

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO E TAMANHO DE NANOARTÍCULAS NO DESEMPENHO DE NANOLUBRIFICANTES ADITIVADOS COM CuO DURANTE A ETAPA DE RUNNING-IN

Valdicleide Silva e Mello, valdkqi@hotmail.com¹
Ana Paula de Paula Camargo, camargoanap94@gmail.com¹
Diana Roberta da Silva Medeiros, dianaroberta.sm@hotmail.com¹
Edália Azevedo de Faria, edalia_azevedo@yahoo.com.br¹
Salete Martins Alves, saletealves@ect.ufrn.br¹

¹Universidade federal do Rio Grande do Norte, Avenida Senador Salgado filho, 3000, campus universitário- Lagoa Nova. CEP: 59078-970, Natal –RN- Brasil.

Resumo: Nanopartículas (NNP) têm grande interesse na ciência com aplicações que vão desde a medicina à área tecnológica. Várias NNP tem sido utilizadas na indústria automobilística para uso em lubrificantes, a fim de reduzir as perdas por atrito. Entre essas nanopartículas, óxidos metálicos mostram capacidade de reduzir atrito. No entanto, na literatura, há algumas incertezas quanto à concentração de NNP que deve ser incorporada a óleos lubrificantes para trazer melhorias para o sistema. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da concentração e do tamanho de NNP de óxido de cobre em óleo lubrificante comercial com o propósito de reduzir o atrito na etapa de running-in entre as superfícies metálicas em contato deslizante. Os ensaios foram realizados em um tribômetro HFRR esfera/plano em contato deslizante lubrificado, sob condições de máxima solicitação mecânica. Analisou-se o coeficiente de atrito (COF) em condições transientes para verificar o desempenho do óleo durante a etapa de running-in. Os resultados mostram que os níveis mais baixos de concentração de NNP no óleo lubrificante, diminuem o coeficiente de atrito não só no estado estacionário, mas também nas etapas de running-in. Além disso, a menor concentração diminui o custo dos lubrificantes. A nanopartícula de menor tamanho mostrou-se mais efetiva na redução dos coeficientes de atrito na etapa de running-in.

Palavras-chave: Nanopartículas, Lubrificantes, Concentração de NNP, running-in

1. INTRODUÇÃO

A lubrificação de contatos mecânicos é de importância fundamental porque só a formação de uma película de lubrificante durável e eficaz vai ajudar a reduzir o desgaste da superfície dos materiais, bem como as perdas por atrito sofridas por eles. No entanto, a eficácia da lubrificação destes sistemas é definida e depende das condições de trabalho que eles vão ser aplicados. Parâmetros como carga, velocidade e temperatura de funcionamento determinam diferentes sistemas de lubrificação, e esses esquemas também determinam o lubrificante adequado para a aplicação.

Os regimes de lubrificação dependem não só das características do fluido, aditivo e dispersante utilizado. Eles estão também associados ao tipo de mecanismo de formação de película de filme durante um teste de contato (Chinas-Castillo e Spikes, 2000). Entre as várias condições de lubrificação, três se destacam. A primeira é a lubrificação hidrodinâmica que é caracterizada pela formação de uma película de espessura suficientemente capaz de separar duas superfícies em contato, de modo que a deformação é quase desprezível. A outra é a lubrificação limite, em que uma película fina de filme é formada entre as superfícies, mas ainda ocorre o contato entre as superfícies. Finalmente, a lubrificação mista em que o suporte de carga é realizado ora pelo contato entre as asperezas e, por vezes, pela película. (Alves e Mello, 2015; Ballarini Junior, 2013).

O *running-in* está também associado com as etapas de lubrificação, como é a fase de desgaste que precede o regime de lubrificação estacionário, isto é, o período em que existe um maior contato entre as asperezas até que haja formação de tribofilme. (Luo, 2010; Mezghani *et al*, 2013; Ballarini Junior, 2013). O estudo do *running-in* pode fornecer respostas a perguntas sobre o possível atrito e desgaste durante o teste tribológico, no entanto, ainda são poucos os estudos nesta área devido à sua complexidade.

O *running-in* é influenciado não só pelos parâmetros de contato dos regimes de lubrificação, Mezghani *et. al.* (2013) mostram que a rugosidade é um elemento importante no desgaste das superfícies de materiais durante a etapa de *running-in*. Os autores mencionam também que o desgaste durante o período transitório depende da altura da rugosidade da superfície, bem como o modo de distribuição ordenada do perfil de rugosidade.

Vários autores têm investigado ainda o papel da concentração de nanopartículas na redução de atrito de óleos lubrificantes. Battez *et. al.* (2008) realizaram estudos com baixa concentração de NNP (0,5 a 2,1% em peso) e encontrou baixo coeficiente de atrito quando a concentração era de 1% para CuO (30-50nm) e Jatti e Singh (2015) quando usou a concentração de 1,5% CuO (30-40nm), já Trajano *et. al.* (2014) obtiveram menor coeficiente de atrito para 0,5% CuO (5 nm) em óleo de base sintética. Da mesma forma, os autores Ma *et. al.* (2010) e Battez *et. al.* (2008) alcançaram maior sucesso em reduzir o coeficiente de atrito para o ZrO₂ (20-30nm e 100nm, respectivamente) na concentração igual a 0,5%. Rabaso *et. al.* (2014) conseguiram menor coeficiente com 1% MoS₂. Luo *et. al.* (2014) reduziram o atrito com 0,1% de nanocompósito Al₂O₃ / TiO₂ (75nm) aditivado no óleo lubrificante. Koolodkiejczyk *et. al.* (2007) o mesmo o fez com 5% de nanopartículas de Pd em óleo de parafínico em comparação com óleo puro. Peng *et. al.* (2009) descobriram o mais baixo coeficiente com 0,2% de nanopartículas de diamante (110nm).

Com base no que foi discutido acima, também se salienta a importância de se avaliar a dimensão de partícula, pois para um bom desempenho é necessário que as nanopartículas tenham um tamanho compatível com as suas concentrações favoráveis, que variam de acordo com a natureza do agente dispersante e do lubrificante.

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da concentração e do tamanho de nanopartículas CuO como aditivos para lubrificantes no atrito sofrido durante o período de transição ou de *running-in*.

2. MATERIAIS E METODOS

2.1. Síntese e Caracterização das Nanopartículas

As nanopartículas de CuO foram preparadas a partir de solução alcoólica de acetato de cobre, quando 2 mmol de acetato de cobre monohidratado foram dissolvidos em 40 mL de etanol; e uma solução alcoólica de hidróxido de sódio, sendo 8 mmol de NaOH dissolvido em 40 ml de etanol com a mesma proporção estequiométrica. Num reator de teflon foram misturados 10 mL de cada solução, em seguida, a reação entre as soluções ocorreu em um micro-ondas (Panasonic NN562BK) com uma variação da energia transmitida na síntese como demonstrado na Tab. 02 :

Tabela 1. Parâmetros experimentais de energia para a síntese.

Síntese A	Potência do micro-ondas 99(W)	140 s, pulso <i>on</i> / <i>off</i> 20 e 10 s (9 vezes)	Temperatura média na síntese 80°C
Síntese B	Potência do micro-ondas 396(W)	140s, com pulso <i>on</i> / <i>off</i> / <i>on</i> / <i>off</i> 30s, 20s, 10s e 20s (9 vezes)	Temperatura média na síntese 70°C
Síntese C	Potência do micro-ondas 495(W)	15s <i>on</i>	Temperatura média na síntese 80°C

. Após a reação em micro-ondas, o reator foi resfriado a 15°C durante 5 min e foi recuperada a solução. As nanopartículas foram recolhidas a partir destas suspensões por centrifugação a 3600 rpm durante 5min. O material recolhido foi lavado várias vezes com água quente e etanol. Em seguida, eles foram secos a 60°C durante 2 h ou até completa evaporação do etanol. Todas as sínteses foram realizadas em triplicata.

Finalmente, as nanopartículas de CuO foram recobertas para minimizar a aglomeração com 0,01g de ácido oleico a 0,2g de nanopartículas de CuO, as quais foram adicionadas 20 ml de etanol. A mistura foi agitada durante 2 h a 60°C e em seguida centrifugou-se durante 10 minutos. Finalmente, elas foram secas durante 2 horas ou até completa evaporação do etanol.

As amostras produzidas foram caracterizadas por difração de raios-X (DRX) para verificar a composição química e estimar o tamanho das nanopartículas. A análise foi realizada em difratômetro de pó de DRX -600- Shimatsu, com a radiação Ka-alfa. O tamanho de cristalito foi calculado a partir dos difratogramas através da equação de Scherrer (Klug *et. al.*, 1962).

$$D_{hkl} = k \lambda / \beta \cdot \cos.\Theta \quad (1)$$

Onde: D_{hkl} é o tamanho do cristalito; k é o fator da forma da esfera (0,89); Θ ângulo da difração; β é a metade da largura total (FWHM) do pico; λ é o comprimento de onda de raios-X (1,54056 Å).

2.2. Aditivação das Nanopartículas no Óleo

A aditivação das nanopartículas no óleo parafínico (PAO) foi auxiliada por um solvente orgânico (tolueno) a fim de melhorar a dispersão das nanopartículas em óleo. Foram utilizados três diferentes concentrações de NNP e um solvente único (Tab. 1). A dispersão ocorreu após a adição da NNP ao solvente e ao óleo, sob agitação, durante 6 horas a 20°C. Depois de preparadas, as soluções foram secas à 70°C até que houvesse a evaporação completa do tolueno.

Tabela 2. Proporções experimentais para a aditivação.

Conc.	NNP	Óleo	Dispersante	Conc.	NNP	Óleo	Dispersante	Conc.	NNP	Óleo	Dispersante
0,10%	0,10%	8mL	2 mL	0,25%	0,25%	8mL	2 mL	0,50%	0,50%	8mL	2 mL

2.3. Ensaio Tribológico

Os testes tribológicos foram realizados em um tribômetro HFRR (*High Frequency Reciprocating Rig Teste*) com contato de deslizamento esfera/plano lubrificado. O par tribológico (esfera/disco) foi posicionado de acordo com ASTM D 6079-04, onde a esfera polida (6,0 mm de diâmetro, 570-750 HV; Ra = 0,05 µm) desliza sobre o disco (10 mm de diâmetro, 190- 210 HV e Ra = 0,006 µm) em movimento alternado submersa no líquido estudado. As condições de teste eram de carga de 10 N, 20 Hz de frequência, o deslocamento linear 1,00 mm/s e 50°C. As análises foram realizadas em triplicata.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização das Nanopartículas

A Figura 1 mostra os padrões de difração de amostras. Em todas as sínteses foram observadas a presença de monóxido de cobre monoclinico. Fases puras foram obtidas e todos os picos de difração são característicos para a estrutura monoclinica com o grupo Cc (CuO). Estes dados estão de acordo com os arquivos JCPDS # 80- 1916, óxido de cobre.

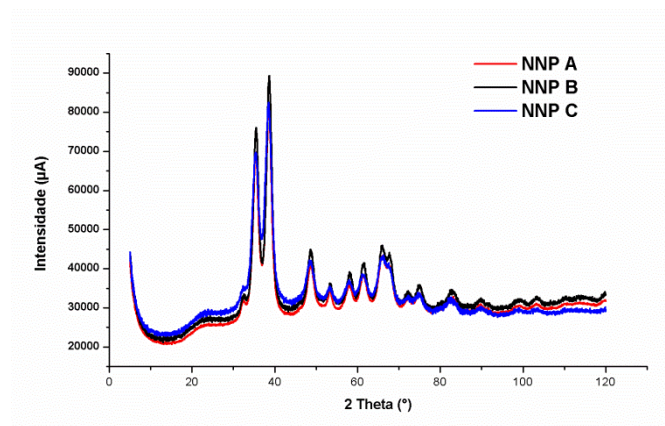


Figura 1. DRX das nanopartículas

Todos os tamanhos de partículas foram estimados abaixo de 10 nm. Os parâmetros de tempo e tensão utilizados para a síntese B resultou em tamanho médio de 9 nm. Quando a voltagem é aumentada para a síntese C, o tamanho médio foi de 4 nm. Com menor tensão e tempo de exposição mais longo da radiação para a síntese A, o tamanho médio resultou em 5,5 nm. Jamil *et. al.* (2008) sugeriram que o tratamento e manipulação dos parâmetros de síntese em micro-ondas têm a capacidade de controlar o tamanho de partícula. As únicas mudanças encontradas são em relação a cristalinidade. Rejith e Krishna (2013), Liu *et. al.* (2007) e Barbalho (2007) concluíram que os picos estreitos e intensos vistos no DRX sugerem que o material tem elevada cristalinidade e pureza.

3.2. Análise do Ensaio Tribológico

A Figura 2 (A-C) mostra o comportamento do COF em função do tempo durante a etapa de *running-in*. Os lubrificantes avaliados foram o óleo sintético puro (PAO) e aditivado para diferentes tamanhos e concentração de NNP de óxido de cobre. A partir da Fig.2 A-C é possível observar que os valores do COF_{max} para todos os lubrificantes em estudo são mais elevados na etapa de *running-in*. De acordo com Krupka *et. al.*, (2009), nesta etapa, ocorre um aumento da pressão de contato local, devido à maior interação das superfícies, como resultado do tipo de contato (deslizamento)

e da carga aplicada. Esta etapa promove a mudança de rugosidade da superfície, devido à quebra de asperezas de contato. Rabaso *et. al.* (2014) demonstraram a importância desta etapa (no contato esfera/plano) como a mais importante na disposição de nanopartículas sobre as superfícies em contato para iniciar a formação do tribofilme, resultando na diminuição do coeficiente de atrito.

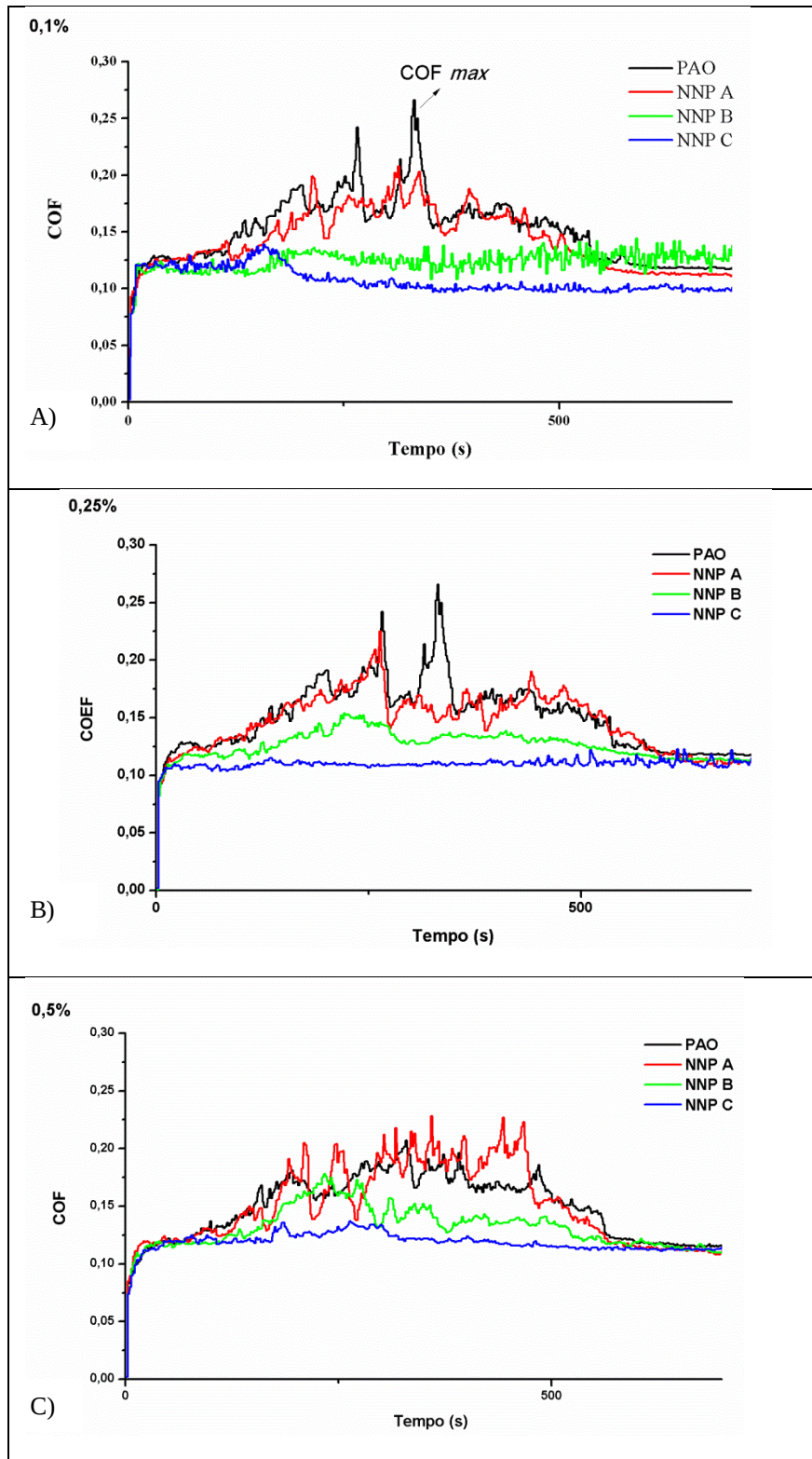


Figura 2. Variação do coeficiente de atrito versus o tempo para as concentrações de NNP a) 0,1%, b) 0,25% e c) 0,5%.

Comparando os COF_{max} durante a etapa de *running-in* para cada um lubrificante (com e sem aditivos) verifica-se diferentes valores e proporções. ANNP C mostra COF_{max} igual a 0,13 em 200s na menor concentração (fig. 2 A). Após

este tempo, o declínio da COF tem lugar até a sua estabilização. Possivelmente, este período começou a acomodação das NNP C nas superfícies e formação de uma película lubrificante estável como um aditivo antidesgaste, tal como descrito por Peng *et. al.* (2009). Isso é possível devido aos mecanismos de ação das NNP, onde elas interagem com os micro-sulcos formados no período de alisamento da superfície e produz um tribofilme forte, elas podem rolar entre as superfícies e modificar o atrito. A etapa de *running-in* termina mais rapidamente para NNP C, o que indica que as partículas em dispersão foram mais bem distribuídas e esta suspensão foi mais estável, o que facilita a formação do filme (Chen e Liu, 2001).

O lubrificante puro (PAO) e o óleo aditivado com 0,1% NNP A apresentaram comportamentos semelhantes e COF_{max} iguais a 0,26 e 0,20, respectivamente. No entanto, eles mostraram um período de desgaste inicial mais extenso e severo. Após esta etapa, o COF é estabilizado, porém de forma mais tardia em relação ao óleo aditivado com a NNP C. Isto sugere que a película lubrificante formada é mais tênue e mais sensível as cargas de contato, ou que as nanopartículas atuaram com um mecanismo de rolamento entre as superfícies de contato, como nos estudos de Alves *et. al.* (2016). O PAO também apresentou o pior desempenho na etapa de *running-in* em comparação com os lubrificantes aditivados com nanopartículas A e C, apresentando em cerca de 350s o maior valor de COF_{max} durante o *running-in* (0,28).

O comportamento exibido pelo óleo aditivado com NNP B não mostrou nenhuma redução de atrito depois da fase de *running-in*, isto sugere que o mecanismo de ação desta nanopartícula não é benéfico na redução do atrito. De acordo com estudos realizados por Peng *et. al.* (2009), é evidente que o NNP B não conseguiu aderir às superfícies em contato e passou a atuar como um agente abrasivo, ou seja, óxidos de nanopartículas podem não formar a película de proteção e se manter soltas entre as superfícies de contato, na qualidade de um terceiro corpo potencializando o aumento do COF. Battez *et. al.*, (2008) afirma que a deposição de nanopartículas na superfície está diretamente relacionada com a variação do atrito e desgaste. Quando são bem dispersas, atuam melhorando a ação lubrificante. Assim, os mecanismos de atuação das nanopartículas na lubrificação nem sempre são eficazes devido à maneira na qual as nanopartículas estão dispersas.

Nas concentrações de 0,25% e 0,5% (fig. 2 B e 2C respectivamente), o COF_{max} durante o *running-in* permanece inferior para todos os óleos aditivados com as NNP A, B e C em relação ao PAO. Isto sugere que a redução do COF_{max} durante o *running-in* pode ser promovida pelos aditivos nanoparticulados em estudo em qualquer uma das concentrações aqui mencionadas.

O uso da NNP A exibiu um ligeiro aumento do COF_{max} apenas com a concentração de 0,5% (fig. 2 C) em relação ao PAO. No entanto, este aumento ainda é menor do que o exibido pelo PAO. Quanto ao uso das NNP B e C, a maior redução do COF_{max} durante o *running-in* foi alcançada na concentração de 0,25% e 0,5% foi encontrado para NNP A com 0,5%.

O uso de 0,25% de NNP B e C exibiram os melhores resultados e demonstrar maior desempenho de redução. Estes resultados permitiram encontrar a relação do comportamento do COF_{max} na etapa de *running-in*, aplicado a todas as condições de concentrações: $NNP C < NNP B < NNP A$.

Foram investigados os tempos de transição da etapa de *running-in* para o regime permanente para os testes. A fig. 3 expressa os tempos de transição entre os regimes para as amostras com 0,1% de adição de nanopartículas. Observa-se que a menor duração do *running-in* não indica necessariamente $COF_{médio}$ (média do coeficiente de atrito durante toda a etapa do regime estacionário) e melhor desempenho do lubrificante. Isto pode ser visto pelos resultados encontrados para NNP B nesta concentração, que teve o maior $COF_{médio}$ e um tempo de transição menor de *running-in* para o estado estacionário (183s, aproximadamente).

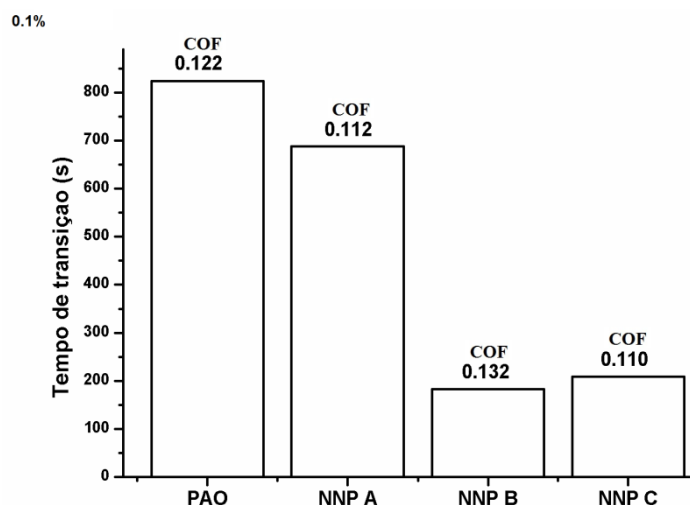


Figura 3. Relação do tempo de transição com o $COF_{médio}$ na concentração de 0,1% de NNP

Como discutido anteriormente, as superfícies são submetidos a um processo de alisamento, devido à presença das nanopartículas e a elevada pressão de contato durante o *running-in*. Ballarini Junior *et. al.* (2014) descobriram que sob as condições da superfície menos rugosas foi encontrado baixo tempo de transição entre os regimes. Assim, verificou-se que o NNP B possivelmente agiu modificando a rugosidade da superfície na etapa de *running-in*, mas depois de um curto espaço de tempo sob cargas, este mecanismo não foi sustentado e ocorre a mudança do mecanismo de atuação das nanopartículas, que passaram a atuar como terceiro corpo aumentando o atrito ao longo do teste.

A NNP C mostrou o tempo de transição semelhante a NNP B, devido ao alisamento da superfície promovido pela presença das nanopartículas, mas quando se associa com a diminuição imediata do coeficiente de atrito que ocorre após o *running-in*, é claro que a modificação da rugosidade das superfícies pela nanopartículas C auxiliou na formação de uma película mais forte ao contrário do que aconteceu com a nanopartícula B. Foi também observado o menor COF, nos dois regimes. Os melhores resultados exibidos pela NNP C nesta concentração corroboram com os resultados encontrados por Battez *et. al.* (2009) para os tamanhos de nanopartículas menores.

A NNP A não demonstrou a capacidade de reduzir o tempo de transição, provavelmente estas nanopartículas levam um tempo para se acomodar nas superfícies e retardam a formação da película de lubrificante nas condições iniciais de aplicação de carga, porém após a etapa de *running-in* ocorre uma diminuição no coeficiente de atrito indicando o início da formação do filme pela atuação das nanopartículas.

O óleo PAO mostra um tempo de transição superior para o estado estacionário em relação NNP B e C. Isto indica que estas nanopartículas, de fato, podem atuar para reduzir o atrito e o desgaste causado durante a etapa de *running-in* dos sistemas lubrificados.

A partir das Figuras 4A e 4B estão disponíveis os diferentes tempos de transição entre os regimes nas concentrações de 0,25% e 0,5%. O tempo de transição entre os regimes mostrou que a NNP A na concentração de 0,25% não demonstra potencial para reduzir o tempo de duração do *running-in* e valores mais elevados em relação ao apresentado pelo PAO, comportando-se de forma semelhante ao que aconteceu na concentração de 0,1% ("fig 3. ") devido aos mecanismos de ação semelhantes discutidos anteriormente para esta concentração.

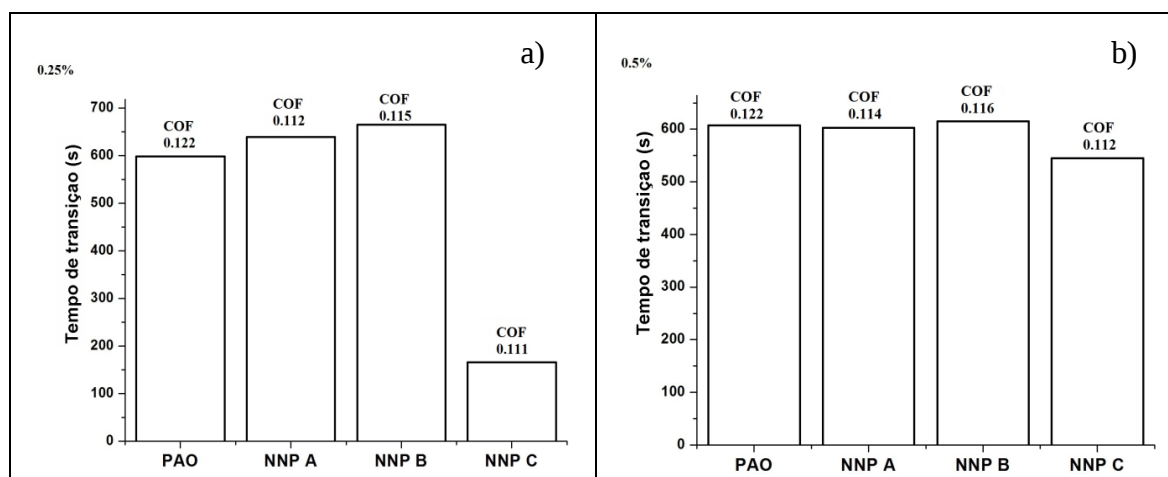


Figura 4. Relação do tempo de transição com o COF_{médio} na concentração de A) 0.25% de NNP e B) 0.5% de NNP

A NNP B apresentou redução no tempo de transição entre os regimes para as concentrações de 0,1% e 0,5%, no entanto, o COF_{médio} para esta última concentração foi superior a PAO. A única redução no tempo de transição demonstrada por esta nanopartícula ocorre apenas na menor concentração em comparação com PAO. O mesmo foi visto por Trajano *et. al.* (2014). Para esta concentração, houve uma melhor acomodação das nanopartículas na superfície e reduziu o tempo de formação da película de lubrificante.

O mecanismo de atuação da NNPC descrito na concentração de 0,1% ("Figura 3."). Também foi observada nas concentrações de 0,25% e 0,5%, mostrando que estas nanopartículas minimizam o tempo de transição para o regime estacionário mesmo em concentrações elevadas, em relação ao PAO. Ao mesmo tempo, a 0,5% de aditivação apresentaram um pequeno aumento do tempo de transição, porém ainda com COF_{médio} mais baixo do que o PAO. Pode observar-se resultados semelhantes nos estudos de Battez *et. al.* (2008) com as nanopartículas de CuO.

Analisando a relação do desempenho redução do tempo de transição versus o COF_{médio} apresentado pelas nanopartículas, a NNP C mostrou uma redução do tempo de transição e COF_{médio} em todas as concentrações analisadas, tendo uma melhor relação com concentrações até 0,25 %. Isto pode ser explicado pelo mecanismo de atuação de tais nanopartículas se manteve contínuo. A NNP A demonstrou a melhor relação de tempo de transição e COF_{médio} na condição de 0,5%, mostrando a relação abaixo dos valores do PAO. O mesmo comportamento foi observado por Ballarini Junior *et. al.* (2014). O pior desempenho encontrado para a relação entre o tempo de transição e COF_{médio} ocorreu para a NNP B com o aumento da concentração, mostrando relação semelhante a PAO apenas com a concentração de 0,1%.

4. CONCLUSÕES

Depois de todos os dados coletados e os estudos realizados a partir destes, concluiu-se:

- O estágio mais curto de *running-in* não implica em um melhor desempenho dos lubrificantes quando aditivados com nanopartículas, pois os mecanismos de ação das NNP não são iguais. Isto é observado para o caso NNP B que mostra uma maior redução do tempo de transição, mas maior coeficiente de atrito na concentração de 0,1%; e a NNP A não demonstrou a capacidade de reduzir o tempo de transição para todas as concentrações, porém menor coeficiente de atrito para todas as concentrações em relação a NNP B;
- A nanopartícula C apresentou o melhor desempenho como um aditivo antidesgaste para lubrificantes, se aderiram nas superfícies e atuaram promovendo a menor tempo de transição para o regime permanente e formação de filme mais rápido diminuindo o coeficiente de atrito ao longo do teste. Este mecanismo de atuação das nanopartículas foi o mesmo para todas as concentrações;
- A concentração das nanopartículas mostra influência direta sobre o mecanismo de ação, a NNP B demonstrou claramente um desempenho diferente na concentração de 0,1% em relação as demais. O tempo de transição foi aumentado quando o mecanismo de atuação benéfico teve início reduzindo o coeficiente de atrito nas maiores concentrações;
- As nanopartículas de menor tamanho NNP A mostrou maior facilidade em se acomodar nas superfícies em contato e assim atuar na redução do atrito em ambos os regimes, enquanto a NNP B de maior tamanho investigado nesse trabalho, causou um aumento no tempo de transição entre os regimes nas maiores concentrações e não mostrou nenhuma redução do COF_{max} na etapa de *running-in*;
- O tamanho das nanopartículas associado à concentração mostrou ser um parâmetro que pode ser decisivo no mecanismo no qual as nanopartículas irão atuar, exibindo maior redução de atrito e tempo de transição entre os regimes nas condições de menor tamanho e baixa concentração;
- Este estudo mostra a importância de uma investigação mais aprofundada sobre a etapa de *running-in* para o caso da escolha de um lubrificante para aplicar em sistemas com condições sob carga inicial mais alta, porque este período irá ajudar a compreender os resultados do coeficiente de atrito e desgaste durante todo o teste experimental.

5. REFERÊNCIAS

- Alves, S.M. e Mello, V.S. Cap. 4A – Lubrificação, 2015. “TRIBlook: Um livro da tribologia e integridade estrutural”, Volume A, P. 79-109. Natal, Brazil. Edufrn, Editora da UFRN, , p.79-112.
- Alves, S.M. , Mello, V.S. Faria, E.A, Camargo, A.P.P. 2016. “Nanolubricants developed from tiny CuO nanoparticles”. Tribology International. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2016.01.050i>
- Balarini Junior, R. 2013. “Ultra baixo coeficiente de atrito no deslizamento de $Si_3N_4-Al_2O_3$ em água: estudo *AB INITIO* do *RUNNING-IN*”. Dissertação, Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, Brazil.
- Balarini Junior, R., Andrade, P.J.S., Strey, N.F. e Sacandian, C. 2014, “Ultra baixo coeficiente de atrito no deslizamento de $Si_3N_4-Al_2O_3$ em água: estudo *AB INITIO* do *RUNNING-IN*. VIII”. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM-2014. Uberlândia, Minas Gerais.
- Barbalho, D.S.T. 2007. “Síntese, caracterização e aplicação de catalisadores mistos contendo Cobalto e Cobre”. 2007. 89 p. (Dissertação) (Química) UnB. Brasília.
- Battez, Hernández, A., González, R., Viesca, J.L., Fernández, J.E., Días Fernández, J.M., Machado, A., Chuo, R. e Riba, J. 2008. “CuO, ZrO₂, ZnO nanoparticles as antiwear additive in oil lubricants”. Wear 265. pp. 422–428.
- Blau, P., 2005, “On the Nature of *Running-in*”, Tribology International, Vol. 38, pp. 1007-1012.
- Chen, S. e Liu, W. 2001. “Characterization and antiwear ability of non-coated ZnS nanoparticles and DDP-COATED ZnS nanoparticles”. Materials Research Bulletin 36. pp. 137–143
- Chiñas-Castillo, F; Spikes, H.A. 2000. “The behavior of colloidal solid particles in elastohydrodynamic contacts”. Tribology Transactions, 43(3). pp. 387–94.
- Jamil, M. R. Ahmad, Abdul Hafeez, Z.-U. Haq, N. AMIN. 2008. “Microwave assisted synthesis of fine magnetic manganese ferrite particles using co-precipitation technique,” Pakistan Journal of Agricultural Sciences, vol. 45, no. 3, pp. 59–64,
- Jatti, V.S e Singh, T.P. 2015. “Copper oxide nano-particles as friction-reduction and anti-wear additives in lubricating oil”. Jornal of Mechanical Science and Technology 29(2). pp. 793-798
- Liu X, Geng B, Du Q, Ma J, Liu X . 2007. “ Temperature-controlled self-assembled synthesis of CuO, Cu₂O and Cu nanoparticles through a single-precursor route”. Materials Science and Engineering A. pp. 448 7–14.
- Luo, Q.2010. “Origin of Friction in *Running-in* Sliding Wear of Nitride Coatings”. Tribol Lett . 37:529–539
- Mezghani, I., Demirci, I., Yousfi, M. e Mansori, E.2013. “ *Running-in* wear modeling honed surface for combustion engine cylinder liners”. Wear 302. pp. 1360–1369
- Kolodziejczyk, L. D. Martinez-Martínez, T. C. Rojas, A. Fernandez and J. C. Sánchez-López. 2007. “Surface-modified Pd nanoparticles as a superior additive for lubrication”. Journal of Nanoparticle Research, 9:639–645.

- Krupka, I., Svoboda, P. e Hartl, M. 2010 “Effect of surface topography on mixed lubrication film formation during start up under rolling/sliding conditions”. Tribology International 43, pp. 1035–1042.
- Rabaso, P., Dassenoy, F., Ville, F., Diaby, M., Vacher, B., Mogné, T. L., Berlin, M. e Cavoret, J. 2014 “An investigation on the reduced ability of IF-MoS₂ nanoparticles to reduce friction and wear in the presence of dispersants”. Tribol Lett. 55, pp.503–516.
- Rejith, S.G, C. Krishnan. 2013. “Optical, thermal and magnetic studies on zinc-doped copper oxide nanoparticles”. Materials Letters 106, pp. 87–89
- Peng, D.X., Kang, Y., Chen, C.H., Chen, S.K. e Shu, F. 2009. “The tribological behavior of modified diamond nanoparticles in liquid paraffin”, Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 61 Iss 4 pp. 213 – 219
- Trajano, M.F.; Mello, V.S.; Alves, S.M. 2014. “Influência do tipo de contato entre as superfícies metálicas no desempenho tribológico de biolubrificantes”. VIII, 2178-180X, 2014. Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Uberlândia: UFU, pp. 1-10.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

INFLUENCE OF CONCENTRATION AND SIZE OF NANOPARTICLES ANALYSE IN THE NANOLUBRICANTS ADDITIVE WITH CUO BEHAVIOR IN RUNNING-IN STAGE

Valdicleide Silva e Mello, valdkqi@hotmail.com¹

Ana Paula de Paula Camargo, camargoanap94@gmail.com¹

Diana Roberta da Silva Medeiros, dianaroberta.sm@hotmail.com¹

Edália Azevedo de Faria, edalia_azevedo@yahoo.com.br¹

Salete Martins Alves, saletealves@ect.ufrn.br¹

¹Federal University of Rio Grande do Norte, Avenida Senador Salgado filho, 3000, campus universitário- Lagoa Nova. Zip code: 59078-970, Natal –RN- Brazil.

Abstract. Nanoparticles (NNP) have great interest in science with applications ranging from medicine to technology area. Many NNP have been used in the automotive industry for use in lubricants to reduce friction losses. Among these nanoparticles, metal oxides show ability to reduce friction. However, in the literature there are some uncertainties about the concentration of NNP that should be incorporated in lubricating oils to bring improvements in to the system. This study aimed to evaluate the effect concentration of copper oxide NNP in commercial lubricating oil in order to reduce friction in the running- in stage between the metal surfaces in sliding contact. Assays were carried out in a tribometer HFRR ball / plane lubricated sliding contact under maximum mechanical stress conditions. It analyzed the friction coefficient (COEF) in transient conditions to verify the performance of the oil during running- in stage. The results show that lower levels concentration of NNP in the lubricating oil, the friction coefficient decreases not only in steady state but also in running- in stage. Moreover, a lower concentration decreases the cost of the lubricants. The lower size nanoparticle shows more effective in friction coefficient reducing in running-in stage.

Keywords: Nanoparticles, lubricants, concentration, size, running-in.