

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**RÔMULO FABIANO MENEGATTI DE SOUZA**

**ESTUDO COMPARATIVO DA GRANULOMETRIA DO PÓ DE AI  
UTILIZADO COMO REVESTIMENTO DEPOSITADO POR SOLDAGEM  
TIG COM DISPOSITIVO ADAPTADO PARA DEPOSIÇÃO DE PÓ  
METÁLICO.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2**

Cornélio Procópio

2014

**RÔMULO FABIANO MENEGATTI DE SOUZA**

**ESTUDO COMPARATIVO DA GRANULOMETRIA DO PÓ DE AI  
UTILIZADO COMO REVESTIMENTO DEPOSITADO POR  
SOLDAGEM TIG COM DISPOSITIVO ADAPTADO PARA  
DEPOSIÇÃO DE PÓ METÁLICO.**

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Coordenação de Engenharia Mecânica (COEME), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> M<sup>a</sup> Émillyn Ferreira Trevisani Olivio

Cornélio Procópio

2014



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Cornélio Procopio  
Coordenação de Engenharia Mecânica  
Engenharia Industrial Mecânica



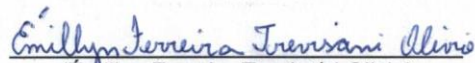
## TERMO DE APROVAÇÃO


ESTUDO COMPARATIVO DA GRANULOMETRIA DO PÓ DE AI  
UTILIZADO COMO REVESTIMENTO DEPOSITADO POR SOLDAGEM  
TIG COM DISPOSITIVO ADAPTADO PARA DEPOSIÇÃO DE PÓ  
METÁLICO.

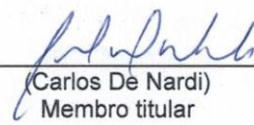
por

RÔMULO FABIANO MENEGATTI DE SOUZA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 30 de julho de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

  
(Emillyn Ferreira Trevisani Olivio)  
Profª Orientadora

  
(Paulo Cezar Moselli)  
Membro titular

  
(Carlos De Nardi)  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

## DEDICATÓRIA

A minha mãe, minha família, aos meus amigos que sempre estiveram comigo nesta caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente a minha orientadora Prof<sup>a</sup> M<sup>a</sup> Émillyn Ferreira Trevisani Olivio pela paciência e pela ajuda, ao professor Conrado Di Raimo, sempre disposto a me auxiliar e a me ouvir, ao Paulo Cezar Moselli que auxiliou nas deposições e ao Carlos de Nardi.

A minha amada mãe que nunca me deixou desanimar nos momentos mais difíceis do curso, os quais não foram poucos, ao meu pai, a minha tia e a minha avó que foram como mães para mim, minha família e a todos que fizeram parte destes anos de faculdade.

Aos meus amigos de jornada Gean, Luiz Padoan, Wellington, Ricardo, Otavio, que certamente são pessoas que levo para sempre em minha vida, mesmo que os caminhos nos separem.

"Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá."

*Ayrton Senna*

SOUZA, Rômulo Fabiano Menegatti. **ESTUDO COMPARATIVO DA GRANULOMETRIA DO PÓ DE Al UTILIZADO COMO REVESTIMENTO DEPOSITADO POR SOLDAGEM TIG COM DISPOSITIVO ADAPTADO PARA DEPOSIÇÃO DE PÓ METÁLICO**. Cornélio Procópio. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

## RESUMO

Neste trabalho estudou-se as características que diferentes faixas de granulometrias do pó de alumínio pudessem propiciar ao cordão de solda, a dureza e melhores aspectos visuais. Foi depositado o pó de alumínio com faixa de granulometria entre 45-106 $\mu$ m e 106-180 $\mu$ m em substratos de aço carbono ABNT 1020. Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de microdureza Vickers e a análise por microscopia ótica, onde foi verificado que as amostras apresentaram uma qualidade excelente em termos de dureza, com valores que superaram 900 HV, muito possivelmente devido à formação de óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Visualmente, através da análise das imagens determinadas pelo microscópio ótico, foi verificado que as amostras com granulometria menor apresentaram um aspecto uniforme e as amostras com granulometria maior, apresentaram imperfeições como a falta de material fundido, provavelmente devido à dificuldade de transporte pelo gás de alimentação, ou ainda a corrente utilizada para a soldagem ter sido baixa. O experimento foi considerado satisfatório, o método de soldagem TIG alimentado a pó conseguiu provar sua eficácia e funcionamento adequado para melhores técnicas comerciais disponíveis.

**Palavras-chave:** (GTAW – P). Alumínio.

SOUZA, Rômulo Fabiano Menegatti. **COMPARATIVE STUDY OF Al POWDER GRANULOMETRY APPLIED AS COATING DEPOSITION BY TIG WELDING DEVICE ADAPTED FOR DEPOSIT OF METALLIC POWDER.** Cornélio Procópio. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014

## **ABSTRACT**

In this work, it was studied the characteristics of aluminum powder in different particle sizes for the weld bead, analyzes were in visual aspects and hardness. Aluminum powder with a particle size between 45-106 $\mu$ m and 106-180 $\mu$ m were deposited on carbon substrates AISI 1020. Specimens were subjected to Vickers hardness test and optical microscopy, it was found that the samples showed an excellent quality in hardness, with values that exceeded 900 HV, probably due to the formation of aluminum oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Visually, by analyzing the images determined by optical microscopy, it were verified that samples with smaller particle size showed a uniform appearance and samples with large grain size showed imperfections such as lack of melt, probably due to the difficulty of transporting through the feed gas. The experiment was considered satisfactory, the welding method TIG by powder feeding managed to prove its effectiveness and proper functioning to the best marketing techniques available.

**Keywords:** (GTAW – P). Coating



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do processo TIG .....	13
Figura 2 - 1) Soldagem TIG autógena; 2) Soldagem TIG com metal de adição. ....	14
Figura 3 - Cordão de solda realizado através de solda TIG .....	15
Figura 4 - Esquema dos equipamentos básicos para soldagem TIG .....	15
Figura 5 - a) Desenho do bico direcionador, com 8 furos concêntricos. b) Desenho do protótipo e dispositivo .....	17
Figura 6 – a) Desenho em corte total do dispositivo, juntamente com o protótipo, b) Foto da vista inferior do protótipo, após teste de deposição. ....	18
Figura 7 - Foto dos corpos de prova .....	21
Figura 8 – A) Foto do dispositivo alimentador de pó, B) Detalhe do recipiente com pó de alumínio .....	23
Figura 9 - Foto da central de soldagem utilizada para as deposições, modelo Inversal 450.....	23
Figura 10 - Foto do dispositivo de avanço automático - Tartilope V2.....	24
Figura 11 - Tocha GTAW-P.....	24
Figura 12 - Esquema das deposições. ....	25
Figura 13 - Cortadora metalográfica AROTEC COR-40, UTFPR-CP.....	26
Figura 14 - Embutidora automática Tempopress2, UTFPR-CP. ....	26
Figura 15 - Corpo de prova embutido sem lixamento e sem polimento. ....	27
Figura 16 - Microscópio Ótico, UFPR.....	28
Figura 17- Microdureza Vickers x número de identificações. ....	30
Figura 18 - a) Imagem da seção transversal do cordão de solda com granulometria de 106-180 micrometros, b) Imagem da zona termicamente afetada. ....	31
Figura 19 - a) Foto do cordão de solda com granulometria de 45-106 micrometros. b) Zona termicamente afetada.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre o limite de resistência do alumínio e os intermetálicos .....	19
Tabela 2 – Composição química do aço ABNT 1020.....	21
Tabela 3 – Dimensões das chapas Aço ABNT 1020.....	21
Tabela 4 - Parâmetros de Soldagem.....	25
Tabela 5 - Valores da Microdureza Vickers obtidos na amostra 1 .....	29
Tabela 6 - Valores da Microdureza Vickers obtidos na amostra 2 .....	29

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ADP	Dispositivo Alimentador de Pó
ASTM	American Society for Testing and Materials
DAMEC	Departamento de Engenharia Mecânica
ER	Eletrodo Revestido
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
HRC	Hardness Rockwell na escala C
HV	Hardness Vickers
LABAST	Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagem Especiais
LAMAST	Laboratório de Materiais e Superfícies
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MIG/MAG	Metal Inert Gas / Metal Active Gas
MO	Microscopia Óptica
NBR	Norma Brasileira
PAT-P	Plasma de Arco Transferido alimentado por Pó
PTA	Plasma Transferred Arc
PTA-P	Plasma Transferred Arc – Powder
SATG	Soldagem ao Arco Tungstênio com Atmosfera Gasosa
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
TIG	Tungsten Inert Gas
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS .....	12
1.1.1 Objetivos Gerais .....	12
1.1.2 Objetivos Específicos .....	12
1.2 JUSTIFICATIVA .....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1 PROCESSO GTAW (GAS TUNGSTEIN ARC WELDING) .....	13
2.2 SOLDAGEM POR GTAW COM DISPOSITIVO ADAPTADO PARA DEPOSIÇÃO DE PÓ METÁLICO (GTAW – P) .....	16
2.3 ALUMINIO E REVESTIMENTOS .....	18
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
3.2 SUBSTRATO .....	20
3.3 COMPOSIÇÃO DO PÓ .....	22
3.4 TIG COM DISPOSITIVO ADAPTADO PARA DEPOSIÇÃO DE PÓ METÁLICO (GTAW-P) .....	22
3.4.1 Dispositivo alimentador de pó (ADP) .....	22
3.4.2 Fonte de soldagem .....	23
3.4.3 Sistema de deslocamento automático .....	24
3.4.4 Tocha GTAW-P .....	24
3.4.5 Parâmetro para deposição .....	25
3.5 CARACTERIZAÇÃO .....	26
3.5.1 Microdureza .....	27
3.5.2 Microscopia Ótica (MO) .....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>29</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO .....	29
4.1.1 Microdureza .....	29
4.1.2 Análise por Microscopia Ótica .....	31
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade do mercado mundial, por materiais que apresente melhores propriedades físicas e mecânicas, para as aplicações mais severas, vem se tornando cada vez maior. Em função desta demanda, as empresas de alta tecnologia estão investindo em pesquisas, tanto no sentido de otimizar os materiais já existentes, como também, na inovação, em termos de processos de fabricação. Praticamente todos os setores industriais sofrem com os efeitos dos diversos mecanismos de desgaste, nas superfícies das peças. Normalmente, são solicitações localizadas, que degradam as peças, por intermédio de mecanismos de desgaste como: abrasão, adesão, cavitação, os quais podem também estar combinados com fenômenos químicos, como a corrosão. A seleção do tipo de revestimento e da liga a ser depositada depende de vários fatores, como: as condições de operação, as características do metal de base, a relação custo/benefício e o custo de processamento. A soldagem, que é uma das técnicas utilizadas, para o revestimento metálico, tem por principal finalidade controlar a corrosão e melhorar a resistência ao desgaste. (MOSELLI, 2013).

O alumínio é o terceiro metal mais abundante na crosta terrestre e por suas excelentes propriedades físico-químicas, entre as quais se destacam o baixo peso específico, a alta condutividade térmica e elétrica e a reciclagem, tornou-se o metal não ferroso mais consumido no mundo. É maleável, dúctil e apto para a mecanização e para a fundição (ABAL, 2005). Dentre suas várias aplicações destacam-se a construção civil, através de portas, janelas, batentes e ferragens, automobilística como blocos de motores e chassi, e aeronáutica. Para equipamentos que experimentem condições severas de desgaste em combinação com altas temperaturas, ele não é o material que reúne as melhores características, porém se a solicitação for predominantemente para equipamentos, peças e mecanismos que trabalham em condições de ambiente corrosivo, ele torna-se altamente indicado (CALLISTER, 2012).

Uma alternativa para o tratamento e recuperação de materiais que estejam submetidos os ambientes corrosivos é a soldagem TIG alimentada à pó, pois espera-se que este novo método possa proporcionar uma maior vida útil, aliada com um melhor desempenho e claro, um menor custo de reparação.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivos Gerais

Este trabalho procura através da deposição do pó de alumínio, pela soldagem TIG alimentada à pó, estudar a influência de diferentes faixas de granulometrias durante o processo. Verificar os dados através do ensaio de microdureza e análise de microscopia ótica, para que se possa corroborar os dados disponíveis na literatura, os quais dizem que o alumínio puro apresenta baixa dureza e resistência mecânica.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Pelo processo de soldagem TIG alimentado à pó, pretende –se obter revestimentos metálicos de alumínio, que são resistentes a oxidação e corrosão. Para alcançar esses objetivos foram feitas as seguintes atividades:

- Deposição do pó de alumínio em granulometrias variando de 45-106 $\mu$ m e 106-180 $\mu$ m;
- Caracterização do revestimento.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Este tipo de soldagem é inédita, pois o dispositivo desenvolvido é um protótipo, portanto ainda não há estudos para garantir qual a granulometria que confere melhores resultados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PROCESSO GTAW (GAS TUNGSTEIN ARC WELDING)

TIG é o processo de soldagem ao arco elétrico com proteção gasosa que utiliza eletrodo de tungstênio não consumível, o qual auxilia na geração de um arco elétrico, o que causa aquecimento e um gás inerte, isto é, um gás que não reage com outros materiais, ou uma mistura de gases inertes, geralmente argônio ou hélio para proteger a poça de fusão. O nome TIG é uma abreviação de Tungsten Inert Gas (gas inerte tungstênio), mas também é conhecido por GTAW ou Gas Tungsten Arc Welding (soldagem a arco com gás tungstênio. (MARQUES, 2004). O esquema do processo TIG acontece conforme a figura abaixo (Figura 1).

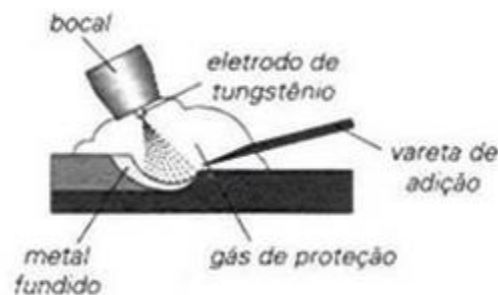


Figura 1 - Esquema do processo TIG  
Fonte: Infosolda (acesso em 08/07/2014)

O processo TIG permite soldar com ou sem material de adição. Dependendo da aplicação da solda, é possível adicionar material à poça de fusão, neste caso, o material deverá ser compatível com o metal de base. (MARQUES, 2004).

Na Figura 2-1 e 2-2 respectivamente, observa-se o processo sem utilização de metal de adição (autógena) e com metal de adição.



Figura 2 - 1) Soldagem TIG autógena; 2) Soldagem TIG com metal de adição.  
Fonte: MARQUEZ (2004).

O processo TIG é utilizado na soldagem de todos os tipos de juntas e chapas, principalmente as de espessura menor que 10mm. É um processo adequado a quase todos os metais, em especial titânio, zircônio, ligas de alumínio e magnésio, aços ligados, inoxidáveis, ligas de níquel e ligas especiais. É um processo bastante utilizado para soldagem de tubos, na indústria aeroespacial e nuclear e em trabalhos de reparação devido a facilidade em controlar o processo e a possibilidade de utilizar material de adição. Este processo tem a vantagem de apresentar cordões de solda de alta qualidade, sem escoria e sem respingos e pode ser empregado em todas as posições e tipos de junta. Uma desvantagem no processo TIG é que o trabalho somente pode ser realizado em local coberto ou protegido, pois sofre influência da circulação de ar no local e a proteção fornecida pelo gás inerte é prejudicada. (FONSECA, 2004).

Um exemplo de cordão efetuado através da soldagem TIG é mostrado na Figura 3.



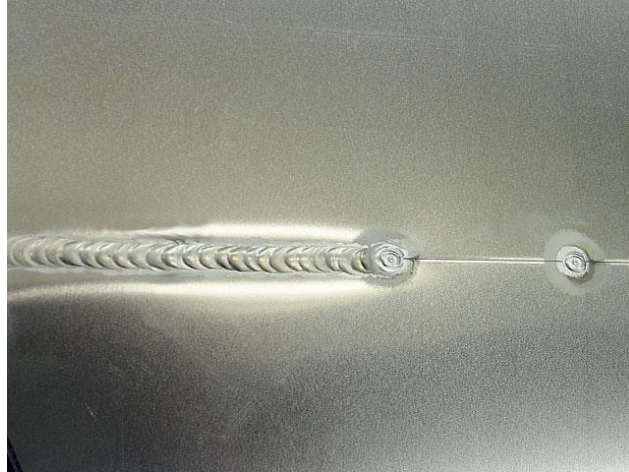


Figura 3 - Cordão de solda realizado através de solda TIG  
 Fonte: Classictrucks.com.br (acesso: 08/07/2014)

A fonte de soldagem fornece corrente podendo ser contínua ou alternada. Com corrente contínua deve-se utilizar a polaridade direta, isto é, o eletrodo conectado no polo negativo e a peça no polo positivo. O valor e tipo da corrente dependem da espessura e tipo de metal base a ser soldado. (MARQUES, 2003).

Para aplicações mais comuns, o equipamento requerido para soldagem TIG é relativamente simples. Consiste de uma fonte de energia elétrica, uma tocha com suporte para eletrodo, um cabo de condução para o gás de proteção, um cabo para o sistema de refrigeração e um para a fonte de energia, uma fonte de gás, que pode ser um cilindro e um regulador de pressão, esquema este mostrado na Figura 4.

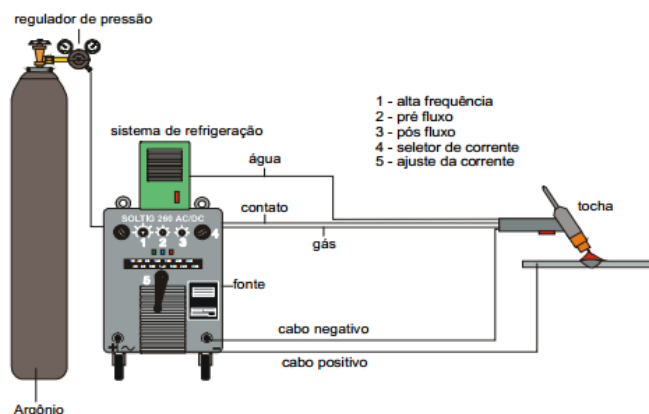


Figura 4 - Esquema dos equipamentos básicos para soldagem TIG  
 Fonte: FONSECA (2004).

## 2.2 SOLDAGEM POR GTAW COM DISPOSITIVO ADAPTADO PARA DEPOSIÇÃO DE PÓ METÁLICO (GTAW – P)

Moselli (2013), em sua tese desenvolveu um dispositivo, Figuras 5 e 6 adaptado à tocha GTAW. O dispositivo é capaz de produzir revestimentos duros, com deposição da liga, em forma de pó metálico, diretamente na poça de fusão. As propriedades mecânicas e metalúrgicas dos revestimentos de teste com deposição de liga STELLITE 6, mostraram que a dureza encontra-se nos mesmos patamares dos valores encontrados na literatura e compatíveis com o processo PTA-P. A resistência ao desgaste do processo GTAW – P semiautomático apresenta valores bem próximos aos do PTA-P. Concluiu que o aumento da taxa de deposição no GTAW – P causou a diminuição dos valores da diluição, aproximando-os do processo PTA-P. A diminuição da diluição aumentou os valores de dureza ocasionando a redução do desgaste. As microestruturas resultantes do processo GTAW– P foram similares às obtidas pelo processo PTA-P. O dispositivo GTAW – P é de baixo custo de fabricação, de fácil adaptação à tocha de soldagem e de fácil operação pelo soldador.

A Figura 5a representa o bico direcionador com 8 furos concêntricos, de 1,25 mm de diâmetro, distanciados entre si a 45°, configurado assim para que desta forma não haja a fuga ou desestabilização do arco. A Figura 5b mostra o desenho do protótipo.



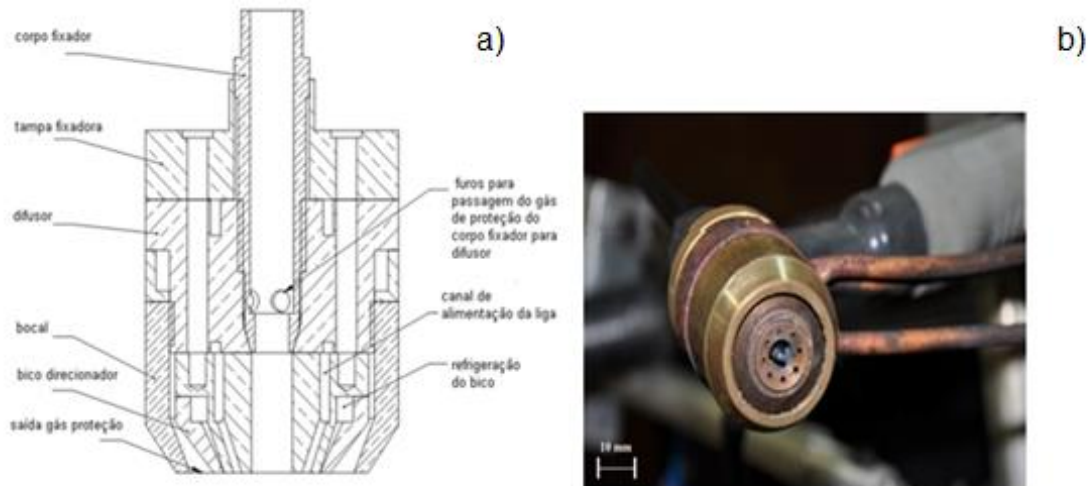


Figura 6 – a) Desenho em corte total do dispositivo, juntamente com o protótipo, b) Foto da vista inferior do protótipo, após teste de deposição.

Fonte: MOSELLI (2013)

Para o dispositivo de MOSELLI, 2013, o material de adição pode ser utilizado na forma de pós-elementares e suas misturas; pós-comerciais atomizados, os quais são fornecidos em uma faixa de granulometria; pós-comerciais atomizados com apenas um tipo de granulometria ou até mesmo uma mistura do pó comercial com o mesmo material de granulometria entre 45 e 200  $\mu\text{m}$ .

### 2.3 ALUMÍNIO E REVESTIMENTOS

O alumínio em estado puro apresenta baixa dureza e resistência mecânica, não sendo indicado para determinadas aplicações. Para o aumento da resistência mecânica se faz necessário a adição de algum elemento como por exemplo cobre, silício, magnésio e zinco, ou seja, tudo irá depender para qual aplicação deseja-se trabalhar (CHIAVERINI, 1986).

O alumínio comercialmente puro caracteriza-se pelas elevadas condutividades térmica e elétrica e pela baixa resistência mecânica. Devido a essas características, suas principais aplicações restringem-se a componentes de sistemas térmicos e elétricos, nos quais exige-se alta condutividade sem que haja o mesmo tipo de exigência com relação as propriedades mecânicas. Outra característica importante do alumínio comercialmente puro é sua elevada resistência a corrosão, devido a

formação de uma camada de oxido de alumínio ( $Al_2O_4$ ), muito fina, transparente e extremamente aderente que confere essa característica de evitar o prosseguimento da oxidação e, principalmente, a remoção dos óxidos, ou seja, o fenômeno conhecido como passivação. Devido a essa maior resistência a corrosão, uma outra aplicação importante para o alumínio comercialmente puro é o revestimento de ligas de aplicação aeronáutica, o chamado “cladding”. Denomina-se então Alclad 2024 à liga (Al-Cu) 2024 revestida com alumínio comercialmente puro. (INFOMET, Acesso 23/05/2014).

A Tabela 1 exemplifica a diferença entre a liga NiAl e o alumínio puro, ou seja, com os intermetálicos muito mais resistentes a tração do que o alumínio.

Tabela 1 – Comparativo entre o limite de resistência do alumínio e os intermetálicos

<b>METAL</b>	<b>LIMITE DE RESISTENCIA (Mpa)</b>
<b>Alumínio</b>	48
<b>Intermetálico Ni<sub>3</sub>Al</b>	1100
<b>Intermetálico NiAl</b>	1200

Fonte: Adaptado de CHIAVERINI (1984), NALIM (2014).

O alumínio comercialmente puro, costuma ser melhor utilizado em aplicações mais simples, como embalagens, ou então como acessórios em construção civil, devido a sua fácil conformação mecânica. Graças a sua baixa resistência mecânica e por ser um metal dúctil, torna-o mais difícil para aplicações em que seja exigido uma maior dureza. Porém é inegável seu poder contra corrosão. O que pode-se observar através da literatura é uma predileção do uso do alumínio em revestimentos de ligas, as quais já possuam um nível bom de resistência mecânica, porém não tenham um bom nível contra corrosão (CALLISTER, 2014).

O alumínio é altamente reativo principalmente com o oxigênio, portanto pode-se esperar a formação de óxidos de alumínio, como o  $Al_2O_3$ , também conhecido como alumina, os quais conferem ao cordão de solda características de dureza. (RODRIGUEZ, 2003).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O processo TIG alimentado a pó foi utilizado para produzir cordões de solda em chapas de testes e, posteriormente, foi realizado o ensaio de dureza Vickers e análise por microscopia ótica, com o intuito de conhecer as características do experimento.

Para que os objetivos deste trabalho, possam ser alcançados foram utilizados os seguintes materiais e métodos:

- Pó de alumínio com faixa de granulometrias variando de 45-106 $\mu$ m e 106-180 $\mu$ m;
- Substrato – Aço ABNT 1020;
- Soldagem por TIG com dispositivo adaptado para deposição de pó metálico (UTFPR –CP);
- Dispositivo de deslocamento automático da tocha, denominado Tartilope V2 (UTFPR-CP);
- Caracterização:
  - Microdureza (UTFPR –CP);
  - Microscopia Ótica (UFPR);

#### 3.2 SUBSTRATO

Para confecção das chapas de teste foi utilizado o aço ABNT 1020. Este tipo de aço é altamente tenaz com baixo teor de carbono, baixa resistência e dureza, sendo particularmente aplicado em componentes estruturais onde não sejam requeridas amplas condições de propriedades mecânicas (CHIAVERINI, 1986).

A Tabela 2 expõe a composição química padrão para o aço ao carbono ABNT 1020:

Tabela 2 – Composição química do aço ABNT 1020

ITEM	VALORES
<b>CARBONO</b>	0,18 a 0,23%
<b>MANGANÊS</b>	0,3 a 0,6%
<b>FÓSFORO</b>	Máx. 0,04%
<b>ENXOFRE</b>	Máx. 0,05%

Fonte: CALLISTER (2011)

As dimensões dos corpos de prova encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Dimensões das chapas Aço ABNT 1020

<b>COMPRIMENTO</b>	100mm
<b>ALTURA</b>	12,7mm
<b>LARGURA</b>	25,4mm

Fonte: Autoria Própria

Para alcançar os níveis de aderência e limpeza superficial desejáveis para uma boa execução dos procedimentos os mesmos foram previamente preparados, passando pelo processo de lixamento.

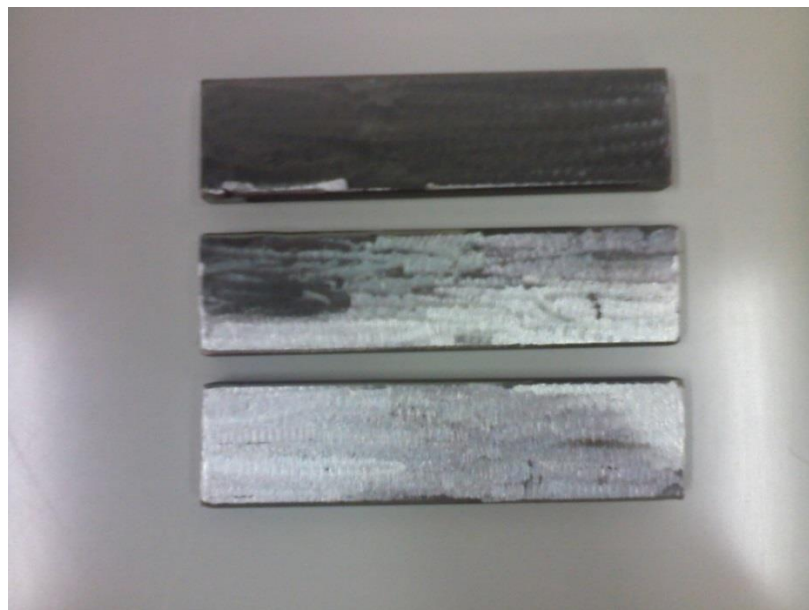


Figura 7 - Foto dos corpos de prova

Fonte: Autoria Própria

### 3.3 COMPOSIÇÃO DO PÓ

Para realização deste trabalho, foi utilizado pó de alumínio puro com duas granulometrias diferentes, os quais foram peneirados em um peneirador automático marca VIBROTECH CT-025, obtendo 2 faixas de granulometrias diferentes: 45-106 $\mu$ m e 106-180 $\mu$ m.

### 3.4 TIG COM DISPOSITIVO ADAPTADO PARA DEPOSIÇÃO DE PÓ METÁLICO (GTAW-P)

As deposições foram feitas no Laboratório de Soldagem da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Cornélio Procópio (UTFPR-CP).

#### 3.4.1 Dispositivo alimentador de pó (ADP)

Para a deposição do pó metálico, foi utilizado um sistema de alimentação automático, tipo ADP-2 (Figura 8A), fabricado pela IMC Soldagem de Santa Catarina. O alimentador é responsável pela dosagem volumétrica da liga metálica em pó a ser injetada no arco, através da tocha de soldagem e seu comportamento determina o grau de homogeneidade e repetitividade da alimentação de pó e, conseqüentemente, é fator de importância para a qualidade da solda.

Para esse trabalho foi utilizado um ADP volumétrico. O volume de pó é controlado pela rotação de uma roda dentada, que ao entrar em funcionamento, direciona o pó até uma câmara, local onde se encontrará com o gás de arraste (argônio), este que posteriormente servira também como proteção para o cordão de solda, o qual conduzirá o pó até o dispositivo adaptado à tocha TIG.

Na Figura 8B, mostra o detalhe do local onde o pó de alumínio ficou acondicionado.



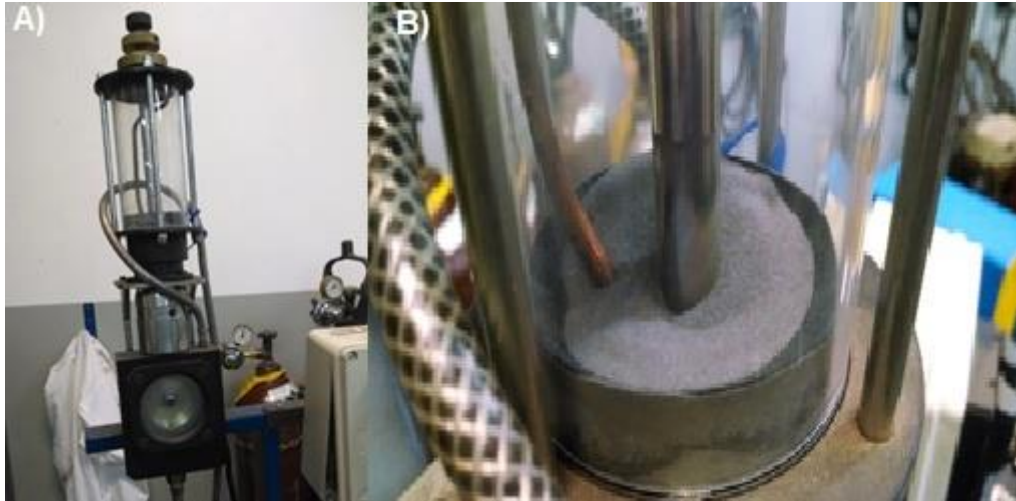


Figura 8 – A) Foto do dispositivo alimentador de pó, B) Detalhe do recipiente com pó de alumínio  
Foto: Autoria própria

#### 3.4.2 Fonte de soldagem

Os cordões de solda foram realizados por uma central de soldagem, denominada Inversal 450, fabricado pela IMC Soldagem, equipamento este que possibilita a execução de todos os processos de soldagem a arco.



Figura 9 - Foto da central de soldagem utilizada para as deposições, modelo Inversal 450  
Fonte: Autoria própria

### 3.4.3 Sistema de deslocamento automático

Nesse trabalho foi utilizado o TARTILOPE V2, um sistema de movimentação com dois graus de liberdade que permite a mecanização de processos de soldagem e corte de chapas metálicas ( MANUAL DE INSTRUÇÕES – TARTÍLOPE V2 – LABSOLDA – Acesso em 03/07/2014).



Figura 10 - Foto do dispositivo de avanço automático - Tartilope V2.  
Fonte: LABSOLDA ( 2014).

### 3.4.4 Tocha GTAW-P

Abaixo tem-se a figura da tocha GTAW com o dispositivo adaptado.



Figura 11 - Tocha GTAW-P.  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.4.5 Parâmetro para deposição

Antes da deposição dos corpos de provas estudados, foram feitos teste preliminares para determinação dos valores adequados dos parâmetros de deposição visualmente, variando os valores de fluxo dos gases e velocidade de soldagem, até a obtenção do revestimento esperado. Os valores utilizados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros de Soldagem

Parâmetros	Valores Utilizados
Corrente	150 A
Distância entre passes	5 mm
Vazão gás de proteção	10 l/min
Vazão do gás de arraste	1,5 l/min
Velocidade de soldagem	12 cm/min
Distância do eletrodo à peça	10 mm
Diâmetro do eletrodo	3,2 mm
Afiação da ponta do eletrodo	30 °
Distância do bico à peça	13 mm

Fonte: Autoria própria.

Na figura 12 é mostrado o substrato com as respectivas dimensões e o esquema do cordão de solda.

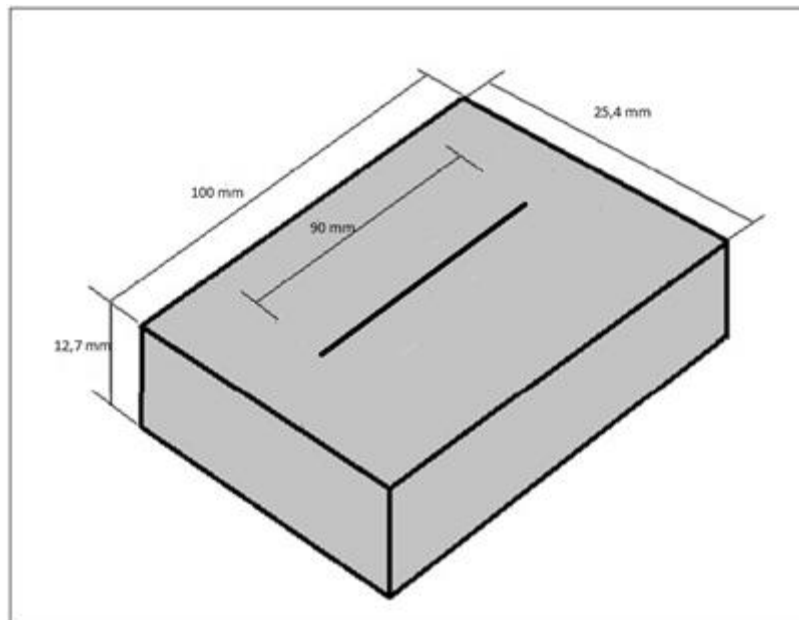


Figura 12 - Esquema das deposições.  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO

Após a deposição os corpos de prova, de cada amostra, foram cortados em 6 partes iguais utilizando um disco de corte na cortadora metalográfica, marca AROTEC modelo COR-40, Figura 13.



Figura 13 - Cortadora metalográfica AROTEC COR-40, UTFPR-CP.  
Fonte: FAMBRINI (2013).

Dessas 6 partes, uma foi embutida com baquelite marrom em uma prensa embutidora automática, marca Struers modelo Tempopress 2, por 15 minutos mantendo uma pressão de 20 bar, Figura 14.



Figura 14 - Embutidora automática Tempopress2, UTFPR-CP.  
Fonte: FAMBRINI (2013).

A parte embutida, Figura 15, foi lixada em politriz automática, com lixas de granulometria de 200 a 1200 $\mu\text{m}$ . Depois polidas com um pano de polimento com pasta de diamante. Esses procedimentos para caracterização foram efetuados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Cornélio Procópio.



Figura 15 - Corpo de prova embutido sem lixamento e sem polimento.  
Fonte: Autoria própria.

### 3.5.1 Microdureza

Foram feitas 5 identações em cada uma das duas amostras, sem espaçamento pré-definido. Foi utilizado uma carga de 300g por 15 segundos, o equipamento utilizado foi o Microdurometro HV – 1000B.

### 3.5.2 Microscopia Ótica (MO)

As imagens para análise de microscopia foram obtidas pelo microscópio ótico Olympus BX51, do Laboratório de Materiais e Superfícies (LAMATS) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Figura 16.

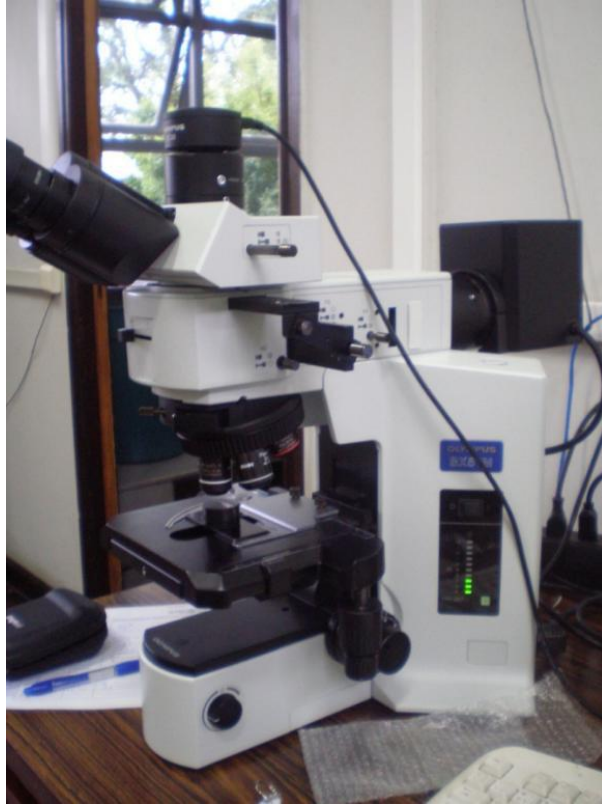


Figura 16 - Microscópio Ótico, UFPR.  
Fonte: OLIVIO (2012).

Através desse equipamento é possível capturar imagens de 200x a 1000x de ampliação, fazer medição de espessura do revestimento e quantificar poros.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO

#### 4.1.1 Microdureza

Foram feitas 5 medidas de dureza em cada amostra, na secção transversal do revestimento. Para isso as amostras, foram cortadas e embutidas em baquelite marrom. A média das 5 medições juntamente com o desvio padrão se encontram nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Valores da Microdureza Vickers obtidos na amostra 1

<b>AMOSTRA 1 - 45-106<math>\mu</math>m</b>	
<b>PONTO</b>	<b>MICRODUREZA HV<sub>0,3</sub></b>
<b>1</b>	750
<b>2</b>	811
<b>3</b>	754
<b>4</b>	885
<b>5</b>	922
<b>MÉDIA</b>	824,4
<b>DESVIO PADRÃO</b>	77,24830095
<b>AÇO 1020</b>	213,8

Fonte: Autoria Própria

Tabela 6 - Valores da Microdureza Vickers obtidos na amostra 2

<b>AMOSTRA 2 -106 - 180<math>\mu</math>m</b>	
<b>PONTO</b>	<b>MICRODUREZA HV<sub>0,3</sub></b>
<b>1</b>	776
<b>2</b>	810
<b>3</b>	740
<b>4</b>	816
<b>5</b>	754
<b>MÉDIA</b>	779,2
<b>DESVIO PADRÃO</b>	33,48432469
<b>AÇO 1020</b>	213,8

Fonte: Autoria Própria



A figura 17 mostra os valores de microdureza obtidos para as duas amostras.

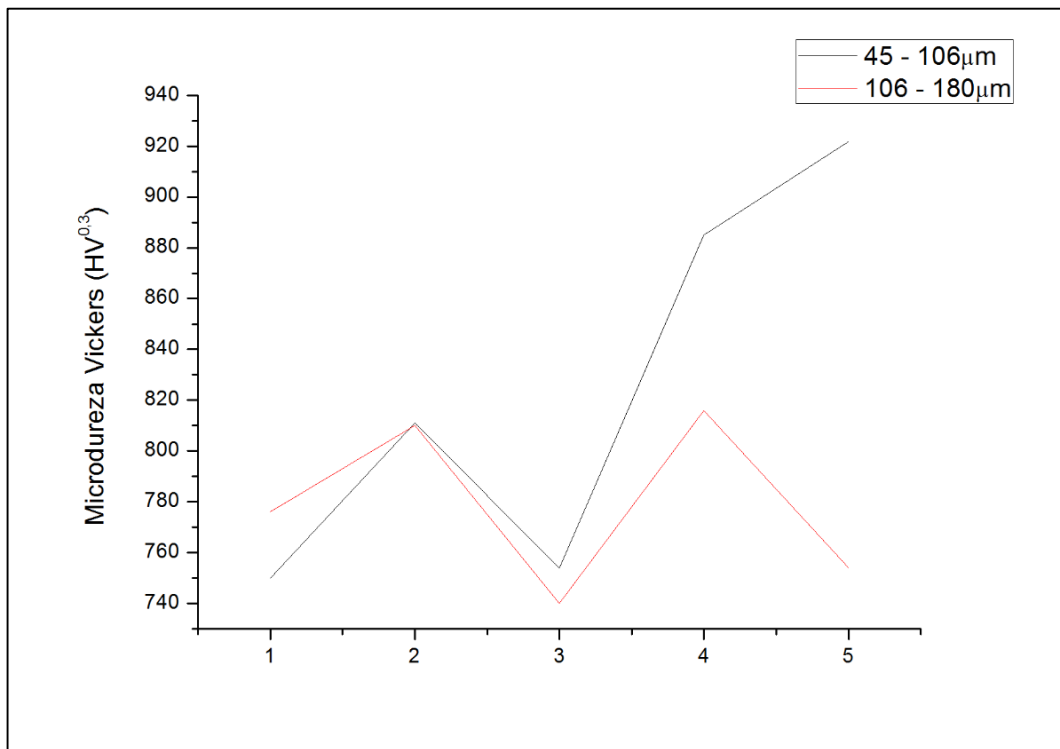


Figura 17- Microdureza Vickers x número de identificações.  
Fonte: Autoria Própria.

O desvio padrão apresentado é alto, o que significa que os cordões de solda, principalmente na amostra 1 e na amostra 2, não são homogêneos com relação à dureza. A amostra 1 (45-106μm) apresenta microdureza variando de 750HV até 922 HV, ou seja, há uma certa discrepância na homogeneidade.

Em todas as medições os resultados foram acima de 750HV, esses valores podem ser devido a possível formação do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, um óxido estável e muito duro. Os valores também demonstram que a solda obteve bons resultados quanto a resistência mecânica, contrariando as expectativas iniciais, pois segundo a literatura, o alumínio puro não era um material que pudesse conferir uma microdureza elevada.

Comparando ambos os resultados obtidos e representados pela figura 17 as duas granulometrias apresentaram falta de homogeneidade do cordão, a amostra 1 com valores muito bons de microdureza, chegando até 922HV, contudo, a amostra 2 apesar de encontrados valores menores, apresentou resultados mais discretos quanto a variação da microdureza, podendo se dizer que, comparando-as, a amostra 2 é mais homogênea que a amostra 1 em relação a microdureza.



#### 4.1.2 Análise por Microscopia Ótica

A Figura 18 mostra o cordão de solda revelado pelo ataque químico VILELA, onde observam-se inúmeras trincas, deslocamentos de material, poros e alguma oxidação no substrato para a amostra cujo o pó tem granulometria 106-180 $\mu\text{m}$ .

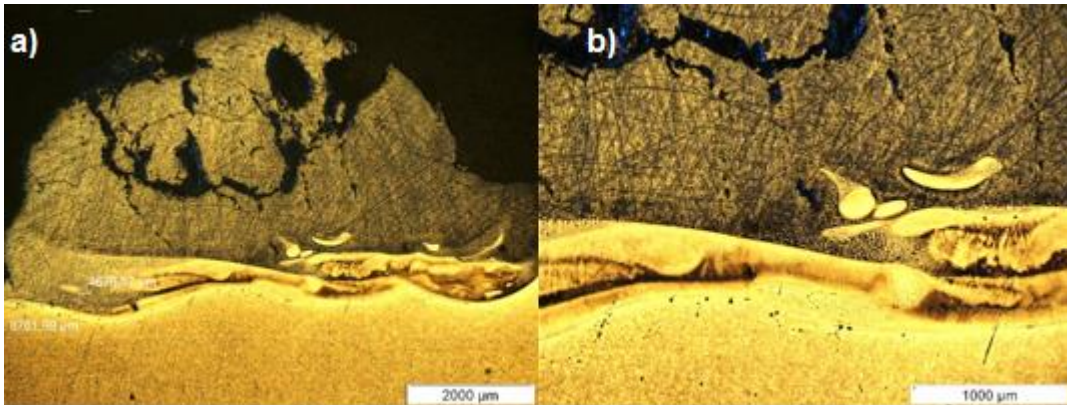


Figura 18 - a) Imagem da seção transversal do cordão de solda com granulometria de 106-180 micrometros, b) Imagem da zona termicamente afetada.  
Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 19 para a amostra cujo o pó tem granulometria 45-106 $\mu\text{m}$ , observa-se menos poro e deslocamento de partículas, conferindo um aspecto mais uniforme do cordão.

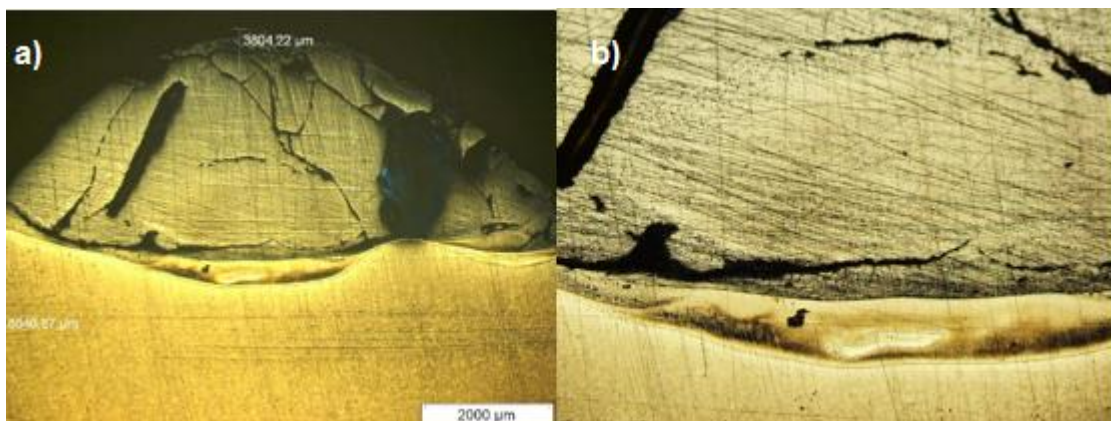


Figura 19 - a) Foto do cordão de solda com granulometria de 45-106 micrometros. b) Zona termicamente afetada.  
Fonte: Autoria própria.

As trincas, evidentes nas Figuras (15 e 16), presentes em ambas as granulometrias analisadas, significam que os parâmetros de soldagem merecem uma correção, pois não foram adequados, ou devido a uma preparação mais adequada, como um pré-aquecimento ou resfriamento controlado. Os inúmeros deslocamentos de material, presentes na Figura 15, de dimensões consideráveis, foram ocasionados devido à falta de fusão no local.

## 5 CONCLUSÃO

Após as análises através do Microscópio Ótico (MO) e ensaio de microdureza Vickers pode-se concluir que:

Ambas as granulometrias foram possíveis de serem depositadas pelo processo de GTAW-P, porém para ambos os casos os parâmetros de soldagem não foram o correto.

Através dos valores das análises por microdureza Vickers foi constatado que possivelmente houve a formação do óxido de alumínio  $Al_2O_3$ , um óxido estável, resistente a altas temperaturas e muito duro. Também pela microdureza foi observado que para a faixa de granulometria de 106 - 180 $\mu$ m, a dureza do cordão é mais estável.

Pela análise de microscopia ótica pode-se observar que para a faixa de granulometria de 45 - 106 $\mu$ m há a formação de um cordão mais homogêneo, com menos trincas e deslocamento de partículas, devido a uma melhor fusão, sendo assim a melhor granulometria para ser depositada.

Pelos resultados obtidos, percebe-se que a diluição precisa ser melhorada, alguns parâmetros como os elencados abaixo podem ser testados para que se possa melhorar os resultados, para que consiga-se uma uniformidade da diluição.

- Maior corrente;
- Menor avanço;
- Pré-aquecimento;
- Pós – aquecimento.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Testar novos parâmetros de soldagem;
- Verificar parâmetros para melhorar a diluição;
- Modificar o material que foi usado como substrato;
- Desenvolver um dispositivo que trabalhe junto com o ADP, para que o fluxo de pó seja mais uniforme;
- Realizar ensaio de difratometria de raio-x.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. A. B.; **Obtenção in-situ de intermetálicos Ni/Al**. Curitiba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2003.

CHIAVERINI, Vicente; **Tecnologia Mecânica – Estrutura e propriedades das Ligas Metálicas**. 2ª. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1979.

CALLISTER JR, William D.; **Ciência e Engenharia dos Materiais – Uma introdução**. 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

ESTERLING, K.; **Introduction to the physical metallurgy of welding**. British Library Cataloguing in Publication Data. London, 1983.

FAMBRINI, L. R. S.; **Avaliação do Arame De Ni e Al Utilizado Como Revestimento Depositado por Aspersão Térmica à Chama Arame**. Cornélio Procópio. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Industrial Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

FONSECA, A. S. da; **SOLDAGEM TIG**. Senai. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/25220699/Soldagem-Tecnologia-de-Solda-%E2%80%93-Processo-TIG-e-Eletrodo-Revestido>> Acesso em 20 janeiro. 2014.

MARQUES, P.V., MODENESI, P.J., BRACARENSE, A.Q.; **Soldagem – Fundamentos e Tecnologia**. 3ª. ed. Belo Horizonte: UFMS,2004.

MARQUES P.V.; **Aspersão Térmica**, Infosolda, 2003.

MOSELLI, P. C. (2013). **Desenvolvimento de dispositivo, adaptado à tocha SATG, para a realização de revestimento duro, utilizando ligas, em forma de pó**. 142 f Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2013.

NALIM, R.T; **Avaliação da mistura de Ni e Al utilizada como revestimento depositado por soldagem TIG com dispositivo adaptado para deposição de pó metálico**. Cornélio Procópio. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

NOVICKI, N.; **Caracterização da Tenacidade à Fratura do Aço Inoxidável Martensítico Macio CA6NM Temperado e Revenido e em Juntas Soldadas sem TTPS**. Curitiba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2002

OLIVIO, E. F. T.; **Avaliação de Ligas de Ni-Al Utilizadas como Revestimento Estáveis a Altas Temperaturas Depositadas por Aspersão Térmica à Chama Pó**. Curitiba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2011.

PADILHA, H.; **Desenvolvimento “In Situ” de Intermetálicos Ni-Al em Superfícies de Aço Inoxidável Aisi 304 Através da Aplicação por Aspersão Térmica de Mistura de Pós de Níquel e Alumínio.** Curitiba. Tese de Doutorado. Universidade federal do Paraná, 2011.

SOUZA, E.C.N., GARUZZI, J.M., DURÃO, B.R.; **Estudo da influência da corrente de soldagem sobre o perfil de dureza em soldas produzidas pelos processos GMAW E FCAW, utilizando o Aço SAE 1020.** Aracruz – ES. Trabalho e Conclusão de Curso. Engenharia Mecânica. Faculdades Integradas de Aracruz, 2013.

SANTOS, A.O.; **Estudo da resistência à corrosão em aço e revestimentos visando à aplicação em hastes de bombeio de petróleo.** Dissertação de Mestrado. Aracaju: Universidade Tiradentes, 2008.

SANTOS, R. **Formação dos aluminetos de níquel a partir de pós metálicos.** *C.Tecn. Mat.*, vol.22, no.1-2, p.65-76. ISSN 0870-8312, jun 2010.

SULZER, **Thermal Spray Materials Guide-Metals, Alloys, Composites and Blends /Nickel Base**, p. 50-51, 2010.

TREVISANI, E. F., PAREDES, R. S. C., AGUIAR, L. A., SUCHARSKI, G. B., PADILHA, H., CARDOZO, M. C., CAPRA, A. R., 2011. **Evaluation of NiAl Alloys Used as Resistant Coating Deposited by Powder Flame Spraying.** 21<sup>st</sup> Brazilian Congress of Mechanical Engineerin. Natal-RN, Brazil.