

**FESURV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE SOLDAGEM ENTRE FONTE
INVERSORA E TRANSFORMADORA**

WEDER FERREIRA MORELIS ROSA

Orientador: Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Fesurv – Universidade de Rio Verde como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel.

RIO VERDE - GOIÁS

2014

**FESURV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE SOLDAGEM ENTRE FONTE
INVERSORA E TRANSFORMADORA**

WEDER FERREIRA MORELIS ROSA

Orientador: Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Fesurv – Universidade de Rio Verde como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel.

RIO VERDE - GOIÁS

2014

**UNIRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE SOLDAGEM ENTRE FONTE
INVERSORA E TRANSFORMADORA**

WEDER FERREIRA MORELIS ROSA

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do grau de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA** e aprovada em sua forma final.

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Diogo Batista Fernandes

Prof. Daniel Fernando da Silva

Prof. Me. João Pires de Moraes
Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

RIO VERDE - GO

2014

DEDICATÓRIA

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado paciência e persistência nessa longa jornada da minha vida.

Dedico esta monografia aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado me ajudando e nunca mediram esforços para isso, ao meu orientador e aos meus professores por ensinar e mostrar que o conhecimento é algo que está sempre se renovando e que quanto mais acreditamos que sabemos algo, menos temos domínio do assunto e aos meus colegas de curso. Obrigado por tudo!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade que ele esta me proporcionando, à minha mãe, Joana Darc Ferreira da Cruz (in memorian) mulher guerreira de grande caráter, que só nos deixa saudades, agradeço meus avós Vicentina Ferreira da Cruz e Idenis Vieira de Carvalho, às minhas irmãs Natalia Ferreira Afonso e Taciana Ferreira da Silva, aos meus tios Vanildo Viera de Carvalho e Vasco Viera de carvalho e Venilton Viera de carvalho, e a minha namorada Gessica Avelino de Oliveira, pessoas importantes neste meu desenvolvimento profissional.

RESUMO

MORELIS, Weder Ferreira Rosa. **Comparação de Característica de Soldagem entre Fonte Inversora e Transformadora.** 2014. xxf. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - UniRv - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2014¹.

O desenvolvimento das tecnologias em máquinas e equipamentos na área da soldagem tem proporcionado um ganho em qualidade e custos nos serviços envolvendo máquinas de solda. Um exemplo que se tem no mercado atual de máquinas destinadas ao serviço de soldagem são as máquinas transformadoras, as retificadoras e as inversoras. Esses modelos de máquinas possuem suas vantagens e desvantagens, por isso este trabalho tem como objetivo principal fazer uma comparação entre as máquinas transformadoras e as inversoras, avaliando as diferenças operacionais, qualidade da solda, produtividade e custos. Depois de avaliados vários critérios comparativos, estabelecemos que na relação custo-benefício a inversora se saiu superior a transformadora.

PALAVRAS-CHAVE

Tecnologias, máquinas, soldagem, transformadoras, inversoras, comparação.

¹ Orientador: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira – UniRv

ABSTRACT

MORELIS, Weder Ferreira Rosa. Feature Comparison between Source Inverter Welding and Manufacturing. 2014. XXF. Monograph (Undergraduate Mechanical Engineering) - UniRv - University of Green River, Green River, 2014².

The development of technology in machinery and equipment in the welding area has provided a gain in quality and costs in services involving welding machines. One example that we have in today's welding machines for the service are the transformers, rectifier and inverter machines. These two models of machines have their advantages and disadvantages, so this work aims to make a comparison between the two models of welding machines, evaluating the operational differences, quality, time and costs. After evaluating several comparative criteria , established that in the inverting value for money has done more than transformative.

KEYWORDS

Technologies, machines, welding transformer, inverter, comparison.

² Advisor: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira - UniRv

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Representação esquemática de uma máquina de solda por arcoelétrico.....	12
FIGURA2 - Catálogo de uma máquina de solda denominada transformador.	12
FIGURA3 - Catálogo de equipamentos de fontes retificadoras dos processos TIG e MIG/MAG.....	13
FIGURA4 - Exemplo de fonte inversora, capaz de soldar por eletrodo revestido e TIG. Peso do equipamento – 8 kg.....	14
FIGURA5 - Catálogo de fonte multiprocesso do IMC.....	15
FIGURA 6 - Curva característica estática da fonte de soldagem da figura 2 (corrente constante).....	16
FIGURA 7 - Característica estática de uma fonte de soldagem MIG/MAG convencional – tensão constante.....	16
FIGURA 8 - Desenho esquemático de painéis de fontes com ajuste da característica estática por escalões (a) e contínua (b).....	17
FIGURA 9 - Soldagem com eletrodos revestidos	18
FIGURA 10 - Defeitos na soldagem com eletrodos revestidos	21
FIGURA 11 - Cordão de solda - Soldagem com fonte Transformadora	24
FIGURA 12 – Falta de penetração da solda: Fonte Transformadora	25
FIGURA 13 – Cordão de Solda - Soldagem com Inversora	26
FIGURA 14 – Perfil de penetração: Máquina Inversora	27

LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELA 1 – Fator de trabalho relacionado à corrente.....	17
QUADRO 1 – Parâmetros de tensão e corrente de soldagem.....	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	10
2	REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1	Definição de Soldagem	11
2.2	Tipos de fontes de soldagem (máquinas de solda)	11
2.3	Curvas características estáticas da fonte de soldagem.....	15
2.4	Fator de trabalho	17
2.5	Soldagem com eletrodos revestidos	18
2.5.1	Características de processo	18
2.6	Seleção dos parâmetros de soldagem	19
2.7	Qualidades e características de uma boa soldagem	20
2.7.1	Principais defeitos de uma soldagem	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONCLUSÕES	28
6	REFERÊNCIAS.....	29
	ANEXOS.....	30

1 INTRODUÇÃO

Em função do grande número de empresas que utilizam o serviço de soldagem na fabricação e reparos dos seus produtos, e também utilizam os vários modelos de equipamentos de soldagem elétricos, como por exemplo, as máquinas transformadoras (mais simples e baratas) e as inversoras (mais sofisticadas e caras), pode-se estabelecer dentro deste contexto, uma avaliação de cada modelo, e depois obter os resultados avaliados através da comparação dos dois equipamentos.

Neste trabalho foram avaliados aspectos econômicos, através do estudo da taxa de deposição e do custo dos equipamentos, além dos aspectos técnicos, comparando a geometria dos cordões de solda de cada máquina, perfil de penetração respingos e defeitos gerados nas soldagens com máquinas inversoras e transformadoras, além da qualidade de acabamento da solda, tempo de soldagem e a facilidade de deslocamento de cada equipamento. Com isso, chegou-se a uma somatória das características e pontos positivos e negativos de cada máquina, cujos resultados são mostrados em forma de gráficos e tabelas.

1.1 Objetivos

Dentro desse enfoque, o presente trabalho busca apresentar, através de um levantamento bibliográfico e também de métodos experimentais, qual a melhor opção em relação ao custo/benefício e às características operacionais para uma empresa na área da metalurgia, na utilização de máquinas de solda transformadoras e inversoras.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Definição de Soldagem

De acordo com Quites (2002, p.3) soldagem é a “Operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas”.

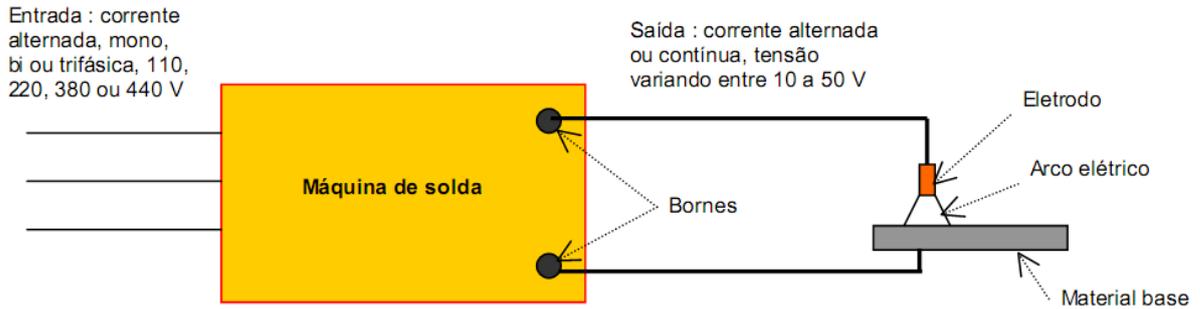
De acordo com a AWS (Associação Americana de Soldagem) soldagem é: “Processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição”.

2.2 Tipos de fontes de soldagem (máquinas de solda)

De acordo com Okimoto (2001, p.2) fontes de energia para soldagem a arco voltaico podem ser consideradas como o ponto de alimentação da energia elétrica ao processo. Entretanto, as fontes exercem grande influência sobre o desempenho de um processo de soldagem (qualidade e produtividade). Desta forma, um maior conhecimento das características e princípios de funcionamento das fontes de energia, é requisito necessário para todos aqueles que tencionam trabalhar com soldagem.

Para obtenção do arco elétrico necessita-se de uma fonte de energia, denominada vulgarmente de máquina de solda e tecnicamente de fonte de soldagem. São máquinas que permitem a obtenção do arco elétrico em baixas tensões (10 a 50 V) e altas correntes (40 a 500 A), sendo utilizadas em soldagem nos processos Eletrodo Revestido, MIG/MAG, TIG, Arco Submerso, Plasma e Eletroescória.

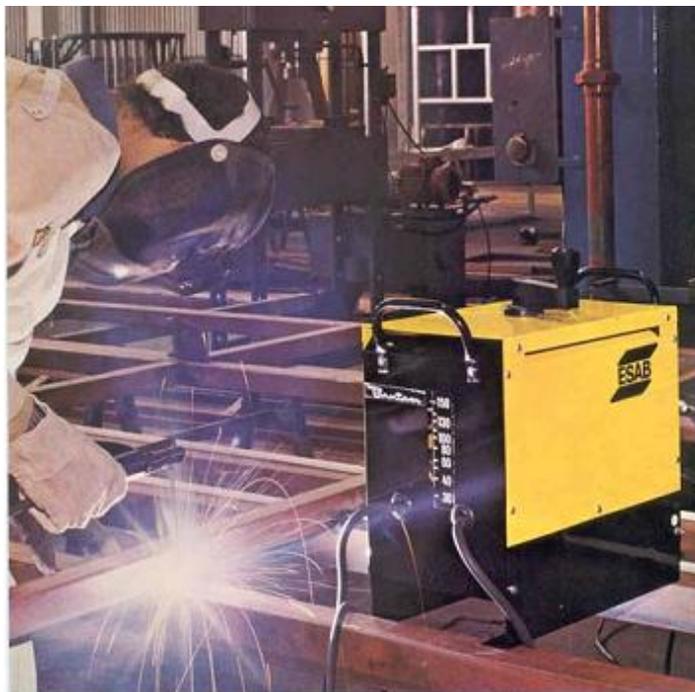
De forma esquemática, uma máquina de solda pode ser como aquela representada pela figura 1. A máquina de solda é alimentada pela rede elétrica, mono, bi ou trifásica, em tensões normais de 110, 220, 380 ou 440 V. Qualquer que seja a alimentação, a tensão de saída nos bornes da máquina deverá estar entre 10 a 50 V, e o tipo de corrente poderá ser alternada ou contínua.



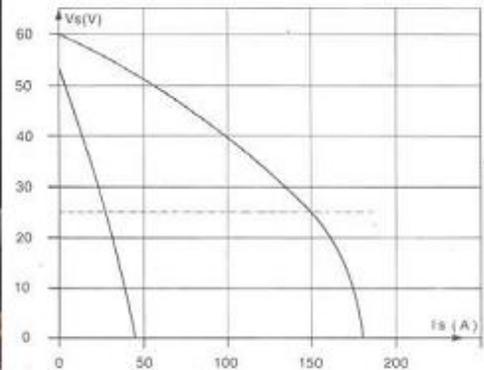
Fonte: Okimoto (2002).

FIGURA 1 - Representação esquemática de uma máquina de solda por arco elétrico.

De acordo com Okimoto (2001, p.3), as máquinas de solda mais simples são pequenos transformadores, que reduzem a tensão de alimentação para as tensões mencionadas, mantendo a corrente alternada. Devido à simplicidade do equipamento, são de baixo custo e aplicadas em processos de soldagem que se trabalhe com corrente alternada. Exemplo típico deste tipo de equipamento são as pequenas máquinas de solda de eletrodo revestido utilizadas em metalúrgicas de pequeno porte ou mesmo para uso em campo. Um exemplo deste tipo de equipamento pode ser visto na figura 2, com as devidas características técnicas.



CARACTERÍSTICA ESTÁTICA



DADOS TÉCNICOS

- Faixa de corrente (A)	30 - 150		
- Corrente nominal (A)	150		
- Fator de trabalho nominal (%)	20		
- Tensão em vazio máxima (V)	60		
- Cargas autorizadas:			
- Fator de trabalho (%)	60	40	20
- Corrente (A)	80	100	150
- Tensão em carga convencional (V)	25	25	25
- Classe térmica	H		
- Limite de temperatura (°C)	180		
- Alimentação elétrica (V-Hz)	110/220 ou 380-60		

Para pedido, usar as referências abaixo: Número referência
 Transformador BANTAM 110/220V-60Hz 509 091-880
 Transformador BANTAM 380V-60Hz 509 091-881

Transformador para soldagem manual

Fonte: Okimoto (2002).

FIGURA2 - Catálogo de uma máquina de solda denominada transformador.

Para processos que requeiram o uso de corrente contínua, existem as máquinas de solda conhecidas como fontes retificadoras. Elas retificam a corrente através de diodos e tiristores, sendo muito aplicados no processo MIG/MAG, eletrodo revestido e TIG. Devido à maior complexidade do equipamento, seu custo é mais elevado. Exemplos deste tipo de equipamentos podem ser vistos na figura 3.

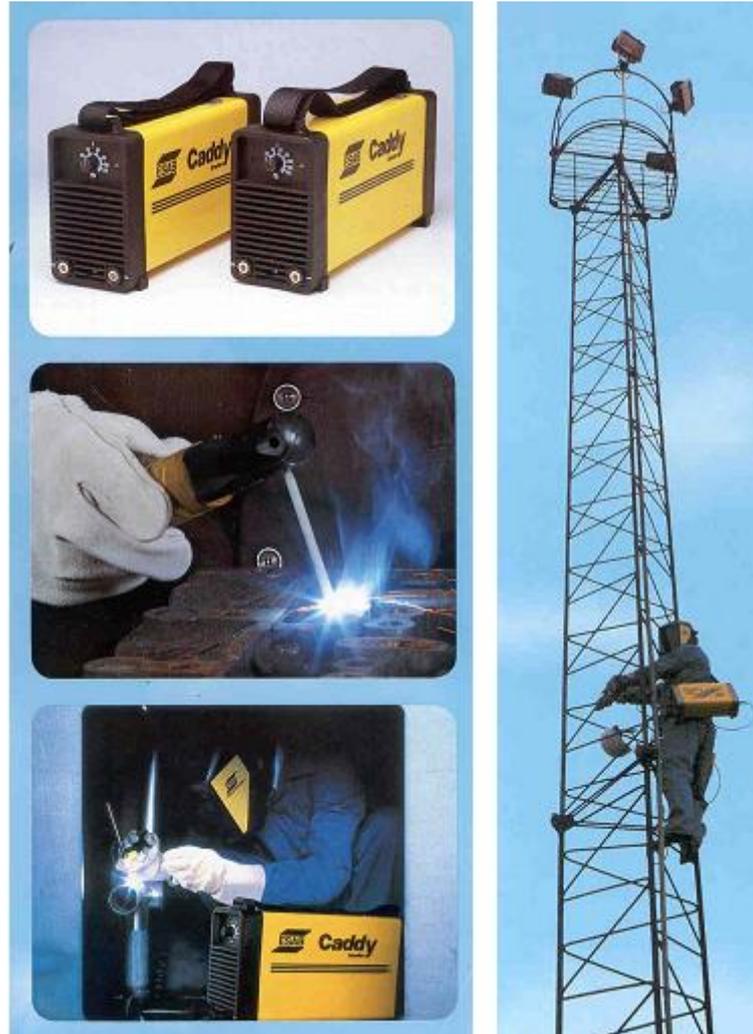


Tig Star 251 AC/DC	Mig Star 450 S
Transformador / Retificador monofásico para solda TIG.	Retificador trifásico para solda MIG/MAG.
Características Técnicas <ul style="list-style-type: none"> - Tensão de alimentação monofásica 208-220/230-380 <li style="padding-left: 20px;">415-440/460 50/60Hz - Ciclo de trabalho - 10 min (A) 250-35%/190-80%/150-100% - Potência instalada (KW) 23 - Potência absorvida (KVA) 14-35%/9, 1-60%/6-100% - Faixa de regulação de corrente (A) 5 - 250 (AC/DC) - Grau de proteção IP 21 - Peso (kg) 140 - Dimensões (mm) 450 x 1007 x 887 	Características Técnicas <ul style="list-style-type: none"> - Tensão de alimentação trifásica (V) 230-380 50/60Hz - Ciclo de trabalho - 10min. (A) 450-60%/350-100% - Potência instalada (KW) 18 - Potência absorvida (KVA) 21,5-60%/14-100% - Faixa de regulação de corrente (A) 40 - 450 - Nº de posições de regulação 4 x 8 - Diâmetro do arame sólido (mm) 0,8 / 1 / 1,2 e 1,6 - Peso da bobina - máx. (kg) 15 @ 300 mm - Grau de proteção IP 21 - Peso (kg) 185 - Dimensões (mm) 458 x 1025 x 210
Características Especiais <ul style="list-style-type: none"> - Fonte eletrônica de alta tecnologia - HF do tipo eletrônico com sistema de ligatostiga automático - Ignição automática - Soldagem em corrente contínua e alternada com recurso de onda quadrada - Amperímetro digital - Unidade de refrigeração da Tocha - Solda qualquer tipo de eletrodo revestido, inclusive os celulósicos - Soldagem por arco pulsado, com regulação de 0,03 até 3,5 segundos - A unidade por arco pulsado pode ser usado com comando à distância - Painel completo com os comandos centralizados - Proteção térmica contra possíveis sobrecargas - Rampa de entrada e saída de arco 	Cabeçote <ul style="list-style-type: none"> - Ajuste de "Burn-Back" - Chave seletora para gatilho automático ou manual - Chave de teste de arame e gás - 4 roldanas de tração - Conexão tipo EURO engate Características Especiais <ul style="list-style-type: none"> - Máxima elasticidade e velocidade de resposta, graças ao exclusivo "Integrated Active System" - Saídas de impedância para soldagem de alumínio, aço inoxidável e aço carbono - Alta produtividade com velocidades de depósito que podem chegar a até 24 ml / minuto - Cabeçote com 4 roldanas de tração - Amperímetro e voltímetro com memorização dos últimos valores de soldagem - Unidade de refrigeração da Tocha - Painel completo com comando centralizados - Proteção térmica contra possíveis sobrecargas
Acessórios <ul style="list-style-type: none"> - Tocha TIG refrigerada a água (3 m) - Comando de pedal (5 m) - Unidade para arco pulsado (5 m) - Cabo obra (3,5 m) - Extensão para controle Remoto (5 m) - Conexão de água (3 m) - Cabo Porta Eletrodos (5 m) 	Acessórios <ul style="list-style-type: none"> - Tocha MIG refrigerada a água (3 m) - Cabo obra (3,5 m) - Cabo de interligação (5 m)

Fonte: Okimoto (2002).

FIGURA3 - Catálogo de equipamentos de fontes retificadoras dos processos TIG e MIG/MAG.

Devido à grande evolução da eletrônica, atualmente são construídos equipamentos cada vez menores e mais versáteis, foram lançadas as chamadas fontes inversoras, que reduziram drasticamente o tamanho dos equipamentos, conforme mostrado na figura 4.



Fonte: Okimoto (2002).

FIGURA4 - Exemplo de fonte inversora, capaz de soldar por eletrodo revestido e TIG. Peso do equipamento – 8 kg.

Na mesma época começaram a surgir fontes de soldagem denominadas multiprocessos, que permitem soldar com diversos processos de soldagem, seja em corrente contínua ou alternada, conforme mostrado na figura 5.

IMC

MTE DIGITEC 450/600

MTE DIGITEC 450/600

ALTA TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA COM TRANSISTORES IGBT e CONTROLE MICROPROCESSADO

Esta linha desenvolve-se o mais moderno equipamento de soldagem a arco com as seguintes opções:

- processo MIG/MAG convencional;
- processo MIG/MAG pulsado com comando de corrente;
- processo MIG/MAG pulsado digitalmente pulsado;
- processo MIG/MAG pulsado sinérgico;
- processo TIG com corrente contínua constante ou pulsada;
- processo eletrodo revestido com sistema de anti-colagem.

Operação através de controle remoto microprocessado com teclado e "display" de cristal líquido, por meio dos quais é feita a seleção dos processos e os ajustes das variáveis de forma simples e prática.

A Fonte de Soldagem a Arco Microprocessada, Multiprocesso e Sinérgica. Facilmente adaptável às suas necessidades.

Dados Técnicos:

MODELO	MTE DIGITEC 450	MTE DIGITEC 600
Corrente nominal	200 A a 100% FC	350 A a 100% FC
Corrente máxima	450 A	600 A
Alimentação	230/240/440 V 3 ~	230/240/440 V 3 ~
Dist. φ	0,55	0,86
Dimensões	500 x 400 x 900 (x1)	500 x 605 x 900 (x1)
Peso	120 kg	140 kg

Fonte: Okimoto (2002).

FIGURA5 - Catálogo de fonte multiprocesso do IMC.

Para uso em locais onde a energia elétrica não está disponível, existem os chamados geradores de energia. Estes equipamentos são cada vez mais raros, pelo simples fato da energia elétrica estar disponível praticamente em qualquer local.

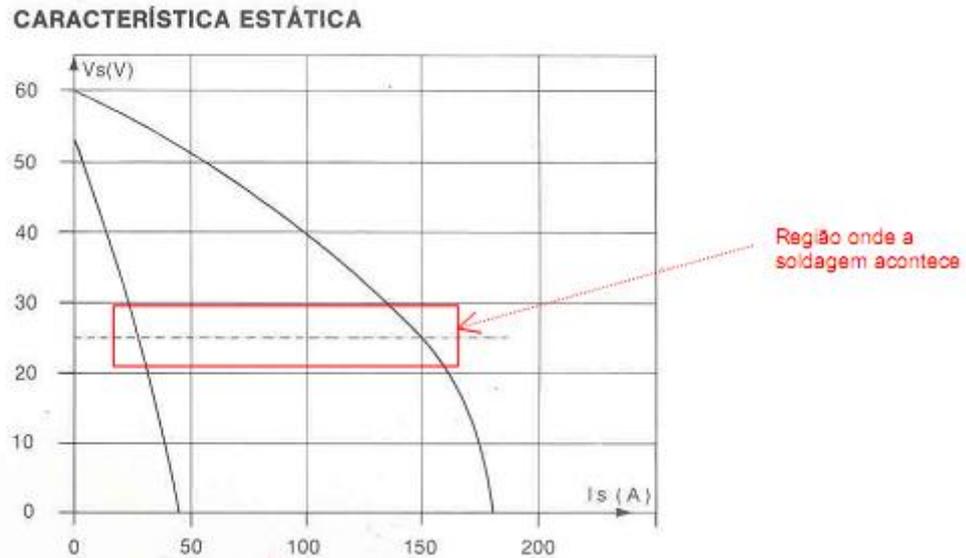
Detalhados os tipos de fontes, seguem na sequência as principais características das fontes de soldagem, que identificam as máquinas transformadoras e inversoras que são utilizadas para cada processo.

2.3 Curvas características estáticas da fonte de soldagem

As máquinas de soldagem (também chamadas de fonte de energia ou fonte de soldagem) podem ser classificadas em fonte de corrente constante e fonte de tensão constante quanto à sua característica estática. O que significa isto? Na figura 2 as curvas apresentadas pelo fabricante são denominadas característica estática da fonte, reproduzida na figura 6. Na verdade estas curvas demarcam uma região onde a máquina de solda trabalha, considerando as correntes e tensões envolvidas. No caso específico da curva considerada, a corrente varia pouco para uma dada variação da tensão. Neste caso, chama-se esta fonte de corrente constante. Ela é típica dos processos de soldagem por Eletrodo Revestido e TIG.

Isto significa dizer que nestes processos a regulagem a ser feita é da corrente de soldagem. A região que a máquina trabalha fica então limitada a correntes entre 30 a 150 A,

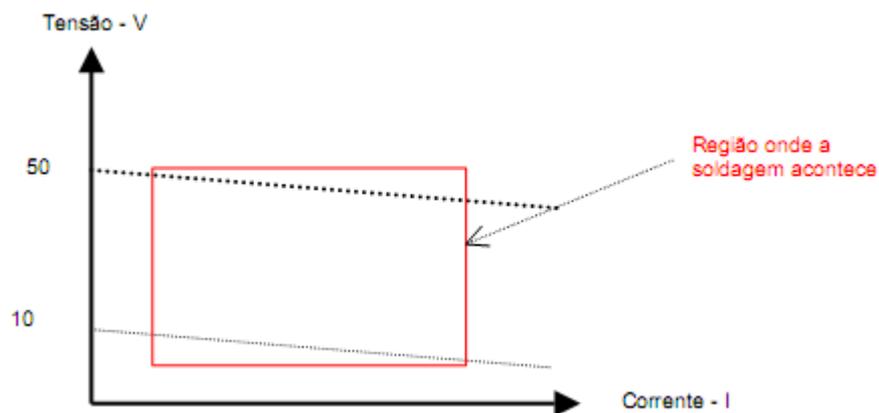
com a tensão variando em torno de 20 a 30 V, devido às características elétricas do arco elétrico (adiante é mostrada a razão da tensão ficar entre estes valores).



Fonte: Okimoto (2002).

FIGURA 6 - Curva característica estática da fonte de soldagem da figura 2 (corrente constante).

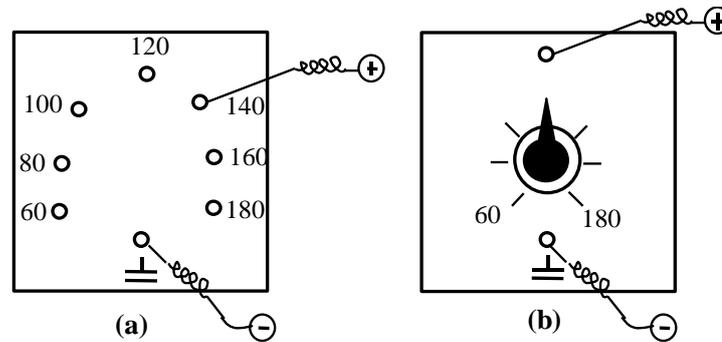
Para o processo de soldagem MIG/MAG as fontes são de tensão constante, e podem ser representadas pelas curvas mostradas na figura 7. Nota-se que a tensão varia pouco, para uma significativa variação da corrente. Ou seja, no processo MIG/MAG convencional, regula-se a tensão de soldagem. Isto é feito pelos comandos disponíveis no equipamento.



Fonte: Okimoto (2002).

FIGURA 7 - Característica estática de uma fonte de soldagem MIG/MAG convencional – tensão constante.

Este ajuste pode ser contínuo, quando a posição das curvas características é ajustada por pequenos incrementos, ou por escalões (taps), para o qual este incremento é maior e não permite a fixação de valores intermediários a cada escalão. A Figura 8 ilustra painéis de fontes com ajustes de características contínuas e por escalões.



Fonte: Okimoto (2002).

FIGURA 8 - Desenho esquemático de painéis de fontes com ajuste da característica estática por escalões (a) e contínua (b).

2.4 Fator de trabalho

Em todas as máquinas de solda são especificados os valores do chamado fator de trabalho. Este fator relaciona a corrente de soldagem utilizada e o tempo de soldagem que é permitido utilizar a máquina de solda com arco elétrico aberto, em relação a um tempo de 10 minutos. Por exemplo, veja na figura 2 o fator de trabalho indicados para 3 níveis de corrente, reproduzidos na tabela abaixo.

TABELA 1 – Fator de trabalho relacionado à corrente.

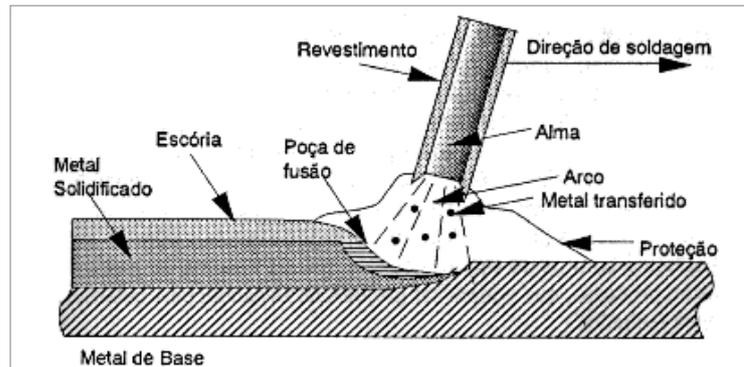
Fator de Trabalho [%]	60	40	20
Corrente [A]	80	100	150

Fonte: Okimoto (2002).

Assim, caso se faça uma regulagem de corrente de 150 A, recomenda-se que num tempo de 10 minutos não se ultrapasse de $(20\% \times 10 \text{ minutos}) = 2$ minutos de arco aberto, ou seja, efetivamente soldando. Caso se regule a máquina com 60 A, poder-se-ia soldar durante 6 minutos num tempo total de 10 minutos. Isto se faz necessário para que o equipamento possa se resfriar durante a parada de soldagem, de forma a preservar o equipamento de um aquecimento excessivo, que poderia causar sérios danos ao equipamento.

2.5 Soldagem com eletrodos revestidos

Segundo Pereira (2012, p.15) é o processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e a peça que está sendo soldada (Figura 9).



Fonte: Pereira (2012).

FIGURA 9 – Soldagem com eletrodos revestidos.

O eletrodo para soldagem com eletrodos revestidos é constituído de alma e revestimento.

Alma: Serve para conduzir corrente e fornecer material de adição. Pode ser:

- sólida (trefilada ou fundida)
- tubular

Revestimento: proporciona estabilidade de arco, proteção da poça contra a atmosfera e exerce funções metalúrgicas (controla a composição química do cordão, microestrutura e propriedades mecânicas).

2.5.1 Características do processo

O processo de soldagem com eletrodos revestidos possui as seguintes características:

- equipamento relativamente simples, barato e portátil;
- metal de adição (alma) e a proteção são fornecidos pelo próprio eletrodo;
- facilidade de ajustar a composição do depósito;
- pouco sensível à ventos;
- ocupa pouco espaço físico;

- processo essencialmente manual e de baixa produtividade (baixa produção + baixo ciclo de trabalho).

2.6 Seleção dos parâmetros de soldagem

De acordo com Quites (2008, p.54), a escolha adequada dos parâmetros operacionais é de suma importância na condução da operação de soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos. A seleção se faz mediante a tensão, a corrente, a velocidade e a penetração de soldagem.

a) **Tensão de soldagem** - A tensão de soldagem é regulada em função do tipo de eletrodo, mas, geralmente, para uma dada classe de revestimento, ela varia linearmente com o comprimento do arco. Arcos muito longos tendem a causar instabilidade. O comprimento do arco deve ser de uma vez o diâmetro do eletrodo, para as operações de soldagem convencionais. Dentro desses limites, a tensão de soldagem na posição plana varia de 20 a 30 volts, para diâmetro na faixa de 3 a 6 milímetros do eletrodo.

b) **Corrente de soldagem** - É determinada basicamente pelo tipo de material a ser soldado e pelas características específicas da operação, como geometria e dimensões da junta, diâmetro e classe de revestimento do eletrodo, posição de soldagem, etc. Uma corrente excessivamente alta também poderá acarretar a perda de elementos de liga. Em materiais de alta liga, poderá ocasionar trincas a quente, como na soldagem dos aços austeníticos, e produzir uma zona termicamente afetada de dimensões significativas. Daí a importância da seleção cuidadosa da corrente de soldagem. Como regra prática, tem-se $40 \text{ A} \times \text{o diâmetro do eletrodo}$.

O quadro 1 relaciona valores de corrente e tensão em função do diâmetro do eletrodo.

QUADRO 1 – Parâmetros de tensão e corrente de soldagem.

Dados do eletrodo		Parâmetros elétricos		
Diâmetro mm	secção mm ²	Tensão (V)	Corrente média (A)	Dens. média de corrente A/mm ²
1,5	1,77	20	40 ± 10	- 23
2,0	3,14	22	65 ± 15	- 22
2,5	4,91	23	80 ± 30	- 17
3,25	8,30	24	130 ± 50	- 16
4,0	12,57	26	170 ± 60	- 14
5,0	19,64	28	20 ± 80	- 12
6,0	28,27	30	300 ± 90	- 11
8,0	50,27	36	400 ± 100	- 8

Fonte: Quites (2008).

c) **Velocidade de soldagem** - É determinada em função da classe do eletrodo, diâmetro de sua alma, da corrente de soldagem, da especificação do metal-base e de adição, da geometria da junta e precisão de montagem das peças e utilização ou não de aquecimento.

A velocidade de soldagem praticamente independe da tensão elétrica, mas é proporcional à intensidade da corrente. Uma alta velocidade implica um alto valor de corrente.

O aumento na velocidade de soldagem, sendo constantes a corrente e a tensão, acarreta diminuição na taxa de deposição por unidade de comprimento da solda.

A penetração da solda aumenta até um determinado valor ótimo da velocidade de soldagem, a partir do qual começa a decrescer.

Um decréscimo no insumo de calor provoca um incremento na taxa de resfriamento na zona de solda, aumentando, portanto, seus efeitos prejudiciais.

d) **Penetração da solda** - A penetração da solda é um parâmetro importante na soldagem, pois influi diretamente na resistência mecânica estrutural da junta. Essa penetração é influenciada por fatores como as propriedades do fundente ou do fluxo, polaridade, intensidade de corrente, velocidade e tensão de soldagem.

2.7 Qualidades e características de uma boa soldagem

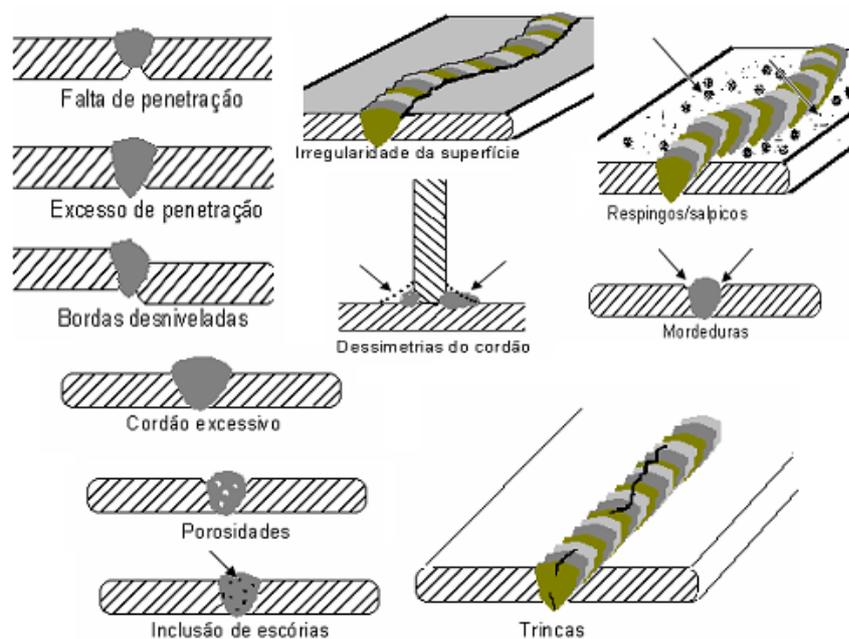
De acordo com Modenesi (2012), Uma boa soldagem deve oferecer, entre outras coisas, segurança e qualidade. Para alcançar esses objetivos, é necessário que os cordões de

solda sejam efetuados com o máximo de habilidade, boa regulagem da intensidade e boa seleção de eletrodos. Uma boa solda deve possuir as seguintes características:

- a) **Boa penetração** - Obtém-se quando o material depositado funde a raiz e estende-se por baixo da superfície das partes soldadas.
- b) **Isenção de escavações** - Obtém-se uma solda sem escavações quando, junto ao seu pé, não se produz nenhuma cratera que danifique a peça.
- c) **Fusão completa** - Obtém-se uma boa fusão, quando o metal-base e o metal depositado formam uma massa homogênea.
- d) **Ausência de porosidade** - Uma boa solda está livre de poros, quando em sua estrutura interior não existem bolhas de gás, nem formação de escória.
- e) **Boa aparência** - Uma solda tem boa aparência quando se aprecia em toda a extensão da união um cordão uniforme, sem apresentar fendas nem saliências.
- f) **Ausência de trincas** - Tem-se uma solda sem trincas quando no material depositado não existem trincas ou fissuras em toda a sua extensão.

2.7.1 Principais defeitos de uma soldagem

Como toda soldagem tem suas características positivas, também possui características negativas, sendo as principais os defeitos gerados na soldagem. Os principais defeitos gerados devido a soldagem são mostrados na figura 10.



Fonte: Quites (2008).

FIGURA 10 – Defeitos na soldagem com eletrodos revestidos.

A falta de penetração e o excesso de penetração podem ser causados pela falta de regulagem da intensidade de corrente, velocidade e tensão de soldagem. Quanto às porosidades, trincas e inclusões de escórias, essas podem ser causadas pelas propriedades do material ou o uso do eletrodo incorreto na soldagem, umidade do eletrodo ou polaridade inadequada do eletrodo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para uma comparação eficaz das fontes de soldagem, foram feitos alguns testes experimentais de soldagem utilizando-se as duas máquinas, com eletrodo revestido de diâmetro 3.25 mm, corrente de soldagem de 120 A, recomendada para o material que foi utilizado, chapa de aço SAE 1020 com espessura de 3 mm.

O processo foi feito através da soldagem de duas chapas retangulares de aço 1020, com dimensões de (260 x 40) mm, a união das peças foi feita ao longo de seu comprimento de 260 mm.

Quanto a Metodologia da medição da taxa de fusão e geometria do cordão de solda, foram feitas cinco medidas ao longo do comprimento de 260 mm da chapa, no caso uma medição a cada 52mm, a qual medimos a altura (A) e largura (L) do cordão de solda, avaliando os resultados, fizemos a média dessas leituras para a análise da taxa de deposição de material. Lembrando que utilizamos um paquímetro com resolução de 0.05mm.

Quanto a taxa de deposição de material gasto, utilizamos o seguinte cálculo descrito abaixo:

$$TD = MD/T$$

Eq. (1)

TD → Taxa de deposição (g/s)

MD → Massa depositada (g)

MD = (peso depois da soldagem (g) - peso antes da soldagem (g))

T → Tempo (s)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentadas as principais características dos processos de soldagem e também as características técnicas das máquinas transformadoras e inversoras, na primeira parte deste trabalho, pode-se, nesta etapa, estabelecer uma comparação de característica de soldagem entre fonte inversora e transformadora.

O transformador tem sido utilizado em maior quantidade nos últimos anos, mas a tecnologia chegou também nas máquinas de solda, por isso na hora de adquirir um equipamento para soldagem, tem-se que estabelecer um comparativo para se chegar a um resultado final, avaliando suas características principais para qual equipamento compensaria mais, de acordo com a sua finalidade de serviço. Na Tabela do Anexo 1 é comparada a eficiência da inversora com a transformadora de acordo com a atividade recomendada.

A seguir são mostradas as fotos dos corpos de prova soldados, utilizando uma fonte inversora e uma transformadora, os quais foram avaliados os defeitos e qualidade de soldagem de cada processo.

Primeiramente enumerou-se cada corpo de prova de acordo com a fonte usada. A primeira união entres duas chapas de aço 1020 e de tamanho (260 x 40) foi chamada de “Peça 1”, como mostra na figura 11, a qual regulou-se a intensidade da corrente para 120 A.



Fonte: Própria.

FIGURA 11 – Cordão de solda - Soldagem com fonte Transformadora.

Avaliando os itens de todo processo de soldagem: geometria dos cordões de solda de cada máquina, perfil de penetração respingos e defeitos pelos dois processos, além da qualidade de acabamento da solda, tempo de soldagem, verificou-se as seguintes características:

- Geometria do Cordão de solda: para a sua análise, foi calculada a média das leituras da largura e altura do cordão, a qual foi obtida a largura, $L = 7,56$ mm e a altura $H = 1,29$ mm e o tempo gasto foi de 10s. Analisando esses dados pode-se ver que houve pouco excesso de taxa de deposição de eletrodo na chapa, ou seja, menor consumo de eletrodo. Abaixo temos o cálculo da taxa de deposição:

$$MD = (\text{peso depois da soldagem (g)} - \text{peso antes da soldagem (g)})$$

$$MD = (596 - 584) = 12 \text{ g}$$

$$TD = MD/T$$

$$TD = 12/10$$

$$TD = 1,2 \text{ g/s}$$
- Penetração da Solda: houve pouca penetração, pode-se ver isso na figura 12, que mostra a parte oposta ao cordão de solda. Pode-se verificar que a fonte transformadora não foi eficiente na união do material, podendo o material ser rompido quando solicitado a algum tipo de esforço, podendo ocorrer à separação das duas metades.



Fonte: Própria.

FIGURA 12 – Falta de penetração da solda: Fonte Transformadora.

- Principais defeitos apresentados: irregularidade na superfície; dessimetria do cordão; alguns respingos, excesso de escórias.

Quando se utilizou a fonte inversora, a soldagem dos corpos de prova foi realizada do mesmo modo que nos testes realizados na fonte transformadora (corrente 120 A). A peça obtida foi chamada de “Peça 2” (figura13).



Fonte: Própria.

FIGURA 13 – Cordão de Solda - Soldagem com Inversora.

Avaliando os itens de todo processo de soldagem com a inversora: geometria dos cordões de solda de cada máquina, perfil de penetração respingos e defeitos pelos dois processos, além da qualidade de acabamento da solda, tempo de soldagem, observou-se o seguinte:

- Geometria do Cordão de solda: para a sua análise, foi calculada a média das leituras da largura e altura do cordão, a qual se obteve a largura L de 7,25 mm e a altura H de 0,95 mm e tempo 10s. Analisando esses dados, pode-se ver que houve excesso de taxa de deposição de eletrodo na chapa, em relação a transformadora, com maior consumo de eletrodo em relação ao processo de soldagem com a transformadora. Abaixo temos o cálculo da taxa de deposição:
 - $MD = (\text{peso depois da soldagem (g)} - \text{peso antes da soldagem (g)})$
 - $MD = (642 - 626) = 12 \text{ g}$
 - $TD = MD/T$
 - $TD = 12/10$
 - $TD = 1,2 \text{ g/s}$
- Penetração da Solda: houve penetração completa do cordão em quase toda a junta soldada, conforme pode ser visto na figura 14. Porém em alguns pontos

não houve formação do cordão no lado oposto da junta, ficando sem a penetração necessária, mas se saindo bem melhor do que o processo de soldagem com a fonte transformadora.



Fonte: Própria.

FIGURA 14 – Perfil de penetração: Máquina Inversora.

- Principais defeitos apresentados: Além de algumas falhas na penetração total da solda na chapa em alguns pontos, apresentou mordeduras no cordão e porosidade no lado inverso do cordão de solda.

Avaliando os dois processos, pode-se perceber o alto rendimento da inversora em relação a transformadora, apresentando um cordão de solda com geometria mais regular e por ter maior penetração a mesma apresenta melhor qualidade de soldagem, para uma maior segurança na utilização desta peça.

Por outro lado analisando a taxa de deposição de material gasto, no caso eletrodo, podemos perceber que a inversora gasta mais material, porem tem mais poder de penetração e fusão da peça, obeteno uma maior qualidade de soldagem.

Outro fator a ser analisado é o preço de mercado de cada uma dessas máquinas, a qual podemos encontrar uma máquina transformadora em preço médio que varia de R\$ 250,00 à R\$ 500,00 e para a inversora temos um preço bem superior que varia de R\$ 600,00 à 1000,00. Comparando os preços temos que uma máquina inversora pode custar o preço de duas máquinas transformadoras, mas pela a tecnologia empregada na inversora, que consome menos energia, por trabalhar em corrente continua, e também pela a qualidade e garantia do processo em geral, é satisfatório a compra de uma máquina inversora para serviços de soldagem.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como finalidade ser uma fonte de pesquisa para trabalhadores e empresas que estão na dúvida de qual máquina comprar para melhor lhe atender. Comparando todos os procedimentos feitos durante todo o trabalho, ficou claro que as máquinas inversoras oferecem melhor qualidade de serviço.

Recomenda-se o bom senso para a escolha de ambas, pois isso pode depender de vários critérios, como a finalidade do serviço, pois se for para a utilização para pequenas estruturas que não envolvem risco à sociedade, ou quando o operador utilizar a máquina casualmente vale a pena investir em uma transformadora, mais simples e mais barata. Pelo contrário, se for para uso industrial e comercial, para atender serviços de alta complexidade, já vale a pena investir em uma máquina mais moderna, no caso uma inversora.

Enfim, vários quesitos foram analisados, mas pela economia de material e pela eficiência da qualidade do serviço, seja para qualquer trabalhador ou empresa, já está compensando investir na inversora que, embora seja um equipamento mais caro do que a transformadora, de investimento inicial maior, poderá gerar um custo benefício final compensador.

6 REFERÊNCIAS

MODENESI, Paulo J. **Fontes de Energia para a Soldagem a Arco**. Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/fontes.pdf>>. Acesso em 23/05/2014.

OKIMOTO, Paulo Cesar. **Introdução ao Arco Elétrico**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2001. 12p. Apostila.

PEREIRA, Warley Augusto. **Soldagem 1**. Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2012. 28p. Apostila.

QUITES, Almir Monteiro. **Introdução à Soldagem a Arco Voltaico**. 2.ed. Santa Catarina. Soldasoft, 2002. 452p.

QUITES, Almir Monteiro. **Metalurgia na soldagem dos aços**. 1.ed. Santa Catarina. Soldasoft, 2008. 304p.

ANEXOS

ANEXO 1 - Comparação das características de uma transformadora com inversora.

Característica Avaliada	Transformadora	Inversora
Tecnologia	São basicamente constituídos por um núcleo revestido por enrolamento de bobinas de cobre. Trabalham em corrente alternada (CA) e os valores de corrente e tensão são alterados através da posição do núcleo. Possuem algumas limitações de acordo com tipo de eletrodo devido a construção física do equipamento.	Os inversores são constituídos por circuitos eletrônicos, garantindo eficiência e conforto na mudança de corrente e tensão. São equipamentos compactos, potentes podendo trabalhar com uma gama maior de eletrodos.
Consumo de Energia	Consomem mais energia.	Pela diferença de tecnologia, os inversores são mais eficientes, e consomem menos energia.
Ciclo de Trabalho	Não conseguem manter a corrente estabilizada por muito tempo.	Seja para soldagem ou para ponteamto, quando se fala em ciclo de trabalho (período em que a máquina está soldando), os inversores são mais eficazes, conseguindo manter um determinado valor de corrente por mais tempo.
Peso e Tamanho	Grandes e muito pesadas, de difícil locomoção.	O inversor é aproximadamente 3 vezes mais leve e mais compacto que o transformador de solda, possibilitando o uso em lugares de difícil acesso.
Facilidade de Uso	Possuem ajuste simples através de manivelas, que em relação aos inversores não apresentam a mesma agilidade e conforto.	Possuem painéis extremamente simples com potenciômetros e em alguns casos displays indicativos, facilitando o ajuste e precisão dos parâmetros.

Fonte: Quites (2008).