



## COMPORTAMENTO DA TAXA DE REMOÇÃO E ACABAMENTO SUPERFICIAL NA LAPIDAÇÃO PLANA SOB DIFERENTES PARÂMETROS DO PROCESSO.

**Luiz E. A. Sanchez**

**Célio Losnak**

**Fabiano R.C. Perez**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Mecânica

Cx P. 473 - 13033-360 - Bauru , SP, Brasil

**Resumo.** *Este trabalho apresenta um estudo da influência de alguns parâmetros do processo de lapidação sobre o acabamento superficial de peças metálicas endurecidas e moles. Foram utilizados quatro tipos de corpos-de-prova em aço ABNT 4140 sob diferentes tratamentos térmicos: recozimento; normalização, têmpera em óleo e têmpera em água. Em seguida lapidou-se as peças utilizando como abrasivo o óxido de alumínio 800 Mesh. No ensaio estabeleceu-se duas diferentes condições: primeiro, tal como usualmente praticado na indústria, adicionou-se continuamente fluido de lapidação ao longo do processo, medindo-se a rugosidade e a espessura da peça em intervalos de 10, 30 e 60 minutos. Em seguida, num segundo procedimento, colocou-se fluido de lapidação somente no início de períodos pré determinados. Cada período compreendeu 10 minutos de lapidação, onde a cada sessão de 2,5 minutos tomou-se as medidas de remoção e rugosidade da peça. Além disso, usou-se duas condições cinemáticas diferentes: primeiro, com as peças mantidas sobre uma mesma faixa do disco de lapidação; e depois, variando a posição relativa das peças no disco por um movimento alternado. Como resultado constatou-se que o tempo de lapidação, a condição cinemática, e os diferentes mecanismos de remoção dos materiais exercem influência decisiva sobre o processo.*

**Palavras-chave:** *Lapidação, Abrasivos, Rugosidade, Remoção de material*

### 1. INTRODUÇÃO

A lapidação é um dos processos de fabricação mais antigos da humanidade, remontando o período da idade da pedra. No museu de Munique na Alemanha encontram-se expostos artefatos rudimentares para produção de furos em rodas de pedra utilizando a areia como abrasivo e vara de madeira para friccionar e pressionar a areia contra a pedra, acompanhado de movimentos de giro (Stälhi, 1989).

A Norma DIN 8589 define a lapidação como um processo de usinagem envolvendo grãos abrasivos dispersos em um líquido ou pasta, capaz de transferir para a peça a forma da

ferramenta de lapidação, através da remoção promovida pelos grãos que descrevem movimentos aleatórios sobre a superfície da peça.

Nos últimos trinta anos a lapidação tem sido usada na indústria mecânica para a produção de peças de precisão, principalmente de instrumentos de medição como: blocos padrões; calibradores passa-não-passa e paquímetros. No entanto, estas indústrias são bastante fechadas não permitindo a difusão deste processo. Hoje, com o aumento da exigência por componentes de acabamento e tolerâncias em faixas cada vez mais estreitas, este processo tem despertado o interesse de pesquisadores e fabricantes de componentes de precisão (Farago, 1980).

Além de usinar peças metálicas a lapidação pode ser empregada na fase de acabamento de materiais não metálicos, extremamente duros, como as cerâmicas avançadas.

De maneira geral, o processo de lapidação caracteriza-se por uma baixa remoção de material, utilizando, na maioria das vezes, um abrasivo colocado entre a peça e um disco que gira com velocidade constante (Belyaev, 1978). Sobre a peça é posto, ainda, uma carga para aumentar a pressão de contato. Como resultado pode-se obter superfícies com grande precisão de forma, acabamento superficial fino e tolerância dimensional na faixa de IT1 (König, 1980).

Em relação a outros processos de usinagem, a lapidação apresenta algumas particularidades tais como: usinagem sem utilização de dispositivos de fixação; tempos curtos de preparação da máquina; usinagem de peças finas e frágeis com grande precisão; pouca influência térmica; e tensões residuais reduzidas.

Este trabalho tem como objetivo geral o estudo da influência dos parâmetros de lapidação sobre o comportamento do processo, tomando-se para isso quatro corpos-de-prova em aço de diferentes durezas.

## **2. O PROCESSO DE LAPIDAÇÃO E SEUS PRINCIPAIS ELEMENTOS**

Os principais componentes de uma lapidadora plana comum, são: disco de lapidação; anel de condicionamento de peças; anteparo do anel de condicionamento; e carga de lapidação. Além destes elementos mecânicos também participam do processo um fluido onde são dispersos os grãos abrasivos, considerado o principal agente do processo. Portanto, a possibilidade de variação das condições de lapidação fornecem os parâmetros investigados no processo (Morrison, 1985).

No processo de lapidação o disco, colocado em movimento de rotação, serve de substrato para o fluido impregnado de abrasivo, sobre o qual a peça é assentada. Com a pressão de uma carga atuando sobre a peça, sua superfície é removida assumindo a forma da superfície do disco, que por isso deve possuir elevada planicidade. Dependendo da dureza da peça este disco pode ser de cobre, aço temperado, cerâmica avançada ou ferro fundido perlítico, este último mais empregado com uma dureza entre 170 e 200 HB (Stälhi, 1989).

O anel de condicionamento desempenha importantes funções, como: contenção das peças dentro do anel para que não sejam expulsas do disco em decorrência de sua velocidade tangencial; correção permanente da planicidade do disco através de uma “auto-lapidação” promovida pelo contato constante com o anel, também em rotação; transmissão para as peças do mesmo movimento de rotação do anel, graças ao contato entre eles; espalhamento uniforme do fluido impregnado de abrasivo, com a ajuda de vários rasgos dispostos radialmente e distribuídos ao longo do anel; e por último, manutenção da carga de lapidação sobre as peças (König, 1980).

Pode-se observar que a rotação do anel, e das peças, apresentam o mesmo sentido do disco em decorrência da diferença de velocidades do centro e periferia do disco imprimidas ao anel. Este movimento, por sua vez, é facilitado graças a um anteparo de forma semicircular com roldanas em suas extremidades, possibilitando a rotação do anel na mesma posição sobre

o disco. No entanto, algumas máquinas dispõem do recurso de deslocar o anel em um movimento alternado entre a borda e o centro do disco. Dessa forma, as peças descrevem uma trajetória mais complexa, em relação às aquelas com o anel fixo.

Dentre os fatores de influência sobre a lapidação, o abrasivo desempenha papel primordial. De modo geral, a escolha do tipo mais adequado se dá principalmente em função da dureza da peça. Cada tipo de abrasivo apresenta características próprias de dureza e friabilidade que determinam o comportamento do processo. Se por um lado a dureza do grão expressa o seu poder de corte, a friabilidade exprime a tendência do grão ser fraturado em pedaços menores, melhorando o acabamento superficial da peça. No entanto, verifica-se que é prática costumeira, na indústria, a adição contínua de fluido de lapidação, portanto, renovando constantemente os grãos durante o processo de forma a abrandar o efeito benéfico da friabilidade do grão abrasivo sobre o acabamento superficial da peça (Touge, 1996). Porém, há um tamanho limite a partir do qual os grãos não sofrem mais fraturas. Os abrasivos convencionais como o óxido de alumínio (alumina) e o carvão de silício são recomendados na lapidação de peças menos duras que os carbonetos e as cerâmicas avançadas, sendo usados nestes casos o CBN (nitreto de boro cúbico) e o diamante, respectivamente (Nussbaum, 1988; Spur & Sabotka, 1991).

Por último, a concentração de abrasivo no fluido traz conseqüências tanto na taxa de remoção de material como no acabamento superficial. Uma alta concentração, apesar de maior poder de remoção, pode produzir riscos profundos a ponto de tornar-se impossível sua retirada em operações posteriores (Barylski, 1995). Os fluidos mais utilizados são aqueles com poder de lubrificação, não corrosivos e capazes de formar um filme suficientemente resistente às pressões de trabalho sem romper-se. Dentre os fluidos destacam-se o querosene e a glicerina, com maiores vantagens para este último (Chandrasekar, 1987a e 1987b).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho empregou-se uma lapidadora para peças planas, cujo principal aspecto do projeto levado em consideração foi a flexibilidade de operação, visando contemplar a grande maioria dos parâmetros envolvidos no processo de lapidação. A máquina construída especialmente para este fim, mostrada esquematicamente na Fig. 1, apresenta as seguintes características gerais: disco de ferro fundido nodular, com 350 mm de diâmetro; sistema de variação de velocidade do disco através de um variador de frequência, ligado a um motor trifásico de 0,5 CV, obtendo-se velocidades entre 20 e 100 rpm; anel de lapidação em aço 1045; anteparo do anel suportado por um “braço” capaz de executar movimento alternado, além da opção de deixá-lo fixo. Este braço é acionado por um eixo com polias, dando possibilidade de mais 2 outras velocidades, se desejado.

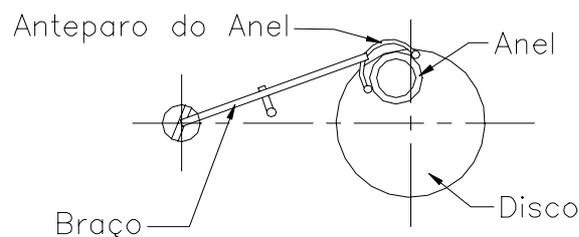


Figura 1- Esquema da máquina lapidadora plana.

Nos ensaios foram utilizados 4 corpos-de-prova de aço ABNT 4140, material comum para beneficiamento, em forma de disco, com diâmetro de 15 mm e espessura de 6,3 mm, anteriormente retificados. Cada corpo desses passou por um tratamento térmico diferente: recozimento; normalização; têmpera em óleo; e têmpera em água. A dureza alcançada foi de 24, 35, 56, e 60 HC, respectivamente.

Para que a lapidação desses 4 corpos-de-prova se desse ao mesmo tempo construiu-se uma peça em forma de disco com quatro alojamentos igualmente distribuídos. Esta peça foi, então, colocada dentro do anel de lapidação e a carga desejada assentada sobre ela.

O abrasivo usado nos ensaios foi o óxido de alumínio com granulometria de 800 Mesh disperso em glicerina numa proporção de 1 : 4 em peso, constituindo então, o fluido de lapidação. Esta proporção foi determinada por meio de testes prévios onde constatou-se, para este valor, um menor número de riscos na superfície lapidada.

O ensaio consistiu na lapidação dos 4 corpos-de-prova, simultaneamente, medindo em cada um deles a rugosidade, através de um rugosímetro portátil, e a espessura, por meio de um micrômetro milesimal.

Foram utilizados dois procedimentos diferentes de ensaios, onde no primeiro, adicionou-se o fluido de lapidação constantemente ao longo do processo, efetuando-se as medições de rugosidade e espessura da peça a cada 10, 30 e 60 minutos após o início da operação. Além disso os ensaios foram feitos sob duas condições cinemáticas: primeiro com o braço do anteparo do anel em posição fixa (“braço fixo”); e depois as mesmas condições repetidas com o braço do anteparo em movimento (“braço móvel”), sendo que a trajetória das peças devido às diferentes condições cinemáticas pode ser visualizada na Fig. 2.

Em um segundo procedimento de ensaio definiu-se três períodos de lapidação com duração de dez minutos cada um. O fluido de lapidação foi adicionado somente em cada início de período. A partir disso cada período foi subdividido em sessões de 2,5 minutos cada uma, quando tomaram-se as medidas de rugosidade e espessura da peça. Também este procedimento foi feito sob duas condições cinemáticas: braço móvel e braço fixo.

Apesar da granulometria de 800 Mesh ser considerada grossa, 20 a 30  $\mu\text{m}$ , sua escolha se deu em função da maior facilidade na seleção dos grãos e portanto uma distribuição granulométrica mais confiável, ao passo que granulometrias mais finas exigem um controle de seleção mais rigoroso e procedência idônea, sob o risco de ter-se a contaminação de grãos maiores e conseqüentemente: riscos inesperados sobre a superfície da peça.

Ao longo de todo o ensaio foi usado uma única carga de lapidação de 3 N, distribuída entre as 4 cargas, obtendo-se uma pressão de 1,7  $\text{N}/\text{cm}^2$  em cada corpo.

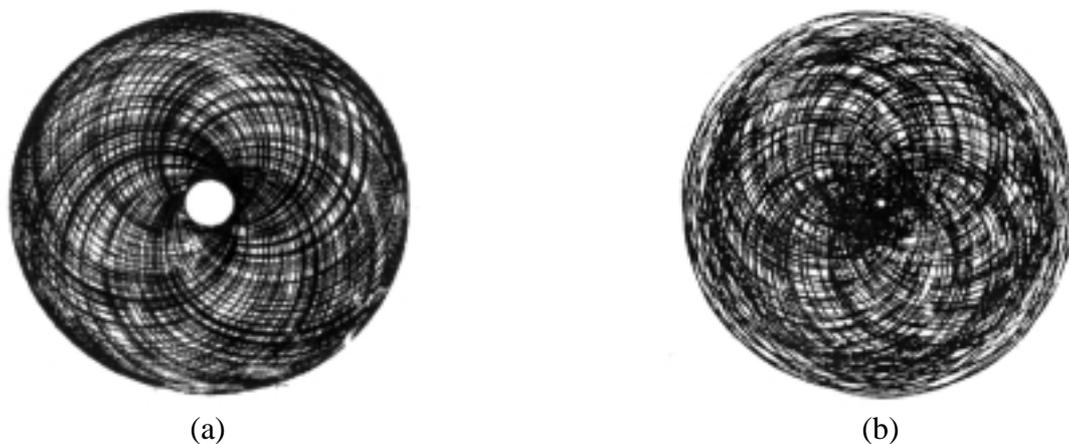


Figura 2. Trajetória do corpo de prova sobre o disco com braço fixo (a) e braço móvel (b).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras de 3 a 6 representam os resultados encontrados nos ensaios utilizando o primeiro procedimento de ensaio. Inicialmente temos o gráfico da Fig. 3 que mostra o comportamento da rugosidade em função do tempo de lapidação, para a condição de “braço fixo”.

A diminuição acentuada da rugosidade entre os intervalos de 0 a 10 minutos, pode ser explicado pela remoção das marcas mais intensas deixadas pela retificação, sendo eliminadas já no início da lapidação.

Na segunda região, compreendida entre os intervalos de 10 a 30 minutos, observa-se que a rugosidade cai moderadamente provavelmente devido a remoção das marcas ainda existentes, mas menos expressivas. Ao mesmo tempo, supõe-se a ocorrência da fratura de grãos de maior friabilidade.

No início do intervalo de lapidação mais longo, de 30 a 60 minutos, a superfície apresenta-se isenta das marcas existentes no início da lapidação. Essa textura superficial regularizada sofre, então, a ação principal dos grãos maiores remanescentes, ainda não fragmentados e mais tenazes, com pouca participação dos grãos menores já fragmentados. Dessa forma, os grãos maiores acabam riscando a superfície da peça aumentando levemente a rugosidade.

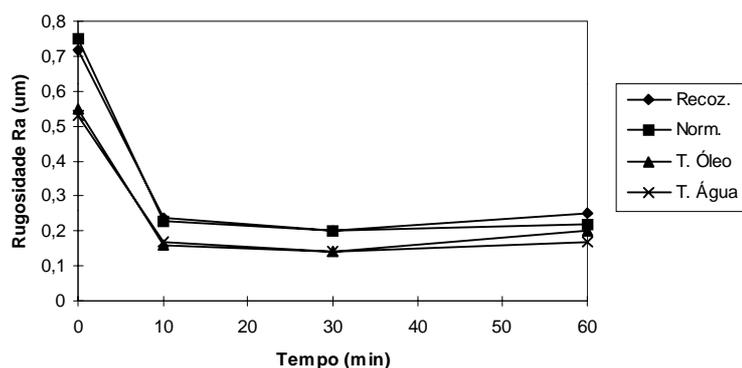


Figura 3 - Rugosidade em função do tempo de lapidação com braço fixo.

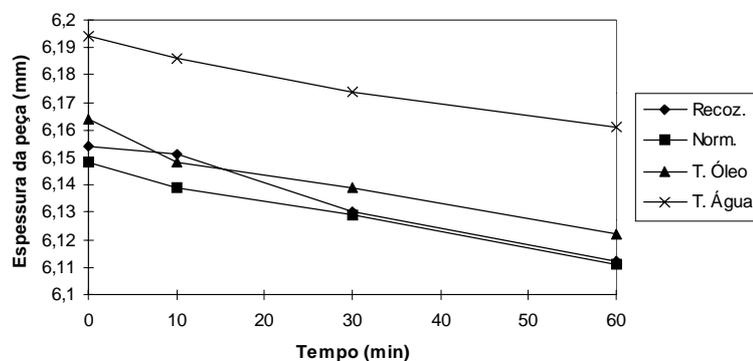


Figura 4 - Espessura das peças em função do tempo de lapidação com braço fixo.

Para a lapidação com braço móvel seguiu-se o mesmo procedimento anterior. Os resultados demonstraram que a rugosidade diminuiu substancialmente, no entanto ainda um pouco superior ao caso do braço fixo, como pode-se observar pela Fig. 5.

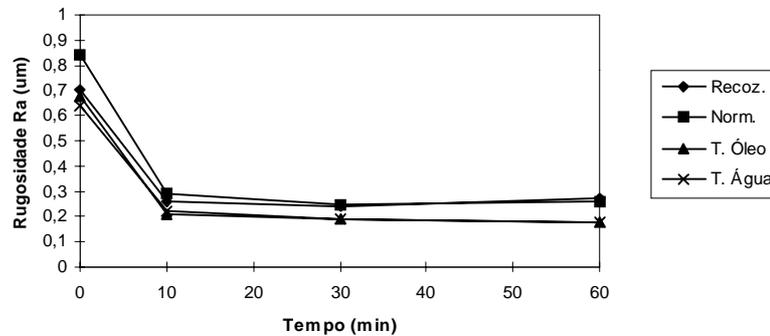


Figura 5 - Rugosidade em função do tempo de lapidação com braço móvel.

Os resultados da lapidação com o braço móvel mostram menor eficiência (diminuição da rugosidade por tempo) em relação à lapidação com o braço fixo. Mantidos constantes os demais parâmetros, torna-se claro a influência da condição cinemática sobre o processo. Além da menor queda da rugosidade com o tempo de lapidação, verifica-se também que a remoção de material é sensivelmente diminuída em relação à lapidação com braço fixo, fato que é demonstrado pela Fig. 6.

Tanto o comportamento da rugosidade quanto da remoção de material sugerem que a densidade de grãos que passam pela superfície das peças na lapidação com braço fixo é maior do que aquela com o braço móvel, como é possível verificar na Fig. 2.

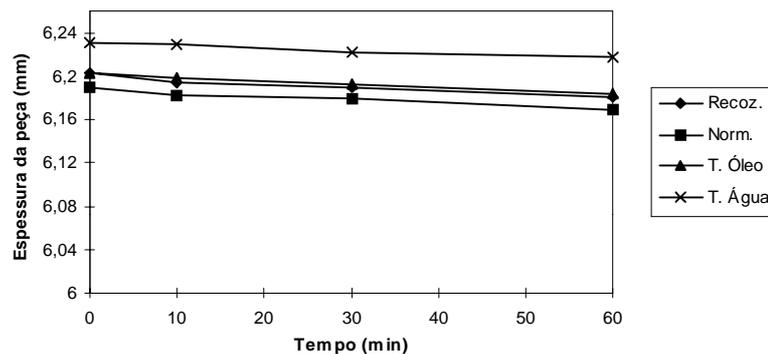


Figura 6 - Espessura das peças em função do tempo de lapidação com braço móvel.

De uma maneira geral, os gráficos representados pelas Figuras de 3 a 6 mostram que os dois aços ABNT 4140 endurecidos (temperado em água e óleo) apresentam menor remoção e rugosidade do que os dois aços moles (recozido e normalizado). Nos aços de menor dureza a ductilidade do material faz com que o grão abrasivo risque profunda e longamente a superfície da peça, provocando escoamento lateral do material, o que determina maiores valores de rugosidade. Os aços duros, ao contrário, apresentam difícil remoção pois o grão penetra pouco

na peça, porém causa trincas que culminam em pequenos lascamentos e consequentemente resultam em baixas taxas de remoção e rugosidades.

Analisando agora a Figuras 7 a 10 temos os resultados obtidos nos ensaios utilizando o segundo procedimento. Vemos nas Figuras 7 e 8 que desde a colocação do fluido de lapidação a rugosidade cai paulatinamente até o final do primeiro período, quando novamente é acrescentado fluido de lapidação e a rugosidade sobe repentinamente. Com o tempo a rugosidade volta a diminuir até o final do segundo período. Após novo acréscimo de fluido de lapidação constata-se a repetição do fenômeno.

A diminuição da rugosidade pode ser explicada pela quebra dos grãos abrasivos com o tempo em razão de sua friabilidade, até o final de cada período quando são acrescentados novos grãos e parcialmente reestabelecidas as condições iniciais do processo.

Tal qual verificado no primeiro procedimento, no segundo a lapidação com braço fixo também é mais eficiente do que com o braço móvel; e apesar do fluido de lapidação ser adicionado em intervalos mais longos a taxa de remoção é muito próxima daquela do primeiro procedimento, como pode ser visto nas Figuras 9 e 10.

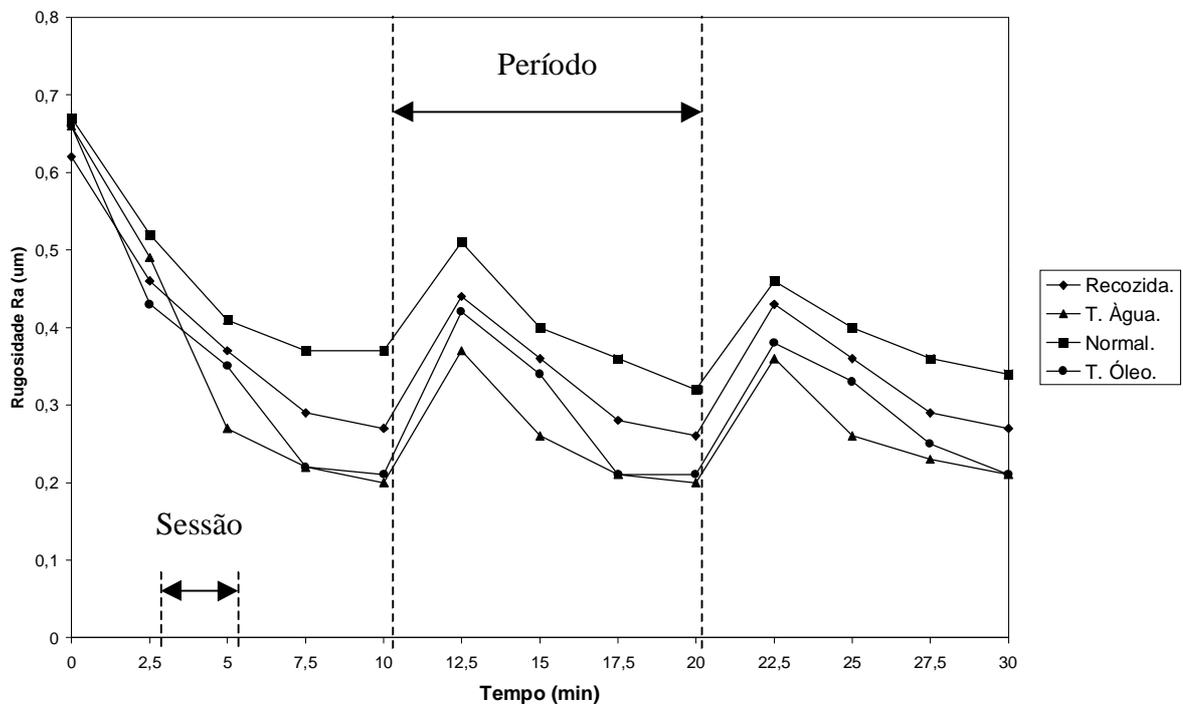


Figura 7 – Rugosidade em função do tempo de lapidação com Braço móvel.

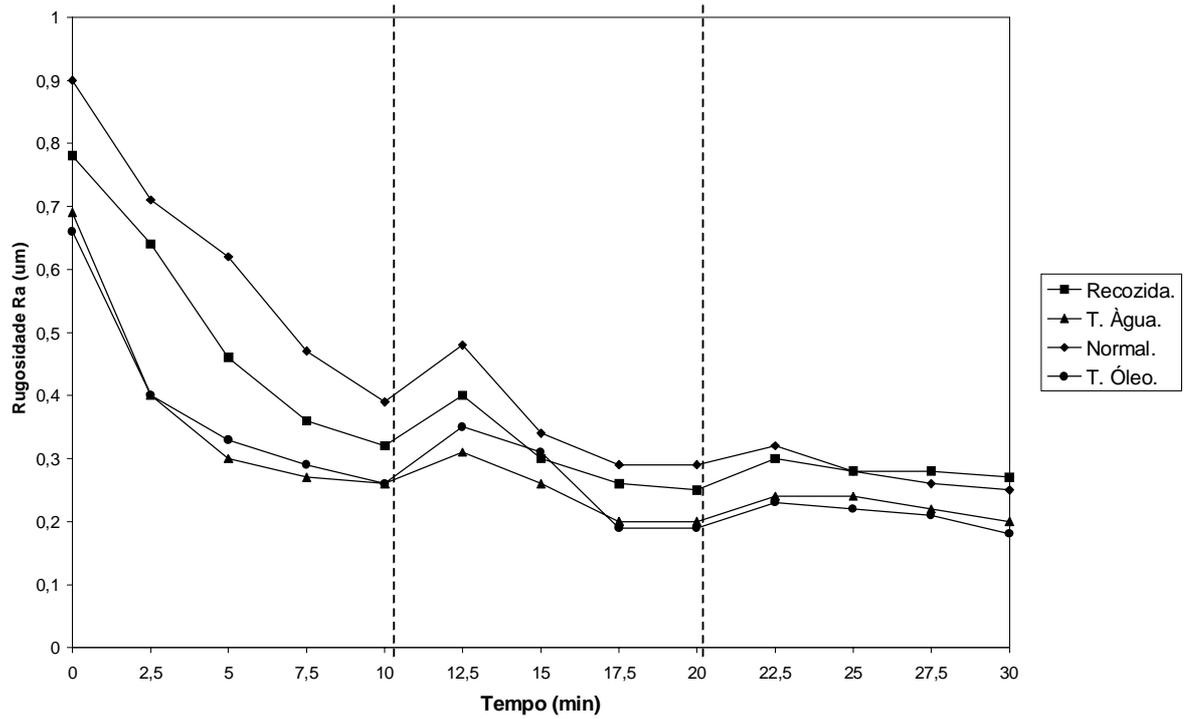


Figura 8 – Rugosidade em função do tempo de lapidação com Braço fixo.

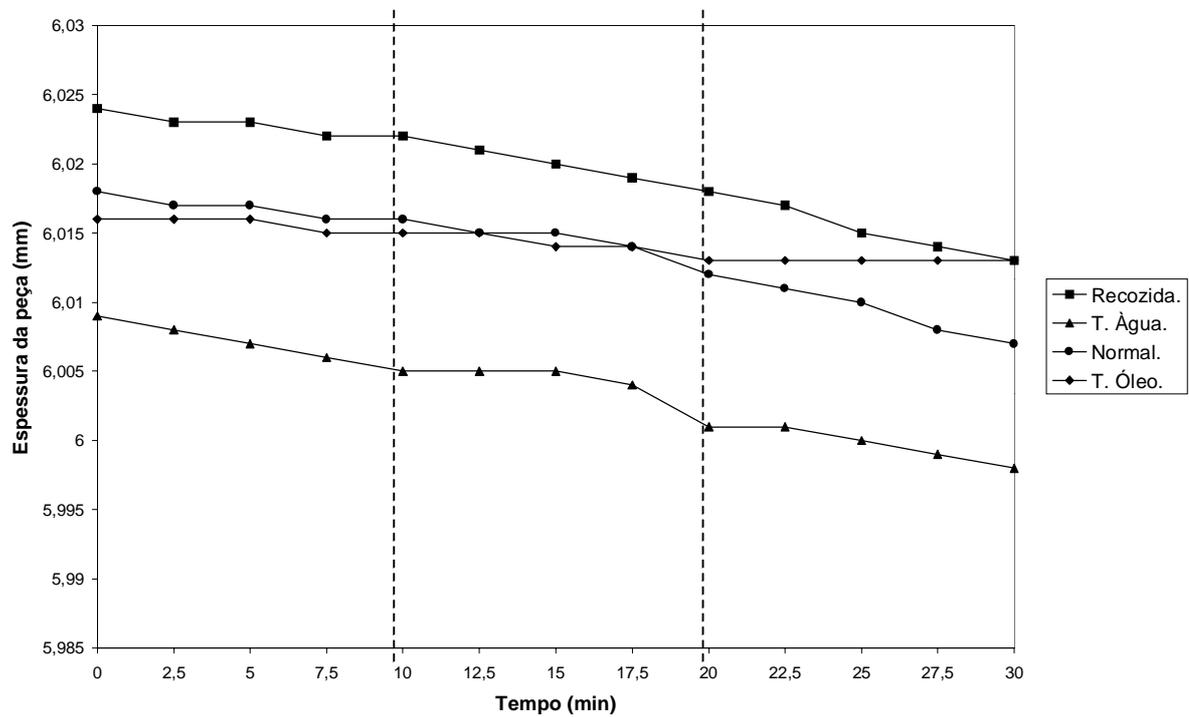


Figura 9 – Espessura em função do tempo de lapidação com Braço móvel.

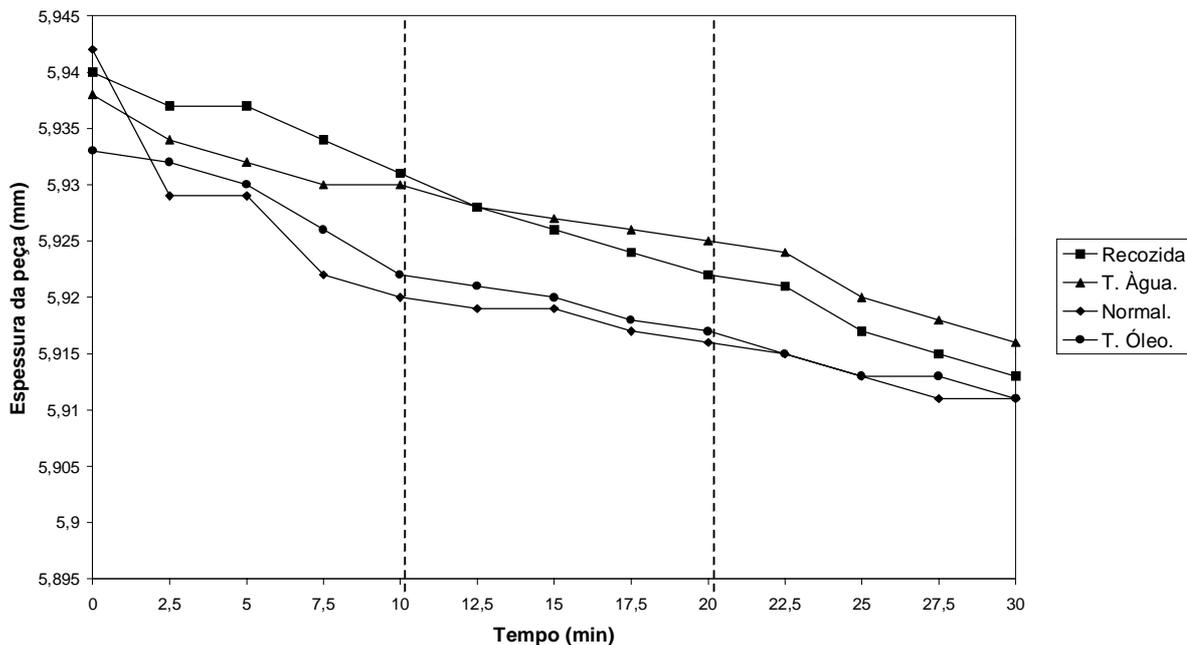


Figura 10 – Espessura em função do tempo de lapidação com Braço fixo.

## 5.CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados obtidos, pode-se apresentar as seguintes conclusões a respeito deste trabalho:

- Existe um tempo adequado de lapidação equivalente a maior eficiência do processo, onde o valor da rugosidade é mínimo.

- Durante o processo de lapidação verifica-se que os grãos abrasivos mais friáveis fragmentam-se, auxiliando na remoção de material enquanto ainda há marcas salientes na superfície da peça. Depois de um certo tempo os grãos que permaneceram inteiros, ou foram acrescentados, provocarão aumento da rugosidade.

- A condição cinemática, dada pelo movimento relativo entre a peça e o disco de lapidação, é capaz de influenciar o processo. No trabalho constatou-se que a lapidação com o braço fixo é mais eficiente do que com o braço móvel.

## REFERÊNCIAS

- Chandrasekar, S.; Shaw, M.C.; Brushan, B., 1987a, Morphology of ground and lapped surfaces of ferrite and metal, *Journal of Engineering for Industry*, vol 109, pp. 83-86.
- Chandrasekar, S.; Shaw, M.C.; Brushan, B., 1987b, Comparison of grinding and lapping of ferrites and metals, *Journal of Engineering for Industry*, vol 109, pp. 76-82.
- Farago, F. T., 1980, *Abrasive methods Engineering*, Industrial Press Inc., New York, Vol. I.
- König, W., 1980, *Schleifen mit schleifscheiben*, Verlag Gmbh, VDI, vol 2, 317 pags.
- Morrison, T. W.; Denhart, W.L., *Metals Handbook*, 1985, pp. 298-310.
- Nussbaum, G. Ch., 1988, *Rebolos e abrasivos, tecnologia básica*, Editora Ícone, vol. I, II e III, São Paulo.
- Spur, G.; Sabotka, I.; 1991, Mecanismos de remoção de material no polimento de cerâmicas, *Revista Máquinas & Metais (Tradução)*, fevereiro, pp. 32-41.
- Stähli, A.W., 1989, *The technique of lapping*, Editorial técnico de A.W. Stähli Ltda, Biena, Suíça 35 pags.
- Belyaev, G. S., 1978, Metal Removal and surface roughness during lapping operations, *Russian. Engineering Journal*, Vol. 58, Issue 6, pp. 29 –30.
- Touge, M., 1996, Removal Rate and Surface Roughness in High-Precision Lapping of Mn-Zn Ferrite, *Annals of the CIRP*, Vol. 45.
- Barylski, A. W., 1995, Surface Contamination of cast iron after lapping, *Journal of the society of tribologists and lubrication engineers*, Vol. 52, 1, pp. 63-70

## BEHAVIOR OF THE RATE OF REMOVAL AND SUPERFICIAL ROUGHNESS IN PLANE LAPPING UNDER DIFFERENT PARAMETERS OF THE PROCESS.

*Summary.* This work presents a study of the influence of some parameters of the lapping process about the superficial finishing of hardened and soft workpieces. Four specimens types were used in a steel ABNT 4140 under different thermal treatments. They are lapped using as abrasive the oxide of aluminum 800 Mesh. In the experiment settled two different conditions: first, just as usually practiced in the industry, it was added lapping fluid continually along the process being measured the roughness and the thickness of the workpiece in intervals of 10, 30 and 60 minutes. After, in a second procedure, lapping fluid was only placed in the beginning of the periods. Each period understood 10 minutes of lapping, 2.5 minutes to each session and it was taken the removal measures and roughness of the workpiece. Besides, it was used two different cinematic conditions: first, with the pieces maintained on a same strip of the lapping disk; and other, varying the relative position of the workpieces in the disk. As result was verified that the time of lapping, the cinematic condition, and the different mechanisms of removal of the materials exercise decisive influence on the process.

**Keywords:** Lapping, Abrasive, Roughness, Material Removal