

# **ESTUDO DO SPARK-OUT NO AÇO VC-131 PARA REFRIGERAÇÃO CONVENCIONAL E OTIMIZADA NA RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA DE MERGULHO**

**Thiago Valle França**

Mestrando em Eng. Industrial – Depto. de Engenharia Mecânica, UNESP – Campus de Bauru,  
Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/nº, CEP 17033-360, SP, Brasil, Tel.: 14 - 3103 6119

**Rodrigo Eduardo Catai**

Doutorando em Eng. Mecânica – Depto. de Materiais e Tecnologia, UNESP – Campus de  
Guaratinguetá, SP, Brasil, E-mail: rcatai@feb.unesp.br

**Ronaldo Yoshinobu Fusse**

Mestrando em Eng. Industrial – Depto. de Engenharia Mecânica, UNESP – Campus de Bauru,  
Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/nº, CEP 17033-360, SP, Brasil, Tel.: 14 - 3103 6119

**Eduardo Carlos Bianchi**

Depto de Eng. Mecânica, UNESP, CEP: 17033-360, Bauru, SP, bianchi@feb.unesp.br

**Paulo Roberto de Aguiar**

Depto de Eng. Elétrica, UNESP, CEP: 17033-360, Bauru, SP, aguiarpr@feb.unesp.br

**Leonardo Roberto da Silva**

Depto de Mecânica, CEFET - MG, CEP: 30.410-000, Belo Horizonte, MG, lrsilva@feb.unesp.br

**Resumo.** Neste trabalho foi realizado um estudo sobre a influência do tempo de spark-out ou de centelhamento no processo de retificação cilíndrica do aço VC 131, utilizado na fabricação de válvulas de admissão de motores. Foram utilizados três tempos de spark-out distintos: 2, 6 e 12 s, com refrigeração convencional e otimizada. Os ensaios foram realizados com um rebolo convencional de óxido de alumínio e com óleo integral como fluido de corte. As variáveis analisadas para verificar a influência do tempo de spark-out nos resultados do processo foram: força tangencial de corte, rugosidade e circularidade, a fim de se obter o comportamento do tempo de centelhamento com o tipo de refrigeração. Os resultados mostraram uma tendência de que quanto maior foi o tempo de spark-out dos ensaios, menores foram os valores obtidos para as variáveis de saída no geral, exceto para a força tangencial de corte. Contudo, o que se pode observar é que as diferenças nos valores obtidos para estas variáveis foram bem reduzidas, pressupondo-se que uma redução do tempo de spark-out de 12 para 2 s, pode ser até viável, dependendo das qualidades e aplicações a que se destinará o produto final retificado.

**Palavras-chaves:** retificação, otimização, spark-out.

## **1. INTRODUÇÃO**

A retificação, por ser um dos processos de usinagem mais complexos dentro da manufatura, depende de várias variáveis, que quando controladas e utilizadas adequadamente, podem melhorar a qualidade final das peças e reduzir os custos do produto final.

Uma das variáveis que possui grande influência no processo de retificação é o tempo de spark-out, ou de centelhamento, que é utilizado ao final de cada ciclo de retificação. O spark-out é empregado na fase final do processo de retificação, e é neste tempo que são eliminadas as deformações elásticas provenientes da etapa inicial de fabricação, através de remoção de material sem a movimentação de avanço do rebolo.

Também conhecida por centelhamento, esta etapa ocupa grande parte do processo em si, tendo, portanto, grande importância na produção em série, pois é interessante minimizar ao máximo o tempo de retificação, e para esta redução pode-se, por exemplo, reduzir os tempos de spark-out.

Neste trabalho estudou-se o spark-out, utilizando três tempos distintos: 2, 6 e 12 segundos, em duas situações de refrigeração diferentes: convencional e otimizada (jato direcionado de alta pressão) para a retificação cilíndrica de mergulho do aço VC-131. Os ensaios foram realizados com um rebolo convencional de óxido de alumínio e com um óleo integral como fluido de corte.

As variáveis analisadas para se verificar a influência do tempo de spark-out nos resultados do processo obtidos foram: força tangencial de corte, rugosidade e circularidade, a fim de se obter o comportamento do tempo de centelhamento com o tipo de refrigeração.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estágio de spark-out, também conhecido por centelhamento ou faiscamento, ocupa uma grande percentagem de todo o ciclo de retificação cilíndrica de mergulho. Então, para se reduzir o ciclo de retificação, é muito interessante ter o menor estágio de centelhamento. Este estágio é a etapa final do processo de retificação onde as deformações plásticas do sistema máquina-ferramenta-peça, originárias durante a etapa inicial do processo, são retiradas pela remoção de material sem a movimentação do rebolo na direção do avanço (Baldo, 1994).

Estudos realizados em 1989, mostram que o tempo de centelhamento depende do quanto se quer remover da diferença dimensional gerada pela deformação elástica do sistema durante o transiente no início do ciclo, sendo necessário no spark-out normal, um tempo de cerca de duas vezes o tempo gasto no estágio inicial de deformação elástica para eliminar 90% desta diferença (Malkin, 1989).

De acordo com Monici (2003), a operação de spark-out também pode ser usada para a retirada de tons azulados da peça quando ocorre alguma queima visível (dano térmico), como as provocadas em algumas operações de têmpera. A presença destes tons de azul são consequência da formação de uma camada de óxidos. Porém, a retirada destes tons pelo centelhamento tem efeito meramente estético, não recuperando as propriedades originais da camada afetada.

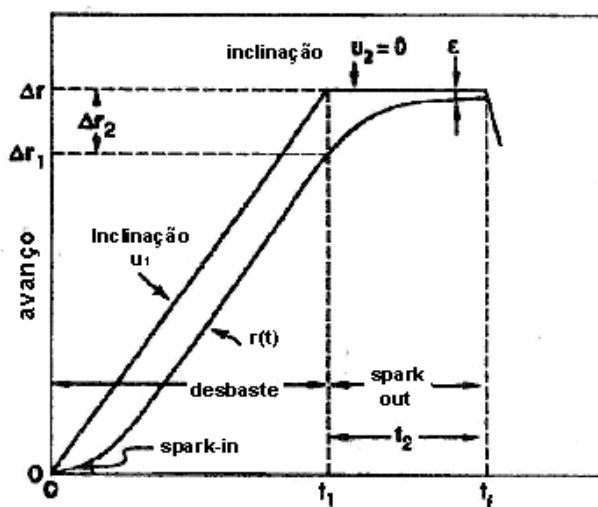


Figura 1. Ciclo de retificação de desbaste com spark-out (King & Hann, 1992)

Na Figura (1) é apresentado um ciclo básico de uma operação de retificação cilíndrica externa de mergulho. O rebolo avança sobre a peça, dotado de uma velocidade de avanço representada pela inclinação  $u_1$ , saindo da posição inicial até a posição  $\Delta r$  no tempo  $t = t_1$ . Entretanto, devido às deformações elásticas envolvidas do processo, as quais são função da rigidez do conjunto máquina-ferramenta, existe uma diferença entre a posição teórica da ferramenta e a sua posição real, sendo que o avanço nominal é diferente do avanço teórico. Com isto, no instante  $t_1$ , a posição real da ferramenta é  $\Delta r_1$ . Esta diferença entre as posições ( $\Delta r_2$ ) deverá ser suprimida durante o período de spark-out onde, para um avanço teórico nulo ( $u_2=0$ ), ocorrerá um alívio das deformações elásticas ocorridas durante o processo, até atingir-se o tempo final  $t_f$ , onde terão decrescido até próximo de zero (diferença residual  $\varepsilon$ ) (King & Hann, 1992).

### 3. METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados em uma retificadora externa de mergulho RUAP da marca SULMECÂNICA. Foram realizados 9 (nove) ensaios, sendo organizados conforme a Táb. (1), apresentada a seguir:

Tabela 1. Relação dos ensaios, tempos de spark-out e tipo de refrigeração utilizados

Número do Ensaio	Tempo de spark-out, s	Condição de Refrigeração	Vazão, l/min	Velocidade de saída do fluido por bico, m/s	Pressão, kgf/cm <sup>2</sup>
1	2	Otimizada <sub>1</sub>	38,8	33,0	3,6
2	6	Otimizada <sub>1</sub>	38,8	33,0	3,6
3	12	Otimizada <sub>1</sub>	38,8	33,0	3,6
4	2	Convencional	42,0	12,4	4,0
5	6	Convencional	42,0	12,4	4,0
6	12	Convencional	42,0	12,4	4,0
7	2	Otimizada <sub>2</sub>	19,4	16,5	4,2
8	6	Otimizada <sub>2</sub>	19,4	16,5	4,2
9	12	Otimizada <sub>2</sub>	19,4	16,5	4,2

Em relação a tabela anterior, ressalta-se que a refrigeração otimizada que consistia na utilização de um bocal de 5 mm de diâmetro de saída do fluido de corte, foi realizada para duas vazões distintas. A primeira, denominada “Otimizada<sub>1</sub>”, utilizou a relação 1:1 proposta por Webster (1995), que diz que quando a velocidade de saída do fluido de corte é igual a velocidade periférica do rebolo, tem-se o melhor acabamento das peças. Neste caso a vazão foi de 38,8 l/min que gerou uma velocidade de corte do rebolo de 33 m/s igual a velocidade de saída do fluido de corte. Já na segunda condição de refrigeração otimizada (“Otimizada<sub>2</sub>”), utilizou-se a metade da vazão anterior valor de 19,4 l/min, embora tenha sido mantido o bico de aplicação de fluido de corte otimizado.

Na refrigeração convencional utilizando-se dois bicos difusores de diâmetro de 6 mm, a vazão total utilizada foi de 42 l/min e a velocidade de saída de fluido de corte por bico foi de 12,4 m/s. A Figura (2) ilustra o bocal convencional utilizado.

O material empregado no corpo-de-prova foi o aço VC-131, temperado e revenido, com dureza média de 56 HRC.

Para todos os ensaios tinha-se sempre como fixo:

- Rebolo convencional de óxido de alumínio 19A100SVHB;
- Velocidade de mergulho ( $v_f$ ) de 1,0 mm/min;
- Velocidade de corte ( $v_s$ ) de 33 m/s;
- Fluido de corte: óleo integral;

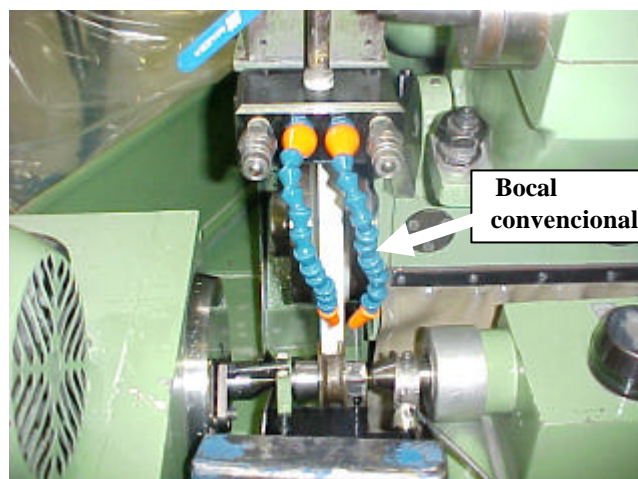


Figura 2. Processo de retificação cilíndrica externa de mergulho com o bocal convencional com dois bicos difusores

Antes do início de cada ensaio o rebolo convencional era dressado, permitindo-se obter a agressividade adequada, além de se manter a mesma condição inicial da ferramenta para todos os ensaios. A dressagem foi realizada através de um dressador do tipo “fleeze” com avanço de  $2\text{ }\mu\text{m}$  por passada. Para as análises finais, fez-se um desgaste de 5 mm no diâmetro do corpo-de-prova em 50 ciclos de 0,1 mm.

Ressalta-se que o bocal otimizado utilizado neste projeto, conforme pode ser observado na Fig. (3), foi proposto por Webster (1995) e desenvolvido por Monici (2003).

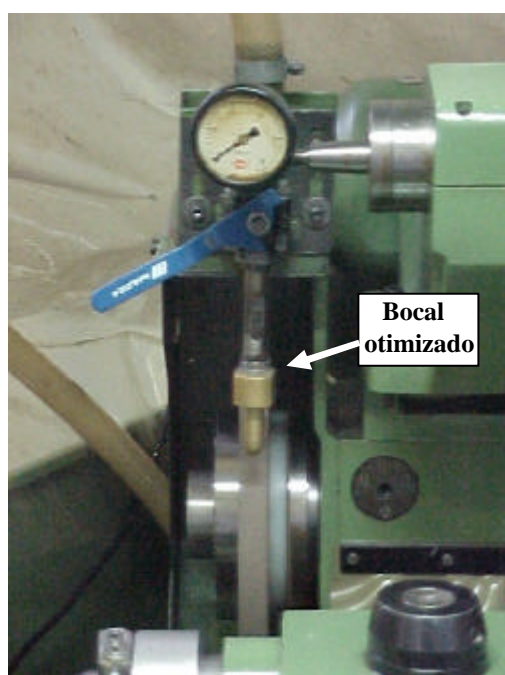


Figura 3. Bocal otimizado utilizado nos ensaios

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão expostos os resultados obtidos para as seguintes variáveis analisadas: força tangencial de corte, rugosidade superficial da peça e erros de circularidade. Ressalta-se que o fluido de corte utilizado foi o óleo integral e o rebolo um convencional de óxido de alumínio.

## 5.1. Resultados de força de corte

Os resultados das forças de corte presentes no processo foram obtidos através da determinação da potência elétrica consumida pelo motor de acionamento do eixo árvore do rebolo, que foi feita pela monitoração dos valores de tensão e corrente elétrica, provenientes deste motor elétrico. Para isso, um circuito eletrônico foi projetado e construído, sendo utilizado para transformação dos valores de corrente elétrica e tensão provenientes do motor em sinais de tensão compatíveis, para serem enviados à uma placa de aquisição de dados A/D e manipulados pelo software de aquisição de dados, já desenvolvido, utilizando-se o programa “LabVIEW 4.1” da National Instruments.

As Figuras (4), (5) e (6) apresentam o comportamento das forças de corte para as refrigerações denominadas Otimizada<sub>1</sub> com vazão de 38,8 l/min, Convencional e Otimizada<sub>2</sub> (vazão de 19,4 l/min), respectivamente.

Analisando as Figuras (4), (5) e (6), observa-se que para o spark-out de 2 segundos, os vales das curvas são sempre maiores, ou seja, o valor da força de corte nesta região é grande em comparação aos outros tempos de spark-out. Isto se dá pelo fato de que o centelhamento não está conseguindo retirar as tensões provenientes da deformação elástica do sistema, portanto, antes que o sistema consiga se acomodar totalmente, um novo ciclo ocorre.

No entanto, a força máxima de corte para 2 segundos de spark-out não é a maior encontrada nos ensaios, pelo contrário, seus valores permaneceram baixos em todas as refrigerações usadas. Isto pode ser explicado pela alta temperatura gerada na interface peça/ferramenta, proporcionando assim uma pequena diminuição da resistência mecânica, o que acaba por facilitar o corte.

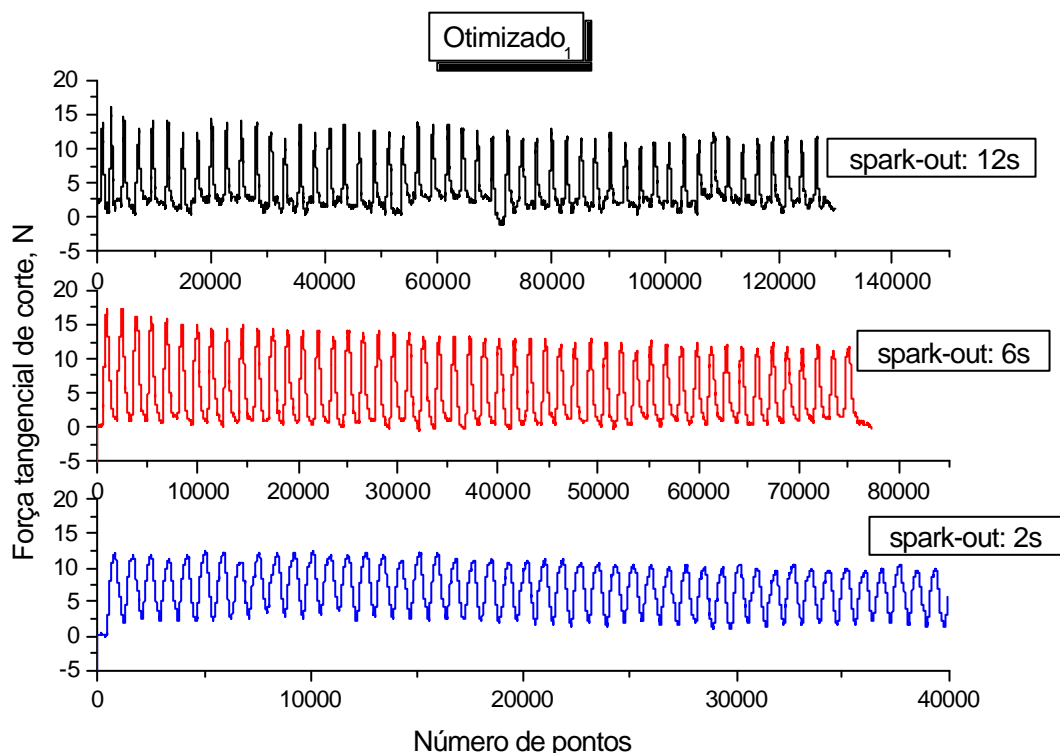


Figura 4. Comportamento da força para a refrigeração Otimizada<sub>1</sub> (38,8 l/min)

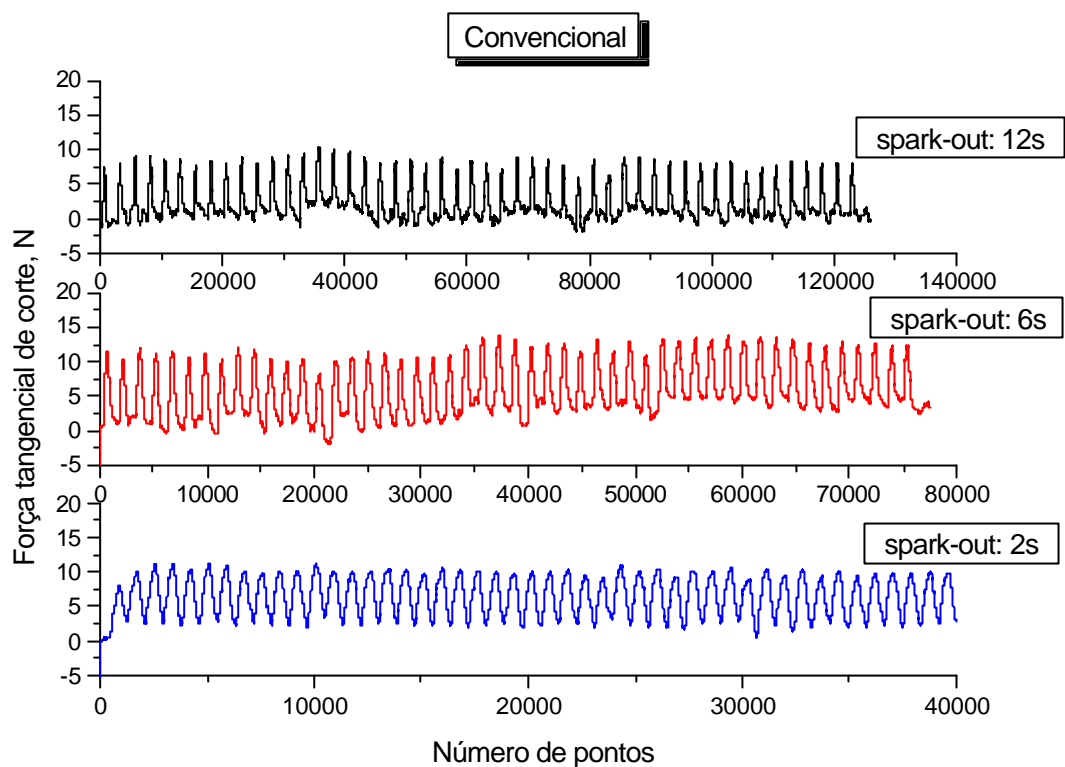


Figura 5. Comportamento da força para a refrigeração Convencional (42 l/min)

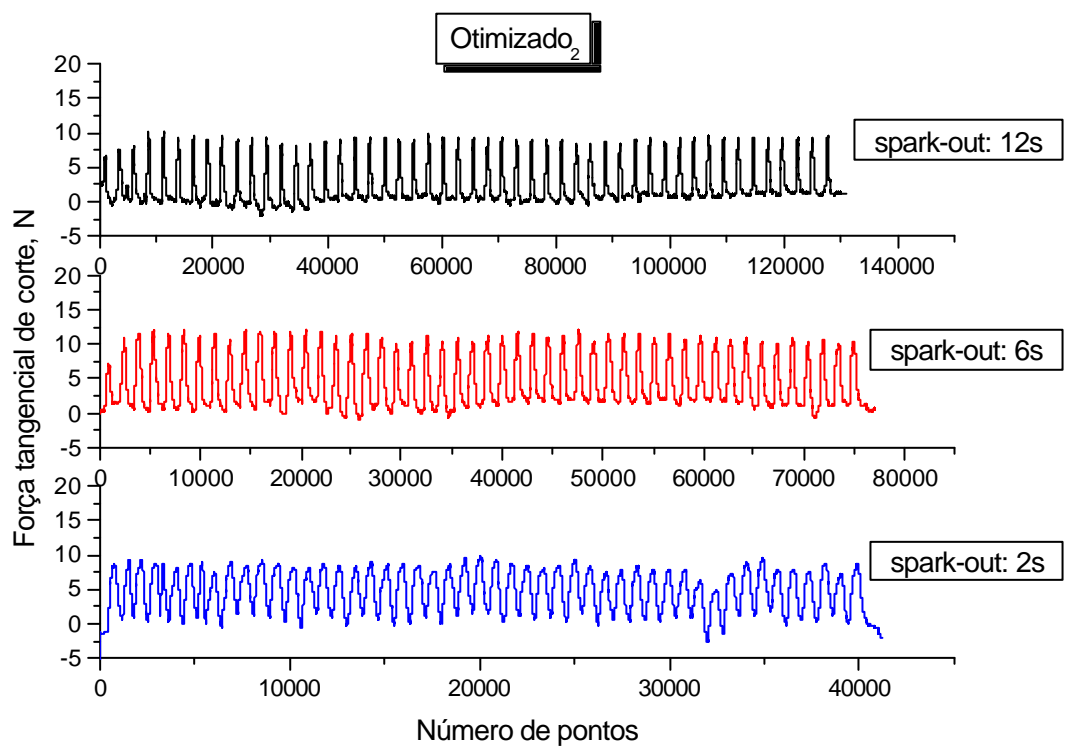


Figura 6. Comportamento da força para a refrigeração Otimizada<sub>2</sub> (19,4 l/min)

Dentre todos os tempos de spark-out, o que obteve menores valores para a força de corte foi o de 12 segundos. Os valores de força nos vales foram os menores encontrados, mostrando que o sistema teve o tempo necessário para se acomodar.

De um modo geral, a refrigeração Otimizada<sub>2</sub> obteve comportamento semelhante para todos os tempos de centelhamento, ou seja, os três tempos não apontaram uma discrepância considerável em seus valores de força.

## 5.2. Resultados da rugosidade

Os resultados da rugosidade superficial foram obtidos através da utilização de um rugosímetro marca Taylor Hobson (modelo Sutronic 3+), cut-off de 0,8mm, sendo que foram realizadas cinco medições para cada peça.

Os resultados de rugosidade (Ra), são apresentados na forma de gráficos de barras, sendo que a cada barra corresponde um diferente tempo de spark-out e uma diferente condição de refrigeração. As três barras da esquerda representam a condição de refrigeração Otimizada<sub>1</sub>, as três do meio os resultados da refrigeração convencional, e as três últimas da Otimizada<sub>2</sub>. Lembrando-se que sempre da direita para a esquerda tem-se o acréscimo do tempo de spark-out, de 2 para 12 segundos. Estes resultados da rugosidade estão representados na Fig. (7).

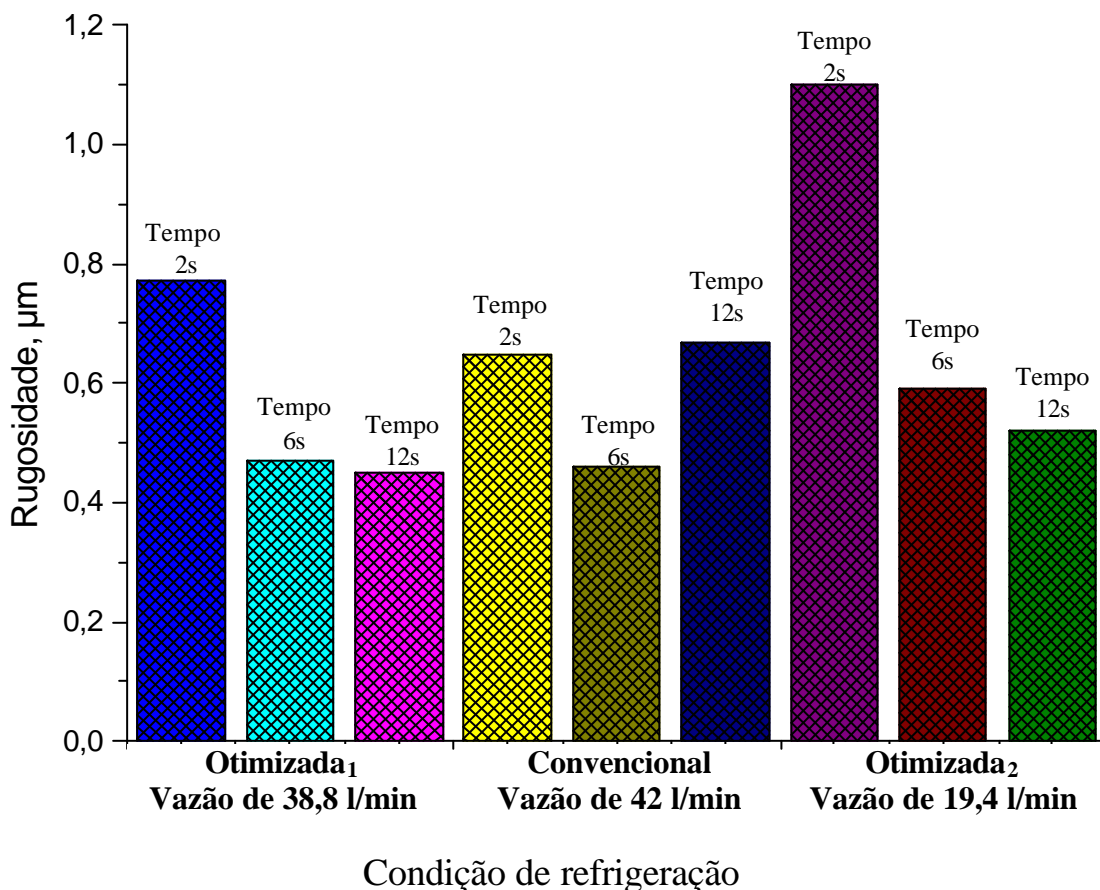


Figura 7. Comparação da rugosidade superficial para diferentes tipos de refrigeração e tempos de spark-out

De acordo com a Figura (7), tem-se que a rugosidade apresentou menores valores quando se utilizou a refrigeração convencional (42 l/min), nos tempos de spark-out de 2 e 6 segundos, porém a diferença em relação aos valores obtidos para os mesmos tempos com a refrigeração Otimizada<sub>1</sub>, são bem próximos. Sendo que para o tempo de 12 segundos a refrigeração Otimizada<sub>1</sub> forneceu valores de rugosidades bem inferiores, cerca de 42% menores que os resultados da refrigeração Convencional para este tempo. Desta forma, presume-se que em relação ao tipo de refrigeração com melhores resultados, pode-se dizer que a refrigeração Otimizada<sub>1</sub> de uma forma geral foi a que apresentou menores rugosidades.

As maiores rugosidades ocorreram para os tempos de spark-out de 2 s, pois não houve tempo suficiente para que a superfície fosse completamente suprimida dos defeitos ocorridos no processo.

### 5.3. Resultados de circularidade

Para a realização das medidas de circularidade, usou-se uma máquina Tayrond 31C. Em cada ensaio foram realizadas três medições. A Figura (8) apresenta os resultados obtidos.

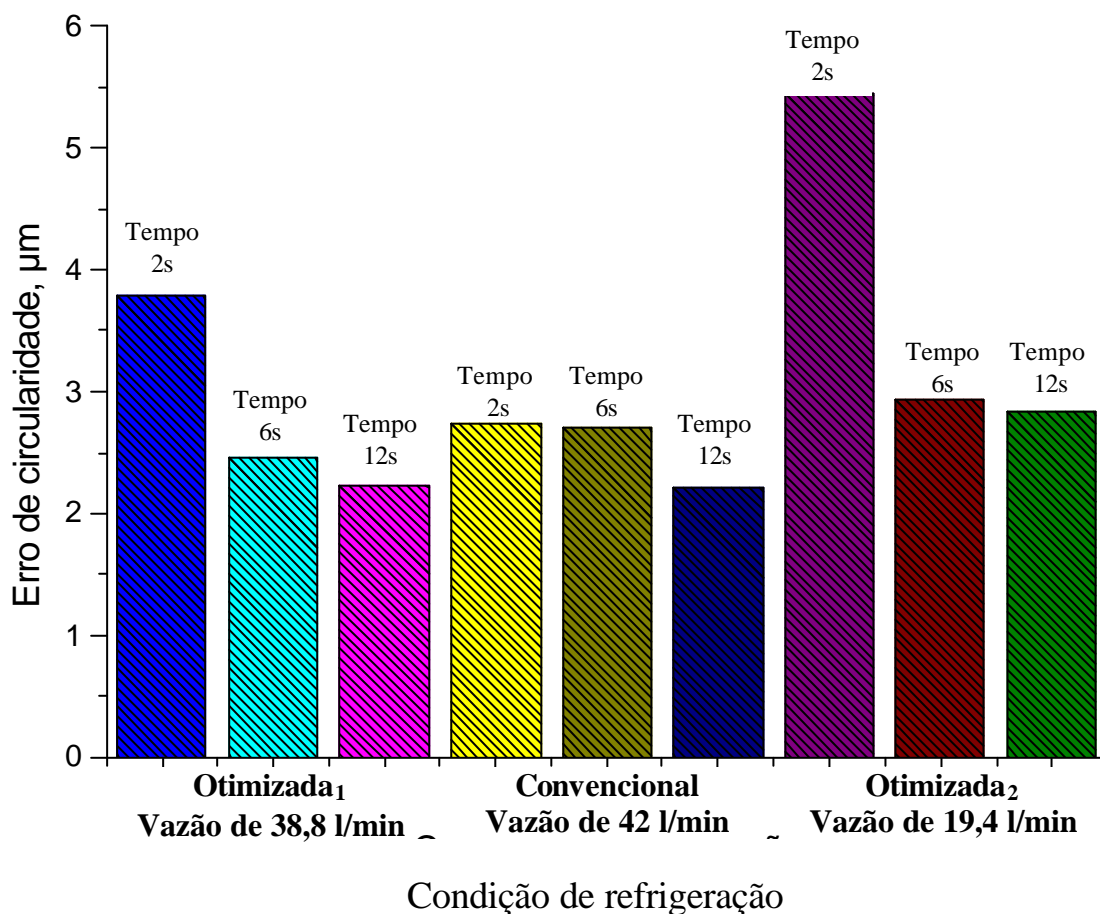


Figura 8. Comparação das circularidades obtidas

Analisando-se a Figura (8), percebe-se que os tipos de refrigeração com menores erros de circularidade foram a Otimizada<sub>1</sub> e Convencional, devido a maior vazão de fluido.

Em relação à variação dos tempos de spark-out, tem-se que o comportamento para todas as refrigerações foi semelhante, ou seja, quanto maior o tempo de spark-out, menor o erro de circularidade. Isto pode ser explicado devido ao maior tempo que o rebolo tem para ficar na



interface da peça, sem o corte propriamente dito, porém, com a capacidade de corrigir possíveis problemas de circularidade que possam ter sido induzidos na peça, por exemplo, por um avanço muito rápido.

De modo geral, a refrigeração Otimizada<sub>1</sub> obteve melhores resultados com os tempos de spark-out 6 e 12 segundos. Já para a opção de 2 segundos, esta refrigeração não obteve bons valores de rugosidade superficial e circularidade. Isto pode ser explicado pela união de dois fatores: 1) a alta temperatura da peça para esse tempo de centelhamento; e 2) a alta taxa de resfriamento da peça devido à maior vazão (relação 1:1). Com isso, pode ter havido a formação de micro-trincas na superfície das peças, piorando assim, a qualidade superficial das mesmas.

## **6. CONCLUSÃO**

Através deste trabalho pôde-se observar que o comportamento dos diferentes ensaios, em se tratando dos tempos de spark-out, foram semelhantes, ou seja, com o centelhamento de 12 segundos a retificação da peça gerou menores forças tangenciais de corte, erros de circularidade e rugosidades.

Em contrapartida, os ensaios com spark-out de 2 segundos foram os que originaram os piores resultados. No entanto, em alguns casos, estes resultados se encontram muito próximos aos melhores obtidos, viabilizando assim, o emprego de um menor tempo de centelhamento em certas aplicações, dependendo é claro, das qualidades e aplicações a que se destinará o produto final retificado.

## **7. REFERÊNCIAS**

- Baldo, E. D., 1994, “Redução do Ciclo de Retificação Cilíndrica de Mergulho com Auxílio da Emissão Acústica”, Dissertação de Mestrado – Dep. de Engenharia de Fabricação, Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP.
- Malkin, S., 1989, “Grinding Technology; Teory and Applications of Machining with Abrasives”, Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester, England.
- Monici, R. D., 2003, “Análise da Aplicação de Vazões Reduzidas de Fluidos de Corte na Retificação de Aços Endurecidos”, Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia – UNESP.
- King, R. I., Hann, R. S., 1992, Handbook of Modern Grinding Technology, 3 ed. cap.6, p.119-167.
- Webster, J., 1995, “Selection of Coolant Type and Application Technique in Grinding”. Supergrind, p. 205-218.

## **8. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste material impresso incluído neste trabalho.

# **SPARK-OUT STUDY IN CYLINDRICAL GRINDING OF THE VC-131 STEEL WITH CONVENCIONAL AND OPTIMIZED REFRIGERATION**

**Thiago Valle França**

Department of Mechanical Engineering, UNESP - Bauru, SP, Brazil, CEP: 17033-360,  
E-mail: thiagovf@feb.unesp.br

**Rodrigo Eduardo Catai**

Department of Materials and Technology, UNESP – Guaratinguetá, SP, Brazil,  
E-mail: rcatai@feb.unesp.br

**Ronaldo Yoshinobu Füsse**

Department of Mechanical Engineering, UNESP - Bauru, SP, Brazil, CEP: 17033-360,  
E-mail: ryfusse@feb.unesp.br

**Eduardo Carlos Bianchi**

Department of Mechanical Engineering, UNESP - Bauru, SP, Brazil, CEP: 17033-360,  
E-mail: bianchi@feb.unesp.br

**Paulo Roberto de Aguiar**

Department of Electrical Engineering, UNESP - Bauru, SP, Brazil, CEP: 17033-360,  
E-mail: aguiarpr@feb.unesp.br

**Leonardo Roberto da Silva**

Department of Mechanical, CEFET - MG, CEP: 30.410-000, Belo Horizonte, MG, Brazil,  
E-mail: lrsilva@feb.unesp.br

**Abstract.** *In this work, a study about the influence of the spark-out time in the cylindrical grinding of VC 131 steel, used in the manufacturing of admission valves in engines, was carried through. Three distinct times of spark-out have been used: 2, 6 and 12s, with conventional and optimized refrigeration. A conventional wheel ( $Al_2O_3$ ) and integral oil as the cutting fluid was used. Tangential cutting force, roughness and roundness were determined to verify the influence of the spark-out time in the type of refrigeration. The results showed lower outputs variables when bigger spark-out times were used, except for the tangential cutting force. However, it was observed that the differences in the values of the outputs variables were so small that a reduction of the spark-out time from 12 to 2 s, can be possible, depending on the workpiece quality and application.*

**Key-words:** *grinding, optimization, spark-out.*