

CAPÍTULO III

MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo é apresentada uma descrição dos consumíveis e dos equipamentos utilizados. Será descrito também a metodologia utilizada para as etapas que foram realizadas durante o trabalho.

3.1 Consumíveis

Os consumíveis utilizados neste trabalho foram basicamente chapas de aço inoxidável ferrítico, arames eletrodos de aço inoxidável ferrítico e seis tipos de gás de proteção.

3.1.1 Material de Base

O material de base utilizado foi o aço inoxidável ferrítico com 17% de cromo, bi-estabilizado ao nióbio e ao titânio, cuja composição química é a descrita na Tabela 3.1, sendo a medição realizada por espectrômetro óptico. Este material foi cedido pela empresa ACESITA S.A. Os corpos de prova utilizados possuíam as seguintes dimensões: 200 x 60 x 5 mm.

Tabela 3.1. Composição química do material de base utilizado

Elem.	C	Cr	Mn	N	Nb	Ni	P	S	Si	V	Ti
Val.	0,0095	17,1284	0,1434	0,0075	0,2009	0,1777	0,0234	0,0027	0,4032	0,0507	0,1984

3.1.2 Material de Adição

Foram utilizados três tipos de material de adição de aço inoxidável ferrítico, sendo um não estabilizado (ER430), um estabilizado ao titânio (ER430Ti) e outro estabilizado ao nióbio (ER430LNb). As Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4 mostram a composição química dos arames utilizados. O primeiro ER430 possui um diâmetro de 1,2 mm e os dois outros possuem um diâmetro de 1,0 mm e foram cedidos pela empresa ACESITA S.A., que também realizou as análises das composições químicas por via úmida de todos os arames.

Tabela 3.2. Composição química do arame eletrodo ER430

Elem.	C	Cr	Mn	S	P	Si	Ti
Val.	0,0755	16,5	0,308	0,0113	0,025	0,43	0,0024

Tabela 3.3. Composição química do arame eletrodo ER430Ti

Elem.	C	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	S	Si	Ti
Val.	0,1077	0,25	17,45	0,16	0,65	0,036	0,4	0,0024	1,04	0,35

Tabela 3.4. Composição química do arame eletrodo ER430LNb

Elem.	C	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Nb	Ni	S	Si	Ti
Val.	0,027	0,27	17,66	0,19	0,425	0,034	0,44	0,215	0,0035	0,43	0,0039

3.1.3. Gás de Proteção

Para a realização dos testes foram utilizados seis tipos de gás de proteção. As misturas foram obtidas em laboratório (LAPROSOLDA), uma vez que há uma maior precisão na porcentagem contida nos gases quando se faz uma mistura do que quando se utiliza um gás de proteção comercial. Os gases de proteção utilizados foram os seguintes:

- Ar;
- Ar+2%O₂;
- Ar+4%O₂;
- Ar+2%CO₂;
- Ar+4%CO₂;
- Ar+8%CO₂;

A Figura 3.1 mostra o equipamento utilizado para a realização das misturas dos gases de proteção. Com o auxílio do programa ROTO, desenvolvido em Excel[®] pelo LAPROSOLDA, estima-se qual dos quatro manômetros graduados deve-se utilizar cada

gás da mistura e qual a quantidade que deve-se utilizar, obtendo-se a mistura desejada. Vale ressaltar que para garantir a precisão das misturas o misturador foi anteriormente calibrado.

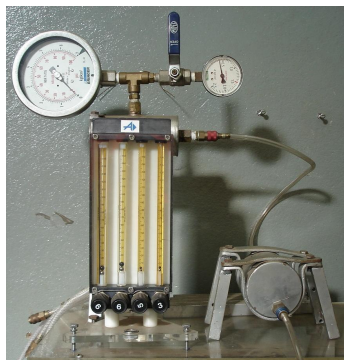


Figura 3.1. Misturador de gases.

3.2. Equipamentos

3.2.1. Fonte de Soldagem

Para a realização dos testes, foi utilizada uma fonte eletrônica multiprocessos, mostrada na Figura 3.1, selecionada para operar no processo MIG/MAG no modo tensão constante, cujas principais características são:

- Corrente contínua ou alternada (convencional ou pulsada);
- Corrente nominal de 300 A para fator de serviço de 100 %;
- Corrente máxima de 450 A;
- Tensão em vazio de 70 V;

3.2.2. Mesa de Coordenadas

Utilizou-se também uma mesa de coordenadas XY (Figura 3.2), ligada a um computador, que por meio de um programa desenvolvido no LAPROSOLDA/UFU, pode-se determinar as coordenadas que a tocha de soldagem percorrerá.

3.2.3. Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados

Para monitorar os sinais elétricos do arco (corrente e tensão) foi usada uma placa de aquisição de dados de 8/12 bit, acoplada a um microcomputador PC 386 SX, 33 MHz, e um

"software" para leitura em dois canais. O sinal de corrente foi obtido pelo sensor de "efeito Hall" (placa EH-2). Como a placa de aquisição tem uma faixa de entrada de sinal de 0 a 10V, para se obter o sinal de tensão foi utilizado um divisor de tensão (DTS-6). Sendo que as duas placas foram ligadas na entrada da fonte.



Figura 3.1. Fonte de soldagem Inversal 300.

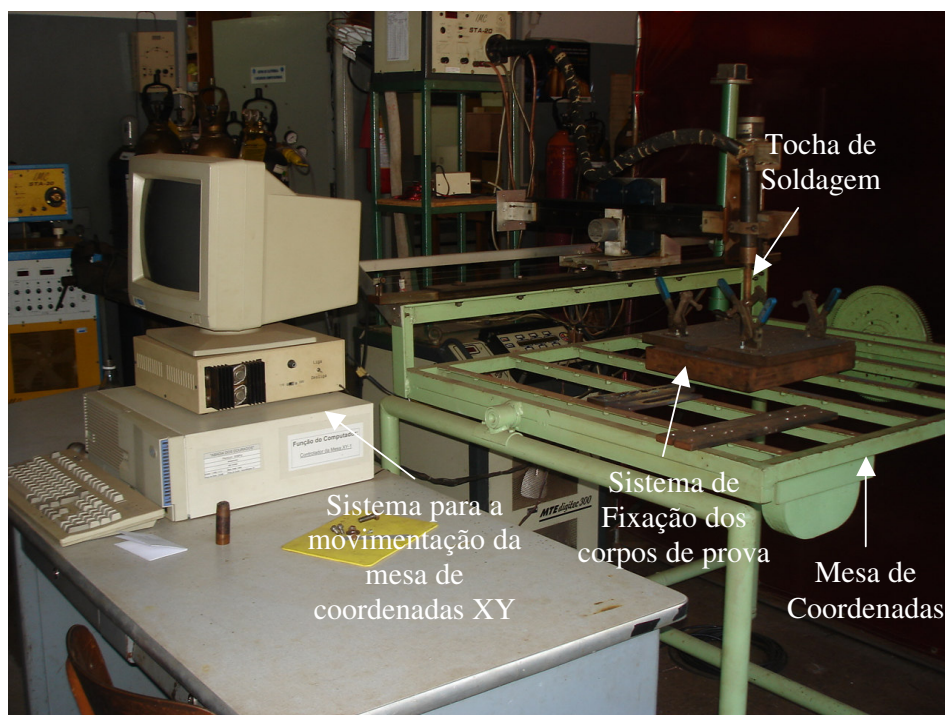


Figura 3.2. Mesa de Coordenadas XY

Tanto para a aquisição dos sinais de corrente e tensão, como para tratamento destes sinais, utilizou-se um "software" chamado "UBMIG", realizando a leitura de corrente e tensão, atuando em 12 bits, com a frequência de aquisição de 12 kHz e o tempo de aquisição de 5s.

Com os dados obtidos é possível analisar a frequência de curto-circuito, utilizando o programa ANALISCC, desenvolvido pelo Laboratório de Soldagem da UFC. Os parâmetros utilizados neste programa foram tensão de referência de curto-circuito de 15 V, tempo mínimo de curto-circuito com transferência da gota de 0,6 ms e tempo máximo de reabertura de 0,3 ms. A Figura 3.3 mostra o significado dos parâmetros em um diagrama de tensão, segundo Farias (1993).

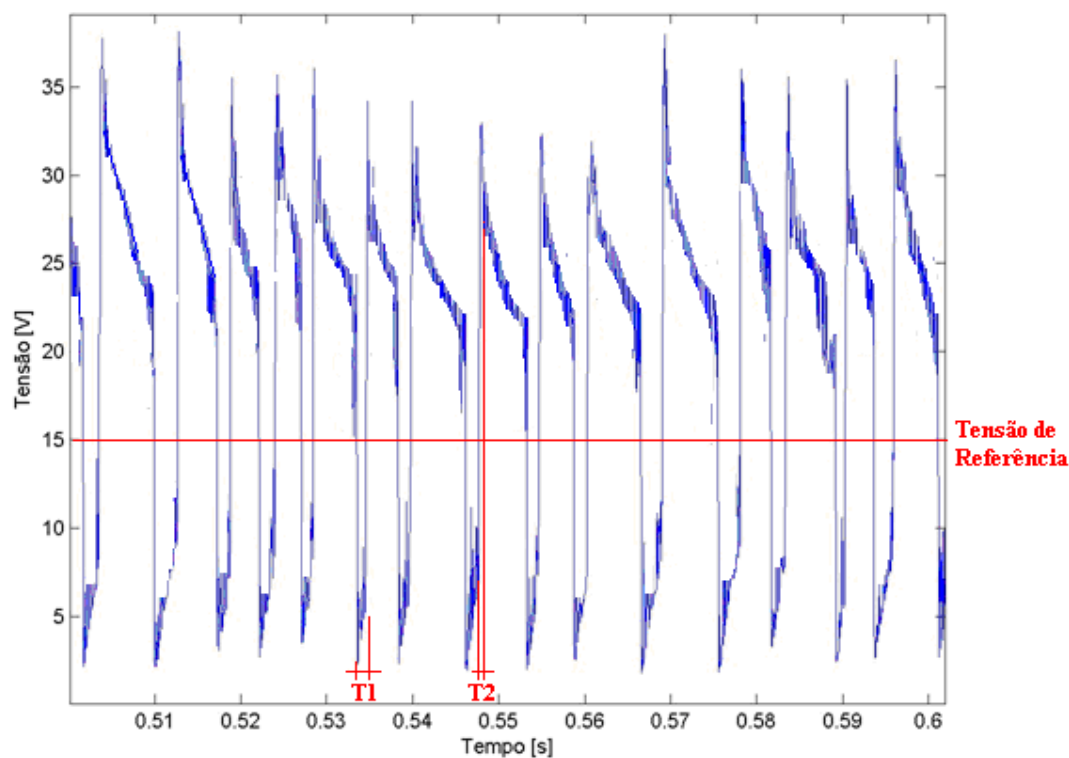


Figura 3.3. Parâmetros utilizados no programa ANALISCC demonstrados no diagrama de tensão para o arame ER430 e o gás de proteção argônio, onde T1 é o tempo mínimo de curto-circuito com transferência da gota e T2 é o tempo máximo de reabertura.

Os valores encontrados para os parâmetros utilizados no programa ANALISCC foram selecionados por tentativa e erro comparando os resultados de frequência de curto-circuito obtidos pelo programa com o número de curto-circuito encontrados em faixas amostrais dos

gráficos impressos utilizando o programa MATLAB[®], para os mesmos experimentos. Padronizaram-se então para todos os ensaios os parâmetros que mais aproximavam os valores de curto-circuito para os dois métodos. Este procedimento tornou-se necessário uma vez que não se encontrou na literatura padrões para estes parâmetros para a medição em um processo MIG/MAG.

3.2.4. Sistema de Lixamento e Polimento das Amostras

O lixamento foi realizado inicialmente de forma manual, utilizando o equipamento mostrado na Figura 3.6. Uma vez que os corpos de prova foram cortados na serra alternativa tornou-se necessário a utilização de lixas a partir da lixa 50 granos. Os corpos de prova foram lixados até a lixa de 1200 granos.



Figura 3.6. Sistema para Lixamento

Após o lixamento com a lixa 1200, realizou-se o polimento com a politriz (Figura 3.7), utilizando a pasta de diamante de 1 μ m.



Figura 3.7. Politriz

3.2.5. Sistema para Medição dos Cordões

O sistema para realização de medições em cordões de soldagem é composto por uma filmadora Hitachi KP-110, uma lente de aumento de 25x da Elicar Super Macro MC, 90mm f/2.5 Ø5.5 No. 721333, por um micro computador e por uma lâmpada para auxílio na aquisição das imagens, como mostra a Figura 3.8.

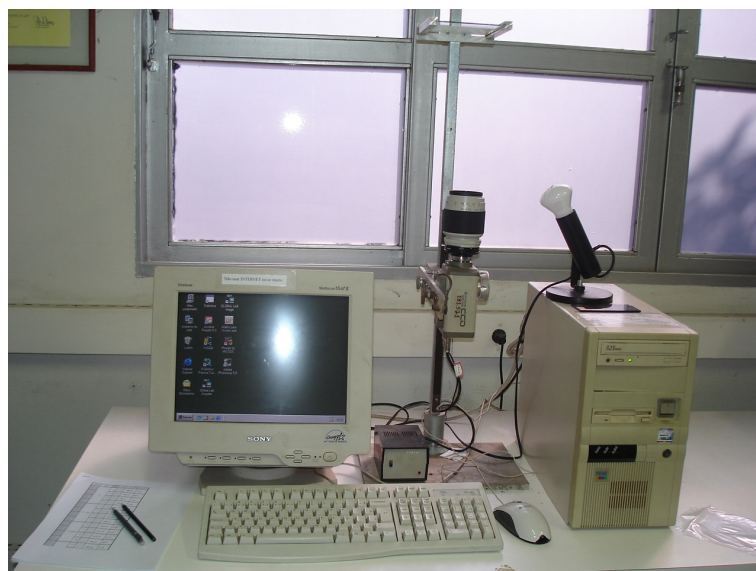


Figura 3.8. Sistema de medição de cordões de solda

Utilizando o software Global Lab Acquire faz-se a aquisição de um padrão, que é

uma malha e com o mesmo ajuste de zoom utilizado na lente para o padrão realiza-se as aquisições das imagens dos cordões a serem analisados.

Para a realização das medições nas imagens dos corpos de prova adquiridos utiliza-se o programa Global Lab Image, sendo necessário primeiramente a realização da calibração para tal.

3.2.6. Sistema para Análise Microestrutural

Para a análise microestrutural utilizaram-se os equipamentos da empresa ACESITA S.A. que é composto por um microscópio óptico Leica, com um computador para auxiliar na captação das imagens, como mostra as Figura 3.9 e 3,10.



Figura 3.9. Microscópio óptico Leica



Figura 3.10. Sistema para a análise microestrutural.

3.2.7. Sistema para Medição de Microdureza

O ensaio de microdureza foi realizado com o auxílio de um microscópio ótico da empresa ACESITA S. A. e o padrão utilizado foi a microdureza Vickers. A força utilizada foi de 0,2452N, ou seja, 25g. A dimensão da pirâmide utilizada foi a padrão para o ensaio HV. As Figuras 3.11 e 3.12 mostram o sistema de medição de microdureza.

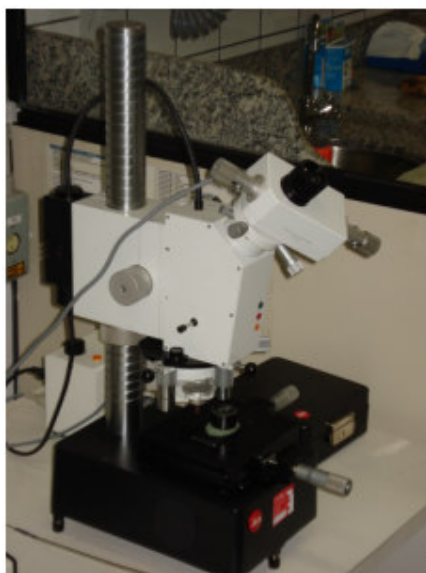


Figura 3.11. Microdurômetro



Figura 3.12. Sistema de medição de microdureza.

3.3. Metodologia dos Testes de soldagem

Esta metodologia foi dividida em duas etapas. A primeira etapa foi composta do levantamento dos parâmetros de soldagem e confirmação de que todos os testes encontrados possuíam energias de soldagem similares, fazendo a comparação gráfica da geometria encontrada dos cordões de solda.

A segunda etapa foi composta da realização de três camadas para cada gás de proteção e arame, para realizar a análise da composição química, de dureza e da microestrutura formada.

3.3.1. Primeira Etapa

Esta etapa foi dividida em duas fases, que são elas a seleção dos parâmetros e as medições dos cordões. Estas fases serão descritas detalhadamente abaixo.

3.3.1.1. Seleção dos parâmetros

Para a realização desta etapa, primeiramente determinou-se que seriam realizados utilizando o material de base inoxidável ferrítico com 17% de cromo bi-estabilizado e o material de adição ER430 testes com os seis gases de proteção e que seria variada a distância de bico de contato-peça (DBCP), deixando os demais parâmetros (velocidade de soldagem, velocidade de alimentação, tensão e indutância) constantes.

Portanto, variou-se a DBCP em 12, 14, 16 e 18 mm, para os seis gases de proteção. Para ter uma maior confiabilidade nos dados obtidos repetiu-se cada teste quatro vezes. Totalizaram-se, portanto, em noventa e seis testes.

Para cada teste coletaram-se as informações de valor de corrente média e eficaz, tensão média e eficaz que eram dadas diretamente pelo programa Ubmig, que como já mencionado foi utilizado para a aquisição dos dados.

Utilizou-se então o programa AnalisCC para a medição da frequência de curto-circuito. Após isto os gráficos foram impressos utilizando o Matlab® para averiguação do valor encontrado.

Com os dados de corrente média de soldagem, frequência de curto-circuito e os valores de DBCP utilizados foi possível montar gráficos de DBCP por corrente média de soldagem e por frequência de curto-circuito para os gases de proteção utilizados.

A partir de análise realizada com os gráficos tornou-se possível identificar uma região possível de trabalho, onde se encontra uma mesma corrente média de soldagem e frequências de soldagem próximas e altas para uma melhor estabilidade.

Buscou-se a mesma corrente média de soldagem uma vez que era necessário que todos os testes possuíssem a mesma potência de soldagem, que é diretamente dependente da corrente média de soldagem e da tensão de soldagem e é inversamente dependente da taxa de deposição. Como a velocidade de alimentação, velocidade de soldagem (que determinam a taxa de deposição) e a tensão de soldagem foram impostas e de forma constante para o arame ER430, logo, buscou-se a corrente constante para todos os testes com este arame.

Para os outros dois arames (ER430Ti e ER430LNb), baseou-se nos parâmetros encontrados para o ER430. Foram necessárias pequenas alterações para se ter a mesma energia de soldagem, uma vez que os diâmetros dos dois arames eram diferentes do ER430, sendo necessário, portanto, que se realizasse uma alteração na velocidade de alimentação para que houvesse uma compensação na taxa de deposição em comparação com os testes com o ER430, uma vez que a velocidade de soldagem foi mantida constante. Logo, encontrou-se as mesmas correntes médias para os testes com os arames ER430Ti e ER430LNb que as encontradas com o arame ER430.

3.3.1.2. Medições dos Cordões

Utilizaram-se então os dezoito testes (para os seis gases de proteção e os três arames) e cortaram-se estes em três regiões distintas, sendo uma a 50 mm do início do cordão, uma no centro do cordão e uma a 50 mm do término do cordão.

Como já mencionado, como foram cortados com serra alternativa, tornou-se necessário lixar com as lixas de 50, 80, 150, 220, 400, 600 e 1200 granos. Após este procedimento realizou-se o polimento com a pasta de diamante de 1 μ m.

Depois do polimento realizou-se o ataque químico utilizando Vilella (1 g de ácido pícrico, 5 ml de ácido clorídrico e 100 ml de etanol). E após esta etapa as amostras foram levadas ao sistema de medições dos cordões onde foram realizadas as medições de penetração, largura, reforço e as áreas da zona fundida.

3.3.2. Segunda Etapa

Esta etapa pode ser dividida em quatro subitens, sendo eles a confecção dos corpos de prova, análise da composição química dos corpos de prova, análise da microestrutura formada e medidas de dureza, sendo que as três últimas etapas foram realizadas na ACESITA.

3.3.2.1. Confeção dos corpos de prova

Para a realização da confecção dos corpos de prova utilizaram-se os dezoito parâmetros de soldagem encontrados descritos no subitem Seleção de Parâmetros e realizaram-se soldagens “bead on plate” de três camadas de forma que a última camada possuísse uma espessura mínima de 40 mm. A configuração das soldas realizadas pode ser observada na Figura 3.13. A confecção dos corpos de prova foram realizados conforme a norma DIN. Nº8555, norma esta que foi utilizada anteriormente por Bálamo (1995).

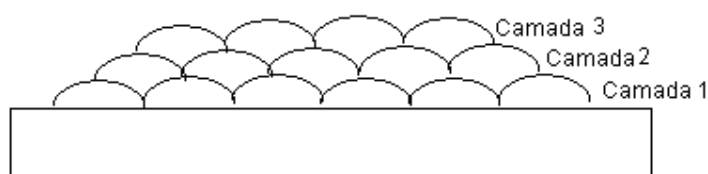


Figura 3.13. Configuração das soldas realizadas nos corpos de prova

Para cada corpo de prova retiraram-se duas partes a serem estudadas. Uma destas partes era formada por um corpo de prova com dimensões de 40x40 mm para realização da análise da composição química.

A outra parte a ser estudada foi retirada do último cordão de solda realizado na última camada de solda, que foi utilizado para a análise microestrutural e para as medições de dureza.

3.3.2.2. Análise da Composição Química dos corpos de prova

Nesta etapa realizou-se a medição dos dezoito corpos de prova pelo método de espectrômetro de emissão óptica.

Para realizar uma análise comparativa dos valores determinados por espectrometria óptica, determinaram-se os valores teóricos das composições químicas por meio do diagramada de Schaeffler, utilizando o programa Schaeffler da empresa ESAB.

3.3.2.3. Análise Microestrutural

Para a realização desta etapa os corpos de prova foram lixados, polidos e atacados com o reagente Vilella.

Com os corpos de prova atacados utilizou-se o microscópio óptico para realizar análises com os aumentos 8x, 25x, 100x, 200x e 500x, para posteriormente as imagens

serem analisadas.

3.3.2.4. Medições de Microdureza

Nesta etapa utilizaram-se os mesmos corpos de prova utilizados na análise microestrutural. Foram realizadas três medidas de microdureza (Vickers) na matriz ferrítica e três medidas na martensita da cada corpo de prova (sendo esta ultima etapa realizada nos corpos de prova onde a martensita existia ou era suficientemente grande para realizar a medida).

3.4. Fluxograma da Metodologia Apresentada

Para auxiliar a discussão da metodologia a Figura 3.14 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada.

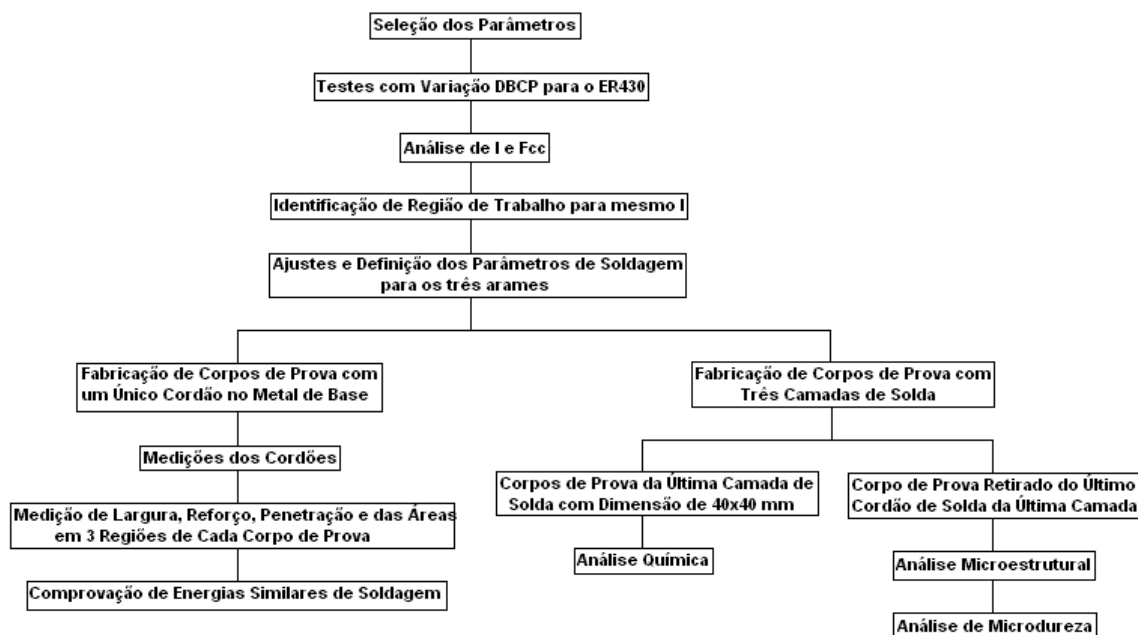


Figura 3.14. Fluxograma da metodologia utilizada