

# COMPORTAMENTO EM TERMOS DE QUALIDADE DA PEÇA PARA DIFERENTES CICLOS DE RETIFICAÇÃO

**Wanderley Xavier Pereira** (Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS-MG)  
[wpereira@unis.edu.br](mailto:wpereira@unis.edu.br)

**Anselmo Eduardo Diniz** (UNICAMP-SP):  
[anselmo@fem.unicamp.br](mailto:anselmo@fem.unicamp.br)

**Resumo:** Este trabalho aborda o processo de retificação em uma operação cilíndrica de mergulho comparando ciclos de apenas uma velocidade com ciclos de duas e três velocidades de avanços, objetivando verificar o nível de deformação elástica e qualidade superficial que cada uma das fases impõe à peça. A deformação foi medida pela diferença diametral apresentada por uma operação apenas com a velocidade de avanço e outra consecutiva com centelhamento. A qualidade superficial foi medida através das respostas rugosidade e circularidade. Já as variáveis de entrada estudadas foram avanço, sobre metal e centelhamento. Para este estudo diversos ensaios foram realizados retificando-se peças de aço ABNT4340: As principais conclusões deste trabalho foram: a) para o ciclo com apenas uma velocidade de avanço tanto  $f_1$  como o tempo de centelhamento foram bastante influentes nas respostas estudadas. b) para o ciclo com duas fases o tempo de centelhamento alterou a circularidade. c) para o ciclo de 3 fases concluiu-se que para a circularidade todas as condições experimentadas geraram bons resultados. Para a rugosidade  $R_a$ , os avanços 2 e 3 elevaram o valor numérico da resposta sendo  $f_3$  bem mais influente. O aumento do sobre metal 3 reduziu o valor da rugosidade.

**Palavras-chave:** Retificação Cilíndrica de Mergulho, Otimização do processo, Qualidade superficial da peça.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de retificação é amplamente utilizado na indústria metal-mecânica, devido a suas aplicações e peculiaridades, tais como possibilidade de obtenção de peças com baixos valores de rugosidade e tolerâncias apertadas. Geralmente ela é a última operação de usinagem sofrida por uma peça, trazendo com isso custo e tempos agregados, elevando o cuidado necessário durante esta operação.

Apesar de ser largamente utilizada na indústria, a retificação ainda não tem o nível de entendimento que outros processos de usinagem de geometria de corte definida (torneamento, fresamento, etc.) possuem. Fatores como a multiplicidade das arestas de corte com sua geometria não uniforme, variações de profundidade de corte em cada grão, alta temperatura e esforços de corte que não controlados produzem deformações plásticas, dificultam o entendimento e a otimização desse processo.(Oliveira e Purquério, 1989).

Vários pesquisadores buscaram um melhor entendimento do comportamento das variáveis sobre a qualidade da peça. Abrão (1991) pesquisou os gradientes de temperatura na região de contato entre ferramenta e peça, visto que a temperatura nesta região pode atingir níveis superiores a 1000°C e atingir profundidades da ordem de décimo de milímetro provocando perdas de propriedades mecânicas superficiais da peça como redução do limite de resistência à fadiga, Silva (2000) constatou que para determinadas condições de usinagem, o teor de óleo mineral no fluido de

corte reduzia a força de corte no sentido tangencial, reduzindo assim a temperatura de corte. Oliveira (1989) relacionou o desgaste do rebolo com a espessura de corte equivalente, e dos resultados observou que essas grandezas são inversamente proporcionais. Hahn e Lindsay (1986), demonstraram experimentalmente que a força normal de retificação é proporcional à taxa específica de remoção de material. Malkin (1989) apresentou o mecanismo de deformação elástica da peça e do eixo do rebolo envolvido no processo de retificação em função dos esforços inerentes ao processo e a partir do qual afirmou que a deformação elástica do sistema de causa uma remoção de material menor que a esperada para um avanço controlado pela máquina.

O processo de retificação cilíndrica de mergulho é largamente utilizado nas indústrias e, como os outros processos de retificação, carece de melhor entendimento para a melhoria da qualidade da peça e para a minimização do tempo de ciclo destas operações. A redução do tempo nesta operação é muito desejada, pois em muitas vezes este processo se torna o gargalo em linhas de produção.

Este trabalho analisa o processo de retificação em uma operação cilíndrica de mergulho comparando ciclos de apenas uma velocidade de avanço (ciclo convencional) seguido de uma fase de centelhamento com ciclos de duas e três velocidades de avanços (desbaste, semi-acabamento e acabamento) objetivando verificar o nível de deformação elástica e qualidade superficial que cada uma das fases impõe à peça. A figura 1 (a) apresenta de forma esquemática o ciclo de retificação com apenas uma velocidade de avanço, seguida de uma fase de centelhamento e (b) o ciclo com 3 fases de retificação.

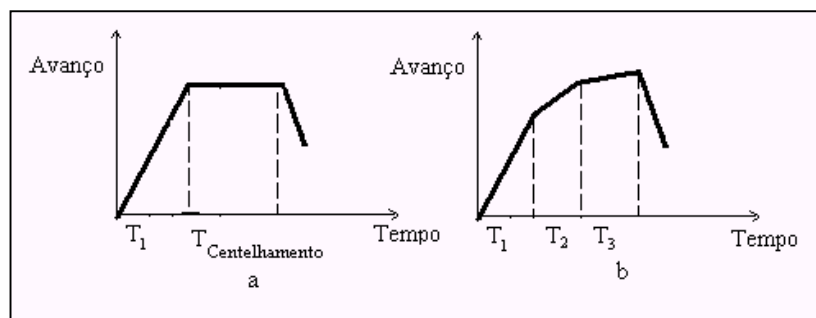


Figura 1: a) Ciclo de retificação tradicional. b) Ciclo com três avanços.

## 2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A máquina utilizada nos ensaios foi uma retificadora cilíndrica Zema Zselics série Compakta G600, dotada de um CNC Fanuc 18 TC. Optou-se por trabalhar com retificação cilíndrica de mergulho, pois além de ser mais simples é a forma mais utilizada na indústria. A dressagem foi feita com um diamante dressador de ponta única. Este diamante apresentou uma largura,  $b_d$ , igual a 0,7 mm, medida a 0,03 mm da ponta, (dimensão a ser usada como profundidade de dressagem). As condições de dressagem podem ser caracterizadas por um parâmetro denominado grau de recobrimento de dressagem  $U_d$  (Oliveira, 1988). Este parâmetro é a razão entre a largura de atuação do dressador ( $b_d$ ) e o passo de dressagem ( $S_d$ ), conforme a equação (1).

$$U_d = \frac{b_d}{S_d} \quad (1)$$

Utilizou-se um  $U_d$  de 5 e como o  $b_d$  foi de 0,7mm  $S_d$  foi de 0,14 mm. A medição de  $b_d$  foi feita utilizando-se um microscópio Leica Stereo Zoom 6 Photo, equipado com uma lente de ampliação e uma câmera CCD. A câmera estava acoplada a um microcomputador Pentium 133 MHz equipado com o programa Global Lab Image versão 3.1, que permite o processamento de imagens.

Os ensaios foram realizados utilizando-se um rebolo FE 38A80KVS da Norton Abrasivos, recomendado para afiação e retificação de diversos tipos de materiais. O abrasivo é o óxido de alumínio branco (linha FE 38 A), o grão é tamanho 80, a dureza K e a liga é vitrificada (V) com

uma modificação (S), que deixa o grão abrasivo mais exposto, gerando menor risco de queima na peça. As dimensões dos rebolos são: 355,6 mm de diâmetro externo inicial, 50,8 mm de largura e 127 mm de diâmetro do furo. A velocidade periférica máxima recomendada para estes tipos de rebolos é 33 m/s. Nos ensaios, a velocidade periférica do rebole foi constante e igual a 30 m/s.

Os corpos de provas utilizados foram de aço ABNT 4340 temperados e revenidos. A dureza média conseguida com o tratamento térmico foi de 56 HR<sub>C</sub>. A figura 2 apresenta um croqui do corpo de prova utilizado. A retificação se dava nas partes do corpo de prova com 25 mm de largura.

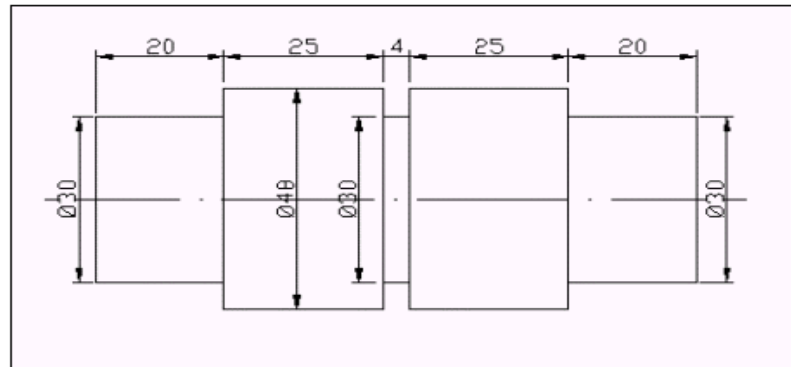


Figura 2: Corpo de prova utilizado nos ensaios.

A primeira etapa dos experimentos teve o objetivo de verificar o nível de deformação elástica que a primeira fase do ciclo de retificação com três fases impõe à peça. Assim, foram retificadas diversas peças utilizando-se somente a primeira fase do ciclo. Ora retificava-se sem praticamente se ter centelhamento (depois da fase de avanço, parava-se o avanço o tempo necessário para a peça dar somente uma volta sobre si mesma) e ora retificava-se com centelhamento completo. A diferença entre os diâmetros destas duas operações era considerada uma medida da deformação elástica imposta por esta fase à peça. Além dos diâmetros foram também medidas a rugosidade média ( $R_a$ ) e a circularidade das peças retificadas. Para tal, foram ensaiados 24 corpos de prova, obedecendo a um planejamento fatorial  $2^3$  com mais 2 réplicas, cujas variáveis com seus respectivos níveis estão mostradas na tabela 1. A ordem dos ensaios foi aleatória.

Tabela 1: Variáveis experimentadas e seus níveis.

Variáveis	Nível inferior (-)	Nível superior (+)
Avanço da fase 1 (mm/volta)	0,0055	0,0095
Sobre metal $S_m$ (mm)	0,2	0,3
Tempo de Centelhamento $T_{cent.}$ (seg)	0,82	5

A velocidade da peça  $v_w$  foi constante e igual a 15 m/min. As dressagens foram efetuadas em 15 passadas com profundidade de 0,03 mm a cada passada do dressador. Vale ressaltar que os valores do sobre metal e do avanço e a velocidade de peça foram selecionados em ensaios preliminares, em função da qualidade das peças retificadas (rugosidade, circularidade e deformação).

Cada ensaio consistia na retificação de 8 peças sem proceder à dressagem, analisando-se a cada peça os valores de rugosidade, circularidade e o diâmetro final da peça com a finalidade de se obter a deformação, como já descrito anteriormente. A rugosidade da peça foi medida em um rugosímetro Mitutoyo Surftest 211, ajustado com “cut-off” de 0,8 mm e padrão ISO (parâmetros  $R_a$   $\mu m$ ) tendo uma incerteza de 0,01  $\mu m$  (mas vale lembrar que se trata de uma análise comparativa que os

possíveis erros do equipamento de medição será extensiva a todas as medições). A medição foi realizada quatro vezes para cada corpo prova girando-o de 90° para cada medição.

A medição de circularidade foi realizada girando-se a peça, presa entre pontos na máquina, com um relógio comparador milesimal (incerteza de 0,2  $\mu$ m) apalpando a mesma. Para verificar a exatidão deste procedimento, uma de cada oito peças em que se media circularidade desta maneira, foi levada ao equipamento denominado Taly Round para também neste equipamento se medir a circularidade. Pode-se dizer que não havia diferença nos valores obtidos nos 2 métodos de medição, comprovando a confiabilidade do método de medição executado com peça presa na posição de operação. As medições dos diâmetros retificados foram realizados utilizando-se micrômetro milesimal da Mitutoyo. Para a análise das variáveis foi utilizado um software, utilizando-se um intervalo de confiança de 95%.

Na próxima etapa analisou-se o ciclo de retificação com duas velocidades de avanços, comparando-se nas peças obtidas quase sem centelhamento (apenas uma rotação da peça) e com centelhamento completo, a influência dos ciclos de retificação na deformação elástica remanescente após a 2ª fase, e também na circularidade e rugosidade da peça. Nesta etapa, também se realizou 24 ensaios em função das três variáveis em estudo, o que gerou um planejamento fatorial  $2^3$  com mais duas repetições, levando a 3 peças retificadas por cada tratamento. A tabela 2 apresenta as variáveis estudadas.

Tabela 2: Variáveis estudadas e seus níveis.

Variáveis	Nível inferior (-)	Nível superior (+)
Avanço da fase 1 (mm/volta)	0,0055	0,0095
Avanço da fase 2 (mm/volta)	0,0007	0,00102
Tempo de Centelhamento Tcent (seg)	0,8s	5s

As condições de retificação utilizadas foram idênticas ao ensaio anterior, exceto em relação à inclusão de mais uma fase no ciclo de operação. O sobre metal total nesta fase de experimento foi uma constante de valor igual a 0,3 mm em função deste não ter gerado influências nas respostas analisadas nos ensaios anteriores. Os sobre metais removidos nas fases 1 e 2 foram 0,28 e 0,02mm respectivamente. A obtenção das respostas também obedeceu a mesma metodologia do ensaio anterior.

Na última etapa dos ensaios o objetivo foi verificar a influência do avanço e do sobre metal removido para cada uma das fases do ciclo com três velocidades de avanços, nas respostas circularidade, rugosidade e deformação. Para este estudo 5 foram as variáveis, quais sejam: velocidade de avanço das etapas 1, 2, 3 e sobre metal da fase 1 ( $S_1$ ) e da fase 3 ( $S_3$ ), conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3: Variáveis estudadas e seus níveis

Variáveis	Nível inferior (-)	Nível superior (+)
Avanço da fase 1 (mm/volta)	0,005	0,007
Avanço da fase 2 (mm/volta)	0,0002	0,00028
Avanço da fase 3 (mm/volta)	0,00004	0,000056
Sobre metal 1 (mm)	0,23	0,26
Sobre metal 3 (mm)	0,007	0,01

Para este estudo foi utilizado um planejamento fatorial  $2^5$ , sendo que as constantes foram velocidade da peça  $V_w$  de 15 m/min e o sobre metal total retirado de 0,3 mm. Como o planejamento foi  $2^5$  (o que gera 32 condições diferentes) mais duas repetições para cada condição, o número de total de peças retificadas foi de 96. Vale ressaltar que os ensaios foram realizados de forma

aleatória, e ainda que o sobre metal da fase 2 fica em função da equação  $S_2 = S_t - (S_1 + S_3)$ . As dressagens ( $U_d = 5$ ) foram efetuadas a cada 16 peças retificadas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Relembrando o que já foi descrito no item anterior, a primeira etapa dos experimentos teve o objetivo de verificar o nível de deformação elástica que a primeira fase do ciclo de retificação impõe bem como a qualidade superficial deixada na peça.

Para a análise dos resultados utilizou-se um software estatístico comercial com um intervalo de confiança de 95%. A tabela 4 mostra os efeitos principais e as interações de 2ª ordem.

O cálculo do erro experimental foi obtido a partir do método de análise de variância (ANOVA). Depois de calculados os efeitos principais, as interações e o erro experimental dos efeitos, executou-se o teste de significância dos efeitos, ou seja, o intervalo de confiança do experimento, o qual é gerado através do produto do erro padrão (Student, que considera o grau de liberdade e o intervalo de confiança) pelo erro experimental dos efeitos (EF). Através deste é possível identificar os fatores significativos do processo e como estes influenciam as respostas analisadas. Na tabela 4 os mesmos estão identificados por um asterisco.

Tabela 4: Estimativa dos efeitos da fase 1 para as respostas analisadas.

Fatores	Efeitos		
	Circularidade	Rugosidade	Deformação
Avanço $f_1$	*1,04167	*0,088	*0,0043
Sobre metal $S_m$	0,04167	0,03217	-0,001
Centelhamento $S_0$	*-3,29167	* - 0,1616	-
$f_1 * S_m$	0,04167	0,01283	0,000667
$f_1 * S_0$	*-0,79167	*-0,5766	*-0,00433
$S_m * S_0$	-0,125	0,278	-0,001
Erro Experimental dos Efeitos (EF)	0,234181	0,0162	0,0008
Erro Padrão ( $t_n$ , %)	2,110	2,110	2,110
Significância $t * EF$	$t_{17,95\%} * EF = 0,494$	0,035	0,00168

Pelos resultados apresentados na tabela 4, verifica-se que a variável sobre metal não alterou de forma significativa nenhuma das respostas estudadas. Já os fatores avanço 1 e centelhamento se mostraram significativamente influentes em todas as respostas, sendo que o centelhamento se mostrou bem mais influente que o  $f_1$  em todos os casos. É bom ressaltar que os sinais dos efeitos indicam se estes provocam aumento ou redução na resposta. Quando positivo (+) promove a elevação do valor da resposta analisada, quando negativo (-) produz sua redução. Dessa forma, o centelhamento, quando no maior nível, produziu os melhores resultados, ao contrário do que ocorreu com o  $f_1$ . Este fato é totalmente coerente, pois o centelhamento possui a finalidade de remover ou reparar as imperfeições geométricas e superficiais ocorridas durante a ação do avanço 1.

A fase de centelhamento envolve cerca de um terço do tempo total de retificação. Assim, deve-se buscar o menor tempo possível de operação que possa garantir a qualidade geométrica e superficial da peça, sem um aumento desnecessário de tempo. O avanço 1 é responsável por 2/3 do tempo de ciclo. Embora a elevação da taxa da remoção de cavaco no tempo seja desejada para se diminuir esta fase do ciclo, também se deve procurar um bom ajuste entre tempo e qualidade.

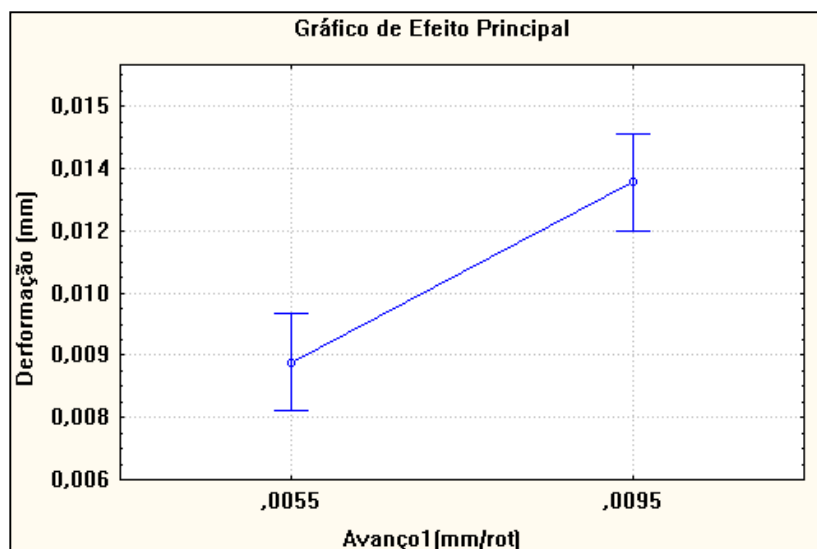


Figura 3: Efeito principal do  $f_1$  na deformação.

O gráfico da figura 3 apresenta o efeito do avanço 1 na deformação, e deste nota-se que a deformação foi alterada em quase 60% quando a velocidade de avanço  $f_1$  passou de 0,0055 para 0,0095 mm/rot, uma diferença de 5  $\mu$ m de deformação.

Na segunda etapa dos ensaios foram retificadas 24 peças visando estudar o comportamento de um ciclo com duas fases ( $f_1$  e  $f_2$ ), com e sem a operação de centelhamento, em outras palavras verificar o quanto da deformação elástica gerada no início do ciclo ainda permanece na peça após duas fases do ciclo e como isto influi nos parâmetros de qualidade da peça. A tabela 5 mostra os efeitos principais e as interações obtidas para as variáveis experimentadas, utilizando-se a mesma metodologia da etapa anterior.

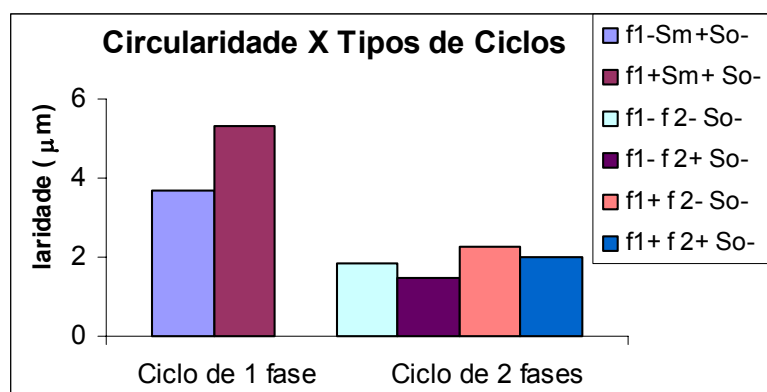
Tabela 5: Estimativa dos efeitos para o ciclo de duas etapas.

Fatores	Efeitos		
	Circularidade	Rugosidade	Deformação
Avanço $f_1$	-0,1666	0,01658	*1,083
Avanço $f_2$	-0,2500	0,00519	*0,75
Centelhamento $S_0$	*-1,2500	* - 0,1316	-
$f_1 * f_2$	0,1667	-0,025	0,25
$f_1 * S_0$	*-0,6667	-0,0219	*-1,083
$f_2 * S_0$	0,2500	-0,0245	*-0,75
Erro Experimental dos Efeitos (EF)	0,151248	0,022	0,222
Erro Padrão ( $t_n, \%$ )	2,110	2,110	2,110
Significância $t * EF$	$t_{17,95\%} * EP = 0,320$	0,0485	0,4684

Pelos resultados apresentados na tabela 5, observa-se que para a circularidade apenas o fator centelhamento e a interação  $f_1 * S_0$  mostraram-se significativamente influentes, e que o fator  $f_1$  sozinho não se mostrou influente. Daí conclui-se que, quando o centelhamento estiver fixado no seu maior valor (5seg – centelhamento completo), os valores de  $f_1$  estudados não trarão prejuízos aos valores de circularidades, ou seja, dentro das condições estudadas e com  $S_0+$ , pode-se escolher as condições mais rápidas da operação sem que a qualidade seja prejudicada. Em outras palavras, se num ciclo com 3 fases de avanço, a terceira fase conseguir realmente compensar toda a deformação

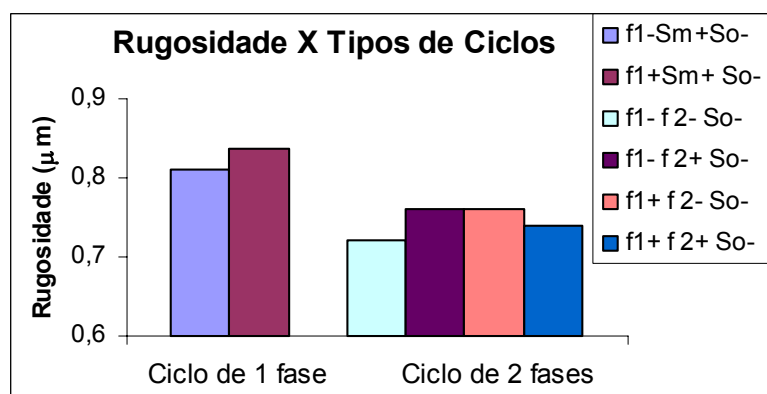
elástica ocorrida no início do ciclo, pode-se usar valores de  $f_1$  e  $f_2$  em seus níveis máximos, sem comprometer a circularidade da peça. Para a resposta rugosidade também o centelhamento, quando mantido no seu maior nível, garantiu bons resultados. Assim, para o parâmetro rugosidade da peça também pode-se utilizar valores altos de  $f_1$  e  $f_2$ , desde que o centelhamento completo esteja garantido. Para a última resposta analisada, a deformação, que foi tomada como sendo a diferença diametral entre uma condição experimentada sem e com centelhamento, todos os fatores se mostraram influentes. Baseado no exposto pode-se concluir que, mesmo que os avanços das fases 1 e 2 gerem grande deformação na peça, o centelhamento é capaz de corrigi-la. Basta agora saber qual o tamanho da fase 3 do ciclo para que essa correção seja feita.

As figuras 4 a 6 apresentam uma comparação entre o ciclo de 1 fase e o ciclo de 2 fases nas respostas circularidade, rugosidade e deformação respectivamente. Esta comparação foi realizada pegando apenas duas condições da 1ª. fase ( $f_1$ - Sm+ So- e  $f_1$ + Sm+ So-) pois no ciclo de duas fases o sobre metal Sm foi igual a Sm + do ciclo de uma fase. Do ciclo de 2 fases foram escolhidas as condições que continham o So -, ou seja, sem centelhamento.



**Figura 4:** Comparação de circularidade entre o ciclo de 1 e 2 fases.

Da figura 4, nota-se que presença de uma segunda fase  $f_2$  reduz de forma pronunciada a circularidade e que a alteração no nível da variável  $f_2$  (dentro das condições de contorno) não alterou de forma significativa a resposta circularidade, apontando apenas para uma tendência de redução no valor de circularidade. Ainda nesta figura, percebeu-se para o ciclo de uma fase que quando o valor de  $f_1$ - passou para  $f_1$ + a circularidade foi pronunciadamente piorada.



**Figura 5:** Comparação de rugosidade entre o ciclo de 1 e 2 fases.

Da figura 5 nota-se que tanto para o ciclo de 1 fase como para o ciclo de 2 fases a alteração do nível de  $f_1$  não alterou a resposta de forma expressiva e que a diferença de rugosidade gerada entre o ciclo de 1 fase e o ciclo de 2 foram mais “suaves”(0,80 para 0,75) em relação à circularidade. Desta forma, pode-se dizer que a presença da fase 2 ( $f_2$ ) foi mais importante para circularidade do que para a rugosidade, ou seja, para a rugosidade ainda há necessidade de mais uma fase de

centelhamento ou de uma fase com menor velocidade de avanço para que esta diminua, melhorando a qualidade superficial da peça.

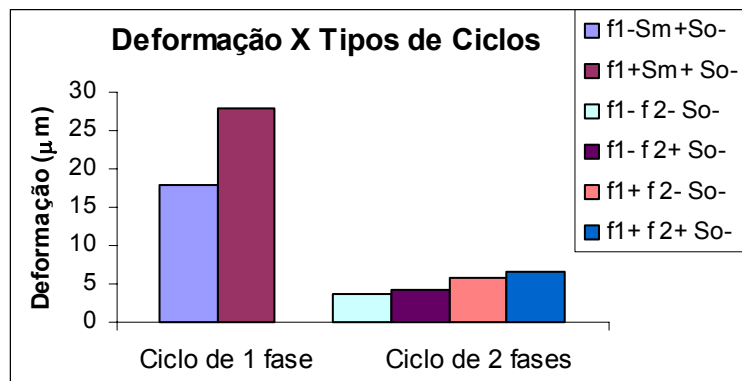


Figura 6: Comparação de rugosidade entre o ciclo de 1 e 2 fases.

Da figura 6 observa-se como a presença da segunda fase  $f_2$  reduz a deformação, ou seja, a segunda fase retirou cerca de 20  $\mu\text{m}$  da deformação existente ao fim da fase 1. Vale lembrar que o sobre metal retirado pela fase 2 é de 20  $\mu\text{m}$ , mas ainda existe cerca de 5  $\mu\text{m}$  a ser retirado. Desta forma, para um ciclo com duas fases, é necessário que se deixe um sobre metal igual ou pouco superior a 25  $\mu\text{m}$  para que se alcance um bom nível de qualidade superficial e geométrica da peça.

Na ultima etapa dos ensaios em que o objetivo foi analisar o ciclo com três fases de avanços e compará-los com os anteriores, os principais resultados serão apresentados através das figuras 7 a 10.

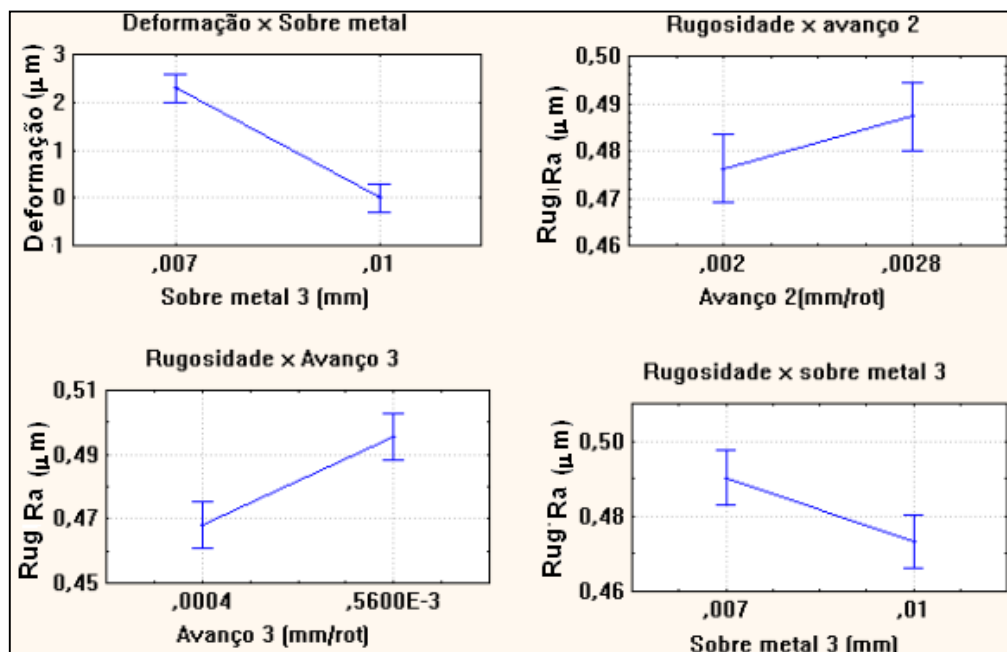


Figura 7: Efeitos principais para o Ciclo com três fases.

A figura 7 mostra a ação das variáveis que influenciaram as respostas estudadas (circularidade, rugosidade e deformação). Observa-se que para a deformação apenas o sobre metal 3 tem influência significativa, sendo que quando o sobre metal foi experimentado em seu maior valor, a deformação caiu como era de se esperar, pois quanto maior o sobre metal da fase 3 mais tempo se tem para a recuperação das deformações que são aliviadas na fase 3. Em relação à rugosidade as variáveis  $f_2$ ,  $f_3$ , e o  $S_3$  trouxeram alterações para esta resposta, sendo que  $f_3$  se mostrou mais influente. O aumento do seu nível elevou o valor da resposta, o mesmo acontecendo para  $f_2$ . Já o sobre metal quando este foi experimentado em seu maior nível a qualidade superficial da peça (rugosidade)



melhorou, assim como ocorreu para a deformação. Para a circularidade não houve variáveis influentes dentro dos níveis experimentados.

A figura 8 mostra uma comparação entre os valores de rugosidade  $R_a$ , lembrando que os valores apresentados para os dois primeiros ciclos (1 e 2 fases) foram sem a ação do centelhamento, e que esta comparação visou ressaltar o comportamento da fase 3 na qualidade da peça.

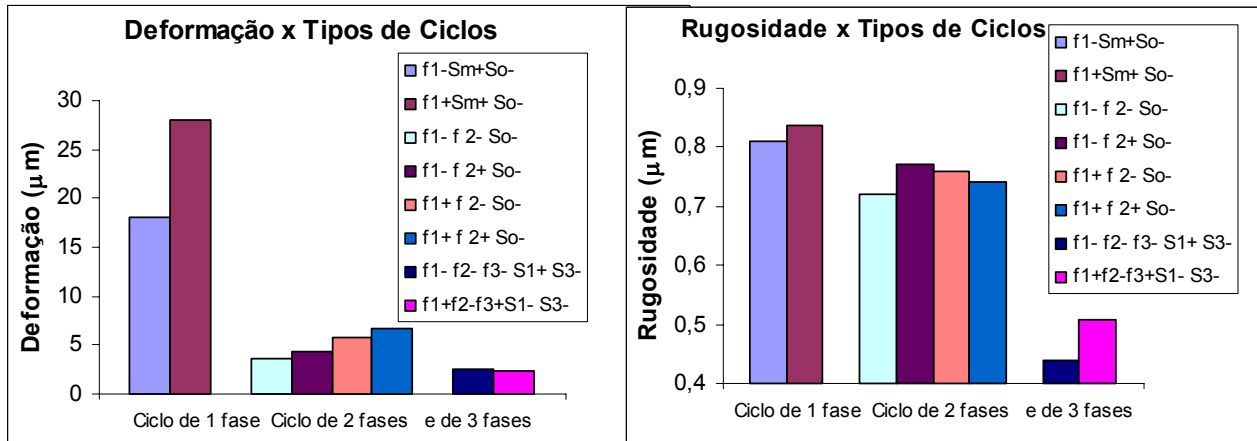


Figura 8: Comparação dos valores de deformação e rugosidade entre o ciclo de 1, 2 e de 3 fases.

Observa-se da figura 8 que a existência de mais uma fase com velocidade de avanço menor é benéfica para a melhoria da qualidade da peça, pois se dá mais tempo para que a recuperação elástica ocorra de forma a corrigir as imperfeições geradas nas fases precedentes. Estas fases, que possuem maiores velocidades e com isto maiores taxas de remoção de material, necessitam de uma operação posterior ou seja, fases de menores velocidades de avanço ou ainda de uma fase de centelhamento, para garantir uma melhor qualidade da peça.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos em cada etapa, pode-se concluir para operações similares à utilizadas neste trabalho, que:

- para o ciclo com apenas uma velocidade de avanço a variável sobre metal não alterou, de forma significativa, nenhuma das respostas estudadas. Já os fatores avanço 1 e centelhamento se mostraram significativamente influentes em todas as respostas, sendo que o centelhamento se mostrou bem mais influente que o  $f_1$  em todos os casos. O centelhamento, quando no maior nível, produziu os melhores resultados, ao contrário do que ocorreu com o  $f_1$ .
- para os resultados referentes ao ciclo de retificação com duas fases de avanço observou-se que para a circularidade apenas o fator centelhamento e a interação  $f_1 \cdot S_0$  (avanço 1 e centelhamento) mostraram-se significativamente influentes, e que o fator  $f_1$  sozinho não se mostrou influente, concluindo-se que, quando o centelhamento foi fixado no seu maior valor (5seg), os valores de  $f_1$  estudados não geraram prejuízos aos valores de circularidade. Desta forma, pode-se selecionar as condições mais rápidas de operação sem que a qualidade seja prejudicada.
- para os resultados do ciclo com três fases de avanços conclui-se que para a circularidade todas as condições experimentadas geraram bons resultados, sendo que nenhuma das variáveis estudadas (avanços 1, 2, 3 e os sobre metais) geraram influências significativas. Para a rugosidade  $R_a$ , os avanços 2 e 3 elevaram o valor numérico da resposta quando mantidas nos seus níveis superiores, sendo que o  $f_3$  se mostrou bem mais influente. O sobre metal 3 reduziu o valor da rugosidade à medida que se elevou o seu valor. Para a variação diametral, o sobre metal  $S_3$  teve grande influência, pois quanto maior for este, maior é o tempo para etapa  $f_3$  (acabamento) remover as irregularidades. E a existência de mais uma

fase com velocidade de avanço menor é benéfica para a melhoria da qualidade da peça, pois se dá mais tempo para que a recuperação elástica ocorra de forma a corrigir as imperfeições geradas nas fases precedentes.

## 5. AGRADECIMENTOS

CAPES - Pelo auxílio financeiro  
SAINT GOBAIN ABRASIVES – Pela cessão do rebolo

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrão, A.M., 1991, “Sistema para Avaliação de Desempenho Térmico de Pares Rebolo-Peça em Retificação”, Dissertação de Mestrado EESC – USP.
- Hassui, A., 1997, “Comparação Sobre a Utilização de Diferentes Sensores no Monitoramento do Processo de Retificação”, Dissertação Mestrado, FEM/UNICAMP
- Lindsay, R. P., King, R. I., Hahn, R.S 1986, “Principles of Grinding”. Handbook of Modern Grinding Technology . New York: Chapman and Hall, Chapter 2.
- Malkin, S., 1989, “Grinding Technology Theory and Applications of Machining with Abrasives”. Chichester: Ellis Horwood Limited, 275 p
- Oliveira, J. F. G., 1988, “Análise da Ação do Macroefeito de Dressagem de Rebolos no Desempenho do Processo de Retificação”. Tese de Doutorado EESC - USP
- Oliveira J.F.G., Purquério, b.m., 1989, ”Dressagem Controlada : uma solução para os problemas.”, Máquinas e Metais, nº 283, pp. 58-66.
- Silva, E. J., 2000, “Análise da Influência dos Tipos de Fluidos de Corte e Rebolo na Retificação do Aço SAE HVN3”, Dissertação de Mestrado, UNESP Bauru.
- Zema Zselics, 1997 “Manual de Operação Numérica- CNC Fanuc 18 TC”, Industria de Máquinas Operatrizes Zema Zselics Ltda.

## WORKPIECE QUALITY BEHAVIOR FOR DIFFERENT GRINDING CYCLES

**Wanderley Xavier Pereira** (Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS-MG)  
[wpereira@unis.edu.br](mailto:wpereira@unis.edu.br)

**Anselmo Eduardo Diniz** (UNICAMP-SP): [anselmo@fem.unicamp.br](mailto:anselmo@fem.unicamp.br)

**Abstract:** *This work deals with a plunge cylindrical grinding process, comparing grinding cycles with one, two and three feed velocities (phases), aiming to verify the level of elastic deformation and surface quality each of the phases cause to the workpiece. The deformation was measured through the diametral difference between the workpieces obtained by an operation with just the feed phase and another with spark out phase added. The surface quality was measured by surface roughness and roundness measurement. The input variables were feed, stock removal and stock spark out time. Aiming this goal, several grinding experiments were carried out, grinding workpieces of ABNT434. The main conclusions of this work were: a) for the cycle with just one phase, both feed velocity and spark out time presented influence on the output variables. b) for the cycle with two phases, spark out time changed roundness values. c) for the three phase cycle, it was concluded that, in terms of roundness, all conditions tried generated good result, feed velocities  $f_2$  and  $f_3$  increased the value of surface roughness  $R_a$ , but  $f_3$  was much more influent than  $f_2$  and the increase of the stock removal of phase 3 reduced workpiece surface roughness.*

**Keywords:** *Plunge cylindrical grinding, Process optimization, workpiece quality.*