

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL

DIRETRIZES DE PROJETO E QUALIFICAÇÃO METROLÓGICA
DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS
EM PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM METROLOGIA

ENG^o MARCELO DE ASSIS CORRÊA



UFSC-BU

Florianópolis, 23 de Setembro de 1999

(BU)

**Diretrizes de Projeto e Qualificação Metrológica
de Sistemas de Medição de Grandezas Elétricas
em Processos de Soldagem a Arco**

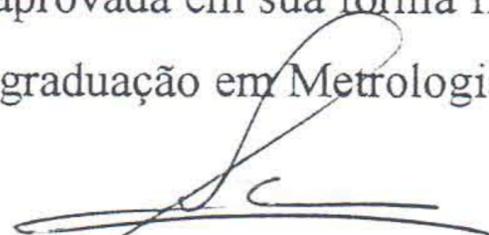
Eng^o Marcelo de Assis Corrêa

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

"MESTRE EM METROLOGIA"

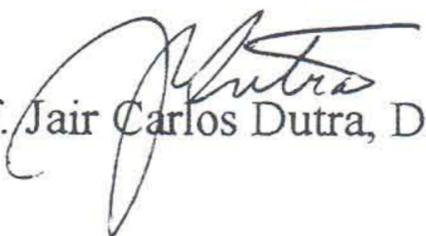
e aprovada em sua forma final pelo

Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial.


Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.
ORIENTADOR


Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.
COORDENADOR DO CURSO DE MESTRADO EM METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL

Banca Examinadora:


Prof. Jair Carlos Dutra, Dr. Ing.


Prof. Marcelo Ricardo Stemmer, Dr. Ing.


Prof. Carlos Alberto Martin, Dr. Ing.


Prof. Carlos Alberto Flesch, M.Eng.

A minha esposa,

Pelo amor.

Agradecimentos

- À CAPES pelo financiamento e incentivo ao Programa de Mestrado de Metrologia Científica e Industrial da UFSC.
- À UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, por proporcionar uma ótima infra-estrutura e corpo docente, dignos das melhores escolas.
- À Fundação CERTI – Centro de Referência em Tecnologia Inovadoras em especial aos colegas Gilberto Carlos Fidélis e Nelson Schoeler
- Aos colegas do Labsolda – Laboratório de Soldagem, que unidos por um mesmo objetivo, apoiaram e incentivaram a realização deste trabalho.
- Aos colegas do Labmetro – Laboratório de Metrologia e Automação, pelo apoio na realização deste trabalho.
- Aos meus pais que sempre acreditaram em mim e muitas vezes renunciaram seus sonhos para que os meus, se tornassem realidade.
- A minha esposa, Lígia que esta sempre presente nas minhas principais conquistas.
- A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Resumo

A partir de um estudo para a caracterização dos sinais de tensão e de corrente, e na experiência adquirida no projeto e fabricação de sistemas eletro-eletrônicos, foi formulada uma proposta contendo diretrizes para o projeto de sistemas de medição de grandezas elétricas para a aplicação em processos de soldagem a arco.

Essas diretrizes de projeto compreendem um conjunto de recomendações a serem seguidas na construção de sistemas de medição, envolvendo aspectos como a escolha de transdutores, sistemas de aquisição de dados e metodologia para o projeto dos equipamentos de medição.

Com o objetivo de avaliar a proposta de diretrizes foi feita a qualificação metrológica de três sistemas de medição, desenvolvidos anteriormente no LABSOLDA, e que estão de acordo com as recomendações sugeridas. Para tanto foi necessário um estudo sobre as fontes de incerteza presentes na medição da corrente e da tensão produzidas nos processos de soldagem a arco e o desenvolvimento de procedimento de calibração.

Este procedimento de calibração mostrou que o desempenho metrológico dos sistemas de medição construídos atendem as exigências necessárias para a correta medição da corrente e da tensão. Em função das características metrológicas apresentadas, esses sistemas de medição podem contribuir para a garantia de reprodutibilidade de um procedimento de soldagem.

Abstract

This work presents recommendations for project of electrical signal measurement systems applied in the welding process. It was based on a study on the current signals and voltage in the arc welding, and on na experience in projects and production of electronic systems.

Those recommendations suggest transducers types, data acquisitions system and a methodology for the production of measurement equipments.

Three systems developed previously in LABSOLDA are present and tested, with the objective of evaluating the recommendations proposals. For this, a study about uncertainty sources and a calibration procedure was developed.

This calibration procedure proves that the presented measurement systems are appropriate for welding process, and they aid in the reproduction of welding.

Sumário

| | |
|--|-----|
| AGRADECIMENTOS | iv |
| RESUMO | v |
| ABSTRACT | vi |
| SUMÁRIO | vii |
| | |
| 1 - SISTEMAS DE MEDIÇÃO PARA PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO | |
| 1.1 – Características do processo de soldagem | 2 |
| 1.2 – Principais grandezas envolvidas em soldagem a arco | 4 |
| 1.3 – Importância do conhecimento das grandezas elétricas em soldagem a arco | 4 |
| 1.4 – Sistemas de medição de grandezas elétricas em soldagem a arco | 7 |
| 1.5 – Objetivo do trabalho | 8 |
| 1.6 – Metodologia | 8 |
| | |
| 2 – NECESSIDADES DE INFORMAÇÃO EM PROCESSOS DE SOLDAGEM | |
| 2.1 – Medição de grandezas elétricas em processos de soldagem | 11 |
| 2.2 – Sistematização de procedimentos para a medição de grandezas elétricas envolvidas nos processos de soldagem | 14 |
| 2.2.1 – A incerteza de medição em procedimentos de soldagem | 14 |
| 2.2.2 - Medição da corrente em processos de soldagem | 15 |
| 2.2.3 - Medição da tensão em processos de soldagem | 18 |
| 2.2.4 – Medição da potência em processos de soldagem | 22 |
| 2.3 - Solução para medição de grandezas elétricas em procesos de soldagem | 25 |

3 – DIRETRIZES DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO PARA GRANDEZAS ELÉTRICAS EM PROCESSOS DE SOLDAGEM

| | |
|--|----|
| 3.1 – Estrutura de sistemas de medição computadorizados | 26 |
| 3.2 - Diretrizes para captação de sinais de corrente e tensão | 29 |
| 3.3 - Diretrizes para escolha do sistema de aquisição de dados | 29 |
| 3.3.1 - Arquitetura dos sistemas de aquisição de dados | 30 |
| 3.3.2 - Recomendações para a escolha da arquitetura do sistema de aquisição de dados | 32 |

4 – CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORAÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS EM PROCESSOS DE SOLDAGEM

| | |
|---|----|
| 4.1 - O sistema TC-1 | 35 |
| 4.1.1 - Arquitetura do sistema | 36 |
| 4.1.2 - Características do sistema | 37 |
| 4.1.3 - Características operacionais | 37 |
| 4.2 – O sistema integrado INTERDATA – TC-1 | 37 |
| 4.2.1 - Arquitetura do sistema | 37 |
| 4.2.2 - Características do sistema | 38 |
| 4.2.3 - Características operacionais | 39 |
| 4.3 – Software para monitoração de processos de soldagem | 39 |
| 4.3.1 - SMGSOLD | 40 |
| 4.3.2 - OSCILOS | 41 |
| 4.3.3 - MIGMAG | 42 |
| 4.3.4 - DATSOLTE | 43 |
| 4.4 – Sistemas de medição para monitoração de estações de soldagem | 43 |
| 4.4.1 - Arquitetura do sistema | 44 |
| 4.4.2 - Características do sistema | 47 |
| 4.4.3 - Características operacionais | 47 |
| 4.5 – Adaptação de sistemas de medição para a construção de uma plataforma portátil de monitoração de grandezas de soldagem | 49 |
| 4.5.1 - Arquitetura do sistema | 50 |
| 4.5.2 - Características do sistema | 51 |
| 4.5.3 - Características operacionais | 52 |

| | |
|---|-----------|
| 5 – QUALIFICAÇÃO METROLÓGICA DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS PARA PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO | |
| 5.1 - Procedimentos de calibração | 53 |
| 5.2 - Calibração de sistemas de medição de tensão em soldagem | 56 |
| 5.2.1 - Sistema de medição padrão para a calibração da tensão em processos de soldagem | 57 |
| 5.2.2 - Fontes de incerteza na calibração da tensão em SM para soldagem | 58 |
| 5.2.3 - Exemplo de procedimento de calibração de tensão | 58 |
| 5.3 - Calibração de sistemas de medição de corrente em soldagem | 62 |
| 5.3.1 - Sistema de medição padrão para a calibração da corrente em processos de soldagem | 63 |
| 5.3.2 - Fontes de incerteza na calibração da tensão em SM para soldagem | 63 |
| 5.3.3 - Exemplo de procedimento de calibração de tensão | 64 |
| 5.4 – Integração de software e hardware para a implementação de um sistemas semi-automático de calibração (CALIGEN) | 67 |
| 5.5 - Procedimento de calibração da tensão no sistema INTERDATA-TC1 | 71 |
| 5.6 - Procedimento de calibração da corrente no sistema INTERDATA-TC1 | 72 |
| 5.7 - Resultado da qualificação metrológica do sistema de medição INTERDATA-TC-1 | 73 |
| 6 – CONCLUSÕES | 75 |
| 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 79 |

1 - SISTEMAS DE MEDIÇÃO PARA PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO

No Brasil, dentre os processos de soldagem, destaca-se como o mais utilizado na indústria, o da soldagem manual com eletrodo revestido. Contudo as constantes exigências de competitividade, que impõem requisitos de qualidade e de produtividade a baixo custos, somados à evolução da eletrônica, da informática e da metalurgia, têm impulsionado o desenvolvimento e a aplicação industrial dos processos de soldagem em todo o mundo.

Nos países desenvolvidos, um dos processos de soldagem amplamente utilizado pelas indústrias é o processo MIG/MAG, devido à sua produtividade, obtida pela maior quantidade de material depositado por tempo, o que diminui conseqüentemente o custo de mão-de-obra.

Porém, no Brasil esse processo encontra-se ainda em estado emergente, devido a maior complexidade dessa técnica e à carência de conhecimento. Isso está diretamente relacionado com o uso de sistemas de medição adequados para processos de soldagem. Como o MIG/MAG exige uma melhor quantificação das variáveis envolvidas no processo, a falta de cuidado na medição compromete a reprodução da solda fazendo com que esse processo seja descartado algumas vezes pelas indústrias.

Por isso o LABSOLDA (Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina) investe continuamente em sistemas de medição, desenvolvendo transdutores, sistemas de aquisição de dados e programas para a monitoração das grandezas envolvidas no processo.

O LABSOLDA tem contribuído de forma significativa para a disseminação de processos automáticos de soldagem, produzindo fontes de soldagem e sistemas de medição e controle, bem como desenvolvendo novas técnicas como a pulsação térmica no processo MIG/MAG, sendo hoje uma importante referência no âmbito nacional.

1.1 – Características do processo de soldagem MIG/MAG

O processo de soldagem a arco com eletrodo consumível e contínuo, que utiliza gases especiais para a formação da atmosfera ionizante e para a proteção do metal fundido, é designado genericamente de MIG/MAG. A sigla MIG - Metal Inert Gas - designa a versão do processo em que o gás utilizado é inerte, usualmente argônio e/ou hélio. Quando o gás utilizado possuir componentes ativos, como oxigênio e nitrogênio, ou quando ele se decompõe em gases ativos, como é o caso do CO₂, gerando monóxido de carbono e oxigênio, o processo toma o nome de MAG - Metal Active Gas.

Para as duas versões o equipamento básico é o mesmo, como o ilustrado na figura 1.1, que é fundamentalmente composto de uma fonte de energia elétrica, um alimentador de arame-eletrodo, uma pistola (tocha) de soldagem e um sistema de suprimento de gás.

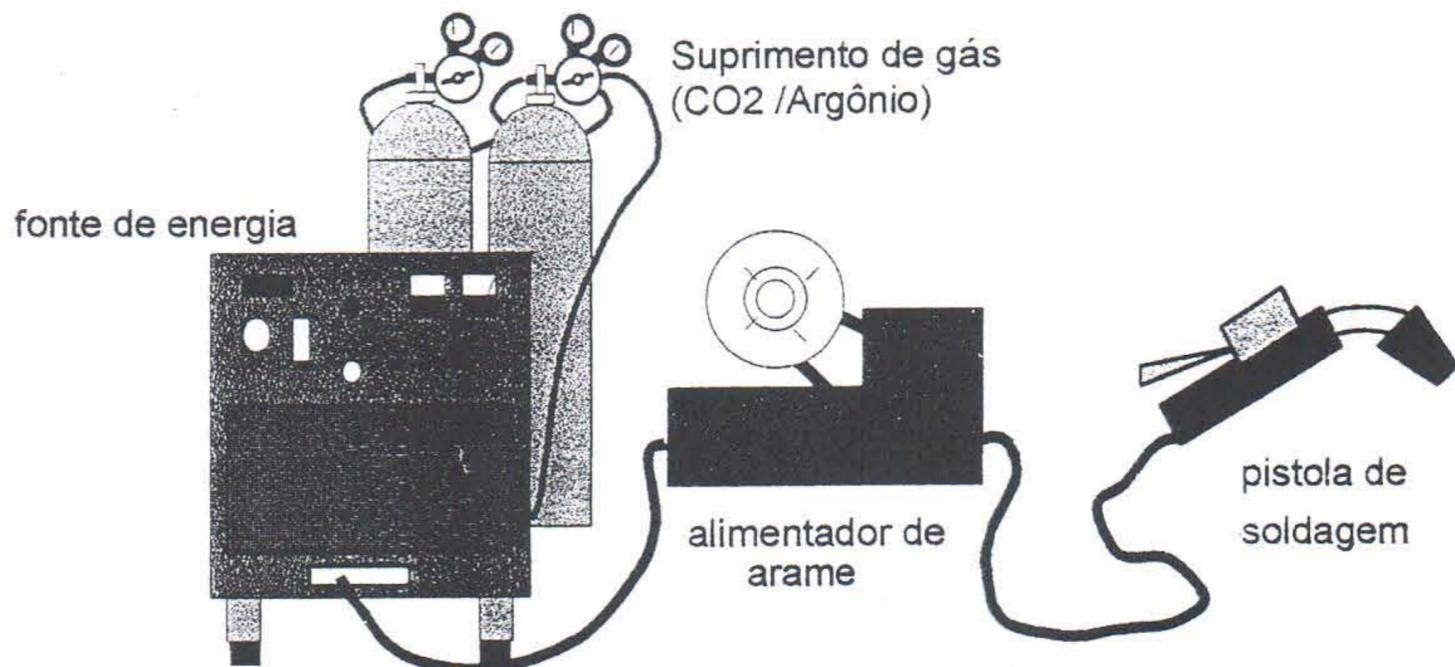


Fig. 1.1 - Equipamento para soldagem MIG/MAG

As fontes de energia, tradicionalmente usadas, são do tipo tensão constante, porém, em versões mais modernas do processo, são utilizadas fontes de corrente, onde dependendo do tipo de material que se deseja soldar, a corrente assumirá um comportamento diferente[13].

A transferência metálica do eletrodo (arame) para a peça, como mostra a figura 1.2, tem no processo MIG/MAG, como em outros processos a arco com eletrodos consumíveis, formas diversas. A obtenção de um ou outro tipo é dependente dos parâmetros e variáveis utilizados, que influenciam as forças atuantes nas gotas formadas no extremo do eletrodo.

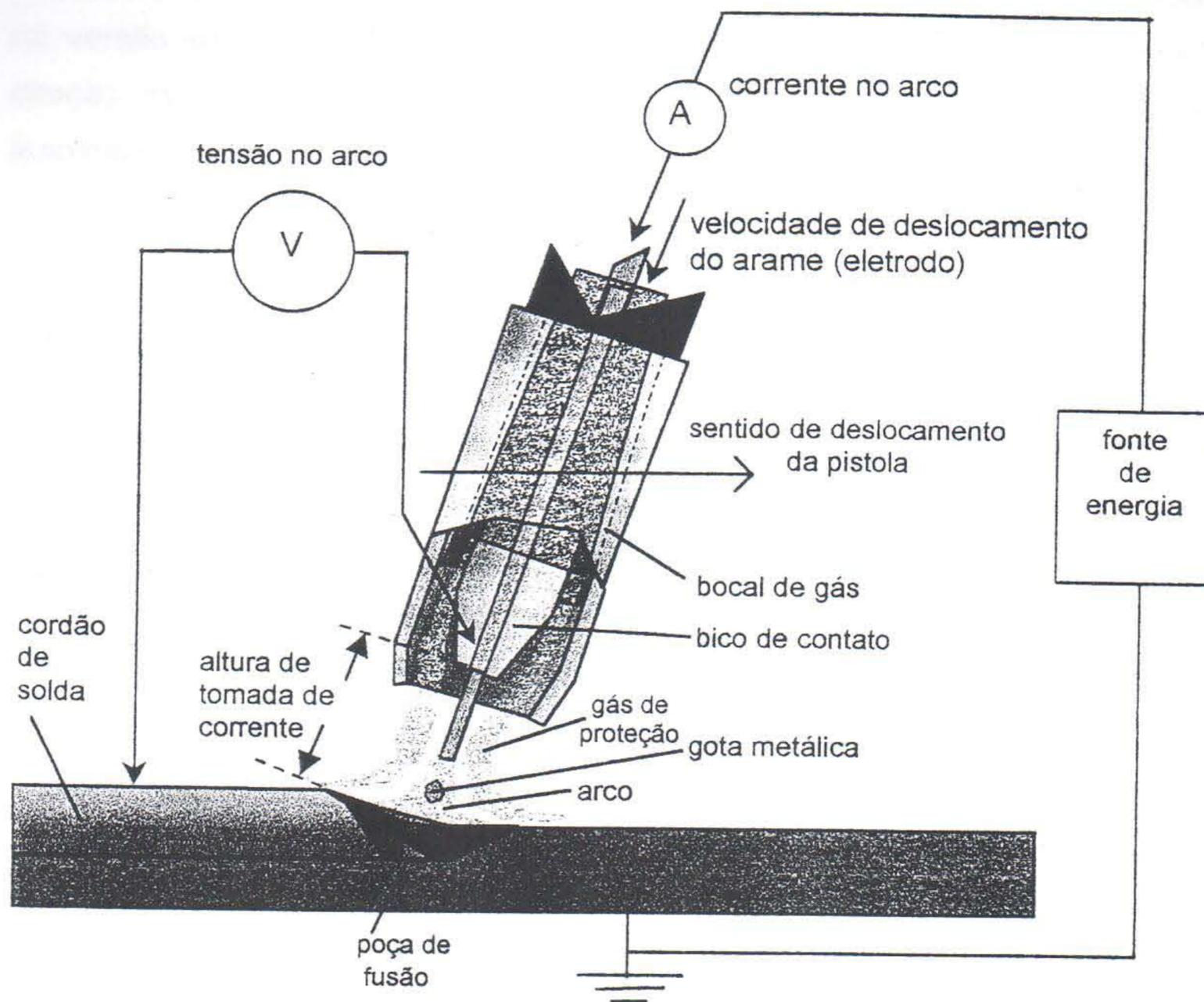


Fig.1.2 - Extremidade de uma pistola de soldagem MIG/MAG

No modo de transferência por curto-circuito, a monitoração dinâmica das variáveis do processo se faz necessária, pois os valores de tensão e corrente serão afetados por parâmetros tais como a indutância da fonte, e somente com a observação dos oscilogramas será possível constatar a influência da indutância sobre o processo[17].

Já no modo de transferência por "spray", onde a velocidade de arame e a corrente são mais elevadas, os valores médios de corrente e tensão já são suficientes para se observar o processo.

Independente do modo de transferência, o eletrodo é continuamente renovado e seu comprimento é relativamente pequeno, o que permite a utilização de densidades de corrente extraordinariamente altas (300 A/mm^2), resultando em elevadas velocidades de fusão; até cinco vezes o que se consegue com eletrodos revestidos.

O processo pode ser totalmente automático, mas sua utilização em grande escala ocorre na versão semi-automática, onde o movimento de translação do arame-eletrodo na direção do cordão de solda é manual, e o comprimento do arco voltaico é controlado automaticamente.

1.2 - Principais grandezas envolvidas em soldagem a arco

As principais grandezas que influenciam o processo de soldagem MIG/MAG são a corrente e a tensão do arco, a frequência de pulsação (quando trabalhando em corrente pulsada), a velocidade do arame, a vazão do gás, a velocidade de deslocamento da pistola, a altura de tomada de corrente, o comprimento do eletrodo, o diâmetro do eletrodo e o tipo de junta[13].

Na realização de um procedimento de soldagem, esses parâmetros são previamente ajustados e para melhorar a estabilidade do processo, utiliza-se geralmente mecanismos automáticos de deslocamento como robôs que possuem controle sobre os parâmetros velocidade de deslocamento da pistola e altura de tomada de corrente. Nesse sentido, a medição da corrente e da tensão no arco é muito importante, pois através dessas duas variáveis, é possível tirar conclusões sobre a estabilidade do processo, o modo de transferência metálica e o aporte térmico[17].

No processo MIG/MAG, a corrente no arco está na faixa de (30 a 500) A, enquanto que a tensão se situa na faixa de (15 a 40) V. A velocidade do arame está na faixa de (1 a 20) m/min e a vazão de gás (CO₂ e/ou Argônio) entre (8 e 20) l/min; e, quando o processo utiliza corrente pulsada, tem-se uma frequência de pulsação entre (30 e 150)Hz.

1.3 - Importância do conhecimento das grandezas elétricas em soldagem a arco

Na execução de um procedimento de soldagem, seja em um processo de manutenção ou em chão-de-fábrica, é comum o operador atuar na corrente e na tensão do arco sem conhecimento, ou seja, ao iniciar o procedimento ele ajusta indiretamente essas variáveis atuando no controle da velocidade de arame para obter o arco.

Ocorre que, dependendo do processo e do modo de operação da fonte de soldagem, a corrente e a tensão possuem comportamentos diferentes.

No processo de soldagem MIG com corrente pulsada, essas variáveis desdobram-se em seus valores de pulso e de base com seus respectivos tempos de atuação. Como existem vários princípios para o controle da corrente pulsada; (controle pela tensão, por imposição de corrente ou ainda a combinação das duas), o operador dificilmente saberá associar as variáveis às leis básicas que regem as interrelações entre as variáveis corrente, tensão e velocidade de arame.

Outro aspecto é que a produtividade e a qualidade passaram a ser fatores estratégicos para o desenvolvimento industrial do país, em vista do aumento da competitividade e do processo de globalização da economia. Com isso as indústrias passam a adotar normas, e métodos para o controle da qualidade como a ISO 9000 e QS 9000, tendo-se assim, especificações de processos cada vez mais exigentes e com tolerância mais estreitas.

Por isso, sistemas de medição de grandezas elétricas de soldagem são uma necessidade em chão de fábrica, pois a qualidade da solda não pode ser determinada simplesmente por inspeção visual.

Várias são as possibilidades de se obter soldas com características diferentes utilizando-se a mesma energia [17][38]; isto é: para um mesmo valor de corrente e tensão média pode-se chegar a diferentes índices de penetração e geometria de cordão.

Assim, a observação das variáveis, durante o tempo de execução do processo de soldagem, pode ser utilizada como mecanismo para garantir a reprodutibilidade de um procedimento de soldagem servindo também como mecanismo para controle de qualidade.

Apesar da observação estática das variáveis do processo, como os valores da corrente e tensão no arco, ajudarem a obter reprodutibilidade da solda, e mesmo que os operadores possuam registros destes parâmetros em formulários como EPS ou RQPS (Especificação e Registro de Procedimento de Soldagem), ainda assim existe uma carência de informação por parte destes no que diz respeito a qual valores de corrente e tensão adotar: se valores médios ou eficazes.

É possível encontrar trabalhos científicos sobre a questão da produtividade, onde conclusões são obtidas levando-se em conta apenas valores médios, quando se constata que com valores eficazes pode-se concluir coisas diferentes. É o caso de trabalhos como o de Scotti [42] onde se afirma que a produtividade do processo MIG pulsado é maior que o processo MAG por curto circuito, já o trabalho de Paula [38], mostra resultados contraditórios. É comum encontrar-se cálculos de produtividade onde a potência é obtida pela multiplicação dos valores da corrente e tensão média.

Como os instrumentos utilizados na medição desses parâmetros são calibrados a um determinado tipo de onda e, como em soldagem pode-se ter os mais variados tipos, principalmente em soldagem por curto circuito, obtém-se valores que podem estar acometidos de erros de (7 a 10)%, conforme será demonstrado adiante.

O que se pode constatar é que na maior parte dos registros de especificação de procedimentos, não existe sequer a preocupação em distinguir os valores médios dos eficazes, sendo que alguns profissionais da área de soldagem, técnicos e cientistas, divergem a respeito de qual valor é mais relevante, se o valor médio ou eficaz da corrente ou da tensão, pois dependendo do processo a corrente e a tensão média podem ser mais importantes para a caracterização do processo.

Como a corrente desempenha um papel importante na transferência da gota, o ideal seria ter um valor de corrente para cada condição de soldagem, que possibilitasse a transferência metálica com a melhor qualidade possível para o processo. Além disso, convém não somente conhecer os valores estáticos da corrente como também observar o comportamento dinâmico da mesma.

As medições dinâmicas da corrente e da tensão no arco são importantes na observação de alterações de parâmetros como a indutância da fonte de soldagem, onde só é possível medir o efeito da variação desse parâmetro pela observação do oscilograma da corrente no arco (figura 1.3).

Essas medições dinâmicas são necessárias também para análise da estabilidade do processo, uma vez que em procedimentos automatizados de soldagem, não existe a figura do soldador que atua como controlador do processo para garantir a estabilidade do arco. Uma variação na tensão ou corrente do arco pode afetar a estabilidade do processo ocasionando poros e salpicos no cordão de solda, prejudicando assim a qualidade do mesmo.

1.4 - Sistemas de medição de grandezas elétricas em soldagem a arco

No Brasil existe uma carência na área de instrumentos de medição para processos de soldagem. Os equipamentos para medição de corrente e tensão disponíveis hoje no mercado nacional são de utilização genérica e não são adequados para utilização na faixa de medição das grandezas de soldagem.

No LABSOLDA a monitoração de grandezas de soldagem deu um grande salto no ano de 1985, quando foi construída uma bancada automatizada de ensaios [14][15]. Desde então, novos sistemas de medição para processos de soldagem a arco estão sendo desenvolvidos integrando-se conhecimentos de eletrônica, mecânica, metrologia e informática com intuito de suprir as necessidades do ambiente de soldagem.

Estes sistemas de medição devem permitir a leitura clara e direta dos valores de corrente e tensão no arco sem afetar o processo de soldagem. É desejável também que o sistema permita uma análise, tanto estática - leitura direta de valores médios e eficazes -, quanto análise dinâmica do processo, através de gráficos denominados oscilogramas (figura 1.3), que apresentem a forma de onda da tensão e da corrente.

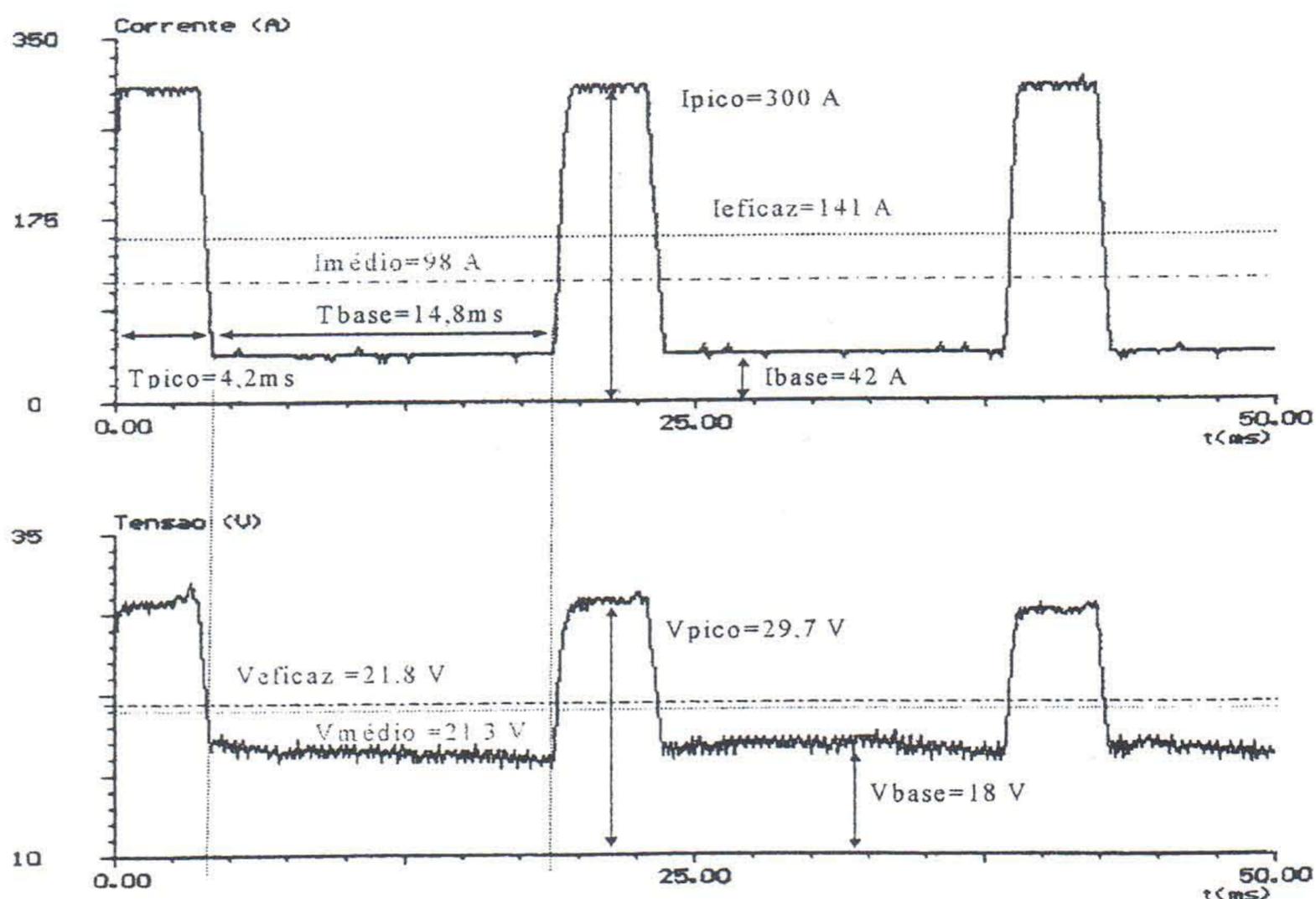


Fig. 1.3 – Oscilograma de corrente e tensão de uma soldagem MIG com corrente pulsada

Sob o ponto de vista metrológico, sistemas de medição para soldagem, devem possuir características como rastreabilidade e repetitividade. A rastreabilidade é a capacidade de referenciar o valor indicado no instrumento à padrões nacionais e internacionais. Isso permite também conhecer a incerteza de medição do sistema de medição (SM), uma vez que a rastreabilidade é obtida através de procedimentos de calibração. Quanto a repetitividade, característica de indicar o mesmo valor para medições realizadas sob um mensurando em tempos diferentes, é altamente desejável, uma vez que boa parte das pesquisas realizadas em soldagem é feita de forma experimental através de ensaios repetitivos com variáveis controladas. Essas características são também importantes para as indústrias, que por adotarem normas como a ISO 9000 ou QS 9000 utilizam SM rastreáveis dentro do sistema da qualidade implantado.

Diante desses fatos, o desenvolvimento de sistemas de medição específicos para processos de soldagem é hoje uma necessidade.

1.5 – Objetivo do trabalho

O objetivo do trabalho é contribuir para o desenvolvimento tecnológico da soldagem a arco no Brasil, prondo diretrizes de projeto para o desenvolvimento de sistemas de medição para processos de soldagem a arco e avaliá-las através da qualificação de sistemas de medição desenvolvidos anteriormente no LABSOLDA, e que estão de acordo com estas diretrizes, apresentando também um procedimento para a calibração da corrente e tensão nesses sistemas.

1.6 – Metodologia

Partindo-se de um estudo sobre processos de soldagem a arco, mais especificamente o processo MIG/MAG semi-automático, foram levantadas as necessidades de informações sobre as variáveis elétricas nos processos de soldagem a arco.

Um estudo sobre metrologia e normas de qualidade foi realizado com intuito de criar subsídios para propor diretrizes para o projeto de sistemas de medição de grandezas elétricas em processos de soldagem.

Após este estudo, foram estudados sistemas de medição desenvolvidos anteriormente no LABSOLDA, com objetivo de avaliar as diretrizes propostas. Esses sistemas foram testados em condições reais de trabalho, sendo que posteriormente foram realizados ensaios para se obter a qualificação metrológica dos mesmos.

Essa qualificação metrológica foi possível, através de um procedimento de calibração, que permitiu analisar o desempenho metrológico dos sistemas, determinando suas incertezas de medição.

Após a calibração dos sistemas, o trabalho tomou a forma desta dissertação que concatena o conhecimento adquirido ao longo do período de 1995 a 1998, onde o autor participou do desenvolvimento de projetos no LABSOLDA.

2 - NECESSIDADES DE INFORMAÇÃO EM PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO

Para se conhecer um processo, ou produto, é necessário definir um critério ou relacionar parâmetros que possam ser quantificados e, uma vez que estes parâmetros tenham sido definidos, é possível quantificá-los através da medição.

A função da medição é obter dados sobre os parâmetros de processos ou produtos que permitam estabelecer a extensão, o grau, a qualidade ou a capacidade com relação a um padrão.

O procedimento de soldagem se materializa na forma da EPS - Especificação de Procedimento de Soldagem, que deveria conter, todas as informações necessárias, para que um soldador reproduza a soldagem que foi previamente especificada em laboratório.

Nas empresas que adotam sistemas de controle para prevenção, correção e garantia do processo de soldagem, a metodologia utilizada é baseada em RQS - Registro de Qualificação de Soldadores, EPS e RQPS, e muitas vezes é feita de forma automática através de sistemas informatizados como sugerido por Passos[37] e Vieira[46].

Para se especificar um procedimento de soldagem são realizados ensaios em laboratório, com algumas variáveis fixas e outras que estarão sendo modificadas durante o ensaio. Estes ensaios, envolvem preparação de corpos de prova, definição do processo a ser usado, repetições do procedimento de soldagem para se obter estabilidade no arco, análise macroscópica do cordão como porosidade e geometria e técnicas de metalografia.

O método mais comum para se obter a qualificação de um procedimento de soldagem, é a realização de um teste de qualificação conforme descrito na norma EN 288, [3].

Com um rascunho do procedimento de soldagem, conhecido como EPS preliminar, é usado um soldador qualificado para se provar que, com as especificações contidas no EPS preliminar, é possível se produzir uma junta soldada que atenda aos níveis de qualidade e de propriedades mecânicas. O RQPS é o registro dessa solda.

Em procedimentos de manutenção, bem como em pesquisa, essa metodologia é seguida, e boa parte das análises dos resultados obtidos com o corpos de prova são feitas de forma comparativa; isto é: variando a corrente ou um outro parâmetro e observando-se como o processo se comporta.

No processo de qualificação, bem como no de especificação do procedimento, existe a necessidade de se repetir as condições fixadas e somente com um sistema de medição adequado, é que será possível obter reprodutibilidade nos ensaios.

Para se alcançar a reprodutibilidade de um procedimento de soldagem, uma atenção especial deve ser dada ao mensurando, que no caso é o arco elétrico.

O arco, que é a ferramenta de trabalho do processo de soldagem, pode ser perfeitamente caracterizado pela medição correta das grandezas tensão e corrente elétrica, por isso, será tratado aqui, aspectos importantes sobre a medição dessas duas grandezas.

2.1 - Medição de grandezas elétricas em processos de soldagem

O processo de medição da corrente e tensão no arco, deve resultar em um conjunto de dados que poderão ser transformados em informações sobre o processo de soldagem.

A qualidade metrológica tem a ver, portanto, com a adequação ao uso do processo de medir, no sentido de que ele deve fornecer dados confiáveis.

Porém o que se observa na prática é que muitas vezes o operador não está habilitado para trabalhar com o sistema de medição e por isto acaba cometendo graves enganos.

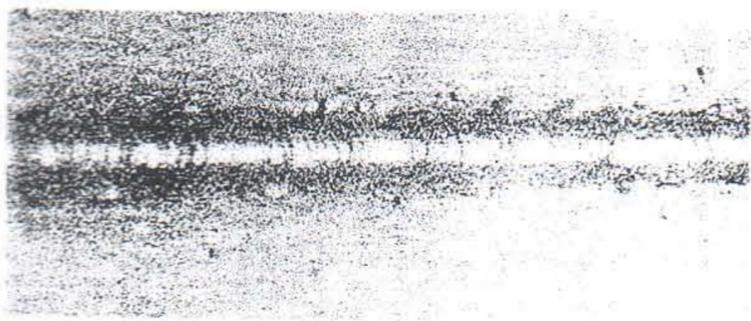
Um exemplo disso é o que ocorre com os operadores dos equipamentos de soldagem, pois estes tratam os valores médios e eficazes sem distinção, devido a leituras realizadas diretamente no painel das fontes de soldagem.

Ocorre que, algumas fontes de soldagem possuem medidores de valores médios e outros medidores de valores eficazes.

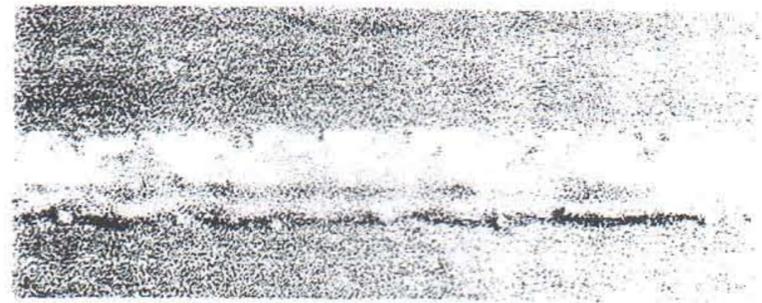
Como as unidades de indicação localizadas nos painéis destas fontes, simplesmente expressam a unidade sem se preocuparem em distinguir de qual valor se trata, fica impossível para o operador reconhecer se o valor medido é o médio ou o eficaz.

Isto acaba fazendo com que o operador ajuste um valor de corrente média em uma fonte que possua medidor de corrente eficaz, obtendo como resultado soldas completamente diferentes, comprometendo assim a reprodutibilidade da soldagem.

Mesmo que no EPS esteja registrado os valores médios de corrente e tensão, e que o operador habilitado faça o ajuste na fonte de soldagem, ainda existe a possibilidade de não se atingir a reprodutibilidade, pois pode se obter soldas bem diferentes com um mesmo valor de corrente média [38][16], como pode ser observado na figura 2.1 e 2.2.



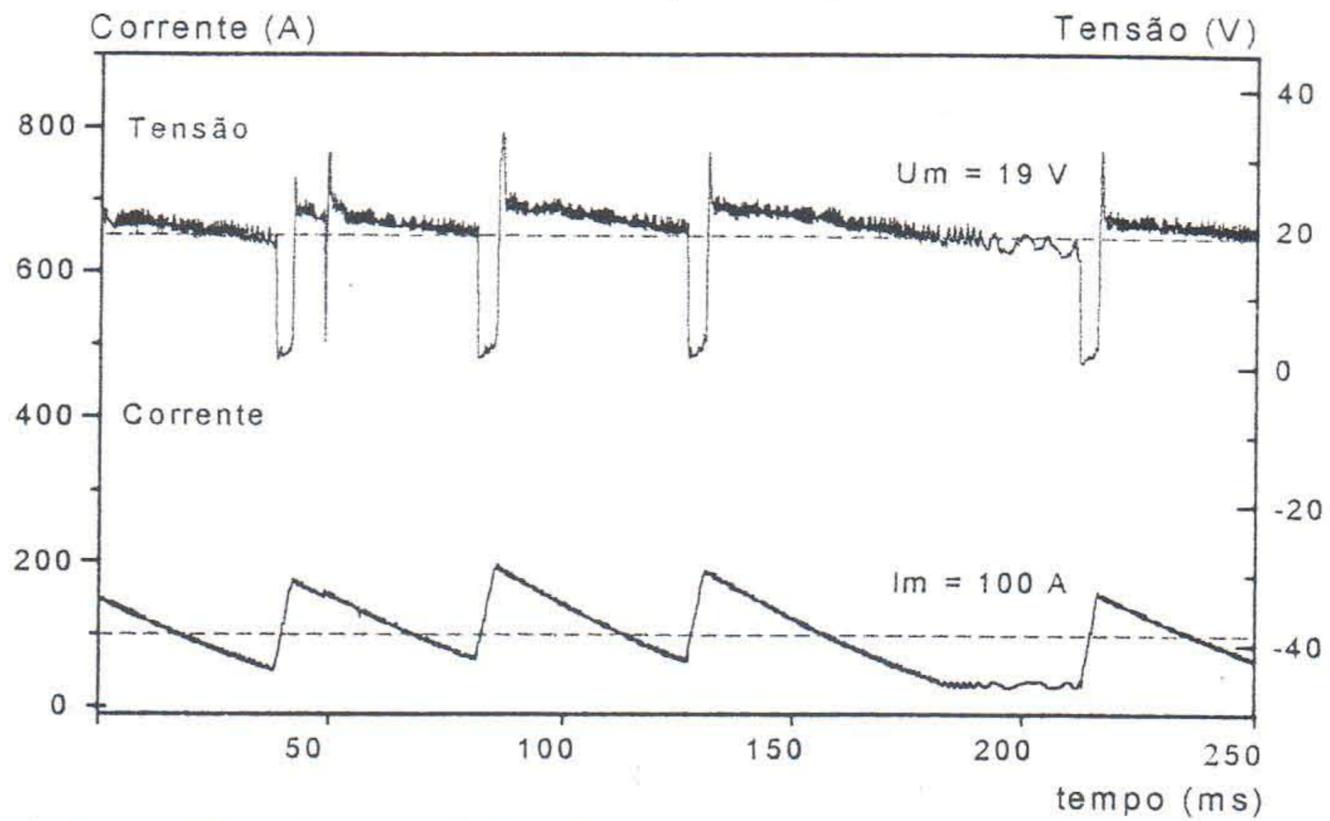
Caso A



Caso B

Figura 2.1 - Cordões de solda diferentes com o mesmo valor de corrente e tensão média

Efeito indutivo de 90% - indutância elevada [caso A]



Efeito indutivo de 10% - indutância baixa [caso B]

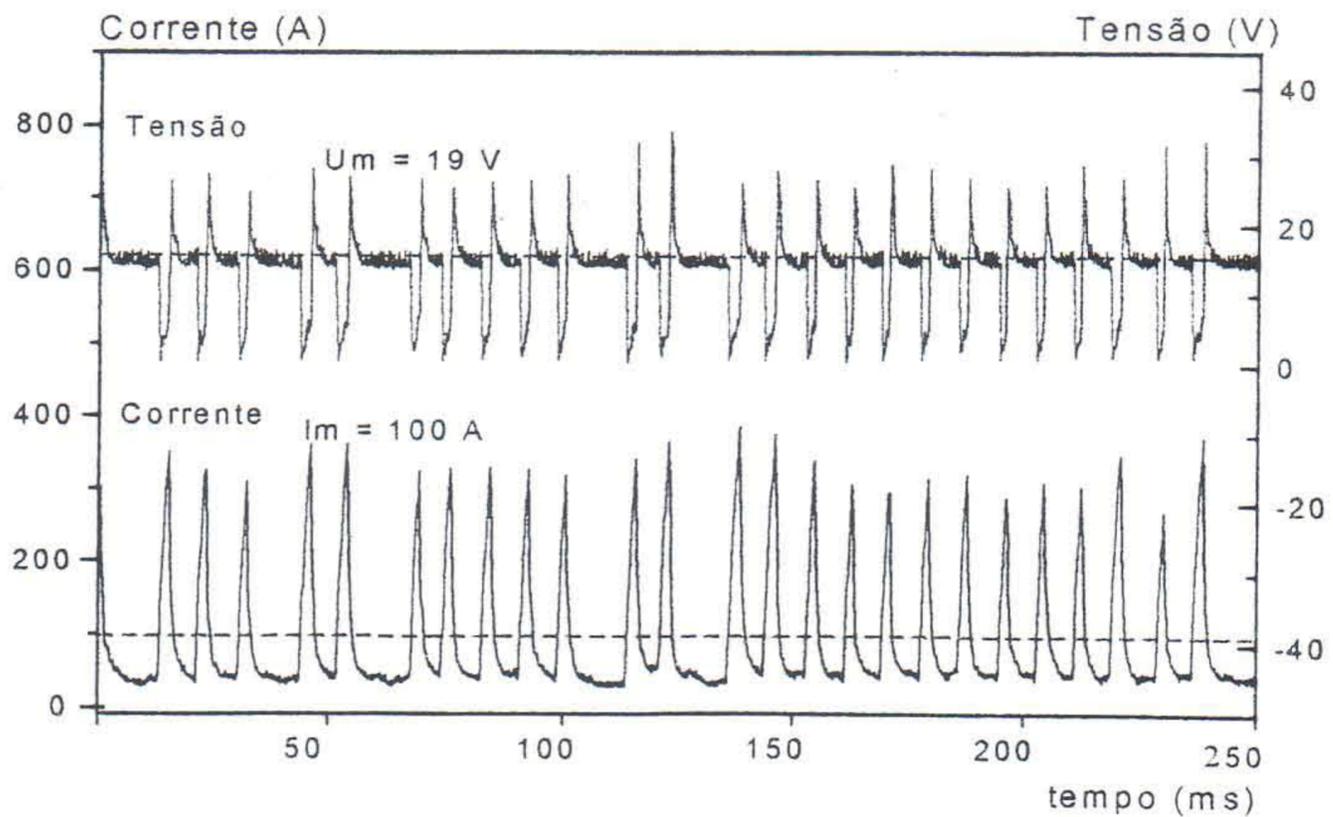


Figura 2.2 - Oscilogramas de corrente e tensão para os dois casos do ensaio

Em ambos os casos do ensaio, foi utilizado a mesma fonte de soldagem com os mesmos: tipo de arame; velocidade de deslocamento da pistola; distância bico contato e tipo de gás; alterando-se apenas o efeito indutivo da fonte de soldagem.

O efeito indutivo atua sobre a taxa de subida e descida da corrente, fazendo com que a fonte responda de forma diferente no momento do curto-circuito. Esse efeito pode ser observado facilmente no oscilograma da corrente, e como boa parte dos usuários não tem acesso a esse tipo de informação, desconsideram o ajuste deste parâmetro.

Questões como essas geram uma polêmica na escolha de qual valor é mais significativo para a soldagem, se o valor da corrente eficaz ou o valor médio. O argumento para isso reside no fato de que o arco elétrico não obedecendo à lei de Ohm, não seria considerado uma carga resistiva e, portanto, a corrente eficaz seria de pouco significado.

Entretanto, é necessário considerar as particularidades de cada processo.

No caso de processos que utilizam eletrodos não consumíveis, o calor gerado no comprimento do eletrodo não modifica a solda resultante, mas em processos que utilizam eletrodos consumíveis e resistivos, a corrente que circula no eletrodo, gera um apreciável calor por "efeito Joule" e por isto o valor da corrente eficaz seria mais relevante.

Nota-se assim que são necessárias formas mais corretas para a especificação de um procedimento de soldagem, juntamente com um treinamento do operador da fonte de soldagem. Se o operador conhecer bem o processo, ajustará corretamente as variáveis, obtendo assim a reprodução de uma soldagem.

Para isso, uma importante ferramenta é o oscilograma da tensão e corrente no arco, pois no processos MIG com corrente pulsada, ou MIG/MAG com curto circuito pode-se observar, como no ensaio anterior, o efeito indutivo, a alteração na frequência dos curtos circuitos, os valores médios, a estabilidade do arco e outras informações relevante para a medição e estudo do processo.

Cabe aqui ressaltar que essa ferramenta não possui muita relevância quando se utiliza o processo MAG com transferência por "Spray", onde o comportamento da tensão e da corrente não variam no tempo, sendo semelhantes a sinais contínuos. Apesar disto, o oscilograma se apresenta como a melhor forma de caracterização de um procedimento de soldagem.

2.2. - Sistematização de procedimentos para a medição de grandezas elétricas envolvidas nos processos de soldagem a arco

Independentemente da escolha do valor a ser medido, se médio ou eficaz, ou ainda oscilogramas, são necessários alguns cuidados ao se medir a corrente e a tensão no processo de soldagem.

Nesse caso deve-se considerar três aspectos: a faixa de operação do processo, a incerteza de medição e a resolução que se deseja no resultado da medição.

Para a definição da faixa de medição é necessário o conhecimento da faixa de operação do processo. No caso do processo MIG/MAG, uma boa escolha seria a faixa de (30 a 500) A para a corrente e de (10 a 40) V para a tensão.

2.2.1 - A incerteza de medição em procedimentos de soldagem

Ao se especificar um sistema de medição é importante conhecer as incertezas associadas ao mensurando, bem como as fontes de incertezas do sistema de medição a ser utilizado.

Em soldagem, determinar a incerteza do processo é muito difícil devido a interdependência entre as variáveis. Mesmo que se determine a incerteza de um processo de soldagem, esta só será válida para uma dada situação.

Por exemplo, para uma soldagem onde todos os parâmetros são fixados, como vazão do gás, velocidade de alimentação do arame, tensão, velocidade de deslocamento da tocha, distância do bocal a peça, temperatura e pressão, basta existir uma modificação na geometria da peça ou no tipo de junta para que a incerteza do processo seja modificada.

Diante desse entrave, é praticamente impossível estimar uma incerteza para processos de soldagem, porém o que se pôde constatar em ensaios é que com uma incerteza de 1% para a corrente e tensão no processo MIG/MAG, na faixa de (30 a 500) A e (15 a 40) V, é possível se obter reprodutibilidade.

Outro aspecto relevante para um sistema de medição para processo de soldagem é que o mesmo possua repetitividade. Esta é uma característica muito desejável, pois a maioria das pesquisas em soldagem são realizadas através da comparação de ensaios.

2.2.2 - Medição da corrente em processos de soldagem

Para a medição da corrente de soldagem existem dois tipos de transdutores que podem ser utilizados, o "shunt" e o transdutor por efeito "Hall".

Para a escolha do transdutor mais adequado é preciso analisar alguns aspectos tais como ruídos, estabilidade térmica e facilidade no uso.

a) transdutor de corrente tipo "Shunt"

O "shunt" é uma resistência elétrica conhecida, adicionada em série no circuito de corrente, onde, através do sinal de tensão, é possível determinar o valor da corrente pela lei de "Ohm".

Este tipo de transdutor possui uma característica indesejável que é a variação da resistência com a temperatura, obrigando o usuário a adotar tabelas e cálculos para compensar esse efeito.

O efeito indutivo associado à resistência também é indesejável, pois como as fontes mais modernas são chaveadas, existe sempre uma componente de alta frequência que será afetada, prejudicando assim o resultado de medição. Essas características comprometem o uso quando se trata de processos de soldagem onde a corrente possui valores elevados.

Outra desvantagem é o fato de não ser isolado; ou seja, ao se utilizar o "shunt" pode-se ter a possibilidade de curto-circuito, pois a referência do sensor será a mesma do sistema de medição, e uma vez que se esteja utilizando um microcomputador com um sistema de aquisição de dados, existirá a possibilidade de um curto circuito pelo caminho indicado na figura a seguir. Este fato obriga a utilização de um amplificador isolador.

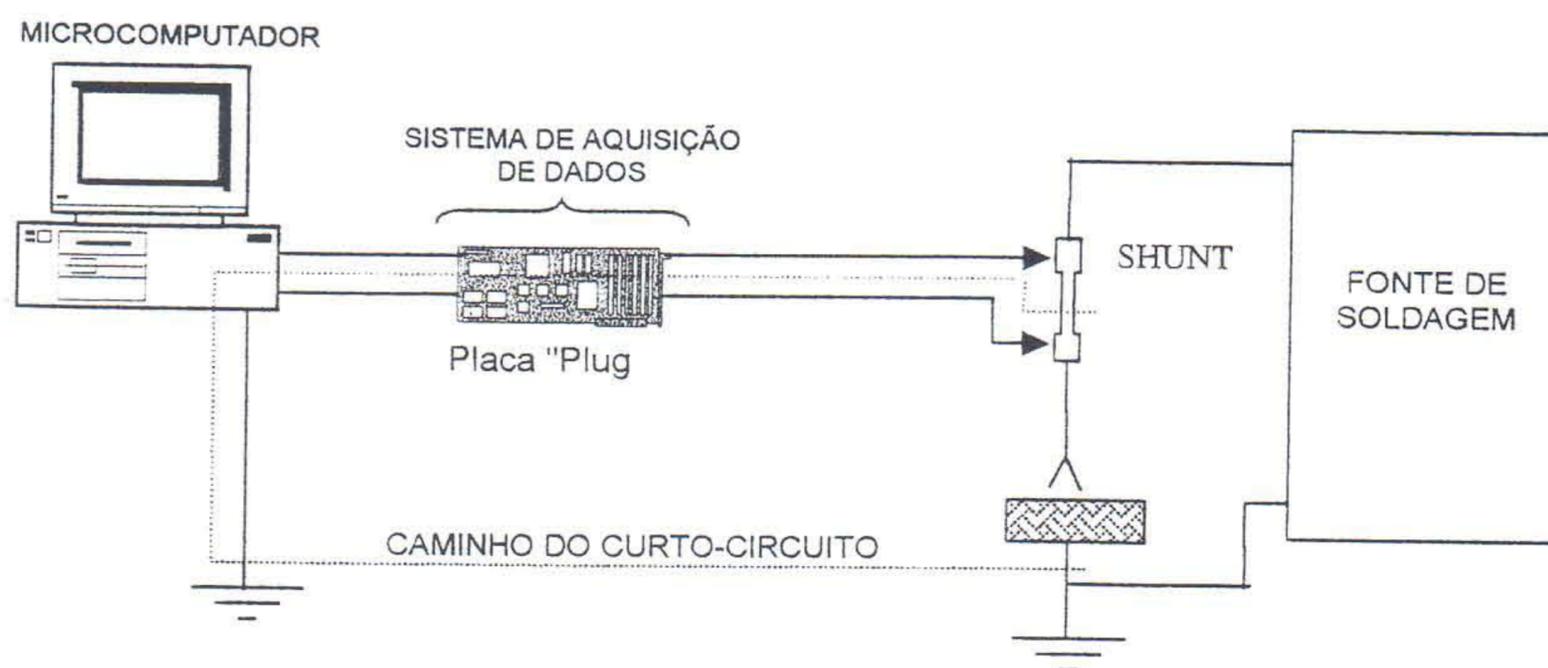


Figura 2.3 - sistema de medição com transdutor não isolado mostrando o caminho de um possível curto-circuito

Apesar desses inconvenientes, os modelos mais modernos de "shunt", que utilizam novos materiais, apresentam incertezas menores. Por isso, ele é muito utilizado por laboratórios de calibração onde as condições de uso são fixadas, como a temperatura e a configuração do circuito, fazendo com que a incerteza na medição da corrente fique em torno de $\pm 0,1\%$.

b) transdutor tipo "Hall"

Este transdutor de corrente utiliza o princípio do efeito "Hall", que se resume na interação do movimento de elétrons com um campo magnético externo, gerando uma força que desloca as cargas e cria uma diferença de potencial proporcional ao campo magnético externo, conforme figura 2.4.

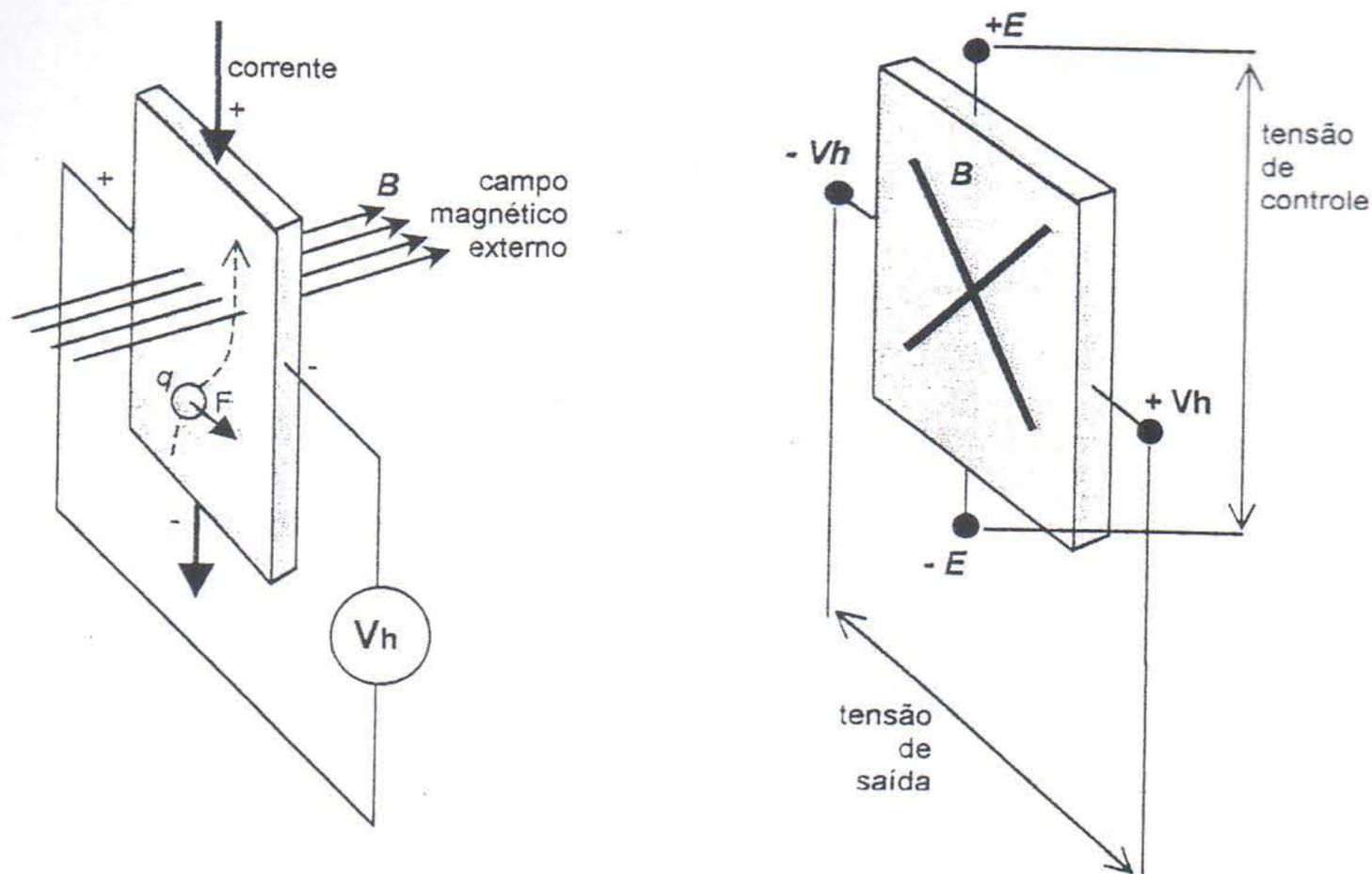


Figura 2.4 - Princípio de funcionamento do transdutor de efeito Hall

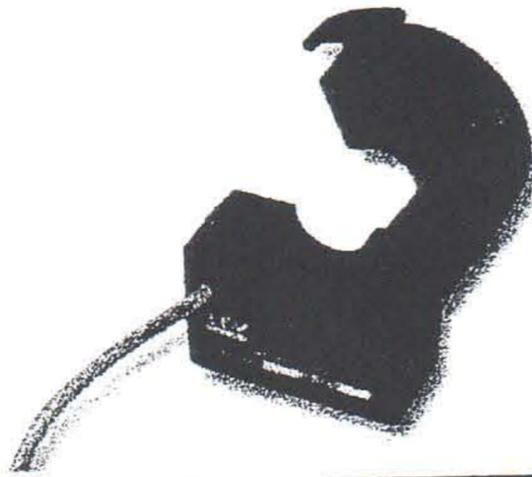
Esse tipo de transdutor contém quatro terminais, dois para a entrada da tensão de controle (E) e dois para a saída da tensão Hall (V_h).

Além de ser galvanicamente isolado, esse transdutor apresenta uma excelente estabilidade térmica e boa imunidade a ruídos, podendo se apresentar no formato de alicate, o que facilita muito a instalação do mesmo no ponto de medição.

Um exemplo deste transdutor é apresentado na figura 2.5.

Utilizando como elemento sensor um núcleo de ferrite que é afetado pelo campo magnético da corrente a ser medida, esse transdutor possui a capacidade de converter correntes na ordem de 500 A em um valor de tensão de 5 V com uma incerteza de 1%.

Suas características dinâmicas permitem a utilização do mesmo dentro de uma faixa de frequência de (0 a 25) kHz, o que cobre o espectro de utilização em processos de soldagem. As frequências de pulsação utilizadas em processos como MIG/MAG, bem como as frequências de chaveamento das modernas fontes não ultrapassam esse valor.



| | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Corrente Nominal (I_n)....: | 500 A |
| Saída.....: | $\pm 5V$ para I_n |
| Alimentação.....: | $\pm 15 V \mp 5\%$ |
| Erro máximo.....: | $\pm 1\%$ de I_n a $23^\circ C$ |
| Deriva para offset.....: | $\pm 0,07 \%$ de $I_n / ^\circ C$ |
| Faixa de Frequência.....: | (0 até 25) kHz |
| Fabricante/Modelo | LEM / HT500S |

Figura 2.5 - Especificações técnicas do transdutor "Hall" tipo alicate

2.2.3 - Medição da tensão em processos de soldagem

Para a medição da tensão no arco é importante que o sistema de medição esteja isolado e apresente uma alta impedância de entrada para não afetar o mensurando.

Como a faixa de medição no arco é da ordem de (-60 a +60) V, é conveniente diminuir o sinal de tensão para a medição, usando amplificadores isoladores.

O circuito integrado ISO122, que é apresentado na figura 2.6, é um amplificador isolador que incorpora um método de modulação-demodulação tipo "duty cycle". O sinal é transmitido digitalmente através de uma barreira capacitiva diferencial de 2 pF, e com a modulação digital, a característica da barreira não afeta a integridade do sinal, o que possibilita uma boa resposta em frequência.

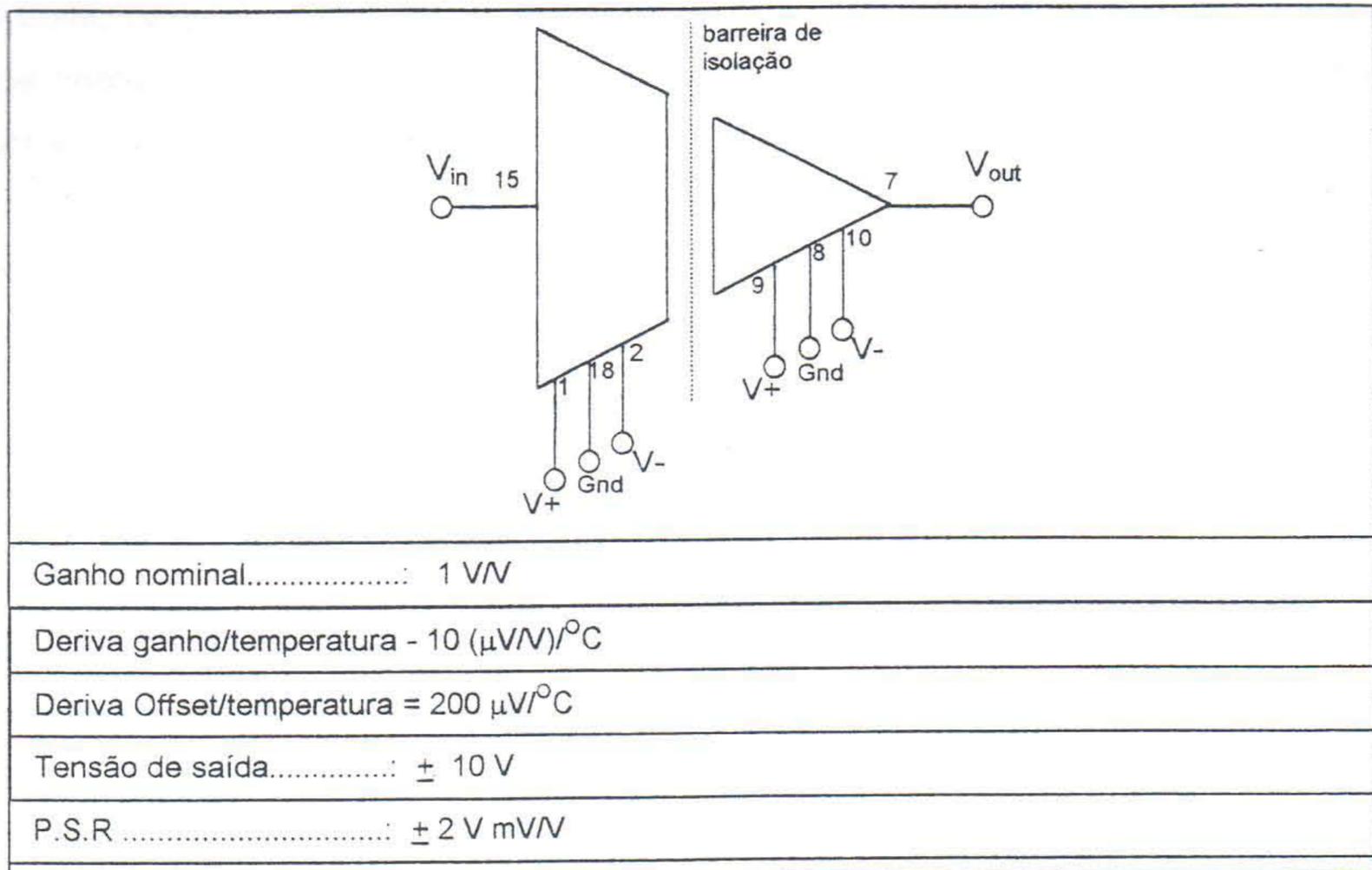


Figura 2.6 - Especificação técnica do circuito integrado ISO122

Ao realizar a medição da tensão no arco, além do uso de amplificadores isoladores, deve-se observar atentamente a escolha do ponto de medição, pois isto pode interferir de forma considerável no resultado, levando assim o operador a tirar conclusões erradas sobre o processo. Os três pontos possíveis de medição da tensão são apresentados na figura 2.7.

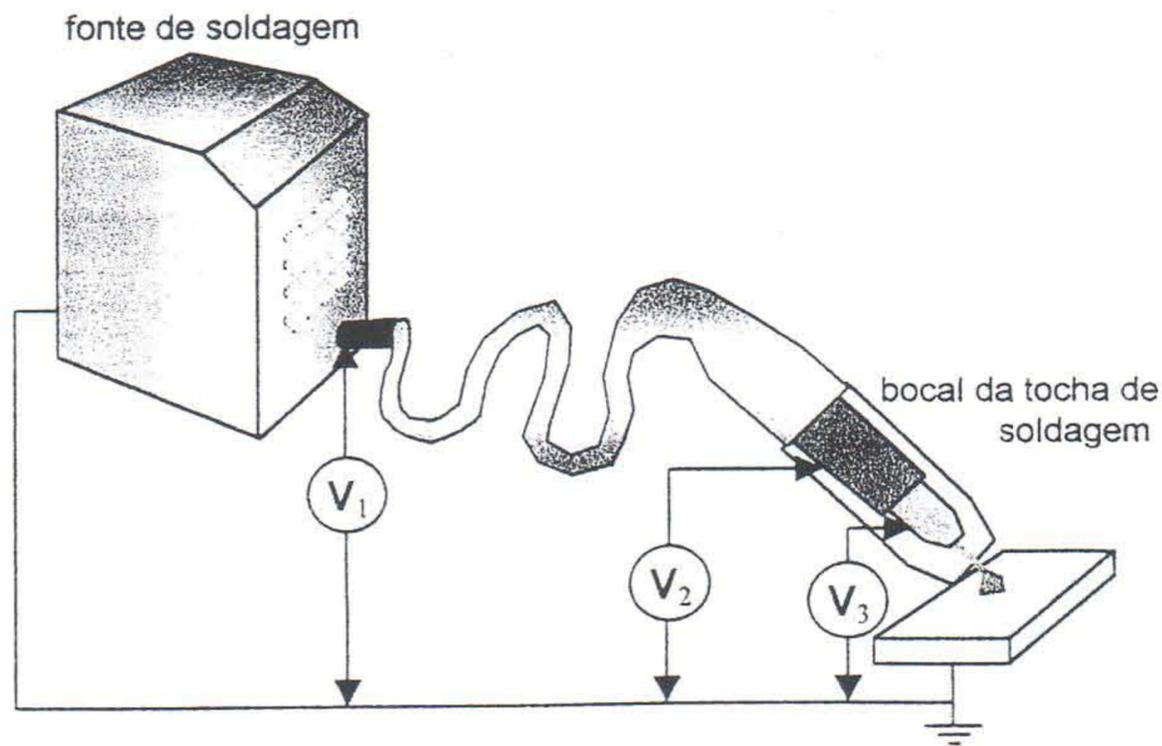


Figura 2.7 - Pontos de medição da tensão no circuito de soldagem MIG/MAG

O ponto (V1) não é recomendado pois a presença de ruídos é bem elevada, uma vez que neste ponto está sendo medida a queda de tensão no cabo de alimentação da tocha (mangote). O ponto (V2) é melhor que o ponto (V1), mas além da tensão no arco está sendo medida a queda de tensão no eletrodo, no bico de contato e na armadura da tocha de soldagem.

O ponto (V3) é o mais recomendado, uma vez que a tensão medida é igual a tensão do arco mais a queda no eletrodo, e este é o valor mais correto a ser usado no cálculo do aporte térmico.

No caso da soldagem MIG/MAG, a medição da tensão deve ser realizada preferencialmente no ponto V3, evitando-se a queda de tensão no mangote, bem como a presença de ruídos que ocasionam a perda de informação do sinal.

Para ilustrar a influência do ponto de medição foi realizado um ensaio utilizando-se o processo de soldagem MIG/MAG com corrente pulsada, com as seguintes especificações, conforme figura 2.8.

| | |
|---|-----------------|
| Distância bico contato = 15 mm | |
| Arame = 1,2 mm Aço carbono – AWS ER70S6 | |
| Imédia = 118 A | Umédio = 26,3 V |
| Ibase = 55 A | tbase = 12 ms |
| I pulso = 300 A | tpulso = 4 ms |
| Velocidade de Arame = 3 m/min | |
| Vazão Gás = 15 l/min - Argônio+CO2 (95% Argônio + 5% CO2) | |
| Velocidade de deslocamento da pistola = 0,257 m/min | |

Figura 2.8 - Condições do ensaio para determinação do ponto Adequado de medição para a tensão no arco.

Esses parâmetros foram fixados para duas fontes de soldagem, sendo uma das fontes a MTE - Digitec 300, uma fonte transistorizada que utiliza modulação por valores extremos. Neste caso a fonte possui uma frequência de chaveamento que depende do valor de corrente selecionado. A outra usada no ensaio foi a ELMA, uma fonte transistorizada com modulação tipo PWM, onde a frequência de chaveamento é fixa.

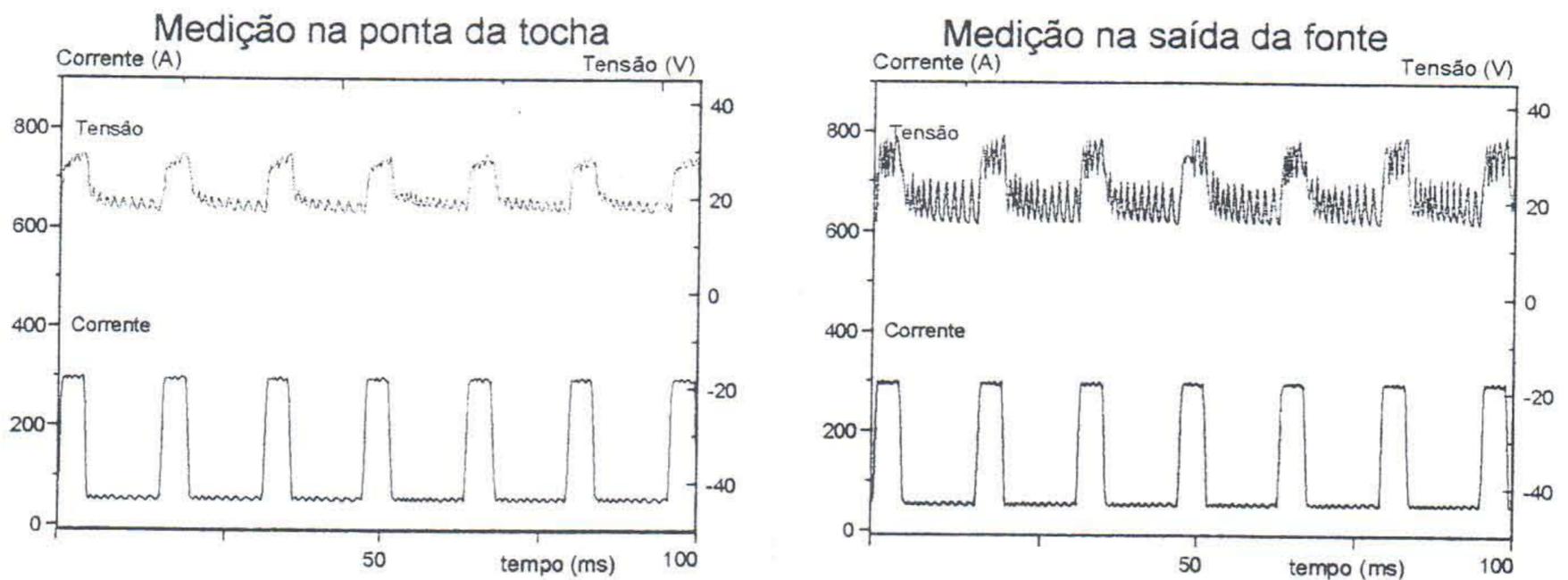
Nas duas situações é possível se observar a diferença do oscilograma de tensão devido ao ponto de medição.

Quando a medição é realizada na saída da fonte de soldagem, existe uma presença maior de ruído, e no caso da fonte ELMA esse efeito é mais visível devido ao chaveamento PWM, o que impossibilita a medição da tensão no arco.

No caso da medição sobre o bico de contato, pode-se observar uma diminuição de 2 V no valor da tensão e uma presença menor de ruídos, permitindo uma caracterização melhor da transferência metálica conforme ilustrado na figura 2.9.

ENSAIO REALIZADO COM UMA FONTE MTE DIGITEC 300

(transistorizada com modulação por valores extremos)



ENSAIO REALIZADO COM UMA FONTE ELMA (transistorizada com modulação PWM)

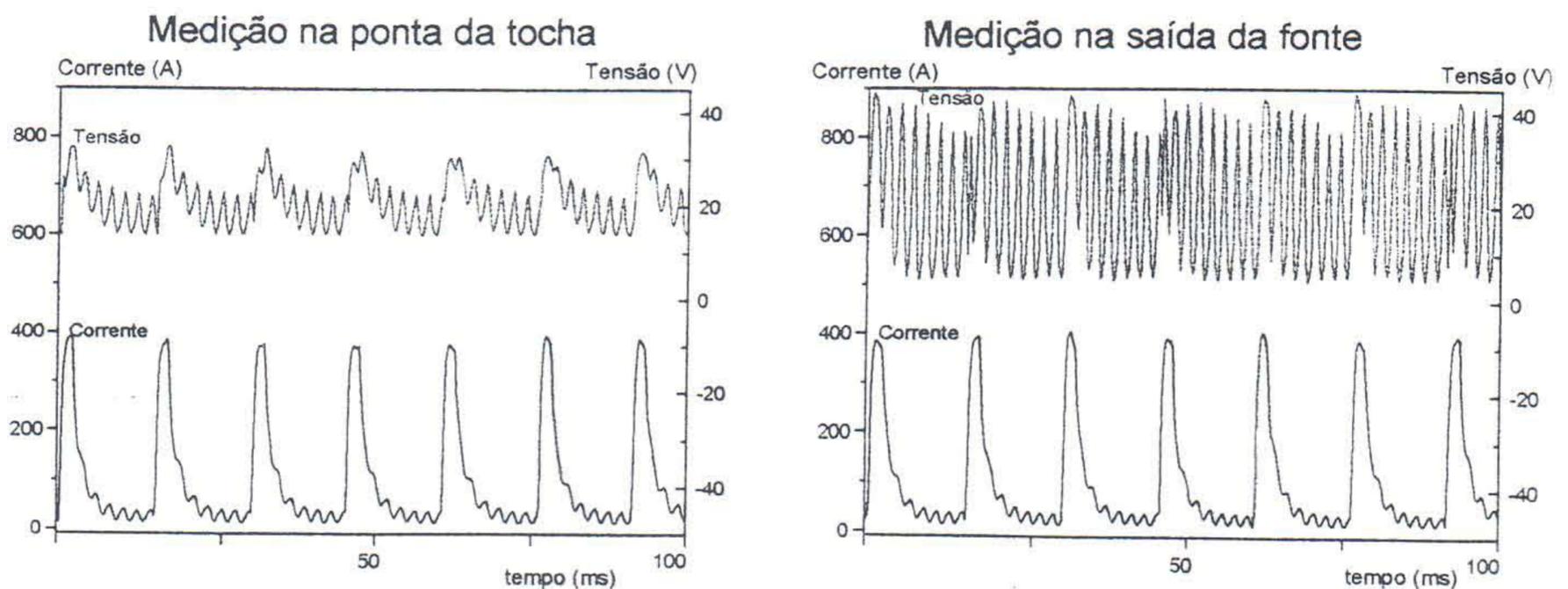


Figura 2.9 - Oscilogramas da tensão no arco para diferentes pontos de medição

2.2.4 – A medição da potência em processos de soldagem

Outro aspecto importante na medição de grandezas elétricas em processos de soldagem é o cálculo da potência elétrica no arco. É possível encontrar trabalhos científicos e também por parte dos fabricantes de fontes de soldagem, afirmações de que o processo de soldagem MIG/MAG com corrente pulsada permite um maior controle da penetração com baixas energias e ausência de salpicagem[16][14].

Entretanto, afirmações dessa natureza dependem dos critérios de comparação, que podem basear-se na corrente média ou na corrente eficaz, ou ainda na potência entregue pela fonte de soldagem.

No caso da soldagem com corrente pulsada é preciso ficar atento às componentes das ondas de tensão e de corrente, e nas respectivas amplitudes e tempos de duração.

Além de influírem no processo, essas componentes afetam significativamente a diferença entre valores médios e eficazes, podendo-se constatar divergências na ordem de 60%, o que acarreta uma variação considerável nos valores de potência.

Deste modo é comum as pessoas cometerem erros de avaliação ao definirem a potência do arco em determinadas operações de soldagem, visto que se pode estar medindo a potência do arco pelo valor médio ou eficaz da corrente e tensão de soldagem e não expressando esta grandeza em sua forma real.

A potência do arco é calculada pelo produto da tensão de soldagem pela intensidade da corrente:

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

Sendo V expresso em volts , I em ampéres e P em watts.

O que se constata na prática é que a corrente e a tensão são caracterizadas por valores médios e eficazes e que portanto, a potência acaba sendo definida levando-se em conta estes valores. Pode-se afirmar que isto descaracteriza a grandeza real, sendo que não é correto definir a potência do arco com esses parâmetros.

No cálculo da potência elétrica no arco tem-se as seguintes possibilidades:

$$a) \quad P = V_{\text{médio}} \times I_{\text{médio}} \quad (2.2)$$

$$b) \quad P = V_{\text{eficaz}} \times I_{\text{eficaz}} \quad (2.3)$$

$$c) \quad P = \frac{(I_{\text{pico}} \times V_{\text{pico}}) \times t_{\text{pico}} + (I_{\text{base}} \times V_{\text{base}}) \times t_{\text{base}}}{t_{\text{pico}} + t_{\text{base}}} \quad (2.4)$$

$$d) \quad P = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \times I_i}{n} \quad (2.5)$$

Na utilização da equação (2.2) a potência será calculada a partir dos valores médios de tensão e corrente, que por sua vez diferem da potência calculada pelo valor eficaz (2.3). Essa observação é importante porque para uma mesma corrente média podem existir diferentes correntes eficazes e tomando-se como referência a equação (2.2), assumiria-se à priori, que nesta situação a potência do arco seria igual para todas as operações de soldagem estabelecidas nestas condições, quando na realidade o resultado é bem distinto[16][20].

A equação (2.4) poderia ser utilizada, se a forma de onda fosse realmente retangular, isto é, sem ruídos e sem inclinação no momento de transição da corrente de base para o momento de pico. Apesar de estar teoricamente correta a equação (2.4) quando aplicada em situações reais, onde a fonte de soldagem não produz uma onda perfeitamente retangular, implica um erro.

A maneira mais adequada para o cálculo da potência é a expressa pela equação (2.5) que representa o produto ponto a ponto do valor de corrente e tensão instantâneos, sendo n o número de pontos considerados na análise.

Além de usar a equação (2.5) é necessário considerar a incerteza de medição, que pode ser obtida através da equação do cálculo da incerteza de grandezas não correlacionadas (2.6), onde P é uma função que depende das variáveis tensão (V) e corrente (I).

$$U_c(P) = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)^2 \times uV^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial I} \right)^2 \times uI^2 \right]} \quad (2.6)$$

Utilizando-se as equações (2.2, 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6) sobre o oscilograma apresentado na figura 2.10, e considerando as incertezas da tensão e da corrente, pôde-se observar erros máximos na ordem de (14 a 25)% quando se utiliza os valores médios e eficazes respectivamente, e mesmo quando é utilizada a equação (2.5), o erro máximo é da ordem de 7% para o caso em estudo. Isto demonstra o cuidado que se deve ter ao realizar medições de potência elétrica.

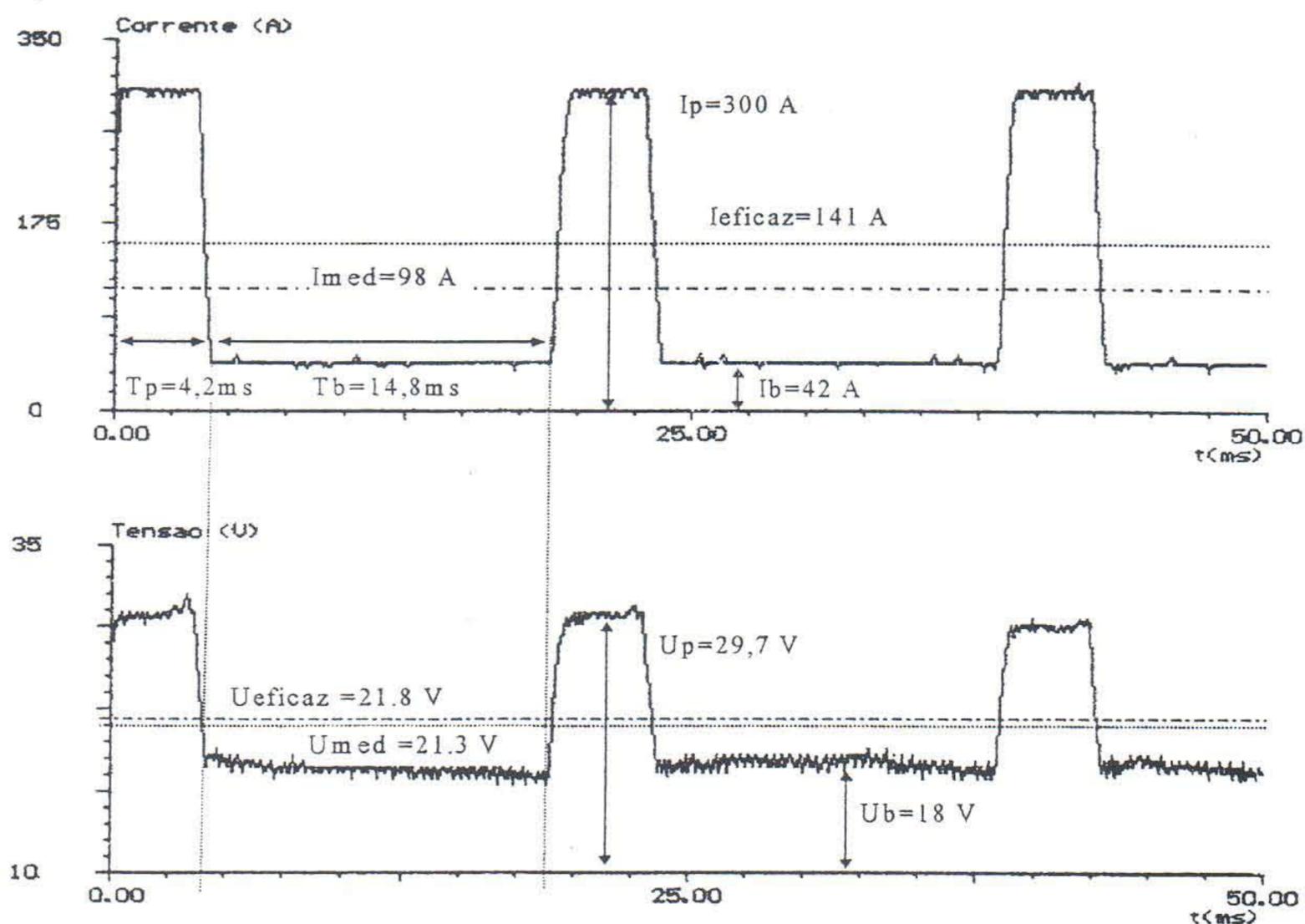


Figura 2.10 - Oscilograma de tensão e corrente no arco com cálculo da potência

- a) $P = U_m \cdot I_m = 2087 \text{ W} \pm 3\%$
- b) $P = U_{ef} \cdot I_{ef} = 3074 \text{ W} \pm 3\%$
- c) $P = \frac{U_p \cdot I_p \cdot t_p + U_b \cdot I_b \cdot t_b}{t_p + t_b} = 2624 \text{ W} \pm 4\%$
- d) $P = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \times I_i}{n} = 2442 \text{ W} \pm 3\%$

Figura 2.11 - Cálculo da potência para o oscilograma da figura 2.5

2.3 - Solução para a medição de grandezas elétricas em processos de soldagem

Pelo que foi expostos no cálculo da potência, pode-se constatar que a utilização de sistemas de medição automatizados, isto é o uso de microcomputadores acoplados a sistemas de aquisição da dados, é o que mais é adequado as necessidades de informações no ambiente da soldagem.

Esses sistemas podem fornecer valores instantâneos, médios e eficazes para a corrente e a tensão, sendo que permitem realizar o produto ponto a ponto da corrente pela tensão para obtenção do valor correto da potência elétrica no arco.

Sistemas de medição computadorizados, podem apresentar o resultado da medição em forma de oscilograma, conforme a figura 2.10. Esses oscilogramas são de grande valor para processos que utilizam corrente pulsada e curto-circuito, e permitem caracterizar melhor o processo de soldagem.

3 - DIRETRIZES DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO PARA GRANDEZAS ELÉTRICAS EM PROCESSOS DE SOLDAGEM

Conforme discutido no capítulo anterior, a necessidade de informações em processos de soldagem sugere algumas vezes, a observação dos oscilogramas de corrente e tensão no arco. Isso ocorre porque os oscilogramas são importantes fontes de informações, como valores médios e eficazes, potência, energia, além de permitirem observar o comportamento das fontes de soldagem.

Nesse caso, fica evidente que a utilização de sistemas de medição computadorizados são mais apropriados, tendo em vista a possibilidade de manipular as variáveis adquiridas.

3.1 – Estrutura de sistemas de medição computadorizados

Entende-se por sistema de medição computadorizado, SM compostos por microcomputadores acoplados a sistemas de aquisição de dados, Fraden[19], que são estruturados por cinco blocos funcionais como mostra a figura 3.1.

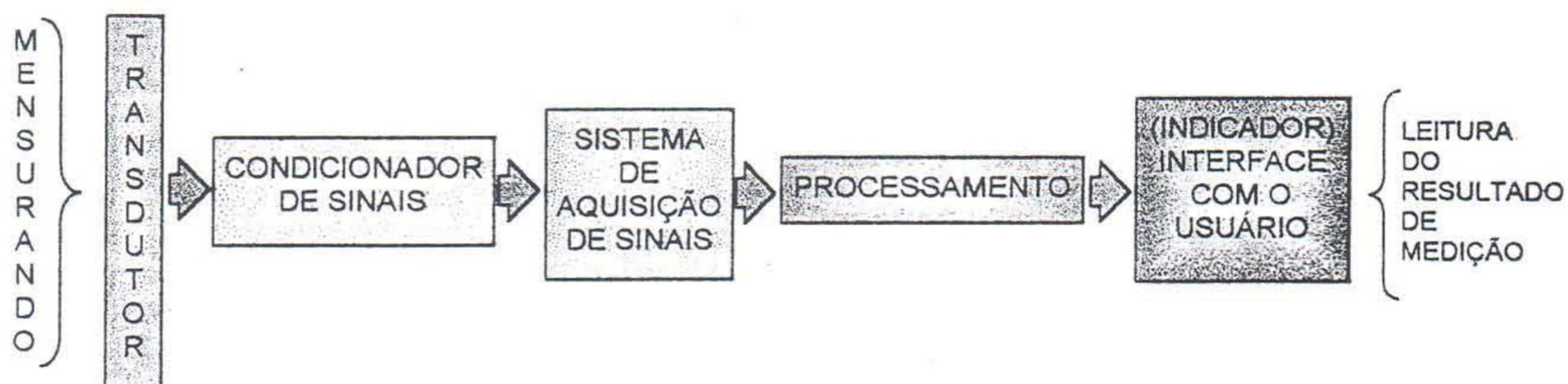


Figura 3.1 - estrutura de sistemas de medição computadorizados

O transdutor é o dispositivo que fornece uma grandeza de saída que tem uma correlação determinada com a grandeza de entrada, sendo o elemento que fica em contato com o mensurando e é afetado diretamente por este.

Como os sinais provenientes do transdutor devem ser adaptados para as entradas do sistema de aquisição de dados, essa função é implementada pelo condicionador de sinais.

O sistema de aquisição de sinais, que é constituído por um circuito de chaveamento e um conversor analógico/digital, converte o sinal para que a unidade de processamento digital trabalhe o dado a fim de gerar a indicação da medição, que será apresentada ao usuário pelo elemento mostrador.

Para maioria dos sistemas de medição desenvolvidos até hoje, essa estrutura é válida, porém é possível caracterizar quatro gerações de instrumentos, analisando-se as transformações ocorridas ao longo do tempo, conforme ilustrado na figura 3.2.

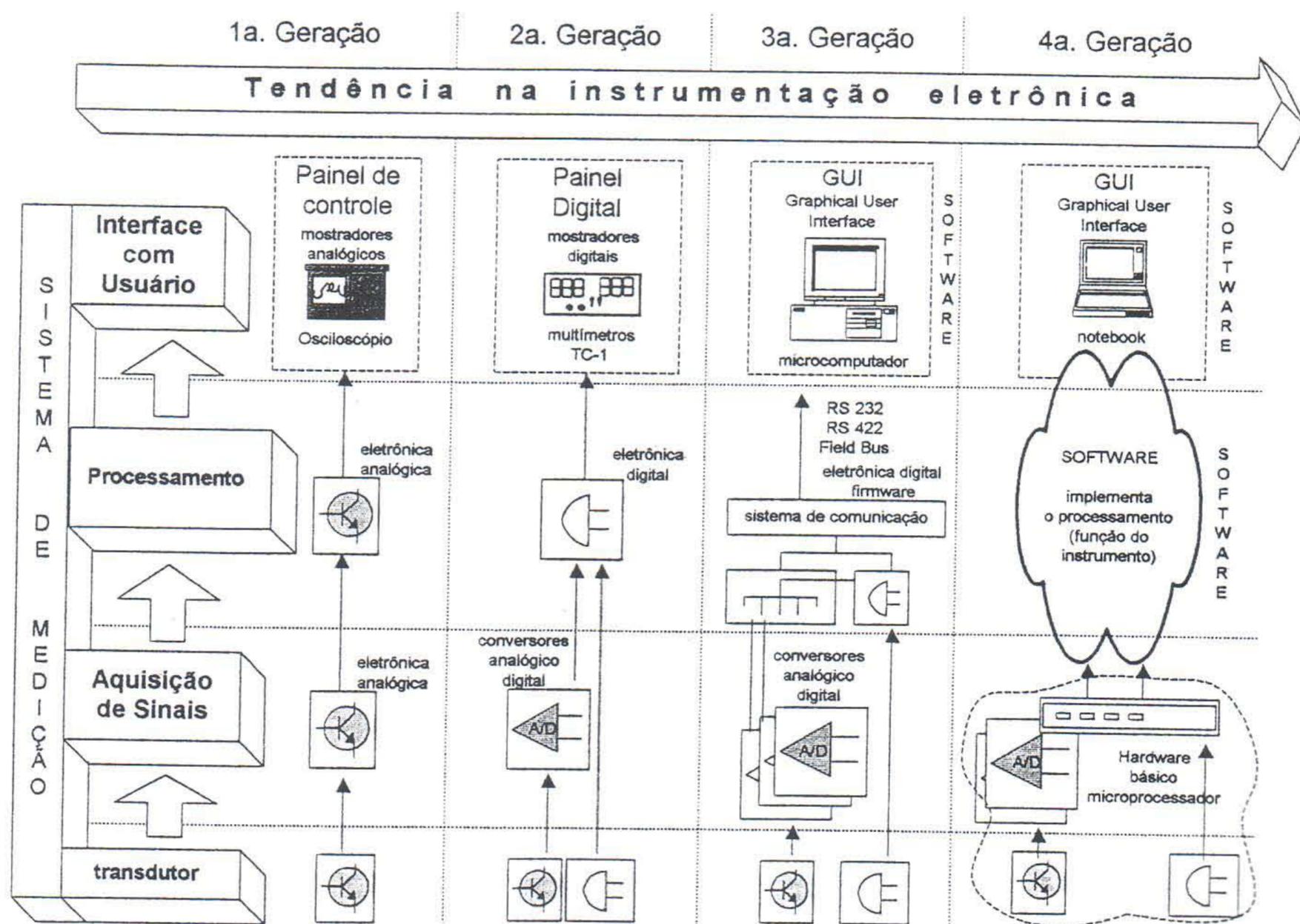


Figura 3.2 – Evolução tecnológica dos sistemas de medição

A primeira geração de instrumentos utiliza a tecnologia da eletrônica analógica. Esses instrumentos possuem funções específicas de medição que são controladas no painel

frontal e as três funções: aquisição de sinais, processamento e interface com o usuário são implementadas por "hardware" o que fixa a função do sistema. Um exemplo típico de instrumentos desta geração são os osciloscópios analógicos.

Com a evolução da eletrônica digital, surgiram os conversores analógico-digitais e com isso, a segunda geração, onde os instrumentos são caracterizados pela utilização dessa tecnologia para a aquisição de sinais. O processamento, neste caso, é realizado por eletrônica digital ou analógica, dependendo do instrumento, porém o principal aspecto desta geração é que as três funções ainda são implementadas por "hardware" fixando assim a função do instrumento.

Na terceira geração surge o microcomputador para implementar a interface com o usuário, e o "software" começa a ser utilizado como uma parte do instrumento, sendo responsável somente pela indicação do resultado da medição. Com a utilização de "software" houve melhorias na interface com o usuário no que diz respeito à facilidade de operação e clareza na indicação do resultado de medição. Essa geração é caracterizada por sistemas de medição que utilizam a arquitetura via protocolo de comunicação, como a integração de amperímetros digitais com o microcomputador via GPIB, ou o sistema integrado de monitoração de estações de soldagem em chão de fábrica, o que será apresentado no próximo capítulo.

A quarta geração está caracterizada pela utilização do "software" no processamento dos dados e na interface com o usuário, ficando a parte da aquisição de dados por conta de um "hardware" básico. Esse modelo é chamado de instrumento virtual [11][47], uma vez que a função do instrumento é implementada pelo "software"; ou seja: é o "software" que define se o valor a ser medido será a média ou o valor eficaz ou ainda uma multiplicação dos sinais, como o valor da potência.

Isso permite uma total flexibilidade para o sistema de medição, pois este pode ser reprogramado para executar uma função diferente, conforme a necessidade do usuário.

Assim, como muitas são as possibilidades de integração de componentes para a concepção de sistemas de medição computadorizados, são propostas aqui diretrizes de projeto para o desenvolvimento de sistemas de medição para grandezas elétricas em processos de soldagem.

3.2 - Diretrizes para captação de sinais de corrente e tensão

No caso da medição da corrente elétrica no arco, recomenda-se a utilização de transdutores galvanicamente isolados baseados no princípio do "efeito Hall".

Essa recomendação é sustentada pelos seguintes argumentos:

- a) Utilizando-se transdutores galvanicamente isolados fica reduzida a possibilidade de um curto-circuito entre a fonte de soldagem e o sistema de medição.
- b) Este tipo de transdutor pode se apresentar na forma de alicate, o que facilita a instalação do mesmo no ponto de medição. Essa característica é muito desejável em SM portáteis que serão utilizados em campo, bem como em ambiente de laboratório onde ocorrem experimentos em que o ponto de medição da corrente ou a configuração do circuito da fonte são alterados.
- c) A incerteza associada a esses sensores é da ordem de 1% sobre o valor nominal de corrente, sendo que apresentam uma boa estabilização térmica e imunidade a ruído, quando comparados com os do tipo "Shunt".

No caso da medição da tensão elétrica no arco, o ponto de medição da tensão deve ser no bico da pistola de soldagem, diminuindo assim a ação de ruídos externos, como mencionado no capítulo 2.

Como é necessário apenas condicionar o sinal de tensão para o nível de entrada do sistema de aquisição de sinais, recomenda-se a utilização de amplificadores isoladores como o circuito integrado ISO122P, que foi apresentado no item 2.2.3

Esta recomendação é sustentada pelo fato da tensão no arco ser da ordem de (-60 a +60) V, sendo somente necessário diminuir o sinal de tensão para acoplá-lo ao sistema de aquisição de dados. Como o circuito adicional não deve interferir no circuito de soldagem, deve-se usar amplificadores isoladores, com alta impedância de entrada.

3.3 - Diretrizes para escolha do sistema de aquisição de sinais

Atualmente existe uma grande variedade de sistemas de aquisição de sinais disponíveis no mercado, sendo que para o desenvolvimento de sistemas de medição computadorizados para processos de soldagem, deve-se adotar algumas premissas para definir qual a arquitetura e o modelo a utilizar.

3.3.1 - Arquiteturas dos sistemas de aquisição de sinais

Pode-se caracterizar a arquitetura através do tipo de conexão com o microcomputador, Stemmer[43], que pode ser distribuído ou centralizado.

No modelo distribuído, a transferência de dados entre o sistema de aquisição e o microcomputador ocorre através de uma rede, como Filed Bus, FIP ou padrões como VXI, GPIB, HP-IB, ou ainda mecanismos de comunicação como RS 232, RS 422, RS485. Nessa arquitetura o sistema de aquisição de dados possui um canal de comunicação com o microcomputador que utiliza portas de comunicação como as portas seriais ou paralelas, ou ainda interfaces que são conectadas no interior dos microcomputadores disponibilizando uma conexão como os elementos da rede.

Como existem fabricantes diferentes de componentes para sistemas distribuídos, o usuário deste sistema pode encontrar problemas de incompatibilidade entre os componentes a integrar, devido a alterações que vão surgindo ao decorrer do tempo.

Um exemplo disto é o caso da integração de sistemas VXI com microcomputadores via GPIB com elementos de diferentes fabricantes

Em 1965, a Hewlett Packard lançou o padrão GPIB, sendo que hoje o tem-se a norma IEE 488.1 denominada HS 488. Assim, é possível deparar-se com situações onde os componentes a integrar possuem versões diferentes do protocolo. Na figura 3.3 apresenta-se a estrutura VXI-GPIB, [40].

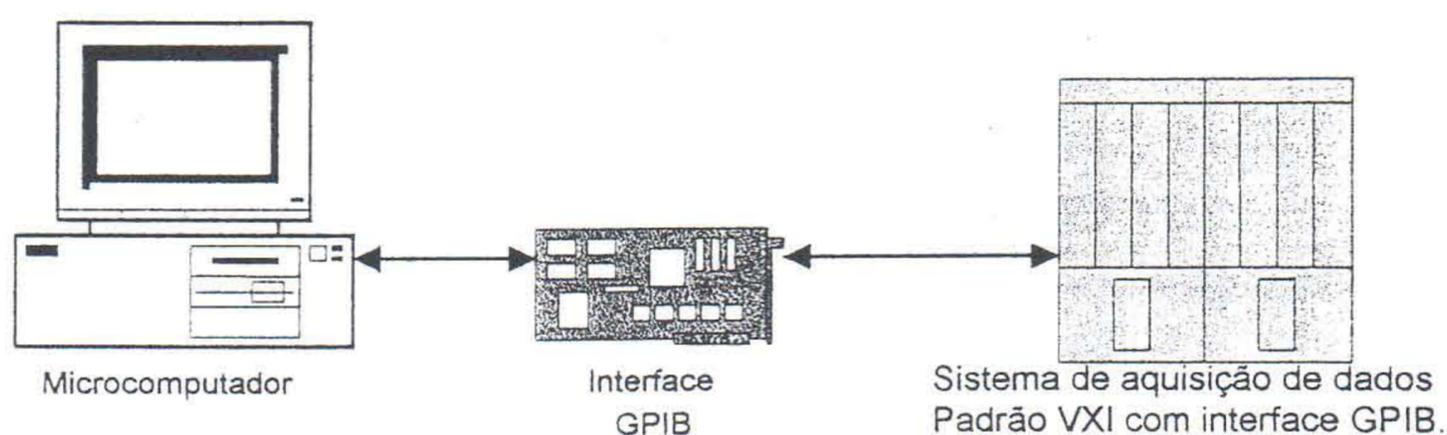


Figura 3.3 - Estrutura VXI-GPIB

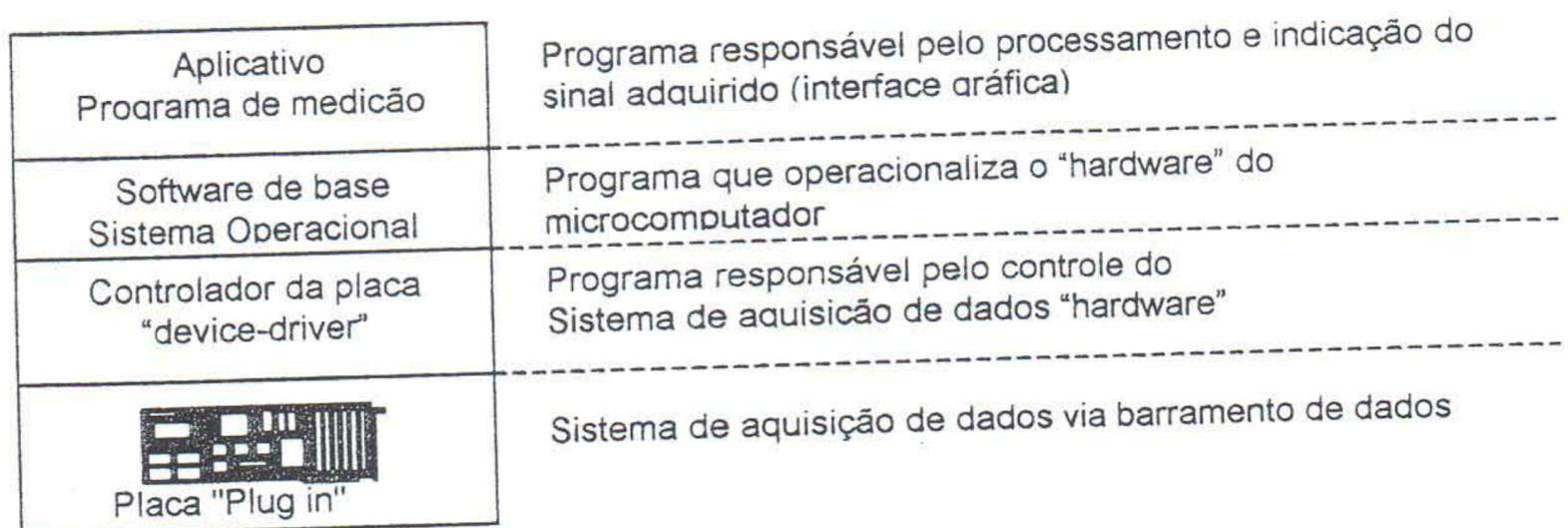
No modelo centralizado o sistema de aquisição de dados está conectado diretamente ao barramento de dados do microcomputador, o que possibilita taxas mais altas de transferência de dados.

Nesse caso tem-se as placas "plug-in" e sistemas do tipo MXI, e cartões PCMCIA.

Outra característica importante é que os principais fabricantes destes sistemas já implementaram a tecnologia "plug-and-play". Isto facilita em muito o processo de instalação do sistema, pois basta conectar a interface no microcomputador que o "software", utilizando as funcionalidades "plug-and-play" configura automaticamente o endereço e as interrupções necessárias para que o sistema funcione.

Diferentes do modelo distribuído, os sistemas centralizados, dificilmente apresentam problemas na integração, devido a sua estrutura em camadas. Esses sistemas possuem rotinas básicas de "software" denominadas "device-drivers" que são responsáveis pela interconexão do "software" com o "hardware".

O "device-driver" é uma rotina que atua sobre o sistema operacional do microcomputador e permite que através de uma interface gráfica, se obtenha o controle do sistema de



aquisição de dados, conforme pode-se observar na figura 3.4

Figura 3.4 – Estrutura de comunicação dos sistemas de aquisição de dados via barramento de dados

Os "devices-drivers" são fornecidos pelos fabricantes da própria placa "plug-in", sendo específicos para cada modelo de sistema operacional. É isso que facilita o processo de instalação e garante um perfeito funcionamento do sistema de aquisição de dados sem maiores complicações.

3.3.2 - Recomendações para a escolha da arquitetura do sistema de aquisição de dados

Quanto à arquitetura do sistema de aquisição de dados, deve-se preferir o modelo centralizado com a utilização de interfaces tipo "plug-in". Isto é justificado pelos seguintes argumentos:

- a) Facilidade de instalação do sistema de aquisição de dados.
- b) Menor custo se comparados com o modelo distribuído e grande disponibilidade de modelos e fabricantes.
- c) Portabilidade do sistema, pois cada modelo de placa "plug-in" vem acompanhada de "device-drivers" para diferentes tipos de sistemas operacionais como DOS, Windows versão 3.11, Windows 95, OS/2 e Unix.
- d) Taxa de aquisição de dados elevada, pois esses sistemas estão conectados diretamente no barramento do microcomputador.

3.3.3 - Recomendações para o número de canais, resolução e taxa de aquisição dos sistema de aquisição de dados

Os sistemas de aquisições de dados, independente da arquitetura, se apresentam em vários modelos, diferenciando-se no número de canais, frequência de aquisição e tipo do conversor A/D.

Para a escolha do modelo adequado, serão consideradas as seguintes características:

- Número de bit do conversor A/D ou D/A

Para processos de soldagem a faixa de medição da corrente é de (0 a 500) A, e para a tensão é de (0 a 60) V. Assim, para um conversor de 12 bit a resolução é de 0,12 A para a corrente e 0,01 V para a tensão.

- Frequência de aquisição

A frequência de aquisição, segundo o teorema de Nyquist, deve possuir o dobro da frequência do sinal a ser medido, porém na prática deve-se adotar mais do que o dobro, [33]. A escolha inadequada da frequência de aquisição pode gerar interpretações enganosas, uma vez que com uma baixa taxa de amostragem do sinal não é possível reconstituir o mesmo, como ilustra a figura 3.5.

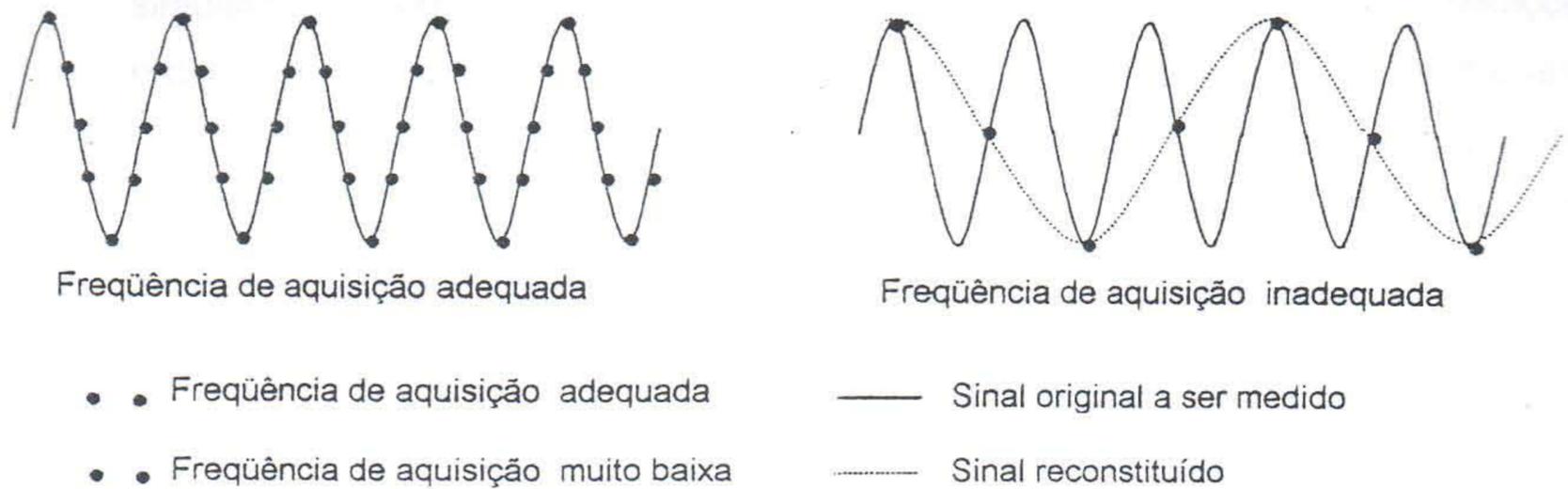


Figura 3.5 - Sinais com diferentes frequências de aquisição

- Número de canais

Se o objetivo é medir a tensão e a corrente no arco, dois canais serão suficientes. Porém cabe ressaltar que existe a necessidade de monitoração de outras grandezas do processo como velocidade do arame, vazão de gás e velocidade de deslocamento da tocha quando trata-se de processo MIG automatizado. O número de canais também irá afetar a frequência de aquisição, uma vez que existe um lapso de tempo para a seleção do canal. Isto ocorre somente para placas que utilizam um único conversor A/D acoplado a um multiplexador.

Assim as recomendações para a escolha do sistema de aquisição de dados, quanto ao modelo são:

- a) A taxa de aquisição de dados por canal deve ser de no mínimo 5 kHz, para a concepção de sistemas de monitoração ou medições dinâmicas das grandezas elétricas no arco.

Isto é sustentado, considerando-se que as frequências relevantes para a soldagem não ultrapassam 1 kHz, e que as frequências dos sistemas de aquisição de dados de baixo custo são da ordem de 50kHz o que atende as necessidades de medição no processo MIG/MAG.

- b) O número de canais deve ser de no mínimo dois, tendo-se em vista a monitoração simultânea de corrente e tensão. Porém, como visto no capítulo dois, medições estáticas são importantes e isto implica muitas vezes na utilização de mais quatro canais para adquirir valores médios e eficazes de corrente e tensão, provenientes de filtros e circuitos eletrônicos implementados no condicionador de sinais. Neste sentido recomenda-se a utilização de sistemas com 8 canais que poderão ser utilizados para a monitoração dos seguintes valores:

| | |
|---------|------------------------------|
| Canal 1 | Tensão instantânea no arco |
| Canal 2 | Corrente instantânea no arco |
| Canal 3 | Tensão média no arco |
| Canal 4 | Tensão eficaz no arco |
| Canal 5 | Corrente média no arco |
| Canal 6 | Corrente eficaz no arco |
| Canal 7 | Velocidade do arame |
| Canal 8 | Vazão do gás de proteção |

Tabela 3.6 - tabela de distribuição dos canais de aquisição de sinais

- c) O tipo de barramento deve ser ISA ou PCI, pois estes modelos possuem custo mais baixo e garantem a compatibilidade com a maioria dos microcomputadores disponíveis no mercado. Em aplicações com microcomputadores portáteis, o barramento padrão é o PCMCIA, e para aplicações com computadores industriais, deve-se adotar barramento VME ou PXI.
- d) A frequência de aquisição é afetada diretamente pelo número de canais, uma vez que a maior parte dos sistemas de aquisição de dados de baixo custo, apresentam um conversor A/D com um multiplexador para se atingir até oito ou mais canais. Se o objetivo for a monitoração de até 8 canais para medições dinâmicas, recomenda-se uma frequência mínima de aquisição de 50kHz para um canal, pois nesse caso pode-se obter uma taxa de 6kHz por canal. Como para o processo de soldagem MIG/MAG as frequências de interesse não ultrapassam 1 kHz, a especificação atende.

4 - CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORAÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS EM PROCESSOS DE SOLDAGEM

Este capítulo apresenta alguns sistemas de medição (SM) que foram desenvolvidos no LABSOLDA no período de 1993 a 1997 e estão de acordo com as recomendações propostas no capítulo anterior.

Estes sistemas estão implementados no LABSOLDA, e o autor deste trabalho participou da equipe de engenheiros que desenvolveu esses projetos.

4.1 - O sistema TC-1

O TC-1 é um instrumento de medição com características específicas para medição de corrente e tensão no arco, sua Faixa de indicação para a tensão é de (0 a 60) V e para corrente (0 a 500) A, dependendo do modelo do transdutor de corrente utilizado. Seu painel contém duas unidades de indicação digital conforme mostra a figura abaixo.

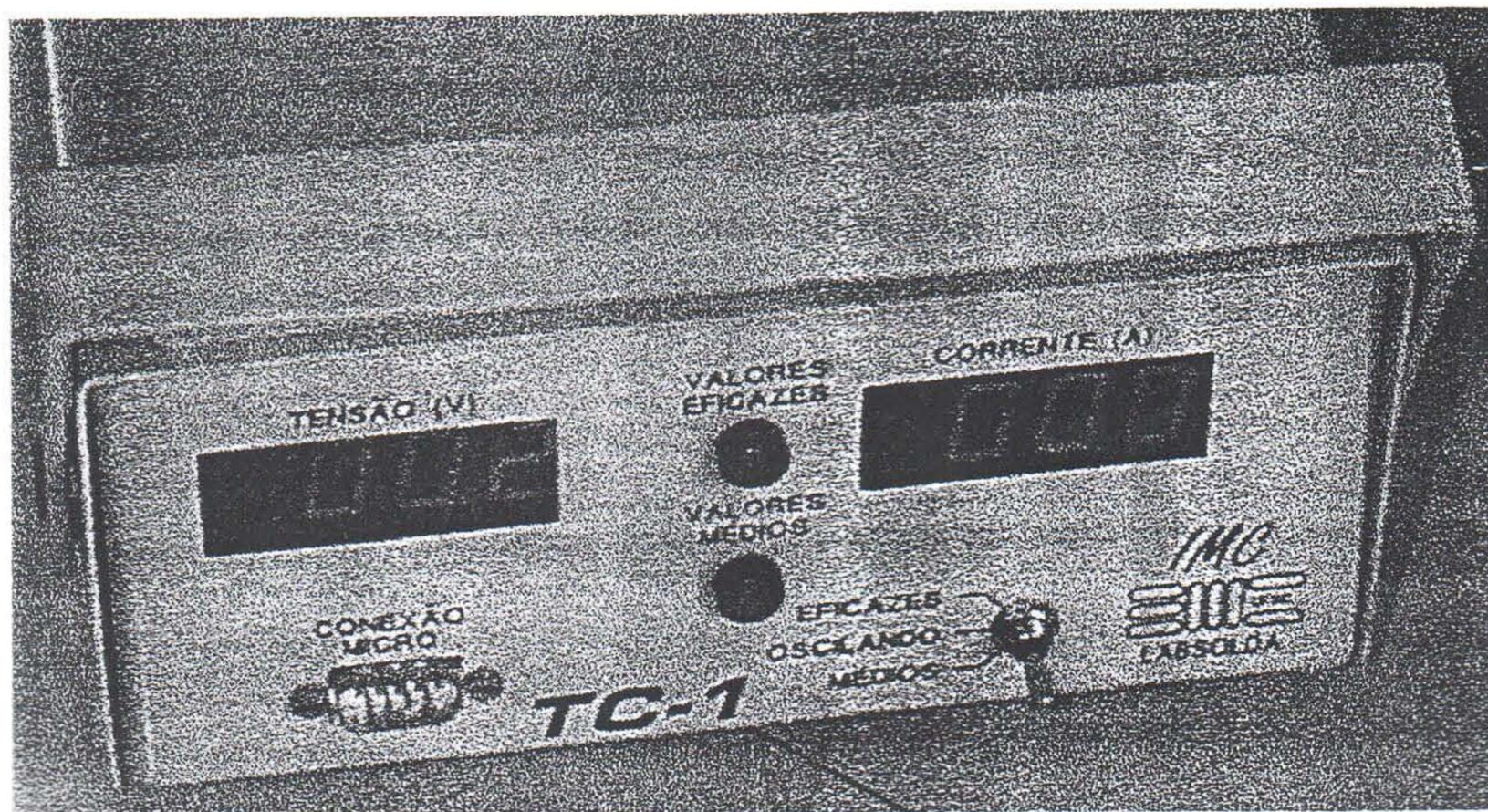


Figura 4.1 - Vista frontal do sistema de medição TC-1

4.1.1 - Arquitetura do sistema:

O TC-1 pode medir valores médios e eficazes, para a tensão e para a corrente, através de filtros implementados no "hardware".

Os valores médios são obtidos por um filtro que utiliza o amplificador operacional LM301 no caso da corrente; e CA3140 para valor médio da tensão. Para a medição do valor eficaz é utilizado o circuito AD536, conhecido como "True rms - to - DC converter", um conversor de valor eficaz (rms) verdadeiro; isto é: que fornece o valor eficaz independente da forma de onda.

A unidade de indicação é composta por três "displays" de sete segmentos que possuem resolução de 1 A para a corrente e 0,1 V para a tensão.

A figura abaixo apresenta o diagrama em blocos do TC-1.

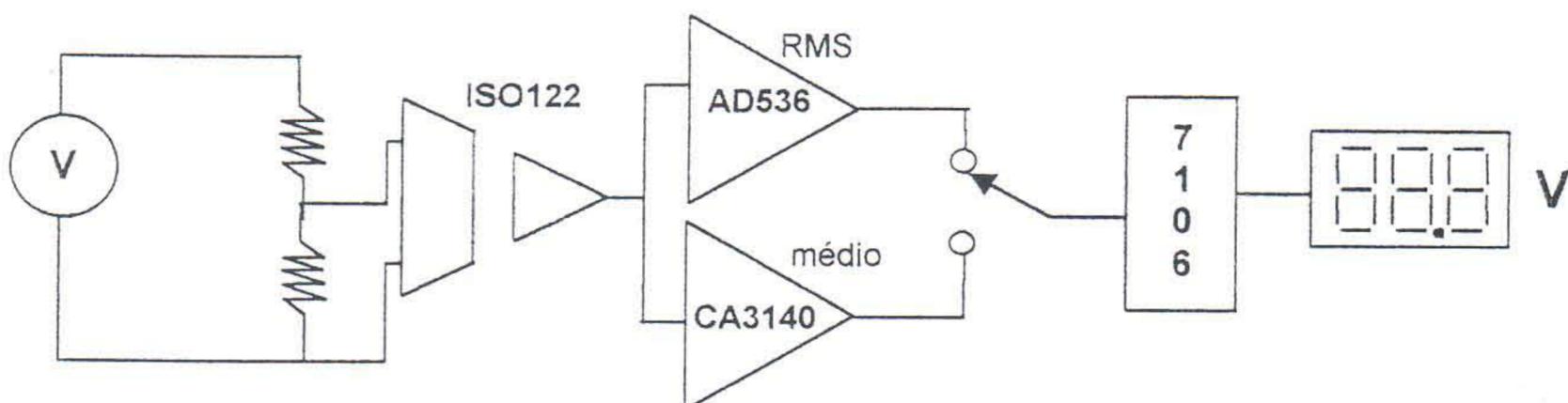


Diagrama em blocos do circuito para medição da tensão

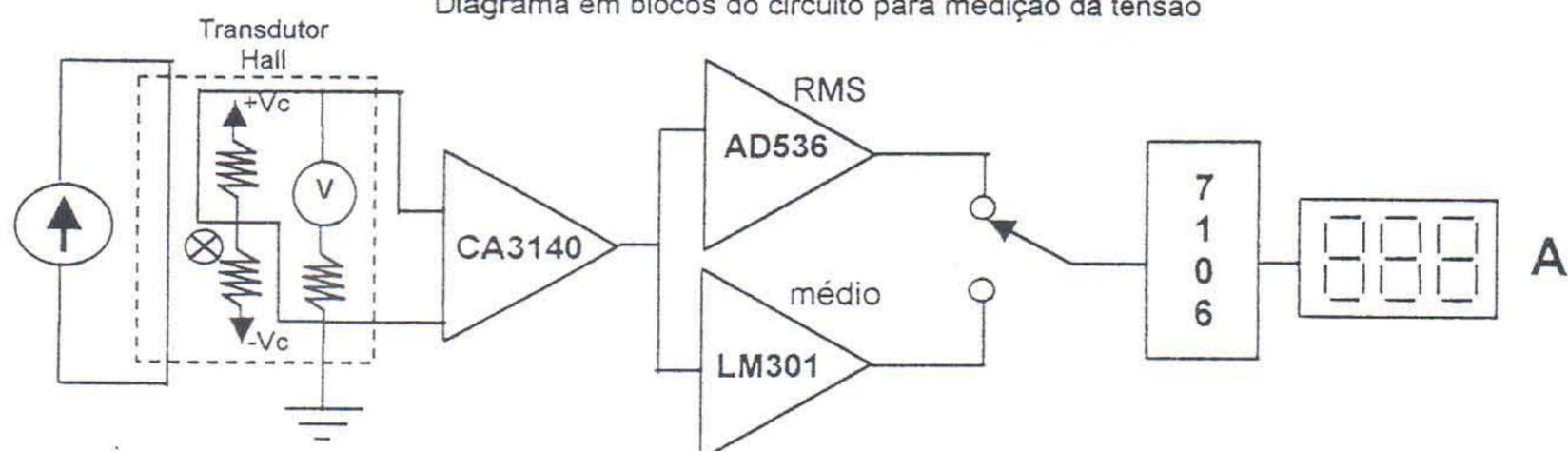


Diagrama em blocos do circuito para medição da corrente

Figura 4.2 - Arquitetura do sistema de medição TC-1

4.1.2 - Características do sistema:

- Faixa de indicação:

capacidade de medição de corrente e tensão na faixa de (3 a 60) V e (5 a 500) A, para valores médios e eficazes.

- Resolução:

1 A para corrente e 0,1 V para tensão.

- Erro máximo:

O sistema apresenta uma incerteza de 1% para corrente e 0,6% para tensão.

4.1.3 - Características operacionais:

O TC-1 é capaz de medir valores médios e eficazes para corrente e tensão, sendo que possui uma saída em nível DC que fornece uma tensão de (0 a 10) V, proporcional aos valores de corrente e tensão, o que permite acoplar o instrumento ao sistema de aquisição de dados INTERDATA.

4.2 – O sistema integrado INTERDATA – TC-1

O sistema INTERDATA-TC-1 é o resultado do acoplamento do TC-1 com um sistema de aquisição de sinais tipo "plug-in", denominado INTERDATA, que também foi desenvolvido no LABSOLDA.

4.2.1 - Arquitetura do sistema:

O sistema de medição Interdata-TC-1 consiste em quatro blocos funcionais:

Interface com o usuário, sistema de aquisição de dados, condicionador de sinais e transdutores.

A interface com o usuário é implementada através de um microcomputador compatível com a linha PC que possui barramento ISA. Essa característica é essencial para permitir a utilização da placa INTERDATA. Essa placa 'plug-in' é conectada no interior do computador, sendo responsável pela aquisição dos sinais provenientes do módulo condicionador que, através de circuitos eletrônicos, recebe os sinais provenientes dos sensores de corrente e tensão e os adapta para o nível de tensão dos canais de

entradas analógicas da placa INTERDATA. Esta função de condicionamento de sinais é realizada pelo TC-1, conforme mostra figura 4.3.

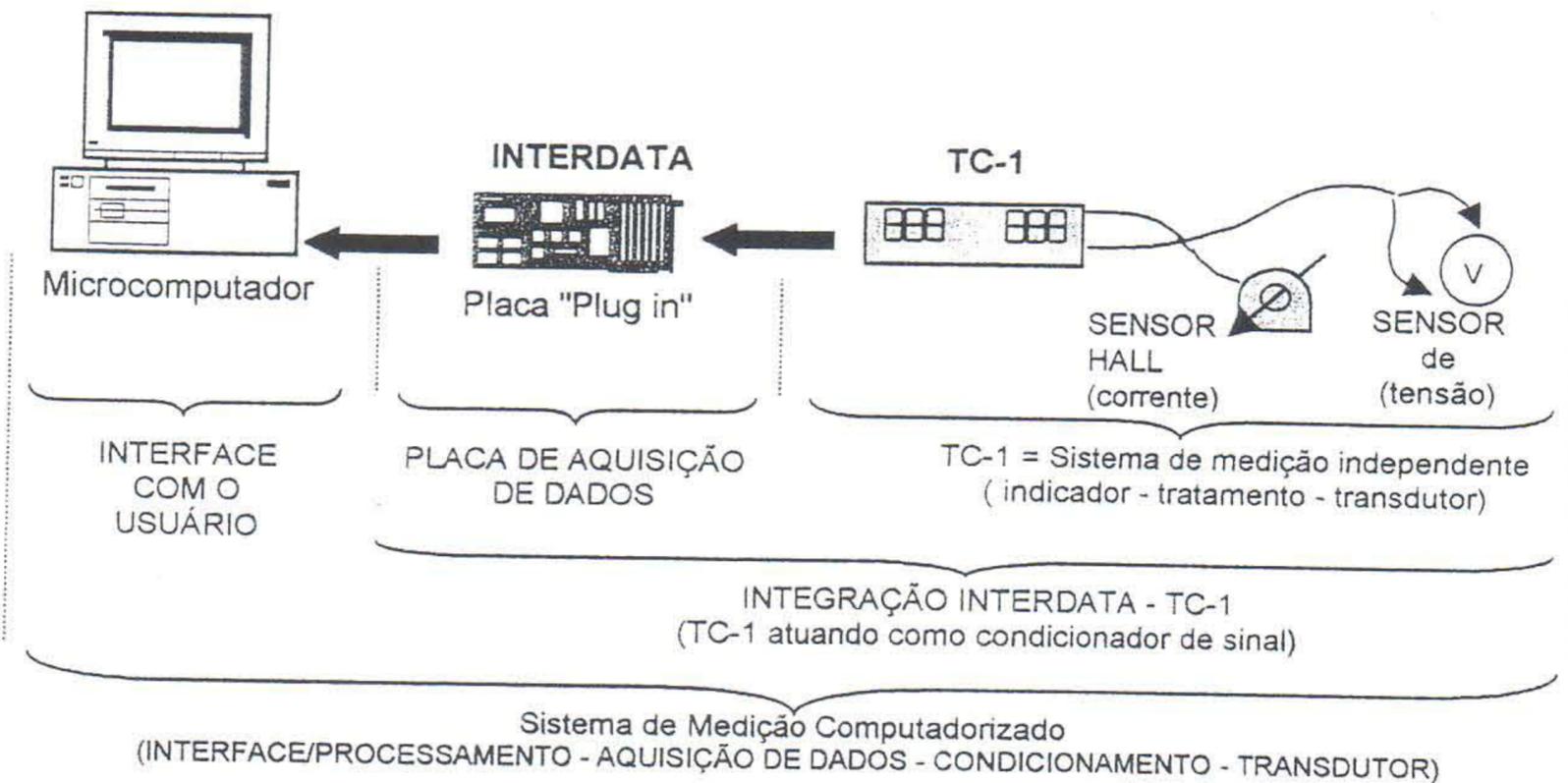


Figura 4.3 - Esquema de integração Interdata - TC-1

4.2.2 - Características do sistema:

- Faixa de indicação:

capacidade de medição de corrente e tensão na faixa de (3 a 60) V e (5 a 500) A, para valores médios, eficazes e instantâneos.

- Resolução:

possibilidade de funcionamento sem o microcomputador, pois o TC-1 funciona como instrumento isolado, fornecendo valores médios e eficazes para a corrente e tensão, com resolução de 1 A para corrente e 0,1 V para tensão.

- Frequência máxima de aquisição de 50 kHz.

- Erro máximo:

O sistema apresenta uma incerteza de 1% para corrente e de 0,6% para tensão.

4.2.3 - Características operacionais:

- Flexibilidade na medição através de funcionalidades implementadas por "software" como visualização de valores instantâneos na forma de oscilogramas.
- Como a interface com o usuário é implementada sobre o microcomputador, existe a possibilidade de se direcionar a visualização sobre uma parte da faixa de medição, ou ainda implementar funcionalidades específicas para medição. Por exemplo, uma sinalização quando a corrente exceder um valor. Esta flexibilidade permite utilizar este sistema de medição para se atingir objetivos específicos como a análise da transferência metálica, pois é possível gerar oscilogramas de tensão e corrente, ou arquivos de dados compatíveis com "softwares" para análise estatística como STATGRAPHICS ou planilhas eletrônicas como EXCEL.
- Outra função relevante é a capacidade de controle. A placa INTERDATA possui saídas digitais e analógicas, podendo assim enviar sinais de controle para o equipamento de soldagem.

4.3 – “Software” para monitoração de processos de soldagem

A integração INTERDATA-TC-1 representa uma plataforma de medição, por isto foram desenvolvidos vários programas, seguindo as diretrizes de projeto de “software” descritas no capítulo anterior. Esses programas implementam funcionalidades distintas que se complementam formando uma excelente ferramenta para pesquisa em processos de soldagem a arco.

Todos os sistemas apresentados a seguir, funcionam sobre a mesma plataforma INTERDATA – TC-1, mostrando que as diretrizes mencionadas no capítulo anterior são válidas.

4.3.1 – Sistema de Monitoração de Grandezas de Soldagem - SMGSOLD

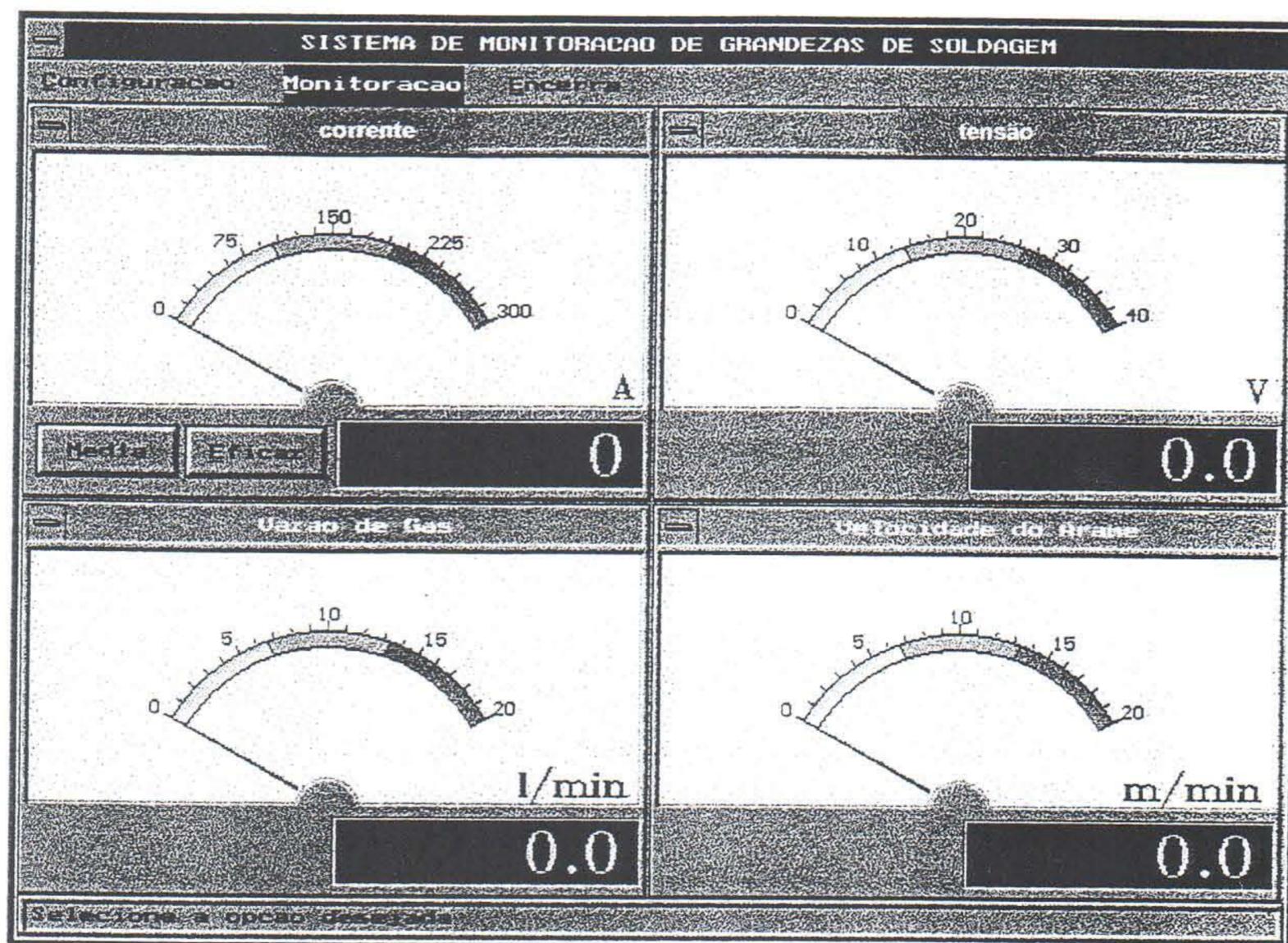


FIG 4.4 - Tela principal do programa SMGSOLD

Esse "software" é destinado à monitoração em tempo real de processos de soldagem. Apesar de ter sido projetado para o processo de soldagem MIG/MAG, pode também ser utilizado com o processo TIG, plasma ou eletrodo revestido. Através desse sistema é possível monitorar tensão e corrente média e eficaz por meio de um mostrador analógico (ponteiro com escala simulado pelo "software") e um mostrador digital. Com o mostrador analógico, é possível estabelecer faixas, como as indicadas na cor amarela, verde e vermelha, que transmitirem ao operador da fonte a noção de operação normal, quando as variáveis estão na faixa verde da escala. O sistema pode monitorar quatro grandezas simultaneamente sendo que para o processo MIG/MAG são elas, corrente e tensão no arco, velocidade de arame e vazão do gás de proteção.

4.3.2 - Oscilógrafo de sinais elétricos de soldagem - OSCILOS

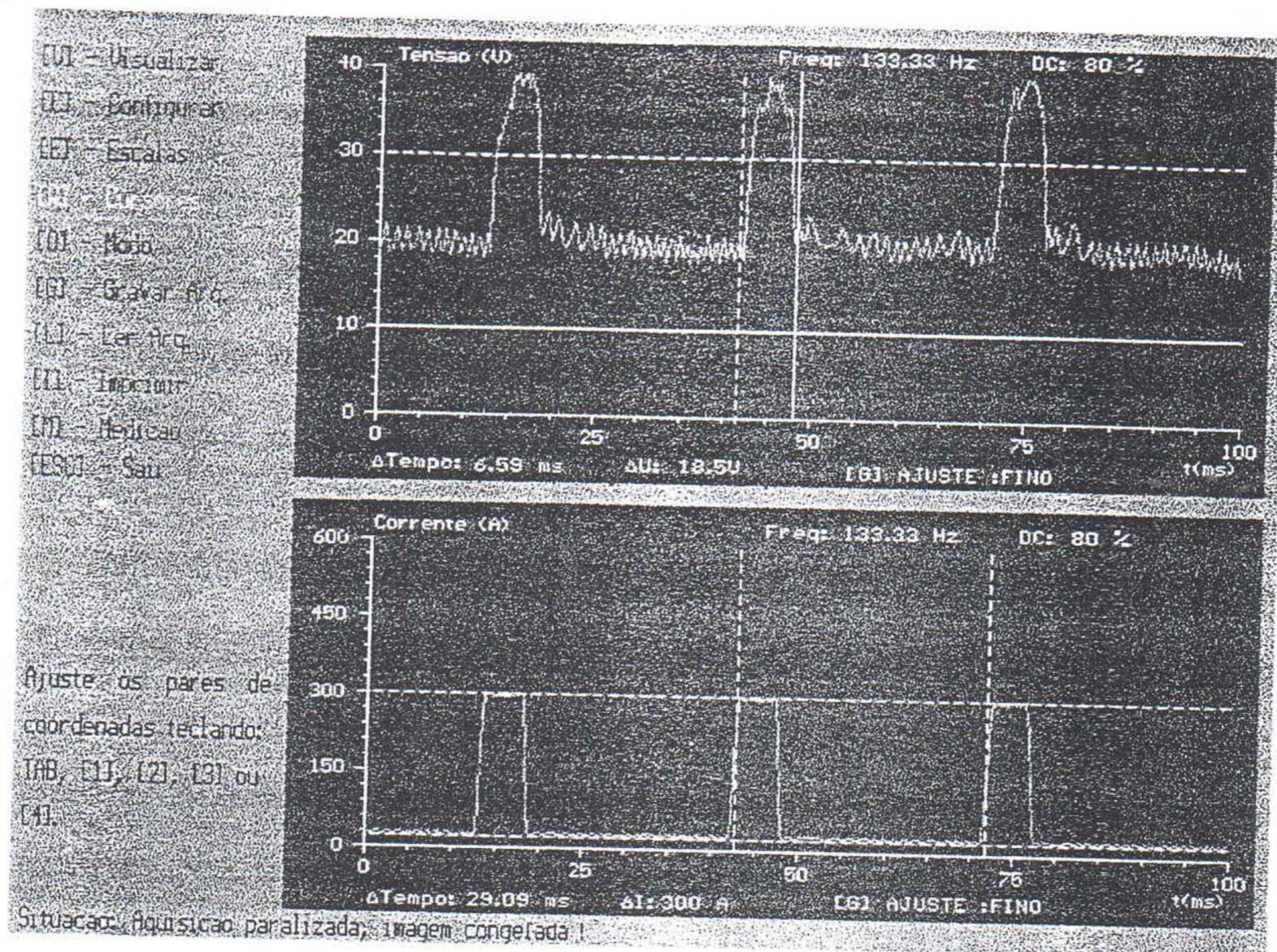


Fig 4.5 - Tela principal do programa OSCILOS

Esse "software" é destinado à aquisição de dados para o traçado de oscilogramas, o que permite uma análise dinâmica da transferência metálica. Projetado para análise dos oscilogramas em tempo real, o "software" implementa cursores que realizam medições sobre os oscilogramas como, tempos de pico e tempos de base, corrente de pico e corrente de base. Essas medições são relevantes na utilização do processo MIG/MAG com corrente pulsada, como mencionado no capítulo 2. Este programa transforma o sistema de medição INTERDATA/TC-1 em um osciloscópio, com funcionalidades específicas para processos de soldagem.

4.3.3 - Analisador de processo MIG/MAG - MIGMAG

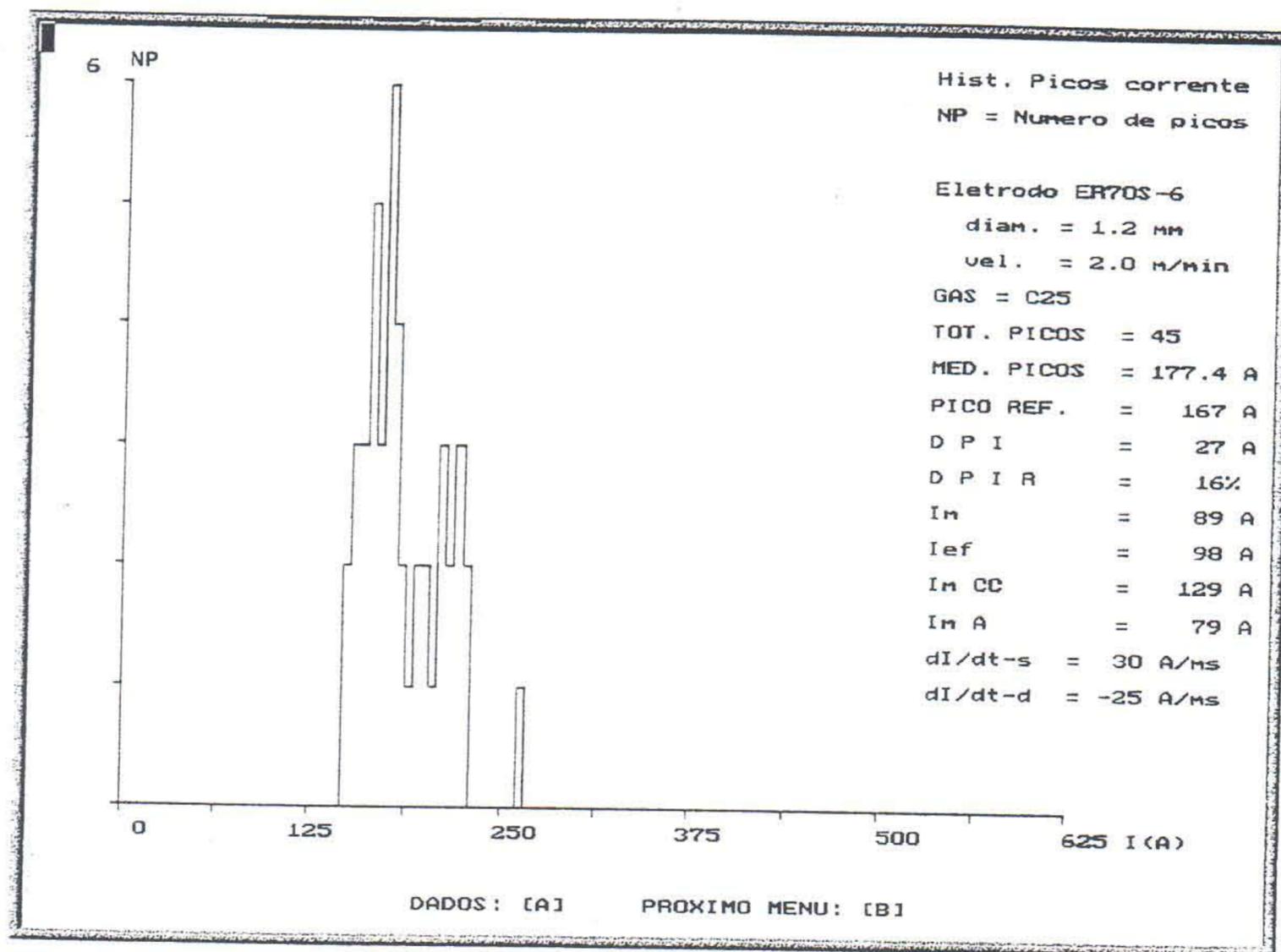


Figura 4.6 - Histograma da corrente

O MIGMAG, como o próprio nome diz, é um "software" destinado à análise da transferência metálica do processo MIG/MAG. Através da aquisição dos sinais de corrente e tensão realizados em alta frequência, o programa aplica algoritmos de análise estatística sobre esses dados, gerando informações a respeito da estabilidade do processo de soldagem. Como mostra a figura 4.6, além de traçar o histograma, o programa indica os valores de pico da corrente com respectivos desvios, corrente média e eficaz, número de picos e a taxa de subida e descida da corrente no momento do curto.

4.3.4 - Analisador de dados de soldagem com comando em tensão - DATSOLTE

The screenshot shows the main window of the DATSOLTE software. The title bar reads 'Datsolte'. The menu bar includes 'Ensaio', 'Editar', 'Procurar', 'Opções', 'Janelas', and 'Ajuda'. Below the menu bar is a toolbar with various icons for file operations and analysis. The main area displays a table titled 'DATSOLTE - Relatório de Análise de ensaio(s) do MIGMAG' with the location 'Local dos ensaios: H:\HELIO\DATSOLTE'. The table lists several test files and their corresponding parameters. At the bottom, there is a status bar showing the time '17:45:44' and the text 'NUM SCRL'.

| Ensaio | | Tmt | MdPt | MoPt | DPmt | Im | lpm | DIpm | Ipmd | Ipmo | dIdtS | Is | dIdtD | Ld | Um | U |
|------------|-------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|---|
| c55201.dad | 529 0 | 17.8 | 17.9 | 19.5 | 4.6 | 199 | 260 | 18.8 | 261 | 262 | 31.2 | 0.493 | -7.8 | 0.003 | 19.3 | 2 |
| c55221.dad | 243 0 | 40.5 | 41.7 | 40.8 | 8.1 | 211 | 311 | 21.4 | 310 | 303 | 35.1 | 0.497 | -4.0 | 0.011 | 21.7 | 2 |
| c55231.dad | 184 0 | 52.1 | 56.6 | 57.0 | 20.5 | 205 | 323 | 45.5 | 327 | 299 | 34.9 | 0.487 | -3.3 | 0.001 | 22.4 | 2 |
| c55241.dad | 156 0 | 58.5 | 76.9 | 83.7 | 33.5 | 213 | 338 | 59.0 | 362 | 371 | 35.2 | 0.470 | -3.4 | 0.026 | 22.5 | 3 |
| c56211.dad | 495 0 | 15.2 | 11.7 | 10.9 | 7.4 | 228 | 270 | 24.7 | 273 | 280 | 23.3 | 0.561 | -6.2 | 0.002 | 19.1 | 2 |
| c56221.dad | 360 0 | 20.4 | 16.3 | 9.4 | 11.7 | 234 | 282 | 24.0 | 284 | 283 | 24.9 | 0.619 | -5.0 | 0.003 | 20.0 | 2 |
| c56231.dad | 213 0 | 45.4 | 50.5 | 48.3 | 18.0 | 230 | 315 | 39.1 | 324 | 322 | 26.7 | 0.598 | -2.9 | 0.003 | 23.4 | 2 |

Unidades:

17:45:44 NUM SCRL

Figura 4.7 - Tela principal do programa DATSOLTE

Destinado à automatização da qualificação do procedimento de soldagem, este "software" permite analisar os dados de vários ensaios realizados, relacionando as informações provenientes da aquisição realizada através do programa OSCILOS e MIG/MAG. É destinado ao uso do processo MIG/MAG com comando em tensão, onde o critério de estabilidade do processo é analisado pelo tratamento estatístico dos picos de corrente no momento do curto-circuito.

4.4 - Sistema de monitoração de estações de soldagem

Em ambiente industrial o processo de soldagem é, na maioria das vezes, realizado de maneira automática pela utilização de robôs, não existindo assim a presença do soldador que, de certa forma, controla o processo visualmente.

4.3.4 - Analisador de dados de soldagem com comando em tensão - DATSOLTE

The screenshot shows the main window of the DATSOLTE software. The title bar reads 'Datsolte'. The menu bar includes 'Ensaio', 'Editar', 'Procurar', 'Opções', 'Janelas', and 'Ajuda'. Below the menu bar is a toolbar with various icons for file operations and analysis. The main area displays a table titled 'DATSOLTE - Relatório de Análise de ensaio(s) do MIGMAG' with the location 'Local dos ensaios: H:\HELIO\DATSOLTE'. The table lists several test files and their corresponding parameters. At the bottom, there is a status bar showing the time '17:45:44' and the text 'NUM SCRL'.

| Ensaio | | Tmt | MdPt | MoPt | DPmt | Im | lpm | DIpm | Ipmd | Ipmo | dIdtS | Is | dIdtD | Ld | Um | U |
|------------|-------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|---|
| c55201.dad | 529 0 | 17.8 | 17.9 | 19.5 | 4.6 | 199 | 260 | 18.8 | 261 | 262 | 31.2 | 0.493 | -7.8 | 0.003 | 19.3 | 2 |
| c55221.dad | 243 0 | 40.5 | 41.7 | 40.8 | 8.1 | 211 | 311 | 21.4 | 310 | 303 | 35.1 | 0.497 | -4.0 | 0.011 | 21.7 | 2 |
| c55231.dad | 184 0 | 52.1 | 56.6 | 57.0 | 20.5 | 205 | 323 | 45.5 | 327 | 299 | 34.9 | 0.487 | -3.3 | 0.001 | 22.4 | 2 |
| c55241.dad | 156 0 | 58.5 | 76.9 | 83.7 | 33.5 | 213 | 338 | 59.0 | 362 | 371 | 35.2 | 0.470 | -3.4 | 0.026 | 22.5 | 3 |
| c56211.dad | 495 0 | 15.2 | 11.7 | 10.9 | 7.4 | 228 | 270 | 24.7 | 273 | 280 | 23.3 | 0.561 | -6.2 | 0.002 | 19.1 | 2 |
| c56221.dad | 360 0 | 20.4 | 16.3 | 9.4 | 11.7 | 234 | 282 | 24.0 | 284 | 283 | 24.9 | 0.619 | -5.0 | 0.003 | 20.0 | 2 |
| c56231.dad | 213 0 | 45.4 | 50.5 | 48.3 | 18.0 | 230 | 315 | 39.1 | 324 | 322 | 26.7 | 0.598 | -2.9 | 0.003 | 23.4 | 2 |

Unidades:

Figura 4.7 - Tela principal do programa DATSOLTE

Destinado à automatização da qualificação do procedimento de soldagem, este "software" permite analisar os dados de vários ensaios realizados, relacionando as informações provenientes da aquisição realizada através do programa OSCILOS e MIG/MAG. É destinado ao uso do processo MIG/MAG com comando em tensão, onde o critério de estabilidade do processo é analisado pelo tratamento estatístico dos picos de corrente no momento do curto-circuito.

4.4 - Sistema de monitoração de estações de soldagem

Em ambiente industrial o processo de soldagem é, na maioria das vezes, realizado de maneira automática pela utilização de robôs, não existindo assim a presença do soldador que, de certa forma, controla o processo visualmente.

O que ocorre nas estações de soldagem automatizadas em chão-de-fábrica é que é feito um ajuste das variáveis de soldagem somente no início de operação da linha de produção.

Assim, nesse ambiente, existe a necessidade de informação sobre a manutenção das variáveis de soldagem ao longo do ciclo de produção.

Geralmente, esse acompanhamento é feito através de operadores que coletam informações provenientes dos painéis das fontes de soldagem, e anotam os dados em planilhas que permitem realizar um controle estatístico do processo (CEP).

Partindo-se da utilização da arquitetura INTERDATA-TC1, foi possível estruturar um sistema capaz de monitorar até quatro estações de soldagem em chão-de-fábrica. Esse sistema permite a monitoração de forma eficaz da corrente, tensão, vazão de gás e velocidade do arame através de um único microcomputador.

4.4.1 - Arquitetura do sistema:

O sistema integra quatro unidades TC-1, MVG-1 (instrumento para medição da vazão do gás de proteção), e MVA-1 (instrumento para medição da velocidade de arame) com um microcomputador através de duas placas INTERDATA e um canal de comunicação serial. Para cada estação de soldagem são alocados os seguintes instrumentos: um TC-1, um MVG-1 e um MVA-1.

O MVG-1 e o MVA-1 também foram desenvolvidos no LABSOLDA, esses instrumentos atuam como condicionadores de sinais entre os sensores de corrente, tensão, velocidade de arame e vazão de gás e o sistema de aquisição de dados INTERDATA.

Com a utilização de duas placas de aquisição e controle de dados INTERDATA, conectadas em um microcomputador Pentium, foi possível integrar quatro unidades TC-1 e quatro unidades MVA-1, ficando quatro unidades do MVG-1 conectadas através de um canal serial, (figura 4.8).

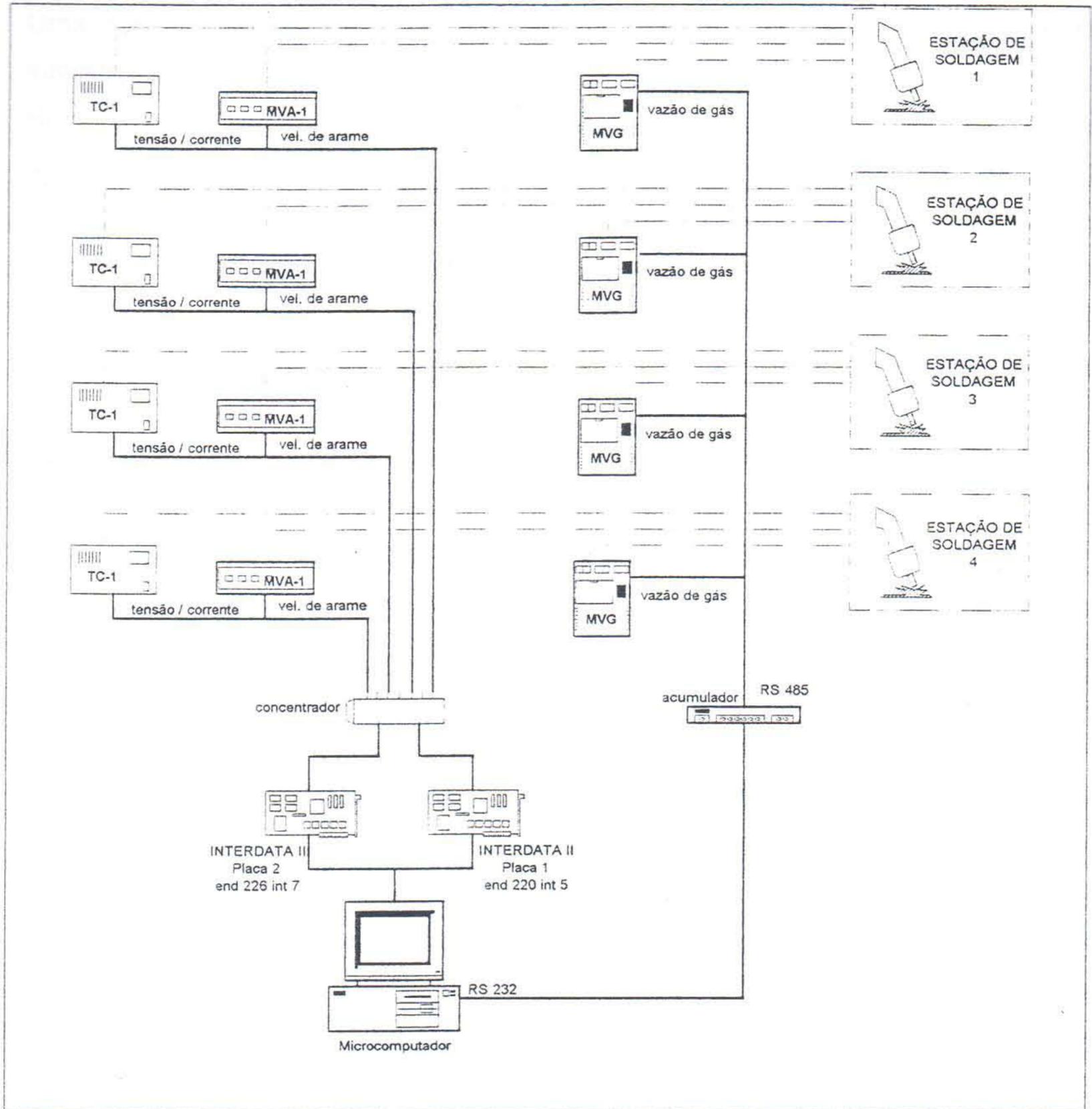


Figura 4.8 - Diagrama do Sistema Integrado de Monitoração de Estações de Soldagem

Na integração dos quatro instrumentos TC-1, foi necessária a utilização de 6 canais de entrada analógica da placa INTERDATA por instrumento, sendo eles: sinal de corrente instantânea, corrente média, corrente eficaz, tensão instantânea, tensão eficaz e tensão média.

Para integrar os quatro medidores de velocidade de arame (MVA-1) utilizou-se um canal de entrada analógica por instrumento, o que totaliza 7 canais de entradas analógicas por estação.

Uma consideração especial se faz necessária quanto à metodologia usada para a integração do medidor de vazão de gás MVG-1.

Seguindo a tendência do mercado, de dotar os sensores e atuadores de inteligência, foi desenvolvido um medidor de vazão de gás (MVG-1) microprocessado. Esse medidor é composto por uma turbina (sensor) e um microcontrolador 8031 que é responsável pela conversão do sinal do sensor em vazão na unidade de l/min.

O MVG-1 foi desenvolvido utilizando-se tecnologia digital, diferente dos instrumentos TC-1 e MVA-1, que apesar de possuírem mostradores digitais para leitura das grandezas medidas, são instrumentos analógicos.

Na integração do medidor de vazão de gás com o microcomputador, optou-se pela utilização de comunicação serial, pois o MVG-1 usa um microcontrolador 8031 como unidade de processamento. Assim, foi desenvolvido um barramento utilizando-se o padrão de comunicação serial RS-485, tendo em vista sua característica de multiponto, o que permite a interligação de vários medidores no mesmo barramento (até 32). A tecnologia utilizada para implementação do protocolo de comunicação dos medidores com o microcomputador foi baseada no modelo produtor-consumidor.

No barramento serial desenvolvido, existe um árbitro de barramento que além de gerenciar o barramento, atua como unidade de armazenamento do consumo de gás, isto é: a vazão é medida ao longo do tempo e fica armazenada em um acumulador.

O sistema desenvolvido permite a monitoração efetiva da corrente, tensão, vazão de gás e velocidade do arame através da tela do microcomputador. Para isto desenvolveu-se um "software", reutilizando-se os módulos do programa SMGSOLD conforme as recomendações sugeridas no capítulo anterior.

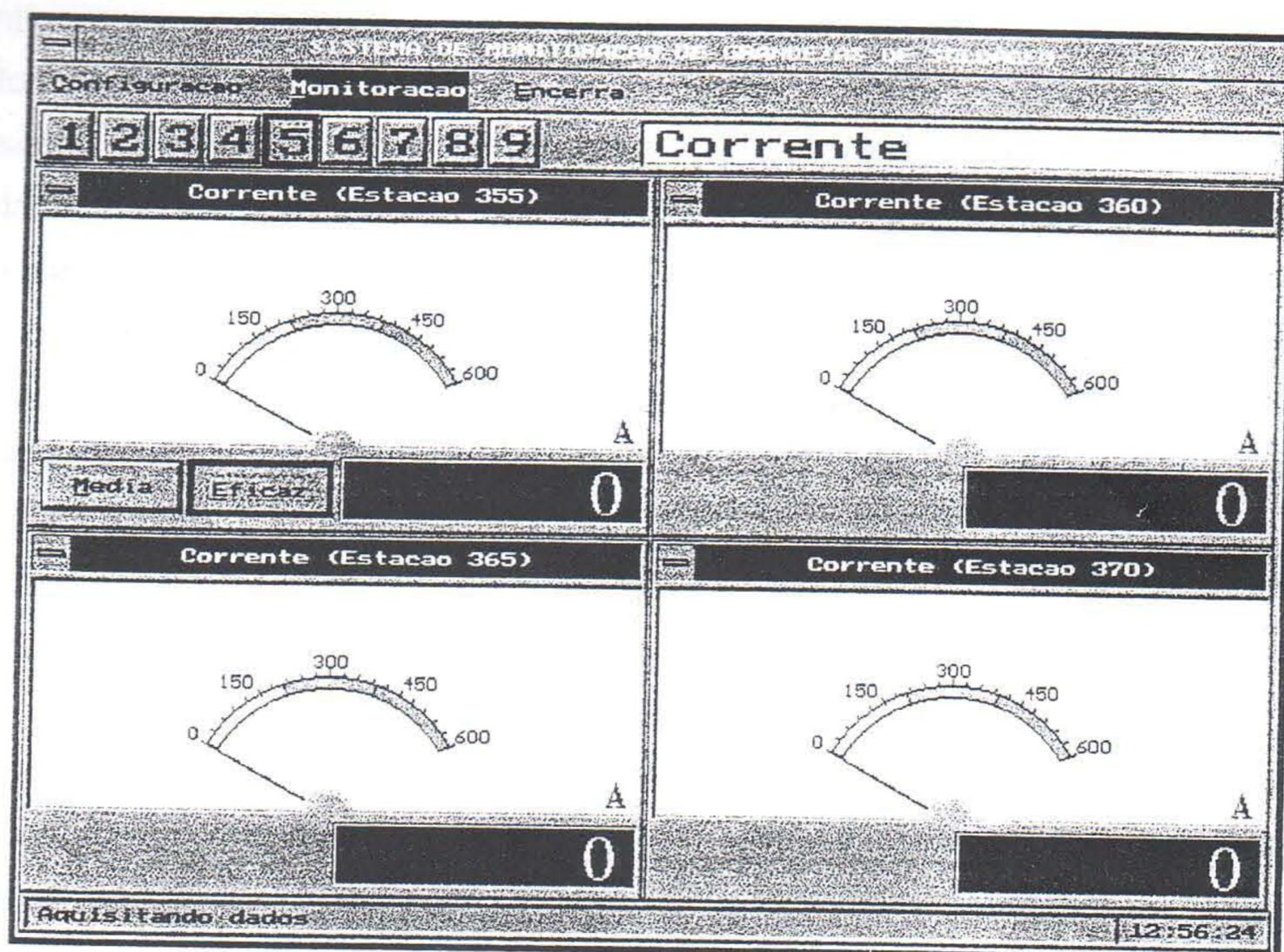


Fig 4.9 – Tela principal do SMGPLUS - sistema integrado de monitoração de estações de soldagem

4.4.2 - Características do sistema:

- Faixa de indicação:
capacidade de medição de corrente e tensão na faixa de (3 a 60) V e (5 a 500)A, para valores médios, eficazes e instantâneos.
- Resolução: 1 A para corrente e 0,1 V para tensão.
- Erro máximo: 1% para corrente e de 0,1% para tensão.

4.4.3 - Características operacionais:

- Monitoração das quatro grandezas por estação:
através da tela do microcomputador é possível visualizar as quatro grandezas, corrente (media ou eficaz), tensão (media ou eficaz), velocidade de arame e vazão do gás.
A leitura das grandezas é facilitada pela interface gráfica que implementa uma escala

contínua e um mostrador digital para cada grandeza.

- Monitoração comparativa:

O sistema permite comparar as grandezas de quatro estações, lendo simultaneamente cada sinal. Por exemplo, é possível monitorar a corrente nas quatro estações simultaneamente, (figura 4.9).

Isto é uma característica importante para o chão de fábrica, pois se as quatro estações pertencerem a mesma linha de produção, a simples leitura comparativa pode expressar uma anomalia em uma das estações.

- Oscilograma com o comportamento da corrente ao longo do dia:

É possível visualizar em um gráfico o comportamento da corrente média nas quatro estações ao longo de 24 horas, essa função comporta-se como uma carta do sistema CEP (Controle Estatístico do Processo). Com esse oscilograma pode-se detectar tendências no comportamento da corrente, permitindo uma ação corretiva no ajuste da estação antes de serem produzidas peças com defeitos. O registro desses pontos é feito através de um arquivo de dados gerados automaticamente, que pode ser transportado para outros programas, como por exemplo planilhas eletrônicas.

- Oscilograma de corrente e tensão (valores instantâneos):

Possibilita visualização dos valores instantâneos da corrente e tensão no arco, através do oscilograma de tensão e corrente, para uma estação de soldagem de cada vez, podendo-se selecionar a estação desejada. Isto permite analisar o tipo de transferência metálica que está ocorrendo, com uma frequência de aquisição de 20 kHz por canal.

No desenvolvimento deste sistema adotou-se as diretrizes de projeto mencionadas no capítulo anterior, isto é, a plataforma de desenvolvimento utilizada para a construção do "software" foi um compilador Borland C++ para ambiente Windows rodando sobre um microcomputador Pentium com duas placas de aquisição de dados INTERDATA.

A metodologia de desenvolvimento do "software" foi programação orientada a objeto, o que permite uma reutilização do código gerado e uma fácil manutenção.

4.5 - Plataforma portátil de monitoração de grandezas de soldagem.

Como a soldagem a arco é bastante utilizada em procedimentos de manutenção, existe a necessidade de sistemas de medição portáteis para utilização em campo. Neste sentido foi desenvolvida no LABSOLDA uma plataforma portátil de monitoração de grandezas de soldagem.

Usando a mesma metodologia dos sistemas anteriores, foi feita a integração dos instrumentos TC-1 MVG-1, MVA-1 com o sistema de aquisição de dados (INTERDATA) instalado em um computador portátil (notebook).

Para dar ao sistema a característica de portabilidade, foi necessário projetar uma plataforma de monitoração para abrigar os circuitos condicionadores de sinais.

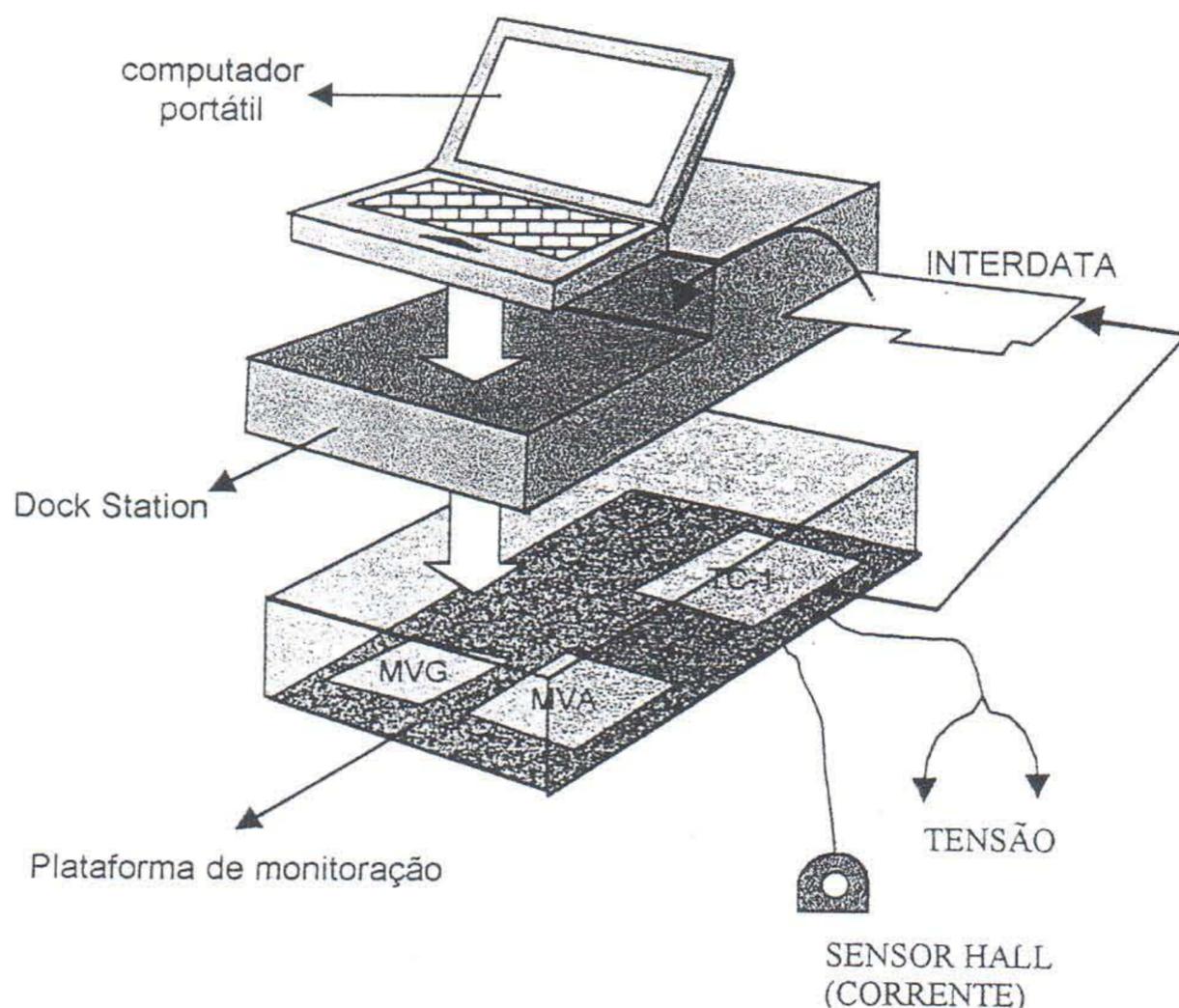


Figura 4.10 - Esquema do sistema portátil de monitoração de grandezas de soldagem

4.5.1 - Arquitetura do sistema:

O sistema é composto pela interface de aquisição de dados (INTERDATA) conectada a um computador portátil com processador 80386 SX.

Como a placa INTERDATA possui barramento de comunicação padrão ISA foi necessária a utilização de um componente para adaptar este barramento ISA ao barramento disponível nos computadores portáteis. Este componente, conhecido como "dock station" é uma plataforma que acopla o "notebook" e disponibiliza em seu interior conectores padrão ISA.

Com esta configuração foi possível desenvolver uma plataforma portátil de monitoração que abriga os sistemas de condicionamento de sinais. (conforme figuras 4.10 e 4.12).

Isto foi viável pelo fato da modularidade do "hardware", visto que os circuitos condicionadores são os instrumentos TC-1, MVG-1 e MVA-1 sem o módulo indicador da grandeza.

Como mostra a figura 4.11 e 4.12, o sistema tem dimensões e peso reduzidos alcançando-se assim portabilidade. Essa característica permite utilizá-lo tanto em laboratório como em procedimentos de manutenção (trabalhos em campo).

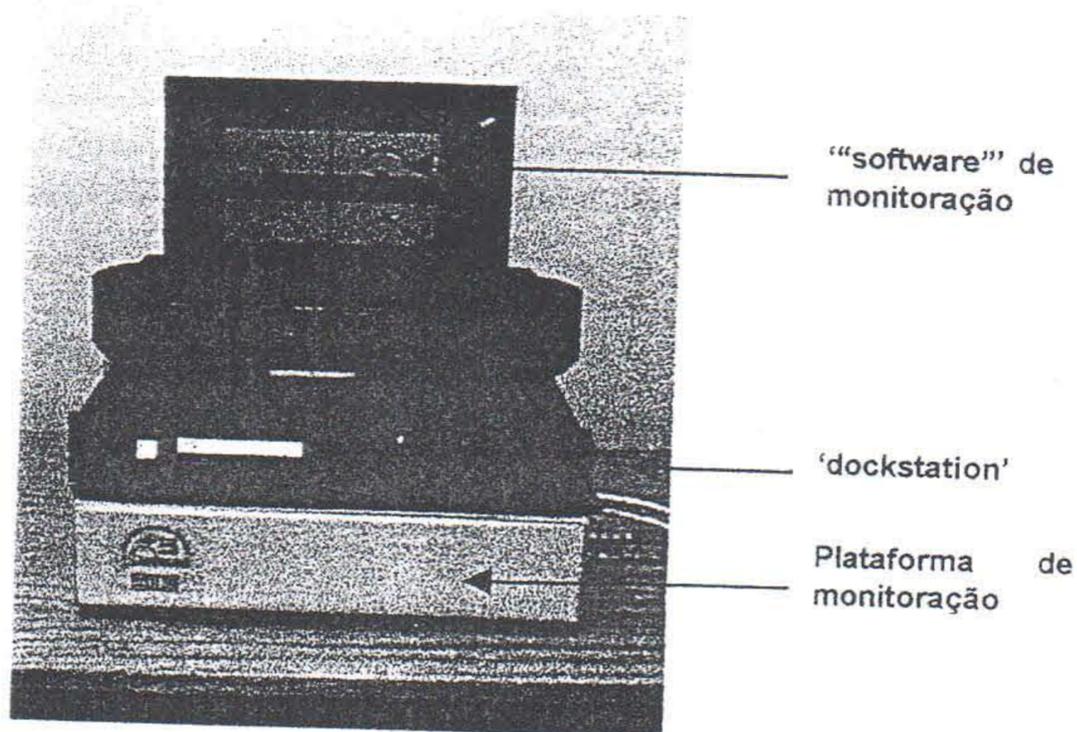


Figura 4.11 - Vista frontal do sistema portátil de monitoração de grandezas

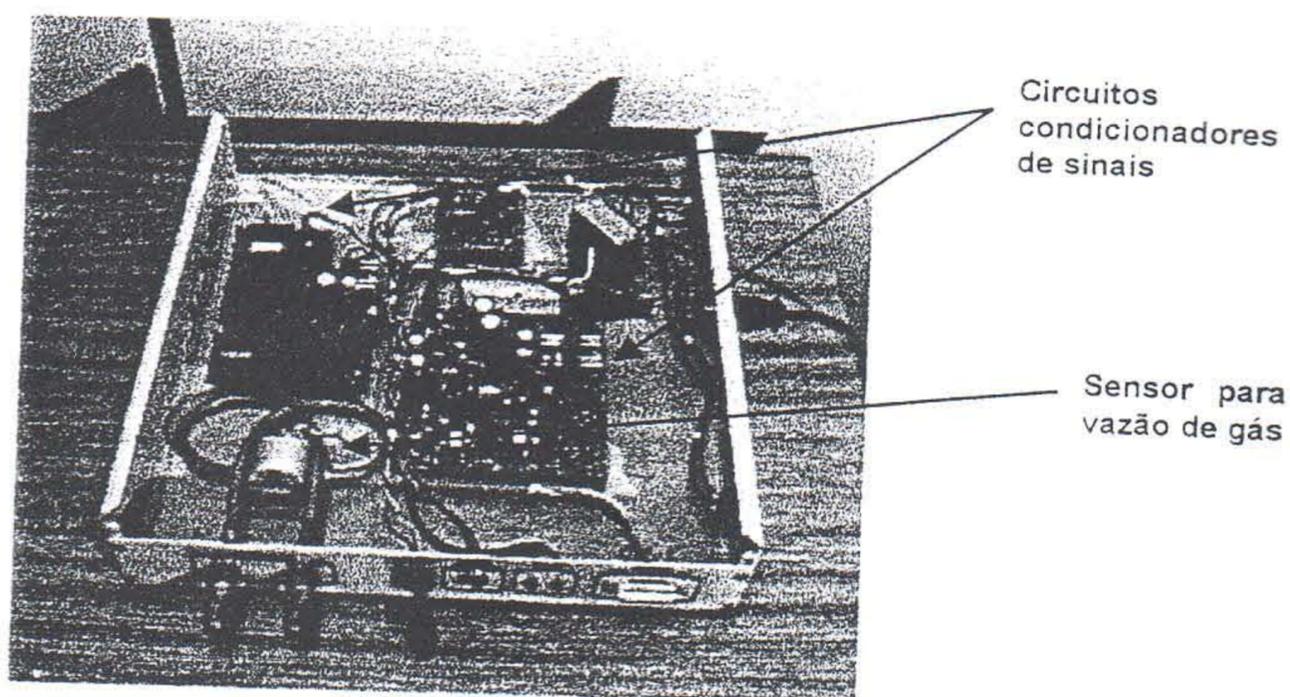


Figura 4.12 - Detalhe interno da plataforma de monitoração

Outro aspecto importante é o uso do conceito de instrumentos virtuais, uma vez que o "software" é o responsável pelo processamento dos dados, ou seja: o cálculo da potência que é realizado pelo "software" a partir da multiplicação ponto a ponto dos valores instantâneos da corrente e tensão no arco.

Esse recurso permite obter um valor metrologicamente correto para a potência elétrica no arco conforme apresentado no capítulo 2.

4.5.2 - Características do sistema:

- Faixa de indicação:
capacidade de medição de corrente e tensão na faixa de (3 a 60) V e (5 a 500) A, para valores médios, eficazes e instantâneos.
Capacidade de medição da potência no arco através da multiplicação ponto a ponto dos valores instantâneos
- Resolução: 1 A para corrente, 0,1 V para tensão e 1 W para potência
- Erro máximo: 1% para a corrente, 0,1% para a tensão e 3% para a potência.

4.5.3 - Características operacionais:

- Monitoração de quatro grandezas do processo MIG/MAG:

Através do programa SMGSOLD, que está instalado no "notebook" é possível visualizar as quatro grandezas, corrente (media ou eficaz), tensão (media ou eficaz), velocidade de arame e vazão do gás. A leitura das grandezas é facilitada pela interface gráfica que implementa uma escala contínua e um mostrador digital para cada grandeza. Conforme pode ser visto na figura 4.4

- Visualização de oscilogramas:

O sistema dispõe, através do programa OSCILOS, os oscilogramas da corrente, tensão, velocidade de arame e vazão do gás de proteção, sendo que é possível visualizar dois oscilogramas de cada vez. Um exemplo da tela do sistema pode ser visto na figura 4.5.

- Análise da transferência metálica do processo MIG/MAG:

Com o programa MIGMAG instalado no notebook, é possível analisar a transferência metálica do processo MIG/MAG, pela aquisição dos sinais de corrente e tensão.

5 - QUALIFICAÇÃO METROLÓGICA DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS EM PROCESSOS DE SOLDAGEM

Com a implementação de sistemas de qualidade nas indústrias e com a busca para certificações tais como ISO 9000 ou QS 9000, a utilização de instrumentos e sistemas de medição que apresentem confiabilidade metrológica tornaram-se obrigatórios.

A norma ISO 9001/agosto/1994, especifica requisitos de sistema da qualidade que destinam-se à prevenção de não conformidade em todos os estágios, desde o projeto até a assistência técnica, sendo que nos itens 4.10 a 4.12 desta norma encontram-se os aspectos metrológicos sobre o controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaios.

Por ser um item fiscalizado no processo de certificação, essa norma obriga que os instrumentos e sistemas de medição possuam comprovação metrológica periódica e incertezas conhecidas.

Assim, para se obter estas informações, a calibração passa a ser uma atividade fundamental para as indústrias, sendo realizada em intervalos de tempo preestabelecidos e seguindo procedimentos metrologicamente justificados e perfeitamente documentados.

5.1 - Procedimentos de calibração

A calibração, na maioria das vezes, é realizada com o objetivo de determinar a incerteza de medição de um instrumento ou sistema de medição. Isto exige a disponibilidade de um padrão, que fica conhecido como o valor verdadeiro convencional da grandeza aplicada ao SM a calibrar.

Este procedimento deve ser realizado dentro de um intervalo de tempo, que é determinado através da análise do histórico das calibrações. Quando não se possui dados suficientes, utiliza-se o bom senso para se estimar um intervalo mais adequado ao processo em questão.

Como não se possui dados sobre calibrações de sistemas de medição para processos de soldagem, um intervalo de 3 meses para os medidores de corrente e tensão parece ser adequado, tendo em vista a análise do comportamento dos sistemas desenvolvidos e analisados ao longo deste trabalho.

Uma característica importante do processo de calibração é a rastreabilidade dos resultados, ou seja, a garantia de que o resultado de medição de um sistema possa ser referenciado a padrões primários, sendo assim válido em qualquer país.

Para assegurar a rastreabilidade é necessário que a calibração relacione as incertezas do sistema de medição, com o padrão, que por sua vez estará relacionado a outros padrões até chegar ao padrão primário.

A figura a seguir mostra a rastreabilidade para medição da tensão, disponível hoje em Florianópolis.

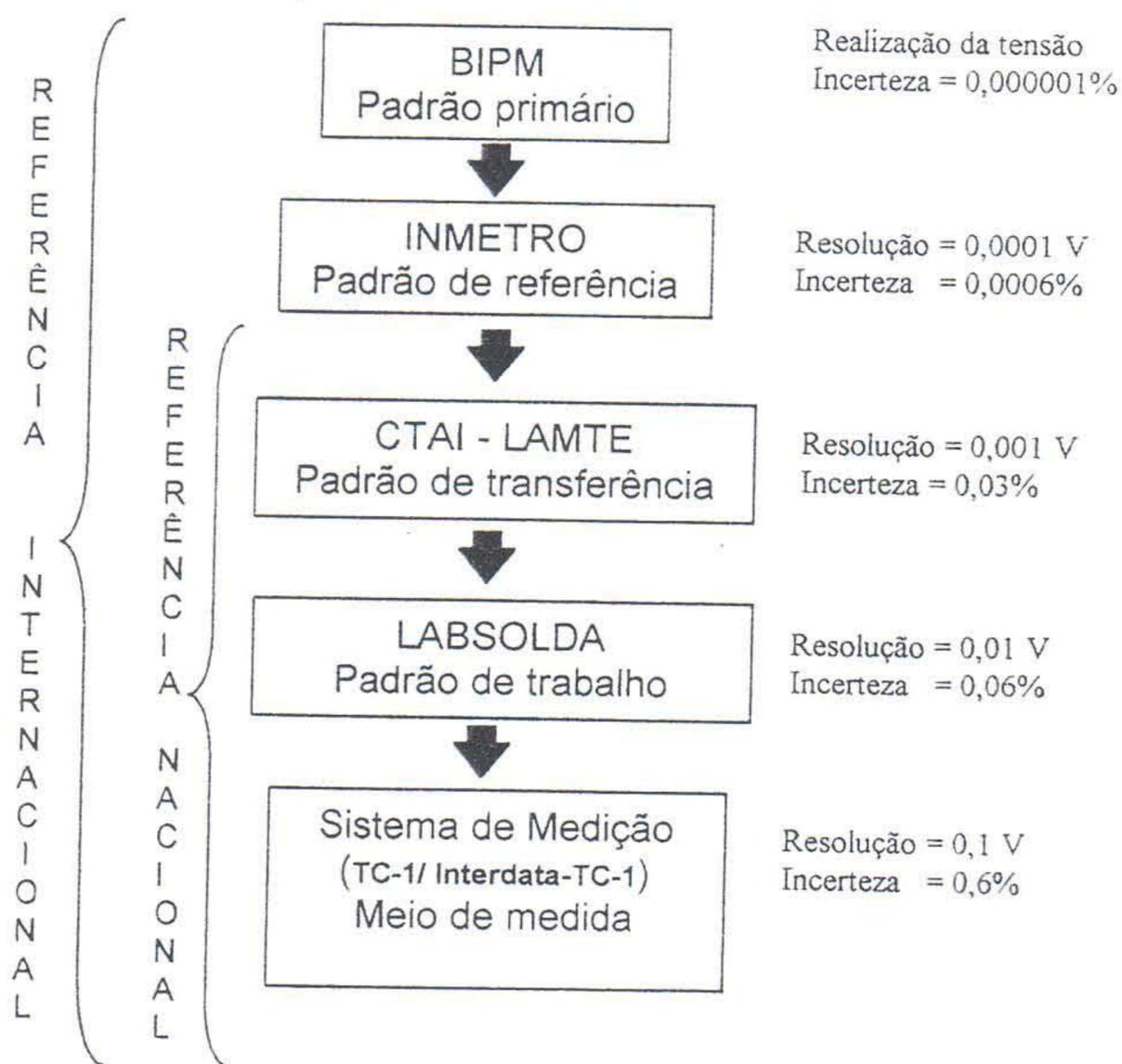


Figura 5.1 - Modelo para a rastreabilidade da tensão

O sistema de medição padrão a ser utilizado em uma calibração deve possuir um certificado de calibração emitido por um laboratório credenciado na Rede Brasileira de Calibração (RBC) e expresse a incerteza de medição seguindo a metodologia do ISO-GUM. Esta metodologia conhecida como " Guia para Expressão da Incerteza de Medição" [24], propõem diretrizes para a avaliação da incerteza em cadeias de medição e está sendo adotada por vários laboratórios.

Para representar a incerteza no resultado de uma medição, é recomendável classificar as incertezas com relação a suas origens, que no caso podem ser sistemáticas e aleatórias. A figura 5.2 apresenta a relação das incertezas com o resultado de medição.

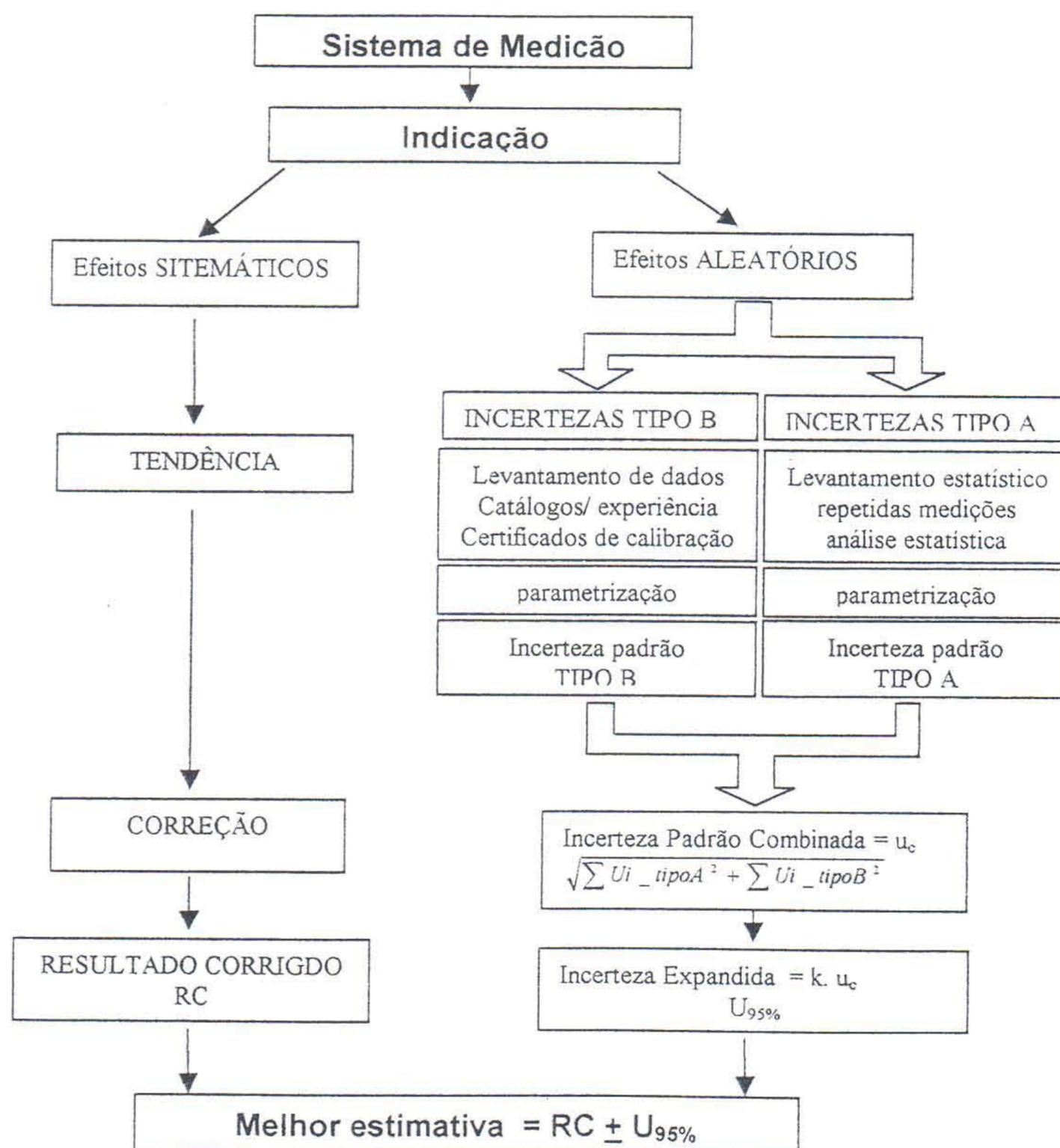


Figura 5.2 - Representação para expressão da incerteza de medição segundo ISO-GUM

A Tendência é uma estimativa do erro sistemático que ocorre na indicação de um sistema de medição.

A Correção é o valor adicionado algebricamente ao resultados não corrigido de uma medição, para a correção da tendência.

Os efeitos aleatórios podem ser subdivididos em componentes de incerteza tipo A e B.

A incertezas tipo A, são aquelas obtidas por análise estatística de uma série de observações e as incertezas tipo B, as obtidas por outros meios que não a análise estatística, como dados de catálogos, certificados de calibração ou experiência do operador.

Para combinar esses dois tipos de incertezas é necessário transformá-las em um desvio padrão para que possam ser adicionadas. A incerteza combinada é a incerteza padrão de um resultado de medição que representa a variância das fontes de incerteza, ponderadas de acordo com quanto o resultado da medição é afetado por elas.

A incerteza expandida é obtida a partir da multiplicação da Incerteza padrão combinada por um fator de abrangência que irá definir um intervalo de confiança em torno do resultado de uma medição.

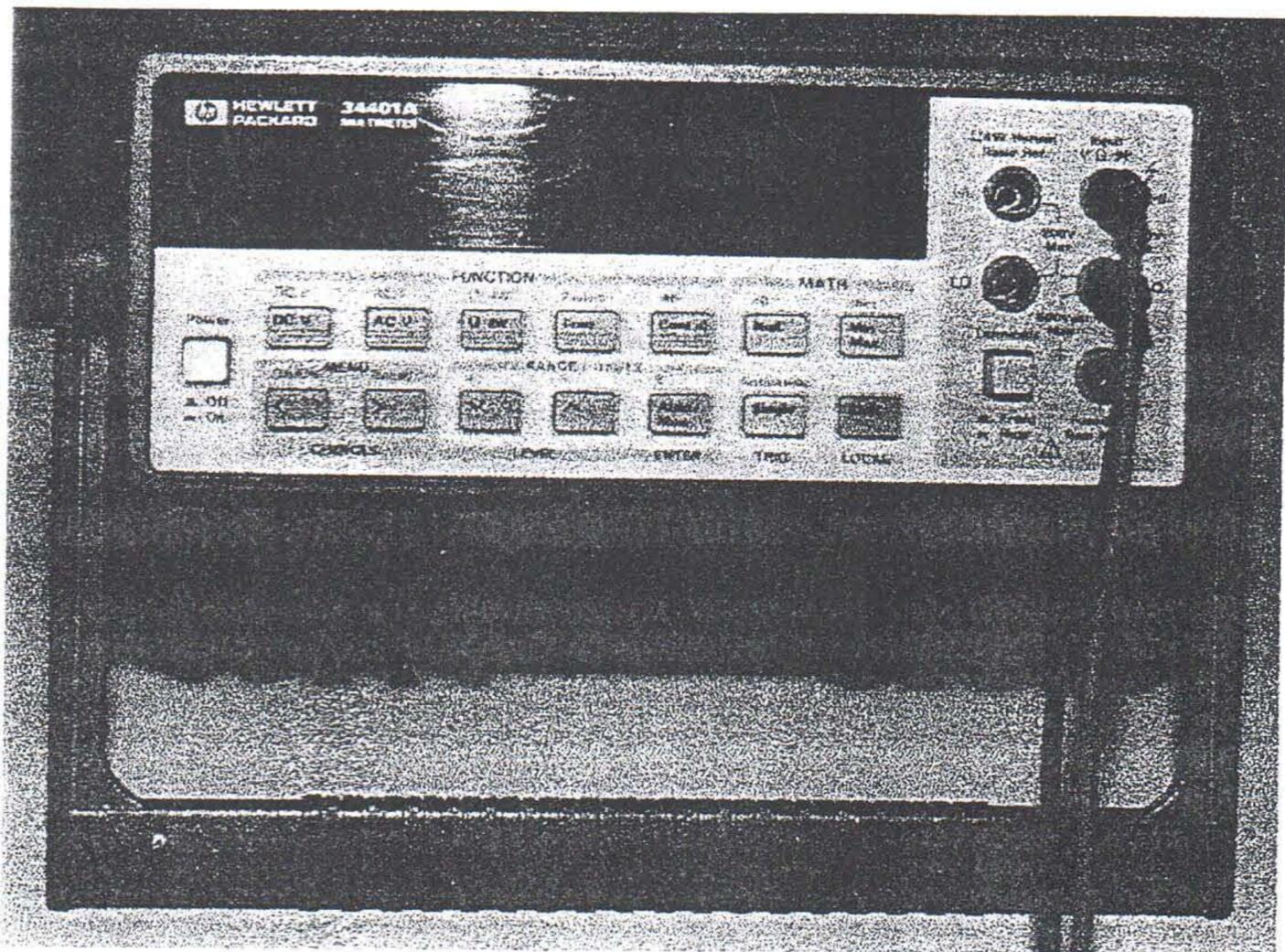
Aplicando esta metodologia é possível relacionar o resultado de uma calibração considerando a incerteza do sistema de medição padrão (SMC), que calibrado da mesma forma relaciona as incertezas até o padrão primário.

5.2 - Calibração de sistemas de medição de tensão em soldagem

Para a calibração da tensão em um sistema de medição deve-se adotar um sistema de medição padrão (SMP), capaz de cobrir toda a faixa de indicação do sistema de medição a calibrar (SMC), sendo a sua incerteza de medição de 3 a 10 vezes melhor.

5.2.1 - Sistema de medição padrão para a calibração da tensão em processos de soldagem

O padrão adotado para a calibração da tensão nos SM apresentados anteriormente, foi o multímetro da Hewlett Packard 34401A de 6 ½ dígitos que aparece na figura 5.3, com suas características metrológicas. Este padrão é adequado pois cobre toda a faixa de medição da calibração e atende os requisitos de resolução e incerteza mencionados anteriormente.



| | |
|------------------------------|---|
| Faixas de indicação | 0 – 100 V DC |
| Resolução | 1 mV na faixa nominal |
| Incerteza de medição | $U_{95\%} = \pm 0,062 \text{ V}$ na faixa nominal |
| Tempo de integração do sinal | 200 ms |

Figura 5.3 – Padrão para medição da tensão

5.2.2 - Fontes de incerteza na calibração da tensão em SM para processos de soldagem

Outro aspecto importante no procedimento de calibração, é o levantamento das fontes de incerteza que afetam o resultado da medição. No caso da tensão elétrica, várias são essas fontes, como ruídos, relações de impedâncias, o que exige maior esforço para aplicação desta metodologia.

Um exemplo deste levantamento é apresentado na figura 5.4, onde com base na análise do circuito de medição do TC-1, foram consideradas as fontes de incerteza mais relevantes.

| Fontes de Erro | Unidade (mv) | Tipo de Distribuição |
|----------------------------------|--------------|----------------------|
| Incerteza Tipo A (ensaio) | 13 | normal |
| Incerteza do SMP - U95% | 0,62 | normal |
| Resolução do SMC (TC-1) | 1 | retangular |
| Incerteza de ganho do ISO122P | 50 | retangular |
| Linearidade do ISO122P | 2 | retangular |
| Erro de off set (ISO122P) | 15 | retangular |
| Incerteza do P.S.R (ISO122P) | 3 | retangular |
| Erro de offset (CA3140) | 15 | retangular |
| Incerteza do P.S.R (CA3140) | 0,2 | retangular |
| Incerteza - Ruído do 7107 | 0,15 | retangular |
| Erro de offset 7107 | 0,01 | retangular |
| Erro de linearidade 7107 | 10 | retangular |
| Drift de temperatura do conjunto | 20 | retangular |

Tabela 5.4 - Fontes de incerteza para a tensão no TC-1

5.2.3 - Exemplo de procedimento de calibração de tensão no TC-1

O procedimento de calibração da tensão no TC-1 consiste na comparação da indicação com o multímetro HP34401, que foi apresentado no item 5.2.1.

O circuito utilizado para a calibração da tensão, é apresentado na figura 5.5.

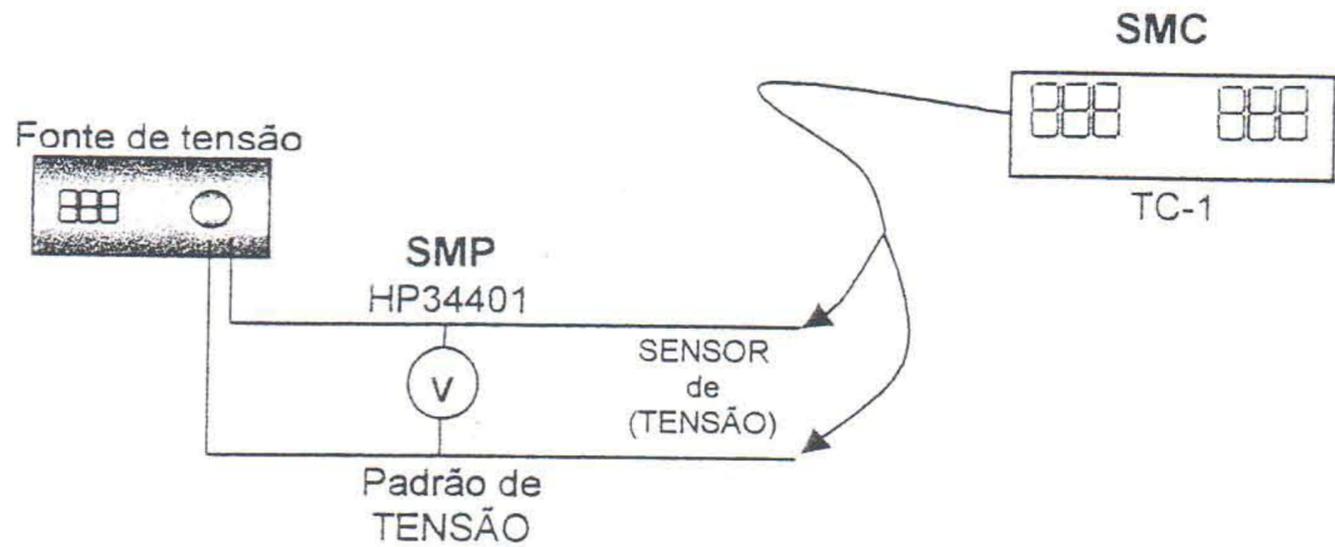


Figura 5.5 – Circuito para calibração da tensão no TC-1

O procedimento desenvolvido sugere um tempo de 45 minutos para estabilização térmica dos equipamentos utilizados, que são a fonte de alimentação HP 6216A, o SMP HP 34401A, e o TC-1 a ser calibrado.

Utilizando a planilha de leitura de dados da figura 5.6, são realizados quatro ciclos de leituras na faixa de (10 a 30) V contendo 9 pontos com intervalos de 2 V a partir de 18V, para determinação da incerteza padrão tipo A.

Esta faixa de tensão ficou limitada a 30 V devido ao fato de não existir no Labsolda uma segunda opção para a fonte de tensão e nem a disponibilidade de recursos financeiros para a aquisição de uma outra.

Como o SMP possui uma resolução superior a do SMC, utiliza-se como referência para o ajuste do ponto da tensão a leitura no TC-1, adotando esta como parâmetro para o cálculo da incerteza padrão tipo A. Os valores de tensão devem ser anotados utilizando-se a resolução do SMP, que é de 5 dígitos significativos.

Para agilizar o cálculo da incerteza de medição foram desenvolvidas quatro planilhas utilizando o "Excel". Essas planilhas calculam a incerteza padrão, incerteza combinada e incerteza expandida, a partir da planilha de leitura apresentada na figura 5.7,

Nessa planilha os valores impressos em negrito representam as anotações do ensaio, sendo os demais valores calculados automaticamente pelo programa.

Com os valores da incerteza e da tendência de cada ponto, o programa traça um gráfico, como o apresentado na figura 5.8, que permite de forma rápida avaliar o desempenho metroológico do sistema de medição.

LABSOLDA

PLANILHA DE LEITURAS

Procedimento de Calibração para TC-1 (Tensão)

Folha: 1

| | | | |
|------|-------------------------------|---------------------|------------|
| SMC: | TC-1 No. de série: A1 | Data: 14/08/98 | Temp. Amb. |
| SMP: | HP 34401A Mult. 6 1/2 dígitos | Hora: 14 h e 30 min | 26 °C |

de: 1

Executor: Marcelo Corrêa

| Pontos de Medição | Leitura Do SMC (V) | Sistema de Medição Padrão | | | | X média (V) | Tendência (-correção) (V) | Desvio Padrão s | Incerteza Padrão (Tipo A) $U_i = U_s$ (V) | Incerteza Combinada u_c (V) | Incerteza Expandida $U_{95\%}$ (V) |
|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------------------|-----------------|---|-------------------------------|------------------------------------|
| | | 10. ciclo (V) | 20. ciclo (V) | 30. ciclo (V) | 40. ciclo (V) | | | | | | |
| 1 | 10,0 | 9,837 | 9,886 | 9,847 | 9,810 | 9,845 | 0,155 | 0,031 | 0,016 | 0,050 | 0,099 |
| 2 | 15,0 | 14,908 | 14,862 | 14,917 | 14,838 | 14,880 | 0,120 | 0,040 | 0,020 | 0,051 | 0,102 |
| 3 | 18,0 | 17,877 | 17,880 | 17,889 | 17,875 | 17,880 | 0,120 | 0,006 | 0,003 | 0,047 | 0,094 |
| 4 | 20,0 | 19,911 | 19,909 | 19,923 | 19,802 | 19,886 | 0,114 | 0,057 | 0,028 | 0,055 | 0,109 |
| 5 | 22,0 | 21,945 | 21,940 | 21,930 | 21,881 | 21,924 | 0,076 | 0,029 | 0,015 | 0,049 | 0,099 |
| 6 | 24,0 | 23,968 | 23,967 | 23,923 | 23,903 | 23,940 | 0,060 | 0,033 | 0,016 | 0,050 | 0,099 |
| 7 | 26,0 | 25,991 | 26,062 | 25,946 | 25,844 | 25,961 | 0,039 | 0,091 | 0,046 | 0,066 | 0,132 |
| 8 | 28,0 | 27,014 | 28,011 | 28,039 | 27,937 | 28,000 | 0,000 | 0,044 | 0,022 | 0,052 | 0,104 |
| 9 | 30,0 | 29,032 | 30,007 | 29,918 | 29,886 | 29,961 | 0,039 | 0,070 | 0,035 | 0,059 | 0,117 |

Figura 5.6 - Planilha com dados da calibração da tensão no TC-1

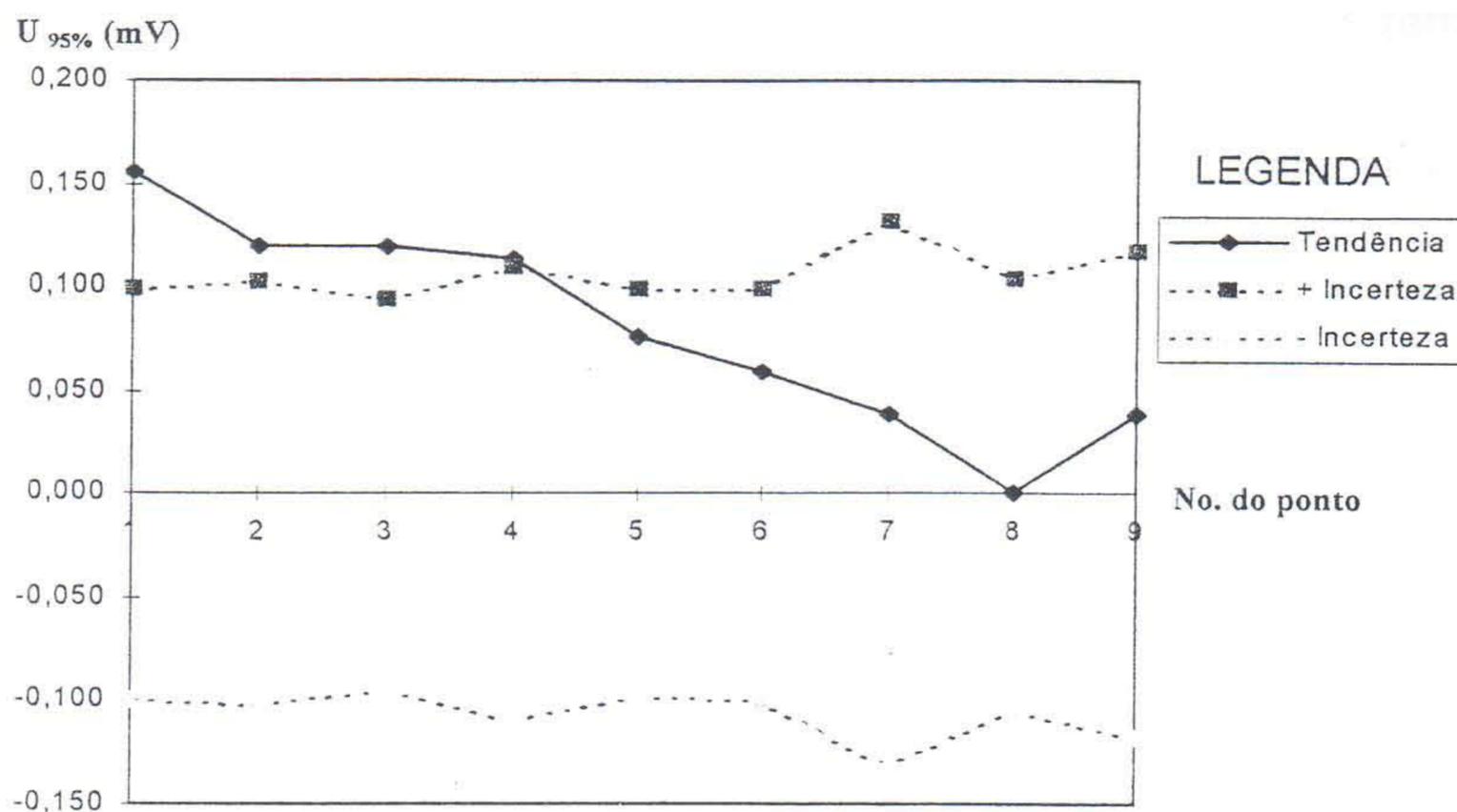


Figura 5.7 - Gráfico do comportamento da tendência e da incerteza para cada ponto da planilha de leitura

Com este procedimento foi possível concluir que a incerteza expandida para a tensão com nível de confiança igual a 95%, é de $\pm 0,14$ V para valores médios e $\pm 0,16$ V para valores eficazes, mas considerando que o mesmo não possui um ajuste de ganho para corrigir a tendência e que em alguns ensaios se obteve tendências até 0,2 V, podemos considerar uma incerteza para a tensão média e eficaz do TC-1 de $\pm 0,2$ V.

5.3 - Calibração de sistemas de medição de corrente em soldagem

Para a calibração da corrente em processos de soldagem também deve ser adotado um sistema de medição padrão (SMP) que possua certificado de calibração com garantia de rastreabilidade. A faixa de medição do SMP deve ser de (5 a 500) A sendo conveniente adotar uma incerteza de 1/2 a 1/5 da incerteza do SMC.

A rastreabilidade para a calibração de corrente disponível na cidade de Florianópolis é apresentada na figura 5.9.

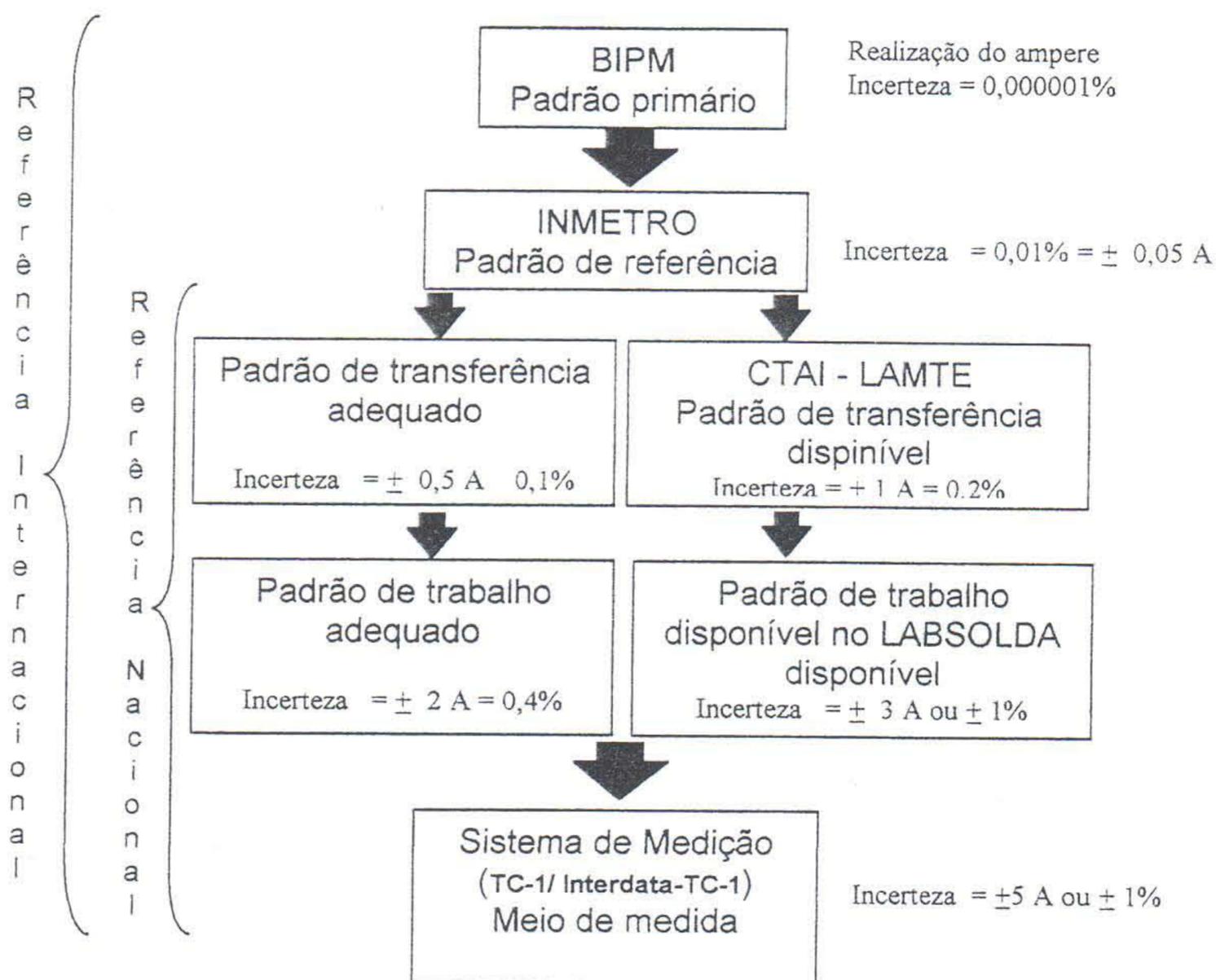


Figura 5.8 - Rastreabilidade para calibração de corrente na faixa de (5 a 500) A disponível em Florianópolis.

5.3.1 - Sistema de medição padrão para a calibração da corrente em processos de soldagem

Para a faixa de corrente de (5 a 500) A é conveniente o uso de transdutores isolados, conforme discutido no capítulo 2. Assim, a utilização de um amperímetro com um transdutor Hall ou um transformador de corrente é bem mais prático do que o uso de "shunt".

Apesar de possuir incerteza bem menores, o "shunt" apresenta algumas características indesejáveis, como a variação da resistência com a temperatura, altos níveis de ruídos e um efeito indutivo que o inviabiliza para o uso em fontes de soldagem chaveadas.

Como não havia disponibilidade de recursos para a compra de um padrão mais adequado, utilizou-se o amperímetro alicate da ITT MOD MX 1200S, que possui as seguintes características metrológicas, como mostra a figura abaixo

| | | |
|-------------------|-------------------------|--------------------|
| Faixas de medição | 200 A | AC-DC |
| | 1000 A | AC-DC |
| Resolução | 100 mA | na faixa de 200 A |
| | 1 A | na faixa de 1000 A |
| Erro máximo | 1% da faixa = ± 2 A | |

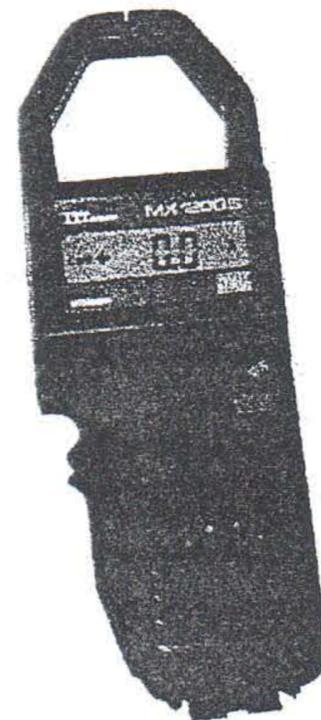


Figura 5.9 – Padrão para calibração da corrente

5.3.2 - Fontes de incerteza na calibração da tensão em SM para processos de soldagem

Para a calibração da corrente foi feito um levantamento das fontes de incerteza no TC-1, e como se pode observar na figura 5.10, a maior delas corresponde ao transdutor Hall.

No caso da corrente elétrica em soldagem as maiores incertezas estarão associadas aos sensores, devido ao valor elevado de corrente.

| Fontes de Incerteza | Unidade (A) | Tipo de Distribuição |
|---------------------------------------|-------------|----------------------|
| Incerteza Tipo A (ensaio) | 1 | Normal |
| Incerteza do SMP - U95% | 2 | Normal |
| Resolução do SMC (TC-1) | 0,5 | Retangular |
| Incerteza divisor de tensão | 0,2 | Retangular |
| Incerteza do sensor Hall | 3 | Retangular |
| Ruído - (CA3140) | 0,02 | Retangular |
| Erro de offset (CA3140) | 0,1 | Retangular |
| Incerteza do P.S.R (CA3140) | 0,02 | Retangular |
| Erro de linearidade 7107 | 0,2 | Retangular |
| Drift de temperatura do conjunto/ 1°C | 0,2 | Retangular |

Figura 5.10 - Fontes de incerteza para a medição de corrente no TC-1

5.3.3 - Exemplo de procedimento de calibração da corrente no TC-1

Para a calibração da corrente o procedimento é similar, considerando-se que nesse caso o SMP é o amperímetro tipo alicate modelo MX 1200S da ITT. Esse amperímetro, apesar de não ser o mais adequados pois não possui incerteza 1/2 da incerteza do SMC, é o único disponível no Labsolda.

Como as fontes de soldagem modernas são chaveadas e a faixa de corrente é elevada, a utilização do shunt para a calibração não é recomendada. Assim foi adotado este amperímetro para calibrar a corrente na faixa de (0 a 200) A, pois nesta faixa a incerteza é de ± 2 A e atende ao objetivo que é desenvolver o procedimento de calibração.

O circuito elétrico utilizado na calibração é apresentado na figura 5.11, onde a fonte de soldagem DIGITEC 300, gera o sinal de corrente para a medição comparativa entre o TC-1 e o amperímetro padrão.

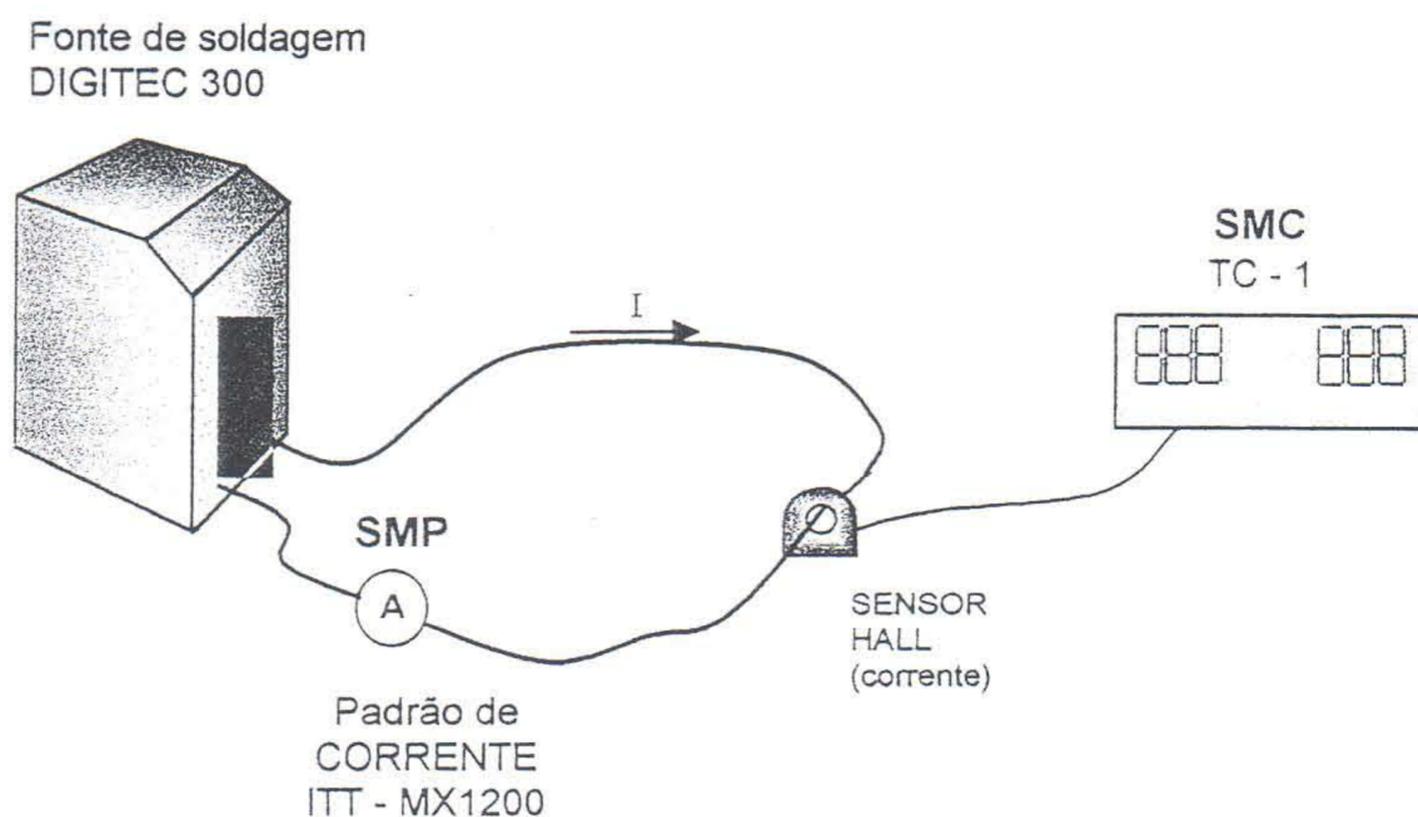


Figura 5.11– Circuito para calibração da corrente

Após o tempo de 45 minutos para estabilização térmica dos equipamentos utilizados, que são a Fonte de Soldagem DIGITEC 300, o Amperímetro ITT - MX1200 e o TC-1 a ser calibrado, utiliza-se a planilha da figura 5.12, para a coleta de dados.

São realizados quatro ciclos de leituras na faixa de (50 a 300) A, contendo 6 pontos com intervalos de 50 A. Essa faixa de corrente ficou limitada a 300 A devido a capacidade de medição do amperímetro padrão.

Para o cálculo da incerteza tipo A, utiliza-se os valores de leitura no SMP, uma vez que este possui resolução de 0,1 A, superior a do TC-1.

Para agilizar o cálculo da incerteza de medição foram desenvolvidas quatro planilhas utilizando o "Excel". Essas planilhas calculam a incerteza padrão, incerteza combinada e incerteza expandida, a partir da planilha de leitura apresentada na figura 5.12.

Nesta planilha os valores impressos em negrito representam as anotações do ensaio, sendo os demais valores impressos calculados automaticamente pelo programa.

Com os valores da incerteza e da tendência de cada ponto, o programa traça um gráfico, como o apresentado na figura 5.13, que permite de forma rápida avaliar o desempenho metrológico do sistema de medição.

LABSOLDA

PLANILHA DE LEITURAS

Procedimento de calibração da corrente (TC-1)

Folha: 1

| | | | | | | | |
|------|--------------------------|---------------|------|-------|----------|------------|--|
| SMC: | TC-1 | No. de série: | A001 | Hora: | 16 h | Temp. Amb. | |
| SMP: | Amperímetro ITT MX 1200S | | | data: | 20/09/98 | 25°C ± 1°C | |

Executor: Marcelo Corrêa

| no do ponto | TC-1 Leitura do SMC (A) | Sistema de Medição Padrão | | | | X média (A) | Tendência (-correção) (A) | Desvio Padrão s | Incerteza Padrão (Tipo A) U _i = U _s (A) | Incerteza Combinada u _c (A) | Incerteza Expandida U _{95%} (A) |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------|---|---|---|
| | | 1o. Ciclo (A) | 2o. Ciclo (A) | 3o. Ciclo (A) | 4o. Ciclo (A) | | | | | | |
| 1 | 54 | 51,8 | 51,7 | 51,4 | 51,7 | 51,6 | 2,3 | 1,2 | 0,6 | 2,1 | 4,2 |
| 2 | 104 | 101,1 | 101,0 | 101,3 | 101,4 | 101,2 | 2,8 | 1,4 | 0,7 | 2,2 | 4,3 |
| 3 | 154 | 150,0 | 150,2 | 150,1 | 150,2 | 150,1 | 3,8 | 1,9 | 0,9 | 2,2 | 4,5 |
| 4 | 198 | 194,5 | 194,4 | 194,4 | 194,5 | 194,5 | 3,5 | 1,8 | 0,9 | 2,2 | 4,4 |
| 5 | 254 | 250,1 | 250,2 | 250,3 | 250,4 | 250,3 | 3,7 | 1,9 | 0,9 | 2,3 | 4,5 |
| 6 | 304 | 300,1 | 300,2 | 300,3 | 300,4 | 300,3 | 3,7 | 1,9 | 0,9 | 2,2 | 4,5 |

Figura 5.12 - Planilha de Leituras com dados da calibração da corrente no TC-1

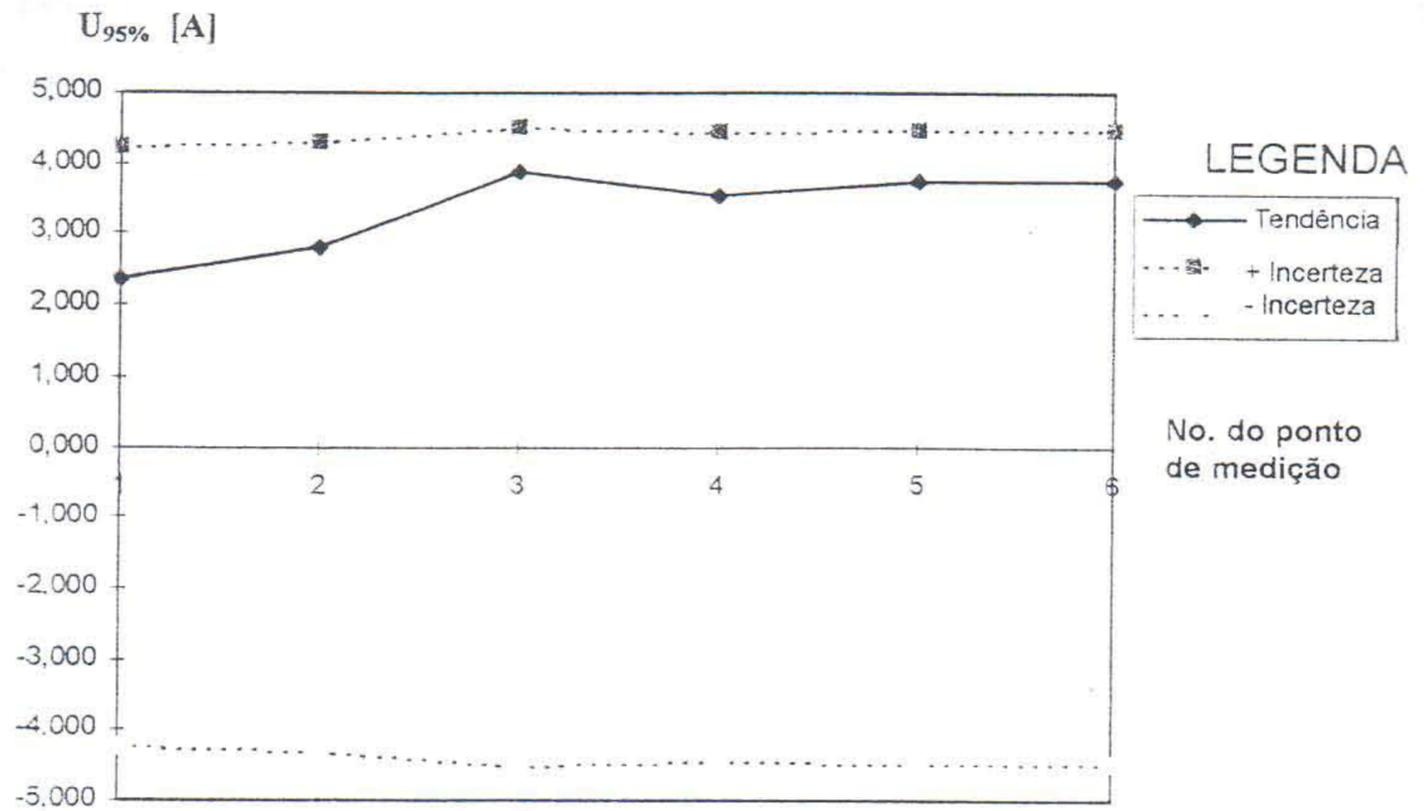


Figura 5.13 - Gráfico da Incerteza de calibração da corrente para o TC-1

Nos ensaios realizados a incerteza de medição da corrente foi de ± 5 A, sendo que a maior fonte de incerteza é o próprio transdutor Hall.

Como as demais fontes de incerteza podem ser desprezadas frente ao sensor hall, mesmo com um padrão melhor para a calibração, a incerteza expandida reduziria muito pouco.

5.4 - Integração de software e hardware para a implementação de um sistema semi-automático de calibração (CALIGEN)

Para sistemas de medição computadorizados, como os apresentados no capítulo quatro, o procedimento de calibração pode gerar operações de ajuste tanto de hardware como de software.

Como parte do sistema de medição é o próprio programa que está sendo executado no microcomputador, uma parte do procedimento de calibração, consiste em gerar equações matemáticas para converter os bytes provenientes do sistema de aquisição de dados no resultado da medição que será indicado no monitor de vídeo do microcomputador.

Estas equações matemáticas, são funções de 1° ou 2° grau que associam um byte gerado pelo conversor A/D, disponível em uma variável decimal, em um número representado em uma variável real. A essa equação adotou-se o nome de característica de resposta.

Para o levantamento dessas características utiliza-se o circuito da figura 5.14, onde a fonte de soldagem gera os níveis de corrente a serem lidos pelo computador. Para cada nível de corrente é feita uma aquisição de dados, e o conversor A/D gera uma variável decimal que contém o byte correspondente ao valor de corrente. Ao mesmo tempo, o operador faz a leitura do valor da corrente através do amperímetro padrão, e digita esse valor no computador.

Como o computador possui um conversor de 12 bit, tem-se 4096 divisões, e o byte de conversão estará na faixa de 0 a 4095, representado em uma variável decimal.

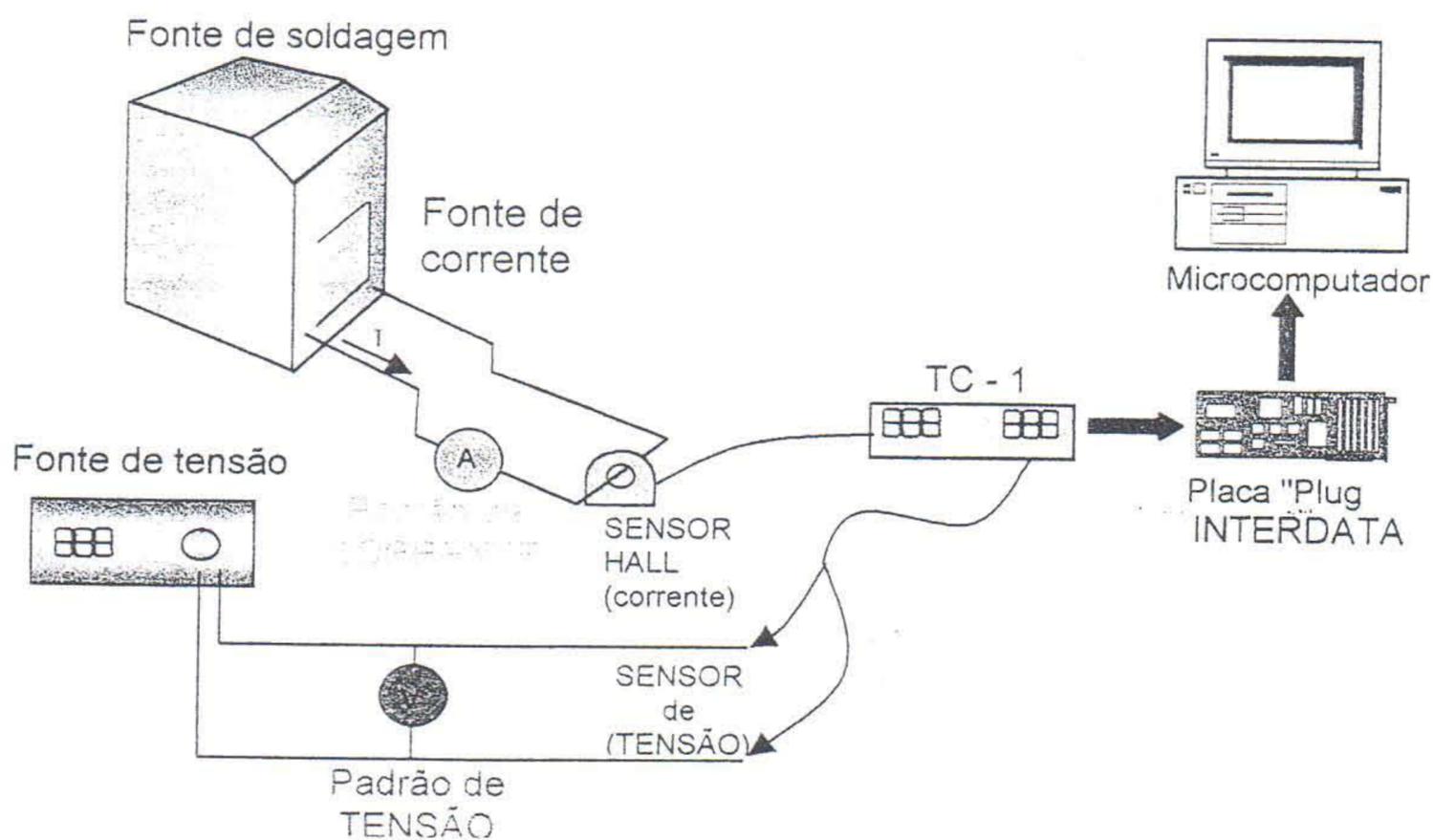


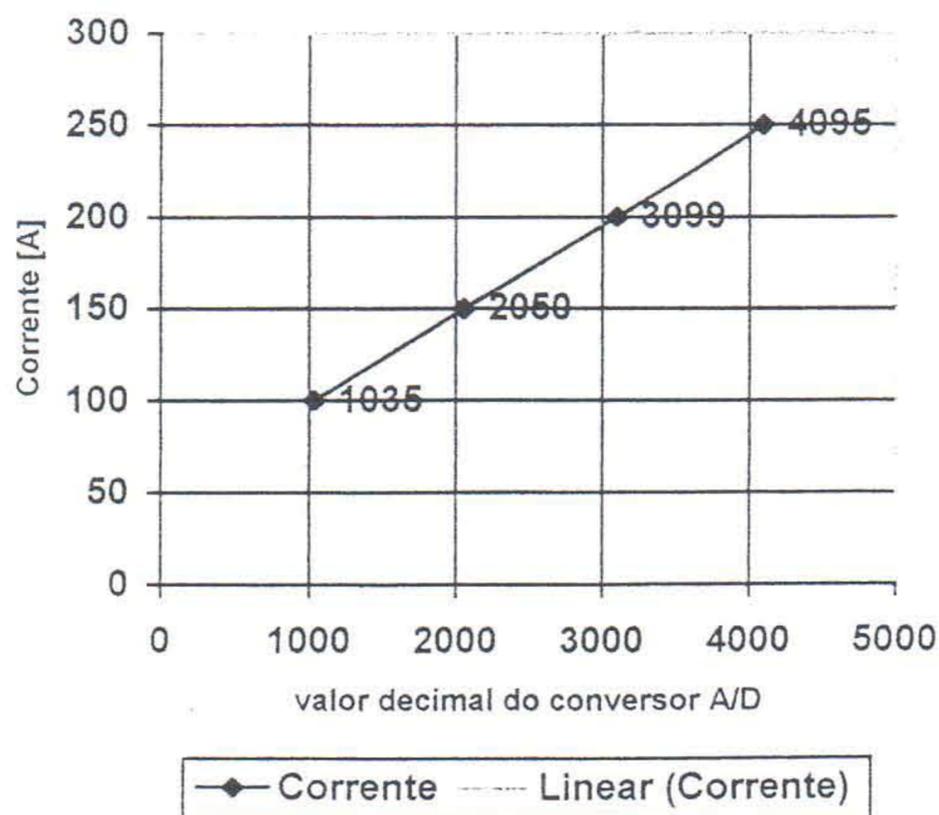
Figura 5.14 – Circuito para a levantamento das características de resposta para tensão e corrente

| Valor de corrente gerado pela fonte de soldagem [A] Eixo (Y) | Valor gerado pelo conversor A/D Eixo (X) |
|---|---|
| 100 A | 1035 |
| 150 A | 2050 |
| 200 A | 3099 |
| 250 A | 4095 |

Tabela 5.15 -Pontos para levantamento da característica de resposta

Com os quatro níveis de corrente e quatro bytes de conversão A/D, veja tabela da figura 5.15, é possível traçar um gráfico e observar a tendência da curva que melhor se ajusta aos pontos. Esta curva pode ser representada por uma função que associe todos os pontos dentro da faixa de medição, como mostra a figura 5.16.

Como o comportamento da cadeia de medição INTERDATA-TC-1 é praticamente linear,



Característica de resposta de 1ª ordem

$$\text{Corrente} = 0,0485 X + 50,5$$

onde X = valor decimal do byte de conversão A/D

se adota funções lineares para a característica de resposta.

Figura 5.16 - Exemplo de característica de resposta para a corrente

Esse procedimento de levantamento das característica de resposta faz parte do procedimento de calibração do sistema INTERDATA-TC1, e pode ser realizado de forma semi-automática através do programa CALIGEN.

Este programa foi desenvolvido no LABSOLDA com objetivo de facilitar o procedimento de cálculo da característica de resposta, e funciona da seguinte forma.

Com o circuito apresentado na figura 5.14, o programa CALIGEN é executado no microcomputador, sendo permitido selecionar um ou mais canais para o levantamento das funções de transferência. Após a seleção dos canais o operador deve ajustar para cada ponto de interesse, os valores de corrente e tensão nas respectivas fontes, fazendo com que o CALIGEN leia e guarde todos esses pontos, para posteriormente gerar a equação da reta ou curva mais adequada de forma automática.

Essas equações são disponibilizadas através de um arquivo em modo texto chamado "calibra.acq", que contém em forma de tabela, o número do canal, o tipo de variável associada a este canal e a sua respectiva característica de resposta.

Todos os "softwares" mencionados no capítulo anterior, utilizam esse arquivo como parâmetro para o processamento dos dados, com o objetivo de gerar na interface gráfica o resultado da medição.

A figura 5.17, mostra a estrutura do SM desenvolvido, onde se observa que a característica de resposta é mais um componente da cadeia de medição, sendo utilizada por todos os programas em alto nível.

Assim, foi desenvolvido um procedimento de calibração, onde algumas das fontes de incerteza do sistema INTERDATA-TC-1 foram consideradas.

Este procedimento de calibração utiliza a mesma metodologia adotada na calibração do TC-1, sendo realizado em duas etapas uma a calibração da tensão e outra da corrente.

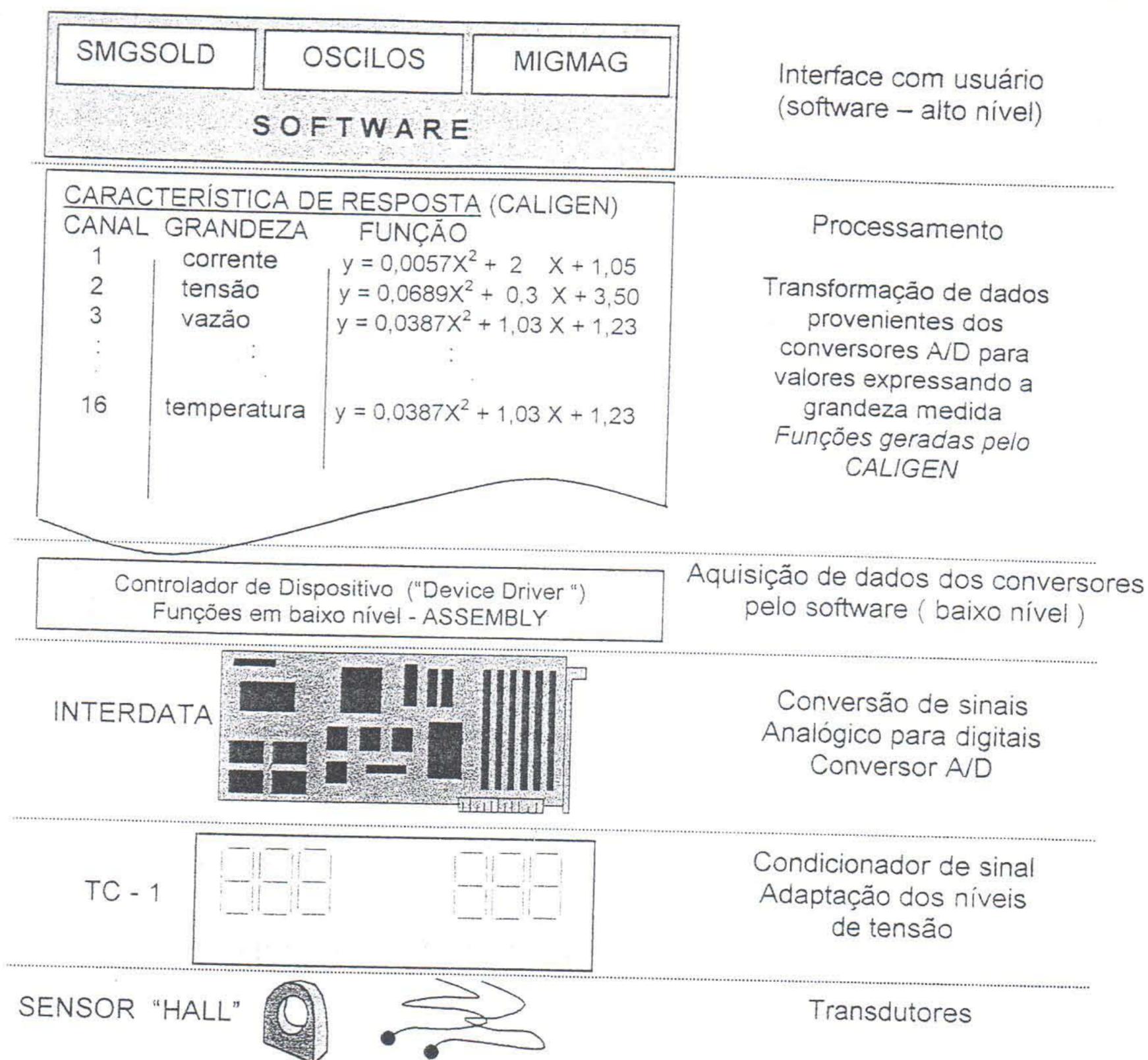


Figura 5.17 – Estrutura em camadas do sistema de medição Interdata-TC1

5.5 Procedimento de Calibração da Tensão no sistema INTERDATA-TC-1

Utilizando-se o mesmo método adotado para o TC-1 a calibração é feita pela comparação da indicação com o multímetro HP34401, sendo utilizado quatro ciclos de leituras na faixa de (10 a 30) V para determinação da incerteza padrão tipo A.

A faixa de tensão fica limitada a 30 V devido à fonte de tensão utilizada, pois conforme relatado anteriormente não existe no Labsolda uma segunda opção.

Utilizando-se o "Excel", montou-se quatro planilhas para auxiliarem no procedimento de calibração. Essas planilhas calculam a incerteza padrão, incerteza combinada e a incerteza expandida, sendo que uma delas traça o gráfico com o comportamento da incerteza, permitindo uma rápida avaliação do desempenho metrológico do instrumento.

Nesta planilha foram consideradas as principais fontes de incerteza da cadeia de medição INTERDATA-TC-1, sendo que através de ensaios pode-se constatar que a influência da incerteza associada ao levantamento da característica de resposta é muito pequena podendo assim ser desprezada. As fontes de incerteza provenientes da multiplexação são muito inferiores às incertezas provenientes dos estágios contidos no TC-1, assim a incerteza do sistema ficou em $\pm 0,19$ V para tensão DC e $\pm 0,21$ V para tensão AC, isto é: não difere muito da incerteza do TC-1 quando utilizado isoladamente.

5.6 Procedimento de Calibração da Corrente no sistema INTERDATA-TC-1

Para a calibração da corrente no sistema de medição INTERDATA-TC-1 utiliza-se o circuito da figura 5.4, sendo que a metodologia de calibração é por comparação com o amperímetro tipo alicate da ITT modelo MX1200S.

O procedimento desenvolvido consiste em quatro ciclos de leituras na faixa de (50 a 200) A com passo de 50 A, sendo calibrados 4 pontos. Esta faixa ficou limitada pela característica metrológica do amperímetro, pois este apresenta resolução de 0,1 A, apenas nesta faixa, e é a única opção disponível no Labsolda.

Após um levantamento experimental, adotou-se um tempo 45 minutos, para a estabilização térmica do processo de calibração., sendo que o TC-1 é o componente que leva mais tempo para atingir a temperatura de operação.

Para auxiliar o procedimento de calibração, foram desenvolvidas quatro planilhas eletrônicas, utilizando-se o "EXCEL". Essas planilhas orientam o procedimento e calculam de forma automática a incerteza padrão Tipo A, a incerteza combinada e a incerteza expandida conforme recomenda o Guia.

Nessas planilhas foram consideradas as principais fontes de incerteza da cadeia de medição INTERDATA-TC-1, sendo que através de ensaios pode-se constatar que a Influência da incerteza associada ao levantamento da característica de resposta para a corrente é muito pequena, podendo assim ser desprezada.

Outras fontes de incerteza como linearidade e off-set do sample-&-hold e incerteza provenientes do multiplexador são muito inferiores as incertezas provenientes dos estágios contidos no TC-1, assim a incerteza do sistema ficou em ± 5 A para corrente DC e ± 6 A para corrente AC, o que não difere muito da incerteza da corrente no TC-1.

Isto ocorre porque a principal fonte de incerteza, nessa cadeia de medição é o transdutor de corrente.

5.7 - Resultado da qualificação metrológica do Sistema de Medição INTERDATA-TC1

A figura 5.18, mostra as características metrológicas dos sistemas anteriormente citados, considerando também o cálculo da potência realizado pelo software "OSCILOS".

A faixa de medição considerada neste caso, foi a faixa de operação dos ensaios e a utilizada nos procedimentos de calibração, sendo que não representam a faixa total de operação dos sistemas de medição apresentados.

| Grandeza | Sistema de Medição | Faixa de Medição | Resolução | Incerteza Expandida $U_{95\%}$ | Incerteza (%) |
|--------------------------|--------------------|------------------|-----------|--------------------------------|---------------|
| V - DC | TC-1 | (10 - 30) V | 0,1 V | $\pm 0,2$ V | 0,6% |
| V - AC | TC-1 | (10 - 30) V | 0,1 V | $\pm 0,2$ V | 0,6% |
| A - DC | TC-1 | (50 - 200) A | 1 A | ± 5 A | 2,5% |
| A - AC | TC-1 | (5 - 200) A | 1 A | ± 5 A | 2,5% |
| V - DC | INTERDATA-TC-1 | (10 - 30) V | 0,1 V | $\pm 0,2$ V | 0,6% |
| V - AC | INTERDATA-TC-1 | (10 - 30) V | 0,1 V | $\pm 0,2$ V | 0,6% |
| A - DC | INTERDATA-TC-1 | (50 - 200) A | 1 A | ± 5 A | 2,5% |
| A - AC | INTERDATA-TC-1 | (50 - 200) A | 1 A | ± 5 A | 2,5% |
| $V_{\text{instantânea}}$ | INTERDATA-TC-1 | (10 - 30) V | 0,1 V | $\pm 0,2$ V | 0,6% |
| $A_{\text{instantânea}}$ | INTERDATA-TC-1 | (50 - 200) A | 1 A | ± 5 A | 2,5% |
| Potência | INTERDATA-TC-1 | (500 - 6000) W | 1 W | ± 150 W | 2,6% |

Figura 5.18 - Resultado da qualificação metrológica dos SM apresentados

O resultado da figura 5.18 mostra que os sistemas de medição apresentados, são adequados para processos de soldagem, apesar da incerteza da corrente parecer alta. Em normas como a BS7570 [9], onde são encontrados critérios para validação de equipamentos de soldagem, aparecem especificações para sistemas de medição, com incertezas de 2,5% para a corrente e 5% para a tensão.

Outro ponto a ser considerado para validação da utilização destes sistemas para processos de soldagem, é o uso dos mesmos em pesquisas e serviços desenvolvidos pelo LABSOLDA, onde a reprodutibilidade de ensaios foi obtida.

6 - CONCLUSÕES

No atual estágio de desenvolvimento da soldagem, medições são fundamentais para viabilizar reproduções de soldas, bem como para o desenvolvimento de técnicas que aumentem a produtividade e a qualidade.

A quantificação correta das variáveis envolvidas nos processos de soldagem implica utilização de sistemas de medição adequados para este ambiente.

Esses sistemas devem ser informatizados, uma vez que necessitam apresentar informações rápidas e legíveis, com maior refinamento de dados a respeito do arco, contribuindo assim para o entendimento das relações entre as variáveis do processo e propiciando uma documentação mais adequada para a Especificação de um Procedimento de Soldagem (EPS).

Uma EPS deve ter, além de um soldador qualificado para a execução do procedimento, informações dignas para a reprodução do mesmo. Por isso, devem conter os oscilogramas de corrente e tensão, que realmente representam o que ocorreu durante a soldagem.

Esses oscilogramas são facilmente obtidos com a utilização de sistemas de medição computadorizados, como os apresentados no capítulo 4. Com a redução de custos, percebida nos últimos três anos, a utilização desses sistemas no ambiente da soldagem é viável.

Assim, acredita-se que o trabalho atingiu seu principal objetivo, que é o de propor diretrizes de projeto para esses sistemas considerando a aplicação no processo de soldagem MIG/MAG.

As diretrizes apresentadas são recomendações para a escolha de transdutores, sistemas de aquisição de sinais e metodologias de desenvolvimento de software e hardware para a concepção de sistemas de medições de grandezas elétricas em processos de soldagem.

Essas recomendações ressaltam a importância para a ação de medir as grandezas de tensão e corrente no arco, mostrando que não basta apenas selecionar um voltímetro ou amperímetro mas sim, considerar algumas questões como as mencionadas nos capítulos 2 e 3. Ocorre que fatores como o ponto de medição, o tipo de valor a ser medido (se médio ou eficaz), bem como o cálculo da potência, são passíveis de erros, tanto por parte do operador como do sistema de medição utilizado.

Pelo que foi abordado no capítulo 2, conclui-se que o ponto de medição deve ser o mais próximo da tocha de soldagem, se possível no bico de contato, sendo o oscilograma de corrente e tensão a melhor forma de caracterizar o mensurando que no caso, é o arco voltaico.

Como a forma de onda da tensão e da corrente diferem das convencionais, sistemas de medição computadorizados, mostram-se mais eficientes na medição de valores médios e eficazes, pois estes calculam de modo correto o resultado de medição para corrente, tensão e potência através de programas, como demonstrado no item 2.2.4 do capítulo 2. Os sistemas apresentados no capítulo 4, foram desenvolvidos segundo as diretrizes propostas e atenderam os requisitos de medição em processo de soldagem, sendo muito versáteis, pois podem ser combinados de maneiras diferentes, conforme a aplicação.

Outra característica importante é a flexibilidade, pois são facilmente otimizados para atender a um determinado procedimento através da implementação de novas funções no software, mantendo-se a mesma plataforma de hardware.

O TC-1, primeiro sistema apresentado no capítulo 4, possui faixa de operação específica para processos de soldagem, e destaca a importância da distinção entre valores médios e eficazes para a tensão e a corrente, através de uma chave seletora no painel do instrumento. Quando integrado ao sistema de aquisição de sinais INTERDATA, formam uma plataforma muito versátil e de fácil operação, uma vez que a interface com o usuário é feita através de software, com o uso de teclas e mensagens de ajuda.

Um exemplo da versatilidade dessa plataforma é o programa "SMGSOLD", que pode monitorar em tempo real as variáveis do processo MIG/MAG, pois o operador pode visualizar na tela do computador, escalas onde são definidas faixas de operação aceitáveis para o processo, facilitando assim a detecção de anomalias durante a execução da soldagem.

O OSCILOS, outro programa desenvolvido, é recomendado para visualização dos oscilogramas de corrente e tensão. Com ele é possível visualizar a dinâmica dos sinais de tensão e corrente simultaneamente, permitindo uma análise mais criteriosa do processo. Esse programa está integrado na maioria dos projetos de pesquisa dentro do LABSOLDA, e por isto está sendo continuamente ampliado com novas funções de medição, transformando-o em uma importante ferramenta de pesquisa.

A plataforma portátil de monitoração, apresentada no item 4.4, ressalta a flexibilidade da integração INTERDATA-TC-1, e permite que a tecnologia utilizada na medição em laboratório, possa ser aplicada em campo, como ocorreram nos serviços realizados pelo

LABSOLDA em usinas hidroelétricas. Isso contribui muito para que os procedimentos desenvolvidos dentro do laboratório possam ser reproduzidos em campo.

Os procedimentos de calibração desenvolvidos permitiram validar as diretrizes, uma vez que possibilitaram analisar o desempenho metrológico dos sistemas apresentados.

Com a calibração constatou-se que a principal fonte de erro do sistema, na medição da corrente, está no transdutor. Porém, para esta faixa de medição, não está disponível hoje um transdutor de efeito Hall tipo alicate, com incerteza menor que 1%. Esse problema pode ser resolvido com a utilização de transdutores de efeito Hall tipo barra, que apresentam incerteza menores para faixa de (0 a 600) A.

Apesar do padrão de corrente utilizado na calibração dos sistemas não ser o mais adequado, pois a incerteza de medição deveria ser de 1/2 a 1/5 da incerteza do sistema a calibrar, isto não inviabilizou o procedimento de calibração.

Os padrões disponíveis hoje no LABSOLDA atenderam as exigências dos ensaios realizados, mas fica a sugestão para aquisição de um novo amperímetro com incerteza de 0,5% para a faixa de (50 a 500) A.

Na medição da tensão, os sistemas apresentaram um excelente desempenho, sendo que a incerteza do TC-1 pode ser melhorada, através de alterações no circuito eletrônico que implementem um controle de "off-set", permitindo corrigir erros sistemáticos no processo de medição da tensão.

Apesar desses aspectos, os sistemas desenvolvidos mostraram-se eficientes como ferramentas de pesquisa e garantia de reprodutibilidade de ensaios, sendo que estão integrados na realização de outras pesquisas e serviços prestados pelo LABSOLDA à comunidade.

Assim, considera-se satisfatório o resultado final deste trabalho, uma vez integrou atividades do Labmetro e do Labsolda, resultando em uma base de conhecimento que se apresenta na forma desta dissertação, além dos sistemas de medição desenvolvidos estarem instalados em empresas, contribuindo de forma significativa para o desenvolvimento da tecnologia da soldagem no Brasil.

7 - Referências Bibliográficas

- [1] AMERICAN WELDING SOCIETY. **Welding Handbook.** Welding Process Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing and Soldering. 8 ed. Miami AWS. v.2. 592p, (1991).
- [2] ANALOG DEVICE. **Data Sheet.** Especificação técnica de produto AD 536, (1993).
- [3] ASME – BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE. **Qualificação de soldagem – seção IX.** IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro - RJ, (1980).
- [4] BARB, A. M., FLESC, C.A. **Avaliação da incerteza de medição durante o projeto de cadeias de medição automatizadas.** II SEMETRO – Seminário Internacional de metrologia elétrica - ANAIS, Rio de Janeiro – RJ, (1998).
- [5] BARBOSA, V.M., OLIVEIRA A.C., NETO, A. O., SILVA, M.T.F. **Incerteza das medições em processo de calibração de instrumentos e sistemas de medição de alta e baixa tensão.** III SEMETRO – Seminário Internacional de metrologia elétrica - ANAIS, Rio de Janeiro – RJ, (1998).
- [6] BENNICH, P. **Dimensional Quality Control and Quality Management in Manufacturing Companies.** Seminário Internacional de Metrologia para Controle da Qualidade, Fundação CERTI, Florianópolis, (1997).
- [7] BONISZEWSKY, T. **Self-Shielded Arc Welding. Woodhead Publishing Ltd. in Association with the Welding Institute.** Cambridge England -UK, (1992).
- [8] BRIANT M., NAGAMITE, L., COSTA, J., LUCIANO, F.A. **Interpretação de especificações de osciloscópios.** III SEMETRO – Seminário Internacional de metrologia elétrica - ANAIS, Rio de Janeiro – RJ, (1998).
- [9] BRITISH STANDARD **Validation of arc welding equipment - BS 7570.** BSI Standards Institution - England - UK, (1992).
- [10] CORRÊA, L. C. F. **Avaliação de arquiteturas de comunicação distribuídas para interligação de sensores/atuadores.** Dissertação de Mestrado, EEL - Universidade Federal de Santa Catarina, (1996).

- [11] COSTA, A. M.,
OLIVEIRA, A. B.,
VASCONCELOS, F.H. **Medições de sinais com instrumentação virtual.**
III SEMETRO – Seminário Internacional de metrologia elétrica -
ANAIS, Rio de Janeiro – RJ, (1998).
- [12] DIETRICH E. **Mesasurement system capability study state of the art.**
III SEMETRO – Seminário Internacional de metrologia elétrica -
ANAIS, Rio de Janeiro – RJ, (1998).
- [13] DUTRA J. C.
QUITES A.. M. **Tecnologia da soldagem a arco voltaico.**
Florianópolis - SC ,EDEME, (1979).
- [14] DUTRA J. C.,
OLLÉ L. F. **Controle e instrumentação para pesquisa em soldagem a arco.**
I Encontro Regional de Automação e Instrumentação, Espírito Santo, Ref.: API-47, (1989).
- [15] DUTRA J.C.
SCHNEIDER,C.A.
OLLÉ L. F. **Banco de ensaios para estudo de controle e automação do processo de soldagem MIG/MAG.**
XIII Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, ABS, São Paulo - p. 471-488, (1987).
- [16] DUTRA, J. C.
OLLÉ, L. F.
KIRST, E.R. **Uma contribuição ao estudo da seleção de variáveis na soldagem MIG/MAG pulsada**
Congresso Regional Latino Americano de Soldagem, Rio de Janeiro, RJ Abril, v2,pag 925-942, (1992).
- [17] DUTRA, J.C. **Procedimento Computadorizado de Determinação, Seleção e Controle de Variáveis de soldagem MIG/MAG.**
Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, julho, (1998).
- [18] FARÁR, P.
BRENZINA, I. **Traceability and calibration.**
Slovensky metrologický ústav, XIV IMEKO, (1995).
- [19] FRADEN, J. **Handbook of modern sensors.**
American Institute of Physics, Woodbury, New York, (1996).
- [20] GUIMARÃES, A., S.,
PIN, J.C.D. **Estudo da potência dissipada em processo TIG Pulsado através da análise estatística de parâmetros de pulso.**
XXIV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Fortaleza - CE, ref. CT/56, (1997).
- [21] NORTON, H. N. **Handbook of transducers.**
Prentice Hall PTR, Englewood, New Jersey, (1989).
- [22] HEWLETT PACKARD. **Manual do Multímetro HP - 34401A.**
Hewlett Packard, (1990).

- [23] INMETRO. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia.**
Instituto nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial,- Portaria 29, Duque de Caxias - RJ, (1995).
- [24] ISO. **Guide to the expression of Uncertainty in measurement.**
International Organization for Standardization, USA, (1993).
- [25] ISO. **Geometrical Product Specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring instruments.**
Part_2./TR1453-2 - (1992).
- [26] ITT INSTRUMENTS. **Manual do Amperímetro MX 1200S.**
ITT Instrumenst, (1987).
- [27] LINK, W. **Metrologia mecânica – Expressão da incerteza de medição.**
Programa RH metrologia – Mitutoyo – Rio de Janeiro – RJ – 174p, (1997).
- [28] LUCHTENBERG, H.Jr.
BAIXO, C.E.
DUTRA, J.C. **Desenvolvimento de uma nova geração de programas para a análise estatística da soldagem a arco.**
XXII Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Blumenau – SC, 1996, v1, pag. 421-431, (1996).
- [29] MACHADO, I. G. **Soldagem e técnicas conexas Processos.**
Porto Alegre – RS, (1996).
- [30] MAMANI, L.C.,
GOHR R.Jr.
DUTRA, J.C. **Desenvolvimento de um programa computacional para controle sinérgico de processos de soldagem MIG/MAG.**
XXII Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Blumenau – SC, v1, pag. 401-410, (1996).
- [31] MARQUES, L.S.B. **Controle da corrente de soldagem através de um conversor Buck utilizando a técnica da modulação por valores extremos.**
Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, (1997).
- [32] MOTA, C. A. M. **Níquel e manganês como controladores da tenacidade na soldagem com arames tubulares autoprotégidos.**
Tese de Doutorado, UFSC, (1998).
- [33] NATIONAL INSTRUMENTS. **Instrumentation – Catalogue 1998.**
National Instruments, USA, (1998).
- [34] OLIVEIRA, A.M.,
ALVARENGA, B.P.,
ARAUJO, S.C.N,
ZOCOLLI, J.C. **Medição de energia elétrica em sistemas não senoidais conceituação, qualificação e erros.**
III SEMETRO – Seminário Internacional de metrologia elétrica - ANAIS, Rio de Janeiro – RJ, (1998).

- [35] OLLÉ, L.F.,
DUTRA, J.C. **A pesquisa na Universidade Federal de Santa Catarina para o desenvolvimento de instrumentação de soldagem.**
XV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, São Paulo - SP, pag. 301-317, (1996).
- [36] OSTER, E. **On line weld monitoring - CAQ in welding-state of technology and practical experience in Germany.**
Seção IIW - Revista Soldagem & Inspeção, Brandi-RJ, pag. 11-16, (1998).
- [37] PASSOS, Z S. **Software para cadastramento, gerenciamento monitoração e seleção de documentos técnicos de soldagem.**
XXIII ENTS - Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem - São Paulo - SP - pag. 329 - (1997).
- [38] PAULA, O. S.;
DUTRA J. C.; **Uma contribuição para a comparação entre o processo MIG/MAG convencional e pulsado.**
XXII Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem - Anais ABS, Santa Catarina, p. 239-250, (1996).
- [39] ROTHERY, B. **ISO 9000.**
São Paulo - SP, Makron Books do Brasil Editora Ltda., (1993).
- [40] SABLÓN, V.I.B.,
CHIQUITO, J.G. **Sistema operacional, para uma rede automatizada de calibração de instrumentos com interfaceamento IEE-488.**
III SEMETRO - Seminário Internacional de metrologia elétrica - ANAIS, Rio de Janeiro - RJ, (1998).
- [41] SALOMÃO, J M. **Análise de adequação e performance de redes industriais de comunicação tipo fieldbus para aplicação em malhas fechadas de controle.**
Dissertação de Mestrado, EEL - Universidade Federal de Santa Catarina, (1994).
- [42] SCOTT, A.,
COSTA, U. P.,
PEREIRA, W. A. **Avaliação do efeito dos parâmetros sobre características operacionais nos processos MIG Pulsado e MAG Curto-Circuito.**
XXI Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Caxias do Sul - RS, 1995, pag. 529-542, (1995).
- [43] STEMMER, M.R. **Redes locais industriais.**
Curso de redes locais industriais, LCMI/UFSC, (1995).
- [44] THEISEN, A..M. F **Fundamentos da metrologia Industrial - Aplicação no processo de certificação ISO 9000.**
Álvaro Medeiros de Faria Theisen - Porto Alegre - RS - 205 p, (1997).

- [45] TOHR, E.,
ALVES, R.G,
AFONSO, E. **Sistema automatizado para transferência, manutenção e calibração de tensão DC.**
ANAIS - III SEMETRO – Seminário Internacional de metrologia elétrica, Rio de Janeiro – RJ, (1998).
- [46] VIEIRA, J. A. E. **Sistema gerenciador de procedimentos de soldagem.**
XXII ENTS - Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem - Blumenau - SC - pag. 441 - (1996).
- [47] WINIECKI, W. **Virtual Instruments - What does it really mean?**
Institute of Radioelectronics, XIV IMEKO, (1995).