

EFEITO DA GEOMETRIA DE PINOS NA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE REPARO POR ATRITO¹

Raphael Rezende Pires²
Matheus Finotti Brazão³
Jonas Ávila Cunha³
Marcelo Torres Piza Paes⁴
Ricardo Reppold Marinho⁴
Rafael Ariza Gonçalves²
Sinésio Domingues Franco⁵

Resumo

A técnica de reparo por atrito tem grande potencial de aplicação na indústria do petróleo e gás para reparo de trincas e fraturas de equipamentos e tubulações de aços em geral. A técnica consiste em fazer um furo cego no lugar do defeito a ser reparado e introduzir um pino com movimento de rotação de modo gerar calor e provocar a união metalúrgica. No presente trabalho é apresentado um estudo da influência da geometria do pino de reparo. A qualidade do reparo foi avaliada através das análises macrográfica, micrográfica e perfis de microdureza, de seções longitudinais de reparos executados com três geometrias de pinos e uma de furo. Nas três geometrias, o preenchimento foi exitoso, devendo, todavia, para isso ser alterado o comprimento de queima.

Palavras-chave: Reparo por atrito; Geometria de pinos; Microestrutura; Perfis de microdureza.

EFFECT OF PIN GEOMETRY ON THE FRICTION HYDRO PILLAR PROCESSING

Abstract

The Friction Hydro Pillar Processing (FHPP) is a recent technique with potential application in the oil and gas industry, to repair steel structures with weld defects, cracks or any other type of defects. The FHPP technique is as a process in which a hole is drilled at the damaged area and filled with a consumable rod of the same material. The rod (cylindrical or conical) is rotated and pressed against the hole with very high axial forces, leading to frictional heating and to metallurgical bonding between the rod and the substrate material. In this paper we present a study of the influence of clearance between pin and block on the quality of the process, keeping the angles of the pin and the block constant. In all pin geometries studied, the hole was completely filled, but to achieve that, the burn-off-length had to be varied.

Key words: Friction hydro pillar processing; Pin geometry; Microstructure; Microhardness profile.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro, M.Sc., Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.

³ Graduando, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.

⁴ M.Sc., Engenheiro, Petrobras, Brasil.

⁵ Doc. Ing., Professor Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A técnica conhecida como FHPP (*Friction Hydro Pillar Processing*), denominada aqui reparo por atrito, é um processo de união de peças baseado no princípio da solda por atrito (estado sólido), que consiste na abertura de furos em regiões com defeitos ou trincas e o seu posterior preenchimento com pinos. A Figura 1 apresenta esquematicamente a técnica.

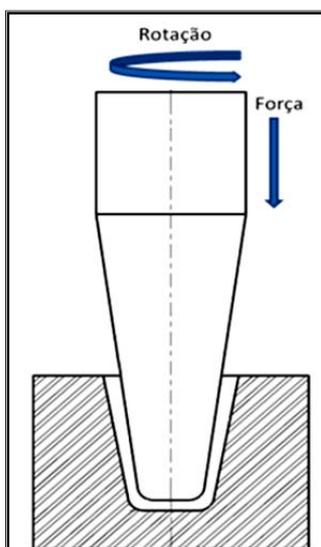


Figura 1. Representação esquemática do reparo por atrito.

Os pinos são inseridos mediante a aplicação de força axial e de torque. O atrito do pino com a peça a ser reparada libera calor, aumentando a temperatura, o que diminui o limite de escoamento dos materiais envolvidos e facilita a difusão entre ambos. Desta forma, a força axial aplicada provoca um fluxo plástico que é orientado de modo a preencher o espaço inicial entre o consumível e a peça. O fato de não haver uma transformação de fusão durante a solda faz com que o método seja mais vantajoso frente ao processo por arco elétrico. Dentre as vantagens, citam-se: pequena influência do meio externo, pode ser realizada em ambientes submersos a elevadas pressões hidrostáticas, não adsorção de gases, baixa energia de soldagem, estreita Zona Termomecanicamente Afetada (ZTMA) e passível de automação.⁽¹⁻³⁾

A remoção de trincas pode ser feita através de um processo de costura por atrito (Stitch Welding), onde furos e preenchimentos sucessivos são executados, até que todo o defeito seja reparado.

Na fase de reparo, parâmetros de processamento, tais como: força axial aplicada sobre o pino, rotação, comprimento de queima e força de forjamento são determinantes na qualidade do reparo. Igualmente importantes são as geometrias do pino e do bloco.⁽⁴⁻⁶⁾

O presente trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos do folga existente entre o pino e o bloco para uma dada geometria. Os resultados são analisados através de ensaios macro e micrográficos, bem como através de perfis.

2 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Os reparos foram realizados em blocos de aço ASTM A36 com pinos de aço ABNT 1010. Suas composições são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química dos blocos (substratos) e dos pinos estudados (porcentagem em peso)

Elementos	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	S	P
Substrato ASTM A36	0,13	0,94	0,02	0,01	0,01	0,19	0,008	0,014
Pino ABNT 1010	0,12	0,69	0,03	0,01	0,00	0,16	0,027	0,044

Foram escolhidas três geometrias de pino, onde foi mantido o ângulo do tronco de cone, mas foram alteradas as alturas dos mesmos, de modo a gerar diferentes folgas entre os pinos e os blocos. A Figura 2 apresenta as geometrias dos pinos e dos blocos. As folgas correspondentes são apresentadas na Figura 3.

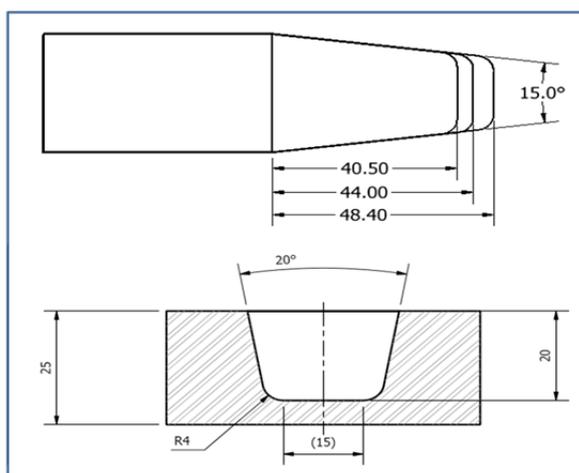


Figura 2. Pinos de geometrias A, B e C e geometria padrão dos blocos utilizados nos ensaios.

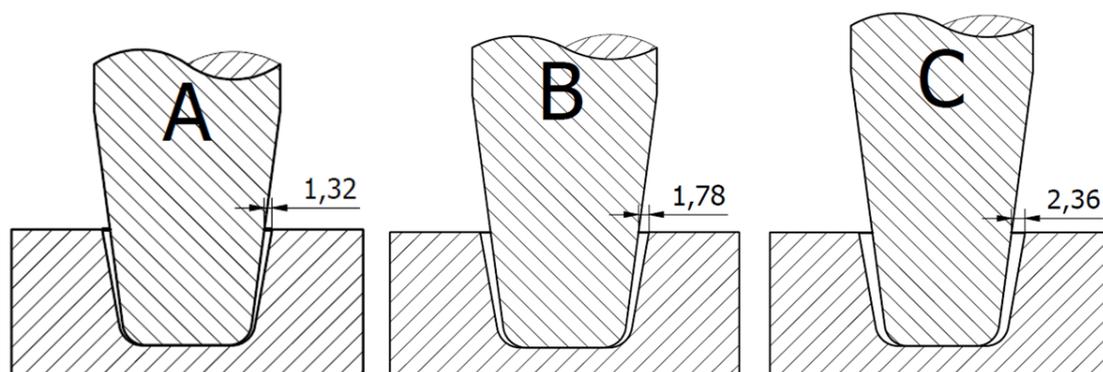


Figura 3. Folgas entre os pinos e os blocos, gerados pelas geometrias A, B e C dos pinos.

Os preenchimentos por atrito foram executados numa Unidade de Processamento de Pinos por Atrito (UPPA3) desenvolvida pelo Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD) da Universidade Federal de Uberlândia. A Unidade UPPA 3 é equipada com sistema de controle e aquisição de dados que permite prefixar os

parâmetros de ensaio, controlar todo o processo e traçar gráficos da variação dos parâmetros em função do tempo de ensaio. Os parâmetros controlados e monitorados são os seguintes: força axial, rotação, comprimento de queima, força de forjamento e tempo de forjamento. O comprimento de queima é a distância de avanço do pino contra o bloco a partir do momento em que ocorre o contato entre os mesmos. Completado o comprimento de queima predefinido, cessa-se a rotação. Na sequência, aplica-se uma força sobre o pino, que é denominada força de forjamento. Essa força tem como função auxiliar na eliminação de eventuais falhas de preenchimento. O sistema de controle permite ainda a alteração dos níveis de força axial e/ou da rotação durante o preenchimento.

Na máquina UPPA3, o pino é fixado através de uma placa de castanhas e o bloco através de uma morsa. Essa morsa é montada na extensão de um cilindro hidráulico alimentado por um conjunto motobomba que permite aplicação de forças axiais de até 500 kN. A placa de castanhas, por sua vez, é acionada por um motor hidráulico de pistões axiais, que permite rotações de até 1.800 rpm.⁽⁷⁾ A Figura 4 mostra a realização do preenchimento de um bloco.

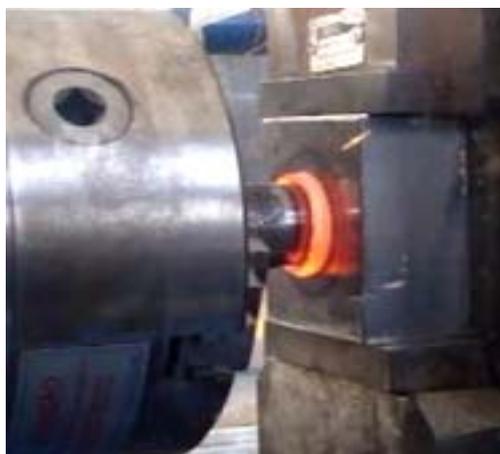


Figura 4. Realização de um preenchimento na UPPA3.

Os ensaios foram realizados com os parâmetros apresentados na Tabela 2. As forças foram aplicadas em dois estágios: 60 kN para um comprimento de queima inicial de 2 mm e 200 kN no segundo estágio com comprimentos de queima de 3, 4 e 5 mm, perfazendo comprimentos de queima totais de: 5, 6 e 7 mm, respectivamente para os pinos A, B e C. Os acréscimos nos comprimentos de queima correspondem a incrementos de 20 e 40% em relação ao ensaio com a geometria A. Esses acréscimos foram adotados para compensar os aumentos de folga entre pino e blocos, causados pelos aumentos dos comprimentos dos troncos de cone para os pinos de geometrias B e C.

Tabela 2. Parâmetros de processamento empregados nos ensaios de reparo por atrito

Geometria	Rotação (rpm)	Força (kN) 1º estágio / 2º estágio	Comprimento de queima total (mm) 1º estágio / 2º estágio
A	1700	60 – 200	5 (2 + 3)
B	1700	60 – 200	6 (2 + 4)
C	1700	60 – 200	7 (2 + 5)

Para aferir a qualidade dos preenchimentos foram realizadas análises macrográficas e micrográficas em cortes longitudinais aos pinos. Para as análises macrográficas, os conjuntos pino/bloco foram cortados com disco de corte refrigerado e lixados com lixas #220, #320 #400 e #600 e atacados com Nital a 6%. Na sequência, para as análises micrográficas, essas amostras foram lixadas novamente com lixa #600 para retirar o ataque, lixadas com lixa #1200, polidas com pasta de diamante de 3 e 1 μm e, por fim, atacadas com Nital a 2%.

Durante o processo de preenchimento, as temperaturas na região do reparo ultrapassam a linha A_1 do diagrama Fe-C, como mostrado na Figura 4, favorecendo alterações microestruturais e, conseqüentemente, de dureza do material, principalmente na região da ZTMA. Para avaliar essas alterações, foram realizados perfis de dureza na interface pino/bloco.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As macrografias e micrografias obtidas após os ensaios de preenchimento são apresentadas na Figura 5.

A análise da interface pino/bloco para a geometria A revelou o completo preenchimento, como mostram as macrografias e micrografias. Nas regiões dos raios de concordância do pino e do bloco (região crítica do preenchimento⁵) não foram identificados defeitos ou falhas. Isso indica, que a geometria do pino A combinada aos parâmetros mostrados na Tabela 2 foram adequados.

Para as geometrias B e C, que apresentam maiores folgas entre pino e bloco, o preenchimento foi completo e sem defeitos. Isso foi possível através do aumento dos comprimentos de queima para essas geometrias (Figura 5).

Notam-se nas macrografias claramente as ZTMAs. Aparentemente, essas ZTMAs têm as mesmas dimensões.

Os perfis de microdureza horizontais a 5 e a 10 mm da interface pino/bloco inferior são mostrados nas Figuras 6 e 7.

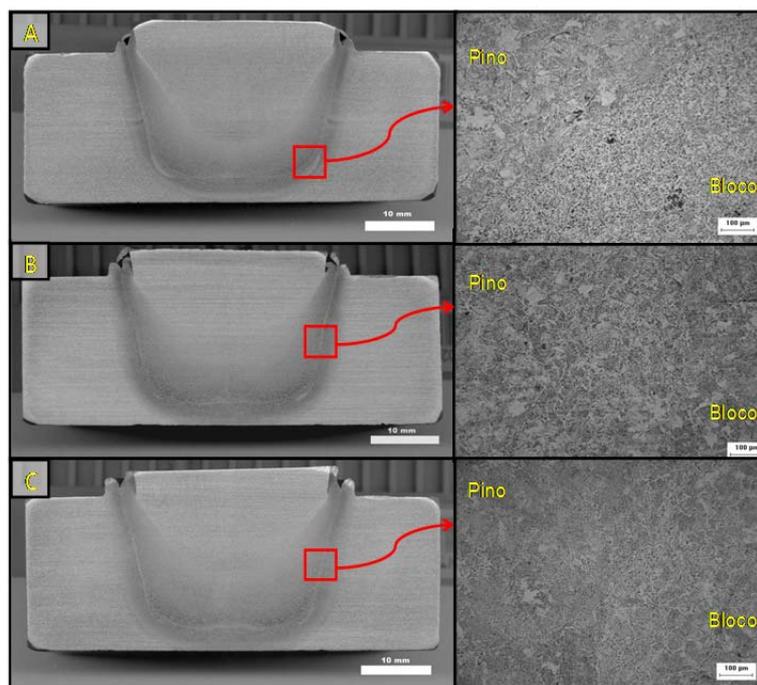


Figura 5. Macrografias e micrografias dos cortes longitudinais dos conjuntos pino/bloco, das três geometrias testadas. Ataque: Nital.

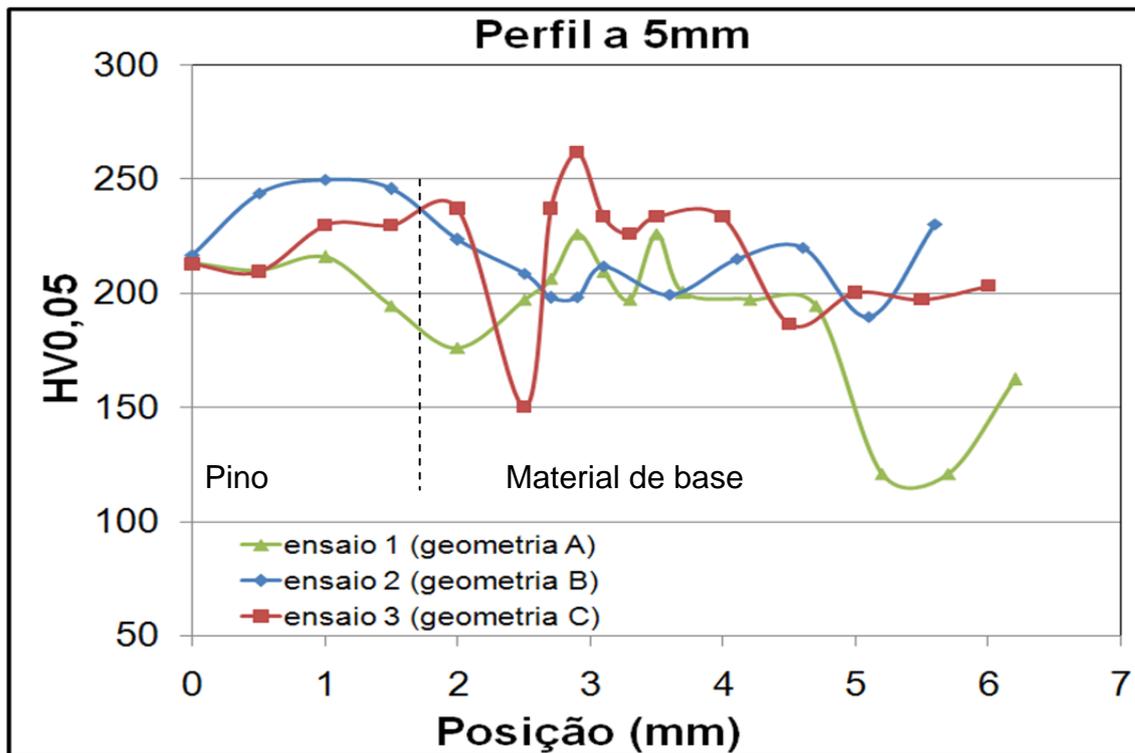


Figura 6. Perfis horizontais de microdureza (HV0,05) na interface pino/bloco, a 5 mm da interface inferior do reparo.

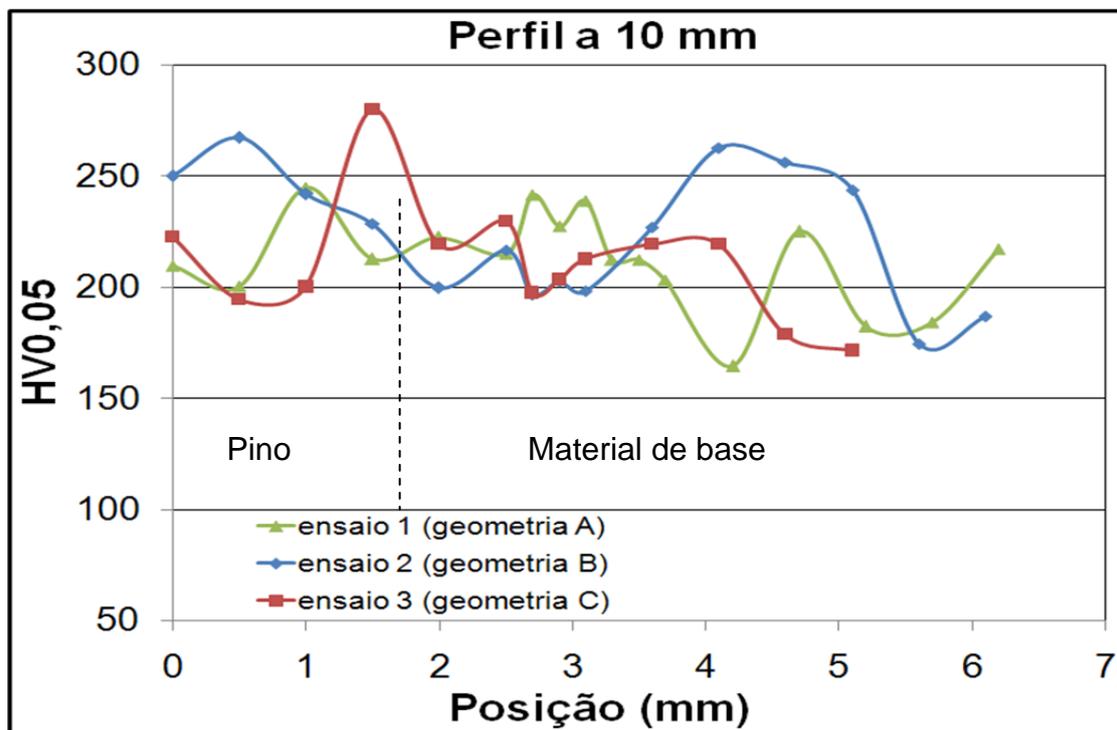


Figura 7. Perfis horizontais de microdureza (HV0,05) na interface pino/bloco, a 10 mm da interface inferior do reparo.

Desses gráficos nota-se que os valores de microdureza não superam 300HV0,05. Valores de dureza muito elevados nessa região poderiam comprometer a tenacidade do reparo. Tipicamente, esses valores não devem ultrapassar 350HV.

Adicionalmente, os valores de microdureza são aproximadamente os mesmos na interface pino/bloco.

Com base nos torques medidos durante os ensaios foram calculados os aportes térmicos. A Figura 8 apresenta os valores calculados. Com o aumento da folga entre pino e bloco, há uma nítida redução do aporte térmico. Isso pode ser explicado pelo maior atrito quando se tem menores folgas. Todavia, essas diferenças de aporte térmico não levaram a alterações nos perfis de microdureza e dimensões das ZTMAs.

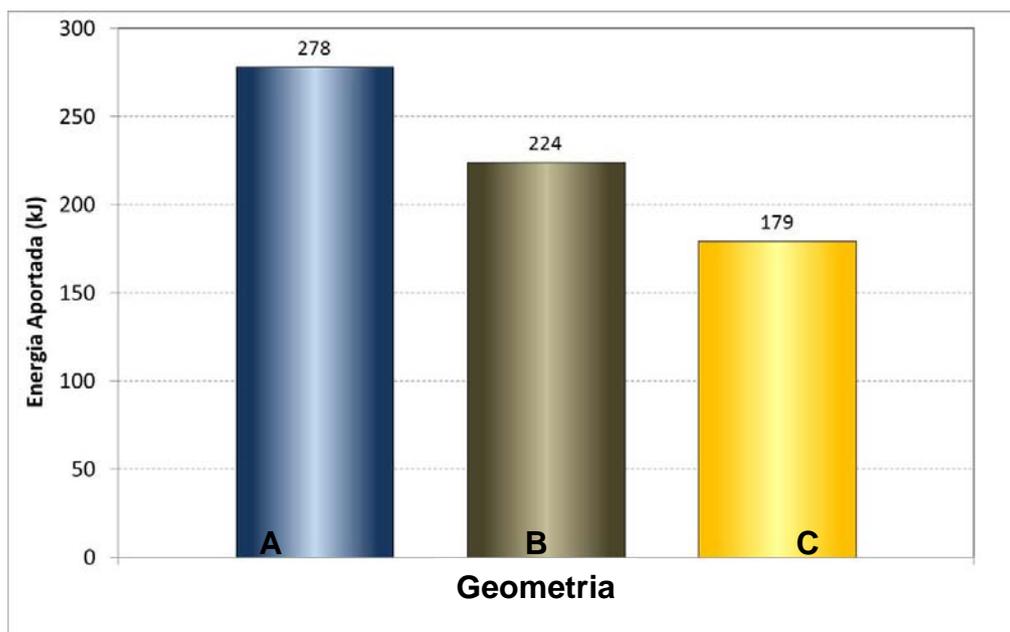


Figura 8. Aporte térmico nos ensaios com as geometrias A, B e C, com parâmetros de processamento descritos na Tabela 2.

4 CONCLUSÕES

No presente trabalho foram realizados ensaios de preenchimento por atrito (reparo por atrito) em amostras com diferentes folgas entre pino e bloco. Os resultados permitem concluir que:

- as análises macro e micrográficas mostraram que para os parâmetros de ensaio utilizados, os preenchimentos foram completos, não deixando falhas ou defeitos;
- as microdurezas obtidas nas interfaces para todas as geometrias são inferiores a 300HV0,05, mantendo dessa forma uma boa tenacidade na região do reparo; e
- os perfis de microdureza mostraram que os aportes térmicos gerados nos preenchimentos não provocaram alterações significativas de dureza.

Agradecimentos

Agradecemos à Petrobras pelo apoio financeiro e participação no trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Thomas, W.M., temple-smith, p. The welding institute. Uk patent application GB 2306365a. Friction plug extrusion. 07 may 1997.
- 2 Nicholas, e. D. Underwater friction welding for electrical coupling of sacrificial anodes. In: 16th offshore technology conference, 1984 Houston, USA.
- 3 Meyer, A. Friction Hydro Pillar Processing. 2002. 123 p. Dr.-Ing. Thesis an der Technischen Universität Braunschweig, Hamburg, 2002.
- 4 Unfried, J., Hermenegildo, T.F. Paes, M.T.P., Pope, A.M., Ramirez, A.J., Estudo da influência dos parâmetros de processo na microestrutura da zona termomecanicamente afetada na soldagem por atrito com pino consumível em aços C-Mn, J. Technol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 6, n. 2, p. 73-79, out.-dez. 2009,
- 5 Pires, R. R., Efeitos da Geometria, da Força Axial e da Rotação no Reparo por Atrito - Universidade Federal de Uberlândia, 2007.
- 6 Pires, R.R., Caixeta, L.A., Paes, M.T.P. e Franco, S.D., "Influência da Força Axial, da Rotação e das Geometrias do Pino e do Furo, na Qualidade do Reparo de Trincas por Atrito", 63^o Congresso Anual da ABM, 2008, agosto de 2008, Santos/SP;
- 7 BORGES, B, M, Instrumentação, controle e operacionalização de uma unidade de reparo por atrito com capacidade de carga axial de 500 kN, 2011,97p,dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade federal de Uberlândia, Uberlândia/MG.