

5.2 – Relação de Desgaste (RD)

A relação de desgaste, conforme definido anteriormente, é definida como o volume de material removido da peça pelo volume de material removido (gasto) da ferramenta, conforme a expressão 5.2:

$$RD = (\Delta mp \times \gamma f) / (\Delta mf \times \gamma p) [mm^3/mm^3] \quad (5.2)$$

Os resultados das RDs para condição de desbaste leve são mostrados na Figura 5.4. Observa-se que o óleo E (querosene) apresenta considerável diferença na relação de desgaste comparando-se com os demais óleos, ou seja, para essas condições (regime, equipamento, material e geometria da peça e da ferramenta), foi a condição onde observou-se o menor desgaste da ferramenta. Porém, entre os demais óleos (A, B, C e D), a diferença de desgaste não foi consideravelmente grande (menor que 25%), ao passo que a diferença entre o querosene (E) e o óleo de pior desempenho foi na faixa de 55%. É importante ressaltar que para todos os dados apresentados nos gráficos, a variação de resultado de um ensaio para outro não foi maior que 2 a 4%, demonstrando assim boa confiabilidade nos resultados, uma vez que as diferenças chegaram na ordem de 55% a até mais que 200%.

A Figura 5.5 apresenta os resultados das RDs no regime de desbaste médio, condição em que o óleo D apresentou melhor desempenho, porém, lembrando que nesse mesmo regime apresentou desempenho inferior quanto a TRM. O querosene (óleo E) apresentou desempenho inferior que no regime de desbaste leve, sendo pior que o óleo D e óleo B. O óleo A apresentou desempenho ruim também, mas já foi melhor que o óleo C.

A Figura 5.6 apresenta os resultados para o regime de desbaste severo, onde observa-se uma considerável melhora do óleo A em relação aos regimes de desbaste leve e médio. Nessas condições, já foi o segundo melhor óleo, perdendo apenas para o óleo D. Porém, é importante ressaltar que para esse regime de operação, o óleo A apresentou elevada TRM e boa RD, ao passo que o óleo D, apesar de apresentar a melhor RD, mostrou os piores resultados para TRM. Para melhor visualização desse situação, a diferença entre a TRM do óleo A e D foi de 255%, ao passo que a diferença entre a RD do óleo D e A ficou na faixa de 19%. Portanto, quando analisa-se somente TRM e RD, o óleo A parece ser o mais indicado para esse sistema de usinagem (máquina, ferramental, regime, etc), ao passo que o óleo B demonstrou ser o menos indicado.

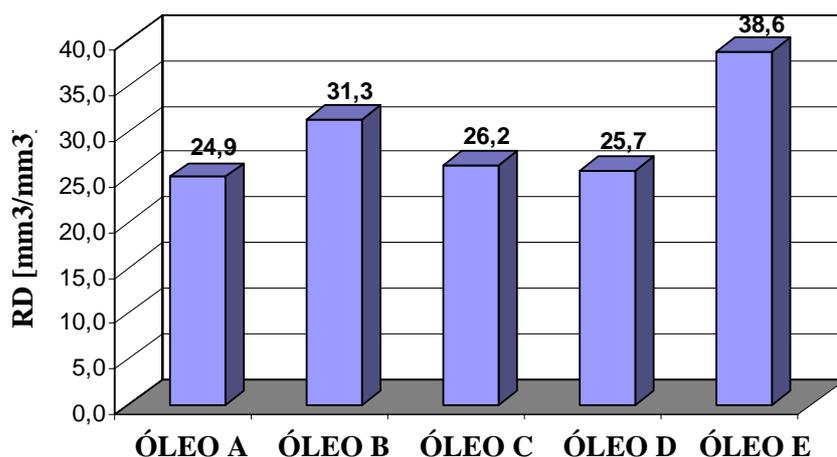


Figura 5.4 - RDs geradas no processo EDM com fluidos dielétricos A, B, C, D e E em regime de Desbaste Leve.

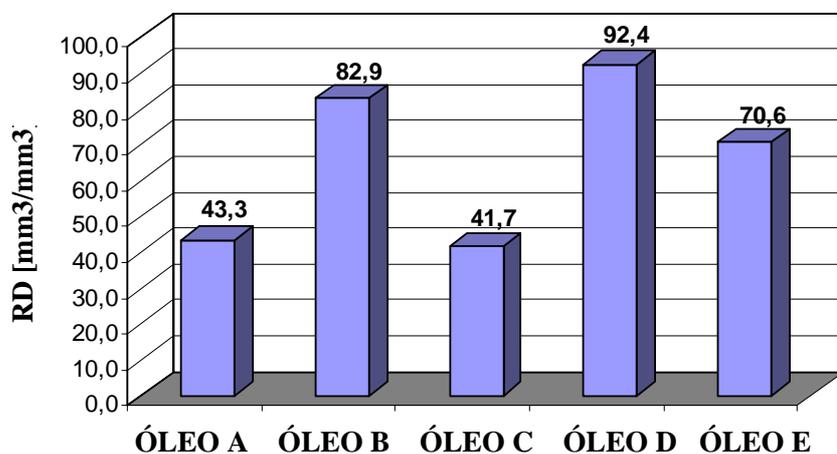


Figura 5.5 - RDs geradas no processo EDM com fluidos dielétricos A, B, C, D e E em regime de Desbaste Médio.

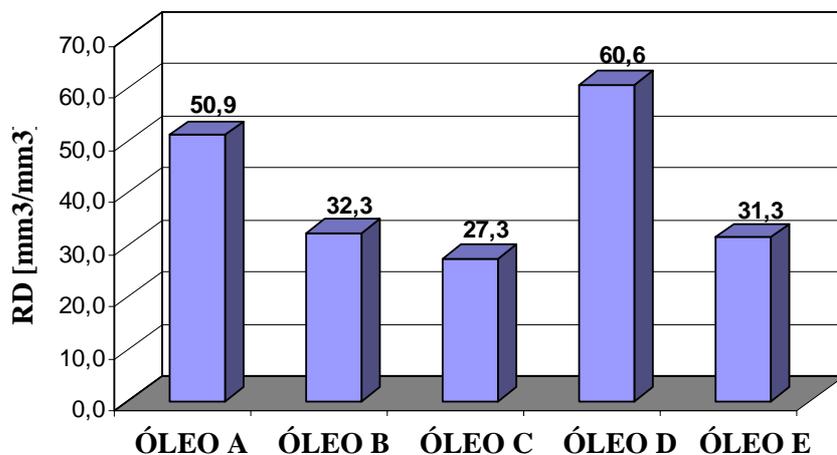


Figura 5.6 - RDs geradas no processo EDM com fluidos dielétricos A, B, C, D e E em regime de Desbaste Severo.

É importante ressaltar que, no processo EDM convencional, o aumento da TRM está relacionada com a diminuição da RD (Fernandes, 1999), e isso verificou-se principalmente no caso do óleo A, que apresentou maiores TRMs, porém, piores RDs (com exceção do regime de desgaste severo). Esse fato pode ser explicado pelo processo de desgaste da ferramenta, que depende não somente do regime de operação, mas também, do tempo de usinagem. Quanto mais tempo a ferramenta fica sofrendo os choques dos elétrons, que liberam grande energia cinética, maior será seu desgaste.

O desgaste da ferramenta de cobre ou grafite tem uma grande importância no processo, não somente quanto a quantidade de material removida da mesma, mas também a forma como esse desgaste ocorre, de forma mais homogênea ou heterogênea, o que gera menores ou maiores diferenças geométricas na superfície e principalmente na face da ferramenta. Um desgaste muito grande e não uniforme pode gerar uma geometria acabada com menor precisão geométrica e com maiores imperfeições geométricas. Por isso, a grande importância de se ter um desgaste pequeno da ferramenta associado a um pequeno desvio de forma da mesma.

Aqueles óleos que tiveram melhor desempenho quanto a RD, também apresentaram grande uniformidade do desgaste, sem desgastar regiões preferenciais. Já aqueles óleos que tiveram desempenho inferior, ou seja, apresentaram desgaste maior das ferramentas em relação ao volume de material erodido da peça, também proporcionaram desgaste mais desigual, ou seja, desgastando mais em uma região do que em outra. As Figuras 5.7 (a) e (b) mostram a ferramenta de cobre antes da usinagem. As Figuras 5.7 (c) e (d) apresentam o desgaste de uma ferramenta que utilizou um óleo de desempenho inferior quanto a RD. Nota-se a grande irregularidade geométrica, onde um lado da ferramenta sofreu mais desgaste do que outro. Quanto a camada de “carvão” depositada na superfície, todas as ferramentas apresentaram o mesmo aspecto, ou seja, não houve considerável diferença quanto a deposição de camada de carbono na superfície do cobre.

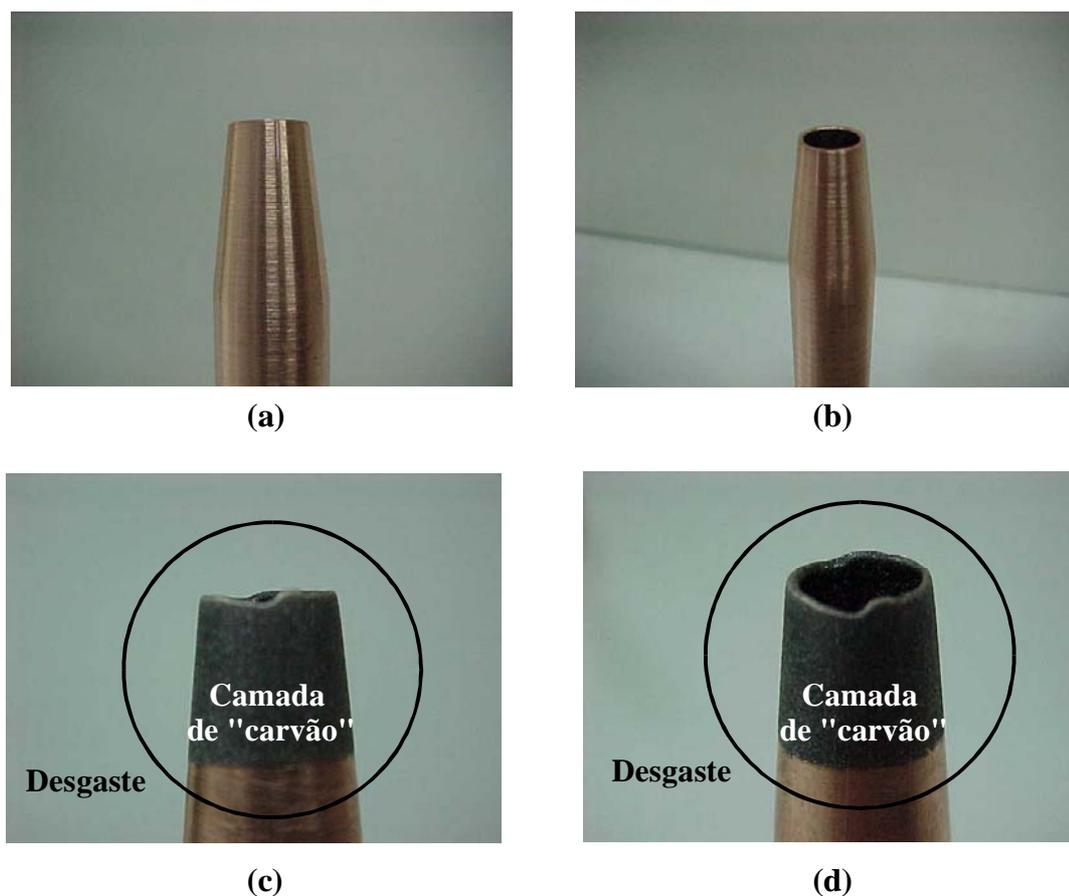


Figura 5.7 – Ferramentas de cobre antes da usinagem (a) e (b). Ferramentas depois da usinagem com RD baixa (c) e (d).

5.3 – Rugosidade Média Aritmética (Ra) e Topografias (MEV)

As Figuras 5.8 a 5.10 apresentam os gráficos das rugosidades médias aritméticas (Ra) para os três regimes de operação. Analisou-se a região usinada com um comprimento de 4mm. O comprimento de amostragem adotado foi 2,5 mm. Para cada amostra, foram feitas 12 leituras no sentido do eixo central da mesma, como mencionado no Capítulo 4.

No regime de desbaste leve, Figura 5.8, notou-se uma pequena diferença de rugosidade, da ordem de 15% a diferença de rugosidade com o óleo de melhor desempenho (óleo B) com o de pior desempenho (óleo D). Isso pode ter ocorrido pelo fato de que alguns óleos produzem mais vapor que os outros, lembrando que maior vaporização pode resultar também em maior quantidade de bolhas formadas durante as descargas elétricas, o que gera uma piora no

acabamento da superfície usinada, no que diz respeito a rugosidade (R_a). Porém, fazendo uma observação detalhada das topografias das Figura 5.11 e 5.12, ou seja, uma vista superior da superfície usinada, com aumentos de 100x e 300x respectivamente, pode-se analisar que entre os óleos A, B, C e D não houve uma considerável diferença visual, enquanto que o querosene, apesar de ter apresentado menor rugosidade que o óleo D, mostrou-se com topografia inferior, com um número muito alto de bolhas de metal redepositado. Esse fato se deve ao fato já mencionado de excessiva evaporação do dielétrico, em que quanto maior o número de bolhas durante cada descarga, associado ao fato de habilidade inferior de lavagem e remoção rápida do calor das partículas implodidas após a descarga elétrica, pior será o acabamento da superfície acabada. O querosene mostrou-se no regime de desgaste leve uma pior superfície usinada, o que prejudica principalmente peças que irão trabalhar com contato de superfície e alta precisão geométrica. Nas topografias fica claro que as superfícies gerados pelos óleos A, B, C e D possuem uma camada refundida ou camada branca bem homogênea, como se um “caldo” do material tivesse escoado por sobre a superfície.

Já para o regime de desgaste médio, Figura 5.9, notou-se uma diferença maior entre os óleos, que chegou a 36% entre o óleo A e o óleo E. Confirma-se uma tendência importante, quanto mais severo o regime, mais discrepante é o desempenho dos fluidos. Comparando esses resultados com os resultados das topografias, Figuras 5.13 e 5.14, fica bem claro que o melhor desempenho foi do óleo A, pois além de apresentar menor rugosidade, apresentou uma camada refundida ainda mais homogênea que a dos outros óleos, B, C e D. De forma análoga, o querosene (óleo E) apresentou rugosidade inferior e confirmou esse desempenho pelas topografias, com elevadíssimo número de bolhas refundidas do material da peça, de diversos tamanhos e formas.

No regime de desgaste severo, Figura 5.10, notou-se uma diferença da ordem de 36% entre o óleo B e o óleo C, os quais foram os extremos do desempenho em termos de R_a . Mais uma vez o óleo A apresentou bom resultado, sendo superado apenas pelo óleo B. O querosene apresentou novamente um desempenho ruim, porém, quando comparado com as topografias (Figuras 5.15 e 5.16), as superfícies já tiveram uma identificação maior, onde esse óleo demonstrou visualmente uma superfície bem semelhante com as dos demais óleos. No caso da Figura 5.16 (b), nota-se que em alguns pontos, a superfície está mais rugosa e com maior número de bolhas e microtrincas que na superfície usinada com querosene. Aparentemente, em condições de regime mais severo, as diferenças de rugosidade e topográficas vão diminuindo gradativamente.

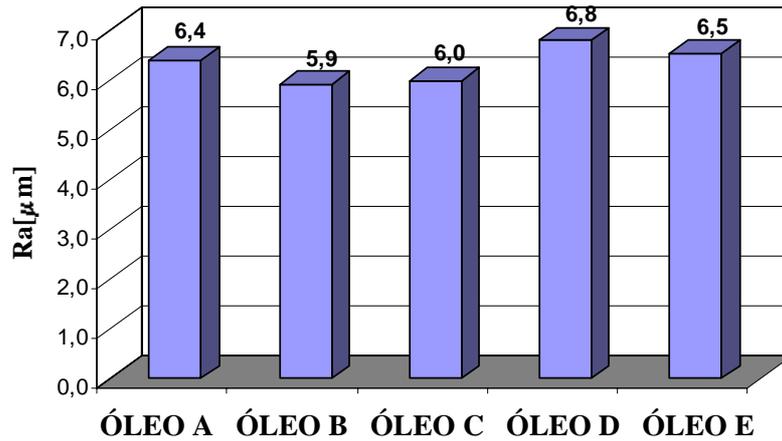


Figura 5.8 – Rugosidades Ra geradas no processo EDM com fluidos dielétricos A, B, C, D e E em regime de Desbaste Leve.

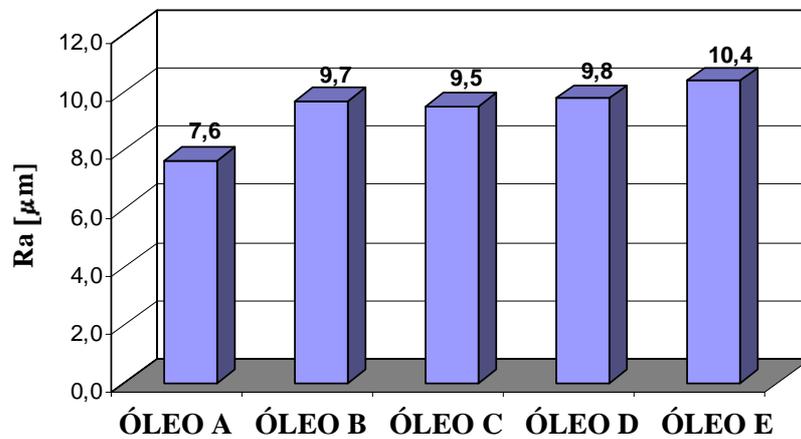


Figura 5.9 – Rugosidades Ra geradas no processo EDM com fluidos dielétricos A, B, C, D e E em regime de Desbaste Médio.

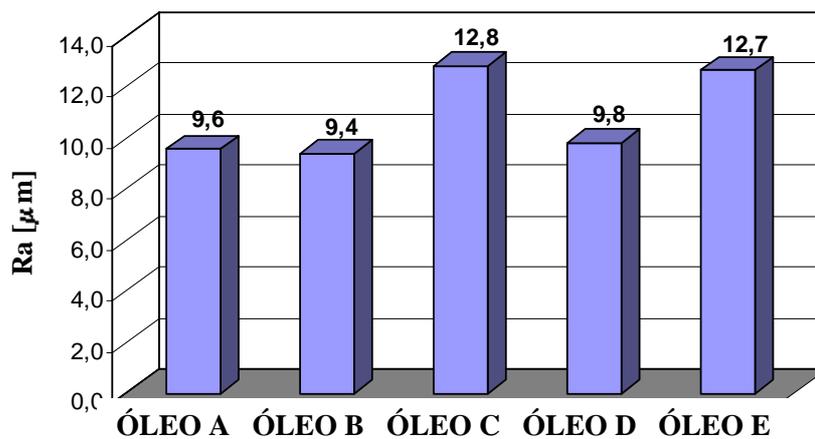
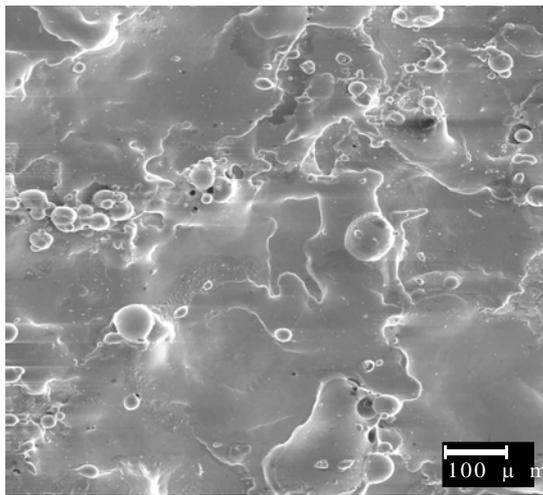
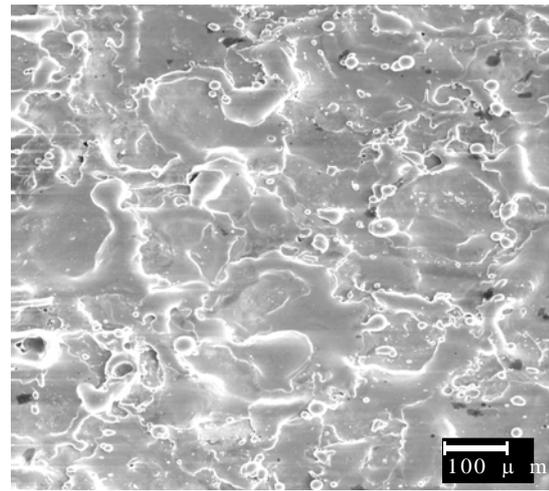


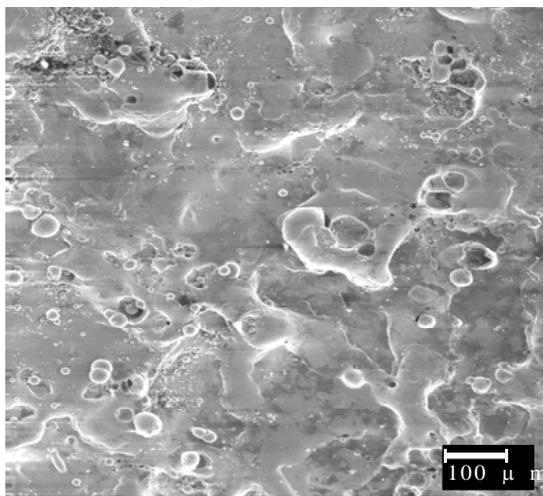
Figura 5.10 – Rugosidades Ra geradas no processo EDM com fluidos dielétricos A, B, C, D e E em regime de Desbaste Severo.



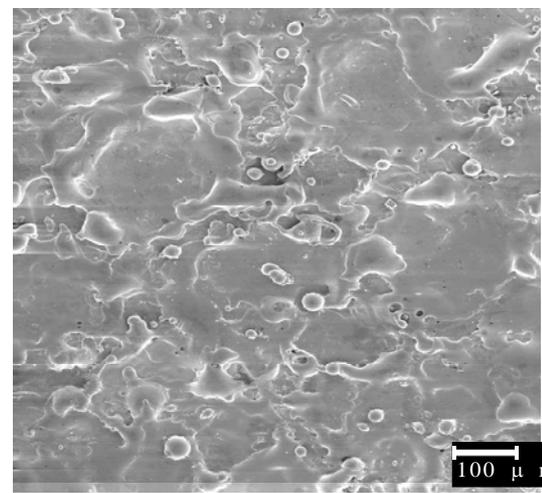
(a) Óleo A



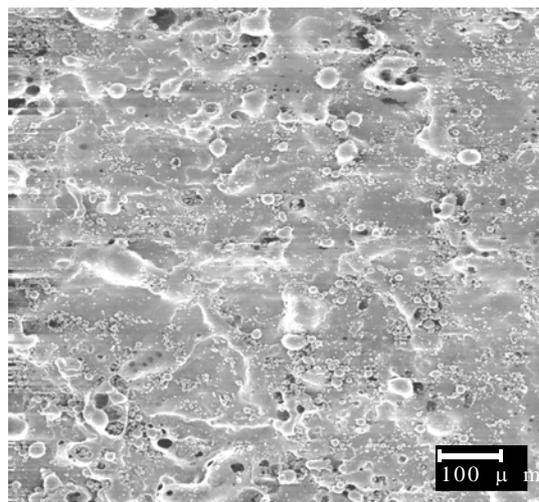
(b) Óleo B



(c) Óleo C

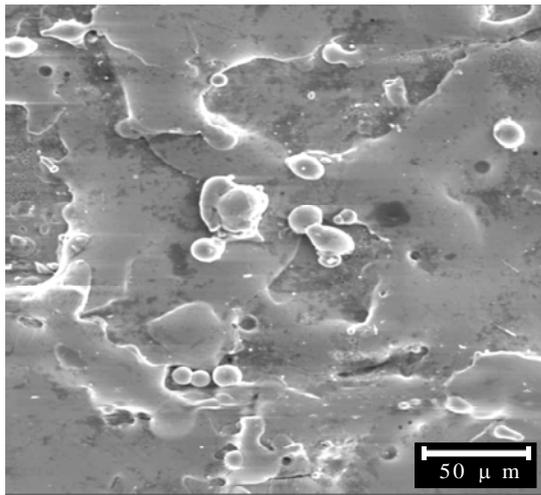


(d) Óleo D

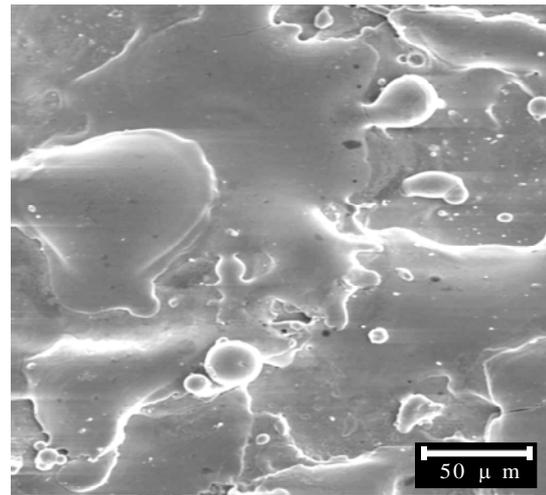


(e) Querosene

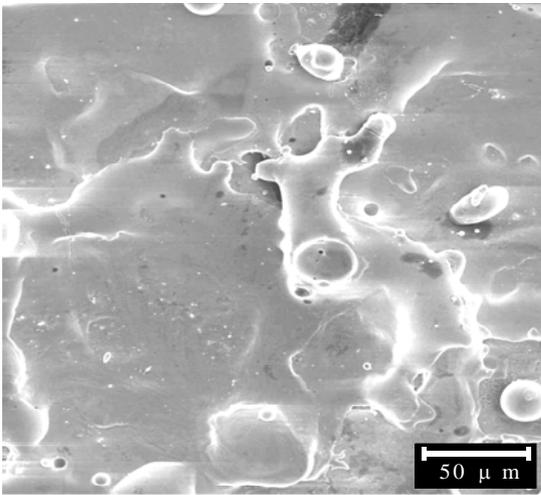
Figura 5.11 – Topografias obtidas por MEV (aumento de 100x) das superfícies usinadas por EDM com fluidos dielétricos A, B, C, D e E em regime de Desbaste Leve.



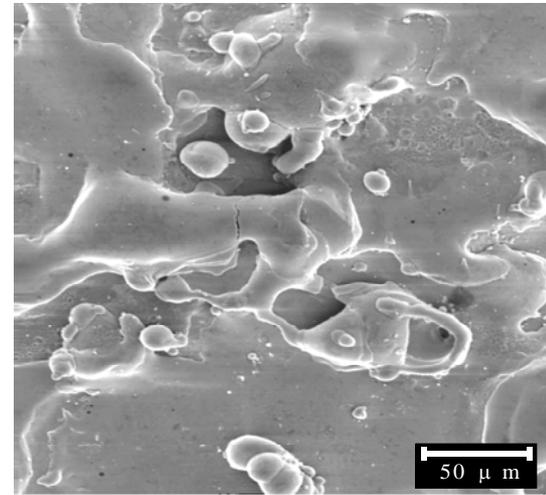
(a) Óleo A



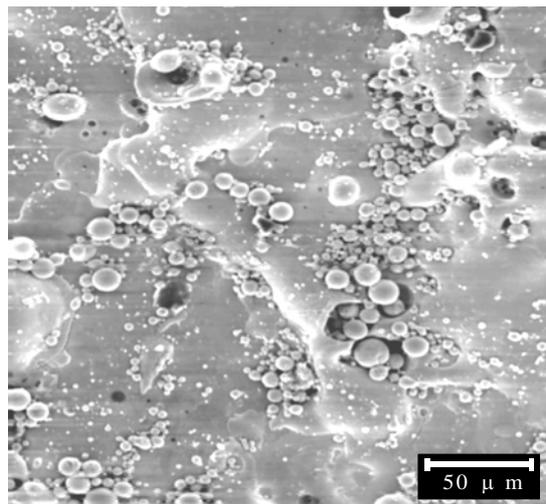
(b) Óleo B



(c) Óleo C



(d) Óleo D



(e) Querosene

Figura 5.12 – Topografias obtidas por MEV (aumento de 300x) das superfícies usinadas por EDM com fluidos dielétricos A, B, C, D e E em regime de Desbaste Leve.