

RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA PRÉ PASSE E OS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DO CORDÃO DEPOSITADO POR ARCO SUBMERSO

Miguel Guilherme Antonello, antonello@ctism.ufsm.br¹

William Lemos Bevilaqua, bevilaquawilliam@gmail.com¹

Cristiano José Scheuer, cristiano.scheuer@gmail.com¹

¹Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria-CTISM, Av. Roraima, 1000, Prédio 5, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, CEP: 97105-900.

Resumo: Neste trabalho foi analisado a relação entre a temperatura pré passe e os parâmetros de solda como corrente, tensão e velocidade de deslocamento da tocha e seus impactos nas características geométricas do cordão de solda. Foi utilizado uma fonte inversora com o processo arco submerso (SAW), metal base de aço carbono SAE 1020, metal de adição da classificação AWS A5.17 EL12 com 2,4 mm de diâmetro e fluxo classe AWS A5.17 F7A2-EL12. Para a verificação da temperatura foi utilizado uma câmera termográfica marca FLIR modelo E60 e o software FLIR Tools para a análise das imagens termográficas. A obtenção dos parâmetros instantâneos de solda como corrente e tensão foram obtidos com o sistema de aquisição de dados de soldagem (SAP v4.28), juntamente obteve-se os valores médios destes parâmetros e a avaliação da regularidade da transferência metálica durante a soldagem. Para a análise da geometria do cordão de solda foi realizado um corte transversal a direção de soldagem e realizado macrografias das amostras e uso de software de análise de imagens, com isso identificando a largura, penetração e reforço dos cordões de solda. A análise da relação entre a temperatura pré passe e os parâmetros de solda foi realizado com o uso da correlação linear simples e auxílio de gráfico de bolhas onde pode-se verificar interdependência entre as variáveis.

Palavras-chave: arco submerso, temperatura pré passe, geometria do cordão

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de unir materiais é inerente ao processo de fabricação de produtos, inclusive a união de materiais metálicos. Uma das formas de unir materiais é por meio do processo de soldagem, e dentre os processos de soldagem tem-se o processo de solda por arco submerso. O processo de soldagem por arco submerso, designado pela AWS como SAW (*Submerged Arc Welding*) é caracterizado pela imersão do arco elétrico em um fluxo protetor impedindo que se possa enxergar luminosidades, respingos e faíscas. Apresenta uma alta taxa de deposição, é um processo automático que pode ser utilizado nas posições plana e horizontal e recomenda-se que se utilize para soldas de comprimentos acima de um metro (Wainer, Brandi e Mello, 1991).

Além de realizar a proteção da poça de fusão, o fluxo auxilia na remoção de impurezas através das reações químicas que também podem adicionar elementos de liga no cordão de solda. A densidade de corrente é alta e devido o arco estar imerso no fluxo o rendimento térmico é próximo de 100% (Machado, 1996).

Os consumíveis do processo arco submerso, o arame e o fluxo, ao serem fundidos pelo arco elétrico formam a escória que é uma porcentagem deste fluxo que se funde e se deposita na parte superior do cordão. Auxiliando nas trocas térmicas do cordão depositado. Segundo Santos (2015), este processo é baseado em cinco elementos que são o calor gerado pela corrente elétrica através do arco, o arame de soldagem, as peças a serem soldadas, o fluxo para arco submerso e o movimento do cabeçote de soldagem.

Como resultado do processo de fabricação dos fluxos, tem-se os fluxos fundidos que apresentam maior estabilidade do arco elétrico em correntes elevadas, tem maior consistência da composição química do metal depositado, mas apresentam menor resistência ao óxido de ferro. Já os fluxos aglomerados têm boa atuação contra óxido de ferro, permitem a adição de elementos de liga, estes já devem ser armazenados com controle de temperatura pois absorvem umidade. Os fluxos ainda podem ser divididos em neutros, que são os que não alteram significativamente a composição e as características mecânicas do metal de solda. Fluxos ativos proporcionam alteração nas características mecânicas e químicas do metal depositado e proporcionam maior resistência a trincas e porosidades. Por fim os fluxos ligados são aqueles que possuem elementos de ligas e suas características mecânicas e químicas está relacionada com o elemento utilizado que pode ser cromo, níquel, molibdênio, cobre e outro (Santos, 2015).

A alimentação do fluxo se dá a partir do reservatório acoplado ao cabeçote, que alimenta, por gravidade, continuamente o sistema. O movimento pode ser de duas formas, ou o cabeçote se movimenta em relação a peça a ser soldada, ou a peça se movimenta e o cabeçote permanece fixo. A saída do fluxo é independente da alimentação do arame e pode ser alimentado à frente do eletrodo ou de forma concêntrica em relação a ele. Desta forma, pode-se fazer combinações experimentais alterando tanto o fluxo como o eletrodo (Wainer, Brandi e Mello, 1991).

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009), a soldagem a arco submerso se caracteriza por ser um processo estável e suave, que gera poucos fumos de soldagem e quase nenhum respingo, e resulta em cordões com acabamento uniforme e com uma transição suave entre o metal de solda e o metal de base. Complementam destacando que a utilização de uma combinação adequada entre metal de adição, fluxo e técnica permite a soldagem tanto para união quanto enchimento e revestimento de peças metálicas.

As variáveis do processo de soldagem a arco submerso podem ser definidas individualmente, mas é a combinação destas variáveis que pode resultar em um cordão de boa ou má qualidade. Desta forma é importante conhecer a interdependência e a influência de cada parâmetro durante a soldagem.

Conforme Quites e Dutra (1979), os parâmetros mais importantes deste processo são: corrente (tipo, intensidade e polaridade), tensão, velocidade de avanço do eletrodo (consumo), comprimento do eletrodo, composição do fluxo e velocidade de soldagem.

Paranhos e Souza (1999), afirmam que são as variáveis do processo que determinam o tamanho do cordão, penetração, diluição, assim como o surgimento de defeitos como mordeduras, trincas, inclusões e porosidades. Portanto, torna-se importante estudá-las separadamente, de forma a adquirir o conhecimento necessário ao interferir ou definir um procedimento de soldagem. Com isso é possível obter um cordão de formato adequado e livre de defeitos.

Silva (2014), explica que na soldagem com corrente contínua podem utilizar-se fontes de alimentação com curva característica de corrente constante (controle da velocidade de alimentação do fio quando há flutuações de tensão no arco), ou com característica de tensão constante (quase plana, em que uma pequena variação na tensão do arco provoca uma grande variação na corrente, aumentando ou diminuindo quase instantaneamente a velocidade de fusão do arame).

Muitos fatores afetam a qualidade do cordão de solda depositado, podendo se destacar o arame, a basicidade do fluxo, as variáveis do processo de soldagem, limpeza, taxa de resfriamento entre outros. Para revestimentos soldados de solda, os elementos de liga adicionais necessários para proporcionar uma superfície dura usualmente vêm do arame de solda e do fluxo neutro, assim como arames tubulares com fluxo interno também são usados em conjunto com o fluxo externo. Os fluxos propensos a absorver umidade, principalmente os aglomerados, devem ser secos de acordo com as instruções do fabricante, pois a presença de umidade afetará as propriedades mecânicas do cordão de solda (Davies, 1993).

Silva (2014) em consonância com Santos (2015), ressaltam que a intensidade de corrente é a variável mais influente do processo, pois condiciona a velocidade de fusão do arame, a penetração e a quantidade de material de base que participa na fusão. Mantendo-se fixa a velocidade de deslocamento do cabeçote, se a intensidade de corrente for elevada, a profundidade da penetração também será aumentada podendo ocasionar defeitos como perfuração do metal base, mordedura e cordões muito estreitos. Ainda podendo ocorrer um alargamento da zona termicamente afetada (ZTA) e uma distorção do metal de base. De maneira oposta, se a intensidade de corrente for muito baixa produzirá um arco instável, ocasionando falhas de penetração e fusão.

Quando se usa corrente contínua (CC), pode-se conectar o arame na polaridade direta (CC-) ou polaridade inversa (CC+). Segundo Paranhos e Souza (1999), recomenda-se o uso de CC polaridade positiva (CC+), para a maioria das aplicações de soldagem a arco submerso, que proporciona uma maior penetração do cordão, maior resistência a porosidade e melhor controle do formato e aparência do cordão de solda. Já o uso de polaridade direta (CC-), oferece uma taxa de deposição cerca de 30% superior à obtida com CC+, mas produz menor penetração.

A tensão do arco, de acordo com Wainer, Brandi e Mello (1992), somado aos autores Marques, Modenesi e Bracarense (2009), influencia a forma da seção transversal do cordão, a largura do cordão, o comprimento do arco e o consumo de fluxo, e de forma oposta na penetração e no reforço. Desta forma, mantendo-se as demais condições constantes, o aumento da tensão provoca um cordão mais plano e mais largo, um aumento no consumo de fluxo e um aumento do teor de liga proveniente do fluxo, o que pode ser vantajoso nas soldas de revestimento quando se usa fluxo ligado. Já em tensão excessivamente alta pode-se dificultar a remoção da escória e produzir cordão em forma de chapéu que são sujeito a trincas.

O deslocamento do cabeçote, no sentido da solda, é a velocidade de deslocamento da soldagem. Paranhos e Souza (1999), destacam que a velocidade de soldagem controla o tamanho do cordão, mantendo as demais variáveis constantes, um aumento excessivo da velocidade de soldagem acarreta o surgimento de mordeduras, o apagamento do arco e propicia o aparecimento de porosidades e trincas. Já velocidades muito baixas produzem um cordão em forma de chapéu e forma-se uma poça de fusão muito grande em torno do arco elétrico.

A distância do tubo de contato da tocha até a ponta do arame que atinge a peça de trabalho é chamada de *stickout*, e a extensão do arame é submetida ao aquecimento por resistência durante a passagem de corrente. Portanto, o aumento do *stickout* aumenta a taxa de deposição e reduz a penetração. Os autores Paranhos e Souza (1999) indicam que o *stickout*, normalmente deve ser mantido entre 19 e 30 mm na maioria das aplicações, já Wainer, Brandi e Mello apresentam uma distância entre 20 e 35 mm.

De acordo com Silva (2014), a posição do cabeçote com relação a peça interfere de forma direta na geometria que o cordão irá assumir. Se o arco está direcionado para frente, apontado para a região que ainda não está soldada, é dito na posição “empurrando” que se obtém penetração superficial e reforço mínimo. Quando o arco está direcionado para trás, apontado para a zona onde o metal já se encontra fundido, é chamado de posição “puxando” que proporciona uma

maior penetração e o máximo reforço. Quando o cabeçote está na posição perpendicular à região da solda é dito a posição da tocha neutra, que proporciona penetração e reforço intermediário aos anteriormente citados.

Durante o processo de solda, a poça fundida chega a temperatura de 2500 a 3000 °C e a solda pode ser considerada uma região de aço fundido. Desde que as regiões próximas da solda possam ser consideradas relativamente frias, apresenta-se um gradiente térmico da solda para o material base. Isto possibilitará encontrar estruturas cristalinas de vários tipos nas vizinhanças e grandes alterações estruturais ocorrem quando é alterado a taxa de resfriamento (Davies, 1992).

Se a massa do metal de base é pequena e o resfriamento é muito rápido, a solda poderá ser resistente e dura, mas frágil devido a presença de martensita e isto será particularmente se o carbono do material é alto. Caso o resfriamento seja lento, estruturas de várias formas de ferrita e perlita são encontradas, proporcionando baixa tensão e decréscimo de dureza, do mesmo modo observa-se um aumento da ductilidade e resistência ao impacto. Evidentemente que a junta a ser soldada requer considerações sobre quais propriedades são desejadas na solda final como: tenacidade, ductilidade, resistência ao impacto, resistência ao desgaste e abrasão (Davies, 1992).

A literatura corrente cita que o processo arco submerso é conhecido como um processo que apresenta alta produtividade e qualidade do cordão de solda. Entretanto, necessita ainda de informações seguras de suas principais características em termo de qualidade, produtividade, operacionalidade e aplicações para uma determinada condição de soldagem (Ferraresi, Fernandes e Vilarinho, 2015).

Desta forma, o propósito deste trabalho é analisar as características geométricas do cordão de solda depositado sobre o material SAE 1020 pelo processo a arco submerso na posição plana com a variação da temperatura de pré passe e a combinação dos parâmetros de solda como corrente e variação de tensão. Mantendo-se constante a distância do bico de contato até a peça (*stickout*) e a velocidade de deslocamento do cabeçote. Foram definidas três condições de temperatura pré passe e quatro condições de tensão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização deste trabalho, foram utilizados 12 corpos de prova de aço SAE 1020, sendo depositados cordões do tipo “*bead-on-plate*”. A região de deposição do cordão foi limpa por escovamento, sendo toda a contaminação superficial (óxido e graxas) removidos. A Figura 1 apresenta as dimensões da chapa teste utilizada.

Foi utilizado como equipamento para soldagem, uma fonte inversora para o processo arco submerso, modelo Autoarc 630, selecionada na característica estática corrente constante (CC) conectada na polaridade inversa (CC+). Os consumíveis utilizados foram arame para arco submerso de classificação AWS A5.17 EL12 com 2,38 mm de diâmetro e fluxo aglomerado neutro de classificação AWS A5.17 F7A2-EL12. Os fluxos foram secos a 300 °C em estufa de secagem e armazenados a 150 °C em estufa de armazenamento.

Para atingir a temperatura de pré passe nos corpos de prova, foi utilizado um forno modelo F-50 com capacidade de 50 kg, potência de 2500 W e controle de temperatura até 400°C. As imagens termográficas foram capturas com uma câmera infravermelha da marca/modelo FLIR E60 e analisadas no software FLIR Tools.

Os parâmetros de soldagem foram monitorados e adquiridos com o uso de sistema de aquisição de dados de soldagem SAP v4.28 com taxa de aquisição de 5000 Hz. Neste sistema foi possível monitorar o comportamento da tensão e corrente na região de corte para macroestrutura.

Para verificação da macroestrutura da seção transversal do cordão de solda, os corpos de prova foram seccionados conforme a Fig. (1). Logo após, foram lixados com lixas de carbetto de Silício (SiC) de granulação 80 até 600. Para revelação da macroestrutura foi utilizado o reagente Nital 10% (90 mL de CH₃CH₂OH + 10 ml de HNO₃). O método de ataque, consistiu em imergir a superfície no reagente durante 30 s a temperatura ambiente. A aquisição de imagens foi realizada por meio de um scanner, com uma resolução de 400 dpi.

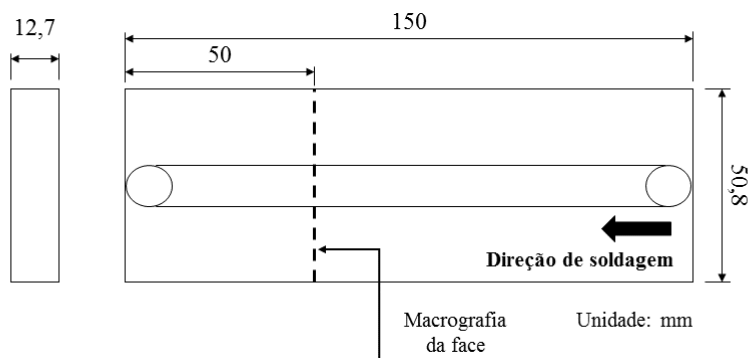


Figura 1 - Dimensões do corpo de prova e região de corte para macrografia.

Os parâmetros geométricos analisados foram a largura do cordão (L), reforço (R) e penetração (P) que estão mostrados na Fig. (2) e foram mensurados empregando o software de análise de imagem *ImageJ*. Além destes parâmetros medidos, foram calculados a diluição da solda no metal de base (%) e a convexidade do cordão (%).

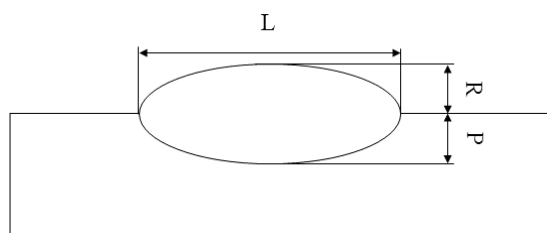


Figura 2 – Parâmetros geométricos do cordão de solda.

O planejamento para a realização dos ensaios foi determinado pela definição dos parâmetros de temperatura pré passe inicial, a manutenção da corrente de soldagem constante, a tensão de soldagem (V) calculada de acordo com Modenesi (2003) indicado na Eq. (1), que segundo este autor pode ser utilizado para correntes (I) de 200 até 1500 A. A tensão de soldagem efetivamente utilizada durante a soldagem e a velocidade de deslocamento do cabeçote como indicado na fonte (m/h) e também em mm/s.

$$V = 3,54 \times I^{0,344} \quad (1)$$

A Tabela 1 sintetiza as informações sobre o planejamento dos parâmetros de soldagem, indicando o código de cada corpo de prova na primeira coluna, seguido da temperatura pré passe, a corrente, tensão e velocidade de soldagem.

Tabela 1 - Planejamento dos parâmetros de soldagem.

Corpo de Prova	Temperatura de pré passe (°C)	Corrente (A)	Tensão Calculada (V)	Tensão Usada (V)	Velocidade (m/h)	Velocidade (mm/s)
A1	35	460	29,17	27	25	6,94
A2	35	460	29,17	29	25	6,94
A3	35	460	29,17	31	25	6,94
A4	35	460	29,17	33	25	6,94
A5	140	460	29,17	27	25	6,94
A6	140	460	29,17	29	25	6,94
A7	140	460	29,17	31	25	6,94
A8	140	460	29,17	33	25	6,94
A9	250	460	29,17	27	25	6,94
A10	250	460	29,17	29	25	6,94
A11	250	460	29,17	31	25	6,94
A12	250	460	29,17	33	25	6,94

Os corpos de prova A1, A2, A3 e A4 foram soldados a temperatura ambiente, os corpos de prova A5, A6, A7 e A8 foram deixados no forno a temperatura de 160 °C, já os corpos de prova A9, A10, A11 e A12 foram mantidos a temperatura de 330 °C. Todos os corpos de prova com pré aquecimento foram mantidos no mínimo por 24 horas para homogeneizar a temperatura de pré passe.

O sistema de aquisição dos dados de soldagem SAP, foi conectado na fonte conforme as indicações do fabricante contidas no manual do sistema. Já o carregamento com o fluxo seco, foi feito momentos antes de cada conjunto de testes.

Para o cálculo da energia de soldagem (E) foi utilizado a Eq. (2), retirada de Marques e Modenesi (2014). E conforme indicado pelos autores para o processo arco submerso um rendimento térmico (η) entre 0,80 e 0,99, foi adotado o valor de 0,90. A tensão é indicada por V, a corrente por I e a velocidade de deslocamento por v.

$$E = \eta \cdot \frac{V \cdot I}{v} \quad (2)$$

Para a realização de cada cordão de solda, primeiramente foi inserido os parâmetros de corrente, tensão e velocidade de soldagem na fonte, posteriormente posicionado o corpo de prova identificado (puncionado) na mesa de solda. Após a realização dos cordões de solda, os corpos de prova foram deixados a temperatura ambiente para resfriamento e posterior corte na região de interesse.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando os resultados obtidos de temperatura pré passe adquiridos com o uso da câmera termográfica, foi realizado a média das temperaturas dos quatro corpos de prova, com o levantamento da temperatura nos pontos inicial, central e final de cada peça a ser soldada, conforme mostra a Fig. (3). A realização do cordão de solda era feito no instante seguinte da aquisição da imagem térmica, nota-se que ao retirar do forno ocorreu a diminuição da temperatura dos corpos de prova, de 160 °C para 140 °C do A5 até A8, já do A9 até A12 diminuiu de 330 °C para 250 °C.

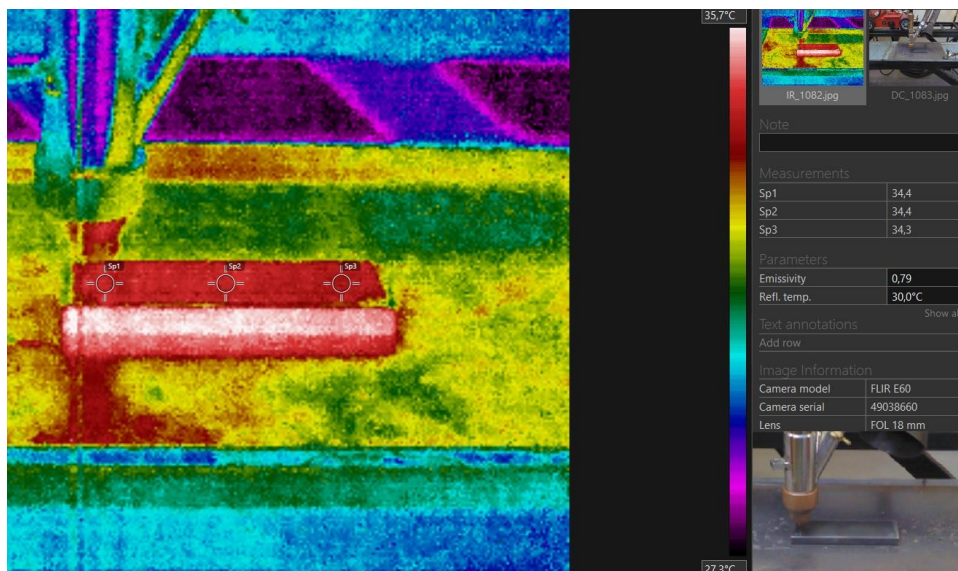


Figura 3 – Imagem termográfica da chapa de teste em temperatura ambiente.

Com isso, inseriu-se as informações de temperatura e parâmetros de soldagem na Tab. (2), juntamente com a energia de soldagem em (kJ/mm) e os demais parâmetros levantados.

Tabela 2 – Visão geral dos resultados obtidos em função dos parâmetros de soldagem utilizados.

Corpo de Prova	Temperatura de pré passe (°C)	Corrente (A)	Tensão Calculada (V)	Tensão Usada (V)	Velocidade (m/h)	Velocidade (mm/s)	Energia (kJ/mm)	Largura do Cordão L (mm)	Penetração P (mm)	Relação $r=P/L$	Reforço R (mm)	Diluição %	Convexidade %
A1	35	460	29,17	27	25	6,94	1,610	9,20	6,41	0,697	4,14	58,94%	45,00%
A2	35	460	29,17	29	25	6,94	1,729	10,79	6,15	0,570	4,31	57,63%	39,94%
A3	35	460	29,17	31	25	6,94	1,848	12,44	6,60	0,531	2,59	67,44%	20,82%
A4	35	460	29,17	33	25	6,94	1,967	14,36	6,35	0,442	2,56	66,03%	17,83%
A5	140	460	29,17	27	25	6,94	1,610	10,98	7,04	0,641	4,63	57,09%	42,17%
A6	140	460	29,17	29	25	6,94	1,729	14,59	4,92	0,337	2,87	60,53%	19,67%
A7	140	460	29,17	31	25	6,94	1,848	12,12	7,17	0,592	3,36	64,70%	27,72%
A8	140	460	29,17	33	25	6,94	1,967	16,97	4,14	0,244	2,48	58,65%	14,61%
A9	250	460	29,17	27	25	6,94	1,610	15,43	6,89	0,447	4,12	57,71%	26,70%
A10	250	460	29,17	29	25	6,94	1,729	12,01	6,67	0,555	3,46	63,84%	28,81%
A11	250	460	29,17	31	25	6,94	1,848	13,44	6,59	0,490	2,97	63,44%	22,10%
A12	250	460	29,17	33	25	6,94	1,967	14,80	6,68	0,451	2,89	65,22%	19,53%

Realizada a solda em cada corpo de prova, partiu-se para a etapa de corte e preparação das amostras para posterior realização das macrografias. Na Figura (4) pode-se observar a configuração dos cordões de solda nos corpos de prova nas suas respectivas temperaturas pré passe e energia de soldagem. Após o escaneamento das peças soldadas e atacadas para a obtenção das imagens digitalizadas, foi utilizado o programa *ImageJ* para o levantamento das dimensões de cada parâmetro geométrico de interesse.

A Figura (4) representa, da esquerda para a direita na temperatura de 35 °C os corpos de prova A1, A2, A3 e A4. Subindo para a temperatura média pré passe de 140 °C, se tem os corpos de prova A5, A6, A7 e A8. Já na temperatura de 250 °C pode-se visualizar as macrografias dos corpos de prova A9, A10, A11 e A12.

Para cada corpo de prova foram gravados os parâmetros instantâneos durante a realização do cordão de solda no SAP. Onde são apresentados os gráficos sobrepostos indicando o comportamento da corrente e tensão nos intervalos de 12 até 17 s e indicando na posição 14,5 ($\pm 0,25$) s que é a região onde se efetuou o corte para as macrografias.

Da mesma forma são apresentados os histogramas de corrente e histograma de tensão dos corpos de prova. Segundo o manual do equipamento, o histograma fornece informações visuais e estatísticas sobre a regularidade da transferência onde se analisa a forma geométrica deste, ou seja, quanto mais concentrado maior a repetibilidade dos valores do

parâmetro analisado. Ao contrário, quanto mais larga a base do histograma e menor a altura, maior a irregularidade da transferência.

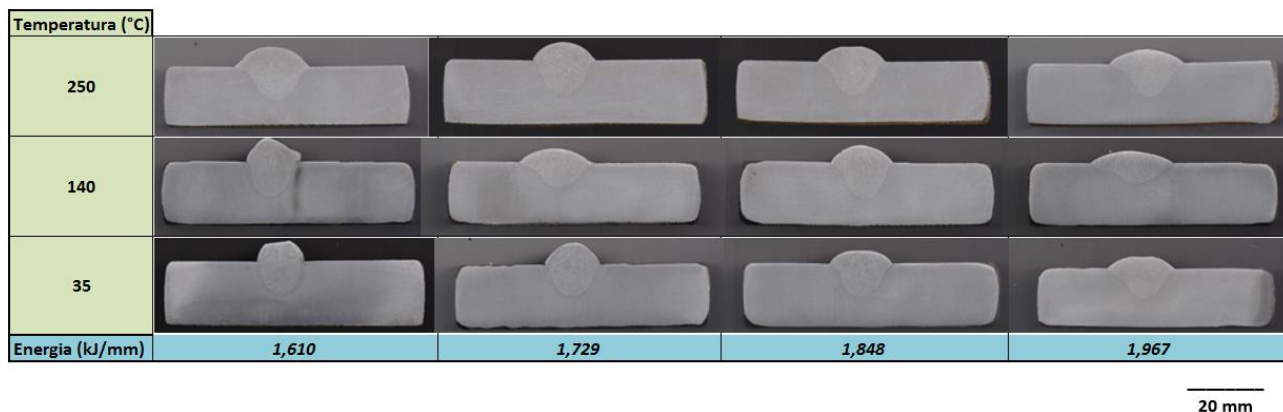


Figura 4 – Macrografias dos corpos de prova soldados. Ataque nital 10%.

Na sequência é apresentado, para o corpo de prova A1, os gráficos sobrepostos com os parâmetros instantâneos da tensão e corrente, histograma da corrente, histograma da tensão e na última coluna as informações de corrente média e tensão média. Todos entre os tempos 12 e 17 s de aquisição.

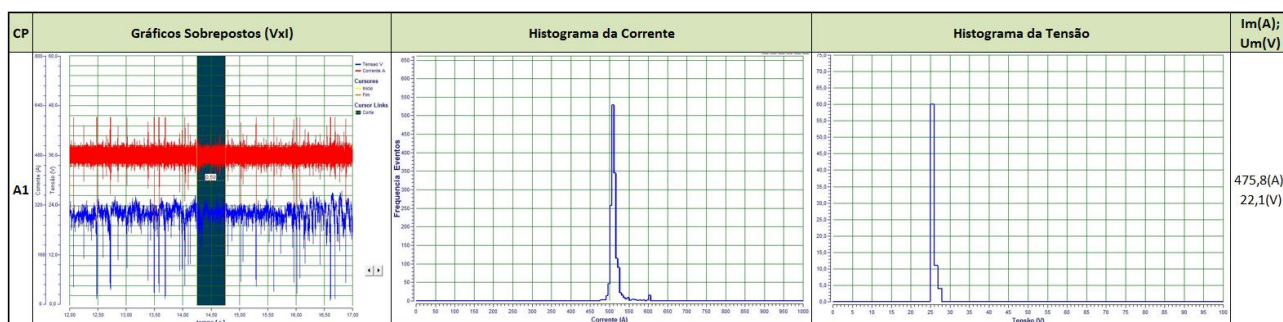


Figura 5 – Gráficos para o corpo de prova A1.

Para representação dos gráficos, foram pegas as condições iniciais (corpo de prova A1) e as condições finais (corpo de prova A12). Na Figura (6) está representado para o corpo de prova A12 as mesmas condições indicadas para o corpo de prova A1. Nota-se que o A12 apresentou maior estabilidade dos parâmetros durante a soldagem.

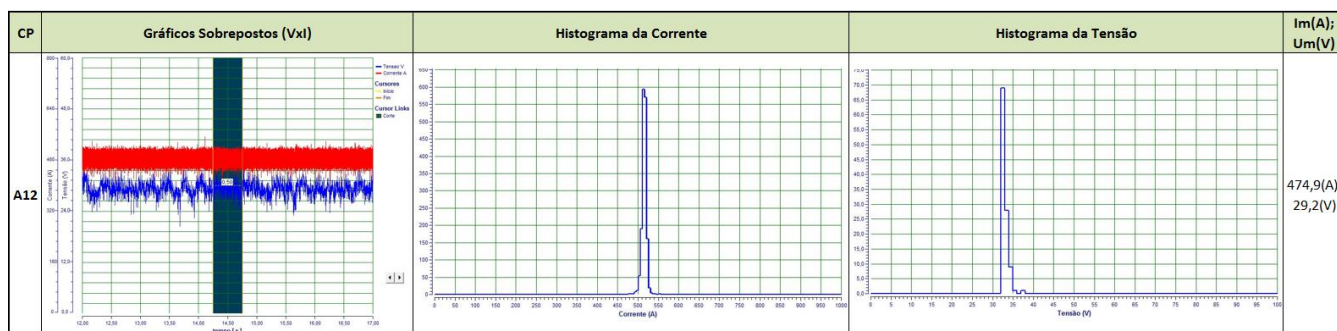


Figura 6 – Gráficos para o corpo de prova A12.

A relação das variáveis inseridas na fonte, para a realização dos cordões de solda, com a temperatura pré passe e as características geométricas dos cordões foram demonstrados em gráficos bolhas. Onde se tem no eixo das abscissas a energia de soldagem e no eixo das ordenadas a temperatura de pré passe.

A Figura (7) apresenta a largura (L) e a penetração (P) para cada corpo de prova soldado. Observa-se que à temperatura ambiente, nas bolhas azuis inferiores do gráfico, tem-se um aumento da largura do cordão com o aumento da energia de soldagem, o mesmo foi observado com o aumento da temperatura pré passe para a mesma energia de

soldagem (bolhas azuis verticais a esquerda). Nas demais temperaturas pré passe não se observou a mesma regularidade de aumento da largura do cordão. Da mesma forma que, nos demais testes com o aumento da energia de soldagem também não se manteve a regularidade de aumento de largura do cordão.

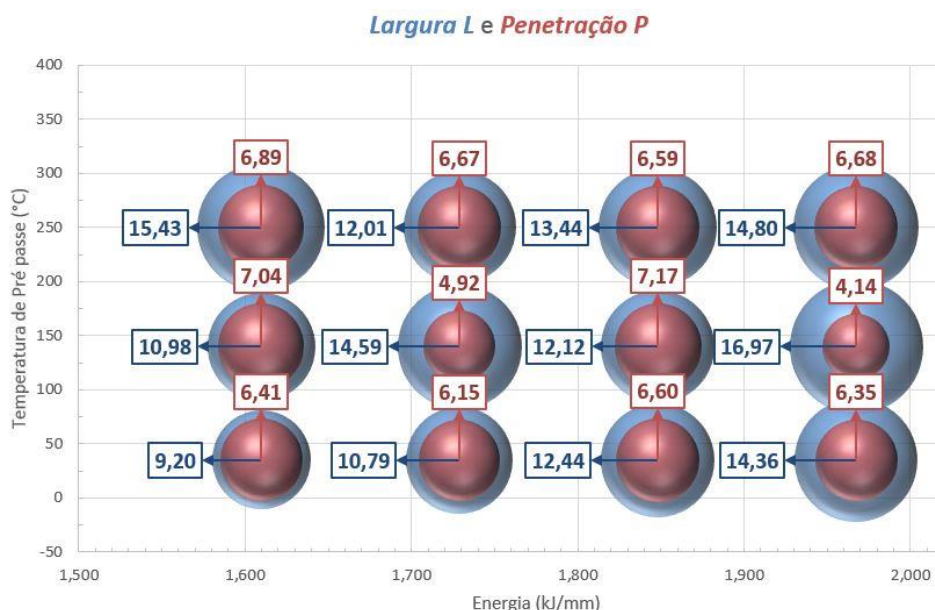


Figura 7 – Valores de largura e penetração do cordão de solda.

A penetração, tanto para a comparação na mesma energia de soldagem, como na mesma temperatura pré passe não manteve uma regularidade.

Já a Figura (8) indica o reforço (R) e a relação entre a penetração e largura do cordão (r). De forma geral, pode-se destacar que para menores energia de soldagem o reforço tende a ser maior. Apenas na condição de maior temperatura pré passe o reforço manteve uma linearidade, diminuindo com o aumento da energia de soldagem.

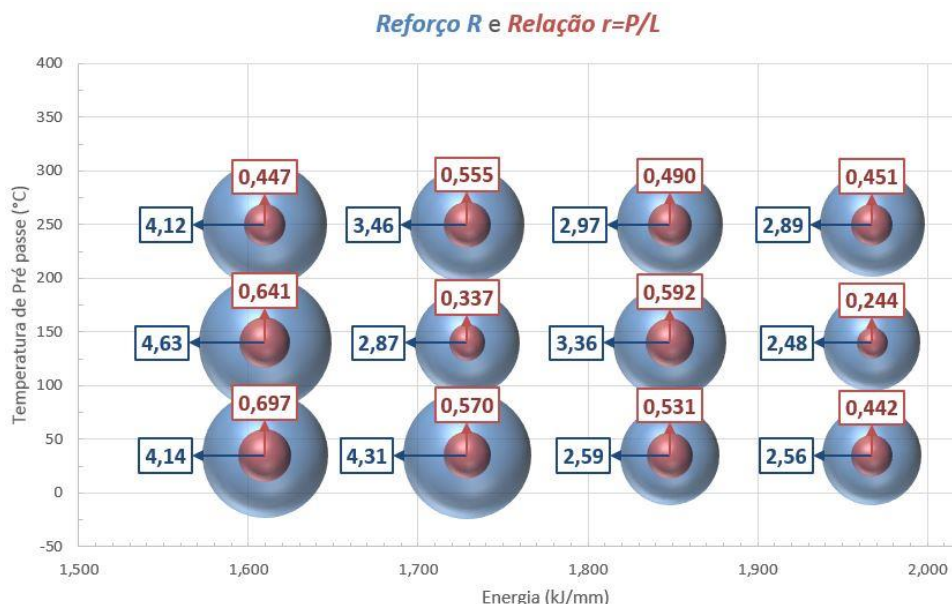


Figura 8 – Valores de reforço e relação penetração/largura.

A relação penetração/largura, de forma geral diminui com o aumento da energia de soldagem, que neste caso foi ocasionado pelo aumento da tensão no arco. Para as situações de temperatura ambiente ocorreu uma diminuição da relação P/L , da mesma forma que para a menor energia de soldagem.

Por fim, na Fig. (9) está indicado a diluição e a convexidade, ambas em porcentagem. Para as situações de temperatura constante, a diluição oscilou com o aumento da energia de soldagem, também não mantendo a

regularidade. No caso de comparação para as situações de mesma energia de soldagem não ocorreu uma regularidade da diluição que manteve-se oscilando.

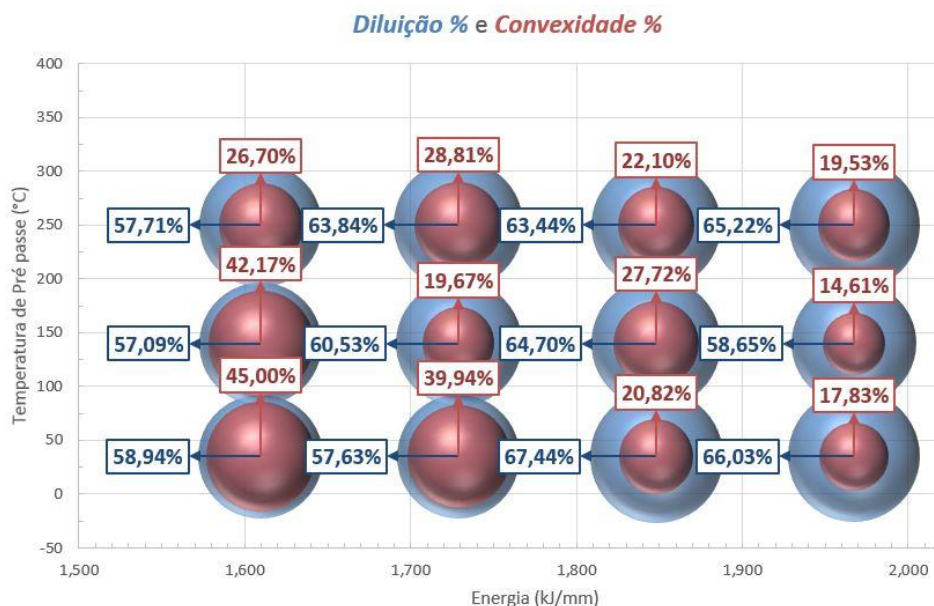


Figura 9 – Diluição e convexidade.

Para a convexidade, na mesma temperatura ambiente e o aumento da energia de soldagem, ocorreu a diminuição desta, da mesma forma que para a menor energia de soldagem e aumento de temperatura. Para os demais casos ocorreu a oscilação.

4. CONCLUSÃO

Com base na análise dos parâmetros geométricos dos cordões de solda obtidos pelo processo SAW com diferentes parâmetros de soldagem e temperaturas de pré passe, as seguintes conclusões podem ser colocadas:

- O aumento da tensão acarreta um aumento significativo da largura do cordão, sendo que a temperatura de pré passe apresenta influencia similar;
- Com o aumento da temperatura de pré passe de 35°C para 250°C, é possível perceber um aumento na largura do cordão de 9,2 até 15,4 mm;
- Os resultados obtidos para a diluição, penetração, relação P/L e reforço não demonstraram mudanças expressivas com o aumento da temperatura de pré passe;
- O reforço do cordão apresentou uma diminuição ao passo que se aumentou a tensão do arco, mas também não teve influência significativa do aumento da temperatura pré passe;
- A diluição apresentou um discreto aumento, de 57,71% até 67,44% com o incremento da tensão e manteve-se estável com o aumento da temperatura pré passe;
- A convexidade, na menor faixa de tensão se apresentou alta (45%) e com o aumento da temperatura pré passe observou-se uma diminuição deste parâmetro;
- Observou-se que devido ao aumento da temperatura de pré passe, possivelmente se reduz a transferência de calor entre cordão de solda e material base, fazendo com que a poça de fusão concentre maior energia térmica e se apresente mais fluida, com isso obteve-se o reforço e a convexidade do cordão diminuído.

Sugere-se que em trabalhos futuros seja analisado detalhadamente os efeitos da temperatura pré passe, seus efeitos no aumento largura do cordão e também a zona termicamente afetada pelo calor.

5. REFERÊNCIAS

- Davies, A. C. The Science and Practice of Welding Volume 1: Welding science and technology. ed. 10. Reino Unido: Cambridge University Press, 1992.
- Davies, A. C. The Science and Practice of Welding Volume 2: The practice of welding. ed. 10. Reino Unido: Cambridge University Press, 1993.
- Ferraresi, H. N.; Fernandes, D. B.; Vilarinho, L. O. Influência das condições de soldagem sobre a taxa de deposição, taxa de escória fundida, rendimento de deposição e perfil do cordão de solda do processo arco submerso. In: 8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2015, Salvador. Anais do 8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2015. v. 1. p. 1-10.
- IMC Soldagem. Manual do Sistema SAP. Disponível em: <http://www.imc-soldagem.com.br/media/com_eshop/attachments/manual_SAP%20V4_4aEd.pdf>. Acesso em janeiro de 2017.
- Machado, I. G. Soldagem e técnicas conexas: processos. Porto Alegre: editado pelo autor, 1996.
- Marques, P. V.; Modenesi, P. J. Algumas equações úteis em soldagem, Soldagem e Inspeção, Brasil, v. 19, n.1, p.91-102, 2014.
- Marques, P. V. Modenesi. P.J.; Bracarense, A. Q. Soldagem: fundamentos e tecnologia. 3.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.
- Modenesi, P. J. Técnica operatória da soldagem SAW, UFMG/DEMM. www.infosolda.com.br. 5 p. 2003 Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/399-tecnica-operatoria-da-soldagem-saw.html>. Acessado em janeiro de 2017.
- Paranhos, R.; Souza, A. C. Soldagem a arco submerso. Rio de Janeiro: Senais/RJ-CETEC de Solda, 1999.
- Quites, A. M.; Dutra, J. C. Tecnologia da soldagem a arco voltaico. Florianópolis: EDEME, 1979.
- Santos, C. E. F. dos. Processos de soldagem: conceitos, equipamentos e normas de segurança. São Paulo: Érica, 2015.
- Silva, F. J. G. Tecnologia da Soldadura: Uma abordagem técnico-didática. Portugal: Editora Publindústria, Edições Técnicas, Lda., 2014.
- Wainer, E., Brandi, S. D., Homem de Mello, F.D. Soldagem: processos e metalurgia. São Paulo: Edgard Blucher, 1992.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

RELATIONSHIP BETWEEN PRE-PASS TEMPERATURE AND WELD PARAMETERS IN THE GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF THE WELD BEAD DEPOSITED BY SUBMERGED ARC WELDING

Miguel Guilherme Antonello, antonello@ctism.ufsm.br¹
William Lemos Bevilaqua, bevilaquawilliam@gmail.com¹
Cristiano José Scheuer, cristiano.scheuer@gmail.com¹

¹Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria-CTISM, Av. Roraima, 1000, Prédio 5, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, CEP: 97105-900.

Abstract: In this work the relationship between the pre-pass temperature and the welding parameters, such as current, voltage and speed of the torch displacement and its impacts on the geometric characteristics of the weld bead, were analyzed. An inverted source with the submerged arc process (SAW), SAE 1020 carbon steel base metal, AWS A5.17 EL12 addition metal with a diameter of 2.4 mm and AWS class flow A5.17 F7A2-EL12. To verify the temperature was used a thermographic camera of brand FLIR model E60 and software FLIR Tools for the analysis of thermographic images. The instantaneous welding parameters, such as current and voltage, were obtained with the welding data acquisition system (SAP v4.28), together with the mean values of these parameters and the evaluation of the regularity of the metal transfer during welding. For the analysis of the weld bead geometry, a cross section of the welding direction was performed and macrographs of the samples and image analysis software were used, thus identifying the width, penetration and reinforcement of the weld beads. The analysis of the relationship between the pre-pass temperature and the welding parameters was performed using a scatter diagram where the interdependence between the variables can be verified.

Keywords: submerged arc, pre pass temperature, weld bead geometry