

## CONAEND&IEV2012 – 017

### CONTROLE DIMENSIONAL E MONITORAMENTO DAS TENSÕES RESIDUAIS NA FASE DE SUB-MONTAGEM DURANTE A FABRICAÇÃO DE NAVIOS

Tatiana Gurova<sup>1</sup>, Segen F. Estefen<sup>2</sup>, Anatoli Leontiev<sup>3</sup>

*Copyright 2012, ABENDI, PROMAI.*

*Trabalho apresentado durante o XXX – Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção.*

*16ª 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 do(s) autor(es).*

#### **Sinopse**

---

O controle dimensional durante a fabricação de navios, de grande importância para a agilização na fabricação de blocos e posterior edificação, depende do entendimento das causas das imperfeições geométricas iniciais e das tensões residuais oriundas dos processos corte, conformação e soldagem. Neste trabalho são apresentados os resultados de controle dimensional e monitoramento das tensões residuais durante um ciclo de junção das chapas navais de tamanho real e posterior tratamento de alívio das tensões mecânicas. São utilizadas técnicas avançadas de controle das distorções por laser, monitoramento das tensões mecânicas por método magnético e medição dos seus valores absolutos por técnica portátil de difração raios-X. Os resultados permitem avaliar o procedimento de fabricação e indicar os procedimentos de soldagem e tratamento de alívio das tensões mais apropriado na fase de sub-montagem durante a fabricação de navios.

#### **Introdução**

---

O processo de construção envolve diferentes procedimentos que introduzem tensões residuais de diferentes tipos (deformação plástica heterogênea, tratamento térmico, transformações de fase, soldagem, tratamento mecânico superficial, etc.). Porém, a maior influência no caso de estruturas de navios e plataformas se deve ao efeito da soldagem inerente à fabricação de painéis e blocos e, posteriormente, à fase de edificação. Processos que ocorrem durante a

---

1 Doutora, Engenheira Metalúrgica, LTS/COPPE/UFRJ e GURTEQ Ensaios não Destrutivas

2 Doutor, Professor – LTS/COPPE/UFRJ

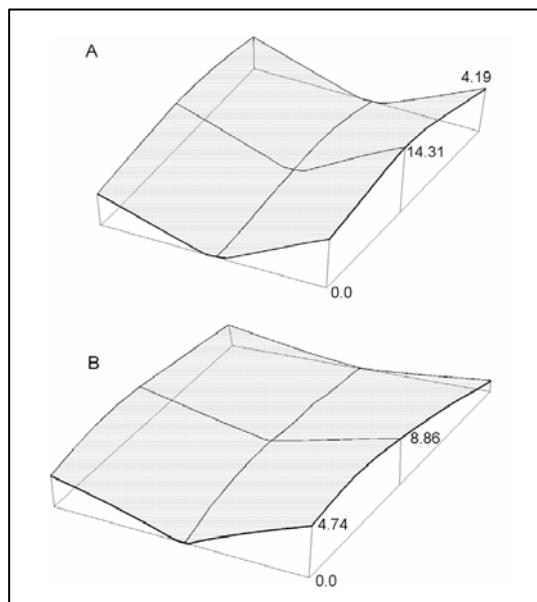
3 Doutor, Professor – Instituto de Matemática – UFRJ

soldagem incluem deformações térmicas, transformações de fase e têmpera. Sendo assim, o estado das tensões residuais provenientes desta operação é de natureza complexa e dificilmente pode ser obtido por simulação computacional quando se trata da estrutura completa do navio. Desta maneira, a melhor solução recomendada está associada aos métodos de controle não-destrutivo, utilizando-se equipamentos portáteis.

## **1. Distorções x Tensões**

---

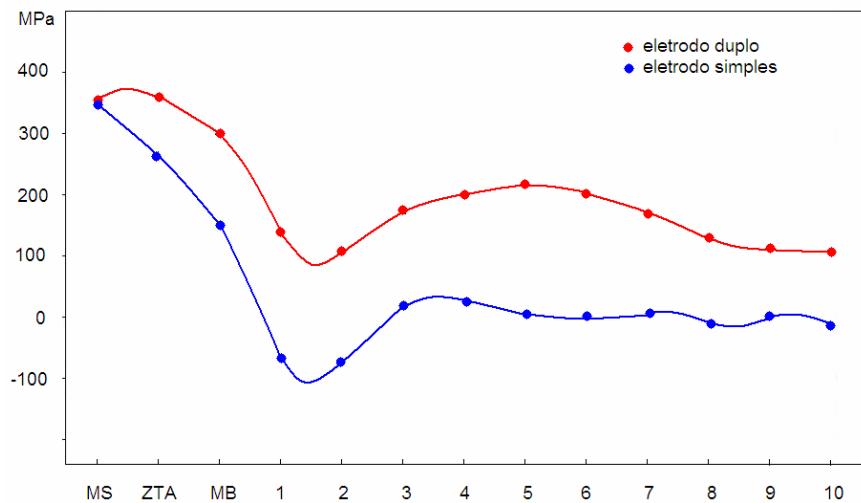
O primeiro resultado apresentado aqui mostra um fato bem simples, porém importante: as chapas soldadas que representam deformação menor não necessariamente têm o nível menor das tensões residuais de soldagem. O ensaio consiste em soldagem de topo de dois pares das chapas utilizadas na construção naval, de aço ASTM 131 grau A, de tamanho 2200 x 840 x 19 mm. Primeiro par foi soldado utilizando soldagem MIG manual com eletrodo simples, com velocidade media 3.7mm/s, corrente 203A e voltagem 27V com 11 passos. Na soldagem do segundo par foi utilizada soldagem automática com eletrodo duplo e carrinho mecanizado, em 3 passes, [1]. O controle sobre deformação das chapas soldadas foi realizado utilizando equipamento LASER TRACKER. Para medição das tensões residuais foi utilizado equipamento portátil RAYSTRESS que emprega o método de dupla difração de raios-X, [1]. **Fig. 1** apresenta distorções medidas nas duas peças após soldagem. Para chapas soldadas com eletrodo duplo, a distorção angular máxima é de  $0.34^\circ$  e o valor da flexão máxima é de 8.86 mm. No caso da chapas soldadas com eletrodo simples, temos respectivamente os valores  $0.30^\circ$  e 14.31 mm. Ou seja, do ponto de vista das distorções, a chapa soldada com eletrodo simples apresenta menores distorções.



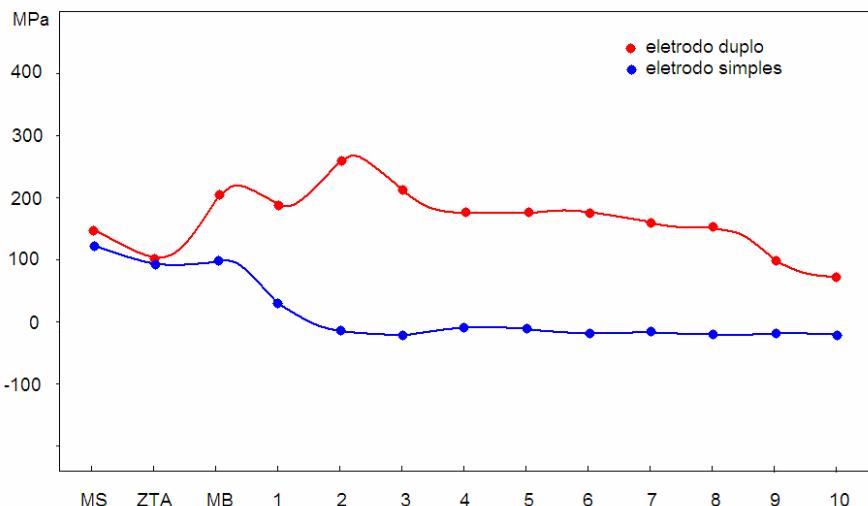
**Fig. 1:** Resultado de medição com equipamento LASER TRACKER das distorções das chapas soldadas. A – chapas soldadas com eletrodo simples, B – chapas soldadas com eletrodo duplo

As **Fig. 2 e 3** apresentam os resultados das medições das tensões residuais de soldagem em duas chapas. As medições foram realizadas na direção longitudinal (ao longo do cordão de solda) e direção transversal (perpendicular ao cordão de solda) no meio da chapa na linha

ortogonal ao cordão de solda. Os valores medidas nas direções longitudinal e transversal ficaram próximos aos valores das tensões principais.



**Fig. 2:** Valores medidos das tensões residuais de soldagem na direção longitudinal para chapas soldadas com eletrodo simples (cor azul) e eletrodo duplo (cor vermelha)



**Fig. 3:** Valores medidos das tensões residuais de soldagem na direção transversal para chapas soldadas com eletrodo simples (cor azul) e eletrodo duplo (cor vermelha)

Observa-se que tanto valores das tensões residuais na direção longitudinal, como na direção transversal são menores para chapas soldadas com eletrodo duplo, embora a deformação destas chapas seja maior em comparação com resultado de soldagem com eletrodo duplo. Uma das interpretações mais evidentes deste resultado pode ser dada tomando em consideração a redistribuição das tensões durante procedimento de soldagem, apresentada no próximo parágrafo.

## **2. Redistribuição das tensões residuais de soldagem**

---

O termo “redistribuição” é utilizado aqui para definir o efeito de variação dos valores das tensões de soldagem num curto intervalo de tempo que no nosso caso corresponde à remoção das restrições de soldagem. Durante processo de soldagem, ambas as chapas eram fixas na mesa de gabarito, [1, 2]. Após a soldagem as restrições foram removidas. **Fig. 4** apresenta resultados de distribuição das tensões residuais logo após a soldagem com todas as restrições impostas e quando estas restrições foram removidas. Os gráficos correspondem aos valores das tensões de von Mises, calculados a partir dos valores das medidas nas direções longitudinal e transversal, pois estes ficaram próximos dos valores das tensões principais.

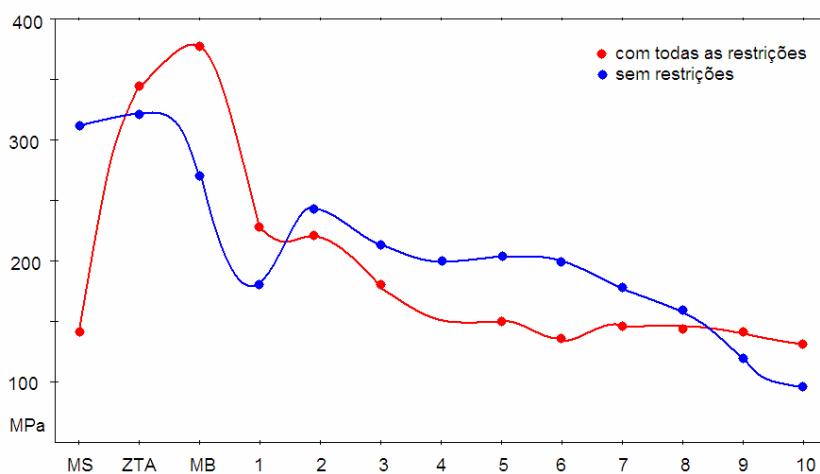


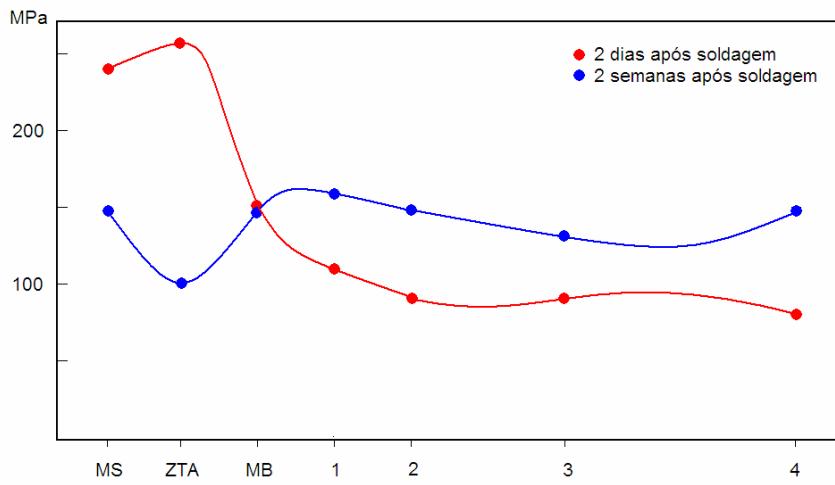
Fig. 4: Valores das tensões de von Mises para chapas soldadas com eletrodo duplo com todas as restrições de soldagem impostas (cor vermelha) e logo após da remoção das restrições

Processo de redistribuição das tensões após a remoção das restrições obviamente influencia a deformação das chapas. Desta maneira, o resultado do parágrafo anterior tem uma interpretação bem simples: redistribuição (relaxamento) das tensões de soldagem após a remoção das restrições de soldagem foi maior no caso da solda com eletrodo simples o que causou maior deformação na peça soldada.

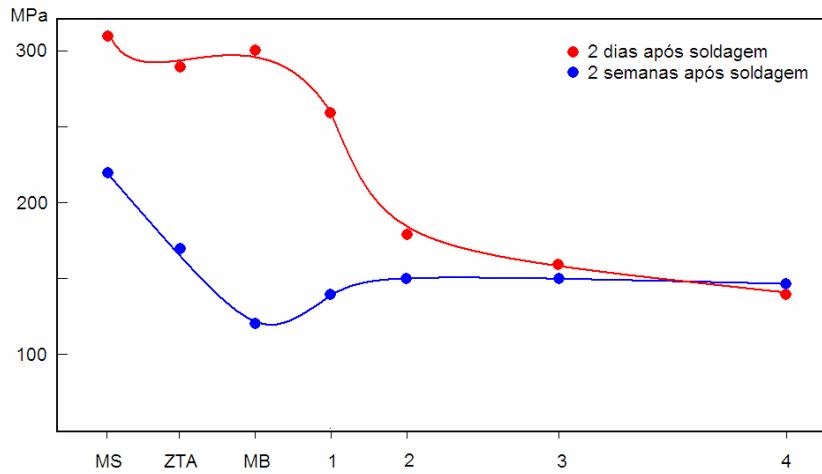
## **3. Evolução das tensões residuais de soldagem**

---

A variação do estado das tensões residuais de soldagem não termina somente com remoção das restrições de soldagem. Outro fato interessante foi observado nos trabalhos experimentais de soldagem de topo das chapas do mesmo material de tamanho 1200 x 500 x 19 mm, [3]. As medições das tensões residuais foram realizadas dois dias após a soldagem e também duas semanas após a soldagem. **Fig. 5 e 6** apresentam os resultados das medições com equipamento RAYSTRESS.

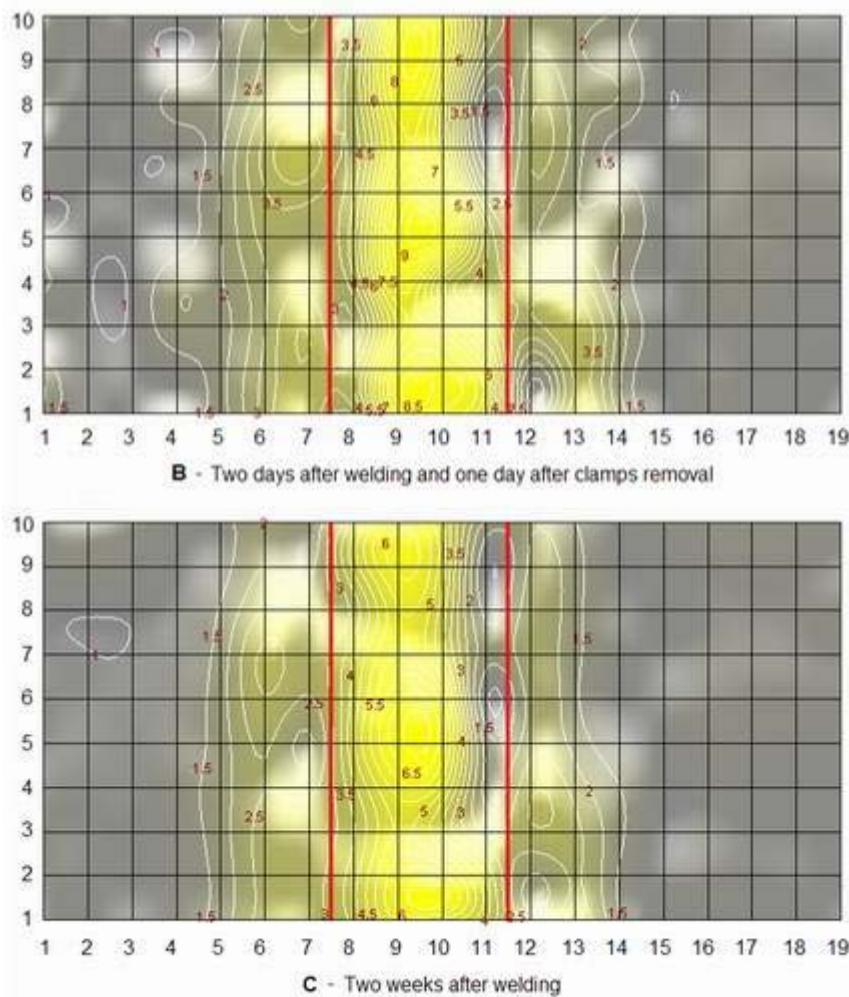


**Fig. 5:** Distribuição dos valores das tensões de von Mises para chapas soldadas com eletrodo simples dois dias após soldagem (cor vermelha) e duas semanas após soldagem (cor azul).



**Fig. 6:** Distribuição dos valores das tensões de von Mises para chapas soldadas com eletrodo duplo dois dias após soldagem (cor vermelha) e duas semanas após soldagem (cor azul).

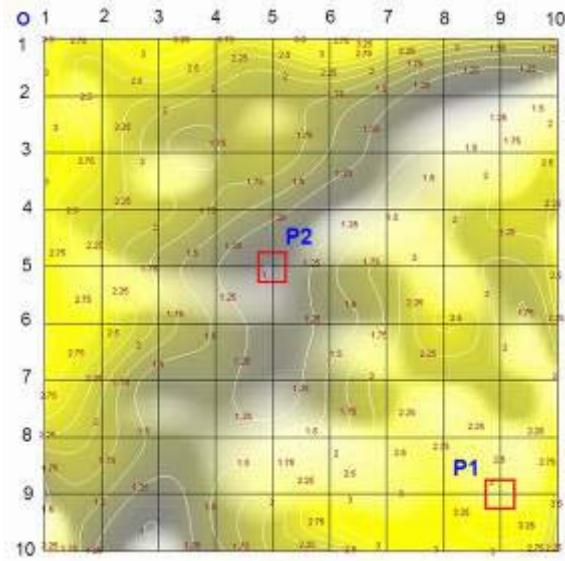
Observa-se uma evolução do estado das tensões no sentido de diminuição e uniformização dos valores das tensões de von Mises, tanto no caso das chapas soldadas com eletrodo simples, como no caso da soldagem com eletrodo duplo. Para comprovar este fenômeno foi utilizado equipamento STRESSVISION. O equipamento realiza mapeamento do estado das tensões utilizando método de magnetostrição inversa. Os resultados de mapeamento de uma área localizada do lado do cordão de solda mostram a variação no estado das tensões resíduas num período de duas semanas, **Fig. 7**.



**Fig. 7:** Solda com eletrodo simples. Mapa de concentração da tensão cisalhante máxima numa área próxima ao cordão de solda. B – dois dias após soldagem; C – duas semanas após soldagem. Passo da curva de nível 0.5. Linhas vermelhas verticais marcam a posição do cordão de solda.

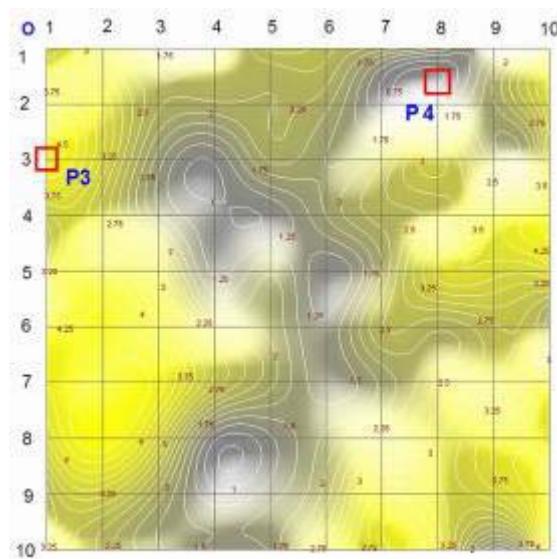
#### 4. Controle dos resultados de alívio das tensões residuais

Redistribuição uniforme e redução dos valores absolutos das tensões residuais é o efeito esperado do tratamento de alívio das tensões. Avaliação dos resultados deste tratamento para peças de grande porte apresenta uma dificuldade real: medições das tensões residuais são feitas localmente; para avaliar os resultados de alívio das tensões as medições devem ser feitas nos pontos que representam pontos críticos (máximo e mínimo) das tensões; localização destes pontos após o tratamento é diferente da sua localização antes do tratamento, ou seja, as medições realizadas no mesmo ponto antes e depois do tratamento em maioria das situações não serão representativas, [4], [5]. O exemplo prático que mostra esta situação é apresentado a seguir.



**Fig. 8.** Mapeamento antes do TTAT. Pontos críticos do campo das tensões cisalhantes máximas, **P1** e **P2**. Ponto de referencia O. Passo da malha 20mm x 20mm. Tamanho da área mapeada 180mm x 180mm

**Fig. 8** mostra mapeamento realizado com equipamento STRESSVISION de uma área da peça de grande porte. Pontos P1 e P2 indicam os pontos críticos do campo das tensões residuais. Mapeamento da mesma área após tratamento térmico apresentado na **Fig. 9**. Os pontos críticos foram identificados nas posições P3 e P4, sua posição é diferente da posição dos pontos críticos da área não tratada.



**Fig. 9.** Mapeamento após TTAT. Pontos críticos do campo das tensões cisalhantes máximas, **P3** e **P4**. Ponto de referencia O. Passo da malha 20mm x 20mm. Tamanho da área mapeada 180mm x 180mm

## **Conclusões**

---

Os resultados dos trabalhos experimentais apresentados mostram a necessidade de desenvolvimento das metodologias de implementação dos métodos não destrutivos de controle nos processos de fabricação naval, especialmente, nos procedimentos de soldagem e alívio das tensões. Estes métodos devem realizar a análise em tempo real, ter baixo custo e não apresentar nenhuma restrição quanto à integração na seqüência operacional de fabricação e tratamento das peças fabricadas. Informação sobre o estado das tensões e deformações, obtida durante a fabricação, além de permitir corrigir possíveis imperfeições na execução do projeto, facilitará o posterior controle da integridade e contribuirá para o planejamento da manutenção.

## **Agradecimentos**

---

FINEP e CNPq pelo apoio financeiro (projetos CNPq 302531/2009-2 (S.F. Estefen) e CNPq 305338/2009-9 (A. Leontiev))

## **Referências bibliográficas**

---

- [1] Estefen S, Gurova T, Castello X, Leontiev A. "Surface residual stress evaluation in double-electrode butt welded steel plates". *Materials & design*, 31, 1622-1627, 2010.
- [2] Estefen S, Gurova T, Castello X, Leontiev A. "Análise de Evolução do Estado das Tensões Residuais de Soldagem", Conferencia de Tecnologia de Soldagem e Inspeção, 2008, Rio de Janeiro.
- [3] Estefen S, Gurova T, Werneck DS, Leontiev A. "Efeito de redistribuição das tensões residuais de soldagem" , COTEQ 2011 - Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, 2011, Porto de Galinhas - Ipojuca/PE.
- [4] Gurova T, Vieira, DL, Leontiev A. "Novo método de avaliação dos resultados de alívio das tensões residuais", COTEQ 2011 - Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, 2011, Porto de Galinhas - Ipojuca/PE.
- [5] Gurova T, Leontiev A. "Novas técnicas de mapeamento das tensões mecânicas", XXVII CONAEND - Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção, 2009, Salvador.