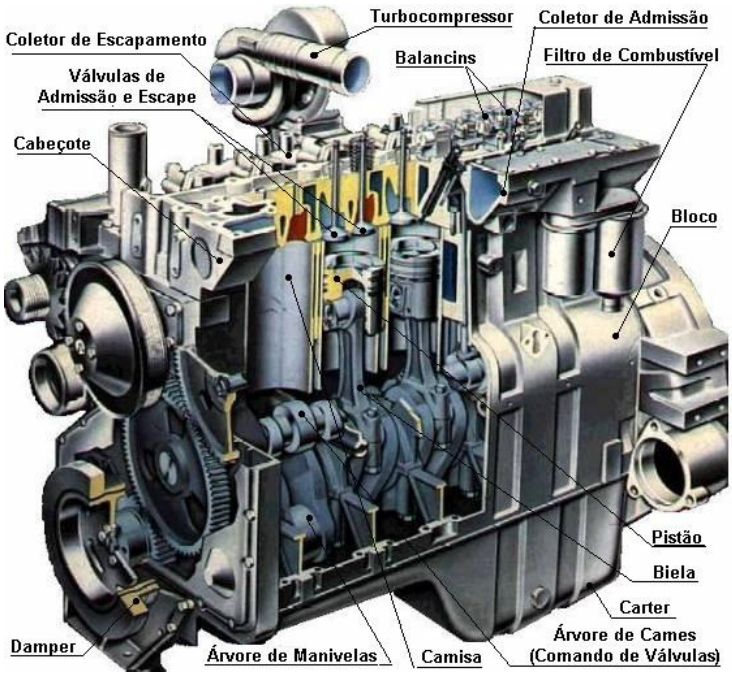


Figura 3: Detalhe de um motor em corte.
Fonte: http://www.perfectum.eng.br

Camisas secas são aquelas em que sua superfície exterior não está em contato com a câmara de arrefecimento.

Camisas Molhadas são aquelas em que a parede externa da camisa tem contato com as câmaras de refrigeração, onde circulam os líquidos de arrefecimento. Neste caso as camisas são fixas ao bloco por meio de vedadores, para evitar vazamentos de água no interior do cabeçote ou do cárter.

Figura 4: Camisa Molhada
Fonte**:** Metalúrgica Riosulense

Nas camisas secas não há contato com as câmaras de circulação de líquidos, portanto não há necessidade de vedadores, pois sua fixação é realizada por meio de operação de embutimento com auxílio de uma prensa hidráulica, a fixação é obtida pela interferência existente entre o diâmetro externo da camisa e o diâmetro interno do orifício usinado no bloco, cerca de 0,03mm a 0,05mm menor. As camisas, quando desgastadas, podem ser substituídas por outras novas. Dando assim sobrevida ao bloco do motor

Figura 5: Camisa Seca
Fonte**:** Metalúrgica Riosulense

O Objeto de estudo de nosso projeto é o processo de brunimento, que é aplicado somente às camisas do tipo molhadas, pois nas camisas chamadas “secas”, a operação de brunimento é realizada somente após a montagem e mandrilamento da peça no interior do bloco, operação executada nos reparadores ou retíficas.

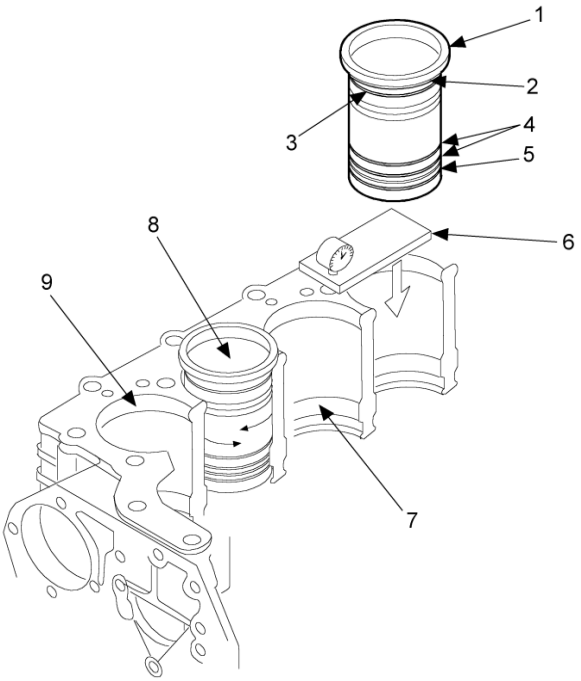


Figura 6: Detalhe da montagem da Camisa Molhada
Fonte**:** MWM Motores Diesel Ltda.

2.1.1 Processo de Fabricação

O processo de fabricação das camisas de cilindro molhadas é constituído de duas etapas distintas, sendo a primeira, fundição, onde são transformadas as matérias primas em um formato próximo ao final requerido.

Na segunda etapa, a peça bruta ou blank, é processada por meio de usinagem mecânica, composta de operações de corte, torneamento interno, torneamento externo, mandrilamento final e brunimento, sendo seguido de operações de identificação, por meio de gravação, banham de óleo protetivo e finalizando com a embalagem de venda.

2.1.2 O processo de fundição

As camisas são obtidas pelo processo de fusão e moldadas pelo processo de centrifugação, no qual consiste de um molde cilíndrico que é montado sobre

roletes acionados que produzem uma rotação a este molde. Com o metal líquido sendo derramado em uma das extremidades deste molde, espalhando-se no interior deste pela força centrípeta apresentada pela rotação do molde (coquilha[1]).

2.1.3 O Processo de Usinagem

As peças brutas passam inicialmente por uma operação de corte, que pode ser executado por meio de serra de fita ou então por corte com uso de um torno e ferramentas de sangramento ou corte de canais. Após esta operação iniciam-se as operações de torneamento, sendo a primeira operação executada em torno mecânico e consiste em uma operação em desbaste com pouca precisão dimensional, posterior a esta operação segue-se as demais operações de torneamento sendo a próxima a usinagem do diâmetro interno da camisa, executado em torno CNC, na seqüência inicia-se a usinagem do perfil externo em acabamento em outra máquina CNC, com a peça fixa no diâmetro interno com um sistema de pinça expansiva autocentrante, sendo então envida para a próxima operação que seria o brunimento, que será tratado no texto abaixo. Algumas camisas molhadas diferem um pouco desta sequencia, pois possuem coquilha.para apenas uma peças por ciclo de vazamento, resultando em um black com dimensões mais próximas ao produto acabado, ou sejam com menos sobre metal para a usinagem. Então a sequencia de operações para estes itens são, primeiramente um torno de desbaste externo, com fixação por meio de cones, após a usinagem do perfil interno e um corte em uma das extremidades da peça bruta e depois a usinagem do perfil externo em torno CNC, idêntico aos demais itens, existem ainda peças que requerem a operação de fresamento, no caso de motores a gasolina (Ford e Renault), porém são itens, na maioria, fora de linha e com demanda baixa.

---

[1] Ferramental cilíndrico construído em aço ou ferro fundido especifica para fundição por centrifugação.

2.2 PROCESSO DE BRUNIMENTO

Brunimento é um processo mecânico a baixa velocidade de corte onde a ferramenta gira e se desloca axialmente descrevendo uma trajetória helicoidal. Estes movimentos formam um desenho característico de hachuras.

Brunimento é um processo mecânico de usinagem por abrasão, empregado no acabamento de furos cilíndricos de revolução, no qual todos os grãos ativos da ferramenta abrasiva estão em constante contato com a superfície da peça e descrevem trajetórias helicoidais. Para tanto, a ferramenta ou a peça gira e se desloca axialmente com movimento alternativo. O brunimento é feito com uma ferramenta especial de retificação, constituída de segmentos de material abrasivo, montados em grupo.

O objetivo desta operação é: Aumentar, Diminuir, Controlar a rugosidade em superfícies internas como de furos ou externas. Com controle de rugosidade, é possível controlar a quantidade de óleo retido desejado entre uma superfície que apresente movimento em relação à outra.

Segundo Mocellin (2007 p. 48-49):

> "No processo de brunimento interno, a característica geométrica principal da peça a ser brunida é a espessura de parede do cilindro, seja de uma camisa de cilindro brunida isoladamente ou de um cilindro de um bloco de motor. Tal espessura influencia diretamente na qualidade dimensional da peça. Tem uma influência na deformação da peça devido à pressão de contato dos segmentos abrasivos de brunimento, bem como na distribuição de temperatura na parede do cilindro".

No brunimento a remoção de material se processa através da ação de grãos abrasivos, unidos entre si por um ligante (Peres, 1994). Os principais materiais abrasivos utilizados são: carboneto de silício[2] (SiC), óxido de alumínio (Al_2O_3), nitreto de boro cúbico (CBN) e diamante. Como ligantes são empregados: resinas sintéticas, ligantes metálicos e ligantes cerâmicos.

---

[2] Carboneto de silício, preto e verde, para aplicação em abrasivos, compreende Grãos 16 até Grãos 220 (FEPA)

Os líquidos refrigerantes utilizados para brunimento são importantes na vida útil da ferramenta e na remoção de material, devendo ser abundante e bem dirigido para o ponto de contato régua x peça.

As barras de brunimento devem sair da peça em torno de um terço do comprimento das mesmas, em ambos limites, superior e inferior da peça.

Segundo a norma alemã VDI 3220, o brunimento é caracterizado como:

> "Usinagem com ferramenta abrasiva versátil formada por grãos combinados sob contato constante entre ferramenta e peça de forma a melhorar a dimensão, forma e superfície de peças pré-usinadas".

Os movimentos de corte são gerados pelo movimento do fuso principal (linear) e do movimento rotativo (rotação do fuso) gerando assim um cruzamento das ranhuras formadas no processo, responsáveis pela formação do file de lubrificação utilizado principalmente nas camisas de pistão, onde os anéis raspadores do pistão movimentam o óleo que reduz o atrito no funcionamento do motor gerando maior desempenho e redução no consumo de combustível.

2.2.1 Brunimento com abrasivo convencional

O brunimento é feito com uma ferramenta constituída de segmentos de material abrasivo, montados em grupo. Durante o processo, os grãos ativos do brunidor entram em contato com a superfície da peça. Os brunidores com abrasivos convencionais normalmente são fabricados com liga vitrificada:

Oxido de alumínio: Aplicação em aço. Tubos hidráulicos.

Carboneto de silício: Aplicação Ferro fundido, materiais não ferrosos.

É um processo de usinagem utilizado para melhorar a precisão de superfícies internas. O processo não só melhora o acabamento superficial, como também garante que os furos estejam cilíndricos e na dimensão correta. O brunimento é necessário pra a correção de erros provenientes de outras operações.

Figura 7: Detalhe de pedras de brunimento convencionais
Fonte**:** Catalogue Honing Tools and Honing Stones – Hunger Schleifmittel GmbH

2.2.2 Brunimento com ferramenta diamantada

Os brunidores são formados por uma variação de grãos diamantados pequenos que, quando cortam, apresentam inúmeros pontos de contato, dissipando o calor na ferramenta e minimizando o perigo de um mau acabamento na peça. Esta operação é mais rápida e de maior precisão que os outros processos.

Os superabrasivos são renomados por sua dureza, resistência abrasiva e condutividade térmica superior ao abrasivo convencional, ou seja, proporcionam ganhos de produtividade e qualidade.

Os brunidores diamantados foram desenvolvidos para substituir as pedras convencionais de carbureto de silício e óxido de alumínio com o intuito de:

- diminuir a resistência do material a ser brunido;
- aumentar a remoção do material com elevada qualidade dimensional;
- aumentar a durabilidade.

Uma das características mais importantes dos brunidores diamantados é a camada diamantada, que permite o trabalho com elevadas velocidades de corte, porém com baixa pressão de contato. Isto diminui a temperatura na operação, melhorando o resultado final e permitindo o brunimento de furos que tenham paredes mais finas.

Figura 8: Detalhe de pedras de brunimento convencionais
Fonte**:** Catalogue Honing Tools and Honing Stones – Hunger Schleifmittel GmbH

O processo de fabricação das réguas resume-se à pesagem dos grãos diamantados e/ou CBN, adição do ligante e depois a sinterização em alta temperatura, para realizar a união dos ligantes, os grãos de diamante e a base de fixação, que pode ser uma régua substituível ou diretamente na ferramenta de brunimento, no caso das ferramentas concebidas para uso exclusivo de réguas diamantadas.

2.3 O EQUIPAMENTO

Atualmente existem duas concepções básicas de máquinas de brunimento adotadas para usinagem de camisas, sendo a primeira, um modelo destinado a pequenas séries e grande flexibilidade de trabalhos, basicamente ambas as máquinas são compostas de sistema de fuso acionado por um motorredutor e movimentado axialmente por um cilindro hidráulico. Neste equipamento as ferramentas são manuais, ou seja, o ajuste da dimensão e da pressão de corte é realizado de forma mecânica com o acionamento de um parafuso de travamento, pelo operador. Este modelo de equipamento é o mais aplicado em empresas de pequeno porte e reformadores de motores, que necessitam de um equipamento fácil de operar e de baixo custo.

Neste modelo de equipamento o aparelho de brunimento é de ajuste manual, localizado em um anel recartilhado sobe a junção da ferramenta ao corpo do brunidor e comporta duas pedras de brunimento (não pode utilizar réguas diamantadas) e dois feltros aplicados para limpeza da superfície brunida. Recomenda-se o uso de uma solução de querosene e óleo lubrificante para executar a operação de brunimento.

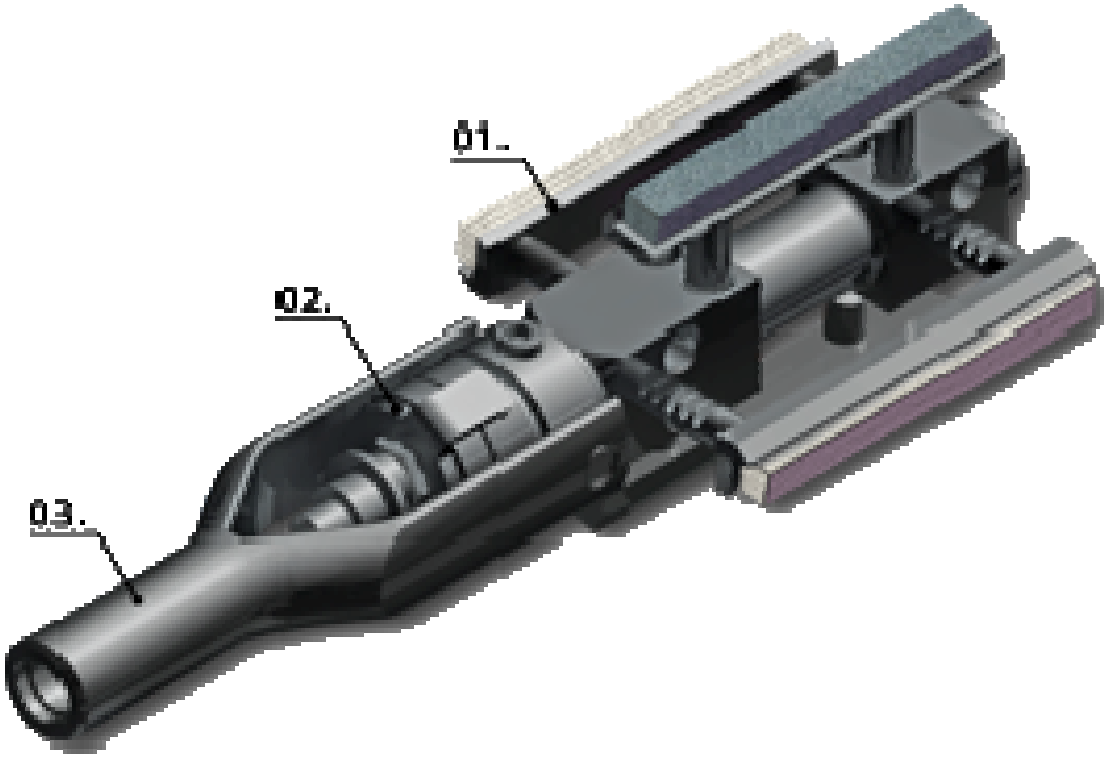


Figura 9: Detalhe brunidor convencional
Fonte**:** IAB brunidores

Figura 10: Detalhe brunidora convencional
Fonte**:** Industria e Comércio Riomaq Ltda

Já o segundo modelo de equipamento é um modelo provido de expansão hidráulica da ferramenta de brunimento, por meio de uma haste localizada no interior de fuso principal, já a ferramenta de brunimento é composta de um sistema de réguas porta pedras, montadas sobre um cone interno que por ação da haste, expandem-se de forma uniforme, possibilitando maior controle sobre a dimensão a ser brunida, bem como os parâmetros de pressão e profundidade de corte da ferramenta. Este equipamento é aplicado a grandes empresas com alto investimento, porém com uma grande produtividade.

Este tipo de equipamento pode ser de acionamento hidráulico, como o utilizado na Riosulense, ou com acionamento via servo motor como nos modelos mais modernos. Nos modelo utilizado na Riosulense a expansão da ferramenta e o avanço axial é feito por acionamento hidráulico, já o movimento radial é obtido por sistema de motoredutor com ajuste de velocidade por polias cônicas.

Miller (1996, p. 52-57), afirma que:

> "Em máquinas de brunir automática a ferramenta é montada no fuso da máquina e a peça é fixada na mesa de trabalho sendo quase impossível alinhar os eixos da ferramenta e do furo da peça para a precisão imposta pela quantidade de material a ser removido. É essencial permitir que a ferramenta flutue em relação à peça. Isto pode ser conseguido através de ferramentas rígidas e dispositivas de fixação da peça flutuantes ou ferramentas articuladas e fixações rígidas".

As máquinas mais modernas utilizam com sistema totalmente mecânico com uso de servo motores para acionamento dos fusos, inversores de freqüência para ajuste das velocidades axiais e radiais e comando CNC, com compensação de desgaste e ajustes dimensionais automáticos com medição em processos.

As máquinas mais modernas possibilitam o uso de ferramentas com abrasivos convencionais bem como o uso de ferramentas diamantadas, sendo que algumas dispõem de duplo sistema de expansão, que possibilita o uso de ferramentas conjugadas para o desbaste e o acabamento, a fim de realizar o brunimento de Plateau, que consiste em um brunimento mais profundo no passe de desbaste com a formação de ranhuras mais profundas para servirem de depósito de óleo que permite a maior lubricidade do conjunto de pistão e anéis durante o funcionamento.

Brunimento plateau a remoção de material é muito pequena, praticamente não alterando a dimensão da peça, sendo seu grande objetivo o alisamento dos picos formados durante o desbaste, melhorando o desempenho do motor e mantendo a ranhuras necessárias para a lubrificação.

Segundo Pawlus (1994, p. 247-254)

> "A microgeometria da superfície de uma camisa de pistão é fator principal, que afeta as propriedades do motor durante o período de amaciamento . Desta forma a aspereza da superfície inicial afeta o desgaste linear da camisa durante o amaciamento. Assim, existe uma forte ligação, entre o coeficiente de aspereza de superfície da camisa de pistão, a resistência ao desgaste da mesma, no período inicial de vida do motor".

Nosso equipamento não possui este recurso e precisa utilizar duas ferramentas para cada dimensão a ser usinada.

Nosso equipamento foi adquirido junto a uma loja de máquinas usadas localizada na cidade de São Paulo na rua Piratininga, local tradicional de comércio de máquinas usadas, nas época este equipamento estava desmontado e em péssimo estado, apesar de possuir todos os componentes. Quando buscamos a alternativa de equiamento usado, levamos em conta o valor demasiadamene alto de um equipamento novo e como estávamos ainda sondando o mercado, não tinhamos total confiança que o item seria viável e qual o volume de vendas que atingiríamos.

O equipamento foi reformado internamente por nossa equipe de manutenção e para os primeiros itens compramos o ferramental de brunimento.

Figura 11: Foto da Brunidora utilizada no Projeto
Fonte**:** Metalúrgica Riosulense S.A.

3 METODOLOGIA

O método e as metodologias de análise de conteúdo a ser apresentada vai viabilizar a construção do trabalho de pesquisa de acordo com a proposta a ser implementada.

A pesquisa está focada na área de produção, visando aumentar a produtividade da usinagem de camisas, e visando também diminuir o tempo e os custos do processo, fazendo uso da implantação de sistema de fixação melhorado e desenvolvimento de réguas diamantadas. Na elaboração deste estudo são utilizados dados secundários através de um levantamento na empresa e de consultas bibliográficas em literaturas relacionadas ao assunto em questão.

Para Dencker (2002, p. 124), a característica da pesquisa exploratória é "possuir um planejamento flexível envolvendo em geral o levantamento bibliográfico, entrevistas[...]."

> "[...]têm objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de idéias ou a descoberta de intuições. [...] na maioria dos casos, essas pesquisas envolvem: a) levantamento bibliográfico; b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado c) análise de exemplos que 'estimulem a compreensão'." SELLTIZ et al., 1967, p. 63 apud GIL, 2002, p. 41).

A análise e síntese dos dados a serem coletados durante a etapa de campo será constituída pela modalidade de pesquisa qualitativa, quantitativa.

Onde inicialmente serão avaliadas as condições atuais do equipamento, munidos destes dados passaremos a pesquisa bibliográfica, consultando as várias publicações sobre o assunto e principalmente verificando junto as fornecedores de ferramentas e máquinas, quais a melhores alternativas e buscando conhecimento através do Benchmarking nas alternativas do mercado.

Utilizará folhas de cronometragem, para verificação dos tempos de processo, amostragens dimensionais das peças, para avaliação de rugosidade

superficial e relatórios dimensionais para registro dos valore obtidos.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

O projeto foi iniciado, avaliando-se as condições de o equipamento e verificado-se que o mesmo apresentava sérios problemas de funcionamento, que foram repassados ao setor de manutenção para as mudanças necessárias, principalmente a refrigeração, pois o mesmo não contava com sistema de filtragem e o sistema de resfriamento ainda remanescente do equipamento antigo, que foi desativado a mais de um ano, não estava ligado. Outro problema que limitou o inicio da análise, foi o sistema hidráulico do equipamento que no processo de reforma, foi substituído, porém o sistema instalado apresentava limitações, principalmente na velocidade de avanço do fuso, que sobrecarregava a unidade hidráulica e desligava a bomba de óleo hidráulico.

Com os devidos consertos, iniciou-se a abordagem, primeiramente os parâmetros de corte e o desenvolvimento de novos ferramentais de brunimento.

Foi verificado que um dos pontos que elevavam o tempo de ciclo, que era a fixação da peça na brunidora, pois ainda eram utilizados os dispositivos de fixação da brunidora antigos, onde as peças eram colocadas no interior de um tubo e fixas com uma tampa roscada com auxilio de uma chave e muitas vezes um martelo de borracha.

A primeira providência foi elaborar de um sistema mais rápido e prático, com auxilio do setor de máquinas especiais, foi confeccionado um dispositivo com dois cilindros pneumáticos e uma mesa superior onde são fixados anéis de encosto e na base da mesa um anel com guia pra montagem da camisa e posterior fechamento.

Figura 12: Dispositivo de fixação antigo
Fonte**:** Metalúrgica Riosulense

Este novo dispositivo resultou em um ganho de 68% do tempo de fixação das peças e 62% no tempo de set up, pois anteriormente era necessária uma parada superior a 10 minutos para substituição do sistema todo e agora basta apenas soltar e apertar três parafusos para troca do anel de encosto e apenas um parafuso para substituição do anel base.

Em nossas análises verificamos que os tempos de troca da peça no caso do dispositivo antigo eram muito superiores aos tempos médios relatados pelos operadores da brunidora, o dispositivo novo tivemos uma melhoria muito inferior as nossas estimativas.

Figura 13: Dispositivo de fixação novo
Fonte**:** Metalúrgica Riosulense

Abaixo as tabelas com o comparativo de tempos de trocas em alguns itens.

Tabela 1 - Alteração do dispositivo de fixação

ITEM Nº.	TEMPO DE FIXAÇÃO DISPOSITIVO ANTIGO (horas)	TEMPO DE FIXAÇÃO DISPOSITIVO NOVO (horas)	DIFERENÇA (horas)	GANHO (%)
615.143.080	01:25	00:25	00:59	70%
615.176.080	01:11	00:21	00:49	70%
615.152.080	01:25	00:25	00:59	70%
615.170.080	01:25	00:25	00:59	70%
615.156.080	01:25	00:25	00:59	70%
61.5174.035	02:15	00:43	01:32	68%
61.5185.035	02:15	00:43	01:32	68%
615.169.035	02:15	00:43	01:32	68%
61.5179.060	02:25	00:47	01:38	68%
61.5158.060	02:25	00:47	01:38	68%
61.5162.015	01:45	00:40	01:05	62%
61.5161.015	01:45	00:40	01:05	62%
61.5163.015	02:25	00:47	01:38	68%
			MEDIA	68%

Fonte**:** Acervo do autor.

Nas trocas do dispositivo tivemos outra melhoria bastante evidente, pois o dispositivo antigo tinha necessidade de limpeza de toda a mesa e encaixe ao dispositivo no flange de encaixe, este ajuste era bastante preciso e não possibilidade de montagem com dois operadores, pois era necessário guiar o dispositivo para um encaixe perfeito. Em alguns casos o dispositivo pesava até 35 kg, apresentando risco de lesão ao operador e também causando esforço demasiado na mudança.

Tabela 2 - Redução de tempo de set up

DESCRIÇÃO	TEMPO DE TROCA COM DISPOSITIVO ANTIGO (horas)	TEMPO DE TROCA COM DISPOSITIVO NOVO (horas)	DIFERENÇA (horas)	GANHO (%)
CAMISAS FORD - ATÉ 80MM	10:43	05:00	05:43	53%
CAMISAS YANMAR ATÉ 100MM	12:38	05:25	07:13	57%
CAMISAS MWM ATÉ 103MM	12:03	05:25	06:38	55%
CAMISAS SCANIA 127MM	17:12	06:30	10:42	62%
CAMISAS MERCEDES BENS - 128MM	18:02	06:30	11:32	64%
CAMISAS CUMMINS 114MM	18:00	05:35	12:25	69%
CAMISAS CUMMINS 131MM	19:55	06:30	13:25	67%
CAMISAS VOLVO DE 114MM	15:05	05:35	09:30	63%
CAMISAS VOLVO DE 120MM	18:22	06:30	11:52	65%
CAMISAS VOLVO DE 130MM	18:30	06:30	12:00	65%
			MEDIA	**62%**

Fonte**:** Acervo do autor.

Com o novo dispositivo são poucas as peças a serem substituídas e a troca pode ser realizada por qualquer operador com o uso de apenas uma chave Allen M8, para aperto de três parafusos na tampa superior, para fixar o anel de encosto, já na base foi adicionado um sistema de guia com apenas um parafuso de aperto.

Depois de melhorado o sistema de fixação passou-se para próxima etapa do projeto, que é a do desenvolvimento de novas réguas diamantado para substituição do sistema convencional.

No inicio do processo de brunimento com ferramenta expansiva na Metalúrgica Riosulense, optou-se em adquirir da Brunitec de Salto Interior de São Paulo, um ferrametal com duas ferramentas com 8 réguas diamantadas cada sendo uma de desbaste e outra de acabamento, porém atendia apenas um modelo de peça, as camisas de cilindro Yanmar mod. 61.076.085 para os motores B9,B9C,NT90,NB10,NB10C (68/78). Estes ferramentais eram específicos para este item, não servido para outras dimensões, somente peças com o mesmo diâmetro interno de 90 mm, ou seja, para cada item novo seria necessária a compra de novo par de ferramentas.

Figura 14: Detalhe brunidor com réguas diamantadas Brunitec
Fonte**:** Brunitec - Máquinas e Ferramentas de Brunir Ltda

Quando inciamos a ampliação da linha de camisas brunidas, optamos por ferramentais mais flexível, ou seja que atendessem uma gama maior de itens, pois apesar destes serem para uso de abrasivos convencionais, estes ferramentais foram desenvolvidos pela Gammafer de Indauatuba – São Paulo, eles proporcionavam um ganho em número de ferramentas necessárias, pois cada ferramenta possuia uma gama de aplicação de 10 mm. Quando inciamos a produção com estes ferramentais, notamos que o rendimento, seja em número de peças ou em produtividade era muito

inferior aos obtidos com as ferramentas da Brunitec. Para a terceira etapa de implantação a ser inciada, seria necessário um investimento adicional de R$ 42.000,00, para compra de novas ferrramentas e réguas adicionais para cada diâmetro diferente. Caso optassemos pelo propostos pela Bunitec, apesar de várias peças possuirem dimensões semelhantes, teríamos um investimento de aproximadamente R$ 183.000,00.

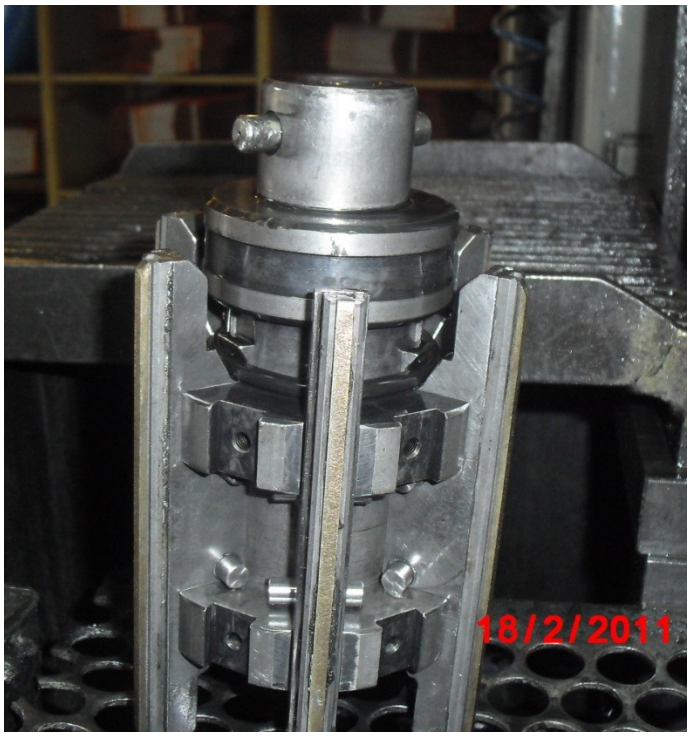


Figura 15: Detalhe brunidor com simples expansão, porta abrasivos convencionais
Fonte**:** Acervo do autor

Buscando reduzir estes custos, optamos primeiramente me desenvolver réguas diamantadas para adaptá-las ao ferramental Gammafer existente e conjuntamente com a FBD produtos diamantados, desenvolvemos um sistema de porta réguas semelhante a uma pedra de brunimento, para poder ser encaixado no ferramental Gammafer. Primeiramente desenvolvemos uma especificação com grão de diamante de 120 μm e 250 μm na mesma régua, porém os resultados não foram muito bons, pois a rugosidade facilmente variava além a especificação e com um desgaste muito acelerado da ferramenta. Para possibilitar a montagem das ferramentas diamantadas nos ferramentais Gammafer, foi desenvolvida uma base de alumínio onde a régua diamantada é embutida e pode ser facilmente montada no

porta régua, em um processo semelhante ao das pedras de brunimento, ou seja, colado com Araldite ou Super Bonder.

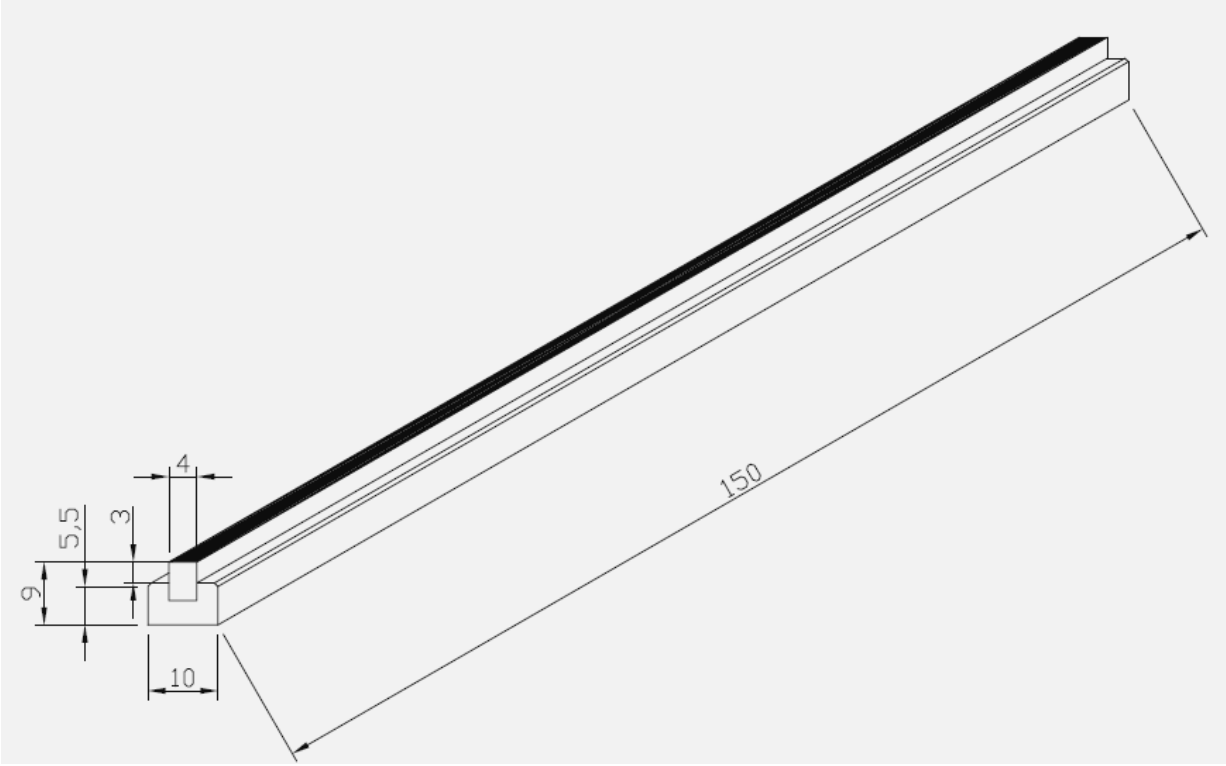


Figura 16 – Desenho régua diamantada FDB, com 150 mm de comprimento e base de alumínio
Fonte: Acervo do autor

Tabela 3 - Produtividade por conjunto de ferramentas

FERRAMENTA	PEDRA DE BRUNIMENTO GRANA 120	CONJ. REGUAS DIAMANTADAS 250 µm
NÚM. DE PEÇAS PRODUZIDAS	65	835
CUSTO DO CONJUNTO	R$ 90,00	R$ 720,00
CUSTO POR PEÇA PRODUZIDA	R$ 1,38	R$ 0,86
	REDUÇÃO	**38%**

Fonte**:** Acervo do autor.

Tabela 4 - Alteração da ferramenta de usinagem

ITEM Nº.	TEMPO TOTAL DE CICLO FERRAMENTAS CONVENCIONAIS (minutos)	TEMPO TOTAL DE CICLO FERRAMENTAS DIAMANTADAS (minutos)	DIFERENÇA (minutos)	GANHO (%)
615.143.080	06:54	03:02	03:52	56%
615.176.080	05:46	03:21	02:25	42%
615.152.080	05:53	03:06	02:47	47%
615.170.080	07:04	03:41	03:23	48%
615.156.080	06:21	02:42	03:39	57%
61.5174.035	09:25	05:10	04:14	45%
61.5185.035	09:45	05:10	04:34	47%
61.5169.035	09:35	04:59	04:36	48%
61.5179.060	10:35	06:21	04:14	40%
61.5158.060	10:25	06:02	04:22	42%
61.5162.015	08:35	04:17	04:17	50%
61.5161.015	08:35	03:51	04:43	55%
61.5163.015	10:35	06:14	04:20	41%
			MEDIA	**48%**

Fonte**:** Acervo do autor.

Tabela 5 - Rugosidade atingida com ferramental com abrasivos convencionais

ITEM	DESCRIÇÃO	FERRAMENTA	RUGOSIDADE MAX. ATINGIDA	RUGOSIDADE MÁXIMA PERMITIDA
61.076.085	CAMISA YANMAR B9,B9C,NT90,NB10,NB10C (68/78)	PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X100 G100+ PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X100 G180	1,2 Ra	0,8 Ra
61.101.030	CAMISA DE CILÍNDRO FORD - CORCEL 1.4	PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X100 G100 + PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X100 G180	1,4 Ra	0,8 Ra
615.146.080	CAMISA DE CILÍNDRO 410, 410T, 610, 610T	PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X100 G100 + PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X100 G180	1,45 Ra	1,2 Ra

continua

continuação

615.147.035	CAMISA DE CILÍNDRO ECOLÓGICO 1	PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X150 G100 + PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X150 G180	1,22 Ra	0,8 Ra
615.171.015	CAMISA DE CILÍNDRO CUMMINS N/ NT/ NTAA 855	PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X150 G100 + PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X150 G180	1,02 Ra	1,0 Ra
615.174.035	CAMISA DE CILÍNDRO ECOLOGICO D/DS/DSE/DSI-14 (/89)	PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X150 G100 + PEDRA DE BRUNIMENTO GC 10X10X150 G180	1,43 Ra	0,8 Ra

Fonte**:** Acervo do autor.

Nossa segunda alternativa foi aplicação de um conjunto para desbaste com grão 120 µm e outra de acabamento com grão 250 µm e um ligante mais duro, sendo que nesta condição atingimos uma produção estável, um custo inferior ao obtido com os abrasivos convencionais e uma produtividade muito mais alta que a anterior.

Tabela 6 - Rugosidade atingida com ferramental de brunimento diamantado

ITEM	DESCRIÇÃO	FERRAMENTA	RUGOSIDADE MAX. ATINGIDA	RUGOSIDADE MÁXIMA PERMITIDA
61.102.030	CAMISA DE CILÍNDRO FORD - CORCEL 1.6	RÉGUAS DE BRUNIMENTO DESBASTE 3X6X100 - 120µm + RÉGUAS DE BRUNIMENTO ACABAMENTO 3X6X100 - 250µm	0,65 Ra	0,8 Ra
615.152.080	CAMISA DE CILÍNDRO TD / TD229 ECA - MWM	RÉGUAS DE BRUNIMENTO DESBASTE 3X6X100 - 120µm + RÉGUAS DE BRUNIMENTO ACABAMENTO 3X6X100 - 250µm	0,58 Ra	1,2 Ra

continua

continuação

615.156.080	CAMISA DE CILÍNDRO MWM KD-112, D222, 1014E	RÉGUAS DE BRUNIMENTO DESBASTE 3X6X100 - 120µm + RÉGUAS DE BRUNIMENTO ACABAMENTO 3X6X100 - 250µm	0,78 Ra	1,2 Ra
615.161.015	CAMISA DE CILÍNDRO CUMINNS SÉRIE C 2000	RÉGUAS DE BRUNIMENTO DESBASTE 3X6X150 - 120µm + RÉGUAS DE BRUNIMENTO ACABAMENTO 3X6X150 - 250µm	0,83 Ra	1,0 Ra
615.185.035	CAMISA DE CILÍNDRO D-11, DS-11 (/74) - SCANIA	RÉGUAS DE BRUNIMENTO DESBASTE 3X6X150 - 120µm + RÉGUAS DE BRUNIMENTO ACABAMENTO 3X6X150 - 250µm	0,65 Ra	0,8 Ra
615.253.085	BTD-22 (86/) YANMAR	RÉGUAS DE BRUNIMENTO DESBASTE 3X6X100 - 120µm + RÉGUAS DE BRUNIMENTO ACABAMENTO 3X6X100 - 250µm	0,67 Ra	0,8 Ra

Fonte**:** Acervo do autor.

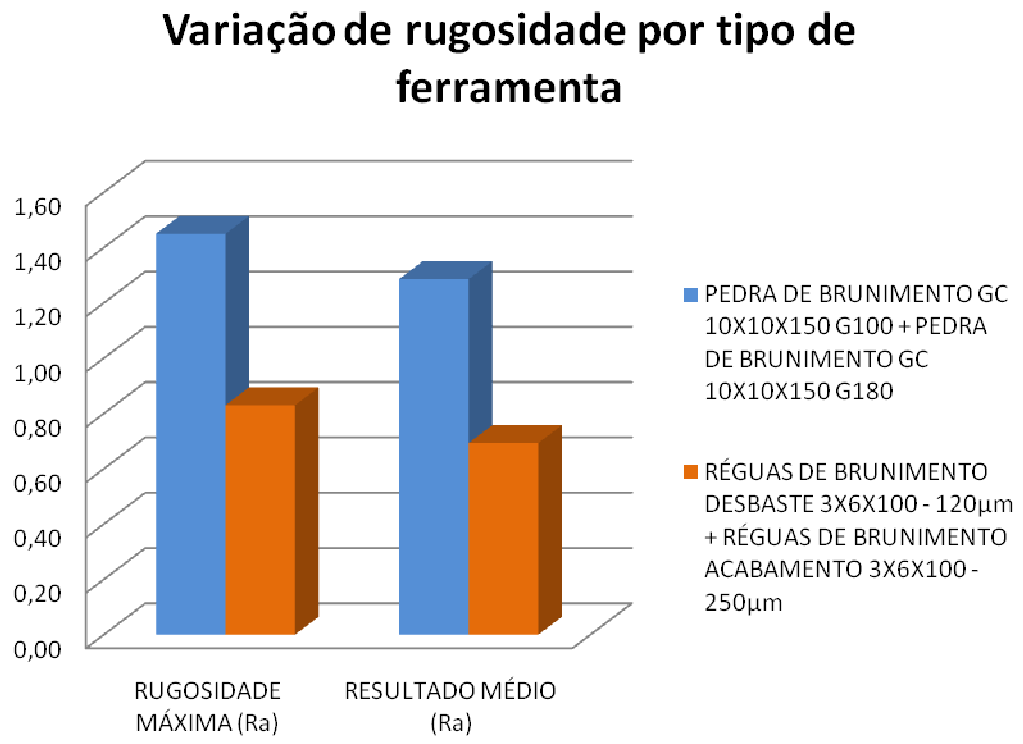


Gráfico 1 – Variação de rugosidade por tipo de ferramenta
Fonte: Acervo do autor

Designação de granulometria (mesh)	Diâmetro médio de grão em µm			
	DIN ISO 6344	JIS	ANSI	
60	270	270	270	Macro granulometria
70	230		230	
80	190	190	190	
90	160		160	
100	140	165	140	
120	120	120	120	
150	95	95	95	
180	80	80	80	
200	70			
220	60	70	70	
240	45	57	57	Micro granulometria
280		48	37	
320	29	40	29	
360		35	23	
400	17	30	17	
500	13	25	13	
600	9	20	9	
700		17		
800	7	14	7	
1000	5	12	4	
1200	3	10	3	
1500	2	8		
2000	1	7		
2500		5		
3000		4		
4000		3		
6000		2		
8000		1		

Quadro 1 – Classificação de grão de diamantes
Fonte: Acervo do autor

Muito Grosso	Grosso	Médio	Fino	Muito Fino	Pó
8	14	30	70	150	280
10	16	36	80	180	320
12	18	10	90	200	400
-	20	46	100	220	500
-	-	54	120	240	600
-	24	30	120	240	800
-	-	-	-	-	1000

Quadro2 – Classificação de grão de carboneto de silício (FEPA)
Fonte: Acervo do autor

A variação de temperatura do óleo de corte também influência na operação de brunimento, pois dela depende a dimensão medida ao final do processo, pois devido ao campo de tolerância reduzido, com no máximo 0,03 mm de campo total e com uma temperatura muito alta, existem uma variação térmica próxima a este valor de tolerância, inviabilizando assim a medição da dimensão com

a precisão necessária, outro fator é o desgaste prematuro, no caso das ferramentas convencionais de carboneto de silício, que se desprende com a alta temperatura, reduzindo ainda mais seu desempenho. Já no caso das réguas diamantadas este fator e reduzido, porém também afeta a ponto de perdas estimadas em pelo menos 20% da visa útil da ferramenta.

Tabela 7 - Rendimento de ferramentas versus temperatura do óleo de corte

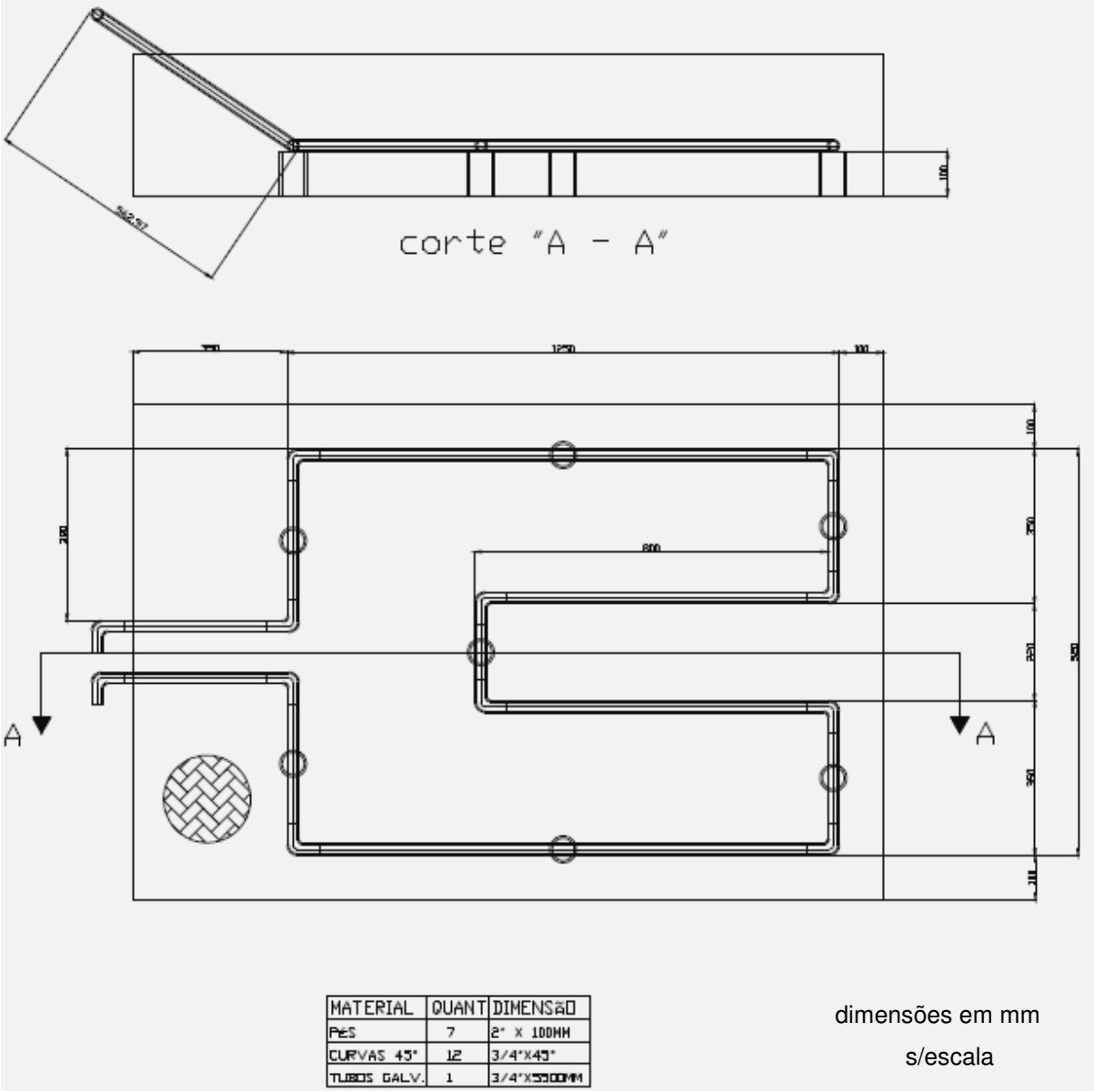
ITEM	32℃	60℃
61.076.085	22 PEÇAS	32 PEÇAS
61.102.030	120 PEÇAS	65 PEÇAS
615.153.080	32 PEÇAS	20 PEÇAS
615.147.035	25 PEÇAS	16 PEÇAS

Fonte**:** Acervo do autor.

Durante as primeiras etapas de do estágio o sistema de refrigeração estava ligado, mas devido ao uso de óleo de corte integral, este acabou entupindo os orifícios do resfriador, sendo que desde então encaminhamos os testes sem este.

Mesmo assim fizemos algumas medições e proporemos ao final do relatório ações para implementação do sistema de refrigeração sem riscos de entupimentos futuros.

Abaixo podemos ver a nossa proposta para instalação de um sistema de refrigeração composto de uma serpentina mergulhada no tanque de óleo de corte por onde circulará uma solução de álcool a 5℃, visando realizando uma troca térmica através das paredes desta serpentina, resfriando todo o reservatório de óleo.



MATERIAL	QUANT	DIMENSÃO
PÉS	7	2" X 100MM
CURVAS 45°	12	3/4"X45°
TUBOS GALV.	1	3/4"X5500MM

Figura 18 – Projeto de sistema de refrigeração com tubos e curvas roscadas.
Fonte: Acervo do autor

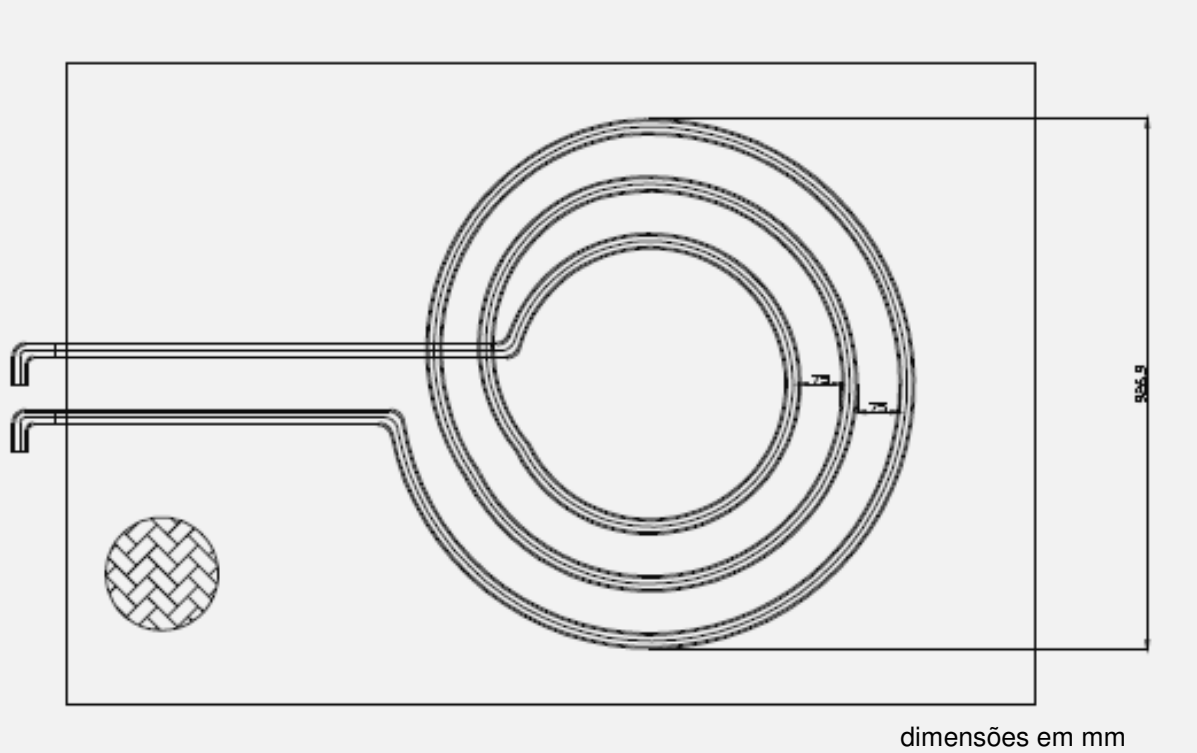


Figura 19 – Projeto de sistema de refrigeração com tubos calandrados
Fonte: Acervo do autor

Figura 20 – Sistema de filtragem onde será instalado a serpentina para resfriamento do óleo de corte
Fonte: Acervo do autor

Foi analisada a variação dimensional e verificou-se não haver uma relação direta entre a variação de temperatura e a dimensão real das pelas, pois infelizmente a variação de temperatura não necessariamente representava um acréscimo ou decréscimo da dimensão, pois o caso o tipo de abrasivo utilizado era o carboneto de silício e esta apresenta uma degradação que acreditamos que as réguas diamantadas não deverão apresentar este comportamento, pois havia disponível, nesta época um ferramental com réguas diamantadas adquiridas Brunitec, porém para seguir este processo teria um investimento altíssimo e a intercabiabilidade necessária para utilização dos outros ferramentais existentes, como relatado anteriormente. Pois os demais ferramentais adquiridos da empresa Gammafer, não previam a instalação de réguas diamantadas conforme o ferramental Brunitec.

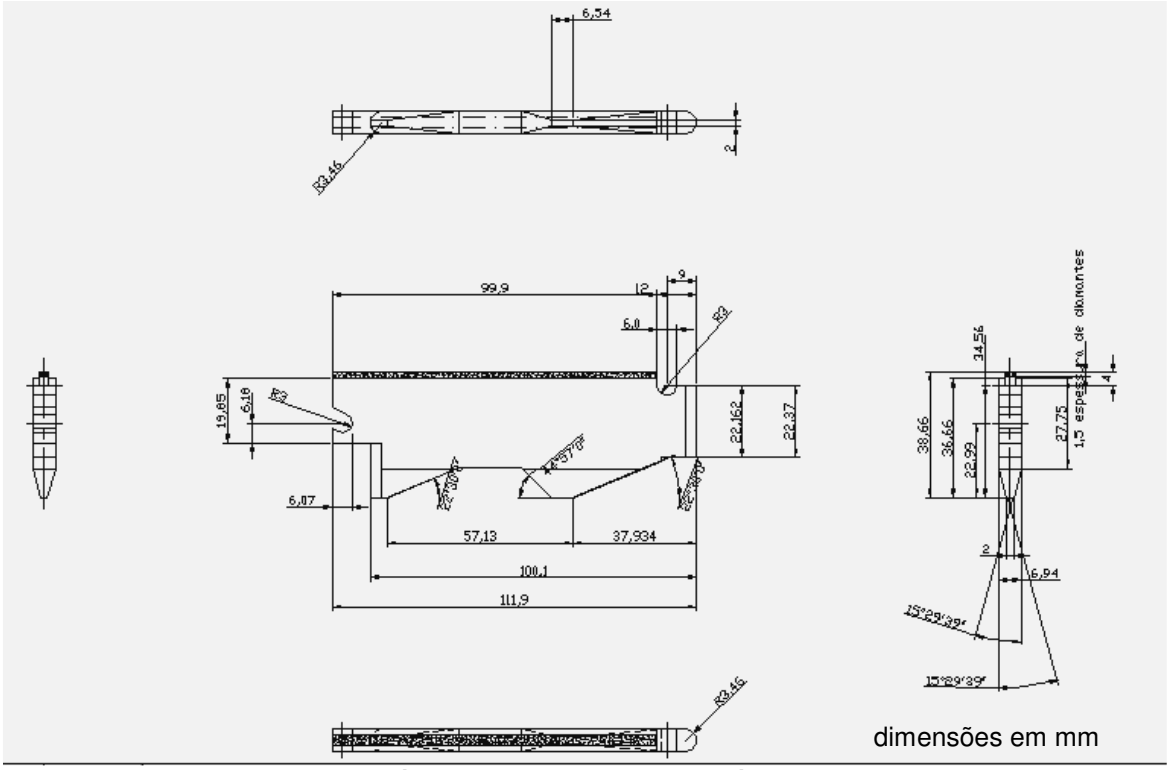


Figura 21 – Desenho do porta régua aparelho Brunitec 8 réguas
Fonte: Acervo do autor

Observamos que as réguas de brunimento do ferramental Brunitec, precisavam ser enviadas ao fornecedor de diamantados para sinterizar a liga diamantada diretamente nas réguas, com custo mais alto e tempo de reposição elevado.

Tabela 8 - Variação de temperatura do item 61.5174.035

TEMPERATUDA DO ÓLEO	Ø APÓS A USINAGEM	Ø REAL
45° C	127,023	127,012
48° C	127,024	127,015
50° C	127,032	127,012
53° C	127,030	127,011
55° C	127,033	127,004
57° C	127,022	127,002
60° C	127,023	126,998
65° C	127,021	126,988

Fonte**:** Acervo do autor.

Quanto ao aproveitamento dos corpos dos aparelhos de brunimento para a utilização em outras dimensões, foi realizado um estudo e depois encaminhado à ferramentaria para execução e um total de dois aparelhos que eram utilizados para o brunimento de camisas até 114 mm, adaptou-se novos porta réguas, ampliando este para todas as dimensões necessárias, bastando apenas a troca dos porta-réguas. Foram construídos dois jogos de 6 peças para cada dimensão de furos, sendo agora possível brunir camisas longas de até Ø139,00 mm com os aparelhos existentes, nosso único investimento foi a confecção dos conjuntos porta réguas e as montagem das réguas diamantadas. Com as réguas diamantadas obtivemos uma menor variações dimensionais.

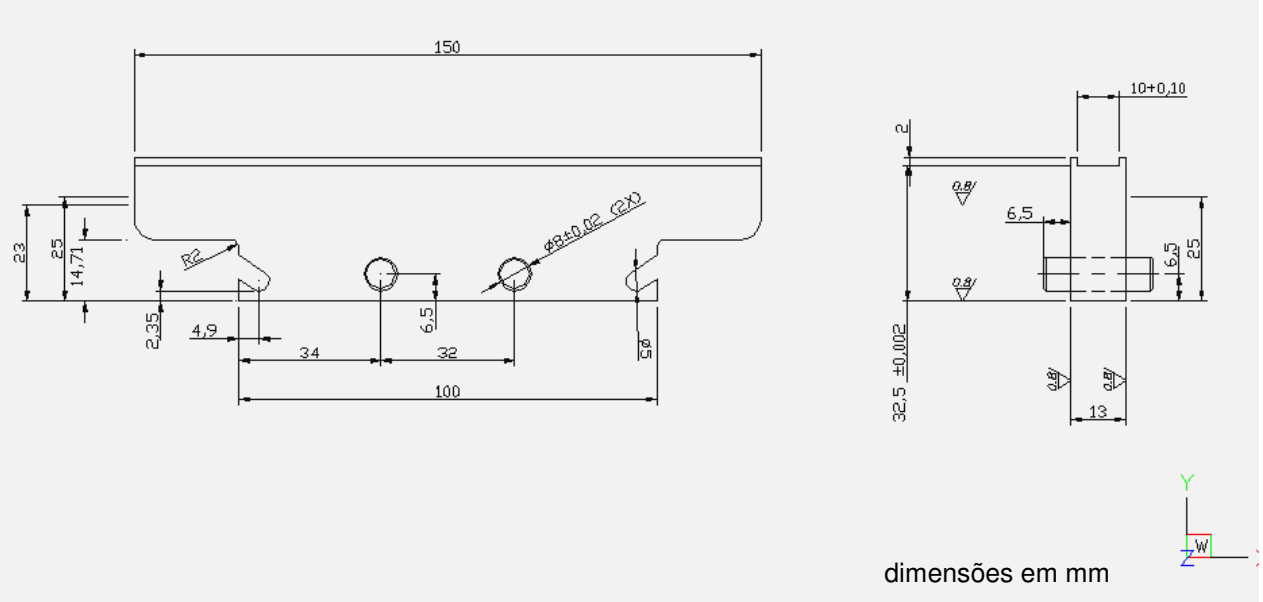
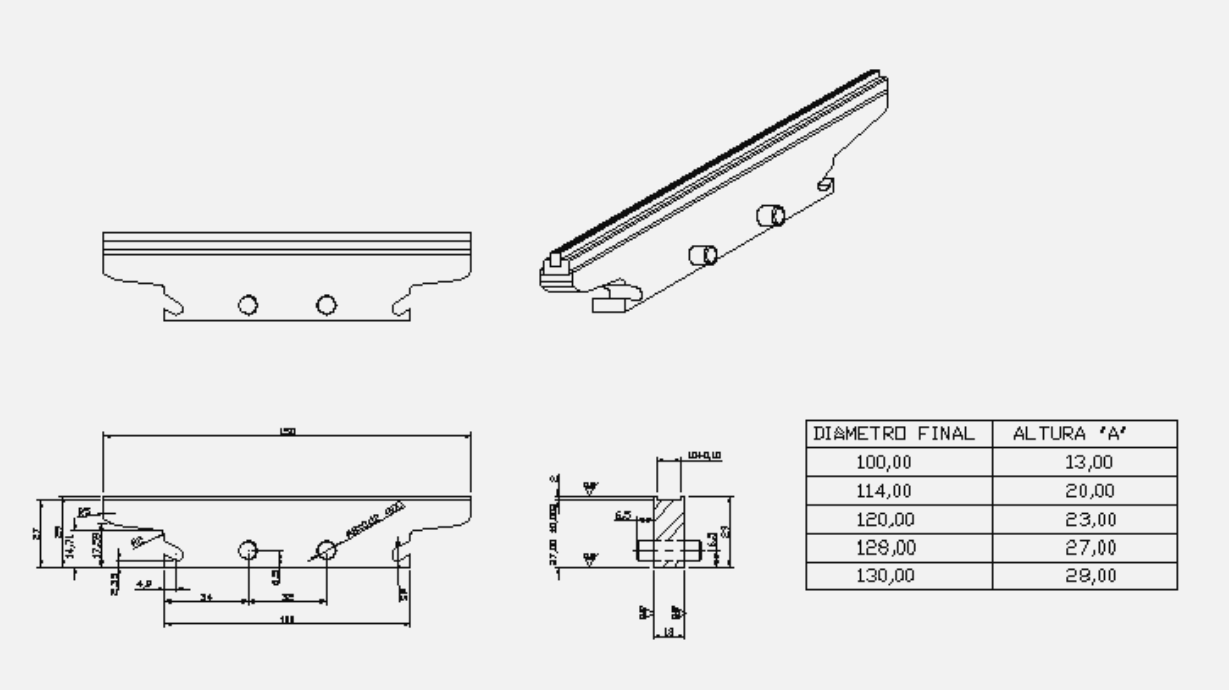


Figura 22 – Desenho do porta régua alterador para régua de 150 mm e Ø128 mm
Fonte: Acervo do autor



DIAMETRO FINAL	ALTURA 'A'
100,00	13,00
114,00	20,00
120,00	23,00
128,00	27,00
130,00	28,00

Figura 23 – Desenho do porta régua – Montagem e tabela de dimensões dos conjuntos
Fonte: Acervo do autor

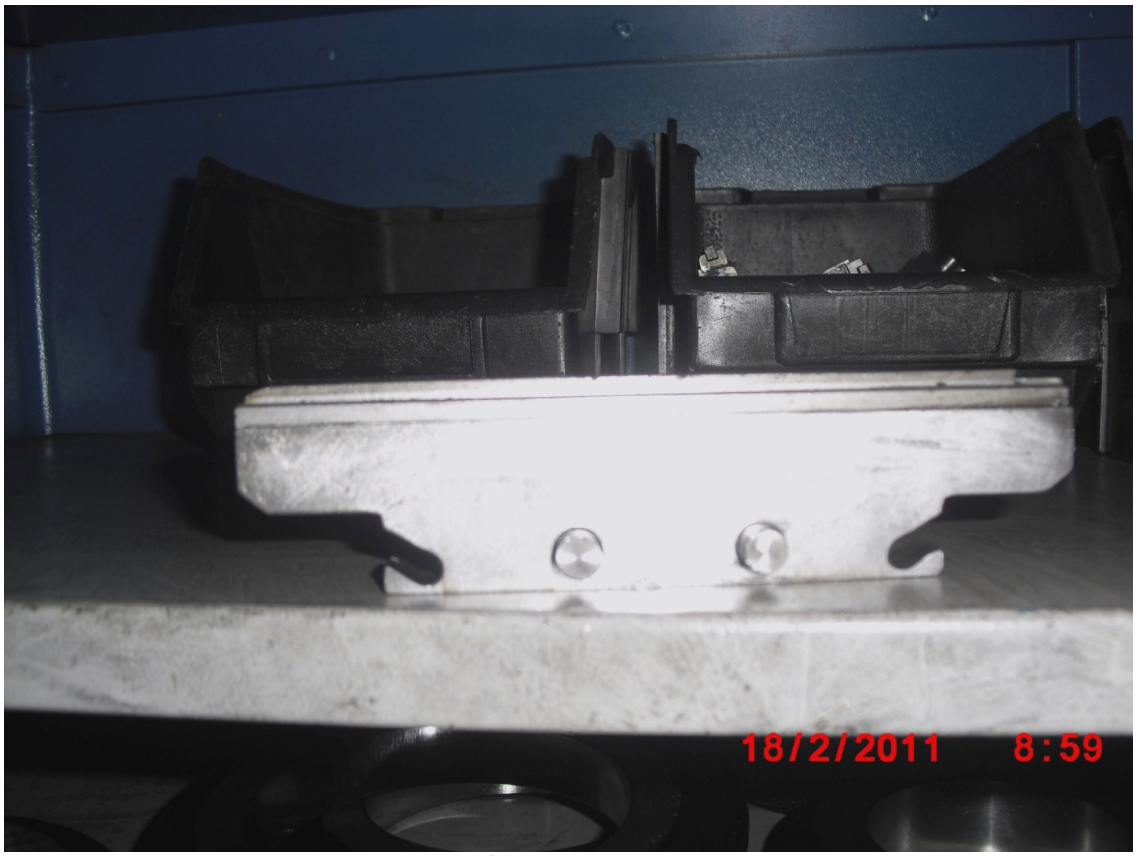


Figura 24 – Detalhe dos novos porta réguas confeccionados na ferramentaria da Riosulense
Fonte: Acervo do autor

Após a confecção e adequação das novas réguas diamantadas, coletamos alguns dados para avaliarmos a variação dimensional nos dois processos, com abrasivos convencionais e com réguas diamantadas.

Tabela 9 - Variação dimensional com ferramenta convencional

ITEM MODELO : 61.5169.035 - CAMISA DE CILÍNDRO ECOLOGICO DS, DN, DS, DSI 11 (89) - SCANIA

DIMENSÃO 127,000 A 127,030 mm

ITEM	ø INTERNO TOPO DA PEÇA (mm)	ø INTERNO MEIO DA PEÇA (mm)	ø INTERNO BASE DA PEÇA (mm)	VARIAÇÃO MÁXIMA (mm)	PERC. CAMPO DE TOL.
1	127,005	127,022	127,015	0,017	57%
2	127,024	127,032	127,020	0,012	40%
3	127,022	127,030	127,020	0,010	33%
4	127,014	127,022	127,004	0,018	60%
5	127,000	127,010	127,012	0,012	40%
6	127,032	127,040	127,022	0,018	60%
7	127,030	127,034	127,027	0,007	23%
8	127,033	127,040	127,012	0,028	93%
9	127,005	127,012	127,012	0,007	23%
10	127,012	127,022	127,030	0,018	60%
11	127,011	127,010	127,007	0,004	13%
12	126,998	127,012	127,012	0,014	47%
13	127,003	127,007	127,009	0,006	20%
14	127,004	127,007	127,017	0,013	43%
15	127,012	127,018	127,028	0,016	53%
16	127,023	127,029	127,033	0,010	33%
17	127,024	127,020	127,025	0,005	17%
18	127,031	127,021	127,022	0,010	33%
19	127,008	127,023	127,002	0,021	70%
20	127,009	127,010	127,011	0,002	7%
21	127,003	127,013	127,016	0,013	43%
22	127,004	127,012	127,020	0,016	53%
23	127,007	127,018	127,019	0,012	40%
24	127,023	127,030	127,032	0,009	30%
25	127,021	127,029	127,031	0,010	33%

Fonte**:** Acervo do autor.

Tabela 10 - Variação dimensional com ferramenta diamantada

ITEM MODELO : 61.5174.035 - CAMISA DE CILÍNDRO ECOLOGICO D/DS/DSE/DSI-14 (/89) - SCANIA					
DIMENSÃO 127,000 A 127,030 mm					
ITEM	Ø INTERNO TOPO DA PEÇA (mm)	Ø INTERNO MEIO DA PEÇA (mm)	Ø INTERNO BASE DA PEÇA (mm)	VARIAÇÃO MÁXIMA (mm)	PERC. CAMPO DE TOL.
1	127,005	127,008	127,009	0,004	13%
2	127,006	127,008	127,013	0,007	23%
3	127,007	127,009	127,010	0,003	10%
4	127,008	127,012	127,015	0,007	23%
5	127,008	127,011	127,012	0,004	13%
6	127,009	127,009	127,014	0,005	17%
7	127,011	127,012	127,020	0,009	30%
8	127,012	127,018	127,012	0,006	20%
9	127,011	127,016	127,012	0,005	17%
10	127,012	127,018	127,022	0,010	33%
11	127,011	127,016	127,007	0,009	30%
12	127,008	127,012	127,012	0,004	13%
13	127,008	127,007	127,009	0,002	7%
14	127,009	127,007	127,017	0,010	33%
15	127,010	127,014	127,018	0,008	27%
16	127,011	127,015	127,014	0,004	13%
17	127,010	127,015	127,015	0,005	17%
18	127,016	127,020	127,022	0,006	20%
19	127,016	127,020	127,012	0,008	27%
20	127,015	127,019	127,011	0,008	27%
21	127,008	127,011	127,016	0,008	27%
22	127,004	127,009	127,010	0,006	20%
23	127,007	127,009	127,009	0,002	7%
24	127,011	127,012	127,020	0,009	30%
25	127,011	127,013	127,021	0,010	33%

Fonte**:** Acervo do autor.

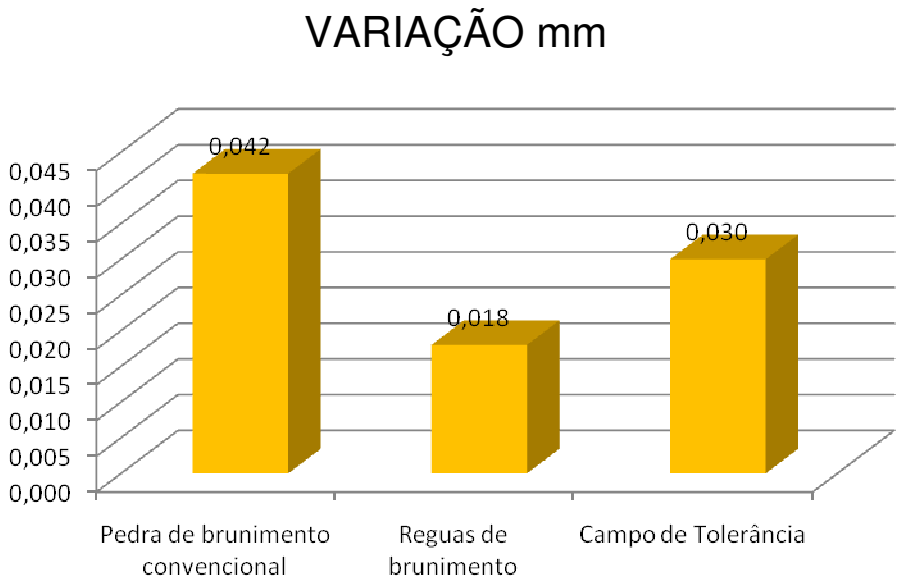


Gráfico 2 – Variação de dimensional por tipo de ferramenta
Fonte: Acervo do autor

Após todas as melhorias realizadas verificamos ainda havia uma providencia a ser tomada, que precisaríamos afinar os parâmetros de rotação e velocidade de pulsos, conforme a variação do diâmetro a ser brunida.

Para possibilitar tais ajustes, providenciamos a compra de um tacômetro digital e cronômetro para que o operador pudesse medir a rotação da ferramenta e através da cronometragem da velocidade de descida e subida do fuso calculasse a velocidade de golpes por minuto.

VELOCIDADES DE CORTE: Vc = π dn/1000

Tangencial (rpm): Para pedra de brunir: 20 a 30 m/min.
Para diamante: 45 a 60 m/min.
Para borazon (CBN): 60 a 80 m/min.

Axial: Para pedra de brunir: 12 a 18 m/min.
Para diamante: 15 a 30 m/min.
Para borazon (CBN): 20 a 40 m/min.

$$n = \frac{vc \times 1000}{d \times \pi}$$

$$gpm = \frac{vc \cdot 1000}{2 \cdot c}$$

vc = velocidade de corte
d = diâmetro da peça
π = 3,14
n = rotação em RPM
Gpm = golpes por minuto
c = curso

NÚMERO DA PEÇA	DESCRIÇÃO DO ITEM	DIAM. INT. (mm)	COMPR. (mm)	FERRAMENTAS DIAMANTADAS				RUGOSIDADE FINAL
				ROTAÇÃO MÍNIMA	ROTAÇÃO MÁXIMA	GOLPES P/MIN. MÍN.	GOLPES P/MIN. MÁX.	
61.012.035	CAMISA DE CILÍNDRO AE-1000 UCO 1404	70,320	134,35	203	271	34	69	2,0 ~ 5,0 (Rt)
61.075.085	CAMISA YANMAR B10,B10C,B10M,B10MR,NB13	100,010	218,10	143	190	21	42	
61.076.085	CAMISA YANMAR B9,B9C,NT90,NB10,NB10C (68/78)	90,010	193,00	159	212	24	48	
61.101.030	CAMISA DE CILINDRO CORCEL 1.4 UCO 1401	75,300	134,00	190	253	34	69	0,6 ~ 1,0 (Ra)
61.102.030	CAMISA DE CILINDRO CORCEL 1.6 UCO 1402	77,000	134,10	186	248	34	69	0,6 ~ 1,0 (Ra)
615.142.050	CAMISA DE CILÍNDRO 4-428 (INDL / VEIC)	101,050	227,30	141	189	20	41	
615.143.080	CAMISA DE CILÍNDRO D227 / D229	102,000	212,50	140	187	22	44	0,8 ~ 1,2 (Ra)
615.144.050	CAMISA DE CILÍNDRO 3-152 / 4-203 / 6.305	91,490	216,00	156	208	21	43	
615.145.020	CAMISA DE CILÍNDRO MERCEDES BENZ	128,000	270,00	111	149	17	34	3,0 a 5,0 (R3z)
615.146.080	CAMISA DE CILINDRO 4.10, 4.101, 6.10, 6.10T	103,000	212,80	139	185	22	44	
615.147.035	CAMISA DE CILÍNDRO ECOLÓGICO 1	127,000	291,10	112	150	16	32	
615.148.050	CAMISA DE CILINDRO 3-236 / 6-654 - 6-640 (INJEÇÃO DIRETA)	98,480	227,30	145	193	20	41	
615.149.050	CAMISA DE CILINDRO 6-357 (INDL/ AGRIC/ VEIC)	104,140	225,50	137	183	20	41	
615.152.080	CAMISA DE CILÍNDRO TD / TD229 ECA	102,000	212,50	140	187	22	44	0,8 ~ 1,2 (Ra)
615.156.080	CAMISA DE CILINDRO MWM KD-112, D222, 1014E	98,010	235,30	146	194	19	39	0,8 ~ 1,2 (Ra)
[illegible]	CAMISA DE CILINDRO MWM D225 [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Figura 25 – Parâmetros de brunimento por modelo de peça, parcial
Fonte: Acervo do autor

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o projeto realizado durante o estágio atendeu as expectativas tanto da empresa quanto a do acadêmico, pois todo trabalho realizado se refletiu em uma melhoria do processo que contribuiu para o atendimento das metas traçadas no início do estagio.

Quanto às melhorias propostas e implantadas deve-se ressaltar que boa parte das melhorias foram conseguidas através da criatividade e de conceitos estudados durante o curso, principalmente os projetos de ferramentas e estudos de tempos e métodos, nas disciplinas de processos de fabricação e desenhos técnico.

Dentre os maiores resultados atingidos, a melhoria nos tempos de ciclo é um dos principais resultados alcançado, com o sistema de réguas diamantadas e o novo sistema de fixação obtivemos uma redução de 68% no tempo de troca de peça e 48% de redução do tempo de usinagem, totalizando um ganho global de 51% na produtividade. Nos demais requisitos obtiveram um ganho nos tempos de set up, onde o percentual de 62% de redução com o número de trocas de peças ser de aproximadamente três trocas diária resultaria num ganho de 11 horas de tempo de produção.

Um ponto a ser destacado foi o empenho dos operadores demonstraram na busca pelas melhorias e também auxiliaram no acompanhamento dos testes e idéias de ações que pudessem ser aplicadas.

A análise das novas réguas diamantadas, demandaram pelo menos 7 meses de acompanhamento, como atuo na função de analista de processos deste setor, este acompanhamento complementou a atividade normal e ampliou meu conhecimento sobre o tema.

A operação de brunimento ainda é bastante recente na Riosulense, pois a empresa já possuía esta operação semelhante, mas com sistema e equipamentos diferentes, trata-se do sistema de brunimento de passe único, que consistem de uma bucha recorta por diamantes, a expansão deste sistema é realizada por meio de um mandril que expande uma bucha e esta é girada no interior da peça.

Este processo é aplicado a peças de pequena dimensão e o custo destas buchas são relativamente alto, tratando-se de um produto importado. Este processo não é aplicável a usinagem de camisas, pois as camisas requerem um cruzamento

das estrias que não podem ser conseguidos com as buchas diamantadas, pois neste caso trata-se de um tipo de brunimento curto.

Durante o projeto foi realizado um levantamento de custo de equipamentos de brunimento novos e notamos que na condição atual e pelas demandas que a Riosulense possuem, não comportaria um equipamento novo ou mesmo um sistema de ferramentas mais moderno, pois o tempo de retorno de investimento seria inviável e as melhorias realizadas comportam as demandas e garante uma produtividade semelhante às obtidas nos equipamentos das operações anteriores. Atualmente a Metalúrgica Riosulense, possui uma célula de produção de camisas molhadas, onde a produtividade máxima é de 20 peças por hora e o novo tempo de ciclo brunimento atinge esta mesma produtividade.

O projeto se concentrou no setor de camisas, porem algumas ações pode ser tomada como modelo para melhorias em outros processos.

Com o alcance das metas de produtividade, obteve-se o ganho de um operador que com a mudança de um torno mecânico na primeira operação de usinagem por um torno CNC que havia sido substituído no setor de usinagem de guias de válvula. Esta operação se tornou menos manual e podemos efetuar esta operação simultaneamente pelo operador da brunidora, pois este possui agora tempo suficiente para operar ambas as máquinas, sem o risco que havia anteriormente de quebra das pedras de brunimento convencionais.

A empresa atualmente busca alternativas para os itens brunidos, pois estes representam uma grande linha de itens e a cada novo lançamento representa um investimento bastante elevado, pois a informações para desenvolvimento de um novo item consistem em adquirir peças de terceiros desenvolver um desenho, confeccionar um ferramental de fundição (coquilha) e ferramental de usinagem (castanhas e pinça expansiva), bem como o ferramental de brunimento, que devido a nossa modificação atende a maior parte dos diâmetros, se resumindo os elementos de fixação da peça.

Alcançou-se o objetivo e acredita-se que o trabalho não terminou aqui, pois existem várias oportunidades de melhoria para uma empresa que visa à evolução e valorizando seus talentos, oportunizando o crescimento conjunto do acadêmico, da universidade e empresa.

Este é um exemplo prático da integração de interesses de vários setores, sejam pesquisa, acadêmicos, funcionais e principalmente crescimento profissional.

RECOMENDAÇÕES

Embora o objetivo primordial deste projeto foi a melhoria do processo com o mínimo de investimentos, verificamos todas as informações de Benchmarking disponíveis e também visitamos uma montadora, onde era realizada esta operação, porém de forma mais dedicada e com altíssimo investimento.

Caso fosse adotar o sistema de fabricação aplicado por nossos concorrentes teríamos que desenvolver uma ferramenta de brunimento exclusiva para cada peça nova, perfazendo um investimento aproximado de R$ 22.000,00 para um ferramental com simples expansão e sem medição em processo. Já um sistema de brunimento com dupla expansão e medição em processo por ar comprimido custaria aproximadamente R$ 45.000,00. No caso destes concorrentes temos uma dificuldade que no caso deles é inimizada, que seria o tempo de amortização dos investimentos, pois no caso de uma destas empresas eles utilizam o mesma estrutura para fabricação para montadoras, onde a demanda reduz grande parte deste investimento, que seria o ferramental, pois a ferramentas deterioradas representam arte do custo de fabricação e já foram previstos no processo de desenvolvimento deste. No caso de outro concorrente, este já está no mercado a mais de duas décadas e tinham uma filial fora do Brasil, onde conseguiram desenvolver os ferramentais a custos muito inferiores aos oferecidos hoje.

No caso da montadora, esta possui um investimento muito alto, porém altamente tecnológico, possui operações de brunimento em desbaste e brunimento final com equipamento de última geração, com dupla expansão, medição em processo análise e correção dimensional via CNC , calculamos que a custos atualizados este equipamento custaria completo com ferramentas de brunimento para apenas um diâmetro específico, R$ 2.300.000,00, valores inviáveis a quem procura atender a preços de mercado.

Com os investimentos restritos a nossa realidade, acreditamos que algumas medidas, poderiam melhorar nosso equipamento, tornando-o mais competitivo e mantendo um custo de fabricação destro das nossa necessidade.

Seguem algumas ações que acreditamos, melhorem o processo e facilitem a operação de brunimento:

- Instalação do sistema de refrigeração do óleo de corte, pois a empresa já possui o resfriador de óleo, porém aplicado este diretamente no resfriador, já observamos que há o risco de entupimento e perda de eficiência, para evitar este problema nossa sugestão é a instalação de um trocador de calor no interior do tanque com uma serpentina para circulação de uma solução anticongelante, possivelmente álcool;
- Outra melhoria seria a substituição do sistema de variação de velocidade original com discos contrapostos, por um motoredutor com inversor de freqüência, que facilitaria o controle e reduziria o número de componentes para manutenção e possibilitaria a criação de programas de brunimento através do CLP, para cada item sem a necessidade de mudanças manuais;
- Instalação de um separador magnético na central de filtragem, para coletar os resíduos de metal contidos no óleo de corte, torneando este mais eficiente, contribuído para melhorar o rendimento das ferramentas e limpeza da peças produzidas.

Finalizando, acredita-se que com um investimento modesto, comparado aos padrões adotados por concorrentes e clientes, acreditamos que a operação pode ser melhorada e manter um custo condizente as necessidades da empresa e com os preços finais praticados no mercado.

O projeto identificou uma oportunidade de melhoria e conseguiu êxito em boa parte das metas traçadas, esperamos que este viesse a despertar novas ideais na empresa e se possível alguma oportunidade de cooperação mais profunda entre a empresa e a universidade que possibilitassem uma mais ativa de outros acadêmicos, sendo eles funcionário ou não desta empresa.

REFERÊNCIAS

ANDRETTA, Claudio da Silva ; NOVASKI, Olivio . **Brunimento para recuperação de motores de combustão interna**. In: II Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2003, Uberlandia. Anais do II Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2003

DENCKER, Ada de Freitas Maneti. **Pesquisa e interdisciplinaridade no ensino superior: uma experiência no curso de turismo**. São Paulo: Aleph, 2002. p. 124 ISBN 8585887591

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos **Tecnologia da usinagem dos materiais.** São Paulo, Brasil: MM Editora,1999. 244 p.

FÁVERI, Helena Justen de; BLOGOSLAWSKI, Ilson Paulo Ramos; FACHINI, Olímpio. **Educar para pesquisa: normas para produção acadêmica de textos cientificos.** 3. ed. Rio do Sul: UNIDAVI, 2008. 103 p. ISBN 8589234053

FÁVERI, Helena Justen de; BLOGOSLAWSKI, Ilson Paulo Ramos; FACHINI, Olímpio. **Novo manual de produções acadêmicas**. Blumenau: Nova Letra, 2004. 100 p. ISBN 8589234037

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais.**São Paulo: Edgard Blücher Ltda,1977.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. p. 41.

HONTECH DO BRASIL. **Brunimento – introdução**: Disponível em <http://www.hontech.com.br/brunimento_introducao.asp.> Acesso em: 09 de fevereiro 2011.

MOCELLIN, Fabiano. **Desenvolvimento de tecnologia para brunimento de cilindros de blocos de motores em ferro fundido vermicular**. Florianópolis, 2007. 264 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

WALTER HUNGER GMBH & CO. KG – **Surface processing**: Disponível em < http: //hunger-hydraulik.de/index.php/surface-processing.html > Acesso em: 19 de Fevereiro. 2011

MWM MOTORES DISESL LTDA. – **Manual de dados técnicos – Motor Série 229**, São Paulo: 2003. 59p. Apostila.

MILLER, J. – **Super-abrasive reaming of bores in cast iron. Industrial Diamond Review**, vol. 2, p. 52-57, 1996.

NAGEL DO BRASIL. **Máquina de Brunimento – Detalhes técnicos**: Disponível em < http://www.nagel.com.br/maquinas_brunimento_caract.asp.> Acesso em: 09 de Fevereiro. 2011.

NUSSBAUM, Guillaume.Ch. **Rebolo & abrasivos – tecnologia básica.** 1 ed. São Paulo: Editora Ícone, 1988.

PAWLUS, P.;.**A Study on funcional properties of honed cylinder surface running-in**, Wear, 176(1994) pg247-254

PERES, Ricardo Machado; WEINGAERTNER, Walter Lindolfo. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Centro Tecnologico. **Caracterização do processo e verificação das grandezas de entrada no brunimento de curso longo do tipo "Precidor"**. 1994. 157f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico

PERFECTUM – SERVIÇOS DE ENGENHARIA. – **Princípios de funcionamento, instalação, operação e manutenção de grupos geradores – Parte I – Motores Diesel**, Disponível em < http://www.joseclaudio.eng.br/grupos_geradores_1.html> Acesso em: 30 de Janeiro. 2011.

SCHMIDT, Marco Antonio; BOEHS, Lourival. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Centro Tecnológico. **Brunimento em ferro fundido cinzento utilizando ferramentas tipo bucha com grãos de diamante**. Florianópolis, 1999. 237f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

SELLTIZ, Claire. **Métodos de pesquisa nas relações sociais**. 2. ed. São Paulo: Herder, 1967.p. 63.