

ANÁLISE COMPARATIVA DOS EFEITOS DA SOLDAGEM TIG E MIG EM UM CORPO DE PROVA DE AÇO SAE 1045 POR MEIO DE ENSAIO DE TRAÇÃO

Lucas Gomes de Souza¹
Yuri Teixeira Souza¹
Renata de Abreu e Silva Oliveira²
Rosélio Marcos Santana³
Renata Pessoa Bifano⁴

lucasgoomes22@live.com

ÁREA DE CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

O aço SAE 1045 é amplamente utilizado na indústria. Muitas vezes essa aplicação exige que o material seja submetido a um processo de soldagem, o qual altera as propriedades mecânicas do material devido aos altos valores de temperatura atingidos. Os dois dos processos de Soldagem mais utilizados são as soldagens TIG e MIG/MAG. Trata-se de processos de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido. O presente trabalho tem o objetivo realizar uma análise comparativa dos efeitos dos processos de soldagem TIG e MIG nas propriedades mecânicas do aço SAE 1045 por meio da realização de um ensaio de tração no material. Foi realizado ensaio de tração em corpos de prova normalizados (NORMA ASTM A370) utilizando os dois processos de soldagem. Com os resultados obtidos nos ensaios, fez-se uma comparação dos processos, com isso, foi possível mostrar que o processo TIG manteve mais as propriedades do aço SAE 1045.

PALAVRAS-CHAVE: soldagem; aço SAE 1045; ensaio de tração.

1. INTRODUÇÃO

O aço SAE 1045 (SAE-Society of Automotive Engineers – Sociedade dos Engenheiros da Mobilidade) é um aço hipoeutetoide com 0,45% de carbono, muito utilizado na indústria quando há a necessidade de se atingir uma maior resistência mecânica que as dos aços de baixo carbono convencionais (GGD Metals). Suas principais características são, segundo Favorit (2015), boa usinabilidade, boa resistência mecânica, média solvabilidade e alta forjabilidade.

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Vértice - UNIVÉRTIX

² Licenciada e Mestre em Letras (UFV/UFMG), professora da Faculdade Vértice – UNIVÉRTIX – Matipó.

³ Graduado em Sistemas de Informação, Licenciado em Matemática, Pós-graduado em MBA e Gestão de Pessoas e Negócios e professor da Faculdade Vértice – UNIVÉRTIX – Matipó.

⁴ Mestre em Matemática e Pós-graduada em Física – Professora da Faculdade Univértix

“Denomina-se soldagem ao processo de união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão. A solda é o resultado desse processo” (BRANDI 1992, p.1). Seu processo é considerado uma união permanente, pois uma vez soldados, os componentes precisam ser destruídos para que sejam separados.

O processo TIG (*Tungsten Inert Gás*) é um processo de soldagem a arco elétrico que utiliza um eletrodo não consumível de tungstênio somado a um gás inerte que protege a região soldada, o processo pode ser realizado com ou sem metal de adição podendo ser manual ou automático (BRANDI, 1992).

O processo de soldagem MIG/MAG (*Metal Inert Gás/Metal Active Gás*) é um processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido. O eletrodo, nesse processo, apresenta a forma de arame que é fundido pelo arco elétrico e adicionado à peça. A soldagem é realizada um gás inerte ou ativo que gera uma atmosfera protegida que mantém as impurezas fora do processo de soldagem, o processo apresenta alta confiabilidade aliada a baixos custos operacionais (ESAB, 2005).

O ensaio de tração é um ensaio destrutivo que consiste em submeter um corpo de prova normatizado (ASTM A370, 2014) a um esforço de tração crescente na direção axial do corpo de prova até que ocorra a ruptura do material. Por meio do ensaio de tração podem-se obter diversas propriedades mecânicas do material tais como: limite de escoamento, limite de resistência à tração, limite de ruptura, alongamento percentual e coeficiente de estrição (CALLISTER JUNIOR, 2008).

O presente estudo tem os objetivos de analisar e comparar a influência dos processos de Soldagem TIG e MIG/MAG na resistência mecânica do aço SAE 1045 por meio da realização de um ensaio de tração.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AÇO SAE 1045

O aço é uma liga metálica formada por ferro (como seu principal componente) e carbono. A percentagem de carbono no aço varia entre 0,022 e 2,14%. O aço pode apresentar, em sua composição, diversos elementos de ligas (por exemplo, cromo e níquel), ao aço cuja presença de elementos de liga não seja significativa, dá-se o nome de aço carbono (SILVA e FARIA NETO, 2012).

O ferro é um material de estrutura atômica cristalina. Essa estrutura permite que o ferro deslize facilmente, tornando-o assim um material extremamente macio.

Ao adicionar o carbono ao ferro, a sua dureza é aumentada tornando o aço mais difícil de ser quebrado que o ferro, porém sua ductilidade é diminuída (CALLISTER JUNIOR, 2008).

O aço SAE 1045 é um aço de médio carbono com 0,45% de carbono e os aços de médio carbono contem em média teores de carbono que variam entre 0,30% e 0,60% e teores de manganês de 0,60% até 1,65% (CALLISTER JUNIOR, 2008).

2.2 PROCESSOS DE SOLDAGEM TIG

A soldagem TIG é muito utilizada para a realização na soldagem de ligas de alumínio, magnésio, titânio, aços inoxidáveis, entre outros. A TIG produz uma solda de alta qualidade (BRANDI, 1992).

Conhecido também como GTAW (Gás Tungsten arc welding) o processo de soldagem TIG é, segundo Schwedersky *et al.* (2011), considerado tradicionalmente um processo aplicado com baixa velocidade de soldagem e também, por isso, classificado popularmente como um processo de baixa produtividade. Essa classificação ocorre também devido aos problemas encontrados quando se busca utilizar o processo TIG de forma autógena com velocidade de soldagem elevada, pois, dessa forma, é necessário que a corrente de soldagem também seja elevada para manter o cordão com tamanho satisfatório.

O processo TIG produz uma solda limpa e de alta qualidade. O metal de adição, quando utilizado, é introduzido no limite da poça de fusão. O processo não gera escória, portanto não há chance de contaminação da solda e elimina-se a necessidade da realização de uma limpeza no material soldado (ESAB, 2014).

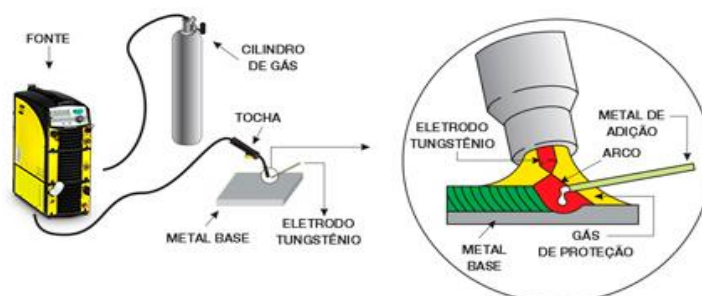


Figura 01: Máquina de Solda TIG
Fonte: ESAB 2014

As vantagens do processo GTAW são: alta qualidade e ausência de escória e respingos na soldagem podem ser empregadas em todos os tipos de posição,

eficiente em soldagem de chapas de pouca espessura sensíveis ao calor, menor aquecimento e bom acabamento do cordão de solda (ÁQUILA, 2012).

O processo apresenta algumas limitações como baixa taxa de deposição. Não é possível soldar em locais abertos ou com correntes de ar. Existe a possibilidade de inclusão de tungstênio na solda e emite uma intensa radiação ultravioleta (FOGAGNOLO, 2011), além disso, a soldagem manual TIG é uma das que mais necessita de maior treinamento e habilidade do soldador. Nos processos mecanizados ou automatizados, não existe um soldador, apenas um operador que deve, no entanto, conhecer bem a técnica para identificar possíveis problemas (FOGAGNOLO, 2011).

2.3 PROCESSOS DE SOLDAGEM MIG/MAG

O processo MIG/MAG também pode ser chamado de GMAW (*Gás Metal Arc Welding*) é denominado automático — quando o movimento da tocha é feito por uma máquina — e de semiautomático — quando é feito pelo soldador. Em ambos, os casos o equipamento mantém a velocidade de alimentação do arame-eletrodo e o comprimento do arco elétrico constante (SCOTTI e PONOMAREV, 2008).

O esquema de funcionamento do equipamento de soldagem MIG/MAG está representado na Figura 02. A fonte de soldagem alimenta o sistema de soldagem e gera a tensão necessária para formação do arco elétrico. O cilindro de gás abastece a tocha de soldagem com um gás Inerte ou ativo para a formação da proteção da cortina de proteção gasosa da solda. A bobina de arame alimenta o sistema com o arame eletrodo e a tocha de soldagem é responsável pela realização da solda (SILVA, 2006).

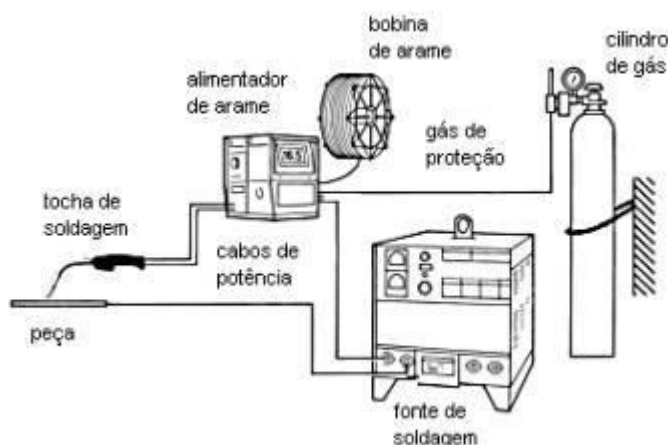


Figura 02: Máquina de solda MIG/MAG
Fonte: Silva (2006)

O processo GMAW possui inúmeras vantagens: a soldagem pode ser executada em todas as posições, não há necessidade de remoção de escória, alta taxa de deposição do metal de solda, tempo total de execução de soldas de cerca da metade do tempo se comparado ao eletrodo revestido, altas velocidades de soldagem; menos distorção das peças, largas aberturas preenchidas ou amanteigadas facilmente, tornando certos tipos de soldagem de reparo mais eficientes, não há perdas de pontas como no eletrodo revestido (ESAB, 2005).

Assim, como no processo TIG, o processo MIG/MAG apresenta algumas limitações, sendo a principal limitação desse processo:

A principal limitação da soldagem MIG/MAG é sua maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação de soldagem, que influenciam diretamente na qualidade do cordão de solda depositado. Além disso, deve ser ressaltado o alto custo do equipamento, a grande emissão de radiação ultravioleta, maior necessidade de manutenção em comparação com os equipamentos para soldagem de eletrodos revestidos e menor variedade de consumíveis (NERI, 2012, p. 32).

2.4 TENSÕES DE ESCOAMENTO

A tensão de escoamento de um material é a tensão a partir da qual o material deixa de se comportar elasticamente e assume um comportamento plástico. No comportamento elástico, o material se deformará após a aplicação da tensão, mas irá retornar ao estado inicial. Quando a tensão deixar de ser aplicada, a partir da tensão de escoamento σ_{esc} , o material deformará plasticamente. Ou seja, após o término da aplicação de tensão, o material não retornará ao estado inicial. Durante o regime elástico, o material se comportará conforme a Lei de Hook (OHRING, 1995):

$$\sigma_{esc} = \varepsilon E$$

Onde E = ao Módulo de Young do material, ε = a deformação sofrida pelo material no instante em que se quer calcular a tensão e σ = a tensão instantânea (OHRING, 1995).

2.5 LIMITES DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

O limite de resistência à tração é o ponto máximo de tensão na curva tensão x deformação. A partir desse ponto, começa a estricção no material e a tensão desse ponto até a fratura e o limite de resistência à tração não têm utilidade para a engenharia, pois, quando atingido o material, já houve uma deformação plástica, e, portanto, já houve falha. Para materiais frágeis, o limite de resistência à tração é o

ponto onde o material se rompe, já que não ocorre o fenômeno de estrição (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

2.6 DUCTIBILIDADE

A ductibilidade mede o quanto o material tem de capacidade de deformar plasticamente antes de se romper. Ela pode ser calculada por meio da percentagem de alongamento do comprimento útil da peça ou pela percentagem de redução da área útil da peça (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

$$\%RA = \frac{A_i - A_f}{A_i} \quad \%AL = \frac{(l_f - l_i)}{l_i}$$

2.7 RESILIÊNCIA

A resiliência, segundo Callister Júnior (2008, p.110), é “a capacidade de um material absorver energia quando ele é deformado elasticamente e, depois com a remoção da carga, permitir a recuperação dessa energia”.

$$U_r = \frac{\sigma_{esc}^2}{2E}$$

2.8 TENACIDADE

A tenacidade é a habilidade de um material de absorver energia até a sua fratura, em situações estáticas. Ela pode ser determinada pela área sobre a gráfica Tensão x Deformação de um ensaio de tração, materiais dúcteis tendem a apresentar maiores valores de tenacidade (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

3. METODOLOGIA

Os materiais utilizados para a soldagem, bem como os processos de solda utilizados estão dispostos na Tabela 1:

Tabela 01- Dada dos materiais ensaiados

Material Ensaiado	Solda Utilizada	Comprimento Útil	Espessura
Aço SAE 1045	TIG	38 mm	6,80 mm
Aço SAE 1045	MIG/MAG	45 mm	6,50 mm

Fonte: Elaborado pelos autores

Para a realização dos ensaios de tração, os corpos de prova foram preparados segundo a norma ASTM A370. Foram usinadas duas barras com 160 mm em um torno mecânico para que ficasse na forma padrão para ser ensaiados. Depois de usinadas para a forma padrão do ensaio de tração, os corpos foram cortados ao meio e chanfrados e, em seguida, soldados. Para tanto, produzido o processo de soldagem TIG usando-se a vareta AWSER 308L com 1.60mm e como gás de proteção Argônio e o processo MIG/MAG com o arame AWS E7018 de 0,8 mm como gás de proteção uma mistura de Dióxido de Carbono e Argônio com o cordão de solda em duplo U com acabamento liso e novamente torneado até a espessura de aproximadamente 6 mm a qual tem a parte útil do corpo de prova para que não gere um concentrador de tensão caso ficasse com espessura maior.

Assim, depois de unidas as partes dos corpos de prova, elas foram submetidas ao um ensaio de tração, buscando avaliar os resultados para que se tenha uma boa produção e que se identifique qual é processo de soldagem mais viável para a indústria mecânica. Foi também avaliado qual material iria apresentar melhor resistência mecânica a tração e maior suporte de carga.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois corpos de prova sofreram fraturas típicas de materiais dúcteis e a fratura ocorreu fora da região soldada. O comportamento dos gráficos tensão x deformação foram bem próximos um do outro, mostrando a eficiência dos dois processos.

Os resultados obtidos por meio dos ensaios de tração foram convertidos em tensão e deformação e estão dispostos nas Figuras 03 e 04:

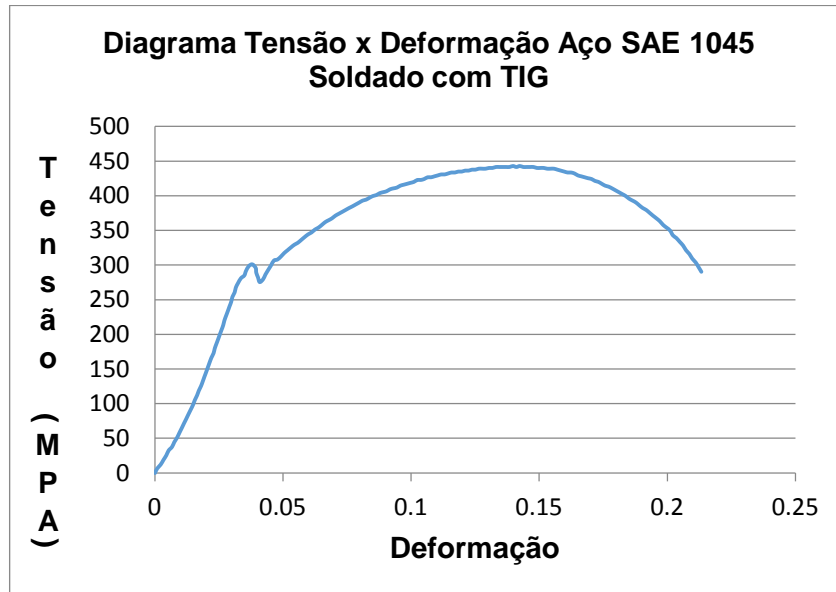


Figura 03: Gráfico Tensão x Deformação do Aço SAE 1045 soldado com TIG.
 Fonte: Elaborado pelos autores

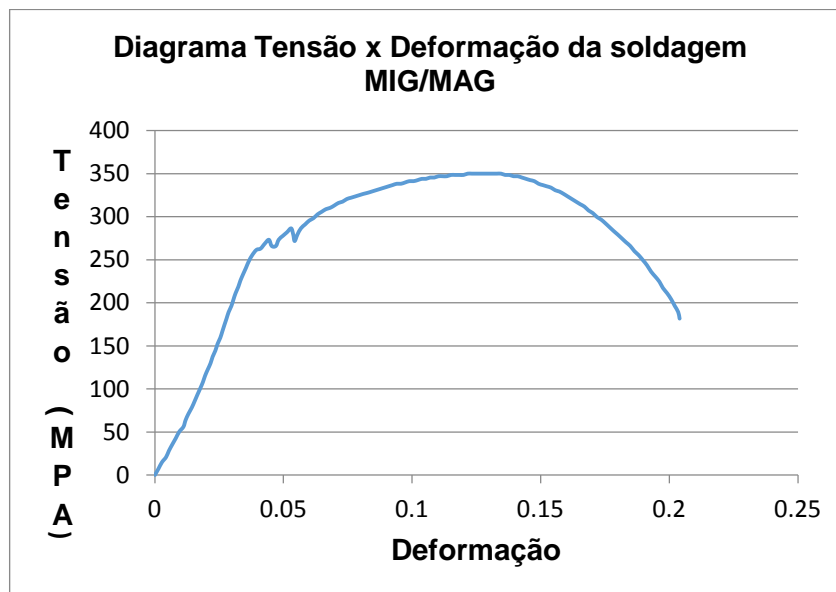


Figura 04: Gráfico Tensão x Deformação do Aço SAE 1045 soldado com MIG/MAG
 Fonte: Elaborado pelos autores

Pela análise dos gráficos, foi possível obter os valores de tensão de escoamento, tensão máxima, tensão de ruptura, alongamento, ductibilidade e resiliência, conforme Tabela 02. A fim de obter uma melhor visualização das diferenças entre os dois gráficos, foi confeccionado um gráfico comparativo entre as duas soldagens (Figura 05).

Tabela 02: Propriedades dos corpos de prova de aço SAE 1045 soldados com TIG e MIG/MAG obtidas por meio do ensaio de tração.

Solda	σ_{esc} (MPa)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	σ_{rup} (MPa)	ϵ_T	%AL	U_r ($\frac{MJ}{m^3}$)
TIG	275,35	442,77	290,23	0,2133	21,33	4,22
MIG/MAG	268,98	350,18	181,72	0,2040	20,40	5,48

Fonte: Elaborado pelos autores

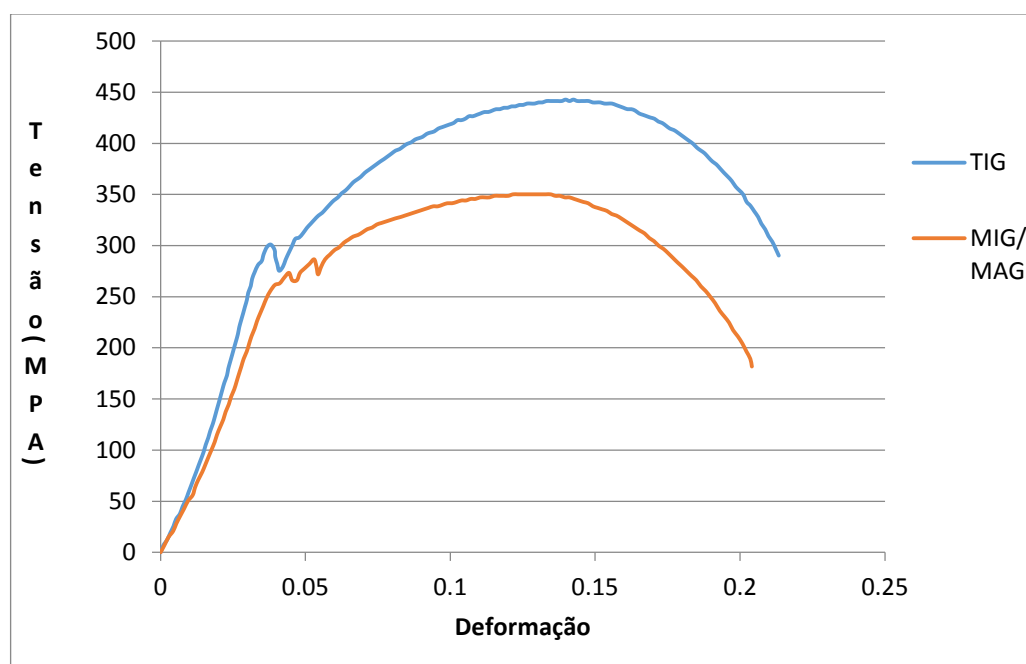


Figura 05: Gráfico comparativo de Tensão x Deformação do aço SAE 1045 soldado com TIG e MIG/MAG.

Fonte: Elaborado pelos autores

Por meio da análise dos valores dispostos na Tabela 02 e da análise da Figura 05, foi possível observar que o material soldado com TIG apresentou valores de tensões de escoamento, tensões máximas e tensões de ruptura maiores que os dos corpos de prova soldados com o processo MIG/MAG. Além do mais, os valores indicam que o material soldado com TIG foi mais tenaz, o que pode ser observado claramente pela visualização gráfica.

O processo TIG possui a vantagem de ser, conforme Átila (2012), bastante eficiente em chapas de pequena espessura e sensíveis ao calor. Essa eficiência pode ter sido um fator decisivo para os melhores resultados apresentados pelo processo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo TIG se mostrou mais eficaz para a soldagem em um aço SAE 1045 de pequena espessura. Os valores obtidos mostram que a soldagem pouco alterou as propriedades do aço SAE 1045, portanto ele se mostra mais próprio para soldagem em que sejam necessárias a manutenção das propriedades do aço e uma solda de maior qualidade e melhor acabamento.

A limitação da TIG para soldagens de maior espessura é um dos maiores problemas desse processo. Nesse caso, o processo MIG/MAG seria mais indicado pois, devido às suas características, não possui essa limitação, isso porque os gráficos de tensão x deformação atingiram valores muito próximos. Assim, troca de processo não acarretaria em grandes mudanças das características do material. Outro caso em que o processo MIG/MAG pode ser escolhido é em locais onde existe a necessidade de uma grande produtividade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁQUILA, V. Escola de Soldagem L&A. **Apostila L&A Soldagem: Processo de Soldagem TIG**. Salvador: Escola de Soldagem L&A, 2012. 41 p.

BRANDI, S. D. (Org.). Classificação dos processos de soldagem. In: WAINER, Emílio;

_____. Processos de Soldagem a Arco Elétrico: Soldagem TIG. In: WAINER, E.; BRANDI, S. D; MELLO, F. D. Homem de. **Soldagem: Processos e metalurgia**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 1992. Cap. 2c. p. 60-98.

BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. **Soldagem: Processos e metalurgia**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 1992. Cap. 1. p. 1-8.

CALLISTER JUNIOR, W D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 705 p.

CORREA S.; P. A. **Estudo dos campos de tensão gerados por inclusões durante o processo de torneamento em aços ABNT 1045 utilizando o método dos elementos finitos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-14082008-110627/>>. Acesso em: 2015-11-14

ESAB. **Apostila de Soldagem MIG/MAG**. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmigmag_low.pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

ESAB. **Processo de Soldagem - TIG (GTAW)**. 2014. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gta>. Acesso em: 22 nov. 2015.

FAVORIT. **Aços de Construção Mecânica: Aço SAE 1045.** Disponível em: <<http://www.favorit.com.br/produtos/acos-construcao-mecanica/aco-sae-1045>>. Acesso em: 06 out. 2015.

FOGAGNOLO, J. B. **Introdução a processos e metalurgia da soldagem:** Apostila 1. Campinas: Unicamp, 2011. 98 p.

GGD METALS (São Paulo). **Aço Construção Mecânica-SAE 1045.** Disponível em: <<http://www.ggdmetals.com.br/aco-construcao-mecanica/sae-1045/>>. Acesso em: 07 out. 2015.

NERI, M. M. Governo do Estado de São Paulo. **Soldagem.** São Paulo: Cetec, 2012. 51 p.

OHRING, M. **Engineering Materials Science.** Hoboken: Academic Press, 1995. 861 p.

SCHWENDERSKY, M. B. *et al.* Soldagem TIG de Elevada Produtividade: Influência dos Gases de Proteção Na Velocidade Limite para Formação de Defeitos. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, v. 16, n. 4, p.333-340, out/dez. 2011. Trimestral.

SILVA, R. H. G. **Desenvolvimento da soldagem mig/mag em transferência metálica por curto-circuito com controle de corrente para aplicação em passes de raiz.** 2006. Disponível em: <http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_atuais/mig_mag_cc.php>. Acesso em: 08 nov. 2015.

SILVA, R. A.; FARIA NETO, A. Estudo da microestrutura do aço sae 1045 para a melhoria da usinabilidade.: uma proposta para a gestão dos processos de usinagem. in: congresso internacional de cooperação universidade-indústria, 4Th, 2012, Taubaté. **Inovação e Sustentabilidade na América Latina.** Taubaté: UNINDU, 2012. p. 1 - 22.