ABS

XXV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM
Belo Horizonte - MG
De 08 a 10 de Setembro de 1999

DESENVOLVIMENTO DA SOLDAGEM MIG EM AMBIENTE HIPERBÁRICO

[1]Carlos Baixo, [2]Raul Gohr Jr., [3]Jair Dutra,
[4]Alexandre Pope, [5]José C. Teixeira

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados de pesquisas conduzidas para a utilização do processo MIG em ambiente hiperbárico seco (8 bar) composto exclusivamente por argônio. Na soldagem com transferência por curto-circuito, a imposição de uma forma de onda para a corrente, em detrimento a soldagem em tensão constante, permitiu melhorar a estabilidade do arco. Este efeito foi associado ao maior controle sobre a dinâmica da corrente de soldagem. Muito embora a modulação em tensão constante seja a mais utilizada na soldagem por curto-circuito, a ocorrência de distúrbios no arco afeta, de forma desfavorável, a taxa de variação da corrente, com consequências deletérias à estabilidade da transferência metálica. Os resultados encontrados demonstraram a aplicabilidade dos modos de transferência por curto-circuito com controle sobre a forma de onda da corrente e projeção axial (corrente pulsada) a elevadas pressões ambientais, o que favorece a aplicação do processo MIG na soldagem orbital em ambiente hiperbárico seco.

Palavras-Chaves: Física do Arco; Soldagem Hiperbárica; Estabilidade da Soldagem.

ABSTRACT

This paper describes the work carried out in order to use the GMAW process in hiperbaric environment (8 bar) composed exclusively by argon gas. In the short circuiting transfer mode, the imposition of a current waveform control, in detrimental of the constant voltage mode, allowed an increase of arc welding stability. This effect was associated to an increase of welding current dynamic control. Although the short circuiting transfer be frequently conducted with power sources operating in voltage mode, the occurrence of arc disturbances affects the arc current rate. As a consequence, deleterious effects on metal transfer stability is produced. The results showed that current wave form controled short circuiting and pulsed transfer modes would be used in high pressure environment. Up to the tested pressure, this indicated the possibility of application of GMAW process with the orbital hyperbaric dry welding technique.

Key-Words: Arc Physics; Hyperbaric Welding; Arc Stability.

---

(1) – Eng. Mecânico, M. Eng. - LABSOLDA/ EMC/ UFSC (e-mail: baixo@labsolda.ufsc.br)
(2) – Eng. Eletricista, M. Eng. - LABSOLDA/ EMC/ UFSC (e-mail: raul@labsolda.ufsc.br)
(3) – Eng. Mecânico, Dr. Eng. - LABSOLDA/ EMC/ UFSC (e-mail: labsolda@emc.ufsc.br)
(4) – Eng. Metalurgista, Ph.D. - CENPES/ PETROBRÀS (e-mail: apope@cenpes.petrobras.com.br)
(5) – Eng. Metalurgista, M.Eng. - CENPES/ PETROBRÀS (e-mail: jclaudio@cenpes.petrobras.com.br)

1 - INTRODUÇÃO

Uma das dificuldades a serem suplantadas para a aplicação da soldagem MIG/ MAG em ambiente hiperbárico consiste na produção de depósitos com geometria adequada. Devido ao efeito de constrição que o arco sofre nestes ambientes, existe uma tendência natural à formação de cordões com grande penetração, pequena largura e um ângulo de molhabilidade elevado, o que confere aos depósitos um aspecto de grande altura do reforço. Uma situação mais crítica pode ser observada quando da soldagem conduzida sob proteção composta exclusivamente por argônio, fato decorrente da menor molhabilidade da poça fundida. Como forma de minimizar este problema, vários trabalhos tem sido conduzidos com adições de (He), (O_2) e (CO_2), estes dois últimos em percentuais menores, à atmosfera de argônio.

Apesar de problemática, no concernente à formação geométrica dos depósitos, existem aspectos favoráveis à utilização de atmosfera hiperbárica composta exclusivamente por argônio. Analisando a influência do gás de proteção nas propriedades mecânicas dos depósitos, Dos Santos [1] observou que, em ambientes hiperbáricos, a soldagem conduzida somente com argônio produziu uniões com propriedades mecânicas mais favoráveis do que aquelas produzidas em atmosferas compostas com adições de (O_2), (CO_2) ou (He).

Neste trabalho são apresentados os resultados de pesquisas conduzidas no LABSOLDA para a utilização do processo MIG em ambiente hiperbárico (8 bar) composto exclusivamente por argônio. Ênfase foi dada à soldagem com transferência por curto-circuito e por projeção axial, visto serem estes modos de transferência que permitem a realização de deposições em todas as posições de soldagem.

2 - CONDIÇÕES DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Para verificar a influência da pressão ambiente sobre a estabilidade e a geometria dos depósitos na soldagem MIG em ambiente hiperbárico composto de argônio puro foram realizados ensaios envolvendo os modos de transferência por curto-circuito e por projeção axial (corrente pulsada).

Para a transferência por curto-circuito, foram utilizadas duas metodologias de controle da forma de onda da corrente, sendo os sinais característicos de tensão (U) e de corrente (I) apresentados nas figuras 1 e 2. A primeira metodologia se caracteriza por ser um controle baseado em três níveis de corrente, enquanto a segunda, mais simples, emprega somente dois níveis (fig. 2). Para os ensaios envolvendo corrente pulsada, parâmetros e variáveis foram ajustados de maneira a produzir um comprimento de arco visível da ordem de 3 a 4 mm. Todos os ensaios foram conduzidos com simples deposição, com uma altura de tomada de corrente de 15 mm. Na tabela 1 são apresentados os parâmetros e as variáveis mantidas constantes nos ensaios, estes conduzidos em uma célula de soldagem hiperbárica montada no LABSOLDA.

Para permitir a caracterização das grandezas elétricas, durante os ensaios foram feitas aquisições dos sinais de tensão {U} e de corrente {I} por um período de 10 segundos, a uma taxa de aquisição de 5 kHz. Para tanto foi utilizado um programa, que emula as características de um osciloscópio na tela de um microcomputador, operando em conjunto com um medidor de tensão e de corrente. A velocidade de

alimentação do arame {Va} foi monitorada com o auxílio de um instrumento dedicado, com transdutor instalado no interior do cabeçote de soldagem. Para o processamento das informações adquiridas, foram utilizados programas especialmente desenvolvidos para a utilização na análise de procedimentos de soldagem. As características destes programas e dos instrumentos de medição utilizados para a aquisição e o processamento dos dados já constam de literatura publicada [2, 3].

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mantidos os mesmos parâmetros de soldagem que resultaram em depósitos com boas características geométricas a 1 bar, tanto no modo de transferência por curto-circuito com controle sobre a forma de onda da corrente, quanto por projeção axial, sob pressões crescentes observou-se um efeito de redução na capacidade de fusão do eletrodo, em unidades de [kg/ A.h]. Para o modo de transferência por curto-circuito, esta redução se caracterizou pelo aumento na frequência de transferência, resultando em uma redução no volume dos glóbulos fundidos (fig. 4). Como característica adicional, mantida a velocidade de alimentação do arame em 5,0 m/min, observou-se uma elevação na corrente de soldagem devido ao aumento na ocorrência de curtos-circuitos. Já na soldagem com transferência por projeção axial, este efeito de redução na capacidade de fusão se manifestou através do incremento da ocorrência de curtos-circuitos. Para este modo de transferência em particular, a ocorrência de curtos-circuitos evidencia que, sob pressões crescentes, ocorre uma diminuição significativa no comprimento do arco se mantidos os mesmos parâmetros da soldagem a 1 bar. Além da mudança na taxa de fusão, independente do modo de transferência, observou-se que os cordões passaram a apresentar menor largura e maior altura de reforço com o aumento da pressão ambiente. Além desta variação na geometria, observou-se uma produção excessiva de salpicos grosseiros, estes caracterizados por gotas inteiras ejetadas para fora da poça de fusão.

Como forma de restabelecer as condições de fusão do eletrodo, tornou-se necessário introduzir modificações nos procedimentos de soldagem. Para cada modo de transferência foram adotadas estratégias distintas, sendo apresentados, inicialmente, os resultados referentes ao modo de transferência por curto-circuito controlado. Para a forma de onda baseada em dois níveis de corrente, o aumento da taxa de fusão foi obtido mediante a atuação sobre a corrente de arco (Ia – fig. 2), aproveitando o fato de existir uma relação direta entre (Ia) e o volume do glóbulo fundido (fig. 5). Já para o controle em três níveis de corrente, o aumento da taxa de fusão foi obtido através de variações no tempo de pulso (tap – fig. 1) - (fig. 5). Para ressaltar os resultados, para estes dois tipos de controle foi possível compensar o efeito da pressão sobre a taxa de fusão mantendo os mesmos valores de velocidade de alimentação do arame e de corrente de soldagem praticados na soldagem a 1 bar, ou seja, Va: 5 m/ min e Ief: 200 A, respectivamente. Este efeito foi resultado da restauração, em ambiente hiperbárico, da mesma frequência de transferência obtida na soldagem a 1 bar. Para o modo de transferência por projeção axial adotou-se um procedimento diferente, preservando os parâmetros de forma de onda (Ip, tp, Ib, tb) e modificando a relação de equilíbrio entre (Va) e (Im). Para traduzir esta mudança em valores, com o aumento da pressão ambiente de 1 para 2 bar, para manter a mesma corrente de soldagem (Im: 185 A/ Ief: 200 A), tornou-se necessário reduzir (Va) de 5,0 para 4,3 m/ min.

Conduzidos novos ensaios, verificou-se que, tanto na soldagem com transferência por curto-circuito controlado, quanto na por projeção axial, as modificações permitiram

produzir depósitos com geometria com ângulos de molhabilidade e largur5a mais favoráveis em ambiente hiperbárico até 8 bar. Cabe observar que a limitação imposta de 8 bar não resulta de dificuldades operacionais relacionadas aos modos de transferência, mas do limite de pressão definido para este trabalho.

Ao se iniciarem os ensaios visando identificar as condições mais favoráveis à realização da soldagem em ambiente hiperbárico com transferência por curto-circuito convencional (fig. 6), verificou-se uma impossibilidade de evitar, de forma plena, a ocorrência de instabilidade na soldagem. A origem desta instabilidade foi associada à ocorrência de um fenômeno que se denominou de “patamar de tensão”, sendo este caracterizado pela elevação súbita da tensão de soldagem e sua manutenção, em algumas situações, por períodos relativamente longos de tempo (fig. 7). Sob o ponto de vista elétrico, a formação dos patamares de tensão se traduz por uma mudança na relação entre a tensão e corrente de soldagem (fig. 8), sendo um fenômeno que pode ser observado, tanto na transferência por curto-circuito, quanto projeção axial. Cabe observar que a formação dos patamares não deve ser associada exclusivamente à soldagem em ambiente hiperbárico ou ambiente molhado, sendo o fenômeno observado em outras situações de soldagem[4]. Por ser um fenômeno relacionado à formação de arco anódico ou catódico, devido à presença de fortes emissores no metal de base ou no metal de adição, não existe forma de evitar a ocorrência do fenômeno.

Para a soldagem com transferência por curto-circuito convencional, conduzida com fonte operando com modulação em tensão constante, o efeito deletério consequente da formação dos patamares residiu no rápido decaimento da corrente de soldagem. Como resultado, em muitas situações ocorreu a extinção do arco ou o aparecimento de curto-circuitos de duração prolongada (fig. 9). Tentativas de minimizar esta queda acentuada, via elevação da magnitude da “indutância” pelo painel da fonte ou pela incorporação de uma segunda bobina ao circuito elétrico, não permitiram evitar a instabilidade da transferência. Muito embora tenha produzido cordões com geometria aceitável, a soldagem com transferência por curto-circuito convencional se caracterizou pela frequente extinção do arco e a ocorrência de curtos-circuitos de longa duração.

Sob o ponto de vista de estabilidade da transferência, os resultados mais satisfatórios foram obtidos com a utilização das metodologias de controle da transferência baseadas na modulação da forma de onda da corrente. Tanto para a transferência por curto-circuito controlado, quanto por projeção axial, devido ao controle efetivo sobre as taxas de crescimento e decrescimento da corrente, mesmo com a ocorrência frequente dos patamares de tensão, estes não promoveram alterações na estabilidade da transferência (fig. 10). Muito embora a soldagem com modulação em tensão seja utilizada na soldagem em ambiente hiperbárico, esta apresenta uma maior propensão à instabilidade devido a maior dificuldade de controle sobre a corrente de soldagem.

4 - CONCLUSÕES

Tanto para a soldagem com transferência por curto-circuito, quanto por projeção axial, a utilização de um controle sobre a forma de onda da corrente permitiu produzir geometrias aceitáveis e minimizar a produção de salpicos devido a um melhor controle sobre a dinâmica da corrente de soldagem. Os resultados encontrados demonstraram a aplicabilidade dos modos de transferência curto-circuito e projeção axial (corrente pulsada) a pressões ambiente de 8 bar, o que favorece a aplicação do processo MIG na soldagem orbital em ambiente hiperbárico. Os autores agradecem ao Eng. Walter Rocha dos Santos pelos comentário acerca do trabalho.

5 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisas Leopoldo A. Miguez de Mello (CENPES/ PETROBRÁS), ao PADCT, à FINEP e ao CNPq pelo suporte financeiro ao projeto e a empresa IMC Engenharia de Soldagem, Instrumentação e Automação Ltda. pela participação no desenvolvimento dos equipamentos utilizados neste trabalho. Os autôres manifestam seus agradecimentos ao Eng. Walter Rocha dos Santos pela contribuição técnica e incentivo ao desenvolvimento da soldagem hiperbárica.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] – SANTOS, W. R., JORGE, C. F. J., SANTOS, J. F. – Perspectivas do Processo MIG/ MAG para Aplicação em Reparos de Dutos Submarinos em Águas Profundas. **Anais do XXII ENTS**. Assoc. Bras. de Soldagem, Blumenau, Brasil, 1996. pp.: 741-754.
[2] - DUTRA, J.C., BAIXO, C.E., OLLÉ, L. e GOHR, R. - Instrumentação para o Estudo da Transferência Metálica em Soldagem MIG/ MAG por Curto-Circuito. **Anais do XXI ENTS**. Assoc. Bras. de Soldagem, Caxias do Sul, Brasil, 1995. pp.: 867-888.
[3] - LUCHTENBERG, H., BAIXO, C. E. e DUTRA, J. C. - Desenvolvimento de uma Nova Geração de Programas para a Análise Estatística da Soldagem a Arco**. Anais do XXII ENTS**. Assoc. Bras. de Soldagem, Blumenau, Brasil, 1996. pp.: 421-431.
[4] – "Arc Disturbances in Consumable Electrode Welding – A Review of the Literature. **IIW Research Report 173/ 1982**.

Parâmetros e Variáveis [Símbolo: Unidade]	Valores Ajustados
Corrente de Referência [Iref : A]	200
Altura de Tomada de Corrente [t: mm]	15 e 18 (1)
Composição do Arame [%a]	ER70S-6
Diâmetro do Arame [De: mm]	1, 2
Gás de Proteção [%g]	Ar
Velocidade de Soldagem [Vs: cm. min^{-1}]	24
Metal de Base [%mb]	ABNT 1020
Espessura da Chapa [tmb: mm]	12,5

Tabela 1 - Parâmetros e variáveis mantidos constantes ao longo dos ensaios com transferência por curto-circuito controlado e projeção axial. Nota (1) - Aplicável somente para os ensaios com transferência por projeção axial.

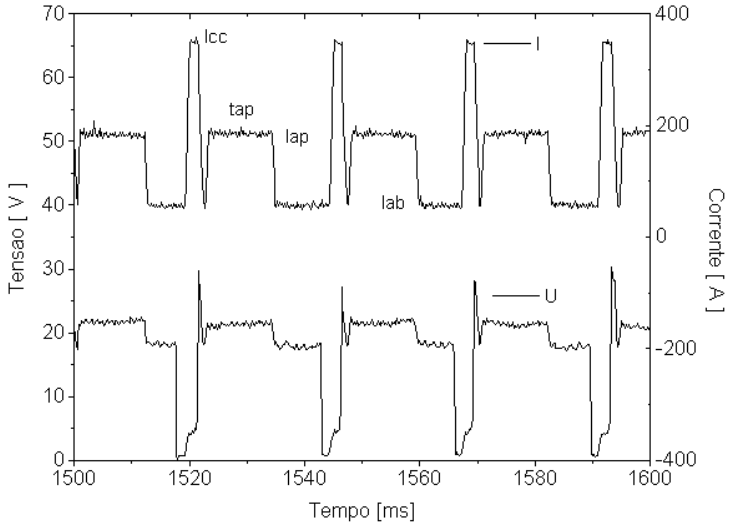

Figura 1 - Oscilogramas de tensão (U) e de corrente (I) característicos da transferência por curto-circuito com controle em três níveis de corrente. Legenda: Iap - Corrente de pulso; Iab: corrente de base, tab: tempo de pulso; Icc: corrente de curto-circuito.

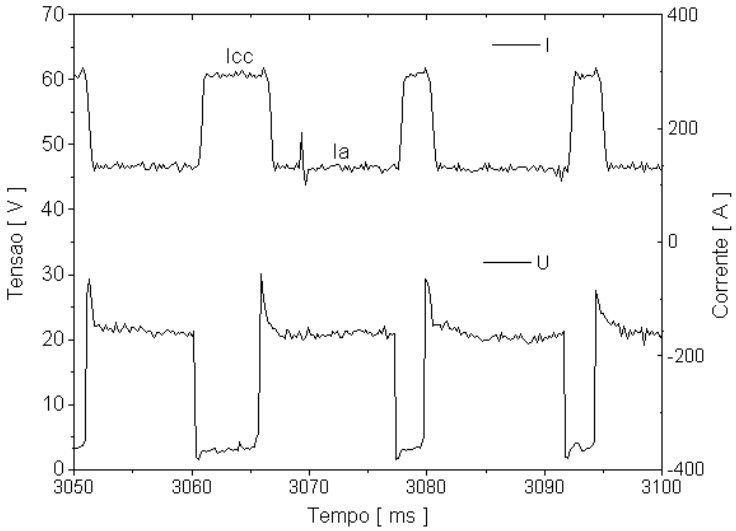

Figura 2 - Oscilogramas de tensão (U) e de corrente (I) característicos da transferência por curto-circuito com controle em dois níveis de corrente. Legenda: Ia - Corrente no período de arco; Icc: corrente no período de curto-circuito.

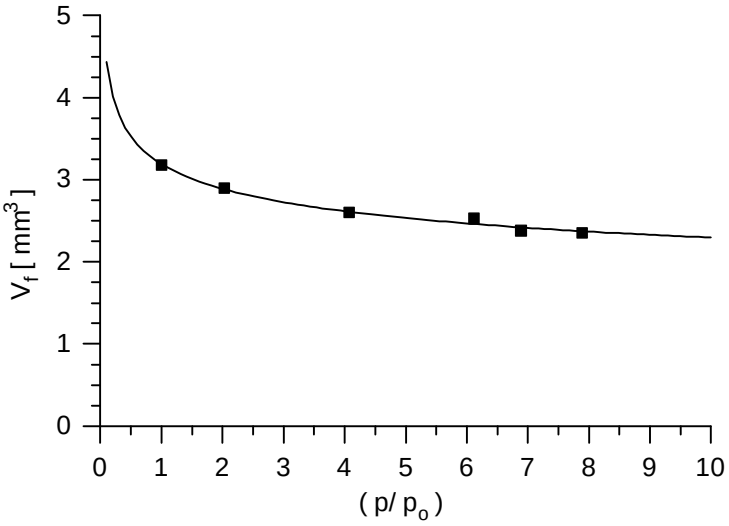

Figura 3 - Efeito da pressão ambiente (p) sobre o volume do glóbulo metálico (V_f) na transferência MIG por curto-circuito. O símbolo (po) corresponde a pressão de 1 bar.

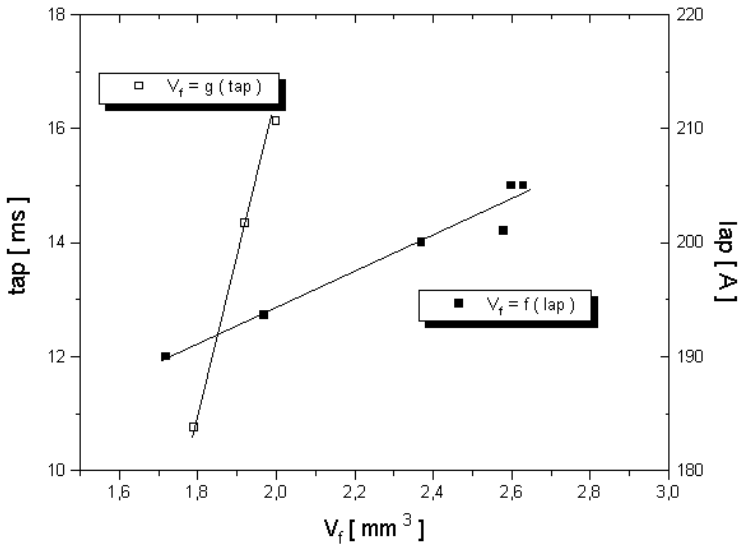

Figura 4 - Efeito do corrente de arco (Ia) e do tempo de pulso (tap) sobre o volume do glóbulo metálico (V_f) na transferência MIG por curto-circuito com controle sobre a forma de onda da corrente.

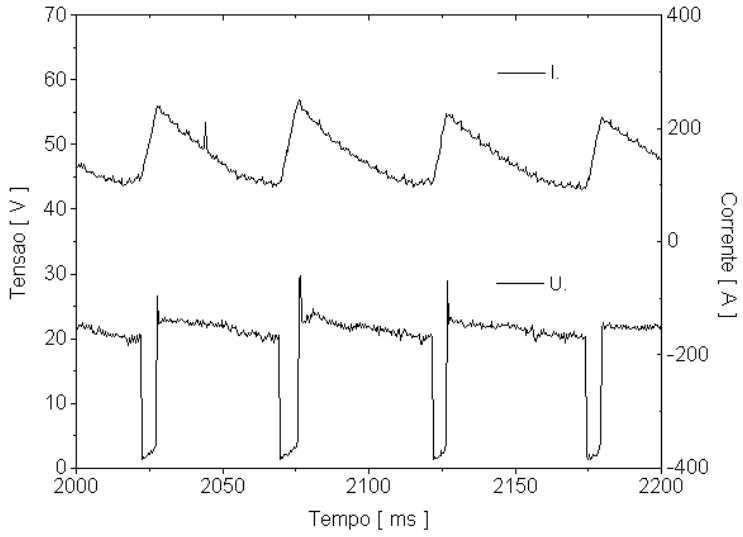

Figura 5 - Oscilogramas de tensão (U) e de corrente (I) característicos da transferência por curto-circuito convencional.

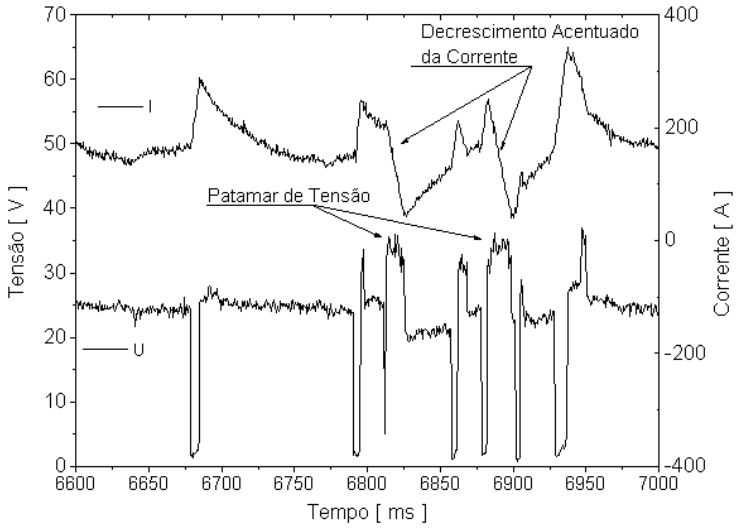

Figura 6 - Oscilogramas de tensão (U) e de corrente (I) indicando o comportamento dos sinais elétricos na ocorrência dos patamares de tensão na transferência por curto-circuito convencional.

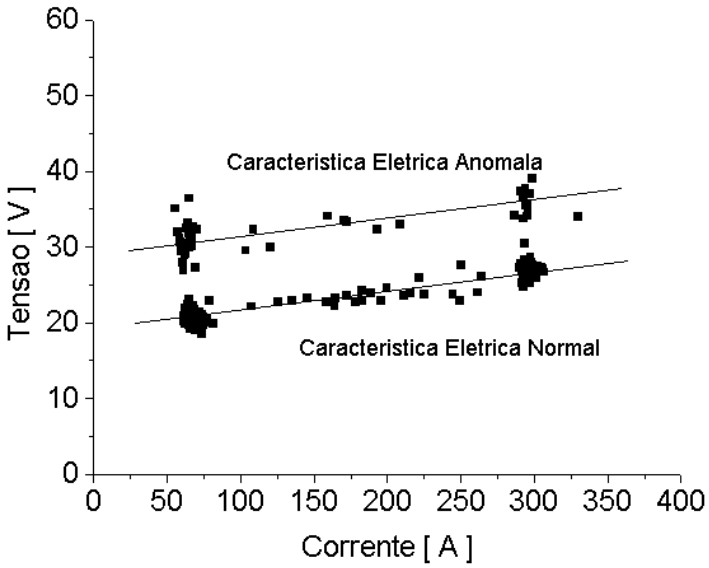

Figura 7 – Mudança nas características elétricas do arco durante a ocorrência dos patamares de tensão. Dados obtidos para soldagem com corrente pulsada. Os oscilogramas de corrente e de tensão referentes a este gráfico são apresentados na figura 10.

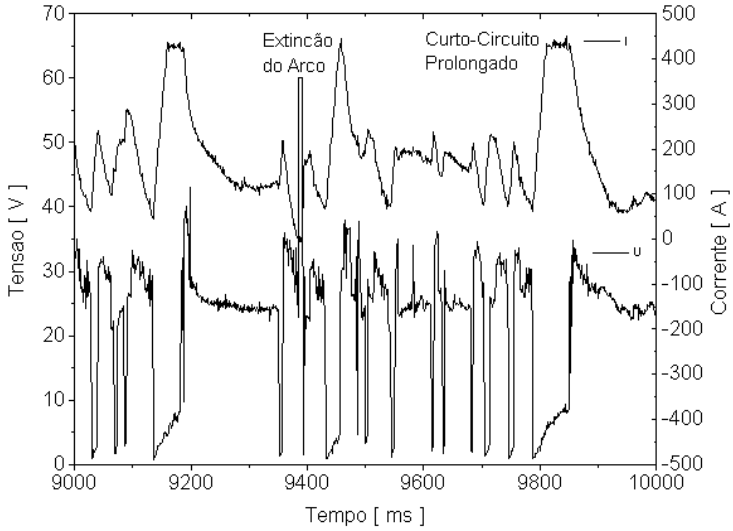

Figura 8 - Oscilogramas de tensão (U) e de corrente (I) caracterizando a instabilidade encontrada na transferência por curto-circuito convencional com {Ief} de 180 A. Dados: Vref: 24 V; Va: 5,0 m.min^{-1}; Indutância: 90%; t: 17 mm; Vs: 20 cm. min^{-1}.

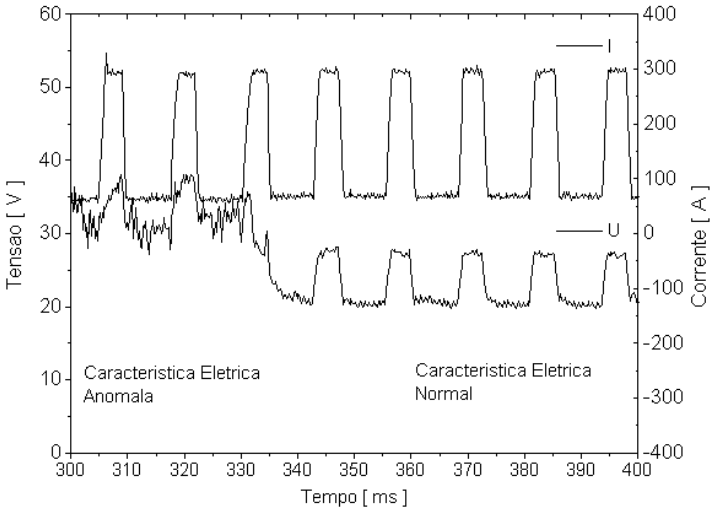

Figura 9 – Oscilogramas de tensão (U) e de corrente (I) para a transferência por projeção axial onde pode ser observada a mudança na característica elétrica do arco.