

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/327135399>

# ALÍVIO DAS TENSÕES DE SOLDAGEM: BRISTLE BLASTER vs SHOT PEENING

Article · August 2014

CITATIONS

0

READS

239

## 4 authors:



**Segen Farid Estefen**

Federal University of Rio de Janeiro

217 PUBLICATIONS 2,424 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Tetyana Gurova**

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste

51 PUBLICATIONS 339 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Anatoli Leontiev**

Federal University of Rio de Janeiro

47 PUBLICATIONS 322 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Fernando A. L. De Oliveira**

TechnipFMC

3 PUBLICATIONS 24 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Sandwich Pipe with FRC (deep water applications) [View project](#)



Sandwich Pipes for Ultra Deepwaters [View project](#)



CONAEND&IEV2014 – 041

**ALÍVIO DAS TENSÕES DE SOLDAGEM:  
BRISTLE BLASTER vs SHOT PEENING**

Segen Farid Estefen<sup>1</sup>, Tetyana Gurova<sup>2</sup>, Anatoli Leontiev<sup>3</sup>, Fernando A. L. de Oliveira<sup>4</sup>

*Copyright 2014, ABENDI, PROMAI.*

*Trabalho apresentado durante o XXXII – Congresso Nacional de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção. 18ª IEV – Conferencia Internacional sobre Evaluación de Integridad y Extensión de Vida de Equipos Industriales.*

*As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade dos autores).*

**SINOPSE**

São comparados os resultados dos tratamentos mecânicos superficiais realizados por jateamento de granalha (*Shot Peening*) e utilizando a técnica de jato com cerdas (*Bristle Blaster*). Jateamento de granalha é amplamente utilizado para alívio das tensões residuais de soldagem, especialmente em caso de solda de reparo. Por sua vez, o tratamento por jato de cerdas tem como sua principal finalidade modificar a rugosidade da superfície após soldagem. Porém, o *Bristle Blaster* também permite introduzir tensões mecânicas subsuperficiais com perfil similar ao de *shot peening*, e possui certas vantagens operacionais para trabalho *in loco*. É analisado limitações e vantagens de cada tipo do tratamento para amostras com valores das tensões preexistentes de tração, e amostras com valores de tensões preexistentes altamente compressivos.

**1. INTRODUÇÃO: TRATAMENTOS DE ALÍVIO DAS TENSÕES**

Um dos desafios no campo da metalurgia é produzir componentes, peças e estruturas de metal com valores baixos e/ou distribuição uniforme das tensões residuais. Tensões residuais influenciam substancialmente nas características de resistência mecânica e do funcionamento dos elementos das estruturas e construções. Para a prevenção da segurança e da capacidade de trabalho, o conhecimento da magnitude e das direções da atuação dessas tensões é de grande importância. As tensões residuais podem ter origem em diversas causas, entre elas, deformação plástica heterogênea, tensões de origem

---

1 Doutor, Professor – Laboratório de Tecnologia Submarina – COPPE – UFRJ

2 Doutora, Professora – Construção Naval – UEZO

3 Doutor, Professor – IM – UFRJ

4 Aluno da EE – UFRJ, Rio de Janeiro – RJ

térmica, transformações de fase, soldagem, tratamento mecânico superficial, tratamentos termoquímicos, etc. Não sendo sempre possível controlar e suprimir o surgimento das tensões residuais durante o processo de fabricação, o procedimento de alívio das tensões é aplicado posteriormente para diminuir o nível das tensões e/ou redistribuí-las de maneira mais uniforme. Em princípio, existem duas técnicas de alívio das tensões: tratamento térmico de alívio das tensões (TTAT) e tratamento por vibração. Por sua vez, TTAT pode ser aplicado tanto para peça inteira, quando colocada no forno, ou localmente. O TTAT prevê o aquecimento da peça, ou da região no caso do tratamento localizado, até uma temperatura definida em função das composições do material empregado e da espessura por um período de tempo suficiente para que ocorra uma acomodação sob uma nova condição de equilíbrio das tensões. Espera-se que a nova distribuição das tensões possui menor intensidade e/ou tenha sua amplitude reduzida.

O tratamento da superfície por *shot peening* (jateamento de granalha) também é utilizado na indústria, inclusive na construção naval, para conseguir o efeito de alívio das tensões de soldagem, Fig. 1. O processo exige uma preparação especial do local e uso dos equipamentos de proteção adequados. Uma das alternativas no caso da solda de reparo nos locais de difícil acesso poderia ser a nova tecnologia de “jato com cerdas”, Fig. 2. Porém, os efeitos deste tratamento ainda devem ser comprovados.

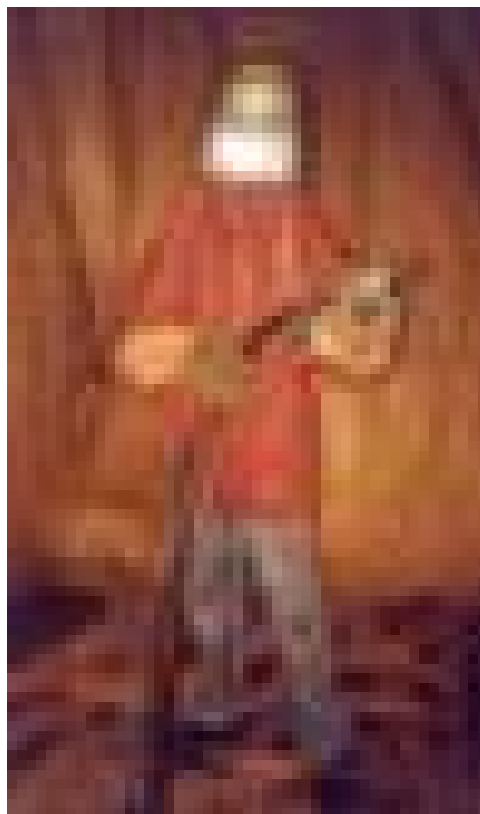


Fig. 1: Manuseio do equipamento portátil para aplicação *in situ* do tratamento por *shot peening* e EPI de proteção



Fig. 2: Escova rotativa com efeito de jato com cerdas (*bristle blasting*).  
Direções rotacional (R) e progressivo (T) da escova

Tratamento por jato com cerdas é realizado por meio de equipamento manual, uma escova rotativa que possui construção específica na parte rotativa e nas cerdas, Fig. 3.



Fig. 3: Estrutura da parte rotativa, barra aceleradora e forma especial das cerdas da escova. Foto: [www.montibrasil.com](http://www.montibrasil.com)

Segundo o fabricante do produto, esta tecnologia permite o preparo da superfície com resultado de jateamento abrasivo por sistema inteligente de jateamento com cerdas que impactam na superfície através de força cinética após receber um impulso da barra aceleradora, Fig. 4.

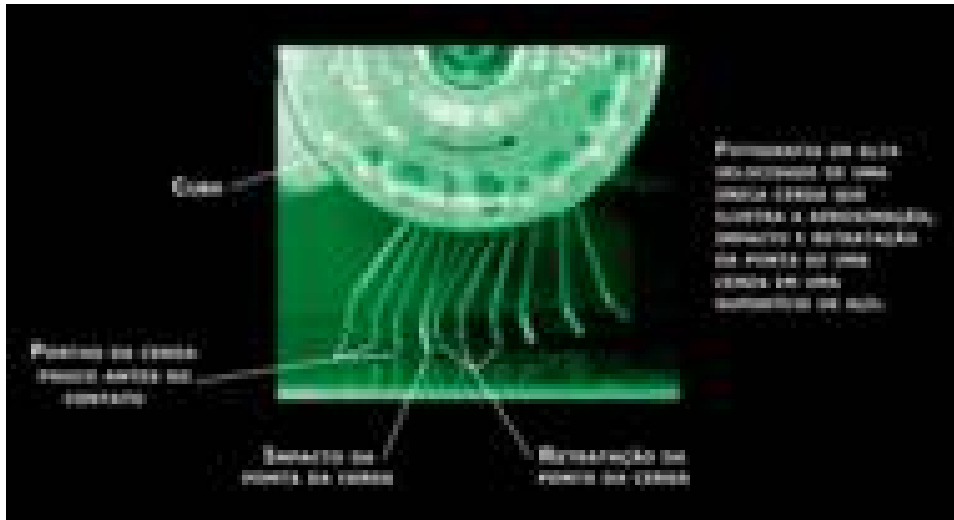


Fig. 4: Esquema de funcionamento do jateamento por cerdas  
Foto: [www.montibrasil.com](http://www.montibrasil.com)

O equipamento tem capacidade de criar um perfil de ancoragem ou rugosidade nos metais (incluindo cordão de solda) que muitas vezes não é possível alcançar com jateamentos convencionais. De acordo com o tipo de metal afirma-se ser possível uma rugosidade de 40 a 120 $\mu$ m ( $R_z$ ) aplicado também a metais não ferrosos além de realizar a limpeza da superfície tratada. É anunciado que o tratamento melhora a integridade das superfícies tratadas, gerando tensão superficial de compressão ao longo da superfície tratada, o que melhora a resistência às trincas, fadiga e a resistência à corrosão sob tensão. Além disso, afirma-se que a escova pode substituir os equipamentos de jateamento complexos e caros, assim como vestimentas especiais que causam desconforto aos operadores do processo de jateamento.

A finalidade deste trabalho é o estudo dos efeitos do tratamento por escova de jato com cerdas (*Bristle Blaster*), focando especialmente na situação do tratamento de alívio das tensões residuais de soldagem e comparação dos resultados com a tecnologia convencional de *shot peening*.

## 2. MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

Os valores absolutos das tensões residuais foram medidas com equipamento portátil de raios-X RAYSTRESS que utiliza o método de dupla exposição e radiação  $K\alpha$  do Cr, [1]. Esta técnica de medição foi amplamente testada e utilizada com sucesso durante vários anos em diferentes aplicações industriais.

As seguintes partes são incluídas como componentes deste equipamento, Fig. 5: 1 – Unidade de controle com fonte de alta tensão, que permite monitoramento e o ajuste do nível de potência de alimentação do tubo de raios-X; 2 – Fonte de alta tensão e tubo de raios-X. Uma das qualidades do equipamento é que o tubo de raios-X é acoplado à fonte de alta tensão. A tensão e a corrente de trabalho da fonte de raios-X é de 25 kV e 1,5 mA, respectivamente. O tubo de raios-X possui dois anodos de cromo com resfriamento



Fig. 5: RAYSTRESS: Equipamento portátil de raios-X para medição de tensões mecânicas

ao ar, e produz dois feixes convergentes de raios-X para realizar a técnica de duas exposições de medição de tensões por raios-X. O ângulo de convergência dos feixes de raios-X é de  $50^\circ$ ; 3 – O suporte magnético permite instalar o equipamento diretamente na peça analisada e ajustar o equipamento na posição de exposição; 4 – O colimador com cassete para filme de raios-X. Duas janelas no cassete permitem captar partes das linhas difratadas no intervalo angular de  $2\theta$  de  $148^\circ$  a  $164^\circ$ .

Os princípios da tensometria por raios-X se baseiam, por um lado, na teoria de difração de raios-X para materiais cristalinos, e por outro em mecânica dos materiais e em particular na teoria da elasticidade do corpo sólido. Os valores das tensões são definidos a partir da deformação da estrutura cristalina causada pela ação destas tensões. As deformações são medidas por sua vez, conforme lei de Bragg:  $2d \sin \theta = \lambda$ , através do deslocamento da linha de difração. A medição com profundidade foi realizada com remoção das camadas superficiais por meio do polimento eletrolítico controlada por relógio comparador digital.



Fig. 6: Scanner óptico de superfícies BS 7 USB do sistema automatizado de identificação balística ARSENAL PAPILLON

Para análise da rugosidade da superfície após seu tratamento por tecnologia de jato de cerdas foi utilizado um scanner ótico BS 7 USB do sistema ARSENAL PAPILLON. O equipamento realiza escaneamento da superfície por camadas pela profundidade com precisão de 10  $\mu\text{m}$ , formando um perfil tri-dimensional da superfície scaneada. O resultado está visualizado em pseudo-cores na imagem bi-dimensional.

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

#### TESTE 1: APLICAÇÃO DA ESCOVA SOBRE O CORDÃO DE SOLDA

O teste consiste na simulação de um tratamento do cordão de solda de uma junção com e sem aplicação do jateamento com cerdas e tem como sua finalidade observar comportamento das tensões residuais em função do tempo em ambos os casos.

Duas chapas de aço A 131 de tamanho 200 x 200 mm e espessura de 8 mm foram soldadas com junção de topo. Utilizou-se o processo de soldagem manual com arame tubular. O cordão de solda em cima e embaixo da linha de junção das chapas foi removido pelo esmerilhamento. Uma das partes do cordão de solda e metal base próximo ao cordão de solda foram tratadas por jateamento com cerdas. Outra parte permaneceu sem tratamento posterior. A terceira parte, após remoção do cordão de solda, foi polida utilizando processo de polimento eletrolítico para remover camada superficial do material sujeita a ação da esmerilhadeira.

Foram medidas tensões residuais em cada uma das três partes da amostra, especialmente na parte submetida ao tratamento por jateamento com cerdas, na região esmerilhada e na parte tratada com polimento eletrolítico. Esclarecemos que as tensões na parte tratada com polimento eletrolítico correspondem às tensões residuais induzidas pela soldagem. As tensões na parte simplesmente esmerilhada são superposição das tensões de soldagem e das tensões induzidas por esmerilhamento. Na parte tratada com escova estas tensões são produtos da superposição das tensões de soldagem, tensões de esmerilhamento e tensões induzidas pelo jateamento com cerdas.

Tabela 1: Valores absolutos iniciais em MPa das tensões de soldagem, esmerilhamento e de escova

Tensão	MD-ESM	MB-ESM	MD-PLD	MB-PLD	MD-ESC	MB-ESC
$\sigma_R$	+535	+275	+385	+325	+18	-65
$\sigma_D$	+485	+375	+405	+385	+75	+25
$\sigma_T$	+665	+575	+305	+245	+100	+25

A análise das tensões na parte esmerilhada mostra alto nível inicial no primeiro dia após o término dos tratamentos das tensões de tração, tanto no metal base como no metal depositado, ver Tabela 1. Nesta tabela as colunas MD-ESM e MB-ESM correspondem aos valores das tensões residuais medidas no cordão de solda e metal base próximo ao cordão de solda, respectivamente, na parte esmerilhada, MD-PLD e MB-PLD – na parte polida e MD-ESC e MB-ESC – na parte tratada com escova. Tensões  $\sigma_R$ ,  $\sigma_T$  e  $\sigma_D$  são medidas do lado de cima das chapas soldadas na direção de rotação de escova, na direção do movimento progressivo da escova (que é ortogonal a direção do cordão de solda) e na direção diagonal aos dois primeiros, respectivamente. Sinal “+” denota tensões de tração, sinal “-” denota tensões de compressão.

Observa-se que aplicação do tratamento de jato com cerdas permite diminuir significativamente o nível destas tensões residuais induzidas por soldagem e esmerilhamento. Porém as tensões de compressão foram geradas pela escova apenas no metal base na direção do movimento rotacional da escova.

Tabela 2: Valores absolutos finais em MPa das tensões de soldagem, esmerilhamento e de escova

Tensão	MD-ESM	MB-ESM	MD-PLD	MB-PLD	MD-ESC	MB-ESC
$\sigma_R$	+58	+32	+38	+33	+18	0
$\sigma_D$	+51	+27	+31	+32	+32	-18
$\sigma_T$	+64	+45	+27	+27	+29	+32

A Tabela 2 apresenta o resultado de medições das tensões residuais finais, duas semanas depois da soldagem. Observa-se redução dos valores das tensões residuais tanto no cordão de solda como no metal de base nas partes submetidas ao tratamento pela escova, assim como nas partes simplesmente esmerilhadas e polidas. Este fenômeno está de acordo com o resultado de migração das tensões residuais de soldagem, descrito em [1]. Porém, o fato de o tratamento de jato com cerdas permitir reduzir os valores logo após do término do processo de soldagem, sem esperar este processo acontecer naturalmente com tempo, sem duvida pode ser considerado como vantagem deste procedimento.



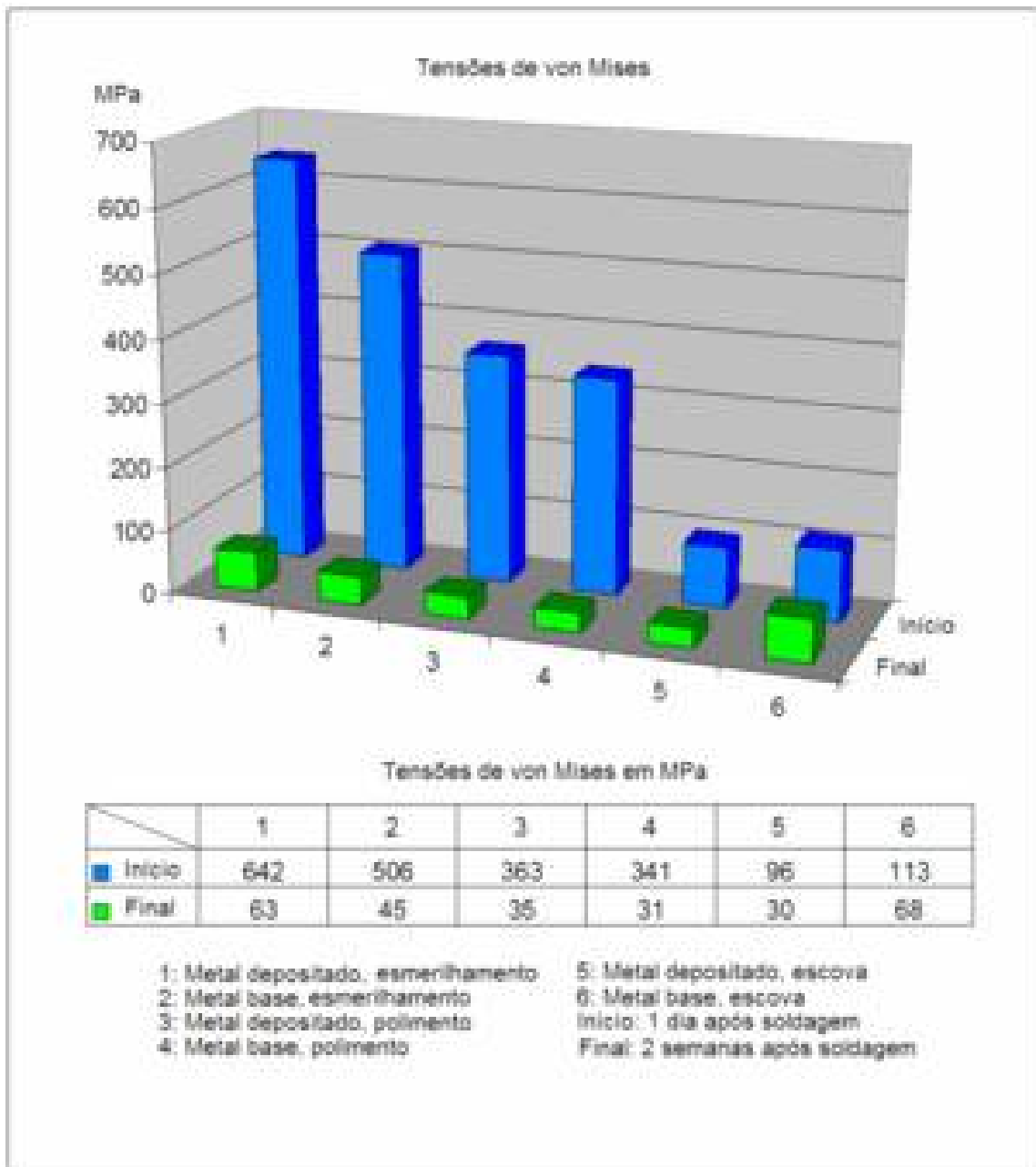


Fig. 7: Valores da tensão efetiva (von Mises) para diferentes ares da amostra e sua variação com tempo

A diminuição com tempo dos valores da tensão efetiva (de von Mises) estão apresentados na Fig. 7.

## TESTE 2: APLICAÇÃO DA ESCOVA SOBRE UMA AMOSTRA COM TENSÕES RESIDUAIS PRÉ-EXISTENTES DE ALTA COMPRESSÃO

Uma das aplicações anunciadas do jateamento com cerdas é o tratamento das áreas de cordão de solda. Porém, áreas do cordão de solda podem conter tanto as regiões com tensões residuais de tração (ver TESTE 1), quanto nas regiões como tensões de compressão de valores relativamente altas. Para simular a aplicação do tratamento do jateamento com cerdas numa área de tensões de compressão foi utilizada uma amostra de aço carbono SAE 1020, polida mecanicamente e submetida a processo térmico de cementação. O tratamento de cementação induziu na amostra tensões residuais de compressão com valores na faixa de -300 MPa. Não foi observada nenhuma alteração na microestrutura do perfil da superfície após da aplicação da escova. Ou seja, neste caso a escova não foi capaz de gerar nenhuma rugosidade na superfície, nem induzir tensões mecânicas.

## TESTE 3: APLICAÇÃO DA ESCOVA COM ESFORÇO EXCESSIVO

Foi analisado o efeito de aplicação da escova com esforço maior do que é recomendado pelo fabricante. Este teste é justificado pelo fato que a escova é um equipamento manipulado manualmente pelo operário, sendo assim, o resultado do tratamento pode variar conforme condições do seu uso.

Como amostra foi utilizada uma peça polida mecanicamente de tamanho 35 x 300 mm de aço carbono SAE 1020 e espessura de 6 mm, previamente tratada termicamente para aliviar as tensões residuais. Valores iniciais das tensões residuais da amostra ficaram na faixa de +30 até +68 MPa.

A análise das tensões residuais após a aplicação da escova mostra que neste caso foram induzidas as tensões residuais superficiais de tração, ver Tabela 3. As notações utilizadas foram:  $\sigma_I$  e  $\sigma_{II}$  são tensões principais,  $\sigma_{eff}$  tensão efetiva (de von Mises). Ou seja, o jateamento com cerdas, utilizado com esforço excessivo sobre a escova resultou nas tensões residuais similares de uma escova rotativa comum. Entendemos que neste caso ao invés de somente produzir o impacto, a ponta de cerda desliza pela superfície tratada como qualquer escova rotativa comum. Além disso, uma observação no tempo dos valores das tensões induzidas mostra sua variação em curto tempo (12 dias) como está apresentado na Tabela 3 e Fig. 8.

Tabela 3: Variação dos valores absolutos das tensões residuais com tempo.  
Esforço excessivo sobre a escova.

	Dia				
	0	1	2	9	12
$\sigma_R$	+30	+49	+124	+57	+157
$\sigma_D$	+14	+115	+116	+126	+150
$\sigma_T$	+68	+166	+100	+137	+83
$\sigma_I$	+76	+166	+125	+146	+121
$\sigma_{II}$	+22	+49	+99	+48	+19
$\sigma_{eff}$	64	148	114	129	113

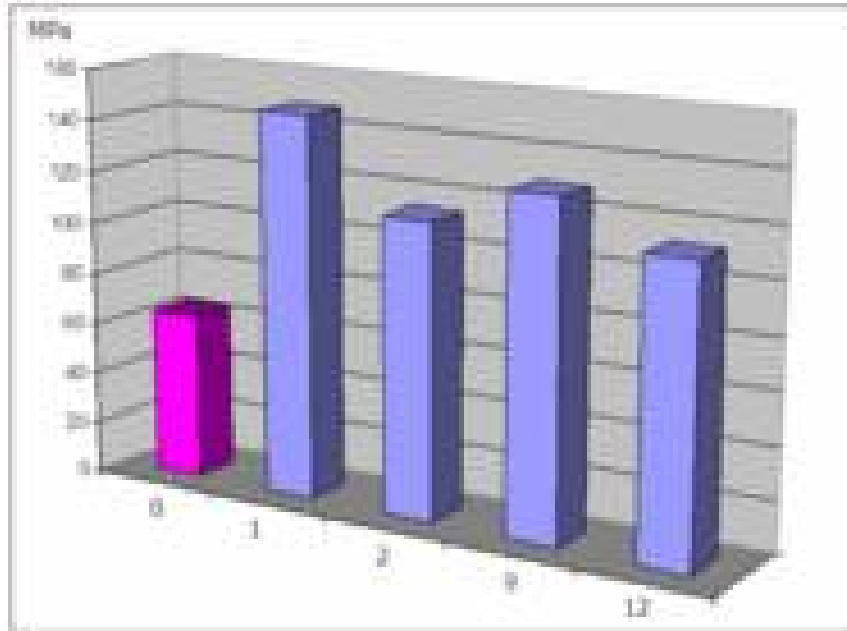


Fig. 8: Variação com tempo dos valores da tensão efetiva (von Mises)

#### TESTE 4: APLICAÇÃO DA ESCOVA COM ESFORÇO REGULAR

Neste teste nos conseguimos introduzir na superfície da amostra as tensões residuais de compressão distribuídas de maneira relativamente uniforme. Para garantir somente o impacto da ponta de cerda sem seu deslizamento rotacional, o esforço aplicado era mínimo, o que resultou nos valores relativamente pequenos das tensões residuais induzidas. Como amostra foi utilizada uma peça polida mecanicamente de tamanho 35 x 300 mm de aço carbono SAE 1020 e espessura de 6 mm, previamente tratada termicamente para aliviar as tensões residuais. Valores iniciais das tensões residuais da amostra ficaram na faixa de +30 a +68 MPa.

Tabela 2: Variação dos valores absolutos das tensões residuais com o tempo.  
Esforço regular sobre a escova.

	Dia				
	0	1	2	6	30
$\sigma_R$	+30	-36	-72	-58	0
$\sigma_D$	+14	-30	-61	-21	-7
$\sigma_T$	+68	-36	-54	-18	-10
$\sigma_I$	+76	-30	-54	-12	0
$\sigma_{II}$	+22	-42	-72	-64	-10
$\sigma_{eff}$	64	38	65	59	10

Observa-se, em primeiro lugar, a variação dos valores das tensões residuais. Outro fato interessante é que as tensões nas direções de rotação da escova e na direção do seu movimento progressivo durante todo tempo de observação continuam sendo tensões principais independentemente da sua variação. As tensões residuais são de compressão, chegam ao seu valor máximo no dia seguinte ao tratamento e posteriormente apresentam tendência de diminuir quase até zero após de 30 dias. O mesmo efeito é observado nos valores calculados da tensão efetiva (de von Mises), Fig. 9.

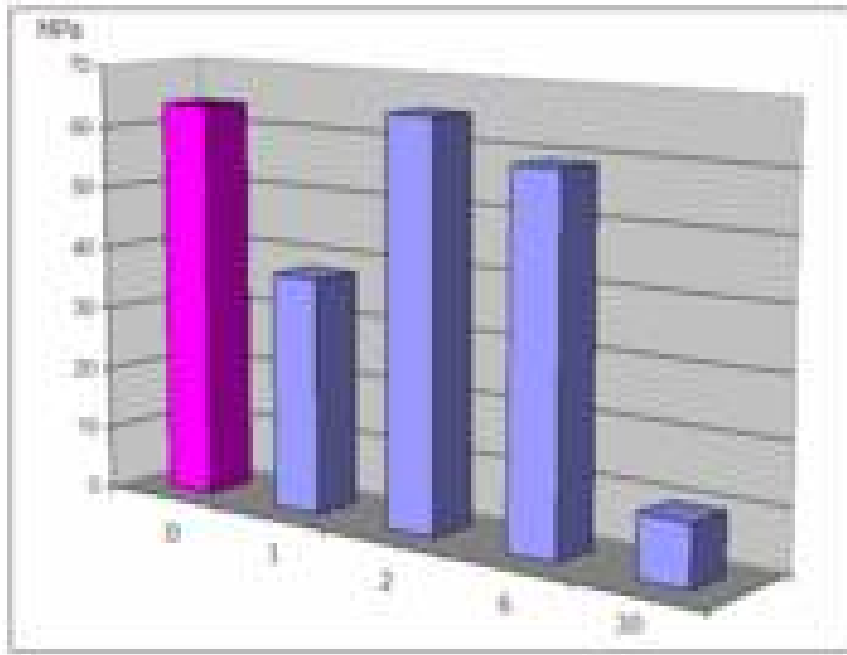


Fig. 9: Variação com tempo dos valores da tensão efetiva (von Mises)

#### TESTE 5: DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES RESIDUAIS COM PROFUNDIDADE

As medições com profundidade dos valores absolutos da tensão residual após o tratamento pela escova com jato de cerdas foram realizadas numa amostra de aço carbono SAE 1020, de tamanho 35 x 300 mm e espessura de 6, polida mecanicamente e previamente tratada termicamente para aliviar as tensões residuais. Os valores das tensões residuais na amostra antes do tratamento pela escova ficaram na faixa de 0 a +10 MPa. A remoção do material foi realizada por meio de polimento eletrolítico com passos 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.08, 0.10 e 0.20 mm.

Tecnicamente é impossível comparar o perfil das tensões residuais induzidas pela escova com um perfil de distribuição das tensões residuais induzidas por *shot peening*. De fato, no caso das tensões de *shot peening*, o perfil da sua distribuição é caracterizado pelo ponto de máximo global das tensões de compressão numa camada subsuperficial que fica numa profundidade entre 30 $\mu$ m e 100 $\mu$ m, dependendo do material da mostra e do tipo de *shot peening*. Na amostra tratada pela escova, a superfície recebe uma rugosidade com parâmetro  $R_z$  entre 40 e 120 $\mu$ m. Desta maneira, a própria superfície da amostra tratada pela escova está localizada numa faixa das profundidades que já são consideradas subsuperficial no caso da amostra tratada por *shot peening*. Exatamente nesta profundidade o valor do máximo global da tensão de compressão é esperado no caso do *shot peening*. Ou seja, comparação somente pode ser representativa a partir da profundidade onde as irregularidades superficiais induzidas pela escova podem ser consideradas imperceptíveis.

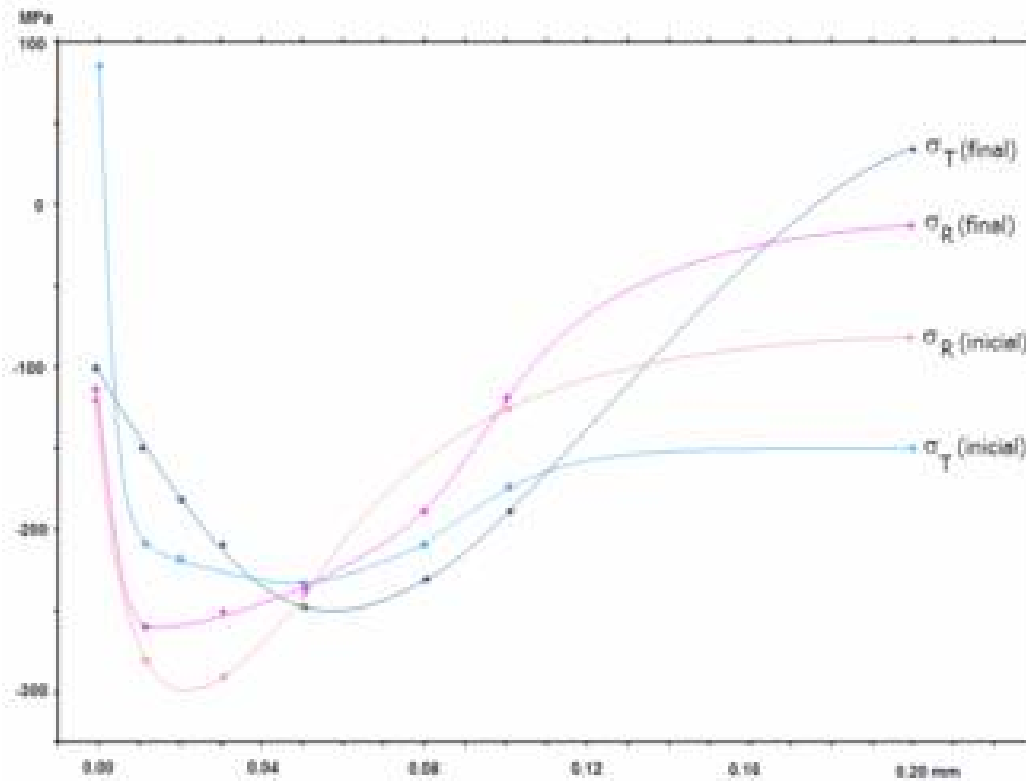


Fig. 10: Valores absolutos das tensões residuais induzidas pela escova. Variação com profundidade e no tempo. Intervalo entre medições no tempo (início e fim) – 7 dias

Neste teste nos induzimos na mostra uma rugosidade com  $R_t$  aproximadamente de  $40\mu\text{m}$  no local de medição das tensões. Sendo assim, somente a partir desta profundidade os resultados podem efetivamente ser comparados com resultados de *shot peening*. Os resultados de medição dos valores absolutos com profundidade estão apresentados na Fig. 10. As curvas  $\sigma_R$  e  $\sigma_T$  correspondem aos valores das tensões residuais medidas na direção de rotação da escova e na direção do seu movimento progressivo, respectivamente. O resultado inicial corresponde às medições realizadas no mesmo dia de aplicação da escova, o resultado final corresponde às medições realizadas uma semana depois. Observa-se que o perfil de distribuição das tensões residuais induzidas pela escova é realmente compatível com a do *shot peening*. Porém, observa-se também a variação com tempo dos valores das tensões residuais, mais expressiva na profundidade de 0,2mm e para tensões da direção do movimento progressivo da escova.

#### TESTE 6: RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE. VARIAÇÃO NO TEMPO

Uma amostra de tamanho 35 x 50 mm e espessura 6 mm de aço carbono SAE 1020 polida mecanicamente e tratada termicamente para alívio das tensões residuais com valores iniciais das tensões residuais entre 0 e +10 MPa foi submetida ao tratamento pelo jato de cerdas, Fig. 11.



Fig. 11: Imagem ampliada da superfície da amostra após tratamento.  
Direção da rotação da escova no sentido vertical da imagem

Os resultados do scanneamento da superfície da amostra logo após a aplicação da escova mostram a profundidade máxima do micro perfil da área analisada (parâmetro de avaliação de rugosidade conhecido como  $R_t$ ) de  $380\ \mu\text{m}$ . Dois dias após, este valor ficou em  $358\ \mu\text{m}$ , ou seja, observamos uma variação, diminuição, da rugosidade em no mínimo 5%.

A Fig. 13 e Fig. 14 apresentam em pseudo cores o perfil tridimensional da mesma área, de tamanho  $20\ \text{x}\ 20\ \text{mm}$  da superfície da amostra logo após a aplicação da escova e dois dias depois do tratamento. A direção vertical da imagem corresponde à direção rotacional na aplicação de escova. O sentido de rotação da escova com relação à imagem – de cima para baixo. Iluminação da superfície – rasante do lado esquerdo com relação à imagem. A escala de variação das cores de azul a vermelha corresponde à profundidade total de  $80\ \mu\text{m}$ , tendo como referencia a parte mais profunda da superfície scaneada. Observa-se a extensão maior de área colorida na Fig. 14 em comparação com da Fig. 13. Este fato indica que o micro perfil de superfície ficou mais plano, ou seja, a rugosidade realmente diminuiu dois dias após a aplicação da escova, Fig. 12.

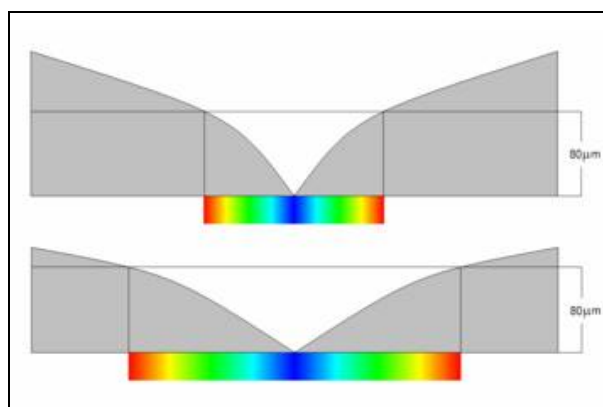


Fig. 12: Esquema de visualização do perfil tri-dimensional da superfície em pseudo-cores

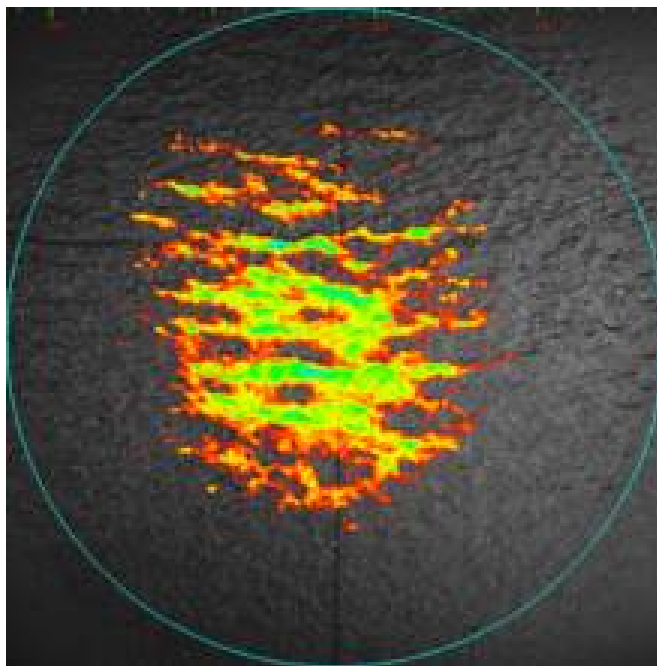


Fig. 13: Mapeamento da superfície realizado logo após o tratamento de jato com cerdas. Área colorida representa parte da superfície com variação de micro perfil de  $80\ \mu\text{m}$  contando da ponta mais baixa da área analisada

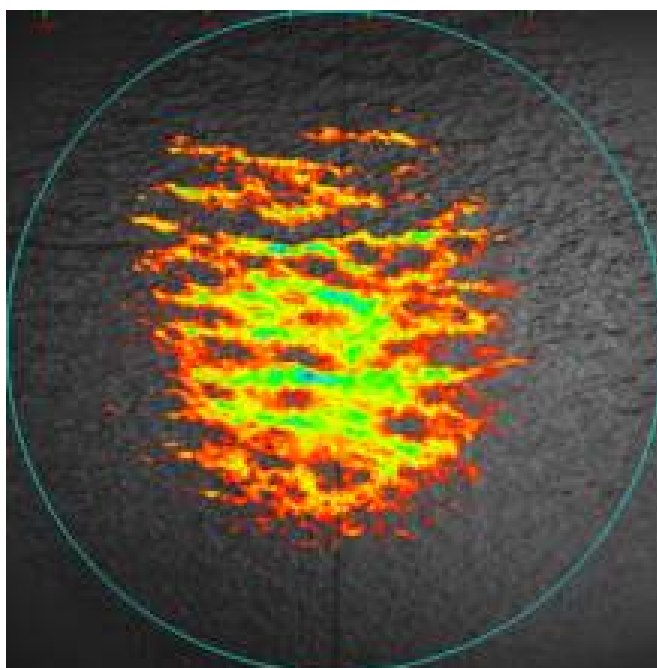


Fig. 14: Mapeamento da mesma superfície realizado 2 dias após o tratamento. Extensão maior da área colorida indica diminuição da rugosidade da área mapeada.



#### 4. CONCLUSÕES. COMPARAÇÃO DA ESCOVA vs SHOT PEENING

Os resultados de nossos estudos do alívio das tensões induzidas por *shot peening* são apresentados no trabalho [2] e estão utilizados aqui para comparação com os resultados obtidos para escova de jato com cerdas.

1. O tratamento por escova mostrou-se eficiente na diminuição e no nivelamento das tensões superficiais altas de tração para cordão de solda e metal base (TESTE 1), comparável neste caso com efeito de *shot peening*. Embora as tensões residuais de compressão induzidas por escova têm tendência a diminuir com tempo (TESTE 1 e 3), este tempo fica dentro do intervalo necessário para redistribuição própria das tensões residuais de soldagem, [1].

2. A escova não apresentou resultados no caso de tratamento da superfície com valores iniciais altas das tensões de compressão (TESTE 2), na mesma situação quando o tratamento por *shot peening* apresenta os resultados positivos, [2].

3. As tensões residuais induzidas pela escova apresentam variação com tempo não somente na superfície (TESTE 1, 3 e 4), mais também nas camadas subsuperficiais (TESTE 5), acompanhado da variação do perfil da superfície tratada, ou seja, sua rugosidade (TESTE 6). Porém, o perfil da distribuição das tensões, a partir de uma profundidade que pode ser considerada representativa, corresponde ao perfil das tensões induzidas por *shot peening* (TESTE 5). Não foi observada na nossa prática variação dos valores das tensões residuais induzidas por *shot peening*.

4. O resultado de aplicação do tratamento por jato com cerdas está sujeito à maneira correta da sua aplicação, que pode complicar em algumas situações práticas sua eficiência, dependendo do estado inicial das tensões residuais na superfície a ser tratada e da maneira de manuseio do equipamento (TESTE 2 e 3). No mesmo tempo o *shot peening* está livre destas restrições.

#### AGRADECIMENTOS

- Ao Estaleiro EISA SA (Rio de Janeiro) e, especialmente, ao responsável pela Sessão de Qualidade da Soldagem, Plínio T. Barbosa.
- A empresa TECHNOFINK e Coordenador da Unidade de Máquinas, Sr. Dirk Pohlmann da empresa MONTI WERKZEUGUE GMBH.
- A empresa PAPILLON SYSTEMS e ao Coordenador Geral do Projeto ARSENAL, Eng. Maxim Malyiarov.

#### REFERENCIAS

1. Estefen S., Gurova T., Werneck D. S. e Leontiev A., “Welding Stress Relaxation Effect in Butt-Jointed Steel Plates”, *Marine Structures*, 29 211-25 2012.
2. Estefen, S., Gurova, T., Leontiev, A., Barbosa, P. T. e Esteves, M. C. “Alívio das Tensões Residuais de Soldagem por Shot Peening”. In: COTEQ 2013: 12ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, 2013, Porto de Galinhas. COTEQ 2013: 12ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos. São Paulo: ABENDI, 65-78 2013