



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE QUALITATIVA DA INFLUÊNCIA DO REGIME TÉRMICO EM AMBOS OS LADOS DA JUNTA SOLDADA NO APARECIMENTO DE DESCONTINUIDADES (FALTA DE FUSÃO) NA SOLDAGEM ORBITAL

Lucas Alves do Nascimento, eng.lucasalves@gmail.com¹

Louriel Oliveira Vilarinho, vilarinho@mecanica.ufu.br¹

Diandro Bailoni Fernandes, diandro@mecanica.ufu.br¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica Uberlândia, MG, Brasil.

Resumo: Na análise de transferência de calor, a difusividade térmica mensura a capacidade do material de conduzir energia térmica em relação a sua capacidade de armazená-la, ou seja, expressa quão rapidamente um corpo se ajusta por inteiro à temperatura de seu entorno (no caso, o material na vizinhança da solda). Materiais com valores elevados de difusividade térmica aquecem e resfriam com maior rapidez, isto é, a energia imposta é utilizada em grande parte para aquecer a chapa, dificultando a fusão do metal de adição. Assim sendo, a energia imposta no duto deve ser suficiente para fundir o metal de adição, aquecer o metal de base para aumentar a molhabilidade e evitar a falta de fusão. Portanto, este trabalho apresenta uma análise qualitativa da diferença do decaimento ou crescimento de temperatura no duto por meio de gráficos, de forma a verificar se a diferença de massa e parâmetros desconhecidos (massa específica entre outros) existentes em ambos os lados da instalação contribui para o aparecimento de descontinuidades (em destaque a falta de fusão lateral). Para determinar se essas características interferem, foram realizadas soldagens em dutos testes, observando-se o regime térmico com uso de uma câmera termográfica no intuito de analisar a variação da temperatura em pontos simétricos do corpo de prova. As soldagens foram conduzidas em progressão descendente por meio de dispositivo de deslocamento orbital (soldagem mecanizada), utilizando-se arame ER70S-6 com 1,2 mm de diâmetro, protegido pela mistura de Ar+25%CO₂ com vazão de 15 l/min em dutos de aço carbono (API 5L, 2012) de 8" de diâmetro nominal e 8,0 mm de espessura. O material foi depositado em junta de topo com chanfro em V e bisel de 15°, 1 mm de altura de nariz, 3 mm de abertura de raiz e sem cobre-junta. Para a junta proposta foi avaliado o processo GMAW derivativo utilizando fonte comercial STT (Surface Tension Transfer). Neste contexto, foram investigados o decaimento de temperatura da junta proposta em dois passes (um de raiz e outro de enchimento/acabamento). Foram realizados um total de 12 cordões de solda (6 passes de raiz e 6 passes de enchimento) em dois tubos testes, sendo um deles montados com 3 tubos e outro com 2 tubos. Posteriormente, os arquivos de gravação cedidos pela câmera termográfica foram decodificados e analisados com o auxílio dos softwares Matlab® e OriginPRO®. Os resultados mostram que a taxa de decaimento da temperatura nos lados do duto não afeta a soldagem em geral, sendo a diferença de temperatura entre ambos os lados para pontos simétricos de 4°C na pior das situações.

Palavras-chave: Soldagem de dutos, GMAW, Variação da temperatura, Câmera termográfica, Descontinuidade, Transferência Metálica Controlada

1. INTRODUÇÃO

Na análise de transferência de calor, a difusividade térmica mensura a capacidade do material de conduzir energia térmica em relação a sua capacidade de armazená-la, ou seja, expressa quão rapidamente um corpo se ajusta por inteiro à temperatura de seu entorno (no caso, o material na vizinhança da solda). Materiais com valores elevados de difusividade térmica aquecem e resfriam com maior rapidez, isto é, a energia imposta em materiais com difusividade muito alta é utilizada em grande parte para aquecer a chapa ou tubo teste, dificultando a fusão do metal de adição. Assim sendo, a energia imposta no duto deve ser suficiente para fundir o metal de adição, aquecer o metal de base para aumentar a molhabilidade e evitar a falta de fusão. Conforme apresentado na Equação 1, a difusividade é dependente da massa específica dos materiais envolvidos.

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot Cp} \quad (1)$$

Onde, “ ρ ” é a massa específica do material, em kg/m³, e “ Cp ” o calor específico, em J/kg.K e “ k ” é a condutividade térmica do material, em W/mK.

Considerando um baixo valor de capacidade térmica volumétrica (ρCp) para um dado material, significa um tempo menor para o sistema alcançar equilíbrio, ou seja, o sistema tem uma baixa inércia térmica. Desta maneira, para uma mesma energia imposta a variação da massa específica ou material em um dos lados da junta pode contribuir na formação da falta de fusão lateral.

Além disso, para um mesmo conjunto de parâmetros pode-se dizer que o primeiro cordão de solda executado no corpo de prova proposto terá menor probabilidade de apresentar descontinuidades devido à baixa difusividade entre os tubos, uma vez que estarão interligados apenas em determinados pontos por meio de “cachorros”¹. Em contrapartida, o quarto cordão de solda (Fig. 1), para dutos com montados com 3 tubos, poderá ser o mais crítico, ou seja, com maior probabilidade de apresentar descontinuidades, pois, antes da execução deste último cordão de solda os tubos já estarão unidos por outros três cordões de solda, aumentando assim a superfície de contato e consequentemente a rapidez com que o calor se difunde entre os tubos e o ambiente. A mesma análise se aplica ao segundo cordão de solda quando se utilizam 2 tubos testes. Portanto, os cordões de soldas subsequentes ao primeiro poderão necessitar de uma energia de soldagem maior do que ao transmitido no primeiro cordão de solda para evitar uma possível falta de fusão.

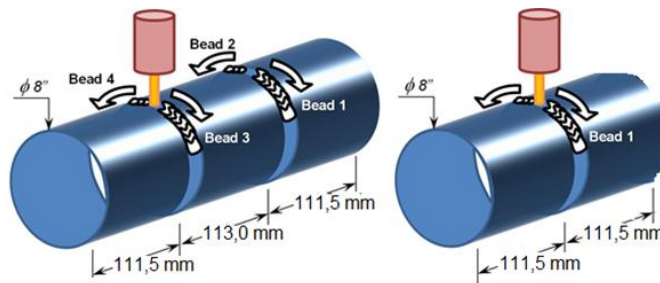


Figura 1. Esquema de execução das soldagens (progressão descendente na posição 5G).

Para determinar se essas características térmicas realmente ocorrem, foram realizadas soldagens em dutos testes, observando-se o regime térmico com uso de uma câmera termográfica, com o intuito de analisar a variação da temperatura em pontos simétricos do corpo de prova. A câmera termográfica recebe radiação do objeto filmado e da vizinhança. Segundo FLIR System (2009) as parcelas de radiações recebidas pela câmera são definidas na Eq.1.

$$W_{total} = \varepsilon W_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau W_{refl} + (1 - \tau)W_{atm} \quad (1)$$

Onde, “ W_{total} ” é a radiação total recebida pela câmera; “ W_{obj} ” a emissão de radiação proveniente do objeto; “ W_{refl} ” a radiação refletida pela superfície do tubo teste; “ W_{atm} ” a radiação do meio de propagação; “ ε ” a emitância do objeto (energia emitida pela superfície de um corpo, por segundo e por unidade de área) e “ τ ” a transmitância (fração da luz com um comprimento de onda específico, que atravessa uma determinada matéria).

É notado na Equação 1 que a câmera termográfica recebe uma radiação “ W_{total} ” à uma temperatura T em curtas distâncias e gera um sinal de saída U_{fonte} que é linearmente proporcional ao sinal de entrada. Assim sendo, tem-se que:

$$W_{total} = CU_{fonte} \quad (2)$$

Assim sendo, substituindo a Eq. 2 na Eq. 1, temos:

$$U_{total} = \varepsilon U_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau U_{refl} + (1 - \tau)U_{atm} \quad (3)$$

Assumindo que as tensões monitoradas e teóricas são linearmente proporcionais às temperaturas (T) envolvidas é possível escrever que:

¹ São pequenos dispositivos com 15 mm de comprimento, fabricados a partir de cantoneiras de 1”x1/8”, posicionados em intervalos regulares internamente aos tubos para garantir que a junta não se altere ao longo da soldagem, sendo 6 unidades por junta. A utilização dos cachorros é para garantir que a junta fique livre de obstruções de forma a não afetar o arco, como poderia ocorrer se fossem utilizados pontos de solda.

$$T_{obj} = \frac{1}{\varepsilon \cdot \tau} T_{total} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} T_{refl} - \frac{1-\tau}{\varepsilon \cdot \tau} T_{atm} \quad (4)$$

Dessa forma, analisando-se a Equação 4 é possível determinar a temperatura do objeto conhecendo-se as temperaturas de entrada (convertidas em sinal de tensão ou corrente pela câmera), a emissividade do material e a transmitância do meio. Nota-se também que a radiação refletida do meio é uma variável difícil de controlar, pois, varia com o tempo, ambiente e com o polimento superficial do tubo teste.

A Figura 2 mostra a representação esquemática das variáveis envolvidas na mensuração pela câmera termográfica.

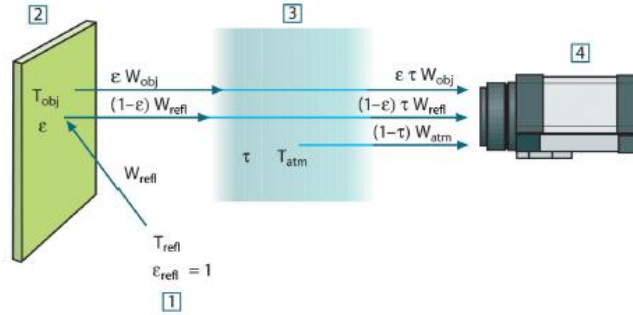


Figura 2. Representação esquemática de medições de temperatura por infravermelho. 1: Vizinhança; 2: Tubo teste/objeto; 3: Atmosfera; 4: Câmera. (Adaptado de FLIR system, 2010).

Dessa forma, este trabalho consiste em analisar qualitativamente a diferença no decaimento ou crescimento de temperatura em pontos simétricos do duto teste (lado tubo e lado suportação) por meio de gráficos, de forma a verificar se a diferença de massa e parâmetros desconhecidos (massa específica entre outros) existentes em ambos os lados da instalação, contribui para a falta de fusão lateral. Esta análise foi motivada pela elevada frequência de falta de fusão lateral em cordões de soldas presentes em resultados anteriormente investigados pelo Grupo Laprosolda (Vilarinho *et al.*, 2014) em passes de enchimento em chanfro estreito e também para garantir que a bancada de testes montada não interfere nas soldagens. Destaca-se que os ensaios aqui analisados foram executados nas mesmas condições impostas por Vilarinho *et al.* (2014).

2. METODOLOGIA

A bancada experimental montada para a execução dos testes e o posicionamento da câmera termográfica são apresentadas na Fig. 3.

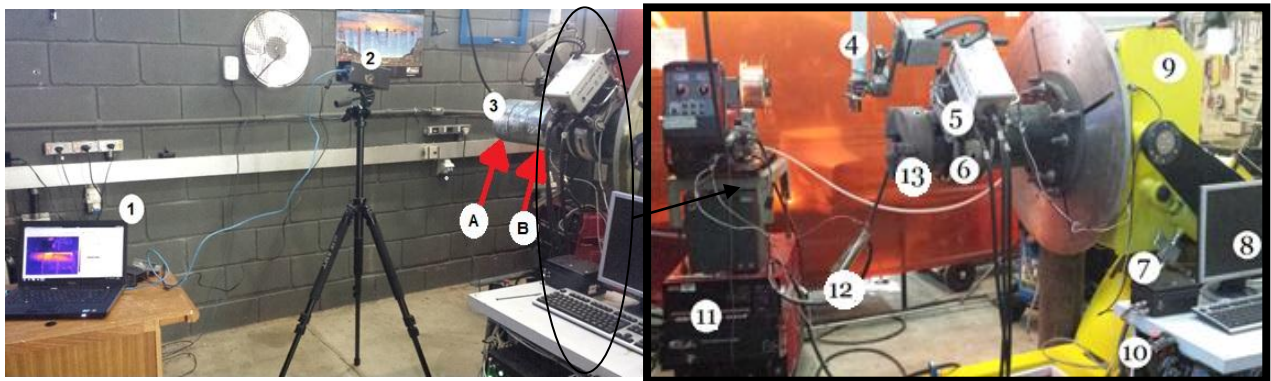


Figura 3. Bancada experimental para filmagem termográfica da soldagem, sendo:

1. Interface de manipulação da câmera termográfica (laptop); 2. Câmera termográfica FLIR A325; 3. Tubo teste; B: Lado suportação e A: Lado do tubo; 4. Tocha de soldagem; 5. Carrinho de movimentação da tocha (Tartilope V4); 6. Cinta de suporte para movimentação angular do carrinho; 7. Sistema de controle de ajuste automático da DBCP; 8. Monitor de visualização dos parâmetros de soldagem e parâmetros de movimento da tocha; 9. Mesa posicionadora; 10. Controle manual de manipulação da tocha; 11. Fonte de soldagem; Power Wave 450/STT; 12. Cabo terra da fonte de soldagem (aterramento em ambos os lados do tubo); 13. Suporte do duto teste (“castanha”).

Por convenção, será denominado de “Lado da suportação” o lado do duto teste que é fixo na castanha e “Lado do tubo” o lado que não é suportado. O que separa o “Lado da suportação” do “Lado do tubo” é o chanfro. A partir dessa convenção, é possível observar na Fig. 3 que a concentração de massa (aço) é maior em um dos lados da junta (“Lado

da suportação”), provocando a perda de calor por condução do tubo teste para a mesa posicionadora, fato que pode contribuir para a falta de fusão lateral. Além do mais a massa específica dos materiais que compõem a mesa posicionadora é desconhecida (lado suportação), existindo a hipótese da difusividade de ambos os lados da junta ser diferente.

Para os ensaios foi utilizado o metal de base cuja análise química é apresentada na Tab. 1. Após a análise química foi realizado ensaio de tração uniaxial no material base (Fig. 4) e, comparando estes valores com os valores apresentados na norma (Tabela 3A norma API 5L (2012)), para requisitos mínimos de limites de escoamento e resistência, se pode afirmar que o material analisado aproxima-se do API 5L X42 em detrimento do API 5L X65 recebido.

Tabela 1. Composição química do metal de base utilizado em porcentagem (%).

B	Sn	Ca	Co	S	W	Ni	Ti	Cu
0,0002	0,0012	0,0014	0,0025	0,0033	0,0053	0,0129	0,0171	0,0175
P	V	Al	C	Nb	Si	Cr	Mo	Mn
0,0184	0,0253	0,031	0,0526	0,0627	0,1866	0,2075	0,2145	1,8165

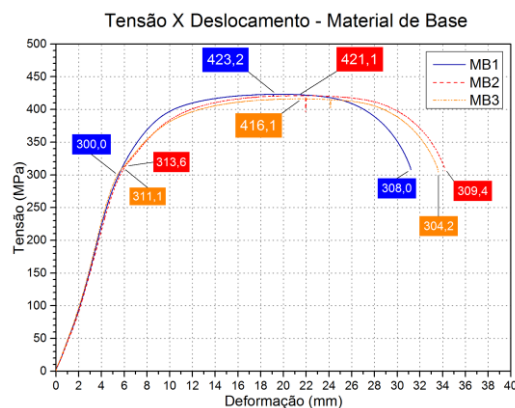


Figura 4. Curvas tensão-deformação para os ensaios de tração uniaxial do metal de base.

Para a execução do processo GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) curto-circuito-controlado STT, utilizou-se fonte de soldagem eletrônica inversora de multiprocessos da fabricante *Lincoln Electric* de modelo *Power Wave 450/STT* (Lincoln Electric (2014)). A fonte abrange faixa de corrente: 5 a 570 A, faixa de tensão: 10 a 43 V, fator de trabalho: 60%, corrente nominal máxima de trabalho: 450 A @ 100% e tensão máxima de trabalho: 38 V @ 100%.

Os parâmetros utilizados nos testes são apresentados na Tab. 2. O arame eletrodo utilizado foi o AWS ER 70S-6 com diâmetro de 1,2 mm, DBCP (distância bico contato peça) de 12 mm, gás de proteção Ar+25%CO₂ com vazão de 15 l/min e inclinação da tocha em 0°. O conjunto de parâmetros escolhidos foi baseado no primeiro cordão que não apresentou descontinuidades externas ao ser avaliado visualmente, mas não garante que internamente tenha descontinuidades.

Tabela 2. Parâmetros do processo derivativo (STT) para ensaios de termografia.

Passe	Va (m/min)	Vs (cm/min)	Amplitude de tecimento (mm)	Frequência de tecimento (Hz)	Ib (A)	Ip (A)	Tout	Burnback time(s)
Raiz	5,75	35*	3	3,6	130	350	10	0,03
Enchimento	4,20	22,7*	5	2,4	130	330	8	0,03

*A velocidade de soldagem parametrizada no console do Tartilope é dada por Vs*1,277.

As soldagens foram conduzidas de forma mecanizada utilizando o manipulador de tocha da marca Tartilope V4, executadas em progressão descendente e em dois passes (um de raiz e outro de enchimento/acabamento). Como forma de facilitar a execução de soldagens de campo, cada junta soldada foi executada com o mesmo processo/fonte, ou seja, tanto a raiz, quanto o enchimento foram feitos com este processo e, ambas com transferência por curto-circuito.

Foram realizados um total de 12 cordões de solda (6 passes de raiz e 6 passes de enchimento) em dois tubos testes, sendo um deles montados com 3 tubos e outro com 2 tubos. A realização dos passes em progressão descendente foram feitas em duas etapas. A primeira começa no ponto mais alto do tubo, às 12 horas (0°), passando pela posição vertical às 15 horas (90°) e termina no ponto mais baixo, às 18 horas (180°), por um lado. A segunda etapa do processo começa

novamente às 12 horas e o cordão é depositado em volta do outro lado do tubo até se encontrar com o primeiro cordão, às 18 horas (Fig. 5).

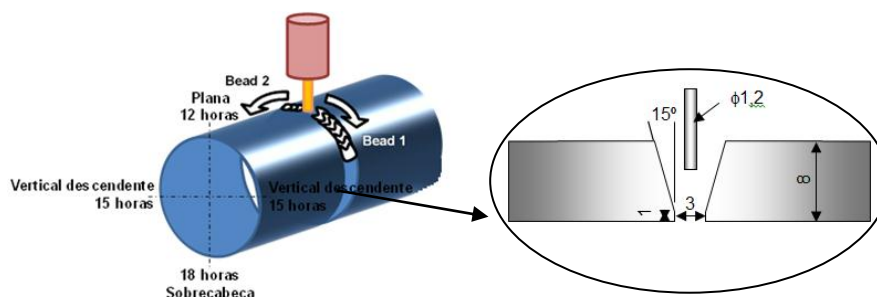


Figura 5. Junta de topo com preparação em V utilizada mostrando o arame-eletrodo como comparativo esquemático (escala 2:1 e cotas em mm) e junta de topo com preparação em V utilizada mostrando o arame-eletrodo como comparativo esquemático.

Posteriormente, os arquivos de gravação cedidos pela câmera termográfica de modelo FLIR A325 foram decodificados e analisados pelo software Matlab® e, com o auxílio do software OriginPRO® foram gerados os gráficos. Já as soldagens foram instrumentadas, em conformidade com a ISO 17662 (2005), com sistema de aquisição de sinais de corrente e tensão desenvolvido por Machado (2011), onde os valores obtidos para cada um dos passes foram também tratados pelo software OriginPRO®.

2.1. Ajuste da câmera termográfica

Com base na tabela de emissividade exibida no manual da câmera (FLIR system, 2009) adotou-se a emissividade de 0,760 (ferro em temperatura até 538°C). Para a transmitância foi selecionada o valor padrão igual a 1. A temperatura de saturação da câmera durante as filmagens foi fixada em 510°C. Todos os parâmetros empregados no experimento são apresentados na Tab. 3.

Tabela 3. Parametrização da câmera termográfica.

Emissividade	Distância entre tubo teste e câmera (m)	Temperatura da radiação refletida (Trefl.) em °C	Temperatura devido a radiação do ambiente (Tatm) em °C	Transmitância
0,760	0,85	25	33	1

Segundo Mota (2011), as imagens filmadas devem ser corrigidas conforme a inclinação da câmera fotográfica de modo a não interferir nos resultados finais, ou seja, quanto maior o ângulo de inclinação, maior será a distorção observada na imagem adquirida. Neste trabalho em particular, o eixo óptico da câmera foi ajustado, de modo a focar diretamente para a linha de interesse (descendente vertical do duto teste) tornando as distorções nulas. Neste caso não foi necessário planificar ou retificar a imagem.

A linha de interesse a ser analisada foi selecionada de acordo com as limitações físicas na fixação da câmera e em virtude das descontinuidades ocorrerem na posição vertical. Tais linhas de interesse são ilustradas na Fig. 6 e as coordenadas consideradas no estudo são mostradas na Tab. 4.

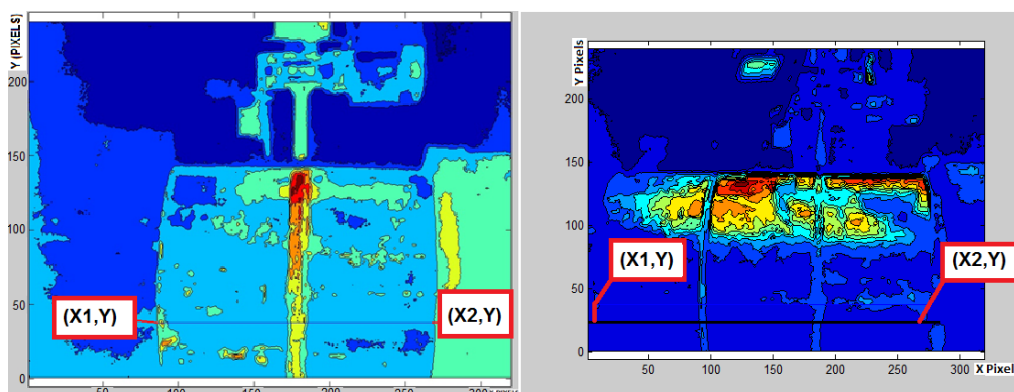


Figura 6. Linha de interesse utilizada na imagem térmica.

Tabela 4. Coordenadas em pixels das linhas de referência utilizada no ensaio termográfico.

Posições	2 Tubos	3 Tubos
X1	85	5
X2	269	275
Y	38	20

2.2. Seleção dos pontos simétricos

Para auxiliar na seleção dos pontos simétricos foram implementados códigos em Matlab® para decodificação das imagens em matrizes de dados numéricos, geração de filmes em 3D e geração de gráficos em função do tempo cuja coordenada da linha analisada possa ser modificada com flexibilidade.

Após a fixação das linhas que serão analisadas (Tab. 4), o primeiro passo da análise é expurgar os quadros iniciais que representam a passagem da tocha na frente do cordão de solda. A passagem da tocha que se localiza entre o cordão de solda e a câmera causam desvios significativos nos dados mensurados. Tal fato é percebido observando-se a desestabilização em sequência dos gráficos disponibilizados pelo software Matlab® durante a movimentação da tocha.

Com o auxílio do filme em 3D, decodificado pelo Matlab®, em sincronismo com gráficos gerados foi possível identificar os quadros iniciais da filmagem que devem ser expurgados (Fig. 7). Neste contexto, durante a passagem da tocha em frente à câmera termográfica os gráficos ficam distorcidos (Fig. 7ab) até o momento em que o gráfico se transforma em uma gaussiana (Fig. 7d). O momento ideal para o início das análises qualitativas é marcada ao ser observado a formação da curva gaussiana e, em vista disso todos os dados anteriores a 5000 quadros foram expurgados.

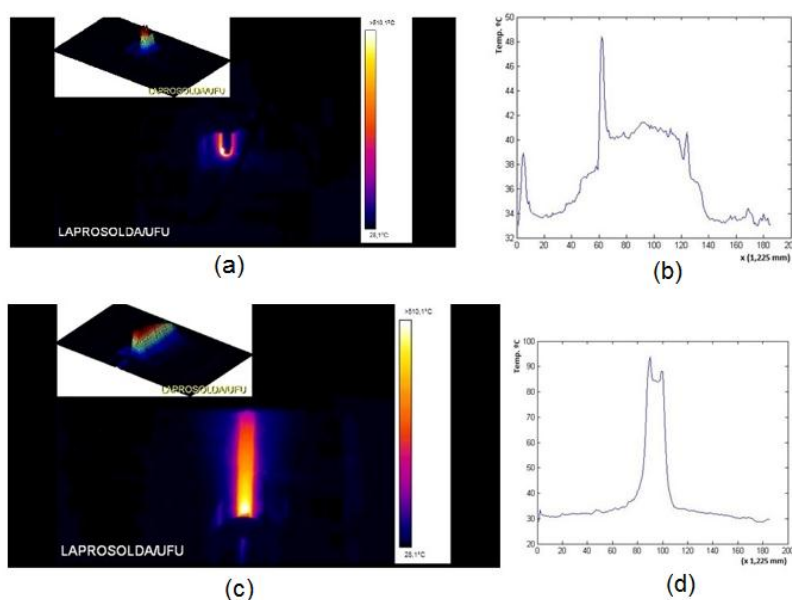


Figura 7. Sincronismo entre filmagem e gráficos gerados no software Matlab®: (a) Imagem do filme em 3D no instante da passagem da tocha em frente à câmera; (b) gráfico representando a imagem mostrada em (a); (c) Imagem do filme em 3D no instante após a passagem da tocha na frente à câmera; (d) gráfico representando a imagem mostrada em (c).

Na prática alguns pontos adquiridos pela câmera termográfica foram somados as radiações térmicas refletidas, ocasionada pela incidência da luz ambiente sobre a superfície (componentes de radiação T_{refl} e ϵ_{refl} mostrada na Fig. 2). Confrontando o gráfico e a imagem térmica de um dos ensaios representados pela Fig. 8 (a) e (b) pode-se dizer que do ponto 200 ao 275 existe uma refletância elevada provocada pelo acabamento superficial. Portanto, para análise da soldagem com 3 tubos foi necessário modificar a coordenada “Y” da linha de referência de 38 pixels para 20 pixels, devido à presença desta refletância na soldagem do passe de enchimento.

Na Figura 9 percebe-se também que a temperatura anterior ao ponto 85 é menor, pois, os tubos estão unidos apenas por “cachorros”, o que diminui a eficiência de condução do calor para a outra parte do tubo. A fita branca, utilizada para auxiliar no controle automático da DBCP, é facilmente identificada nos gráficos de passe de raiz, assim como a presença do chanfro entre os pontos 85 e 96.

Todos os pontos que apresentam as anomalias acima foram descartados em todos os ensaios realizados, pois, variam desordenadamente e não representam a variação de temperatura no duto.

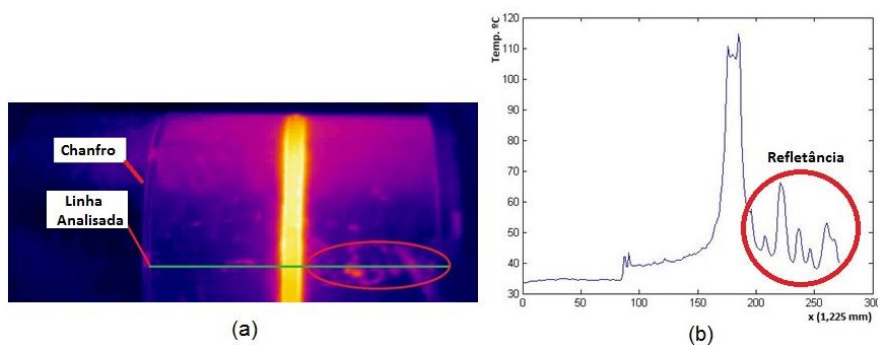


Figura 8. Imagem justificando a expurga dos dados para a refletância provocada pelo acabamento superficial; (a) Ensaio 3T_E1; e (b) gráfico correspondente.

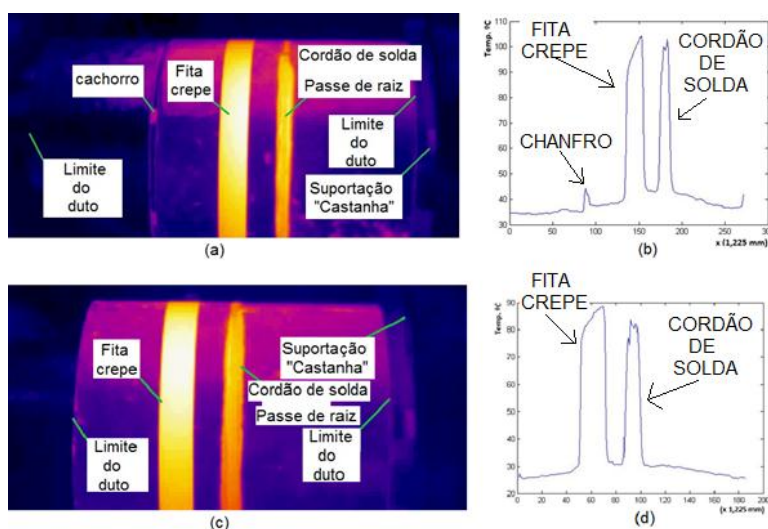


Figura 9. Imagens térmicas e respectivos gráficos processados em Matlab®: (a) ensaio 3T_R1 e (b) seu gráfico correspondente; (c) ensaio 2T_R2 e (d) seu gráfico correspondente.

Posteriormente ao procedimento de expurga dos dados são selecionados os pontos para análise do decaimento ou crescimento da temperatura. O critério de escolha destes pontos foi baseado na observação de todos os pontos do perfil de temperatura em função do tempo, nas linhas referências fixadas na Tab. 4, durante toda a execução da soldagem da meia cana e no período de resfriamento e, selecionado os pontos simétricos (em relação ao centro do chanfro) que não apresentaram distorções. A Tabela 5 discrimina todos os ensaios e pontos simétricos selecionados.

Tabela 5. Pontos selecionados para análise do decaimento ou crescimento da temperatura.

Ensaio	Início (quadro)	Fim (quadro)	Número total de quadros gravados	Ponto central da largura cordão (pixels)	Pontos simétricos (pixels)	Coordenadas dos pontos analisados em relação ao ponto central (mm)
2T_E1	5000	11000	18861	94	(74,114); (54,134); (26;162)	0,0 (-24,5;24,5) (-49;49) (-83,3;83,3)
2T_R1	5000	11000	18478	94	(42,146); (22,166)	0,0 (-63,7;63,7) (-88,2;88,2)
2T_E2	5000	11000	18026	94	(74,114); (54,134); (26;162)	0,0 (-24,5;24,5) (-49;49) (-83,3;83,3)
2T_R2	5000	11000	18110	94	(42,146); (22,166)	0,0 (-63,7;63,7) (-88,2;88,2)

Ensaio	Início (quadro)	Fim (quadro)	Número total de quadros gravados	Ponto central da largura cordão (pixels)	Pontos simétricos (pixels)	Coordenadas dos pontos analisados em relação ao ponto central (mm)
3T_E1	5000	11000	18300	180	(160,200); (140,220); (110,250)	0,0 (-24,5;24,5) (-49;49) (-85,75;85,75)
3T_R1	5000	11000	16083	190	(175,205); (130,250); (115,265)	0,0 (-18,4;18,4) (-73,5;73,5) (-91,9;91,9)
3T_E2	5000	11000	18728	174	(154,194); (134,214); (98,250);	0,0 (-24,5;24,5) (-49;49) (-93,1;93,1)
3T_R2	5000	11000	18183	180	(165,195); (120,240); (100,260)	0,0 (-18,4;18,4) (-73,5;73,5) (-98,0;98,0)
3T_E3	5000	11000	18667	175	(155,195); (135,215); (105,245);	0,0 (-24,5;24,5) (-49;49) (-85,8;85,8)
3T_R3	5000	11000	18386	175	(160,190); (115,235); (100,250)	0,0 (-18,4;18,4) (-73,5;73,5) (-91,9;91,9)
3T_E4	5000	11000	18488	175	(155,195); (135,215); (105,245);	0,0 (-24,5;24,5) (-49;49) (-85,8;85,8)
3T_R4	5000	11000	18182	175	(160,190); (115,235); (100,250)	0,0 (-18,4;18,4) (-73,5;73,5) (-91,9;91,9)

A identificação dos cordões de solda segue o seguinte código: NT (R ou E)X, onde NT: Número de tubos, R: passe de raiz, E: passe de enchimento e X número do ensaio. Ex.: 3T_R1 (ensaio 1 para passe de raiz com 3 tubos).

3. RESULTADOS

A partir dos parâmetros de soldagem definidos na Tab. 2, realizou-se as soldagens de forma a verificar os valores de corrente e tensões próximas ao trabalho de Vilarinho *et al.* (2014) e também para corroborar com as características do processo derivativo (STT) de soldagem utilizado. Como resultados, são apresentados na Fig. 10, os oscilogramas típicos, e na Tab. 6, os valores típicos de corrente e tensão adquiridos durante as soldagens. Os dados exibidos na Tab. 6 foram calculados usando o programa desenvolvido em Matlab® pelo Laprosolda/UFU denominado de “Curto 3” (Anexo 1).

Tabela 6. Valores típicos de corrente e tensão adquiridos durante a avaliação termográfica.

Teste	Corrente Média [A]	Corrente RMS [A]	Tensão Média [V]	Tensão RMS [V]	Índice de Regularidade
2T_Enchimento	197	228	15,2	17,4	0,89
2T_Raiz	239	266	14,6	16,9	1,32
3T_Enchimento	200	232	15,0	17,2	0,91
3T_Raiz	227	254	15,3	17,5	1,38

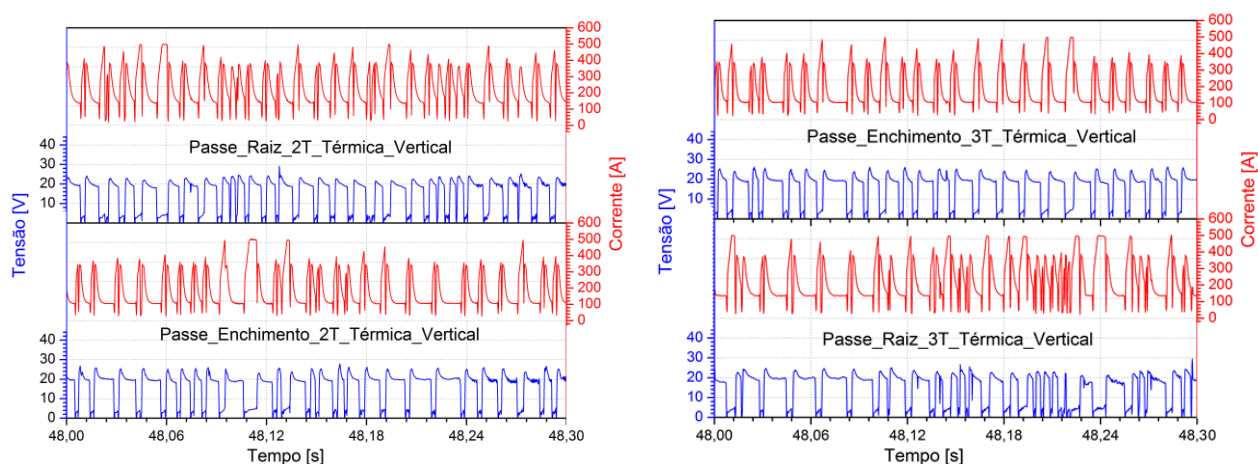


Figura 10. Exemplo de oscilogramas reais adquiridos para passes de raiz e enchimento utilizando o processo derivativo (STT).

De forma geral, os oscilogramas obtidos aproximam-se do gráfico conseguido por Vilarinho *et al.* (2014) para o processo de soldagem derivativo (STT). Os resultados apresentados na Tabela 1 são satisfatórios para a análise termográfica, pois segundo Vilarinho *et al.* (2014) a corrente média deveria ser maior que 173A para o passe de enchimento e maior ou igual a 220 A para o passe de raiz para evitar uma possível falta de fusão. Na Figura 11 são mostrados exemplos de cordões de solda fabricados.

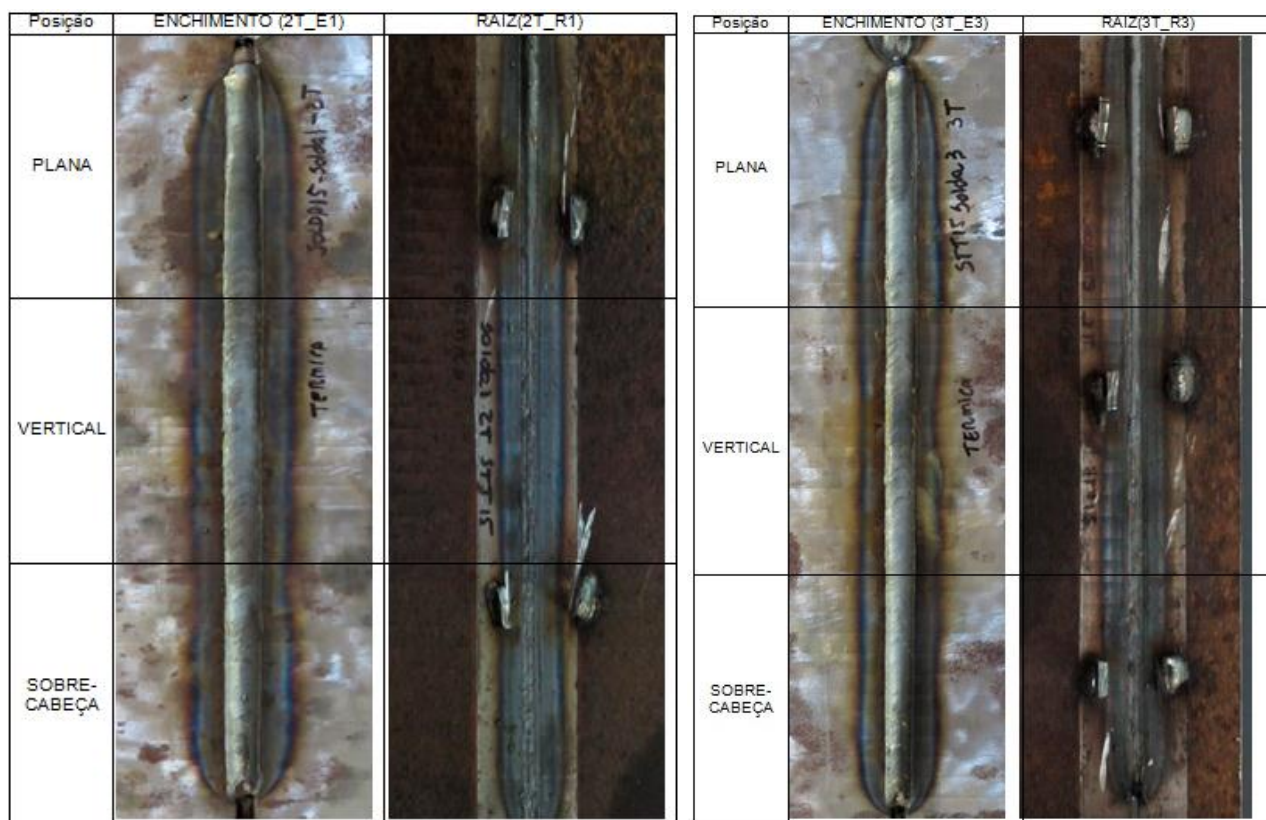


Figura 11. Cordão de solda típico fabricado em testes com câmera termográfica².

Os gráficos (temperatura x tempo) mais representativos para os passes de enchimento e de raiz são mostrados na Fig. 12.

² Apesar dos cordões de solda serem circulares (meia cana de tubulação) as imagens serão apresentadas no formato de imagens planificadas concentrando as três posições de soldagem em uma única imagem. A técnica de planificação aqui aplicada é descrita detalhadamente em Nascimento, 2015 e foi desenvolvida por este autor.

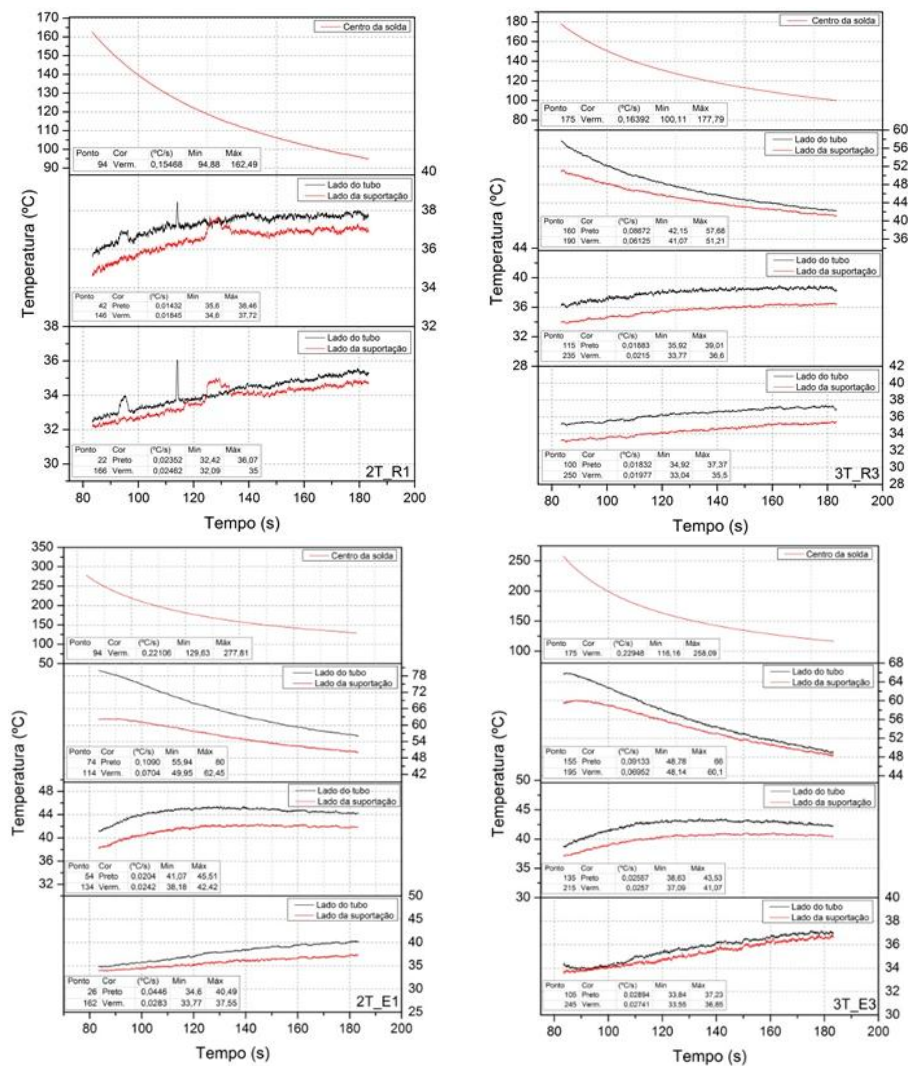


Figura 12. Gráficos (temperatura x tempo) do centro da solda (gráfico com uma única curva) e nos pontos simétricos para o passe de raiz e de enchimento (linhas de cor vermelha: lado da suportes; linhas cor preta: lado do tubo).

Os resultados mostram que em todos os pontos simétricos examinados, tanto para o passe de raiz quanto para o passe de enchimento, que os pontos localizados do lado da suportes, apresentam-se com temperaturas mais baixas em relação aos pontos localizados do lado do tubo. Isto mostra que a difusividade do lado da suportes ou o escoamento do fluxo de calor é maior do que a do lado do tubo, ou seja, em consequência da grande quantidade de massa que contribui para a propagação por condução do calor. Esta diferença pode ser contida utilizando tecimento com parada lateral durante as soldagens.

No geral, pontos próximos ao cordão de solda estão em processo de esfriamento e pontos mais distantes estão em processo de aquecimento, manifestando assim a propagação do calor.

Observa-se também que a diferença de temperatura entre ambos os lados avaliados é de 4°C na pior das situações. Outro fato que demonstra a robustez do sistema é a coloração uniforme e simétrica dos óxidos formados pelo aquecimento em ambos os lados do cordão de solda, como pode ser observada na Fig. 11.

4. CONCLUSÕES

É possível afirmar que a utilização de montagens com dois ou três tubos de teste não interferiu significativamente nos resultados e que a diferença de temperatura de 4°C, na pior das situações entre ambos os lados do duto para pontos simétricos, não é significativa para processos de soldagens. Assim, a diferença de massa existente em ambos os lados da instalação, não contribuem para a falta de fusão lateral frequente, podendo ser contornado com um conjunto robusto de parâmetros.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG pelas bolsas de estudo e pesquisa aos autores. Agradecem à PETROBRAS, pela doação dos consumíveis e incentivos a pesquisa e, aos membros e colaboradores do

Laprosolda/UFU (Grupo Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem) pelo apoio e frutíferas discussões. Enfim, agradecem ao Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Uberlândia (COPEM), pela oportunidade.

6. REFERÊNCIAS

- API 5L., 2012, "Specification for Line Pipe. 45th edition", 180p.
- Electric, L., 2014, "Technology gets to the root of pipe welding". Disponível em <www.lincolnelectric.com>. Acesso em: 03 abril, 2014.
- FLIR System., 2009, "ThermoVision™ SDK. VERSÃO 2.6 USER'S MANUAL".
- FLIR System, 2010, "ThermoVision™ LabView® Toolkit. USER'S MANUAL".
- ISO 17662., 2005, "Welding – Calibration, verification and validation of equipamento used for welding, including ancillary activities" 38p.
- Machado, M. V. R., 2011, "Sistema Embarcado sem Fio para Monitoramento de Sinais Em Soldagem a arco Elétrico com Abordagem Tecnológica", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Mota, C. P., 2011, "Sistema de Visão por Infravermelho Próximo para Monitoramento de Processos de Soldagem a Arco.", 137 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Nascimento, L. A., 2015, "Avaliação dos Processos GMAW com Transferência por Curto-Circuito Convencional e Controlado (STT) Aplicados na Soldagem Circunferencial Mecanizada". Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia. pp. 72-73:271-285.
- Vilarinho, L. O., Nascimento, L.A., Acuna, A. F., Carvalho, L. P., Freitas, J. C., 2014, "Conventional and Controlled Short-Circuit GMAW Processes for Downhill Pipe Welding", IN: FABTECH Show 2014. Atlanta, Georgia. pp. 289-295.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS QUALITATIVE OF THE INFLUENCE OF FLOW THERMAL ON BOTH SIDES OF THE JOINT WELDED DISCONTINUITY (LACK OF FUSION) FREQUENT IN WELDING ORBITAL

Lucas Alves do Nascimento, eng.lucasalves@gmail.com¹
Louriel Oliveira Vilarinho, vilarinho@mecanica.ufu.br¹
Diandro Bailoni Fernandes, diandro@mecanica.ufu.br¹

¹ Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica Uberlândia, MG, Brasil.

Abstract: In thermal flow analysis, the thermal diffusivity measures the ability of the material of to conduct thermal energy in relation to their ability to store it, or expresses how quickly a body adjusts completely to the temperature of their surroundings (in the case, the material around of the bead weld). Materials with high values of thermal diffusivity have heating and cooling cycle more quickly, i.e. the imposed energy is used largely for heating the base metal, making it difficult the fusion of the filler metal. Thus, the imposed energy on the pipe should be sufficient to melt the filler metal, heating the base metal to increase the wettability and avoid lack of fusion. Therefore, this work presents a qualitative analysis of the decrease or increase of the difference temperature in the pipeline through graphics in order to verify if the mass difference and unknown parameters (density etc.) existing on both sides of the installation contributes to the emergence of discontinuities (highlighted the lack of lateral fusion). To determine if these characteristics affect, were carried welds in pipe, observing the thermal flow with use of a thermographic camera in order to analyze the variation of temperature in symmetrical points. The welds were carried out in downhill progression by using orbital displacement device (mechanized welding), ER70S-6 wire with 1.2 mm diameter and Ar+25%CO₂, as shielding gas (15 l/min). The material was deposited on butt V joint with 15° bevel, 1 mm of root face and 3 mm root opening, without backing. For the proposed joint, GMAW processes with short-circuit metal transfer was assessed the derivative mode by using commercial power source namely STT (Surface Tension Transfer). In this context, decrease and increase temperature was investigated for root pass and filling pass. Were carried out a total of 12 welds (6 root pass and 6 filling passes) in two test pipe (with 3 tubes and 2 tubes). After, the recording files ceded by the thermographic camera were decoded and analyzed with of Matlab and OriginPRO® software. The results showed that the rate decrease of temperature the in both sides of the pipe doesn't affect the welding generally because the temperature difference in both sides for symmetrical points in the worst case it's 4 ° C.

Keywords: Pipe Welding, GMAW, rate temperature, thermographic camera, discontinuity, Controlled Metal Transfer