

1.1 Introdução

Os sensíveis avanços tecnológicos, representados pela evolução exponencial da eletrônica e da informática, vêm permitindo cada vez mais um melhoramento nos conceitos de equipamentos e, fundamentalmente, na mentalidade do usuário da tecnologia de soldagem. Esta nova visão a respeito da verdadeira importância da engenharia de soldagem em níveis de processo de fabricação e de ciência dos materiais possibilita vislumbrar, por parte do usuário, a necessidade cada vez maior da criação de um “elo” entre os conhecimentos pertinentes ao processo e a metalurgia da soldagem. Assim, como resposta a esta nova realidade, as inúmeras pesquisas, envolvendo estes dois conhecimentos, estão possibilitando entender o *porquê* das potencialidades e limitações dos diversos processos de soldagem utilizados industrialmente. Sabendo como funciona cada processo e qual o seu atual leque de aplicação, é possível criar modificações (variantes), junção das características presentes em diferentes processos num único processo de soldagem, que venha, ao mesmo tempo, melhorar seu desempenho e ampliar seu campo de atuação.

Atualmente os processos de soldagem ao arco elétrico com proteção gasosa (*MIG/MAG*, *TIG* e *Arame Tubular*, por exemplo) vêm recebendo constantes melhoramentos, no campo da eletrônica e da informática, que possibilitam a manipulação mais precisa dos fenômenos envolvidos na operação de soldagem. Esta possibilidade de controle, aliada ao entendimento de como a condição operacional poderá influenciar na estrutura final do metal aportado, permitirá que se obtenha depósitos com superiores características externas (aspecto superficial) e internas (refinamento estrutural), quando comparados às condições de operações básicas.

Diversos autores (Amim, 1983; Street, 1990; Richardson et al, 1994; Dutra et al, 1995; Yamamoto et al, 1998; Irvin, 1999) relatam os esforços no sentido de se otimizar as condições de soldagem, buscando o aumento da produtividade, a

redução no nível de defeitos e a simplicidade no controle das condições de operação (interação *homem x máquina*). Na realidade o que se almeja é a aceitação e a ampliação da gama de utilização de um determinado processo de soldagem em condições de operação muitas vezes limitadas a um único processo.

Neste enfoque, esta **Tese de Doutorado** pretende contribuir no estudo, em nível de processo e metalurgia da soldagem, da nova variante do processo de transferência controlada denominada de *pulsação térmica*, desenvolvida a partir da junção das vantagens operacionais dos processos *MIG/MAG* e *TIG* (Street, 1990; Dutra et al, 1995; Yamamoto et al, 1998). O estudo detém-se na análise dos reais efeitos do processo *MIG/MAG Térmico* sobre o aspecto superficial e a geometria do cordão e a microestrutura da zona fundida (**ZF**), na soldagem em simples deposição, de ligas susceptíveis ou não a transformação no estado sólido (Aço carbono ABNT 1020 e liga AIMg AA 5052-H34).

Numa primeira etapa, foram adotadas duas formas de onda de *pulsação térmica* como forma de avaliar o efeito desta variante sobre a estabilidade na região do arco voltaico, durante a soldagem apresentando ou não a modulação conjunta nos sinais da corrente média (**Im**) e da velocidade de alimentação do arame (**va**).

Na primeira forma de onda, denominada de **onda I**, a modulação nos valores de **Im** e **va** foram impostos sincronizadamente, possibilitando avaliar o efeito da *pulsação térmica* para valores aproximadamente constantes no comprimento do arco (ℓ_0) e na projeção do arame (ℓ).

Para a segunda forma de onda, denominada de **onda II**, o valor da **va** foi mantido constante, modulando-se apenas o sinal da **Im**. Nesta condição, foi possível avaliar os efeitos da *pulsação térmica* para valores de ℓ_0 e ℓ variando ciclicamente.

A etapa final do trabalho, por sua vez, contemplou a análise do efeito da variante *MIG/MAG Térmica*, empregando a forma de **onda I**, sobre a geometria e o aspecto superficial do cordão e microestrutura da **ZF**. Primeiramente, avaliou-se o efeito isolado dos principais parâmetros intrínsecos da variante (frequência térmica – **F_t**, distância entre pulsos – **D_{pt}**, ciclo ativo térmico – **C_t**, desnível térmico – **D_t** e corrente média total – **Im_t**) e, numa segunda etapa, foi implementado o *projeto fatorial 2^k* para verificar a implicação da *pulsação térmica* durante a variação

conjunta dos variáveis de pulsação (corrente média na fase de pulso térmico – $I_{m_{pt}}$, corrente média na fase de base térmica – $I_{m_{bt}}$, tempo de pulso térmico – t_{pt} , tempo de base térmica – t_{bt} e distância entre pulsos – D_{pt}).

1.2 Importância e contribuição científica do trabalho

Com base no acima exposto e visualizando o atual quadro tecnológico disponível neste ramo da engenharia, verifica-se que a relevância do desenvolvimento desta **Tese de Doutorado**, bem como de sua contribuição científica, podem ser enumeradas através dos tópicos:

- Tema atual e de interesse para fabricantes de equipamentos e consumíveis e usuários dos processos *MIG/MAG*, *TIG* e *Arame Tubular*;
- Contribuição para o melhor entendimento dos fenômenos envolvidos no processo de transferência metálica e no mecanismo de solidificação da poça de fusão, durante o emprego do processo *MIG/MAG Térmico*;
- Possibilidade de melhoramento da qualidade final do depósito em aplicações específicas;
- Conhecimento sobre o assunto ainda em fase embrionária (bastante incipiente).

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo geral avaliar os efeitos proporcionados na adoção da soldagem com a variante *MIG/MAG Térmico* sobre a estabilidade no processo de transferência metálica (manutenção do comprimento do arco e da condição **UGPP**) e a microestrutura e a geometria apresentada pela zona fundida.

Neste contexto pretende-se ressaltar os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a relação entre a dinâmica do sistema de alimentação do arame e dinâmica do sinal de corrente sobre a estabilidade no processo de transferência metálica;
- Propor e avaliar parâmetros que caracterizem melhor a variante;
- Propor e discutir técnicas utilizadas na caracterização da granulometria da zona fundida (tamanho e forma do grão);
- Relacionar, através de ferramenta estatística, as possíveis características apresentadas pela zona fundida (resposta) com as variáveis operacionais da *pulsação térmica* (fator).

1.4 Organização do trabalho

Como o estudo foca as características operacionais e as possíveis implicações metalúrgicas da variante MIG/MAG Térmico, o trabalho foi dividido em seis capítulos. A primeira parte do trabalho, englobando os capítulos II e III, visa contemplar o estudo bibliográfico sobre o processo de soldagem MIG/MAG, os mecanismos envolvidos no processo de transferência metálica e de solidificação da poça de fusão e a influência metalúrgica da pulsação de corrente. Complementando o trabalho, os capítulos IV, V e VI apresentam o procedimento experimental adotado, a discussão sobre os dados experimentais e as conclusões e proposições para trabalhos futuros, respectivamente.

O capítulo II traz um levantamento do atual estado da arte sobre o processo de soldagem *MIG/MAG*, abordando tópicos como histórico, equipamentos, consumíveis e variáveis operacionais.

No capítulo III é feita uma revisão sobre os fenômenos envolvidos na formação e solidificação da poça de fusão e uma avaliação das implicações metalúrgicas da soldagem em corrente pulsada ou com *pulsação térmica* sobre a microestrutura do depósito.

O capítulo IV descreve os procedimentos adotados nas etapas de planejamento e execução dos experimentos. A primeira parte do capítulo ressalta os critérios de seleção, preparação e execução dos procedimentos de soldagem. Ao final, o capítulo descreve as técnicas adotadas nas etapas de extração e análise dos corpos-de-prova.

No capítulo V realiza-se a análise dos resultados experimentais decorrente da soldagem com duas diferentes formas de onda de *pulsação térmica* (**ondas I e II**). Inicialmente, a discussão foca o efeito da variante sobre a estabilidade na região do arco. Por fim, avalia-se a relação entre a variação no procedimento de soldagem com o aspecto superficial e a geometria do cordão e a microestrutura apresentada na zona fundida.

Finalizando o trabalho, o capítulo VI apresenta as conclusões sobre o estudo da variante *MIG/MAG Térmico* e as proposições para trabalhos futuros, envolvendo o tema.