



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ECONÔMICAS DAS SOLDAS DE REVESTIMENTO PARA OS PROCESSOS MIG E MIG-CW

Douglas Neves Garcia, dng2110@hotmail.com¹
Cássio Patrick Nunes Mendes, tick_mendes@yahoo.com.br¹
Henrique Espírito Santo, henriquespirito@hotmail.com¹
Carlos Alberto Mendes da Mota, cmota@ufpa.br¹
Bruno Rodrigues Gonçalves, rodrigues.bg@hotmail.com¹
Paulo D'Ângelo Assunção, dangeloassuncao@bol.com.br²

¹Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correia, Nº 1. Campus Universitário Guamá. CEP 66075-110. Caixa postal 479. PABX +55 91 3201-7000. BELÉM, PA.

²Instituto de Estudos Superiores da Amazônia, Avenida Gov. José Malcher, 1148 - Nazaré - Belém-PA.

Resumo: Este trabalho objetiva analisar e comparar as características geométricas e econômicas para os processos MIG e MIG com adição de arame frio (MIG-CW) com intuito de indentificar o ganho de produtividade com a adição do arame frio. Para que tal análise comparativa fosse obtida, foram executadas soldas de aço inox depositadas por ambos os processos alvos de estudo, na posição plana e com sentido de soldagem tracionado, modo automatizado. Como metal de base foi utilizado o aço 1020 em chapas com espessura de 6,3 mm. O gás de proteção utilizado foi o Ar-2%O₂ a vazão de 15 l/min. Após realização das soldagens as amostras foram seccionadas e devidamente preparadas para os ensaios metalográficos, através de lixamento e ataque com reagente químico para análise macrográfica. Para obtermos os valores dos reforços e penetração das soldas fomos auxiliados por meio de um software, que nos proporcionou os dados utilizados para o cálculo da diluição. Os resultados mostraram um aumento na quantidade de material depositado em função do tempo e da área para o processo MIG-CW sem, contudo afetar a qualidade superficial e estrutural dos cordões de soldas. Portanto, é possível afirmar que a soldagem por esse processo (MIG-CW) utilize maiores velocidades de soldagem, gerando aumento de produtividade.

Palavras-chave: MIG-CW, produtividade, características, software.

1. INTRODUÇÃO

É de olho na necessidade de suprir um mercado cada vez mais exigente, que vêm se desenvolvendo com ênfase, desde a última década, novos processos que possibilitem um aumento na produção e na qualidade, mas com redução de custos. Devido às crescentes demandas no setor industrial por processos alternativos e superiores ou equivalentes, nas suas características, aos processos convencionais, este artigo se propõe a estudar as características geométricas e econômicas dos processos de soldagem MIG (Metal Inert Gas) e MIG-CW (Mig Inert Gas-Cold Wire), ou seja, as análises econômicas (taxa de fusão - TF, taxa de deposição e rendimento-R) e geométricas das soldas (Largura, Penetração e Reforço) quando aplicados em revestimento.

O processo MIG-CW é uma variação do processo MIG, o termo “Cold Wire” se refere à adição de arame frio (não energizado) que é adicionado à poça de fusão ou ao arco e absorve parte do aporte térmico gerado com arco voltaico do arame eletrodo (energizado) e se funde juntamente com o arame eletrodo, proporcionando características diferentes do MIG convencional, ver figura 1.

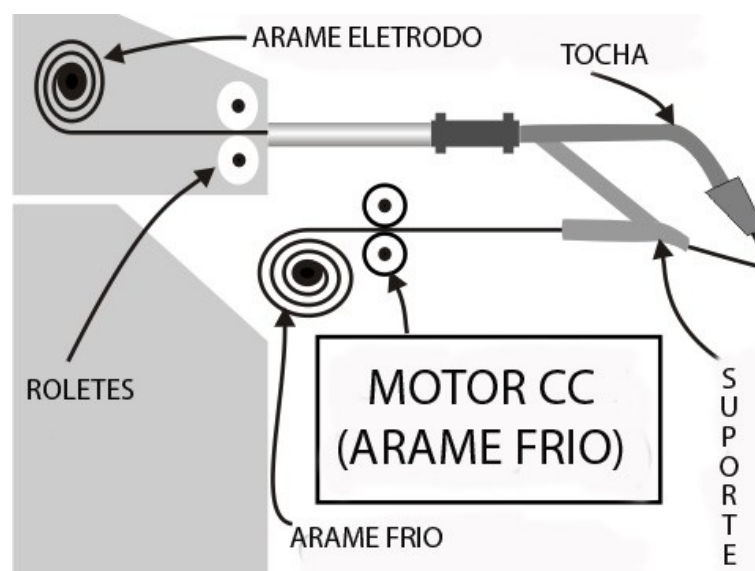


Figura 1. Esquema da soldagem MIG-CW.

2. METODOLOGIA

2.1. Parâmetros e materiais

Para as análises econômico-geométricas das soldas executadas pelos processos MIG e MIG-CW foram selecionados 3 (três) corpos de prova para cada processo, sendo um para cada velocidade de soldagem, todos com dimensões 120x75x6,3mm, os parâmetros de soldagem foram os mesmos para ambos os processos, e só se diferenciaram quanto a adição do arame frio.

A seguir, a tabela 1 mostra os parâmetros de soldagem para cada corpo de prova.

Tabela 1. Parâmetros das soldagens MIG e MIG-CW.

Processo	Peça	V_s (cm/min)	V_{ae} (m/min)	V_{af} (m/min)	U (V)	I_m (A)	V_g (L/min)
MIG	C1	20	6	-	26,7	170	15
	C2	30	6	-	26,8	170	15
	C3	40	6	-	26,7	190	15
MIG-CW	F1	20	6	2,5	29,6	203	15
	F2	30	6	2,5	28,1	209	15
	F3	40	6	2,5	27,2	190	15

Onde: V_s = Velocidade de soldagem; V_{ae} = Velocidade de alimentação do arame eletrodo; V_{af} = Velocidade de alimentação do arame frio; U = Tensão; I_m = Corrente média; V_g = Vazão de gás de proteção.

O gás de proteção utilizado foi Ar+2%O₂, que tem característica ligeiramente oxidante. A soldagem foi executada em sentido puxando, com sobreposição de 30% para cada passe. Como arames eletrodo e frio foram utilizados os arames detalhados na tabela 2 e 3.

Tabela 2. Composição química do arame eletrodo AWS ER 317L.

Classificação AWS A5.9	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
E 317L	0,03	1,5	0,6	0,03	0,03	18,5	13	3	0,75	-

Tabela 3. Composição química do arame frio AWS E 317L-T1

Classificação AWS A5.9	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
E 317L-T1	0,03	1,61	0,75	0,004	0,02	18,87	13,02	3,81	0,05	-

O ângulo de posicionamento do arame frio indo em direção à poça de soldagem é 15°, como mostra a figura 2(a). E o ângulo de trabalho utilizado foi 20°, embasado em trabalhos anteriores, como mostra a figura 2(b).

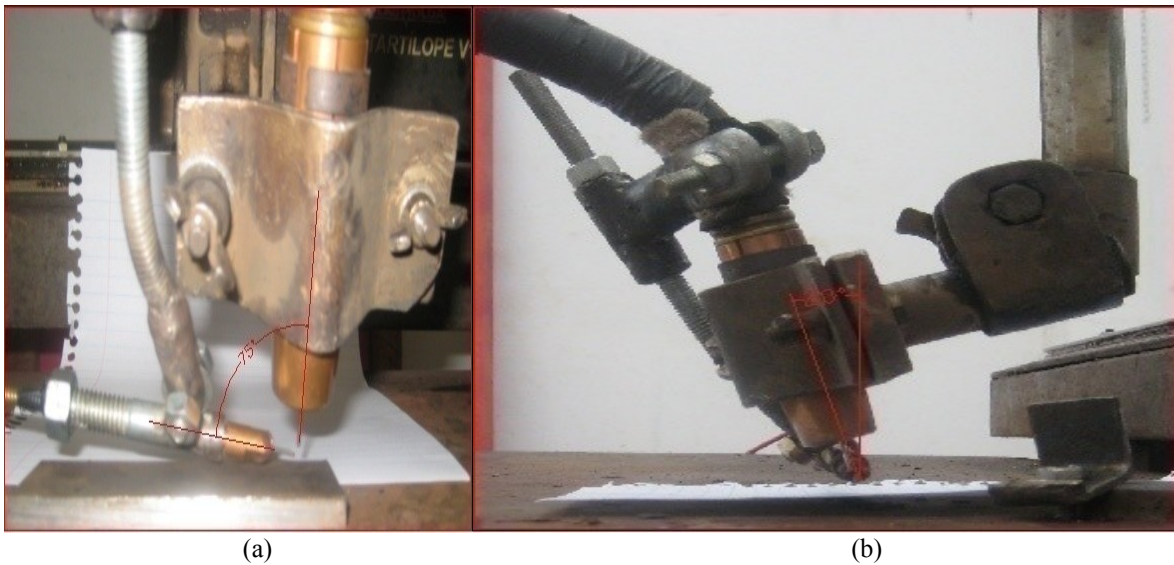


Figura 2. (a) Ângulo de entrada do arame frio; (b) Ângulo de trabalho.

2.2. Características econômicas

Para a análise das características econômicas foram utilizadas as equações 1 e 2, 3 e 4, e 5 a seguir, onde cada uma delas aponta respectivamente Taxa de fusão (TF), Taxa de deposição (TD) e Rendimento (R) para o processo convencional e para o processo com adição de arame frio. “Silva Filho” diz que a taxa de deposição é definida como a massa do consumível incorporada ao metal de solda na unidade de tempo, já a taxa de fusão é a massa do consumível fundida na mesma unidade de tempo e o rendimento é a razão entre estas taxas, obtidas durante a operação de soldagem. Para o processo com arame frio, as equações já conhecidas precisaram ser adaptadas.

$$TF = 3,6 \left(\frac{l\rho}{t} \right) \quad (1)$$

$$TF = 3,6 \left(\frac{l\rho_1}{t_1} + \frac{l\rho_2}{t_2} \right) \quad (2)$$

$$TD = 3,6 \left(\frac{m_f - m_i}{t} \right) \quad (3)$$

$$TDF = 3,6 * \left(\frac{\Delta m_e}{t_1} + \frac{\Delta m_f}{t_2} \right) \quad (4)$$

$$R = \left(\frac{TD}{TF} \right) * 100 \quad (5)$$

Onde: TF= taxa de fusão (kg/h), l= comprimento consumido (m), ρ= densidade linear do arame (g/m), t= tempo de soldagem (s), t₁=tempo do arame eletrodo (s), t₂=tempo do arame frio (s), TD= taxa de deposição (kg/h), m_f= massa final após soldagem (g), m_i= massa inicial antes da soldagem (g), Δm_e= massa depositada pelo eletrodo, Δm_f= massa depositada pelo arame frio, R= rendimento (%).

A equação de taxa de deposição, não demonstrava precisão devido a complexidade em aferir as massas depositadas. Portanto, a equação da taxa de deposição que era admitida para o processo com adição de arame frio foi redefinida analiticamente em função do comprimento dos eletrodos consumidos durante o tempo da soldagem, como demonstrado abaixo.

Da equação 2, vem:

$$TF = 3,6 * \left(\frac{l * \rho_1}{t_1} + \frac{l * \rho_2}{t_2} \right)$$

Onde pode-se aproveitar o $l * \rho_1$ e o $l * \rho_2$ e chamá-los de:

$$l * \rho_1 = x$$
$$l * \rho_2 = y$$

Para fazer uma analogia deste x e y, vamos jogar os valores de porcentagem para a equação da taxa de deposição. Onde:

$$\%x = \frac{x}{x + y}$$

e

$$\%y = \frac{y}{x + y}$$

Para então jogar na equação da Taxa de deposição, que é:

$$TDF = 3,6 * \left(\frac{\Delta me}{t1} + \frac{\Delta mf}{t2} \right)$$

Onde:

$$\Delta me = (M_{final} - M_{inicial}) * \%x$$

e

$$\Delta mf = (M_{final} - M_{inicial}) * \%y$$

2.3 Características geométricas

A análise das características geométricas para os corpos de prova foi feito tanto manualmente, como com ajuda de softwares.

Segundo a norma “NBR 13284:1995” foram executados os ensaios macrográficos para analisar as características geométricas dos cordões de juntas soldadas. Assim, foi analisado o aspecto das superfícies planas das soldas de revestimento seccionadas transversalmente e devidamente lixadas com lixas de granulometrias variando entre 80 a 600 mesh e atacadas com Nital 2% (2% ácido nítrico em álcool etílico). As figuras 3 e 4 mostram as peças após a realização da macrografia.

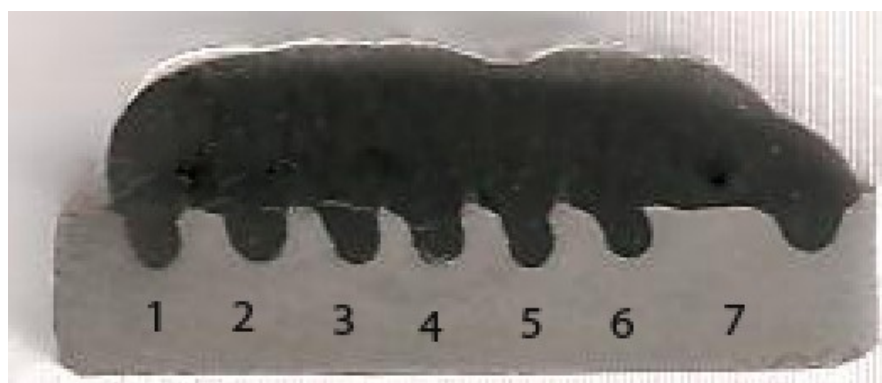


Figura 3. Macrografia da peça soldada pelo processo MIG, velocidade de soldagem de 30 cm/min.

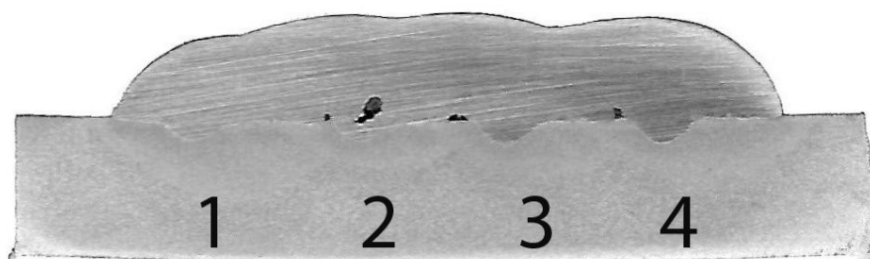


Figura 4. Macrografia da peça soldada pelo processo MIG-CW, velocidade de soldagem de 30 cm/min.

3. RESULTADOS

As peças receberam um número de passes diferentes, devido a mudanças nas características geométricas em função da velocidade de soldagem e da adição do arame frio. Assim, somente a média do reforço, da penetração e da largura dos cordões obtidos para cada passe é apresentada na tabela 4 abaixo. Portanto, a tabela 4 apresenta os resultados das características geométricas $R_x P_x L$:

Tabela 4. Dados obtidos para as características geométricas.

Peça	Reforço médio (mm)	Penetração média (mm)	Largura média (mm)
C1	6,43	0,91	6,84
C2	5,24	2,16	4,05
C3	5,03	1,55	4,05
F1	5,49	0,78	8,29
F2	4,33	1,16	7,71
F3	3,23	0,89	6,13

Analisando a tabela acima é possível verificar um aumento da largura dos cordões, em todas as velocidades de soldagem, para o processo com adição de arame frio (MIG-CW) quando comparado ao modo convencional (MIG) e uma diminuição no reforço e na penetração. Os resultados das características geométricas mostrados na tabela 4 para o MIG-CW são satisfatórios para a soldagem de revestimento de materiais dissimilares, pois irão contribuir para uma menor diluição das soldas depositadas.

Para os resultados obtidos das características econômicas temos a tabela 5, a seguir:

Tabela 5. Dados obtidos durante a soldagem e características econômicas

Peça	m_f (g)	m_i (g)	ρ (g/m)	T_e (s)	T_f (s)	TD (kg/h)	TF (kg/h)	R (%)
C1	0,645	0,525	0,009	144	-	3,03	3,22	93,92
C2	0,607	0,501	0,009	128	-	3,01	3,22	93,43
C3	0,634	0,503	0,009	155	-	2,97	3,22	92,30
F1	0,792	0,570	0,008	176	174	4,10	4,37	93,96
F2	0,766	0,590	0,008	158	156	4,08	4,37	93,26
F3	0,656	0,525	0,008	102	100	4,04	4,37	92,61

Onde: m_f = massa final; m_i = massa inicial; ρ = densidade do eletrodo; T_e = Tempo do arame eletrodo; T_f = Tempo do arame frio; TD= Taxa de deposição; TF= Taxa de fusão; e R= Rendimento.

Os resultados das características econômicas mostrados na tabela 5 confirmam um aumento de massa depositada considerando a variável de tempo para o processo com adição de arame frio (MIG-CW), ou seja, proporciona a maior produtividade esperada, combinada com bom rendimento. Pode se observar uma taxa de deposição decrescente de acordo com o aumento da velocidade de soldagem, é um decrescimento muito pequeno, mas pode ser explicado pela estabilidade do arco que sofre variações com o aumento da velocidade de deslocamento do mesmo, no sentido puxando de soldagem. O sentido puxando de soldagem oferece vantagens e desvantagens para a soldagem de revestimento, este sentido foi escolhido por oferecer um reforço mais convexo, entretanto também oferece uma penetração maior. Para resolver o incômodo de uma penetração maior, que significa um desperdício de metal de solda, o processo MIG-CW foi

aplicado, haja vista que o aporte térmico diminui e a penetração também, como explicado anteriormente e confirmado na tabela 9.

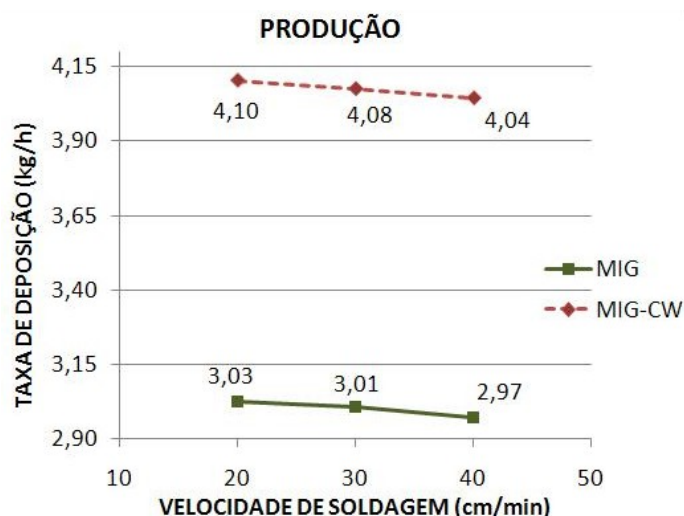


Figura 5. Análise gráfica da taxa de deposição dos processos para as mudanças de velocidade de soldagem.

Os resultados encontrados para as características geométricas e econômicas encontram-se coerentes com os obtidos pelos autores “Barrozo”, “Gonçalves” e “Sábio”. Onde, foram constatados ganhos na produtividade com adição do arame frio para os processos GMAW-CW E FCAW-CW. Com base nos resultados, tabela 5, obtidos na análise das características econômicas para os processos MIG e MIG-CW é possível destacar o ganho de produtividade para o processo com adição de arame, tabela 6, independente da velocidade de soldagem empregada, ou seja, pode-se variar a velocidade empregada sem afetar gravemente a produtividade. A tabela 6 mostra que o material depositado para o processo MIG-CW manteve-se em média 33% superior ao modo convencional, para todas as velocidades.

Tabela 6. Destaque para a taxa de deposição das soldagens dos processos MIG e MIG-CW.

<i>Peça</i>	<i>Velocidade de soldagem (cm/min.)</i>	<i>TD (Kg/h)</i>	<i>TD_{MIG-CW} - TD_{MIG} (Kg/h)</i>
<i>C1</i>	20	3,03	1,07 (35,31%)
<i>F1</i>		4,10	
<i>C2</i>	30	3,05	1,03 (33,77%)
<i>F2</i>		4,08	
<i>C3</i>	40	2,97	1,07 (36,02%)
<i>F3</i>		4,04	

Para a discussão sobre o resultado das características geométricas vale destacar o conteúdo da tabela 4, para uma nova tabela, a tabela 7, que está a seguir:

Tabela 7. Destaque para a largura do cordão de solda nos processos MIG e MIG-CW

<i>Peça</i>	<i>Velocidade de soldagem (cm/min)</i>	<i>Largura média (mm)</i>	<i>Largura_{MIG-CW} - Largura_{MIG} (mm)</i>
<i>C1</i>	20	6,84	1,45 (21,28%)
<i>F1</i>		8,29	
<i>C2</i>	30	4,05	3,66 (90,50%)
<i>F2</i>		7,71	
<i>C3</i>	40	4,03	2,08 (51,45%)
<i>F3</i>		6,13	

A tabela 7 destaca o aumento da largura dos cordões com o processo MIG-CW para os mesmos parâmetros do MIG, o que se mostra como uma vantagem em relação ao modo convencional, já que o processo MIG-CW levará menos tempos para revestir uma mesma superfície. Os resultados geométricos apontam uma maior estabilidade para velocidade de soldagem 30 cm/min.

Outro resultado importante para o nosso estudo vem da tabela 4 também, onde podemos ressaltar a relação entre as penetrações em ambos os processos, observe a tabela 9, a seguir.

Tabela 9. Destaque para a penetração média dos processos MIG e MIG-CW

<i>Peça</i>	<i>Velocidade de soldagem (cm/min)</i>	<i>Penetração média (mm)</i>	<i>Penetração_{MIG} - Penetração_{MIG-CW} (mm)</i>
<i>C1</i>	20	0,91	-0,13 (- 14,88%)
<i>F1</i>		0,78	
<i>C2</i>	30	2,16	-1,01 (-46,44%)
<i>F2</i>		1,16	
<i>C3</i>	40	1,55	-0,65 (-42,42%)
<i>F3</i>		0,89	

Tratando-se de soldagem de revestimento, a diminuição da penetração, devido ao ‘roubo’ de calor para a fusão do frio, é obviamente um fator positivo para a viabilidade do processo MIG-CW quanto a esta aplicação, como discutido anteriormente neste artigo. Geralmente, as velocidades de soldagem menores implicam em maior penetração dos cordões, mas durante os processos de parametrização é constatado que os processos se tornam mais estáveis em determinados valores de variáveis, é possível perceber que a penetração média para a velocidade 30cm/min é maior que a penetração das outras, e que em ambas as velocidades, a penetração diminuiu com a adição do arame frio.

Para a diluição pode-se afirmar que não houveram mudanças drásticas para os parâmetros escolhidos para a soldagem, portanto houve uma certa estabilidade neste aspecto.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para as características geométricas e econômicas para o processo de soldagem MIG-CW mostraram-se satisfatórios para o emprego na soldagem de revestimento.

As informações encontradas confirmam a viabilização do processo MIG-CW para soldagem de revestimento de grandes superfícies, modo mecanizado, por apresentarem um aumento da produtividade, maior massa depositada em função do tempo.

O processo MIG-CW apresentou maior produtividade do que o MIG convencional, isso indica que o tempo para que o revestimento de uma determinada área seja realizado em menor tempo do que o utilizado atualmente para revestimentos com o modo convencional. O processo MIG-CW ainda necessita de melhores ajustes, para que se torne cada vez mais viável e, conseqüentemente, haja aumento na demanda no mercado deste processo de soldagem em alternativa ao MIG convencional.

Algumas sugestões para trabalhos futuros são: trabalhar com velocidades diferentes de alimentação de arame eletrodo e estudar as características das soldas, e alterar o sentido da soldagem para o sentido empurrando de soldagem com intuito de espalhar melhor o material depositado e diminuir ainda mais a relação de diluição do revestimento da soldagem para o MIG-CW.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos integrantes do Grupo de Estudo em Tecnologia de Soldagem da Universidade Federal do Pará, aos integrantes do Grupo de Tecnologia da Automação da Universidade Federal do Pará, a REMULT parceira no desenvolvimento desse trabalho e a CAPES e o PIBIC pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Hélio Antônio Lameira de. **Uma Contribuição ao Estudo de Soldagem MIG de Chapas Finas de Al-Mg**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará. Belém, PA. Setembro de 2003.
- BARROZO T. S., “Estudo da Soldagem FCAW com Arame Frio”: **Trabalho de Conclusão de Curso - TCC**, UFPA, Belém-Pará, 2006.
- MACHADO, I. G., **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**, Livro, Porto Alegre, 1996.

- MENDONÇA, N. B., “Uma Contribuição ao Estudo do Desenvolvimento da Soldagem FCAW com Arame Frio” ”: **Trabalho de Conclusão de Curso** - TCC, UFPA, Belém-Pará, março, 2007.
- MODENESI, P. J., MARQUES, P. V., BRACARENSE, A. Q. “**Soldagem – Fundamentos e Tecnologia**”. Editora UFMG. Belo Horizonte-MG, 2007.
- NBR13284:1995, Normas para metodologia de tratamento metalográfico.
- SÁBIO.A. D. **Estudo da Viabilidade Operacional do Processo de MAG com Alimentação Adicional de Arame Frio**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, UFPA, Pará, 2007.
- SILVA FILHO, C. B. A., ALMEIDA, H. A. L., MOTA, C. A. M., BRAGA, E. M., “**Estudo da Características Econômicas e Geométricas de Soldas Depositadas pelo Processo MIG Duplamente Pulsado em Alumínio Naval**”. In: PROCEEDINGS OF THE 2TH BRAZILIAN CONGRESS OF FABRICATION ENGINEERING, 2, 2003, Minas Gerais. Anais... Minas Gerais Brazil: COBEF, 2003. p. 1-10.
- TRIOLA, M. F., **Introdução à Estatística**, Livro, Rio de Janeiro, 1999.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os 6 (seis) autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.