



## ANÁLISE DO CONJUNTO BIMETÁLICO ALUMÍNIO E AÇO SOLDADO POR EXPLOSÃO<sup>1</sup>

**Emerson Augusto Raymundo** | emersonaugustoray@gmail.com | FATEC

**José Rubens Camargo** | jrubenscamargo@gmail.com | FATEC

**Marcelo Bergamini de Carvalho** | mabcarvalho@hotmail.com | FATEC

**Carlos Eduardo Figueiredo dos Santos** | carlos.santos52@fatec.sp.gov.br | FATEC

**Amir Rivaroli Junior** | amir.rivaroli@outlook.com | FATEC

### RESUMO

As regiões micrográficas da junção de materiais dissimilares pela soldagem por explosão ainda é pouca explorada. Foi proposto então um estudo exploratório dessas regiões por meio de medida de dureza e micro dureza. O corpo de prova utilizado foi da soldagem do alumínio da série AA 1000 e uma liga de aço ASTM A36. Logo após o procedimento metalográfico para o alumínio realizou-se o ataque químico seletivo seguido de nova preparação metalográfica para o aço. Por meio das fases reveladas permitiu-se a análise de micro dureza de todas as regiões. Por meio dos resultados das medidas de micro dureza das regiões antes, próxima e dentro da região de soldagem concluiu-se que o aço apresentou em média um aumento menor de dureza maior nesta sequência, já o alumínio apresentou um aumento da dureza bem acentuado isto pode ser explicado pois o alumínio da série AA1000 apresenta pouca resistência ao processo de deformação neste processo, logo ele pode encruar mais com relação ao aço em questão. A consequência desse processo seria a diferença de potencial nessas regiões podendo causar uma menor resistência à corrosão em determinadas aplicações para o lado do aço.

**Palavras-chave:** Soldagem por explosão, tensões residuais, materiais de alta deformação, soldagem de dissimilares por pressão.

---

<sup>1</sup> XXVI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XXII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e XII Encontro de Iniciação à Docência - Universidade do Vale do Paraíba - 2022

## INTRODUÇÃO

A soldagem por explosão ou cladeamento se encaixa no grupo de classificação de soldagem por pressão. Basicamente este processo utiliza-se da energia de detonação de um explosivo. Uma das partes é lançada ao encontro da outra pela explosão e, durante a colisão, desenvolve-se uma intensa deformação plástica nas superfícies envolvidas (ALVES, 2017). Quase todos os metais podem ser cladeadas por explosão, porém materiais com pouca ductibilidade deve ser evitado, ou seja, podem quebrar na hora da explosão.

Segundo (Ribeiro, et. al. 2017) a soldagem por explosão, que tem como principais características: pode unir grandes áreas em uma única operação, pode ser utilizada na união de praticamente todos os metais e ligas que possuam ductibilidade suficiente para não se romper durante a explosão e, após o material ser soldado, este retém essencialmente 100% da sua densidade teórica, podendo não ocorrendo perdas. O processo de soldagem por explosão pode ser utilizado a nível industrial para a fabricação de revestimentos, de chapas bi-metálicas e para junção de metais incompatíveis não possíveis de obter pelos processos de soldagem por fusão. Este processo pode apresentar muitos riscos neste sentido devem ser feitos em locais isolados ou dentro de minas.

Segundo Oliveira e Padilha (2009), o alumínio das series 1000 é considerado comercialmente puro, tendo 99% de Al, praticamente, quase todo o soluto encontra-se na forma de partículas de compostos intermetálicos dispersos em uma matriz de alumínio de alta pureza. Esses compostos intermetálicos podem ser formados por elementos residuais tais como, Fe e Si sendo suas principais impurezas.

O aço é um dos mais versáteis e um dos mais importantes nas ligas metálicas, pode ser fabricado em grandes variedades de diferentes tipos e formas, existem cerca de 3500 tipos de aço e para identificá-los existem algumas normas dentre elas a Norte Americana ASTM. Um dos aços mais utilizados na construção civil e para fins estruturais é o aço ASTM A36, que pode ser classificado comoum aço carbono de média resistência mecânica.

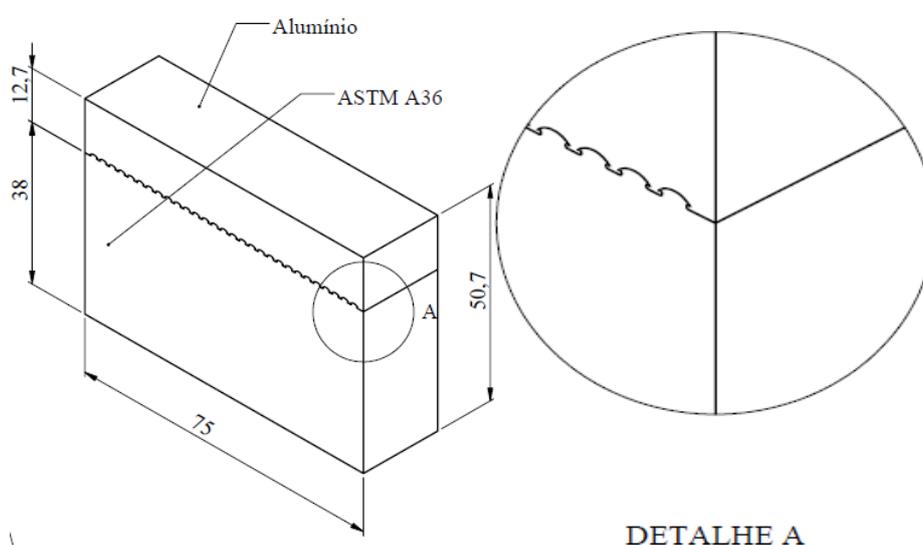
Segundo Chiaverini (2008), o aço ASTM A36 possui boa resistência ao choque, à fadiga, podem elevar a tensão de escoamento sem perder a ductibilidade, boa resistência à corrosão atmosférica, e ainda com todas essas características possui boa soldabilidade e conformabilidade, segundo o autor esse aço pode ainda ser empregado em indústrias automobilísticas, aeronáutica e em ferrovias.

O presente trabalho teve como objetivo em pesquisar a difusão dos entre os elementos soldados suas mudanças de suas propriedades na região soldada. Por meio dos valores de dureza e análise metalográfica pode se observar as tais mudanças nas regiões de solda e vizinhanças da solda, com esses valores pode abrir discussões futuras para verificar influências de tensões residuais em processos corrosivos e estruturais.

## METODOLOGIA

Para desenvolvimento deste trabalho partiu-se de uma amostra de uma placa bimetálica soldada pelo processo explosão. A amostra foi doada por uma dada empresa que fornece chapas bimetálicas para indústria naval. Por meio do desenho da figura 1 pode ser observado a região onde foi extraída a amostra para as análises deste trabalho proposto. A chapa cladeada era composta por uma parte de alumínio da série 1000 (metal de sacrifício) e de um aço carbono ASTM A36 soldados por explosão.

**Figura 1 | Desenho da chapa cladeada e da região analisada.**



Fonte: Autor (2022).

O procedimento metalográfico para as análises foi todo planejado, pois se tratava de uma junta de materiais dissimilares. Foi observado a importância da dureza dos materiais envolvidos, pois esperava-se os processos de lixamento e polimento foi muito difícil. A imagem da Figura 2 (b) mostra a superfície já sem riscos, logo após o processo de lixamento a amostra foi polida com veículo abrasivo de alumina.

**Figura 2 | Ensaio metalográfico.**



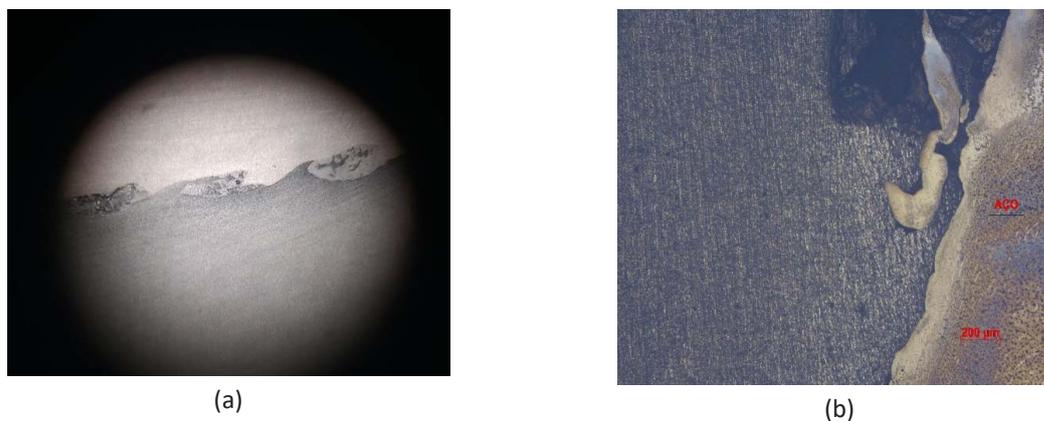
Fonte: Autor (2022).

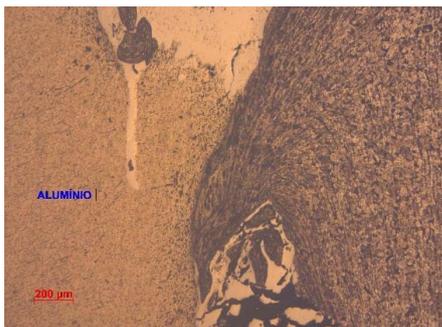
Após concluir essa etapa de lixamento realizou-se o ataque químico que colocou em evidência as heterogeneidades esperadas da estrutura, para a realização do ataque no alumínio utilizou-se do reagente “Keller”, o ataque foi feito por imersão por volta de 6 segundos e no aço ASTM A36 utilizou-se do “Nital” 2% que também foi feito por imersão por 29 segundos, foi feito primeiramente o ataque no aço e depois no alumínio.

## RESULTADOS

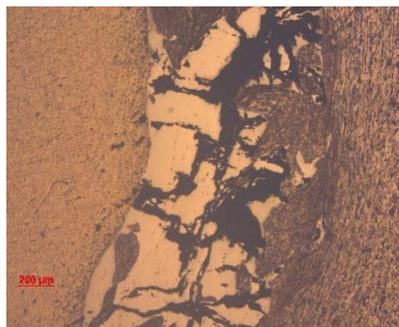
Os resultados esperados seriam imagens contendo a difusão de volumes de um material no para com o outro como pode ser observado através das imagens da Figura 3 adiante, ou seja, revela regiões de difusão de material tanto no aço quanto no alumínio.

**Figura 3 | Imagens das análises metalográficas.**





(c)

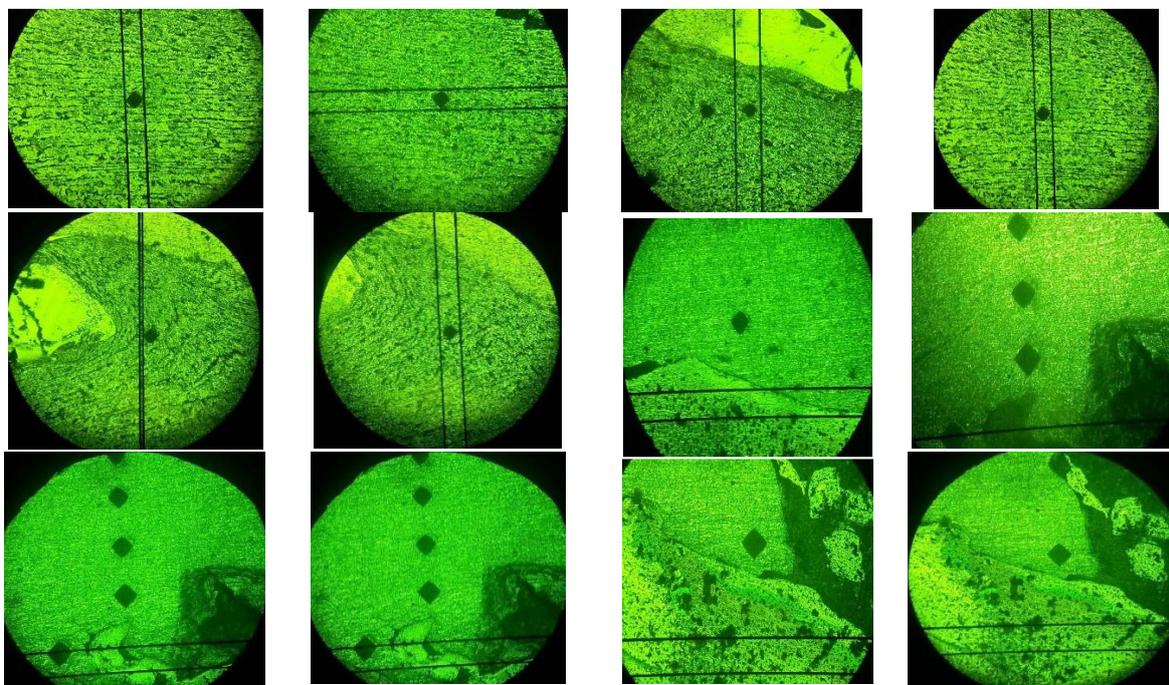


(d)

Fonte: autor.

As imagens a seguir representam as regiões onde foram feitos os ensaios de micro dureza para as análises de deformação e as mudanças de dureza.

**Figura 4 |** Imagens das regiões ensaiada por micro dureza.



Fonte: Autor.

A tabela 1 mostra os resultados das médias de 10 medidas onde foram feitas nas regiões conforme onde se destaca na própria tabela

**Tabela 1 |** Resultados das análises de micro dureza.

Região	Material	Média Vickers
Antes da solda	Aço	165,6
Próxima da solda	Aço	173,8
Solda	União	201,6
Antes da solda	Al	28,32
Próxima da solda	Al	37,21
Solda	Al	39,31

Fonte: o autor.

## DISCUSSÃO

O presente trabalho propôs um estudo das deformações dos materiais em soldagem de pressão utilizando a explosão para união de dois materiais dissimilares, no caso o alumínio puro e uma liga de aço considerado dúctil entre os aços. A função do alumínio seria do material nobre e neste sentido o de “sacrifício”, ou seja, onde sua face é exposta a ambiente altamente corrosivos como sua principal aplicação em ambientes marítimos. O material aço ASTM A36 é considerado dúctil parecido ao aço 1020, porém através de alguns elementos de liga que o aço SAE 1020 não contempla lhe pode conferir melhor resistência à deformação. Um dos elementos que apesar de estar em baixa concentração faz diferença neste processo de deformação e na resistência a corrosão, esse elemento seria o cobre.

Esse seria principalmente o componente que o aço carbono 1020 não possui. Sua escolha para a soldagem por explosão então ajuda nas questões importantes tais como o comportamento estrutural e lógico sua soldabilidade perante este processo.

A proposta do trabalho foi em verificar a mudança da dureza do material e a possível difusão dos materiais na hora da explosão. Por meio das imagens micrográficas reveladas pode se observar a difusão de um material ao outro sem reação entre eles, muito parecido com um compósito. Pode ser observado de maneira geral um avanço em termos de massa do aço para dentro do alumínio, isto pode ter ocorrido pela maior dureza do aço perante o alumínio. No planejamento deste trabalho proposto esse comportamento era esperado pelo conhecimento das durezas dos materiais envolvidos.

Outras observações como objetivos de análise desse trabalho foram as mudanças morfológicas das fases dos materiais envolvidos, percebeu-se que os grãos perlíticos em determinadas regiões sofreram deformações e mudaram sua forma geométrica. Com relação a essas fases perlíticas em especial a componente cementita foi observada e que nessas determinadas regiões se apresentaram acumuladas e ainda com morfologias parecidas com um aço normalizado. Dentro dessas regiões de difusão de massas apresentou-se então fases escuras e fases mais clara sendo essa possivelmente a fase ferrítica já que a cementita apesar em pequena quantidade (aço baixo carbono ASTM A36) deve ter aglomerada próxima a essas regiões. No entanto, para devida conclusão deveria ser feito análises de composição nestas regiões e assim comprovar o deslocamento dessas fases na região de união.

O alumínio por ser tratar do metal praticamente puro não apresentou fases distintas para efetivas análises morfológicas, o que pode perceber foi seu envolvimento do aço para dentro do material. Porém cabe destacar que possivelmente os carbeto de ferro possam ter difundidos dentro do alumínio pois foi revelado vários precipitados nas regiões próximas da solda por explosão.

Com relação as análises de micro dureza pode ser observado no aço que à medida que se aproximou-se da região soldada sua dureza foi aumentando conforme apresentada na tabela anterior. Com relação ao aumento de dureza do alumínio era esperado do metal de base para com a região soldada, neste caso o aumento de dureza de dureza ficou em torno de 27%. O aumento dos valores de dureza do metal aço para a região da solda também já era esperado, esse aumento ficou em torno de 18% em relação ao metal de base. Esses resultados podem ser explicados pois se trata da soldagem de materiais dissimilares onde o material de maior dureza e maior massa específica pode provocar mais alterações no material mais leve e de menor dureza.

Quando o alumínio é submetido a deformação plástica provocado por um dado processo de conformação mecânica a frio o aumento da sua dureza não é tão significativo pois se trata de um material de alta resistência a deformação plástica e o encruamento que leva ao aumento de dureza pode ser difícil de acontecer com tanta intensidade. Neste sentido o aumento de sua dureza perante o aço apesar de ser um material de alta energia de deformação deve ter ocorrido por conta da alta taxa deslocamento de massa e acúmulo do próprio material perante as barreiras do aço no processo de difusão, podendo elevar sua taxa de encruamento.

Um outro fato muito interessante nestes tipos de soldagem seria as mudanças de resistência a corrosão localizada, pois nestas regiões devido ao possível aumento exagerado das diferenças de dureza pode ocasionar mudanças nas diferenças de potencial elétrico. Quando ocorre mudanças de propriedades mecânicas nos metais e principalmente em chapas cladeadas pode comprometer a competência da peça em processo na qual ela foi indica, ou seja, sua resistência à corrosão em determinados locais.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma metodologia que pode ajudar a diminuir o impacto das mudanças de propriedade mecânica e física de um processo de soldagem que é difundido no mundo todo. Este processo é de difícil fabricação, pois se trata de elementos perigosos tais como explosivos civis. Todo processo deve seguir à risca por motivos de segurança. Neste sentido entender as mudanças morfológicas e de tensões residuais provocadas pelo impacto da explosão pode ser de extrema importância. Neste presente trabalho pode ser observado as possíveis mudanças da perlita e da migração da cementita em alguns locais apresentados, foi observado pelo aumento da cor escura e do aglomerado morfológico nestas regiões.

Foi observado um aumento de precipitados na parte das regiões de alumínio podendo ser também migração da cementita já que pode haver a formação de uma fase líquida em alta pressão na hora da explosão. Foi observado também um avanço do aço para dentro do alumínio provocando uma maior deformação no substrato, neste caso pode também explicar o aumento do encruamento do alumínio mostrado na tabela conforme discutido.

As medidas de dureza apresentadas apresentaram um aumento significativo do alumínio do metal de base para dentro da região unida, apesar do alumínio ser mais leve e mais macio o aço também encruou devido a deformação plástica apresentada. Esse aumento de dureza pode ser controlado possivelmente pelo processo de soldagem, ou seja, controlar a quantidade de explosivos ou a disposição destes explosivos. Para que esse trabalho proposto deva ser mais conclusivo e que realmente as tensões residuais sejam prejudiciais deve ser feita uma maior quantidade de amostras, ou seja, de outras regiões já que foram analisadas uma amostra praticamente na quina da peça soldada.

Propostas para outros trabalhos então poderiam ser feitas como análise de outras partes da peça, uma análise de EDS para análise de composição química, uma maior quantidade de medidas de dureza para levantamento de desvio padrão e outras análises estatísticas que poderá viabilizar o efeito das tensões residuais. Uma outra análise pode ser proposta seria um estudo de corrosão localizada nas regiões aqui estudadas pois com essas mudanças de dureza e de fases podem provocar mudanças físico-químicas levar a corrosão sob tensão nestes processos de soldagem.

Portanto cabe ressaltar que a maior dificuldade seria em trabalhar com materiais dissimilares pois seriam sempre dois procedimentos de análise em fases diferentes o que pode dificultar os estudos, porém com procedimento aqui adotados podem ajudar em estudos futuros.

## REFERÊNCIAS

Alves, R. J. M. P., **Soldadura por explosão de aço carbono a Alumínio**, Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Projeto Mecânico, Coimbra 2017, 96p.

Ribeiro, R. A., Gonçalves, R. B., Rocha Paranhos, R. P. da R., **Caracterização de uma junta dissimilar entre aço carbono e inconel 625 obtida por soldagem por explosão**, Artigos Técnicos, Soldagem & inspeção, 22, Mar 2017. 2-13p.

OLIVEIRA, J. C. P. T., PADILHA, A. F., **Caracterização microestrutural dos alumínios comerciais A1100, AA1050 e AA1070 e do alumínio superpuro AA1199**, REM - Revista Escola de Minas, v. 62,p. 373-378, 2009.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferro Fundidos**, 7ª Edição. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa doadora da amostra para análises, agradeço também a FATEC de Pindamonhangaba por utilizar os laboratórios.