

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO EM LUBRIFICANTE VEGETAL DE LUBRIFICANTE SÓLIDO PARTICULADO EM ESTAMPAGEM PROFUNDA

Tatiane Oliveira Rosa, oliveirarosatatiane@gmail.com¹
Frederico Ozanan Neves, fred@ufs.je.du.br¹
Fábio Assunção Rosa, fabiorosa@ufs.je.du.br¹
Márcia Cristina Belício Alves Souza, marciabelicio@hotmail.com¹
Ananda Lúcia Duarte Lima Botelho, ananda.ki10@gmail.com¹

¹Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, Minas Gerais, CEP 36307-352

Resumo: A estampagem profunda é uma operação de conformação mecânica, dada pela aplicação de esforços trativos e compressivos, na região plástica de deformação dos materiais, alterando o formato da chapa metálica, inicialmente plana, resultando em um corpo oco sem a formação de rugas e trincas, e em maior parte, sem variação de espessura. Para que o processo apresente um produto com boa qualidade superficial e resistência mecânica, faz-se necessário o uso de lubrificantes, em geral utilizam-se os lubrificantes minerais, porém estes se mostram danosos à saúde. Neste trabalho, foi investigada a influência de diferentes óleos na estampagem de um aço de alta resistência e baixa liga, avaliando o desempenho dos óleos vegetais, algodão, linhaça e mamona, adicionados de lubrificantes sólidos particulados, PET, sabão em pó e farinha de trigo, comparados ao óleo mineral Renoform MZA 20, a fim de verificar a substituição deste pelos citados anteriormente, se possível. Corpos de prova foram confeccionados a partir de chapas de aço ARBL com 1 mm de espessura e discos com diâmetro de 60 mm, através do ensaio Swift. Foram estudadas as variáveis, advindas do processo, como a rugosidade superficial (R_a , R_z e R_t), dureza superficial e a espessura da parede do produto. Os resultados dos testes experimentais foram tratados estatisticamente através de Análises de Variância. E mostraram a possibilidade de substituição do óleo mineral por vegetais com adição de particulado, em alguns casos de maneira vantajosa.

Palavras-chave: Estampagem profunda, Ensaio Swift, Lubrificantes vegetais, Lubrificantes sólidos.

1. INTRODUÇÃO

Como mostra Schaeffer (2001), a estampagem profunda é um dos processos de conformação mecânica, definido pela aplicação de esforços de tração e compressão, no qual ocorre a deformação na região plástica do material, alterando o formato da chapa metálica, resultando em peças de geometria regular ou irregular. A estampagem pode ser feita a quente, porém é mais utilizada comercialmente a estampagem a frio.

O processo de estampagem profunda do material, se não realizado de maneira correta, pode apresentar defeitos que afetam a integridade superficial do produto. O uso de lubrificantes na conformação a frio tem o propósito de reduzir o atrito envolvido entre as superfícies e o desgaste de ferramentas, e sempre foi estudado, porém com foco voltado ao uso de lubrificantes minerais. Willing (2001), Wagner et al, (2001), mostram que recentemente, tem-se dado atenção à substituição de lubrificantes de base mineral por lubrificantes de base renovável, devido aos minerais serem altamente danosos ao ser humano e a natureza. Kannan et al (2008), Rech et al (2008), mostram que a ênfase na substituição ocorre para os processos de fabricação por usinagem. Todavia, Hafis et al (2013), Martín-Alfonso et al (2015), mostram que o estudo da eficiência de tais lubrificantes nos processos de conformação, no sentido de reduzir os esforços e melhorar a qualidade do produto no que se refere a sua integridade superficial, livre de defeitos e tensões residuais é ainda mais recente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do uso de óleos vegetais com adição de particulado em relação à ação de lubrificante convencional a base mineral na estampagem de uma chapa de aço de Alta Resistência e Baixa Liga – ARBL (*High Strength Low Alloy - HSLA*), comparando os resultados obtidos. Visando verificar a possibilidade de substituição do óleo mineral pelos vegetais, sem que haja perda da qualidade e da integridade superficial do produto.

A partir de ensaios de rugosidade, analisou-se a qualidade superficial do produto, através dos parâmetros R_a , R_z e R_t . Além disso, foi medida a dureza e espessura da parede do produto. Posteriormente, os resultados obtidos foram comparados para verificar a melhor condição para o processo, através de Análise Estatística.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado para a avaliação da qualidade superficial de um corpo de prova constituído de um aço ARBL. Foram utilizados os óleos lubrificantes mineral comercial puro e os óleos de Algodão, linhaça e Mamona adicionados de partículas de Pet, sabão e trigo no processo de estampagem. O procedimento adotado na confecção da ferramenta de estampagem, dos corpos de prova, os processos e as condições utilizadas nos testes serão descritos. A qualidade superficial foi analisada através de parâmetros de rugosidade, também foram verificadas a microdureza e a espessura da parede do produto.

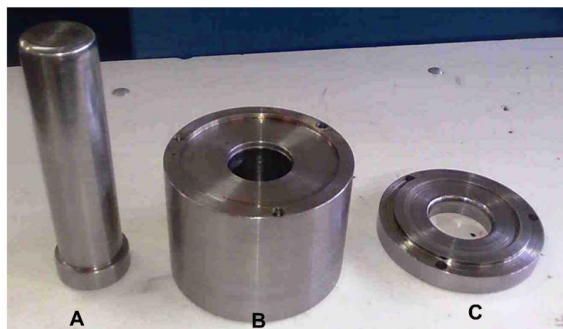


Figura 1. (a) Punção, (b) prensa-chapas e (c) matriz (Pinto, 2015).

2.1. Ferramental

Conforme Pinto (2015), o ferramental utilizado já havia sido confeccionado anteriormente. Trata-se de uma ferramenta constituída de um Aço ABNT 1045, sendo composta como mostrado na Fig. (1) por punção (a), matriz (b) e prensa chapas (c). Marcondes (2001), mostra como é realizado o dimensionamento a partir da espessura da chapa.

2.2. Corpos de Prova

A confecção dos corpos de prova foi realizada utilizando um aço de Alta Resistência e Baixa Liga, a composição segundo catálogo da CSN é mostrado na Tab. (1). Através de processo de usinagem, a chapa foi fixada em um torno e recortada no formato de discos com diâmetro de 60 mm e espessura de 1 mm, que pode ser observado na Fig. (2) (a).

Para os ensaios *Swift* foi utilizado três lubrificantes de origem vegetal e um de origem mineral. Os lubrificantes vegetais foram adicionados de particulados, dentre estes o PET, que foi previamente preparado no Laboratório de Fabricação da UFSJ de acordo com a ISO 3310/1. Além disto, foram utilizados sabão empó e farinha de trigo.

Tabela 1. Composição Química do Aço ARBL (Catálogo CSN)

Composição Química				
C máx	Mn máx	P máx	Al	Si máx
0,15	1,30	0,025	0,025	0,05

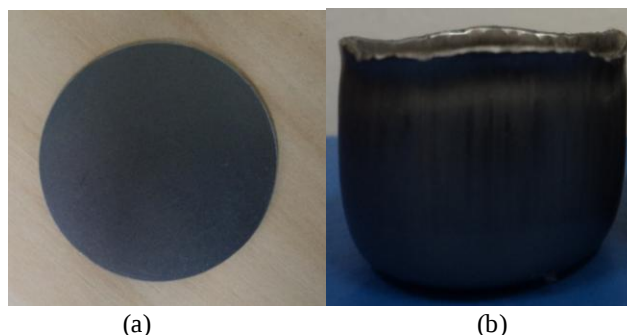


Figura 2. (a) Corpo de Prova antes da estampagem e (b) após estampado (Autoria própria).

2.3. Procedimentos Experimentais

A realização do experimento foi feita aplicando um filme lubrificante em ambas as faces dos discos de Aço ARBL. Para a utilização dos óleos vegetais com particulado foi realizada uma mistura na proporção de 15 ml para 5 ml, respectivamente, e após medidos foram agitados manualmente antes de cada estampagem. Foram realizadas 3 réplicas para cada um dos 12 tipos de lubrificantes. O ensaio *Swift* foi realizado em uma prensa hidráulica manual tipo C Conemag de 45 toneladas do Laboratório de Processos de Fabricação da UFSJ. Entre as trocas de lubrificante a matriz e os medidores foram higienizados utilizando álcool etílico 98, para não haver contaminação entre os lubrificantes, e a não influência nos resultados. A Figura (2) (b) mostra o produto da estampagem.

As amostras foram submetidas ao ensaio de Rugosidade, onde se utilizou o perfilômetro de contato Taylor Hobson Form Talysurf 50 Intra do Laboratório de Metrologia da UFSJ. Foi utilizado um dispositivo de fixação do corpo de prova, para que o mesmo não se movimentasse durante o processo de medição da peça. Para cada corpo de prova foram realizadas três medidas na lateral externa do copo, a 0°, 120° e 240° para avaliar o erro experimental. Foram medidas as rugosidades Ra, Rz e Rt com um cut-off de 0,8 mm.

Os corpos de prova para realização do ensaio de microdureza foram cortados ao meio e embutidos em massa plástica. Os modelos foram lixados com lixas de Carbureto de Silício, usando água para refrigeração, com granulometrias graduais, num total de onze, de 120 a 2000 mesh e em seguida, polidas com feltro, utilizando pasta de alumina 3 µm e água como fluido refrigerante, para dar ao corpo de prova o acabamento necessário para a realização do ensaio. Quando terminado o processo de polimento foi realizado nas amostras limpeza por ultrassom com álcool etílico 98, deixando os corpos imersos por 2 minutos e posteriormente secos por um jato de ar quente. Os equipamentos utilizados para a preparação das amostras estão localizados no Laboratório de Materiais da UFSJ, foi utilizado Politriz Metalográfica Rathenow modelo Montasupal, para lixamento e polimento, e para limpeza a Lavadora Ultrassônica Pantec T-7 C/T.

O ensaio de microdureza nas amostras foi realizado utilizando escala Vickers no Microdurômetro Mitutoyo MVK-G1 do Laboratório de Microscopia da UFSJ. Foi utilizado um penetrador de diamante piramidal, com timer de 15 s e carga de 100g. Foram realizadas medições no fundo, na curvatura e lateral em todos os corpos de prova, como mostrado na Fig. (3).



Figura 3. Corpo de prova mostrando posições de medida de microdureza (Autoria Própria).

A realização da medição da espessura foi realizada no Microscópio Óptico Olympus BX51 do Laboratório de Microscopia da UFSJ, com aumento de 50 vezes, e as imagens foram obtidas através do software Olympus Stream Motion. A espessura foi medida a fim de verificar se houve alteração da mesma durante o processo de estampagem. Foram realizadas 3 medidas para cada região, lateral, curvatura e fundo do copo. Para a lateral, descartou-se os primeiros 8 mm medidos a partir da borda, e deu-se uma distância de 3 mm entre cada medida. Para o fundo a peça foi centrada e foram feitas medidas no centro e à 3 mm para ambos lados da medida central.

2.4. Análise Estatística

A análise estatística foi realizada para avaliação da influência do lubrificante na estampagem do aço, através de uma Análise de Variância, assumindo um nível de confiança igual a 95%. Os ensaios foram conduzidos de forma aleatória. O planejamento experimental utilizado foi um experimento fatorial aleatorizado por nível. A variável de influência foi o lubrificante em onze níveis, conforme Tab. (2). A combinação de Óleo de Mamona com PET 30 não foi analisada pois apresentou falha durante o processo de estampagem. As variáveis de resposta são: as rugosidades Ra, Rz e Rt, para lateral dos copos estampados; a dureza superficial e espessura, no fundo, na curvatura e na lateral do copo.

Tabela 2. Variáveis de Influência

Lubrificantes					
Renoform	Algodão com PET 30	Algodão com PET 50	Algodão com Sabão em pó	Algodão com Farinha de Trigo	Linhaça com PET 30
R1/R2/R3	AP301/AP302/AP 303	AP501/AP502/AP 503	AS1/AS2/AS3	AT1/AT2/AT3	LP301/LP302/LP 303
Lubrificantes					
Linhaça com PET 50	Linhaça com Sabão em pó	Linhaça com Farinha de Trigo	Mamona com PET 50	Mamona com Sabão em pó	Mamona com Farinha de Trigo
LP501/LP502/LP 503	LS1/LS2/LS3	LT1/LT2/LT3	MP501/MP502/LP503	MS1/MS2/MS3	MT1/MT2/MT3

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. Resultados de Rugosidade

A análise dos resultados, sobre a rugosidade do material, foi feita individualmente para as rugosidades Ra, Rz e Rt para altura do corpo de prova. Alguns valores foram descartados através do Teste de Chauvenet para eliminar resultados com grande desvio.

Em seguida foi feita uma Análise de Variância. Os resultados para a rugosidade Ra, Rz e Rt são apresentados na Tab. (3), (4) e (5), respectivamente. Os resultados nos mostram que os lubrificantes influenciam o resultado, mas a posição não, e não existe interação entre as variáveis em todos os casos. A variável A é a posição medida e a variável B é o lubrificante

Tabela 3. Resultado da Análise de Variância para a Rugosidade Ra.

		GL	MSS	FCALC	FTAB	DECISÃO
SSTOTAL	0,7669135	98				
SSA	0,0233691	2	0,011685	1,575251	3,142809	NÃO INFLUENCIA
SSB	0,1807475	11	0,016432	2,215227	1,944212	INFLUENCIA
SSAB	0,0954901	22	0,00434	0,585159	1,71355	NÃO INFLUENCIA
SSERRO	0,4673067	63	0,007418	1		

Tabela 4. Resultado da Análise de Variância para a Rugosidade Rz.

		GL	MSS	FCALC	FTAB	DECISÃO
SSTOTAL	39,679635	98				
SSA	0,522135	2	0,261068	0,784423	3,142809	NÃO INFLUENCIA
SSB	11,008435	11	1,000767	3,00698	1,944212	INFLUENCIA
SSAB	7,1817488	22	0,326443	0,980856	1,71355	NÃO INFLUENCIA
SSERRO	20,967317	63	0,332815	1		

Tabela 5. Resultado da Análise de Variância para a Rugosidade Rt.

		GL	MSS	FCALC	FTAB	DECISÃO
SSTOTAL	93,152345	96				
SSA	0,761661	2	0,38083	0,565165	3,147791	NÃO INFLUENCIA
SSB	29,61136	11	2,691942	3,99493	1,949455	INFLUENCIA
SSAB	21,675109	22	0,985232	1,462117	1,719236	NÃO INFLUENCIA
SSERRO	41,104215	61	0,67384	1		

Em que SST é a soma dos quadrados de todas as medidas; SSA é a soma do quadrado das somas das medidas das posições; SSB é a soma do quadrado das somas das medidas dos lubrificantes; SSAB é a soma do quadrado das interações entre A e B; SSE é a soma do quadrado dos erros experimentais; GL é o grau de liberdade de cada tratamento; MSS é razão do tratamento analisado pelo seu grau de liberdade; FCALC é o valor calculado para a variância de Fisher e FTAB é o valor tabelado para distribuição de Fisher para 5% de significância (95% de confiabilidade). Se FTAB maior do que FCALC implica que a variável não influencia no resultado obtido. E vice-versa.

O resultado obtido de que a rugosidade independe da posição de media era esperado, uma vez que a posição de medida foram posições obtidas rotacionando-se o copo de 120 graus, sobre a superfície externa. Como o resultado obtido mostra que apenas o lubrificante influencia, foi realizado um teste de contraste ortogonal para verificar quais os lubrificantes que mostraram resultados diferentes de rugosidade. Sendo a rugosidade menor mais interessante para a qualidade final do produto, o teste foi realizado inicialmente entre os dois lubrificantes que proporcionaram menor rugosidade para cada um dos parâmetros, como se pode observar na Fig. (4) (a) para Ra, (b) para Rz e (c) para Rt. O teste mostrou que não existe diferença entre os primeiros, assim foi realizado novamente o teste até que fosse encontrado diferença. Os resultados são mostrados nas Tab. (6), (7) e (8).

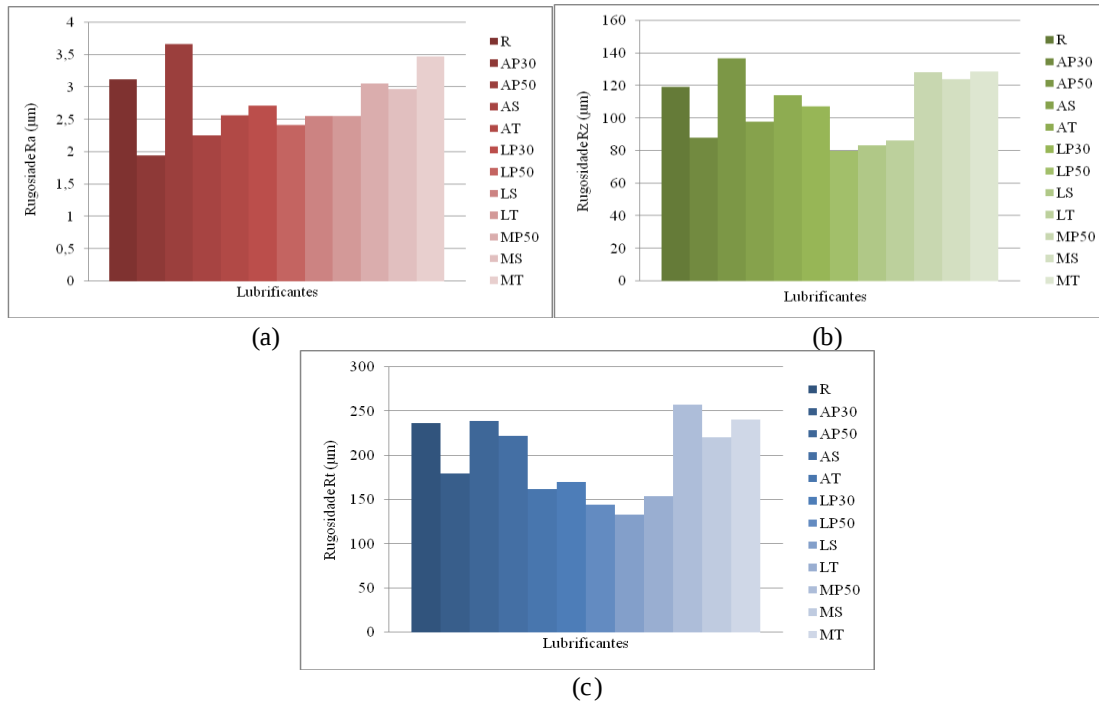


Figura 4. (a) Gráfico Lubrificantes x Rugosidade Ra (µm), (b) Gráfico Lubrificantes x Rugosidade Rz (µm) e (c) Gráfico Lubrificantes x Rugosidade Rt (µm).

Tabela 6. Contraste ortogonal dos lubrificantes em relação à Rugosidade Ra (µm)

	MSC	FCALC	FTAB	DECISÃO
AP30 X AS	0,005764653	0,777162181	3,993364844	IGUAL
AP30 X LP50	0,013716166	1,84914616	3,993364844	IGUAL
AP30 X LS	0,023075548	3,110931973	3,993364844	IGUAL
AP30 X LT	0,023161515	3,122521727	3,993364844	IGUAL
AP30 X AT	0,024198293	3,262294979	3,993364844	IGUAL
AP30 X LP30	0,034457350	4,645370661	3,993364844	DIFERENTE

Tabela 7. Contraste ortogonal dos lubrificantes em relação à Rugosidade Rz (µm)

	MSC	FCALC	FTAB	DECISÃO
LP50 X LS	0,722448429	2,17072366	3,993364844	IGUAL
LP50 X LT	2,424833076	7,285838434	3,993364844	DIFERENTE

Tabela 8. Contraste ortogonal dos lubrificantes em relação à Rugosidade Rt (µm)

	MSC	FCALC	FTAB	DECISÃO
LP50 X LS	7,732955023	11,4759583	3,998494408	DIFERENTE

Em termos das rugosidades, pode-se descartar o uso do óleo mineral, pois implicou em rugosidades elevadas e indicar o uso dos lubrificantes que apresentaram decisão igual.

3.2. Resultados da Microdureza

A dureza do corpo de prova foi avaliada através do ensaio de microdureza Vickers para fundo, curvatura e lateral do corpo de prova. A Análise de Variância foi realizada e os resultados podem ser observados na Tab. (9), e nos mostra que tanto os lubrificantes quanto a posição influenciam o resultado. E não existe interação entre as variáveis.

Tabela 9. Resultado da Análise de Variância para a Microdureza Vickers.

		GL	MSS	FCALC	FTAB	DECISÃO
SSTOTAL	250696,8	107	2342,96			
SSA	18749,02	2	9374,509	5,295336	3,123907	INFLUENCIA
SSB	49658,77	11	4514,434	2,550047	1,924308	INFLUENCIA
SSAB	54824,98	22	2492,045	1,40767	1,69192	NÃO INFLUENCIA
SSERRO	127464	72	1770,333	1		

A Figura (5) mostra a variação da dureza em relação à posição medida. Como o resultado obtido mostra que a posição influencia foi realizado um teste de contraste ortogonal. O teste foi realizado entre o Fundo e a Curvatura e entre a Curvatura e a Lateral, como se pode observar na Tab. (10).

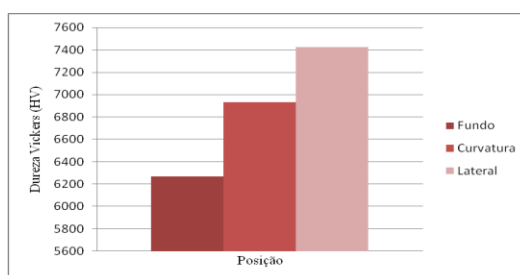


Figura 5. Gráfico Posição x Dureza Vickers (HV).

Tabela 10. Contraste ortogonal da posição em relação a dureza Vickers (HV).

	MSC	FCALC	FTAB	DECISÃO
F x C	72820,16667	41,13359066	3,973896881	DIFERENTE
C x L	41168,16667	23,25447185	3,973896881	DIFERENTE

O teste mostrou que existe diferença entre eles, e que a diferença entre o Fundo e Curvatura é menor que a entre a Curvatura e Lateral. Pode-se concluir através dos dados que o resultado obtido corresponde ao esperado, uma vez que a dureza se apresenta maior na lateral do copo, seguido da curvatura e fundo. Isto se deve ao fato de que durante a estampagem, a lateral do copo sofre um estiramento maior que a região da dobra. A região do fundo do copo é a que menos sofre deformação.

Como o resultado obtido mostra que o lubrificante influencia foi realizado um teste de contraste ortogonal. Sendo a dureza maior mais interessante para o produto final, o teste foi realizado inicialmente entre Linhaça Trigo e Mamona Sabão, como se pode observar na Fig. (6), pois apresentam os melhores resultados. O teste mostrou que não existe diferença entre eles, como visto na Tab.(11). Assim foi realizado novamente o teste até que fosse encontrado diferença. Em termos da Microdureza Vickers, pode-se indicar o uso dos lubrificantes que apresentaram decisão igual e descartar o uso do lubrificante de óleo mineral.

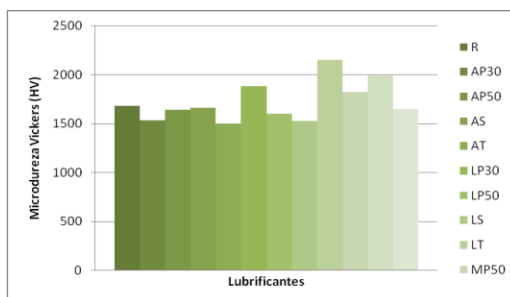


Figura 6. Gráfico Lubrificantes x Microdureza Vickers (HV)

Tabela 11. Contraste ortogonal dos lubrificantes em relação à Microdureza Vickers (HV)

	MSC	FCALC	FTAB	DECISÃO
LT X MS	1440,055556	0,81343752	3,973896881	IGUAL
LT X LP30	4020,055556	2,270790184	3,973896881	IGUAL
LT X MP50	5976,888889	3,376137576	3,973896881	IGUAL
LT X R	12116,05556	6,84394025	3,973896881	DIFERENTE

3.3. Resultados das Espessuras

A análise dos resultados, sobre a espessura da parede do material, foi feita individualmente para a lateral, curvatura e fundo do corpo de prova. Alguns valores foram descartados através do Teste de Chauvenet para eliminar resultados com grande desvio.

Em seguida foi feita uma Análise de Variância. Os resultados para a espessura lateral são apresentados na Tab. (12), e nos mostra que tanto os lubrificantes quanto a posição influenciam o resultado. E não existe interação entre as variáveis. A Tabela (13) mostra o Contraste ortogonal realizado entre as medidas, em que C1 representa a mais próxima a borda, C2 a seguinte e C3 a medida mais abaixo.

Tabela 12. Resultado da Análise de Variância para a Espessura Lateral.

		GL	MSS	FCALC	FTAB	DECISÃO
SSTOTAL	252550,2	100				
SSA	27394,66	2	13697,33	7,515883	3,138142	INFLUENCIA
SSB	57062,42	11	5187,492	2,846436	1,9393	INFLUENCIA
SSAB	49633,73	22	2256,078	1,237936	1,708219	NÃO INFLUENCIA
SSERRO	118459,3	65	1822,452	1		

Tabela 13. Contraste ortogonal entre as posições laterais.

	MSC	FCALC	FTAB	DECISÃO
C1 x C2	7,17054E+11	393455718,7	3,988559738	DIFERENTE
C1 x C3	93067326727	51067107,12	3,988559738	DIFERENTE

Um outro contraste também foi realizado entre os lubrificantes. Buscando uma maior espessura, os Óleos de Linhaça e Mamona com Trigo foram escolhidos por apresentarem os melhores valores, como mostrado na Fig. (7). Como pode ser visto na Tab. (14), o óleo de Linhaça com Trigo apresentou o melhor resultado, sendo indicado o uso deste em relação a espessura lateral.

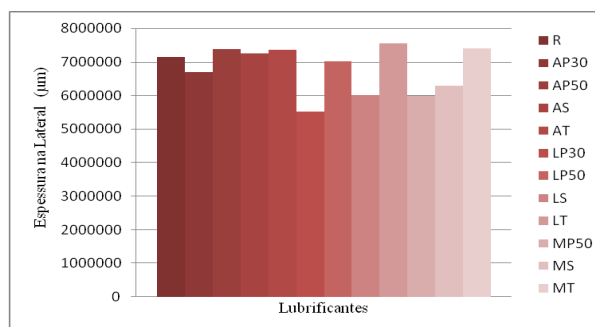


Figura 7. Gráfico Lubrificantes x Espessura na Lateral (µm).

Tabela 14. Contraste ortogonal entre os Lubrificantes em relação a Espessura na Lateral (µm).

	MSC	FCALC	FTAB	DECISÃO
LT X MT	969144260,4	531780,5453	3,988559738	DIFERENTE

Uma Análise também foi realizada para as espessuras na curvatura e no fundo e os resultados são apresentados nas Tab. (15) e (16), e nos mostra que os lubrificantes influenciam o resultado, mas a posição não. E não existe interação entre as variáveis.

Tabela 15. Resultado da Análise de Variância para a Espessura na Curvatura.

		GL	MSS	FCALC	FTAB	DECISÃO
SSTOTAL	129201,1	99				
SSA	1564,995	2	782,4973	0,865612	3,140438	INFLUENCIA
SSB	64631,62	11	5875,602	6,499695	1,941716	NÃO INFLUENCIA
SSAB	5149,658	22	234,0753	0,258938	1,710842	NÃO INFLUENCIA
SSERRO	57854,8	64	903,9812	1		

Tabela 16. Resultado da Análise de Variância para a Espessura no Fundo.

		GL	MSS	FCALC	FTAB	DECISÃO
SSTOTAL	119668,4	98				
SSA	1153,641	2	576,8205	0,704738	3,142809	INFLUENCIA
SSB	61491,96	11	5590,179	6,829877	1,944212	NÃO INFLUENCIA
SSAB	5458,003	22	248,091	0,303109	1,71355	NÃO INFLUENCIA
SSERRO	51564,8	63	818,4889	1		

Como o resultado obtido mostra que o lubrificante influencia foi realizado um teste de contraste ortogonal. Sendo a espessura maior mais interessante para a qualidade final do produto, o teste foi realizado entre os dois lubrificantes com maiores valores para cada uma das posições, como se pode observar na Fig. (8) (a) para a curvatura e (b) para o fundo. Os resultados são mostrados nas Tab.(17) e (18).

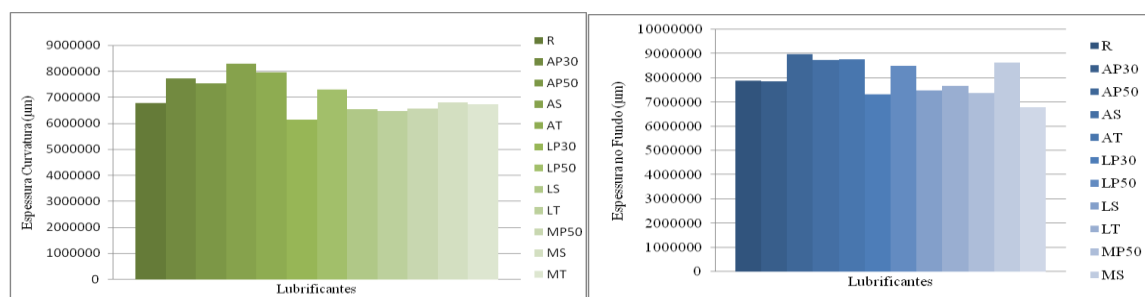


Figura 8. (a) Gráfico Lubrificantes x Espessura na Curvatura (µm) e (b) Gráfico Lubrificantes x Espessura no Fundo.

Tabela 17. Contraste ortogonal entre os Lubrificantes em relação à Espessura na Curvatura (µm).

	MSC	FCALC	FTAB	DECISÃO
AT X AS	5971102983	6605339,689	3,990923688	DIFERENTE

Tabela 18. Contraste ortogonal entre os Lubrificantes em relação à Espessura no Fundo (µm).

	MSC	FCALC	FTAB	DECISÃO
AP50 X AT	2931891211	3582078,328	3,993364844	DIFERENTE

Assim, em relação à curvatura indica-se o uso do Algodão com Trigo, já em relação ao fundo recomenda-se o uso de Algodão com Pet 50, por apresentarem os melhores resultados.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi avaliada a influência do lubrificante na estampagem de aços ARBL através da rugosidade superficial, da dureza e da espessura do produto estampado. Os resultados foram tratados estatisticamente quando possível, sendo possível concluir que:

A qualidade superficial avaliada através da rugosidade da parede lateral da peça mostrou-se influenciada pela aplicação dos diferentes óleos para todos os parâmetros de rugosidade avaliados. O Óleo de Linhaça com adição tanto de PET 50 quanto Sabão atendeu todos os parâmetros, diferente de demais que se mostraram eficientes em algum dos valores de rugosidade. Assim, indica-se o uso destes quando analisada a qualidade superficial do produto.

Quando o parâmetro avaliado é a dureza superficial, pode-se verificar que os lubrificantes influenciaram os resultados obtidos. Os óleos de Linhaça com adição tanto de Trigo como PET 30, e Mamona com adição tanto de Sabão quanto PET 50, apresentaram resultado superior em relação a microdureza, indicando assim seu uso em relação aos outros lubrificantes.

Por fim, em relação à espessura da parede, esta avaliada nas posições da lateral, curvatura e fundo do copo, se mostrou influenciada também pelo lubrificante aplicado. Se tratando da lateral o melhor resultado foi com a utilização do Óleo de Linhaça com Trigo. Já em relação à curvatura destacou-se o Óleo de Algodão com Trigo. E para o fundo, o lubrificante que apresentou melhor resultado foi Algodão com PET 50.

Desta forma, de acordo com a proposta deste estudo e considerando todas as variáveis de resposta estudadas, concluímos que os Óleos de Algodão e Mamona com adição de PET 50 ou Trigo, e o Óleo de Linhaça com todas as variações de particulados adicionados, responderam positivamente, sendo, portanto adequados para substituir o óleo mineral estudado, em alguns casos com vantagem.

5. REFERÊNCIAS

- Hafis, S. M. et al., 2013, "Properties of Palm Pressed Fibre for Metal Forming Lubricant Applications", *Procedia Engineering*, Vol. 68, pp. 130-137.
- Kannan, S., Kishawy, H. A., 2008, "Tribological aspects of machining aluminium metal matrix composites", *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 198, Issues 1-3, March, pp. 399-406.
- Marcondes, P. Ensaio de Estampabilidade. Disponível em: <<http://servidor.demec.ufpr.br/disciplinas/TM262/Material%20Aulas/3%20%20Ensaio%20de%20estampabilidade.pdf>>. Acesso em 05/01/2017.
- Martín-Alfonso, J. E.; Valencia, C., 2015, "Tribological, rheological, and microstructural characterization of oleogels based on EVA copolymer and vegetable oils for lubricant applications", *Tribology International*, Vol. 90, pp. 426-434.
- Pinto, S. R. M., 2015, "Influência do Lubrificante na Estampagem de um aço ARBL", Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João del Rei, Minas Gerais, Brasil, pp.80.
- Rech, J., et al., 2008, "Characterization and modelling of the residual stresses induced by belt finishing on a AISI52100 hardened steel", *Journal of Materials Processing Technology*, In Press, Corrected Proof, Available online 17 January.
- Schaeffer, L. "Fundamentos do Projeto de Ferramentas para o processo de Estampagem". Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ldtm/publicacoes/06%2001.pdf>>. Acesso em 05/01/2017.
- Wagner, L.; Luetjering, G., 1981, "Influence of Shot Peening on the Fatigue Behavior of Titanium Alloys", *First International Conference on Shot Peening*, Paris, França, pp. 351-357.
- Willing, A., 2001, "Lubricants based on renewable resources – an environmentally compatible alternative to mineral oil products", *Chemosphere*, Vol.43, Abril, pp.89-98.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no trabalho.

STUDY OF THE INFLUENCE OF SOLID PARTICULATE LUBRICANT ADDITION IN VEGETABLE LUBRICANT IN A DEEP DRAWING PROCESS

Tatiane Oliveira Rosa, oliveirarosatatiane@gmail.com¹
Frederico Ozanan Neves, fred@ufs.br¹
Fábio Assunção Rosa, fabirosa@ufs.br¹
Márcia Cristina Belício Alves Souza, marciabelicio@hotmail.com¹
Ananda Lúcia Duarte Lima Botelho, ananda.ki10@gmail.com¹

¹Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, Minas Gerais, CEP 36307-352

Abstract. Deep drawing is a sheet metal forming process, given by the application of tractive and compressive efforts, in the plastic region of metal deformation, changing the shape of a sheet metal, initially flat, resulting in a hollow body without the formation of wrinkles and cracks, and in the most part, with no change of thickness. For the process to present a product with good surface quality and mechanical strength, it is necessary to use lubricants, generally mineral lubricants are used, however they are harmful to health. In this work the influence of different oils on the deep drawing process of a high strength low alloy steel were investigated, evaluating the performance of vegetable oils, like cotton, linseed and castor, added by solid particulate lubricants, like PET, washing powder and wheat flour, compared to the mineral oil lubricant Renoform MZA 20, in order to verify the substitution of this oil from those cited above, if it's possible. Proof bodies were made from HSLA steel sheet metal blanks with 1mm thickness and 60 mm diameter, by the Swift cup test. The variables, arising from the process, as surface roughness (R_a , R_z and R_t), surface hardness associated with residual stress and the product wall thickness, were studied. The experimental tests results were statistically treated, through Analysis of Variance. They showed the substitution possibility of mineral oil from vegetable oil with solid particulate addition, in some cases, advantageously.

Keywords: Deep drawing, Swift cup test, Vegetable lubricants, Solid lubricants

The authors are the only responsible for the printed material content included in their work.