

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE VENTOS EM JUNTAS SOLDADAS PELO PROCESSO ARAME TUBULAR (FCAW)

Evandro Machado, evandrom90@gmail.com¹

Tiago Vieira da Cunha, t.cunha@ufsc.br¹

Anna Louise Voigt, alouisevoigt@gmail.com¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, SC, Brasil.

Resumo: A soldagem pelo processo arame tubular é amplamente utilizada na indústria naval para a união de chapas, cantoneiras, tubulações, perfis estruturais e diversos elementos. Visto que na maioria dos estaleiros as soldas estão sujeitas à ação dos ventos, o presente trabalho tem por objetivo analisar a influência dos ventos sobre a qualidade de juntas soldadas, tendo como referência um estaleiro da cidade de Itajaí em Santa Catarina. Para tanto, foi feita inicialmente uma caracterização acerca dos ventos no qual o estaleiro está sujeito e o desenvolvimento de um dispositivo para a reprodução dos mesmos em laboratório no que diz respeito a sua intensidade. Os ensaios foram realizados com diferentes velocidades de vento, sendo essas 0,5, 1,2 e 2,2 m/s e um ensaio sem a presença de ventos para comparação dos resultados. Para a análise dos corpos de prova soldados, foram realizadas macrografias das seções transversais das juntas. Através dessas imagens foi possível observar um aumento da porosidade com o aumento da velocidade dos ventos nos diferentes passes de soldagem realizados.

Palavras-chave: Soldagem Arame tubular, Influência dos Ventos, Descontinuidades.

1. INTRODUÇÃO

No setor da construção naval, os processos de soldagem com arames tubulares fluxados (FCAW) já ultrapassaram os 50% nos estaleiros japoneses e norte americanos e estão próximos a 70% nos estaleiros europeus, segundo Andritsos e Perez-Prat (2000). No contexto nacional, a soldagem nos estaleiros é normalmente feita manualmente e está sujeita às condições climáticas como chuva e ventos. É de conhecimento de todos que as correntes de ventos causam grandes problemas de qualidade nos processos de soldagem. Contudo, apesar de recorrentes, ainda não existem informações precisas nem na literatura, tampouco dentro das empresas, acerca do grau de influência deste agente atmosférico sobre a qualidade final das soldas. Nos processos protegidos por gás, como é o caso do FCAW-G, a ação dos ventos pode ocasionar descontinuidades nas juntas soldadas, gerando uniões de baixa qualidade e retrabalho.

Araújo e Ferreira (2011) realizou um estudo sobre o efeito da velocidade dos ventos sobre a soldabilidade do aço ASTM A-131 grau AH 32 em aplicações navais. Foram realizados experimentos para analisar a microestrutura e as propriedades mecânicas de juntas soldadas pelo processo de arame tubular com proteção gasosa (FCAW-G) e autoprotetido (FCAW-S). O processo que foi mais prejudicado nestas condições foi o FCAW-G. Este autor ressalta, inclusive, que este processo não deve ser realizado sob o efeito de ventos. As principais descontinuidades encontradas nas análises foram porosidade e inclusões. O processo FCAW-S mostrou-se ideal para estas condições sendo inclusive sugerido pelo autor para utilização nos estaleiros da região.

Lessa (2010) realizou um estudo similar ao de Araújo e Ferreira (2011), referente à influência da ação dos ventos sobre a soldabilidade de aço ASTM A36 pelos processos FCAW-G e FCAW-S. Foram realizados ensaios sem a ação dos ventos e, com velocidades de 2,3; 3,3 e 4,4 m/s. Os resultados das análises mostraram a baixa qualidade das juntas soldadas sobre a ação dos ventos pelo processo FCAW-G, pois o cordão apresentou respingos e porosidade excessiva quando o gerador de ventos participava do processo. Este fenômeno não aconteceu nos corpos de prova com arame tubular autoprotetido.

O presente artigo tem por objetivo realizar um estudo acerca da influência das correntes de ventos sobre a qualidade das soldas realizadas em estaleiros. Para efeito de caracterização das condições, no que se refere à presença de ventos, será considerado neste trabalho o caso específico de um estaleiro localizado na região do vale do Itajaí, em Santa Catarina. Nesse estaleiro, como em muitos outros da região, as soldas são realizadas ao ar livre, sem proteção contra intempéries e ventos. Neste contexto, o presente estudo tem como propósito preencher uma lacuna tecnológica relacionada à falta de conhecimento acerca da soldagem realizada em estaleiros sujeitas as correntes de ventos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o propósito reproduzir ao máximo as condições do estaleiro, os corpos de prova foram fornecidos pelo mesmo bem como o eletrodo tubular. Os corpos de prova são de aço ASTM A36 e possuem dimensões de 300 x 110 x 10 mm. O eletrodo tubular possui 1,2 mm de diâmetro e sua especificação é AWS E71T-1C. Trata-se de um arame do tipo

básico-rutilico, com proteção gasosa, projetado para uso geral na soldagem de aço carbono em todas as posições de soldagem. O fabricante recomenda a utilização do mesmo com CO₂ puro.

Para a realização dos ensaios, foi montada uma bancada no Laboratório de Tecnologia da Soldagem na UFSC - Campus Joinville. A mesma conta com uma fonte de soldagem, unidade de refrigeração, sistema de deslocamento mecanizado de tocha, tracionador de arame, sistema de aquisição de dados, gerador de ventos, anemômetro e cilindro de CO₂, conforme mostrado na Fig. (1).

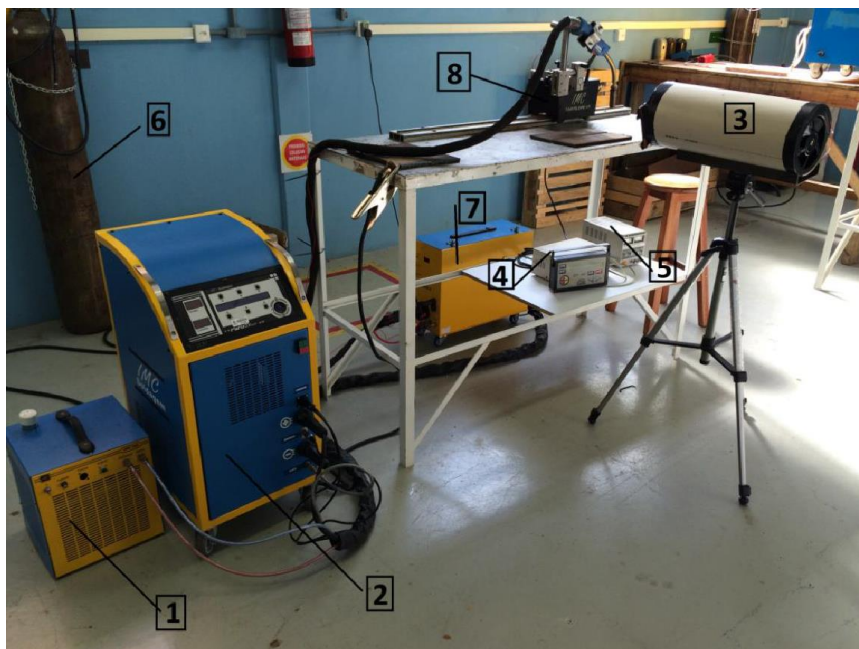


Figura 1. Bancada de Ensaio. (1) Unidade de Refrigeração; (2) Fonte de Soldagem; (3) Gerador de Ventos; (4) Acionador do Sistema de deslocamento automático; (5) Fonte de tensão variável; (6) Cilindro de CO₂ ; (7) Sistema tracionador; (8) Sistema de deslocamento.

A fonte de soldagem utilizada durante este trabalho foi a DigiPlus A7 e para a movimentação da tocha de soldagem, utilizou-se o Tartilope V1, que consiste em um sistema mecanizado que permite a movimentação com um grau de liberdade. O gás de proteção utilizado em todos os ensaios foi o CO₂ puro, sendo o mesmo gás de proteção utilizado no estaleiro e o recomendado pelo fabricante do eletrodo.

O sistema gerador de vento foi desenvolvido e trata-se de um ventilador industrial modelo RT-172 acoplado a um tubo de PVC de 600 mm de comprimento. Na extremidade do tubo foi acoplado uma chapa de *honeycomb* com o objetivo de tornar o fluxo de vento menos turbulento. O funcionamento do gerador de ventos se dá através da alimentação do ventilador por uma fonte de tensão variável. O controle da intensidade dos ventos é então feito através da tensão, ajustável entre zero e 30 V por meio de dois potenciômetros e, a corrente de saída varia de acordo com a carga indo de zero a 3 A. Para a medição da velocidade do vento foi utilizado um anemômetro modelo L519ls, trata-se de um equipamento digital com faixa de medição de 0 a 30 m/s com resolução de 0,2 m/s. O sensor de velocidade é constituído por um rotor de plástico acionado por indução magnética.

Para determinar as velocidades de vento a serem utilizadas, foram utilizados os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que possui uma vasta rede de estações meteorológicas automáticas (EMA). Tais estações coletam de minuto em minuto as informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, radiação solar) representativas da área em que estão localizadas. O INMET possui uma Estação meteorológica automática em Itajaí e as informações providas das medições desta estação foram utilizadas como referência neste trabalho. Na Figura 4 são mostrados tais dados.

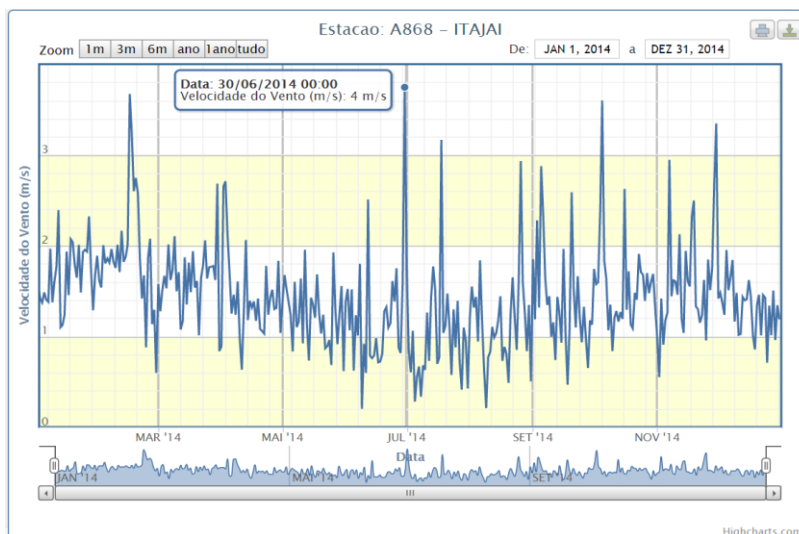


Figura 2. Análise dos ventos em Itajaí durante o ano de 2014.
Fonte: Dados da Rede do INMET

Utilizou-se como período de análise todo o ano de 2014 (Fig. (2)). Percebe-se através do gráfico que grande parte das medições encontram-se na faixa entre 1 e 2 m/s. A Fig. (2) mostra também o maior valor atingido, 4 m/s no dia 30 de junho de 2014 às 00:00 horas.

De posse dos dados de velocidade de vento no estaleiro, é necessário conhecer o comportamento do gerador de ventos produzido neste trabalho e a intensidade dos ventos. Para tanto, foram realizados alguns testes aplicando uma determinada tensão e corrente ao ventilador do gerador de ventos e capturando os resultados através do anemômetro localizado a 250 mm da saída do túnel, conforme Fig. (3).



Figura 3. Análise da tensão x velocidade do vento.

A tensão inicial aplicada foi de 9,0 V, pois tensões inferiores não acionavam o ventilador. Na Tab. (1) são apresentados os valores de velocidade de vento medidos para diversas tensões aplicadas.

Tabela 1. Tensão versus velocidade do vento.

Tensão	Velocidade a 250mm
9 V	0 m/s
10 V	1,2 m/s
11 V	1,8 m/s
12 V	2,3 m/s
13 V	3,2 m/s
14 V	3,5 m/s
15 V	3,7 m/s
16 V	3,8 m/s
17 V	4,1 m/s
18 V	4,4 m/s
19 V	4,7 m/s
20 V	4,9 m/s

A segunda parte deste experimento foi identificar o alcance transversal do vento. Para quantificar esta variável alimentou-se o túnel de vento com uma tensão fixa de 30 V e moveu-se o anemômetro transversalmente ao túnel de vento. Para tal análise considerou-se a posição zero o centro da saída do túnel. A Fig. (4) mostra os resultados obtidos. Percebe-se que o comportamento é similar a uma curva normal deslocada para a direita, ou seja, as maiores intensidades de ventos encontram-se dentro de uma faixa de 100 mm a direita do centro da saída do túnel de ventos. Acredita-se que isto ocorre devido à vorticidade ocorrida no interior do tubo.

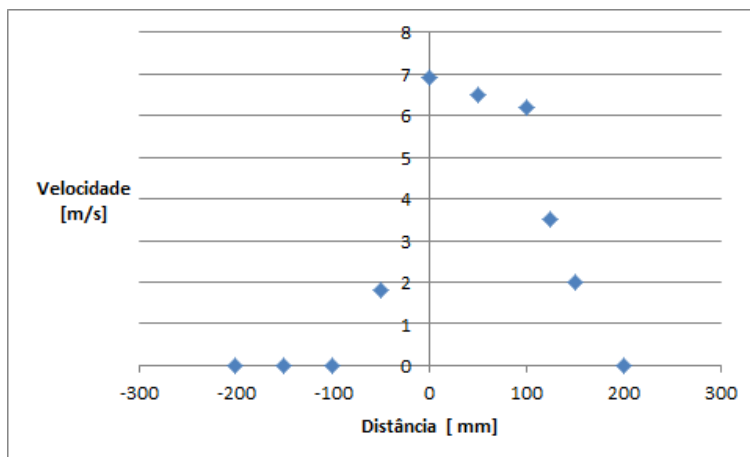


Figura 4. Teste de análise transversal.

Os corpos de provas disponibilizados pelo estaleiro possuem um chanfro em V, cortados a plasma. Visto que o sistema de deslocamento da tocha possui apenas um grau de liberdade, não foi possível a realização do movimento de tecimento realizado normalmente pelo soldador durante o processo de soldagem no estaleiro. Para a definição da tensão de soldagem, velocidade de alimentação de arame e corrente de soldagem, utilizou-se os valores utilizados no estaleiro como ponto de partida. Como a solda no estaleiro é realizada manualmente por soldadores, não se tem conhecimento das variáveis velocidade de soldagem (V_s) e distância entre o bico de contato e a peça (DBCP), logo, fez-se necessário a realização de ensaios preliminares para a determinação destas variáveis. Optou-se por utilizar uma velocidade de deslocamento de tocha de soldagem de 35 cm/min e uma DBCP de 14 mm.

Através destes ensaios preliminares de deposição sobre chapas, foi possível observar que os parâmetros utilizados no estaleiro geravam um cordão com baixa molhabilidade. Alteraram-se então os parâmetros e se chegou a um cordão com características mais adequadas utilizando os valores apresentados na Tab. (2).

Tabela 2. Parâmetros de soldagem utilizados.

Parâmetro	Valor
Tensão de arco	25 V
Corrente de soldagem média	150 A
DBCP	14 mm
Velocidade de soldagem	35 cm/min
Velocidade de alimentação de arame	5 m/min
Vazão de gás	18 L/min

Definiu-se, inicialmente, que a análise dos ventos será realizada dentro de uma faixa de velocidades de 0 e 4 m/s. O gerador de ventos estará localizado a uma distância de 250 mm do centro da junta e o centro do gerador está alinhado ao meio da chapa. As análises serão realizadas em quatro passes, sendo eles: de raiz, de preenchimento e dois de acabamento conforme mostra a Fig. (5).

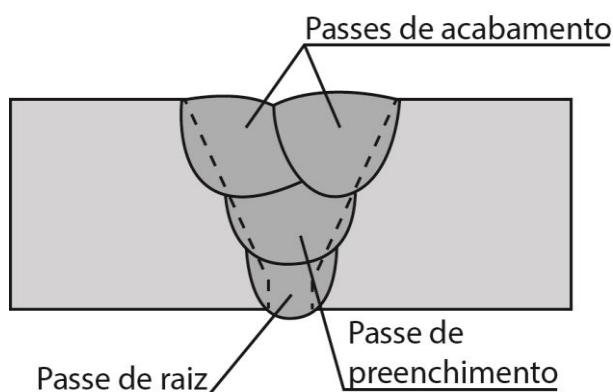


Figura 5. Sequência de passos de soldagem.

A abordagem inicial previa cinco análises com intervalos de tensão entre 10 e 16 V, o suficiente para atingir velocidades de 0 à 4 m/s. No entanto, ao induzir uma tensão 10 V percebeu-se uma grande porosidade na superfície do cordão e, com 12 V já não foi possível completar a solda de raiz devido a intensidade do vento que prejudicava a abertura do arco, deixando-o muito instável, logo, a utilização da tensão 16 V, provavelmente, inviabilizaria soldagem. Portanto, foram realizados quatro ensaios, sendo um sem a influência dos ventos e os demais com tensão de 9,3, 10 e 12 V, consequentemente, com velocidades do vento de 0,5, 1,2 e 2,2 m/s.

Os corpos de provas foram ponteados utilizando um gabarito de 4 mm para certificar-se que não haveria mudanças no espaçamento entre as chapas. Para o posicionamento dos corpos de prova, criou-se um suporte para que os corpos de prova pudessem ficar na mesma altura que foi realizado o teste das análises do vento (50 mm). Tal suporte também permite que tenha uma circulação de ventos na parte inferior dos corpos de prova, ou seja, o passe de raiz também será afetado pela ação dos ventos. O suporte pode ser visto na Fig. (6), abaixo do corpo de prova.



Figura 6. Posicionamento do corpo de prova.

Para analisar as soldas resultantes, retirou-se duas amostras de cada cordão. As amostras foram preparadas com lixas de 120, 220, 360, 600 e 1200 mesh. Após o processo de lixamento, foi realizado o ataque químico com Nital 2%. No total, duas macrografias foram realizadas de cada cordão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Fig. (7), (8) e (9) mostram as soldas realizadas nos corpos de provas sem a ação dos ventos e com ventos de 0,5 e 1,2 m/s, mostrando os passes de acabamento e raiz. É possível perceber que com ausência dos ventos não houve descontinuidades aparentes, por outro lado, percebe-se uma grande quantidade de poros nos passes de acabamento dos corpos de prova realizados com velocidade de vento de 0,5 e 1,2 m/s.

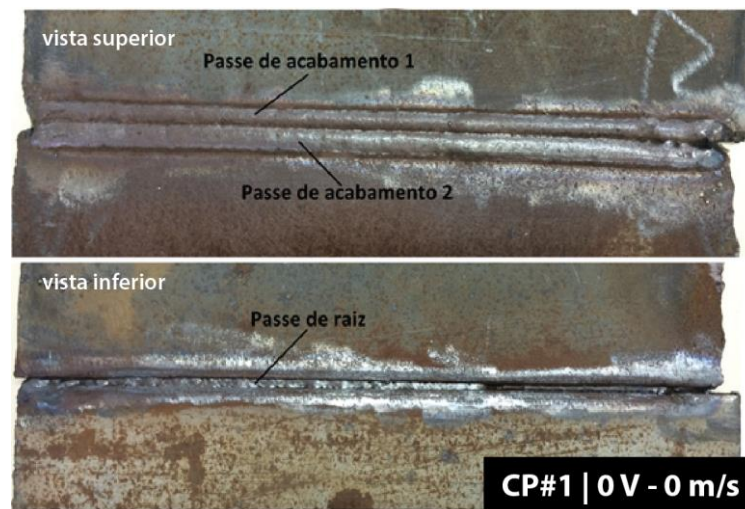


Figura 7. Cordões de solda realizados no corpo de prova 1 (CP#1).

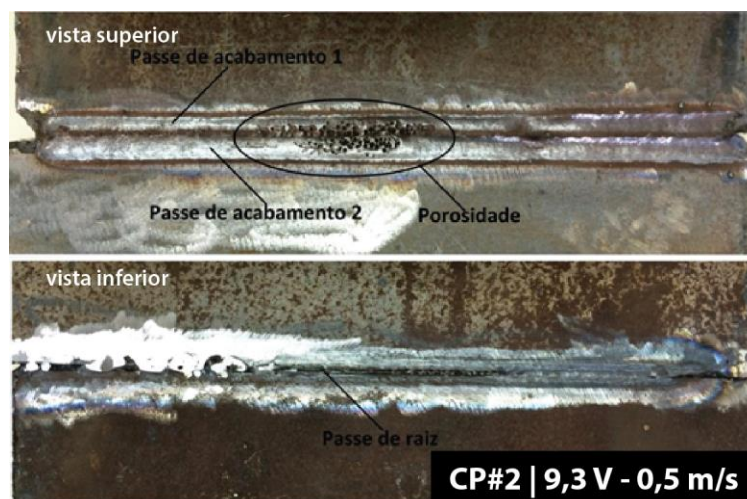


Figura 8. Cordões de solda realizados no corpo de prova 2 (CP#2).

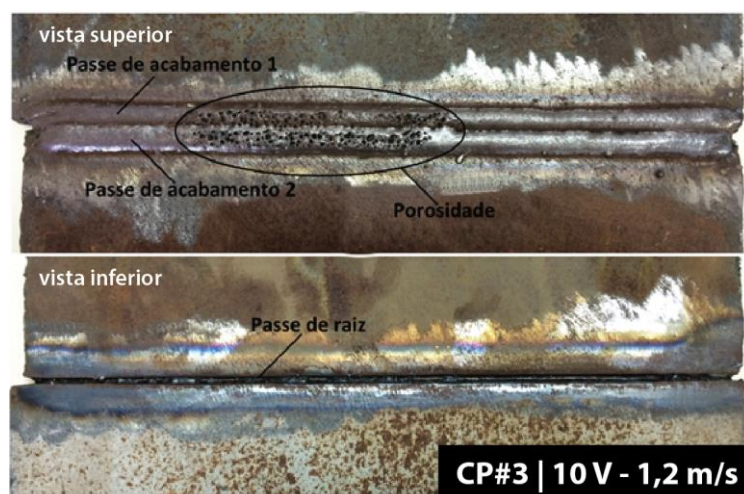


Figura 9. Cordões de solda realizados no corpo de prova 3 (CP#3).

A Fig. (10) diz respeito ao corpo de prova com vento de 2,2 m/s, em que é possível observar que não foi possível estabelecer um passe de raiz. Acredita-se que isto se deve a instabilidade provocada pelos ventos que impossibilitou a realização deste cordão. As análises oriundas do sistema de aquisição de dados, que se encontram na Fig. (10), comprovam esta afirmação. É possível notar que entre o período de 39 à 43 segundos, correspondentes a localização de 227 à 250 mm, acontecem cinco eventos no qual a corrente se iguala à 0 A, identificando assim a extinção do arco. Como não foi possível realizar o passe de raiz, este corpo de prova foi descartado da análise macrográfica.

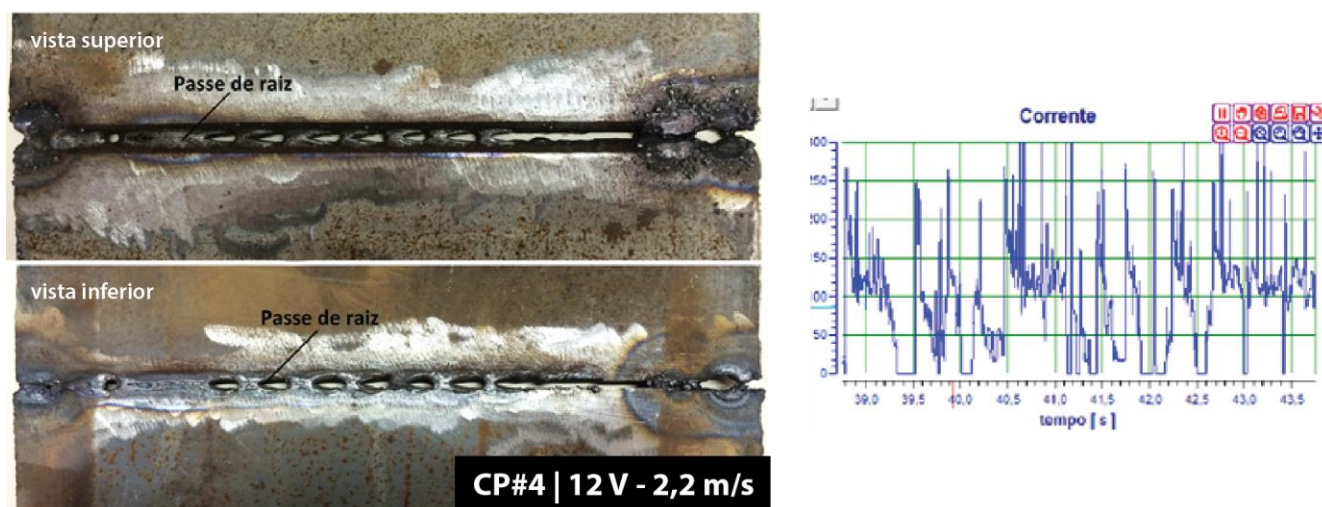


Figura 10. Cordão do passe raiz com ventos a 2,2m/s e gráfico corrente x tempo.

A Fig. (11) apresenta em maiores detalhes as porosidades encontradas nos passes de acabamento dos corpos de prova #1, #2 e #3. O aumento gradativo da quantidade dos poros acompanhou ao aumento da intensidade do vento incidente durante o processo de soldagem, comprovando, desta forma, que pequenas alterações na intensidade dos ventos já são suficientes para gerar um aumento considerável de discontinuidades. O gás de proteção existentes no processo de soldagem a arame tubular auxilia na estabilidade do arco e, a incidência dos ventos sobre o mesmo deslocamento impossibilitando desta forma de realizar a proteção adequada ao processo.

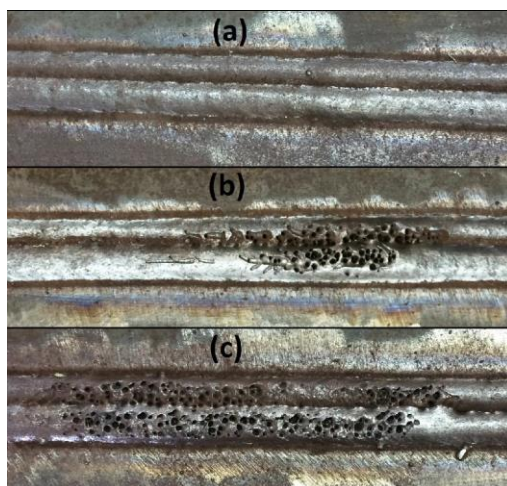


Figura 11. Porosidades – (a) condição sem ventos; (b) Ventos à 0,5 m/s; (c) Ventos à 1,2 m/s.

Diante do fato que no presente trabalho utilizou-se uma fonte do tipo tensão constante e que o modo de transferência do metal fundido do arame foi goticular, espera-se um bom comportamento da corrente durante o processo de soldagem. A Fig. (12) apresenta os gráficos de corrente por tempo considerando um período de 15 a 25 s, equivalentes a 87 à 146 mm do passe de preenchimento. Percebe-se que não há grandes variações na corrente na condição sem ventos (CP#1), a corrente mantém-se em sua média de 150 A tendo apenas uma pequena inflexão em 23,5 s, mostrando, desta forma, que o arco permaneceu estável. Contudo, na condição de ventos a 0,5 m/s (CP#2), percebe-se uma variação maior da corrente, ocorrem 14 eventos onde a corrente ultrapassa o valor de 200 A e nota-se uma grande variação durante todo o período de análise. Observa-se desta forma que o passe de preenchimento, provavelmente, terá discontinuidades referentes a esta instabilidade do arco quando utilizado o túnel de vento.

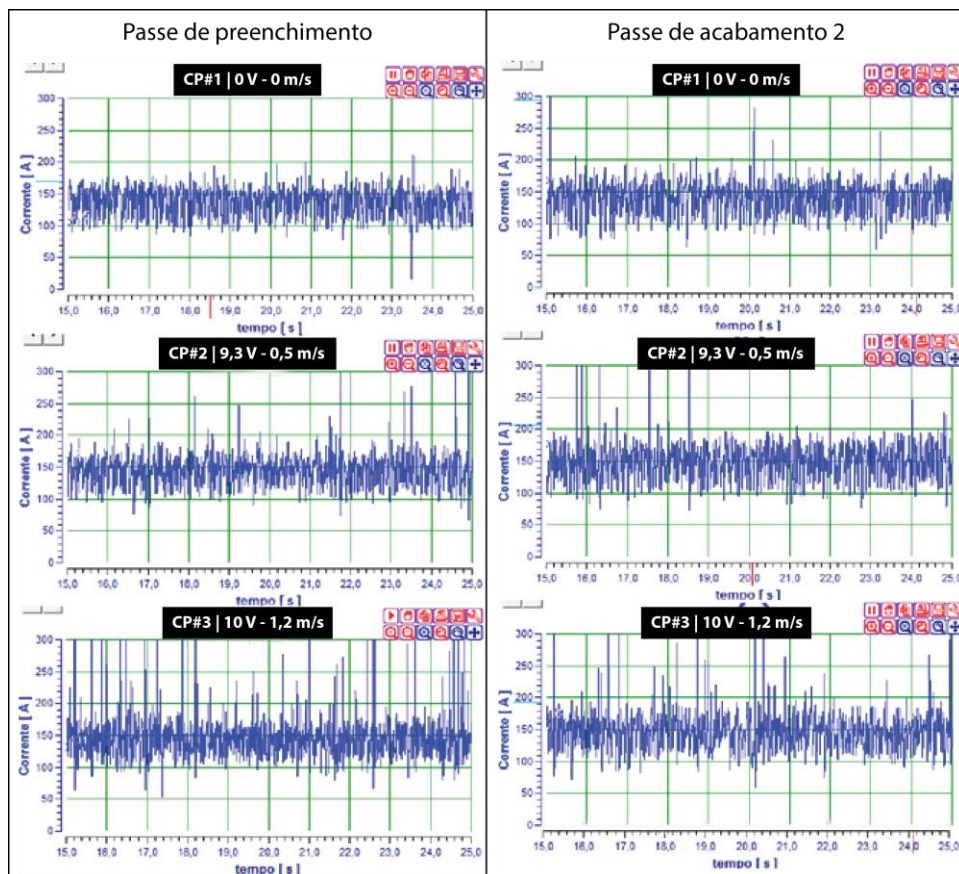


Figura 12. Corrente x Tempo no passe de preenchimento e acabamento 2.

A Fig. (12) também apresenta os gráficos de corrente por tempo dos passes de acabamento 2. Utilizou-se o mesmo intervalo descrito na análise anterior. Observa-se novamente que há um aumento gradual entre a condição sem vento até a condição de ventos a 1,2 m/s, inclusive muito similar ao passe de preenchimento. Já se esperava que isto fosse acontecer devido às fotos expostas anteriormente. Os gráficos apenas comprovam que a aparição destes poros é, em grande parte, ocasionada pela instabilidade do arco e a falta de proteção do gás de proteção.

Para análise dos passes de raiz e preenchimento foram realizadas macrografias (Fig. (13)). Analisando a macrografia do CP#1, percebe-se que sem a ação dos ventos não houve nenhuma porosidade e o cordão apresentou uma completa fusão entre o metal de base e os cordões de solda, mostrando que os parâmetros de soldagem utilizados produzem cordões de qualidade aceitável. Já no CP#2, a solda apresenta porosidade em todos os quatro cordões que compõem a junta. O CP#2 – B destaca-se por apresentar uma maior concentração de poros, resultado este que já era esperado visto que a amostra foi retirada no ponto de maior incidência de ventos de acordo com a Fig. (4).

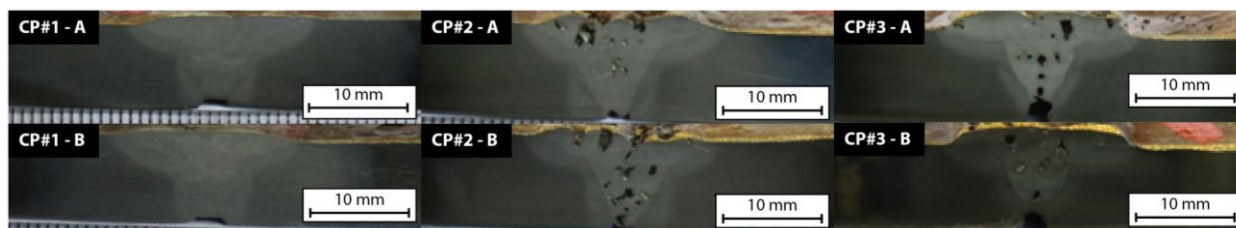


Figura 13. Macrografias realizadas

O mesmo comportamento do CP#2 pode ser observado no CP#3, em que, novamente, a amostra B apresenta maior quantidade de poros. Por fim, percebe-se, analisando as macrografias da Fig. (13), que conforme a intensidade dos ventos aumenta, há uma maior falta de penetração da raiz. Uma das hipóteses para esse comportamento refere-se novamente a instabilidade do arco, pois a disposição das chapas na bancada permitia um fluxo de ventos na parte inferior do corpo de prova o que pode ter influenciado na falta de penetração. Outra hipótese se refere a não homogeneidade da junta, pois os chanfros possuíam descontinuidade devido a sua preparação.

Com base nas análises macrográficas realizadas não foi detectado quaisquer outros tipos de descontinuidades, como por exemplo trincas, ressaltando a qualidade dos parâmetros utilizados. A condição imposta no ensaio sem presença de ventos (CP#1) apresentou um cordão com boa aparência em toda a sua extensão, característica essa que não se pode constatar nos demais ensaios que apresentaram porosidades em partes dos cordões internos e externos.

4. CONCLUSÕES

Com esse trabalho, conclui-se que há perda significativa de qualidade da soldagem com arame tubular na presença de ventos, mesmo estes sendo em pequenas intensidades. Observou-se um gradativo aumento na quantidade de poros na superfície do cordão com os mesmos. Os resultados obtidos pelo sistema de aquisição de dados do processo de soldagem apontam que as correntes de ventos deixam o arco instável, gerando dessa forma, uma grande quantidade instabilidades durante o processo. A análise macrográfica identificou que também ocorreu porosidade no interior do cordão de solda, intensificando assim a problemática, visto que esta análise nem sempre é realizada in loco. Além disso, foi apresentada uma falta de penetração da raiz nos corpos de prova sujeitos a uma maior intensidade de ventos.

5. REFERÊNCIAS

- Andritsos, F., e Perez-Prat, J., 2000, “The automation and integration of production processes in shipbuilding”, State-of-the-Art report, Joint Research Centre. European Commission, Europe.
- Araújo A. C. S., e Ferreira R. A. S. Estudo da Velocidade dos Ventos sobre a Soldabilidade do Aço AH 32 em Aplicações Navais. In: XIX CONIC, III CONITI, VII JOIC; 2011.
- Lessa, R. M., 2010, “Estudo da influência da ação dos ventos sobre a soldabilidade de aço baixo carbono soldado pelos processos FCAW-G e FCAW-S”, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.