

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PIAUI



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**INFLUÊNCIA DO PÓ DE CROMO SOBRE AS PROPRIEDADES
MECÂNICAS E MORFOLÓGICAS DO REVESTIMENTO DURO
PRODUZIDO POR SOLDAGEM GMAW-MAG**

MÁRIO VIANA MEDEIROS FILHO

ORIENTADOR: PROF. Dr. JOSÉ FRANCISCO DOS REIS SOBRINHO

CO-ORIENTADOR: PROF. Dr. AYRTON DE SÁ BRANDIM

TERESINA (PI)

2017

MÁRIO VIANA MEDEIROS FILHO

**INFLUÊNCIA DO PÓ DE CROMO SOBRE AS PROPRIEDADES
MECÂNICAS E MORFOLÓGICAS DO REVESTIMENTO DURO
PRODUZIDO POR SOLDAGEM GMAW-MAG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Caracterização e Processamento de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho
Co-Orientador: Prof. Dr. Ayrton de Sá Brandim

TERESINA (PI)

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M488i Medeiros, Mário Viana Medeiros Filho
INFLUÊNCIA DO PÓ DE CROMO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E
MORFOLÓGICAS DO REVESTIMENTO DURO PRODUZIDO POR SOLDAGEM GMAW-
MAG / Mário Viana Medeiros Filho Medeiros - 2017.
69 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Mestrado em Engenharia de Materiais, 2017.

Orientador : Prof Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho.

Coorientador : Prof Dr. Ayrton de Sá Brandim.

1. GMAW. 2. Propriedades mecânicas. 3. pó. 4. Revestimento Duro. I. Título.

CDD 620.1

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ - IFPI
CAMPUS TERESINA CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS / PPG-EM
Praça da Liberdade, 1597 - Centro - Teresina - PI CEP. 64.000-040
Fone: (86) 3131 - 9468 endereço eletrônico: <http://ppgem.ifpi.edu.br/home>

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "INFLUÊNCIA DO PÓ DE CROMO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLÓGICAS DO REVESTIMENTO DURO PRODUZIDO POR SOLDAGEM GMAW-MAG".

ALUNO: **MÁRIO VIANA MEDEIROS FILHO**

DATA: **24 de novembro de 2017**

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí:



Prof. Dr. Hudson Chagas dos Santos

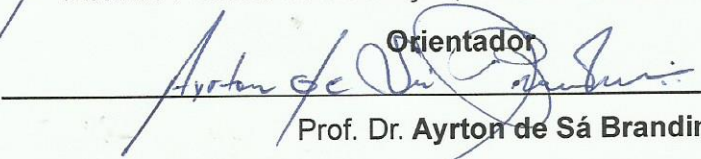
Coordenador do PPG-EM/IFPI-Campus Teresina Central

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

Orientador



Prof. Dr. Ayrton de Sá Brandim

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

Coorientador



Profª. Drª. Tatianny Soares Alves

Universidade Federal do Piauí

Avaliadora Interna



Profª. Drª. Renata Barbosa

Universidade Federal do Piauí

Avaliadora Externa

Teresina-PI, 24 de novembro de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha mãe Maria de Fátima Barros que com toda dedicação e carinho me ensinou o verdadeiro valor do estudo e que o conhecimento é a única coisa que não lhe pode ser tirado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela força para continuar nas horas difíceis e pelas graças consentidas nessa caminhada.

À minha mãe pela dedicação e amor empregados na minha formação.

Aos meus irmãos Jayra, Julcycleia e João Neto por acreditarem em mim e incentivarem a sempre ir além.

À minha amada esposa Illana e nosso bebê Pedro pelo companheirismo, amor, força e incentivo para continuar.

Aos professores Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho (orientador) e Dr. Ayrton de Sá Brandim (co-orientador) pelas dicas e direcionamentos para o correto desenvolvimento do trabalho.

A todos os colegas da turma de mestrado 2015.1 (Abraão, Eziel, Fernando, Fátima, James, Jean, João Porto, Mayrana, Marco Aurélio, Nelson, Rayssilane, Rosy, Thaís, Yuri, Danilo, Zilverlan, Uchôa e Thiara) pelo companheirismo e por dividir aflições e conquistas durante essa caminhada.

Em especial aos colegas da solda Luiz Fernando e José Uchôa por enriquecerem os conhecimentos durante a elaboração e discussões sobre o trabalho.

Ao LABMAT por disponibilizar os equipamentos para análise, em especial ao André Felipe, Rafaela, Eziel, Yuri, Mário Altoé, Yara, James e Bruno e aos bolsistas de PIBIC João Lucas e Rafael Jarbas por contribuírem na realização dos ensaios.

Ao laboratório de Soldagem do IFPI – Campus Teresina Central.

Aos colegas professores do IFPI – Campus Floriano pelo incentivo.

Ao PPGEM – IFPI e todos os seus professores por contribuir em minha formação.

RESUMO

No intuito de fornecer melhores propriedades mecânicas aos aços de baixo e médio teor de carbono é comumente usado o revestimento duro a partir da soldagem. Essa técnica ocorre por diversos processos, utilizando consumíveis à base de materiais com elevada dureza, onde se destacam SMAW, FCAW e GMAW/MAG. O processo GMAW/MAG possui ampla utilização nas indústrias, devido sua alta produtividade e simplicidade operacional. Nesse estudo buscou-se unir elementos dos três processos para produzir um revestimento com geometria e propriedades mecânicas e morfológicas adequadas. Para isso foi produzido um pó (fluxo no processo FCAW) a partir do eletrodo revestido OK 83.58 o qual foi incluído no processo de soldagem GMAW/MAG a arco elétrico semiautomático, sendo os cordões depositados em chapas de aço ASTM A-36. Observou-se que a variação dos parâmetros de soldagem influencia diretamente na geometria e penetração do cordão e na fusão do pó. Nos ensaios realizados variando tensão e velocidade de soldagem chegou-se a um cordão com aparência e diluição bastante satisfatórias. A dureza atingiu valores acima de 50 HRC em algumas amostras, enquanto a microdureza máxima foi 4 vezes maior no revestimento quando comparado ao metal de base, já a menor perda de massa atingiu um valor de 124 mg. Esses valores estão relacionados à precipitação de carbeto do tipo Cr_7C_3 sobre uma matriz eutética presente em todas as amostras ensaiadas.

Palavras-chave: GMAW. Propriedades mecânicas. Pó. Revestimento Duro.

ABSTRACT

In order to provide better mechanical properties to low and medium carbon steels, hard coating is commonly used from welding. This technique occurs through several processes, using materials based on hard materials, where SMAW, FCAW and GMAW / MAG stand out. The GMAW / MAG process is widely used in industries due to its high productivity and operational simplicity. In this study we sought to join elements of the three processes to produce a coating with geometry and suitable mechanical and morphological properties. For this purpose a powder (flux in the FCAW process) was produced from the coated electrode OK 83.58 which was included in the GMAW / MAG welding process with semi-automatic electric arc, the strands being deposited in ASTM A-36 steel plates. It was observed that the variation of welding parameters directly influences the geometry and penetration of the bead and the melting of the powder. In tests carried out varying tension and welding speed a cord with satisfactory appearance and dilution was reached. The hardness reached values above 50 HRC in some samples, while the maximum microhardness was 4 times higher in the coating when compared to the base metal, since the lowest mass loss reached a value of 124 mg. These values are related to the precipitation of Cr₇C₃ type carbides on a eutectic matrix present in all samples tested.

Keywords: GMAW. Mechanical properties. Powder. Hard Coating.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação dos Processos de Soldagem	17
Figura 2 - Representação Esquemática do processo MIG/MAG	19
Figura 3 – Esquema de acionamento da chave comutadora	25
Figura 4 – Desenho dos moldes em AUTOCAD.....	27
Figura 5 – Medição da temperatura de Interpasse.....	27
Figura 6 – Corpo de prova pronto para a soldagem.....	29
Figura 7 – Corte das Amostras na Policorte.....	29
Figura 8 – Esquema em AUTOCAD do corte das amostras.....	30
Figura 9 – Esquema para Cálculo da Diluição.....	32
Figura 10 – Indentações Ensaio de Dureza.....	34
Figura 11 – Esquema Ensaio de Microdureza.....	35
Figura 12 - Aspecto do pó durante a produção.....	36
Figura 13 – Aparência da Solda.....	37
Figura 14 – Macrorografia utilizada para cálculo da diluição.....	38
Figura 15 – Gráfico Diluição x Vs.....	39
Figura 16 – Microscopia Óptica metal de Base (AM 012 100x).....	40

Figura 17 – Microscopia Óptica metal de base (AM052 400x).....	41
Figura 18 – Microscopia Óptica revestimento (AM012 100x).....	42
Figura 19 – Microscopia Óptica revestimento (AM092 100x).....	42
Figura 20 – Microscopia Óptica revestimento (AM082 400x).....	43
Figura 21 – Microscopia Óptica Região de Transição.....	44
Figura 22 – MEV da zona de transição entre as fases (AM082 100x).....	45
Figura 23 – Análise de MEV – Amostra AM082 ampliação 500x.....	46
Figura 24 – Análise de MEV – Amostra AM082 ampliação 1000x.....	46
Figura 25 – Comparação tamanhos de Cr7C3.....	47
Figura 26 – DRX Amostra AM061.....	49
Figura 27 – Indentações ensaio de Microdureza.....	52
Figura 28 – Microdureza Amostras com Vs = 4,67 mm/s.....	53
Figura 29 – Microdureza Amostras com Vs = 8,36 mm/s.....	54
Figura 30 – Microdureza Amostras com Vs = 6,14 mm/s.....	54
Figura 31 – Relação da Microdureza entre MS e MB.....	56
Figura 32 – Desgaste Abrasivo: Perda de Volume.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química Metal de Base e Arame de Soldagem.....	26
Tabela 2 - Matriz de Planejamento dos Ensaios.....	28
Tabela 3 - Dimensões e Ensaios de cada corpo de prova.....	31
Tabela 4 - Composição Química do Eletrodo OK 83.58 e FRX do Pó.....	36
Tabela 5 - Resultados EDS – Ampliação 3000X.....	48
Tabela 6 - Dureza das Amostras.....	50
Tabela 7 - Microdureza Média na Solda e no Metal de Base.....	53
Tabela 8 – Desgaste Abrasivo: Perda de Massa e Volume.....	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

µm – Micrometro

Ar – Argônio

ASTM - American Society for Testing and Materials

B – Boro

C – Carbono

CC- - Polarização inversa de soldagem

CC+ - Polarização direta de soldagem

CCDM – Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais

CO₂ – Dióxido de Carbono

Cr – Cromo

Cr₇C₃ – Carbeto de Cromo

D - Diluição

DBCP - Distancia entre o Bico e a Peça de Contato

DIN - Deutsches Institut für Normung

DRX – Difração de Raios X

E – Energia de Soldagem

EDS – Espectroscopia por Dispersão de Energia

ER – Eletrodo Revestido

ESAB– Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget

FCAW - Flux-cored arc welding

Fe – Ferro

Fe₃C - Cementita

FeB – Brometo de Ferro

FeCr – Crometo de Ferro

FRX – Fluorescência de Raios X

GMAW - Gas Metal Arc Welding

GTAW – Gas-Shielded Tungsten Arc Welding

He – Hélio

HRC – Dureza Rockwell C

HV – Microdureza Vickers

IFPI – Instituto Federal do Piauí

I_{solid} - Corrente de Soldagem

LABMAT – Laboratório de Materiais

MA – Metal de Adição

MAG – Metal Active Gas

MB – Metal de Base

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

mg – Miligramas

MIG – Metal Inerte Gas

mm³ – Milímetros Cúbicos

Mn – Manganês

MO – Microscópio Ótico

Mo – Molibdênio

MS – Metal de Solda

Nb – Nióbio

Ni - Níquel

PTA - Plasma Transfer Arc

RPM – Rotações por Minuto

SAMAG - Soldagem a Arco Metálico com Atmosfera Gasosa

Si – Silício

SMAW - Shielded Metal Arc Welding

Ti – Titânio

TiC – Carboneto de Titânio

TIG – Tungstenio Inert Gas

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

V – Vanádio

V_{arm} - Velocidade de Alimentação do Arame

V_g - Vazão do Gás

V_s - Velocidade de Soldagem

V_{sold} - Tensão de Soldagem

W - Tungstênio

WC – Carboneto de Tungstênio

ZF – Zona Fundida

ZR – Zona de Reforço

ZTA – Zona Termicamente Afetada

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	12
1.1. OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Geral.....	13
1.1.2 Específicos.....	13
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. AÇO ASTM A36.....	15
2.2. CONCEITO DE SOLDAGEM.....	15
2.3. PROCESSOS DE SOLDAGEM.....	16
2.3.1 Processo GMAW.....	18
2.4. OTIMIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	20
2.4.1 Efeito no Cr no Revestimento.....	23
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1. PREPARAÇÃO DO PÓ.....	25
3.2. SOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	25
3.3. CORTE DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES.....	29
3.4. MACROGRAFIA.....	31
3.5. PREPARAÇÃO METALOGRÁFICA.....	32
3.6. MICROSCOPIA ÓPTICA (MO).....	33
3.7. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	33
3.8. DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX).....	34
3.9. DUREZA.....	34
3.10. MICRODUREZA.....	34
3.11. DESGASTE ABRASIVO.....	35
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36

4.1. ASPECTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PÓ.....	36
4.2. ANÁLISE DA SOLDA.....	37
4.2.1. Diluição.....	38
4.3. MICROSCOPIA ÓPTICA.....	40
4.4. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	45
4.5. DIFRAÇÃO POR RAIOS X.....	49
4.6. DUREZA NO METAL DE ADIÇÃO.....	50
4.7. PERFIL DE MICRODUREZA.....	52
4.8. RESISTÊNCIA AO DESGATE ABRASIVO.....	56
5 – CONCLUSÕES.....	59
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	60
REFERÊNCIAS.....	61

1- INTRODUÇÃO

Em diversas aplicações com aços de médio teor de carbono há a necessidade de um aumento em suas propriedades mecânicas relacionadas à dureza e microdureza, pois estas estão diretamente ligadas à resistência ao desgaste. Melhorar a resistência ao desgaste é fundamental quando se deseja diminuir falhas em equipamentos e peças na indústria, aumentando a vida útil dos mesmos, bem como diminuindo os gastos com manutenção. Para isso, em muitos casos, utiliza-se a deposição a partir da soldagem com elementos que formem carbeto de elevada dureza, onde um dos elementos formador de carbetos mais utilizados é o cromo (Cr) devido ao seu custo-benefício (FAGUNDES JÚNIOR, 2015; FERRARESI, 2010).

Revestir um material a partir de algum dos processos de soldagem pode ser definido como a adição de uma liga metálica com propriedades específicas sobre a superfície de um material de base, com a finalidade de melhorar algumas de suas propriedades e consequentemente maximizar seu uso evitando paradas para manutenções inesperadas (GUARANHI, 2014).

Entre os tipos de manutenção que podem ser realizados em um componente industrial, destacam-se as manutenções preditivas, emergenciais e corretivas. No ramo da soldagem de revestimento, utiliza-se a emergencial quando ocorre a falha do componente e é necessária a correção. As preditivas são manutenções agendadas onde a soldagem é executada em uma data programada evitando que o componente entre em falha, por fim as preventivas ocorrem quando se aplica o revestimento duro antes da entrada em operação, prolongando assim sua vida útil e o tempo entre as manutenções preditivas, evitando possíveis falhas que ocorreriam se o esforço fosse aplicado diretamente no material (RIBEIRO, 2004).

Combinando uma boa manutenção preventiva (reforço da soldagem antes da entrada em operação do equipamento), com o cumprimento do plano de manutenção do equipamento consegue-se minimizar as paradas para realização de manutenções emergenciais e consequentemente evitar gastos com reparos inesperados e a perda de produção por paradas não programadas (RIBEIRO, 2004).

Os métodos de soldagem mais aplicados em revestimento na indústria brasileira são o eletrodo revestido e o arco submerso, com uma tendência de uso cada vez maior do arco submerso, devido sua maior produtividade e versatilidade

(FERRARESI, 2010). Nesse trabalho, optou-se por utilizar o processo com proteção por gás ativo (MAG), aproveitando sua alta produtividade, facilidade de operação e versatilidade. O processo semiautomático (utilizado nesse trabalho) permite uma maior precisão na fabricação dos cordões, evitando defeitos oriundos da operacionalidade do processo. A técnica foi incrementada utilizando um pó rico em cromo obtido a partir do eletrodo OK 83.58 (nomenclatura comercial) que tem como norma a DIN 8555.

Nesse contexto o objetivo desse trabalho é avaliar as propriedades mecânicas e morfológicas do revestimento duro com a inclusão de um pó a base de Cromo (Cr) pelo processo GMAW/MAG aplicado na superfície do aço ASTM A36 variando os parâmetros de soldagem (tensão e velocidade de soldagem) e assim determinar qual dos parâmetros fornece o melhor resultado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral:

Avaliar as propriedades mecânicas e morfológicas do revestimento duro com a inclusão de um pó a base de Cromo (Cr) pelo processo GMAW/MAG aplicado na superfície do aço ASTM A36 variando os parâmetros de soldagem (tensão e velocidade de soldagem) e assim determinar qual dos parâmetros fornece o melhor resultado.

1.1.2 Específicos:

- ✓ Caracterizar a microestrutura do revestimento para a identificação das fases e dos elementos presentes, por meio das análises de MO, MEV e DRX;
- ✓ Caracterizar mecanicamente o revestimento a partir dos ensaios de dureza, microdureza e desgaste abrasivo em roda de borracha;
- ✓ Calcular a diluição do material adicionado na superfície do metal de base através da macrografia;
- ✓ Determinar a influência da diluição nas propriedades mecânicas e morfológicas;

✓ Estabelecer qual dos parâmetros utilizados fornecem o melhor resultado com relação às propriedades mecânicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aço ASTM A36

Dentre os aços com baixo e médio teor de carbono, o aço ASTM A36 é o mais utilizado em aplicações estruturais e em setores como serralheria e agroindústria. Isso ocorre devido seu baixo custo e alta disponibilidade em diversos formatos diferentes (perfis, chapas, etc.) (RIBEIRO, 2004).

Com relação às propriedades mecânicas possui baixos valores de resistência ao desgaste, dureza e microdureza apresentando, porém uma boa soldabilidade. Sua densidade de 7,85 g/cm³ torna as estruturas mais leves e seu uso mais amplo nesse tipo de aplicação (RIBEIRO, 2004).

Dessa forma aproveitando seu baixo custo, ampla disponibilidade e utilização torna-se relevante estudar métodos (nesse trabalho a soldagem que será apresentada no próximo tópico) para melhorar as propriedades mecânicas desse tipo de aço em aplicações diversas.

2.2 Conceito de Soldagem

Com origem na pré-história, a união de materiais é fundamental em diversas aplicações do cotidiano do ser humano, sendo utilizada desde simples colagens de papéis para decoração até união de metais que formam as partes constituintes de aviões, navios etc. (MACHADO, 1996; OKAMURA,1982). Segundo Ivan Guerra existem três grandes grupos de processo dedicados à união de materiais, os quais são a Soldagem, a Brasagem e a Solda Branda, além dos adesivos (IVAN GUERRA,1982, p. 2).

Os vários conceitos atribuídos à soldagem levam em consideração a sua utilização para unir peças, porém a mesma possui a versatilidade de recobrir materiais fornecendo, recuperando ou melhorando uma característica específica. Vale ressaltar que a soldagem é relacionada com o processo enquanto a solda é o produto resultante dessa operação (GUARANHI, 2014).

Nesse contexto, utilizaremos o conceito de Sérgio Barra o qual define soldagem como:

“é um processo de fabricação, do grupo dos processos de união, que visa o revestimento, a manutenção e/ou a união de materiais, em escala atômica,

com ou sem o emprego de pressão e/ou com ou sem a aplicação de calor.”
(BARRA, 2013).

Conforme mencionado acima, a soldagem pode ser utilizada também como método para fornecer melhores propriedades ou reconstruir a partir de uma manutenção os materiais através de um processo de recobrimento (revestimento) podendo alongar a vida útil dos mesmos em diversas aplicações em escala industrial. Ainda com relação ao conceito, existe a necessidade do emprego de algum tipo de energia no processo (mecânica, térmica, entre outras) que irá ajudar a classificar e definir que tipo de processo está sendo aplicado.

Assim fica evidente a importância do uso da soldagem em diversos processos tecnológicos, onde a partir da sua definição consegue-se uma melhor visão de suas aplicações e dos seus benefícios.

2.3 Processos de Soldagem

Existem diversos métodos pelos quais ocorre a união de metais a partir da soldagem. O processo físico, ou seja, se ocorre fusão ou não do metal envolvido, é geralmente definido como um bom parâmetro para uma classificação geral. Utilizando esse parâmetro, define-se uma divisão mais ampla dos processos de soldagem em três grandes grupos: soldagem por fusão, soldagem por pressão e brasagem (MACHADO, 1996; OKAMURA,1982).

Como o próprio nome sugere na soldagem por fusão, o material de base se funde, podendo ocorrer ou não a fusão do metal de adição, o que varia de acordo com as subclassificações que existem nesse tipo de soldagem. Com relação à brasagem e solda branda, faz-se uso de um material fundido para unir dois materiais na fase sólida, com a única diferença da temperatura do material adicionado ser maior na brasagem. (MACHADO, 1996; OKAMURA,1982).

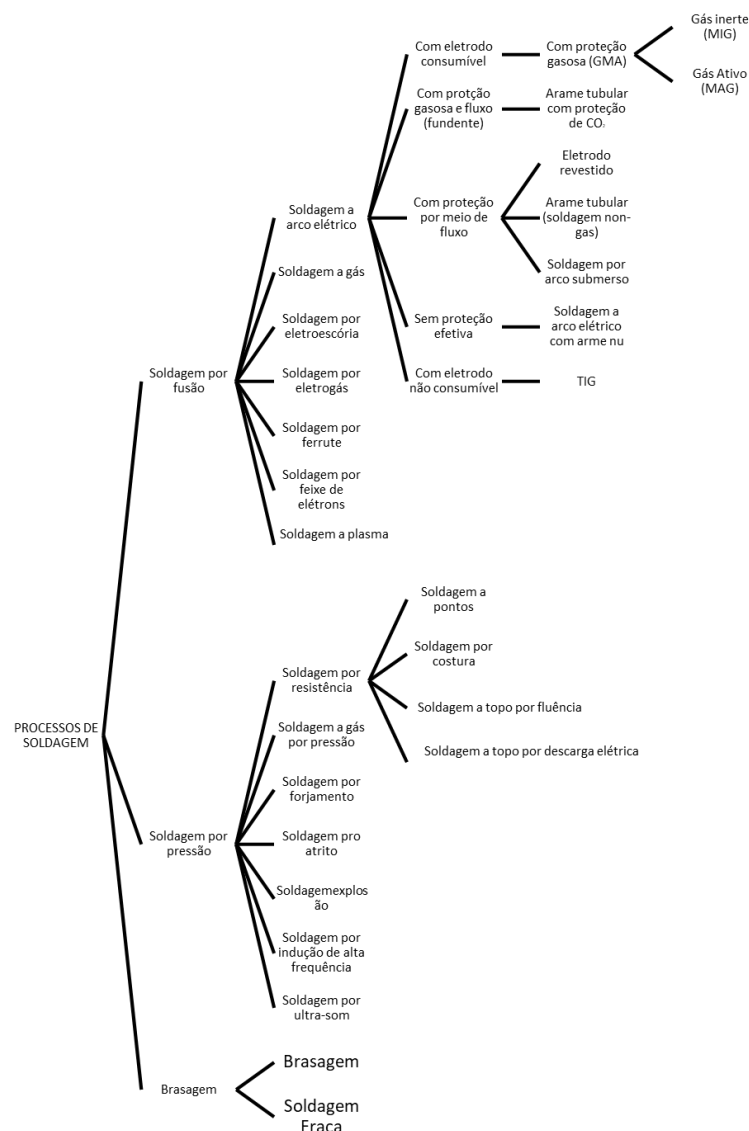
Outro parâmetro comumente usado para classificação é o tipo de energia empregado, que define qual fonte de energia é utilizada durante a soldagem. Nessa classificação deve-se destacar a presença da energia elétrica, pois é a fonte dos processos mais aplicados (OKAMURA,1982).

De modo geral, utilizando esses dois parâmetros (fusão dos materiais envolvidos e energia empregada no processo) têm-se uma classificação aceitável de aproximadamente todos os processos de soldagem existentes e aplicados. Segundo

Okamura (1982) a classificação dos processos de soldagem pode ser descrita na Figura 1.

Assim, a partir da Figura 1 e do que foi exposto o processo utilizado será a Soldagem a Arco com proteção por Gás e Eletrodo Consumível - GMAW, cuja sigla utilizada é oriunda do inglês (Gas Metal Arc Welding) (MACHADO, 1996). Portanto, é um processo por meio da fusão que utiliza como fonte a energia elétrica através do arco criado entre o material de base e o eletrodo consumível (chamado comumente de arame), como metal de adição um arame consumível e possui gás de proteção ativo. Conforme destacou Ivan Guerra (1996), essa técnica é mais conhecida no Brasil pela sigla inglesa MAG (Metal Active Gás) que pode ser traduzida para o português como proteção por gás ativo (MACHADO, 1996).

Figura 1 - Classificação dos Processos de Soldagem



Fonte: Okamura (1982).

2.3.1 Processo GMAW

O processo GMAW, também conhecido como Soldagem a Arco Metálico com Atmosfera Gasosa – SAMAG tem ampla utilização devido sua boa produtividade e possibilidade de automação, dessa forma acarretam em uma melhor padronização dos cordões e diminuição dos erros operacionais. Com relação às particularidades do processo destacam-se a presença do gás que age como protetor da poça de fusão que é formada a partir do arame consumível (metal de adição) e do metal de base, bem como pode interagir ou não no processo gerando as suas duas classificações (OKAMURA,1982).

Essas subdivisões são chamadas comumente no Brasil de MIG e MAG, que são siglas inglesas que significam Metal Inerte Gas e Metal Active Gas respectivamente, sendo que em ambos os casos o gás tem a função de proteger a poça de fusão da atmosfera. Assim define-se se um processo é MIG ou MAG pelo fato do gás participar ou não especificamente de forma ativa do processo de produção da solda (OKAMURA,1982).

Dentre os gases possíveis para utilização nesse tipo de processo de soldagem os mais comuns são o Argônio (Ar), Hélio (He) e Dióxido de Carbono (CO₂) ou uma combinação (mistura) dos mesmos. Apenas quando o CO₂ está presente em determinadas quantidades pode-se considerar o gás como ativo, devido ao fato do mesmo ser oxidante e reagir com os outros elementos presentes na poça. Portanto para que se caracterize uma soldagem por processo GMAW – MAG deve-se ter um arame consumível, com o gás de proteção ativo (no caso do presente estudo foi utilizado CO₂) (MACHADO, 1996; OKAMURA,1982).

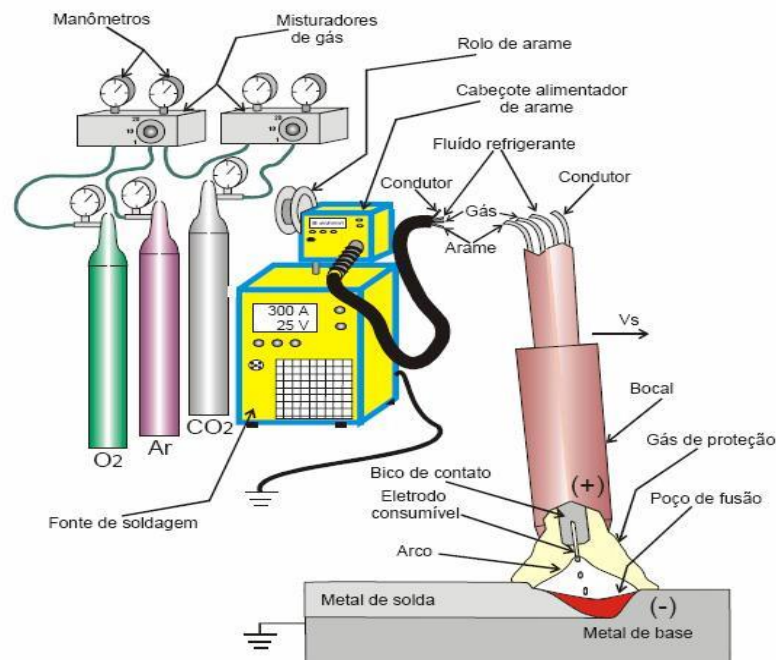
O arame consumível utilizado deve ser do tipo maciço com alimentação automática e possuir estabilizantes, como manganês (Mn) e Silício (Si) necessários para evitar a formação de porosidades oriundas da associação do ferro (Fe) presente no metal de base com o carbono (C) do gás de proteção. Deve ainda possuir diâmetros que variam de 0,8 mm a 1,6 mm para a transferência por curto-circuito. Esse tipo de transferência ocorre quando a gota formada pelo aquecimento do arame só se desprende do mesmo quando toca a poça de fusão, devido à ação da tensão superficial (OKAMURA, 1982).

Outros tipos de transferências metálicas são utilizados nos processos MIG/MAG entre as quais se destaca globular e spray (MACHADO, 1996).

A corrente utilizada é do tipo contínua, onde o lado positivo está ligado ao arame consumível, gerando uma polarização que proporciona maior estabilidade ao arco denominada de polarização direta (CC+). A estabilidade do arco é fundamental para a produção de cordões com qualidade e homogeneidade de acordo com os parâmetros envolvidos. Pode-se utilizar a polarização inversa quando se deseja uma menor penetração, porém o CC- acarreta em instabilidade acentuada do arco sendo, portanto pouco aproveitado para aplicações práticas (MACHADO, 1996).

No esquema para o processo MIG/MAG (Figura 2), tem-se o funcionamento de uma máquina para soldagens desse tipo. A partir dele nota-se que tanto o gás de proteção como o arame consumível é conduzido à poça de fusão através de um canal condutor que tem contato direto com o bocal, onde está situado o bico contato, que é de onde o arame sai abrindo e mantendo o arco com o material de base, até que seja interrompido por ação do operador. Pode-se observar ainda que o manuseio da tocha de soldagem pode ocorrer de forma manual ou automática, sendo este último mais vantajoso (BARRA,2003).

Figura 2 - Representação Esquemática do processo MIG/MAG



Fonte: Barra (2003)

Com relação aos principais parâmetros envolvidos no processo e de suas respectivas influências pode-se destacar:

- Distância entre o Bico e a Peça de Contato (DBCP) - influencia diretamente no comprimento e estabilidade do arco formado e consequentemente na

quantidade de respingos gerada pelas gotas da transferência do metal, bem como, na penetração e taxa de fusão quando aplicado no modo de tensão constante;

- Velocidade de Soldagem (V_s) - Influencia na aparência do cordão quanto uma maior ou menor taxa de diluição. Dessa forma uma maior velocidade proporciona um cordão mais estreito enquanto com uma menor velocidade o cordão é mais largo, em consequência tem-se uma maior ou menor deposição de material, o que definirá uma maior ou menor taxa de diluição;
- Corrente de Soldagem – Influencia na geometria do cordão, volume da poça de fusão e largura da Zona Termicamente Afetada (ZTA);
- Tensão de Soldagem – interfere na estabilidade do arco, pois a mesma varia diretamente com a DBCP, bem como é fator primordial para a energia de soldagem empregada no processo. Tem ainda uma relação direta com a velocidade de alimentação do arame;
- Vazão do Gás – ajuda na estabilização do arco, protege contra impurezas, contribui na formação da microestrutura no processo MAG, influencia diretamente na geometria e aparência do cordão;
- Velocidade de Alimentação do Arame – Interfere na quantidade de material de adição depositado e na estabilidade do arco, o que é diretamente ligado à taxa de diluição/fusão (BARRA, 2003).

2.4 Otimização das propriedades mecânicas

Como alternativa para melhorar as propriedades mecânicas de aços submetidos a grandes esforços durante as aplicações, alguns pesquisadores tem utilizado uma espécie de fluxo (pó) advindo de diversas fontes (algumas recicláveis), o que tem proporcionado bons resultados referentes à dureza/microdureza e desgaste (BARRA, 2003).

Fagundes Júnior (2015) utilizou resíduos de titânio (Ti) recicláveis provenientes de ligas aplicadas em processos para fabricação de implantes dentários, os quais são oriundos do processo de usinagem. Em seu estudo o processo de soldagem foi a arco elétrico com proteção gasosa e eletrodo de tungstênio (GTAW), conhecido no Brasil como Tungsten Inert Gas - TIG. Antes da aplicação, os cavacos (denominação dos resíduos) passaram por tratamento de limpeza em banhos ultrassônicos, moagem e peneiramento.

Para que se obtivesse a formação dos carbeto desejados, criou-se uma pré-camada com a adição de grafita, que é rica em carbono, proporcionado a formação de carbeto de Titânio - TiC a partir da fusão a altas temperaturas durante a soldagem. Como resultado a microdureza no cordão de solda atingiu

aproximadamente 3,75 vezes o valor do metal de base utilizado (Aço ASTM A36). (FAGUNDES JÚNIOR, 2015)

Tahaei (2016) estudou os parâmetros de soldagem no processo a plasma por arco transferido (PTA). Ele utilizou um pó a base de níquel (Ni) que contém entre 14% e 16% de Cr em sua composição como metal de adição base. O incremento na técnica do referido estudo se deu pela adição de partículas formadas por carbeto de tungstênio - WC. Como metal de base foi utilizado o aço ferramenta D2, que em sua composição apresenta 11,52% em Cr.

Foi observada no estudo de Tahaei (2016) a presença de diversos carbeto levando as durezas dos cordões a atingir valores consideráveis em virtude da presença de Cr, Ni e W. Outro fator importante a ser mencionado foi a influencia dos parâmetros de processo, notadamente corrente e velocidade de soldagem, que mostraram que alterações nos seus valores interferem na distribuição dos carbeto formados, bem com na geometria do cordão e consequentemente na diluição, penetração e reforço. A partir dos resultados encontrados chegou-se a uma combinação de parâmetros ótimos, a qual apresentou o cordão com melhores valores de dureza, diluição e aparência.

Lima e Ferraresi (2010) compararam (em laboratório e em campo) revestimentos aplicados a facas picadoras utilizadas na indústria sucroalcooleira, realizados pelo processo de arame tubular. Os parâmetros de soldagem se mantiveram fixos e variou-se a composição dos arames de adição. Foram utilizados 3 arames distintos variando a concentração de Cr, C com o acréscimo de Ni em um deles e Ti e Mo em outro. Os autores observaram que a presença de trincas oriundas do processo de soldagem influenciou de forma negativa e decisiva no desempenho em campo do revestimento levando o arame com Ti em sua composição apresentar o melhor resultado devido à ausência das mesmas.

Outra observação relevante no trabalho desenvolvido por Lima e Ferraresi (2010) foi com relação à definição dos parâmetros de soldagem que não se mostraram adequada para os arames com Ni e com Cr. Isso causou um aumento de trincas e prejudicou o desempenho em campo, principalmente devido ao lascamento proveniente do contato das facas com as canas durante a operação.

Marques e Leite (2009) compararam a resistência ao desgaste abrasivo do revestimento produzido por três ligas comerciais diferentes utilizadas no processo de soldagem por arame tubular autoprotetidos depositados em chapas de aço ASTM

A36. Todas as ligas tem composição à base de Cr-Fe-C, com a diferença do acréscimo de nióbio (Nb) e boro (B) na liga designada como A no estudo e apenas Nb na liga C.

Com relação à microestrutura, foi observada a formação de carbeto em todos os revestimentos com matriz eutética nas ligas A e B. Já em relação ao desgaste a melhor liga foi a com presença de Nb e B, pois ambos além de formar carbeto com elevada dureza, agem como refinadores dos carbeto primários de Cr (MARQUES e LEITE, 2009).

Outro estudo verificou o efeito do acréscimo de um pó produzido de uma mistura proveniente de dois outros pós. O primeiro a base de Fe e B e o segundo a base de Fe e Cr. Nesse estudo houve uma variação na concentração tanto do pó a base de B como na proporção entre pó e arame maciço utilizando o processo de soldagem a arco aberto. A proporção entre o arame e o pó foi alternada de 50% - 50% (aramé/pó) e 30% - 70%, já com relação à presença de FeB na composição variou entre 3 valores 100% FeCr, 90%FeCr – 10%FeB e 70%FeCr – 30%FeB (YÜKSEL e SAHIN, 2014).

Nesse estudo observou-se a formação de carbeto de Cromo primários e secundários, bem como que a presença de B aumentou tanto à sua proporção volumétrica quanto a das fases duras. Isso levou a um aumento nas propriedades mecânicas, onde pode ser observado que o melhor resultado se deu na proporção 30/70 arame/pó e 70/30 cromo/boro. O boro se associa com o carbono e o ferro, formando fases duras que precipitam em estruturas grandes sobre a matriz (carbeto primários) ou ficam dissolvidas em matriz eutética em forma de partículas menores (carbeto secundários), o que leva tanto a um aumento na dureza, quando uma melhora na resistência ao desgaste (YÜKSEL e SAHIN, 2014).

O ganho na dureza ocorre por conta do valor individual de cada fase ou estrutura presente na matriz (carbeto primários), porém esse fato não garante o aumento da resistência ao desgaste. No trabalho de Yüksel e Sahin a melhora na resistência ao desgaste ocorreu por conta dos carbeto secundários, que possuem pequenos tamanhos, mas se encontram espalhados de forma homogênea pela matriz dentrificada. (YÜKSEL e SAHIN, 2014).

Buchely et al. (2014) comparou em seu estudo três ligas comerciais típicas utilizadas para revestimento duro pelo processo de eletrodo revestido, variando de uma a três a quantidade de camadas. Os eletrodos utilizados como material de

adição foi uma liga rica em Cr, outra rica em W e a terceira com presença de Cr, Mo, W e V. Nesse estudo observou-se uma característica semelhante à apresentada por Yüksel e Sahin (2014), quanto à relação entre tamanho/dispersão dos carbeto e valores de dureza e resistência ao desgaste das amostras estudadas.

Foi observado também por Buchely et al. (2014) que os valores de dureza para o revestimento em camada única na escala Rockwell C giraram em torno de 55 HRC. Isso se deve essencialmente a presença de carbeto primários e da matriz eutética que se formou por conta dos elementos presentes na liga de adição. De forma geral o aumento de camadas gerou um pequeno aumento de dureza, enquanto que a mudança na composição das ligas para mesma quantidade de camadas, o eletrodo rico em W apresentou um valor levemente superior.

De maneira geral nota-se a importância da presença de carbeto em revestimentos duros a partir da soldagem, melhorando tanto dureza quanto resistência ao desgaste consequentemente aumentando a vida útil de equipamentos em seu uso cotidiano.

2.4.1 Efeito do Cr no Revestimento

Devido sua alta disponibilidade e excelente custo-benefício o cromo e suas ligas é um dos materiais mais aplicados para incremento das propriedades mecânicas através da soldagem. A forma de utilização do mesmo varia conforme o processo aplicado podendo ser ligas em forma de eletrodos ou arames, bem como o fluxo que tem utilização mais comum no processo FCAW. (YÜKSEL e SAHIN, 2014).

De forma geral o ganho das propriedades mecânicas se dá por conta da formação de matrizes eutética e de carbeto primários e secundários devido à associação do cromo com os outros elementos (principalmente o carbono) presente na poça de fusão. (YÜKSEL e SAHIN, 2014).

Yüksel e Sahin (2014) aplicaram um pó de Cr na soldagem assemelhando-se ao método aplicado nesse estudo, onde se pode observar a presença de carbeto do tipo Cr_7C_3 que elevaram o valor de dureza e resistência ao desgaste. Esse comportamento é comum quando acrescentamos o Cr ao revestimento duro, independente em qual estado o mesmo se encontra (pó, eletrodo, arame) ficando a diferença nas propriedades alcançadas nos resultados de cada estudo atreladas as concentrações e métodos envolvidos no processo. (YÜKSEL e SAHIN, 2014).

Portanto nesse estudo foi proposto analisar o efeito da presença de carbeto de Cr nas propriedades mecânicas do aço ASTM A 36, visto que o Cromo tem um melhor custo-benefício e pode levar a resultados excelentes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação do Pó

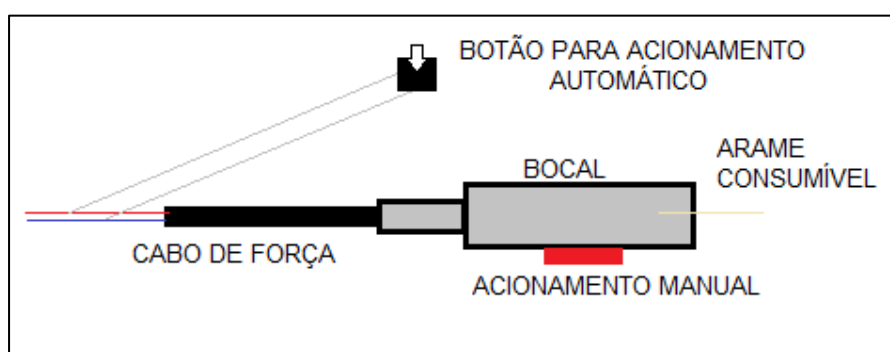
No intuito de aproveitar a alta produtividade do processo GMAW-MAG bem como os bons resultados de propriedades mecânicas oriundos da utilização de eletrodos revestido a base de Cr, foi obtido nesse estudo um pó a partir do eletrodo OK 83.58 (será utilizado nesse texto apenas a nomenclatura comercial) de 3.25 mm de diâmetro. Esse eletrodo é bastante utilizado em processo de produção de revestimento duro pela técnica de Eletrodo Revestido - ER, pois o mesmo possui uma quantidade considerável de Cr.

Para a produção do pó sucederam-se três etapas, onde a primeira ocorreu por meio da retirada manual com uso de um alicate do revestimento do eletrodo. Na segunda etapa o material obtido na etapa anterior foi levado ao moinho de bolas, onde permaneceu por um período de uma hora para refinamento, por fim foi realizado o peneiramento em uma granulometria de 50 mesh (0,3 mm). Antes do processo de soldagem que gerou os corpos de prova se fez necessário o aquecimento do pó em estufa por um período de uma hora a uma temperatura de 100°C, pois ao mesmo adere muita umidade do ambiente, o que dificultaria a fusão do mesmo durante a soldagem.

3.2 Soldagem dos Corpos de Prova

O equipamento utilizado no preparo das amostras foi a máquina Smashweld 257 ESAB, sendo necessária uma adaptação da mesma para que o processo ocorresse de forma semiautomática (Figura 3).

Figura 3 – Esquema de Acionamento da Chave Comutadora



Fonte: Dados da Pesquisa

Para o funcionamento do comando semiautomático foi instalada uma chave elétrica (botão liga/desliga com trava) ligada em paralelo com o acionamento manual da máquina, que permitiu a partida e parada com uma simples comutação da mesma, possibilitando o controle da velocidade de soldagem por meio do carrinho de solda (Figura 3).

Como consumível de soldagem utilizou-se o arame AWS ER70S-6 de 1 mm de diâmetro, cuja composição química indicada a partir do catálogo da ESAB é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição Química Material de Base e Arame de Soldagem.

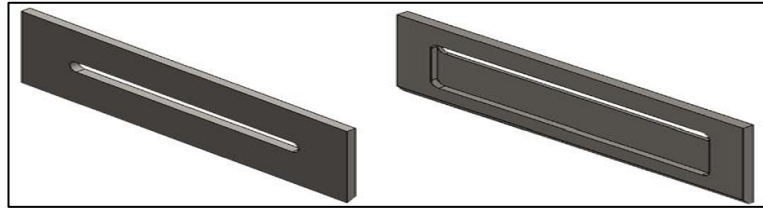
MATERIAL	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)									
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
ASTM A36	0,25	0,8	0,4	0,04	0,05	-	-	-	-	0,2
AWS ER70S-6	0,06-0,15	1,4-1,85	0,80-1,15	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,03	0,5

Fonte: ESAB (2017). C – Carbono; Mn – Manganês; S – Enxofre; Si – Silício; P – Fósforo; Ni – Níquel; Cr – Cromo; Mo – Molibdênio; V – Vanádio; Cu – Cobre.

Os cordões de solda foram depositados em chapas de aço ASTM A36 com dimensões de 125x50x6,25 mm na posição plana com inclinação de 15° (referencia pela vertical), técnica de soldagem na qual alimentação do arame consumível é no mesmo sentido do arco elétrico com distância entre bico e o corpo de prova (DBCP) fixa em 15 mm. Para incorporação do pó no processo foi necessário a fabricação de dois moldes em chapa do mesmo aço com dimensões de 200x50x6,25mm. No primeiro foi inserido um rasgo com dimensões 175x10x6,25mm. Já no segundo foi produzido um rasgo semelhante ao primeiro (com as mesmas dimensões) sendo acrescentado um desbaste (ressalto) no tamanho de 30 mm de largura com 5,25mm de altura a fim de evitar que o cordão anterior gerasse instabilidade na colocação do pó para o próximo cordão em virtude de já se encontrar depósito um cordão de solda anterior (Figura 4).

Esses moldes proporcionaram a adição de 9,67g de pó por cordão, onde a aferição foi feita através da pesagem do pó retirado dos mesmos em balança calibrada do laboratório de materiais do IFPI.

Figura 4 - Desenho dos moldes em AUTOCAD



Fonte: Dados da Pesquisa

Ao todo foram realizados 9 ensaios (Tabela 2) variando-se dois parâmetros (tensão e velocidade de soldagem) em três níveis diferentes utilizando um planejamento fatorial de 3^2 , mantendo-se os outros parâmetros de soldagem constantes.

Conforme observado na matriz de planejamento, a velocidade de soldagem variou entre os níveis 1,5 (4,67 mm/s), 1,75 (6,14 mm/s) e 2,0 (8,36 mm/s) enquanto a tensão alternou em média entre 22,1V; 25,5V e 30,2 V. Os outros parâmetros estão representados na Tabela sendo a temperatura de interpasse medida pelo aparelho INFRARED THERMOMETER que utiliza infravermelho e tem capacidade de medição de até 380°C com precisão de $\pm 1,5^\circ\text{C}$ e relação entre distância e o diâmetro da área de 12:1 (Figura 5).

Já a energia de soldagem foi calculada utilizando a Equação 1 com seus respectivos valores inseridos na matriz de planejamento.

$$E = \frac{V_{SOLD} \times I_{SOLD}}{V_s} \quad (1)$$

Figura 5 - Medição da temperatura de Interpasse.



Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 2 - Matriz de Planejamento dos Ensaios.

	EN01	EN02	EN03	EN04	EN05	EN06	EN07	EN08	EN09
GÁS	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2
PARÂMETROS DE SOLDAGEM	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3	ENSAIO 4	ENSAIO 5	ENSAIO 6	ENSAIO 7	ENSAIO 8	ENSAIO 9
VELOCIDADE DO ARAME (mm/s)	96,2	96,2	96,2	96,2	96,2	96,2	96,2	96,2	96,2
VELOCIDADE DE SOLDAGEM (mm/s)	4,67	4,67	4,67	8,36	8,36	8,36	6,14	6,14	6,14
TEMPERATURA DE INTERPASSE (°C)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TENSÃO MÉDIA (V)	22	25,7	30,7	22,2	25,3	29,5	22,2	25,6	30,3
CORRENTE MÉDIA (A)	122	125	122	119	118,5	121	114	115	117
DBCP (mm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15
VAZÃO DO GÁS (l/min)	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ENERGIA DE SOLDAGEM (KJ/CM)	5,8	6,9	8,0	3,2	3,6	4,3	4,1	4,8	5,8

Fonte: Dados da Pesquisa

Para evitar problemas oriundos dos óxidos e impurezas que aderem naturalmente a esse tipo de aço, os corpos de provas foram lixados e limpos com álcool etílico comercial antes do início do processo de soldagem. Outro cuidado adotado foi a utilização de chapas de sacrifício, produzidas também do aço ASTM A36 (Figura 6). O uso dessas chapas é necessário para evitar que os pontos de maior instabilidade na soldagem (abertura e fechamento do arco) se encontrem na

região da qual serão retiradas as amostras para análise. Com isso garantimos um material em condição adequada para produção dos corpos de prova.

Figura 6 – Corpo de prova pronto para a soldagem.



Fonte: Dados da Pesquisa

3.3 Corte das Amostras para Análises

Nessa etapa ocorreu a retirada dos corpos de provas para os ensaios mecânicos e microestruturais. Foi utilizada uma máquina policorte com um disco apropriado para materiais de elevada dureza e com resfriamento manual e contínuo a base de óleo através de uma almotolia (Figura 7). O controle da temperatura no processo a fim de se evitar mudanças estruturais por conta da elevação demasiada da mesma, foi feito com o INFRARED THERMOMETER utilizado na etapa de soldagem.

Figura 7 -- Corte das Amostras na Policorte



Fonte: Dados da Pesquisa

A forma como as amostras foram retiradas de cada ensaio está representada em um esquema elaborado no AUTOCAD (Figura 8b). Cada região escolhida para corpo de prova foi denominada de série sendo numerada de 1 a 5.

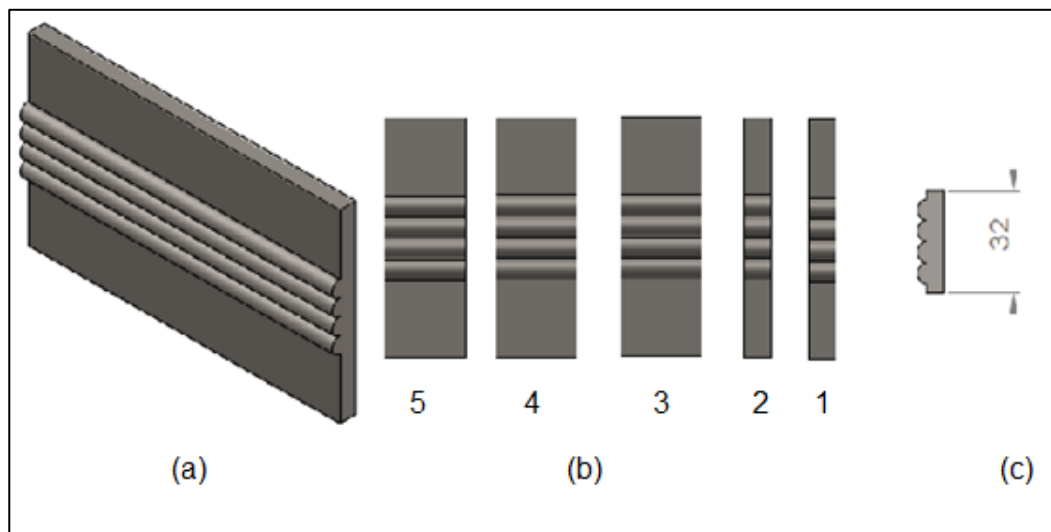
Para nomenclatura foram criados 2 grupos principais, o primeiro contendo as amostras da série 1 e 2 utilizadas para ensaios mecânicos (exceto desgaste) e microestruturais e o segundo com as amostras para desgaste (série 3, 4 e 5).

Todas as amostras da série 1 e 2 tem as iniciais AM0, sendo complementado com o número do ensaio da matriz de planejamento seguido do número da série. Assim uma amostra da série 2 do ensaio 4 será denominada de AM042.

Com relação às amostras para o ensaio de desgaste abrasivo, temos um padrão semelhante ao anterior começando das iniciais D0, seguido do número do ensaio e da série respectivamente. Assim uma amostra da série 4 do ensaio 6 será denominada de D064.

Observa-se ainda na Figura 8c o modelo de um corpo de prova das amostras da série 1 e 2, já com suas dimensões adequadas (largura e comprimento) e pronto para seguir as etapas de preparação para análise. Já a Figura 8a mostra o esquema de uma solda produzida.

Figura 8 – Esquema em AUTOCAD do corte das amostras.



(a) Modelo de solda; (b) Seções: (1) Série 1, (2) Série 2, (3) Série 3, (4) Série 4, (5) Série 5; (c) Corpo de prova Série 1 e 2.

Fonte: Dados da Pesquisa

Com relação às dimensões das amostras e o ensaios relacionados às mesmas, a Tabela 3 resume a utilização de cada série com seus ensaios específicos. Vale ressaltar que na referida tabela a letra X representa o número do ensaio de acordo com a matriz de planejamento.

O local escolhido para cada ensaio deve levar em consideração a influência da abertura e fechamento do arco por conta da instabilidade criada, porém como foram utilizadas chapas de sacrifício, nesse estudo estão região ficou de fora de todas as amostras. Assim as regiões escolhidas para retirada de cada amostra se deu por critérios apenas de organização da divisão da solda gerada nos ensaios.

Tabela 3 – Dimensões e Ensaios de cada corpo de prova.

SÉRIE (DENOMINAÇÃO GERAL)	DIMENSÕES MM (LARGURA X	ENSAIOS
1 (AM0X1)	10X32	MACROGRAFIA; DUREZA; DRX
2 (AM0X2)	10X32	MO; MEV; MICRODUREZA
3 (D0X3)	30X50	DESGASTE ABRASIVO
4 (D0X4)	30X50	DESGASTE ABRASIVO
5 (D0X5)	30X50	DESGASTE ABRASIVO

Fonte: Dados da Pesquisa

3.4 Macrografia

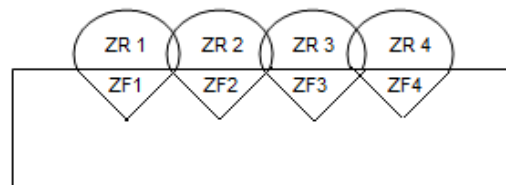
A macrografia ou perfilografia tem a finalidade de analisar a penetração da solda no metal de base e o reforço e a partir desses dados calcular o valor da diluição.

Para realização da macrografia as amostras da série 1 foram lixadas com lixas d'água de granulometria 220 deixando-as planas. Logo após foram lavadas com água corrente e álcool, para em seguida ser secas com jatos de ar quente e atacadas com reagente Nital em concentração de 5% por um período de 10 segundos utilizando o método de imersão. Posteriormente foram retiradas fotografias de todas as amostras com uma máquina Nikon D3200 resolução de 24,2 megapixels. As imagens foram melhoradas no programa Photoshop online para em seguida se efetuar o cálculo da diluição a partir da relação entre a penetração e o reforço da solda utilizando a Equação (2), conforme indicado na Figura 9. O software utilizado para o cálculo foi o Autocad.

$$D (\%) = \frac{ZF}{ZF+ZR} \times 100 \quad (2)$$

Onde, $ZF = ZF1 + ZF2 + ZF3 + ZF4$ e $ZR = ZR1 + ZR2 + ZR3 + ZR4$

Figura 9 – Esquema para Cálculo da Diluição.



ZR – Zona de Reforço; ZF – Zona Fundida.

Fonte: Dados da Pesquisa

3.5 Preparação Metalográfica

Para a realização da microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura as amostras da série 2 passaram por algumas etapas de preparação metalográfica a fim de se atingir a forma ideal para realização da análise. A primeira etapa se deu com o embutimento das amostras pelo processo a frio com o uso de resina acrílica e líquido polimerizante da Arotec auxiliado com moldes de tubo de PVC.

Após o embutimento as amostras foram lixadas em politriz para eliminar riscos e imperfeições na superfície. As lixas utilizadas correspondem a granulometria na sequência de 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh, sendo que a cada troca de lixas a peça era movimentada em 90° em relação a anterior, bem como era lavada com água corrente e álcool absoluto. Em seguida passava por um jato de ar quente para secar. Para se criar uma superfície reluzente e livre de risco do lixamento, as amostras passaram por uma etapa de polimento também na politriz, porém foi utilizado um pano de polimento e como lubrificante alumina de 1µm, onde ao final as mesmas foram lavadas com água corrente e secas a fim de se evitar resíduos.

Concluída essa etapa de preparação, as amostras foram atacadas com reagente Nital a 2% durante um intervalo de tempo de 5 segundos. Em seguida lavadas com água corrente e secas com um jato de ar quente. Por fim as amostras preparadas foram analisadas por MO e ao MEV.

Todos os processos dessa etapa foram realizados no IFPI Teresina Central, nas dependências do Laboratório de Materiais - LABMAT.

3.6 Microscopia Óptica

A primeira etapa da caracterização microestrutural a partir das imagens foi pela técnica de MO, onde as amostras preparadas conforme descrito no item 3.5 foram analisadas pelo microscópio Olympus CX31 (Instalado no LABMAT/IFPI) que conta com o software image pro plus integrado para aquisição das imagens.

Com esse equipamento foi possível obter imagens nas ampliações de 40X, 100X e 400X, nas quais as regiões observadas foram o metal de adição (MA), o metal de base (MB), a zona termicamente afetada (ZTA) e a transição entre essas regiões.

3.7 Microscopia Eletrônica de Varredura

A segunda etapa da produção de imagens para análise microestrutural foi realizada após o desembutimento das amostras com o mesmo tratamento aplicado no MO, utilizando como equipamento para análises o MEV Superscan SSX-550 da Shimadzu, instalado nas dependências do LABMAT do IFPI.

Foram realizados tanto a captura de imagens como análises de espectroscopia por dispersão de energia (EDS) em pontos específicos. As imagens foram capturas nas ampliações de 500X, 1500X e 3000X no metal de adição a fim de se obter a visualização dos carbeto de Cr na matriz, enquanto que na transição entre Metal de base, ZTA e metal de adição fez-se uso de uma ampliação menor (100X).

Nessa análise focou-se principalmente na presença dos carbeto de Cr do metal de adição, pois se observou que seus tamanhos foram muito pequenos necessitando de uma grande ampliação (o que não foi possível no MO). A técnica de EDS foi usada para confirmar a presença dos mesmos nas regiões onde foram identificados.

3.8 Difração de Raios X - DRX

A difração por raios X foi utilizada para identificação das fases presentes no revestimento e dos precipitados (carbeto de Cr) responsáveis pelo aumento de dureza. As amostras da série 1 foram lixadas com lixas de 150 mesh para retirada de imperfeições, em seguida levadas ao Difratorômetro Empyren PANalytical de raios – X presente no LABMAT do IFPI campus Teresina Central.

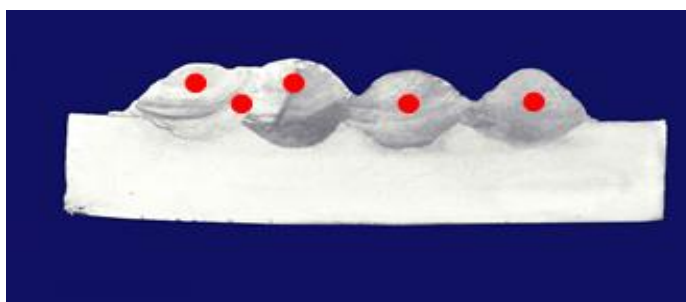
O difratômetro está equipado com tubo de cobalto, sendo utilizado nos ensaios um intervalo de 30° a 110° para a intensidade dos ângulos de difração. Após o ensaio os dados obtidos foram inseridos no software X'Pert HighScore Plus, onde as fichas cristalográficas da base de dados do mesmo foram usadas como referência. Realizada a identificação das fases os gráficos foram gerados no próprio software.

3.9 Dureza

O ensaio de dureza tem como objetivo fornecer um valor referente a resistência do material a deformação plástica, bem como pode sinalizar um indicativo do comportamento do mesmo referente a resistência ao desgaste.

Após a macrografia as amostras da série 1 foram planeadas e levadas ao duromêtro digital modelo AT1302DB da Newage, no qual foram ensaiadas utilizando a escala Rockwell C com carga de 45 N, penetrador em cone de diamante e tempo de ensaio de 15s de acordo com a norma ASTM E18-15. O O ensaio ocorreu no LABMAT do IFPI, onde foram realizadas 5 indentações (representadas por pontos vermelhos) em cada amostra na área do material adicionado, contemplando os 4 cordões de revestimento e uma zona de transição entre dois cordões adjacentes (Figura 10).

Figura 10 – Indentações Ensaio de Dureza



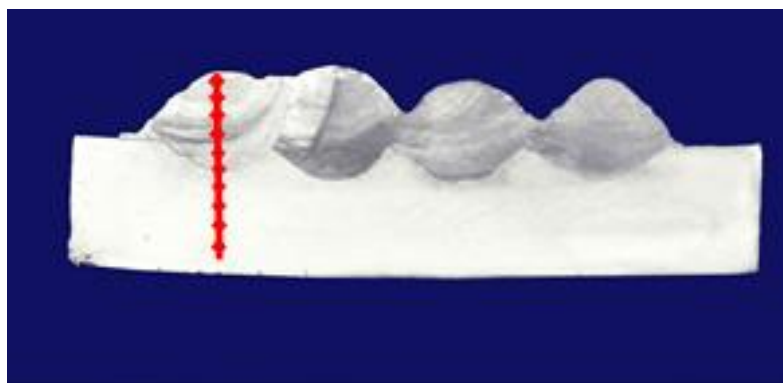
Fonte: Dados da Pesquisa

3.10 Microdureza

Concluída a análises de MEV as amostras foram encaminhadas ao LABMAT do IFPI para análise de microdureza, que é um importante parâmetro na definição das propriedades mecânicas. Nesse estudo o equipamento utilizado para o ensaio foi o Micro Hardness Tester da Shimadzu, tendo como parâmetros a escala Vickers com identador em forma de pirâmide e carga aplicada de 100 kgf (30 N) com tempo de ensaio de 15 segundos de acordo com a norma ISO 14577-1.

Foram realizadas 15 medições em cada amostra espaçadas de 0,25mm da anterior, partindo-se do topo do cordão de solda (MA) até a atingir o metal de base (Figura 11) e mais 5 no MB. Em seguida foi calculada a média dos valores no metal de adição e no metal de base e gerados gráficos com todas as medições para uma melhor visualização e análise dos resultados ao longo das amostras e de suas diferentes estruturas formadas durante o processo de soldagem.

Figura 11 – Esquema Ensaio de Microdureza



Fonte: Dados da Pesquisa

3.11 Desgaste Abrasivo

Para o ensaio de desgaste abrasivo em roda de borracha e areia seca foram utilizadas as amostras da série 3, 4 e 5, sendo para efeito de análise estatística, efetuado o cálculo da média aritmética e do desvio padrão.

O mesmo foi realizado pelo Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais – CCDM da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar de acordo com o procedimento A da norma ASTM G65-16, no qual define a rotação da roda de borracha em 200 RPM, fluxo de areia 380g/min e tempo de ensaio 30 minutos para cada amostra e carga de 130 N. A densidade do aço foi considerada 7,85 g/cm³ e o desgaste expresso em perda de massa e volume. Antes do envio ao CCDM as amostras foram esmerilhadas para obter uma superfície de solda plana, conforme exige a norma em questão.

Depois da conclusão da realização dos ensaios os dados foram analisados e comparados com a literatura, conforme está descrito no capítulo 4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aspecto e Composição Química do Pó

Durante o desenvolvimento do pó adicionado ao processo de soldagem o mesmo apresentou diferentes aspectos após o fim de cada etapa (Figura 12).

Figura 12 – Aspecto do pó durante a produção



(a) Após a retirada do eletrodo, (b) Após o moinho de bolas, (c) Após o peneiramento.

Fonte: Dados da pesquisa

No que diz respeito à composição química (Tabela 4) a proporção da quantidade de Cr e Mo presente no eletrodo triplicou no pó. Outro elemento que obteve ganho elevado foi o Si, que atua como estabilizante do eletrodo. Isso se deve principalmente a ausência da alma do eletrodo no pó, pois Cr, Si e Mo situam-se no revestimento, ocorrendo assim um aumento significativo da sua proporção. Os dados da composição do eletrodo foram extraídos do catálogo da Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget - ESAB.

Tabela 4 - Composição Química do Eletrodo OK 83.58 e FRX do Pó.

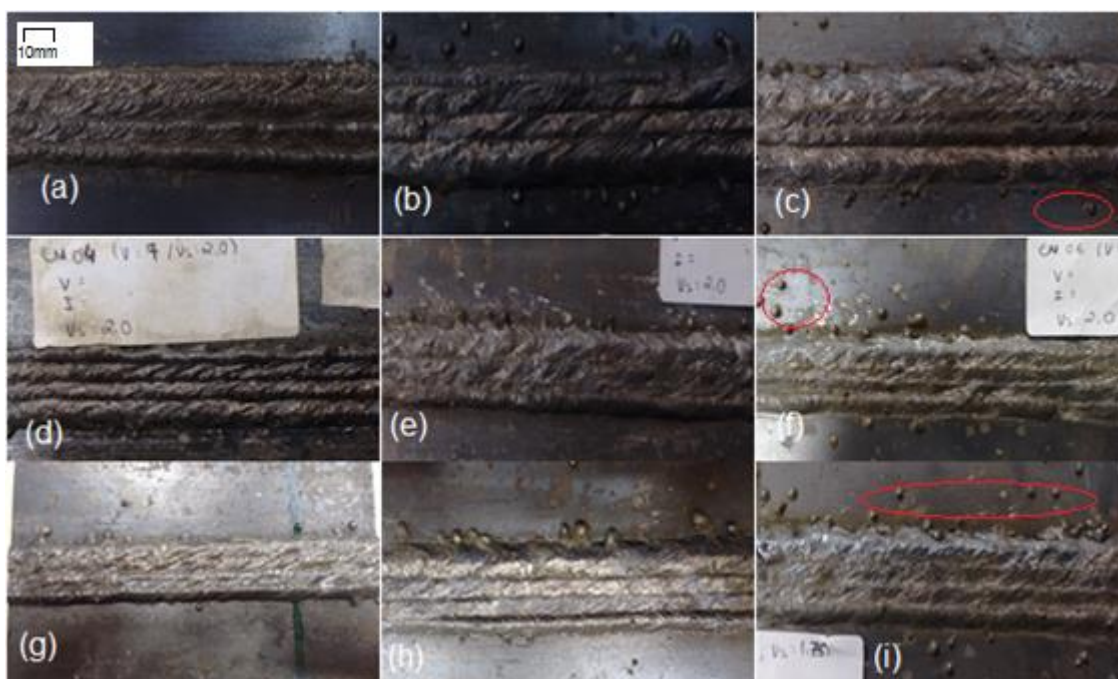
MATERIAL	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)									
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
ER OK 83.58	0,6	0,7	0,6	-	-	-	6,8	0,5	-	0,5
FRX DO PÓ	-	1,43	13,74	-	-	-	18,8	1,55	-	-

Fonte: ESAB (2017). C – Carbono; Mn – Manganês; S – Enxofre; Si – Silício; P – Fósforo; Ni – Níquel; Cr – Cromo; Mo – Molibdênio; V – Vanádio; Cu – Cobre.

4.2 Análise da Solda

De maneira geral todos os cordões apresentaram um bom aspecto para os parâmetros utilizados durante o processo de soldagem, de forma que não foi observada a presença de falhas na soldagem, trincas ou defeitos na aparência do cordão. A principal diferença se deu com a mudança da V_s em relação à largura do cordão que se apresentou mais largo para os ensaios de menor velocidade (ensaios 1, 2 e 3 com $V_s = 4,67$ mm/s – dados da Tabela 3) (Figura 13).

Figura 13 – Aparência da Solda.



(a) Ensaio 1; (b) Ensaio 2; (c) Ensaio 3; (d) Ensaio 4; (e) Ensaio 5; (f) Ensaio 6; (g) Ensaio 7; (h) Ensaio 8; (i) Ensaio 9

Fonte: Dados da Pesquisa

Outro aspecto interessante observado foi a presença maior de respingos, identificados por círculos vermelhos (Figura 13), quando aplicado o maior valor de tensão de soldagem ($V_{SOL} = 30$ V nos ensaios 3, 6 e 9). Isso está atrelado a maior instabilidade do arco causada pelo o aumento de V_{SOL} , visto que a energia de soldagem (E), calculada conforme Equação (1), alcançou valores semelhantes para diferentes V_s aplicadas, conforme demonstrado na matriz de planejamento da Tabela 3, pelos ensaios 1 e 9 com velocidades de 4,67 mm/s e 6,14 mm/s respectivamente e obtiveram energias de soldagem iguais ($E_1 = 5,8$ kJ/cm e $E_9 = 5,8$ kJ/cm).

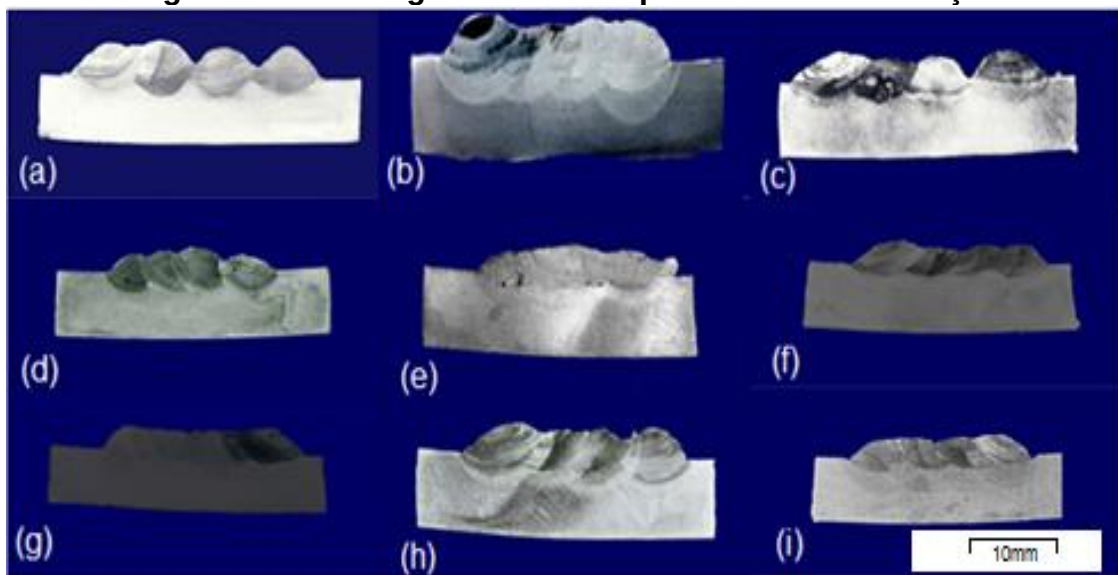
Assim todos os cordões apresentaram um bom aspecto visual sem a presença de trincas ou defeitos macrográficos, com destaque para os ensaios de menor V_{sol} onde não se observou a presença de respingos.

4.2.1 Diluição

A diluição é um importante parâmetro para definir o quanto o metal de adição penetrou na solda e perdeu de suas características isoladas, esse fator influenciará diretamente nas propriedades mecânicas em uma relação inversa, ou seja, é desejável uma menor penetração para que se obtenham melhores valores nas propriedades mecânicas. Para o processo MAG os valores adequados de diluição giram em torno de 30%.

No presente estudo o cálculo da diluição foi efetuado através das macrografias (Figura 14), com seus respectivos resultados plotados em gráfico (Figura 15). Nota-se no gráfico que foi levado em consideração a variação da diluição em cada amostra relacionada à velocidade de soldagem, pois a mesma influencia diretamente na quantidade de material depositado. Outro fator que tem influência de forma direta é a corrente aplicada, porém nesse estudo a mesma não sofreu alterações significativas.

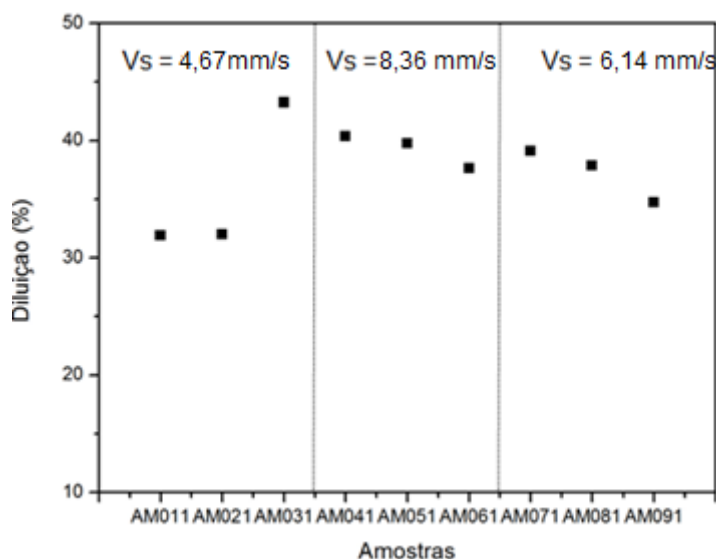
Figura 14 – Macrografia utilizada para cálculo da diluição



(a) AM011; (b) AM021; (c) AM031; (d) AM041; (e) AM051; (f) AM061; (g) AM071;
(h) AM081; (i) AM091

Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 15 – Gráfico Diluição x Vs.



Fonte: Dados da Pesquisa

Analisando os resultados observou-se que com velocidade de 4,67mm/s para as amostras AM011 e AM021 a diluição alcançou valores próximos a 32% estando 30% próximo do valor adequado para um processo MAG, já a amostra AM031 alcançou o pior resultado (43%), devido à combinação de alto valor de energia de soldagem com baixa velocidade. Esse resultado foi menor quando comparado com os quase 60% de outro estudo (FAGUNDES JÚNIOR, 2015). Ribeiro (2004) conseguiu valores de diluição menores (26%) para deposição em uma camada, com corrente próxima à utilizada nesse trabalho, porém utilizando o processo de eletrodo revestido. Mota et al (2016) atingiu valores próximos aos 27% utilizando o processo MIG, porém variando energia de soldagem e velocidade de alimentação do arame o que influencia na taxa de deposição e afeta os valores de diluição. Enquanto Lima, Ferraresi e Gonçalves (2007) encontraram uma diluição em 21,20% utilizando o processo ER com eletrodo de FeCrC.

Ainda de acordo com a Figura 15 verificou-se que o maior valor alcançado foi de 43%, ainda bem abaixo do que os valores encontrados em outro estudo (FAGUNDES JÚNIOR, 2015) que utilizou um método que mais se aproxima com o presente trabalho em virtude da inclusão do pó no processo de soldagem. Assim apesar de técnicas de soldagem diferentes é um bom parâmetro para analisar os efeitos de um elemento novo (pó) em um processo de soldagem já conhecido e muito utilizado.

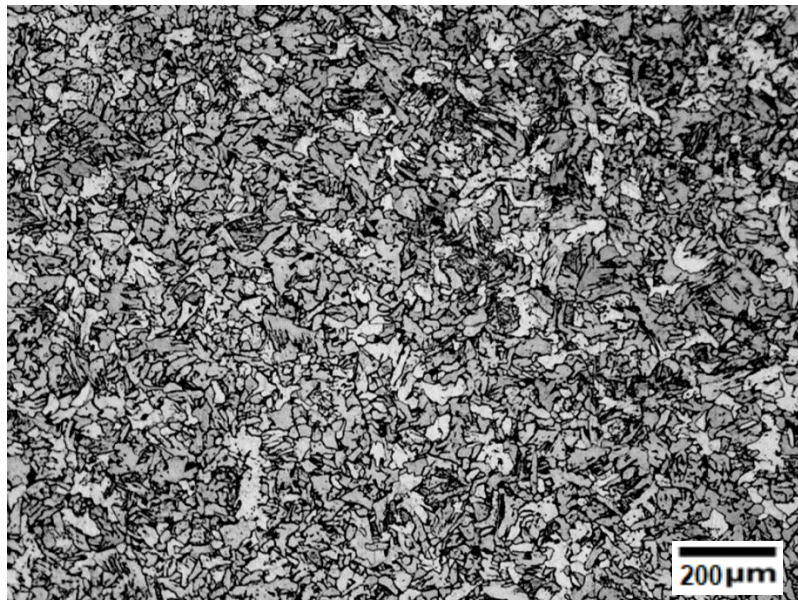
Ainda com relação ao gráfico destaca-se a amostra AM091 que mesmo com velocidade de soldagem maior (6,14 mm/s) quando comparada aos ensaios 1, 2 e 3 obteve diluição próxima aos melhores valores. Isso deve a energia de soldagem que atingiu o mesmo valor da amostra AM011 e ficou um pouco abaixo da amostra AM021.

De maneira geral o resultado é satisfatório para o processo utilizado, sendo que a diluição influencia nos outros ensaios, porém não será determinante para definição dos melhores parâmetros, visto que os valores alcançados em todos os ensaios ficaram abaixo ou próximos a referências de outros estudos que apresentaram excelentes propriedades mecânicas e morfológicas.

4.3 Microscopia Óptica

Os resultados da microscopia óptica mostraram para o metal base (Figuras 16 e 17), uma estrutura básica de ferrita que é comum aos aços de baixo teor de carbono. Foram tomadas como referência as imagens de MO das amostras AM012 e AM052. Vale ressaltar que a microestrutura do MB foi mantida igual para todas as amostras.

Figura 16 – Microscopia Óptica metal de Base (AM 012 100x).

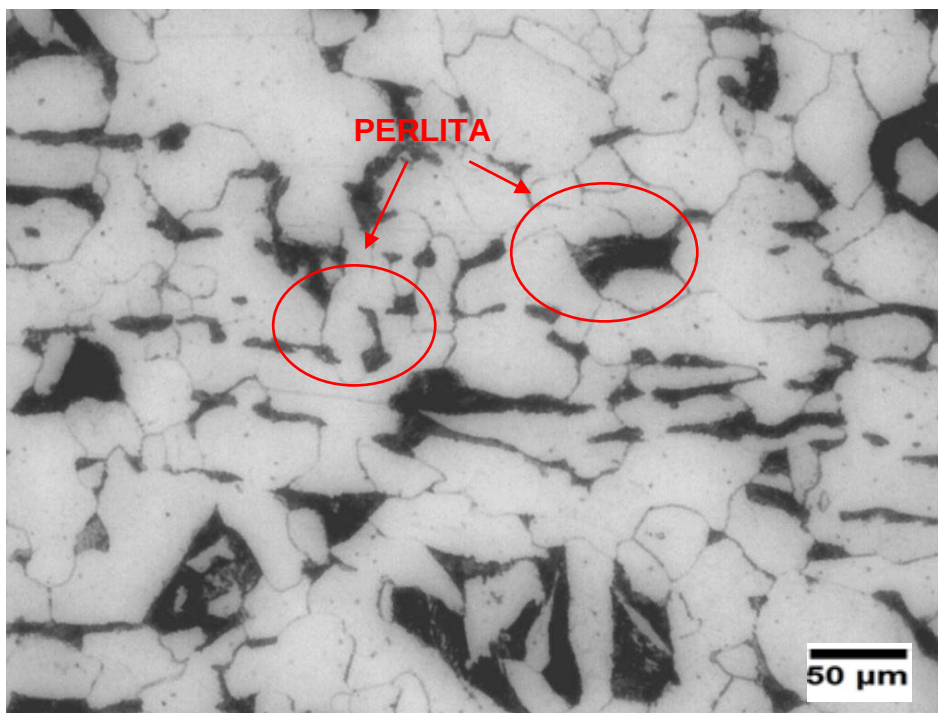


Fonte: Dados da Pesquisa

Em ambas as Figuras (16 e 17) pode-se perceber a diferença entre as fases de acordo com sua tonalidade, onde a maior quantidade das fases claras representa a ferrita (predominante no aço ASTM A36) com seus grãos equiaxiais bem definidos

conferindo ao material valor baixo tanto de dureza como de resistência ao desgaste. Na ampliação de 400X tem-se mais evidência da Perlita (fase escura) presente na estrutura do aço, onde se percebe a menor proporção da mesma, dessa forma influenciando pouco nas propriedades do material (Figura 17).

Figura 17 – Microscopia Óptica metal de base (AM052 400x).

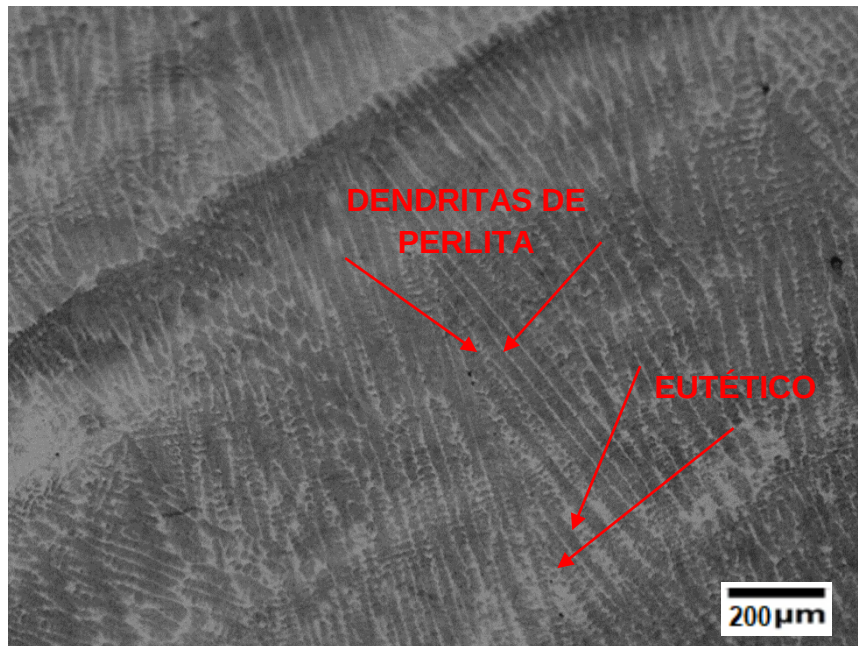


Fonte: Dados da Pesquisa

Em relação ao metal adicionado, a presença de Cr e Mo na composição do pó, somada as quantidades de carbono (gás de proteção ativo e composição do metal de base) envolvidas no processo, produziram uma estrutura dendritica de Perlita sobre uma matriz oriunda de uma reação eutética com teores de carbono variando entre 3% e 10% e proporciona uma melhora nas propriedades mecânicas, principalmente no que diz respeito à dureza/microdureza e resistência ao desgaste.

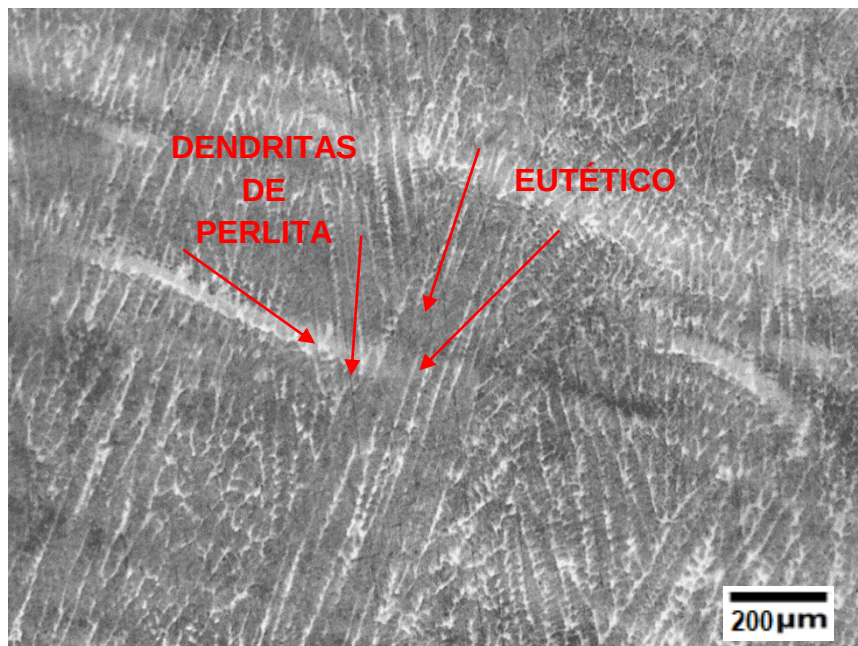
Essa estrutura combinada com a presença carbeto de cromo gerados durante a soldagem proporcionaram o aumento de até 4,4 vezes na microdureza do material após a aplicação do revestimento. De forma geral as fases presentes em todas as amostras se mostraram idênticas e foram representadas no texto pelas amostras AM012 e AM092 (Figuras 18 e 19). É importante salientar que o valor maior das propriedades mecânicas nos ensaios com parâmetros diferentes, se deve principalmente aos carbeto e suas variações de tamanhos e dispersão em cada amostra.

Figura 18 - Microscopia Óptica revestimento (AM012 100X).



Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 19 - Microscopia Óptica revestimento (AM092 100X).



Fonte: Dados da Pesquisa

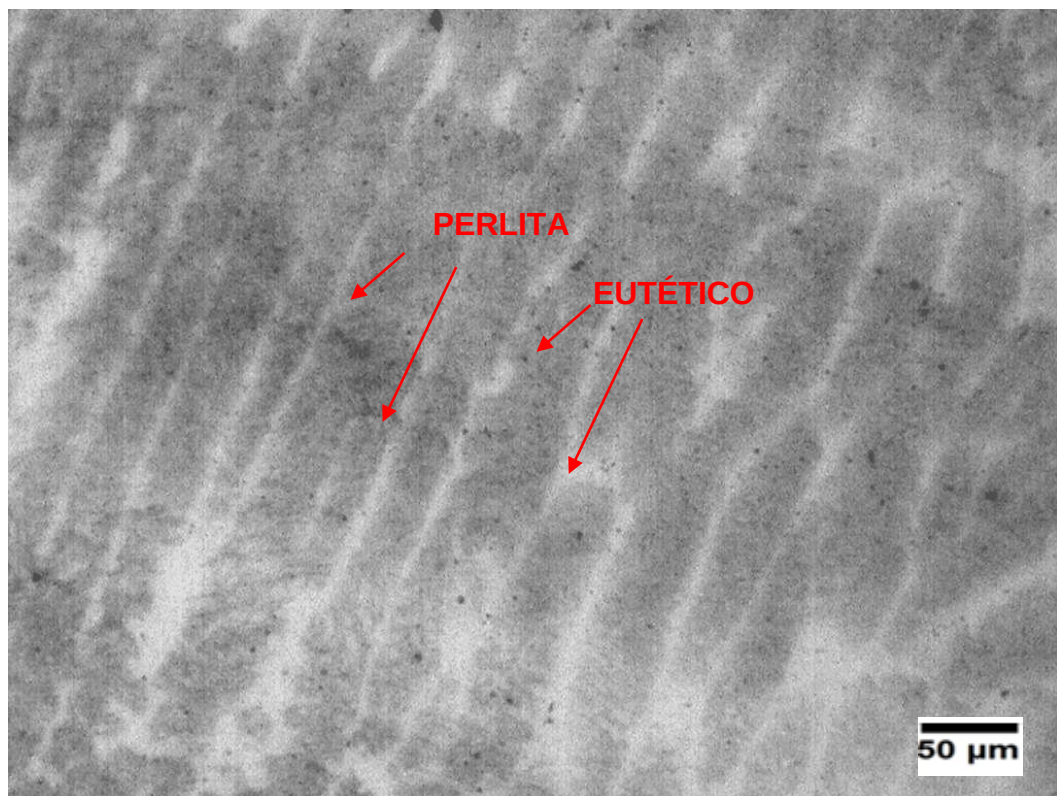
Como fica evidente pela observação das imagens acima, as estruturas de amostras utilizando parâmetros de soldagem distintos se mostraram muitos semelhantes com a presença de dendritas de perlia (fase mais escura) e uma matriz eutética ou eutético (fase mais clara). Pode-se observar ainda que as amostras com $V_s = 6,14$ mm/s apresentaram menor proporção do eutético com a predominância

maior de Perlita que é uma fase mais dura, quando comparadas com outros ensaios. Esse comportamento ficou ainda mais evidente quando a tensão utilizada foi o maior valor ($V_{\text{SOLD}} = 30\text{V}$), o que leva a um indicativo de bons valores de propriedades mecânicas para o ensaio 9.

Isso ocorre devido o ensaio 9 tem um valor de tensão mais elevado e uma velocidade intermediária proporcionando boas fusão do pó e deposição de material atrelados a um valor de diluição abaixo de 35%.

Foi utilizada a maior ampliação possível no aparelho de MO disponível para análise e ainda assim não foi possível identificar os carbeto, devido seu menor tamanho, ficando claro apenas a estrutura já mencionada anteriormente (Figura 20).

Figura 20 - Microscopia Óptica revestimento (AM082 400x)



Fonte: Dados da Pesquisa

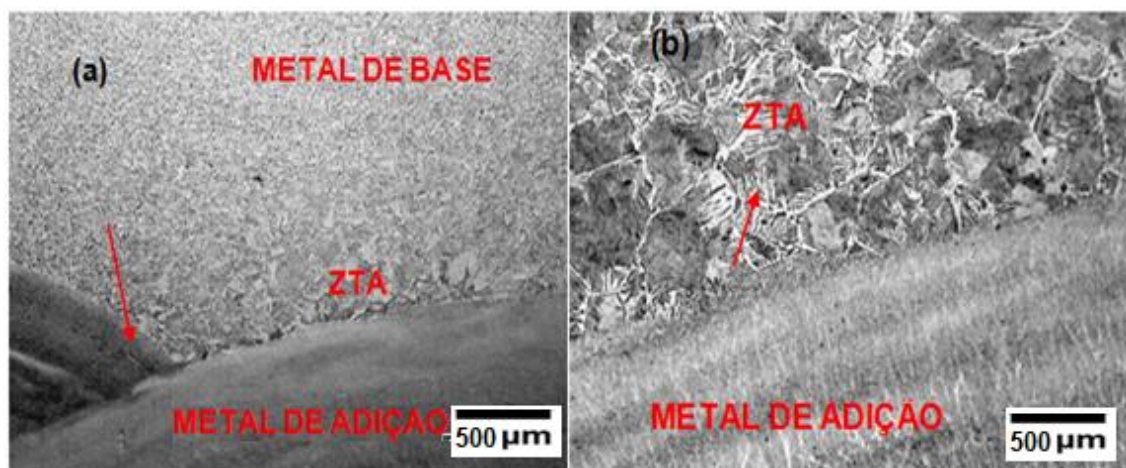
Buchely et al (2005) encontraram em seu estudo para deposição em única camada pelo processo ER, com eletrodo apresentando 35% de Cr e 4,3% de carbono em sua composição, uma matriz eutética semelhante ao presente estudo, porém com carbeto primários do tipo M_7C_3 com dimensões maiores dispostos sobre a matriz. Marques e Leite (2009) encontraram resultados semelhantes ao de Buchely et al (2005), utilizando o processo de arame tubular auto protegido variando a composição dos três consumíveis utilizados (todos a base de Cr, acrescentando

Nb e B no segundo e apenas Nb no terceiro). Nos dois casos essa diferença se deve principalmente por conta das quantidades maiores de carbono e cromo presentes no processo, bem com a presença de outros elementos de ligas formadores de carbeto como Nióbio e Boro.

De maneira geral, os trabalhos referenciados nessa pesquisa apresentaram comportamento semelhante ao descrito acima, com a presença de uma matriz eutética, sendo formada acima ou abaixo do ponto eutético, devido à concentração e presença de elementos de ligas. Portanto, o revestimento desse estudo apresentou resultados semelhantes aos encontrados na literatura quanto à análise de MO, deixando como ponto a melhorar apenas a formação dos carbeto que se mostraram com pequenas dimensões.

Observou-se ainda com relação à microscopia a região de transição entre as zonas do material (Figura 21).

Figura 21 - Microscopia Óptica Região de Transição



(a) AM022 40X; (b) AM032 100X.

Fonte: Dados da Pesquisa

Além da identificação das zonas, notaram-se as diferentes microestruturas das mesmas, na qual se destaca a presença de ferrita também na zona afetada termicamente, porém não chegando a se formar uma matriz eutética por conta dos baixos teores de carbono e cromo, diferindo assim do que ocorre no metal de adição. (Figura 21)

A seta da figura 21a indica uma região entre dois cordões adjacentes, onde nota-se que não houve grandes alterações de microestrutura por conta da sobreposição. A Figura 21b indica a identificação de ferritas (situadas no contorno de grão formado na ZTA) citadas acima.

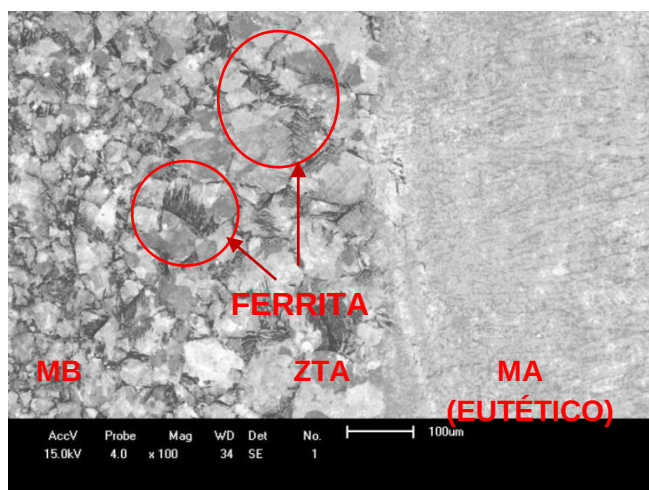
Assim a análise de MO mostrou resultados satisfatórios proporcionando a formação de uma microestrutura com melhor desempenho que o MB e boas propriedades comparadas aos trabalhos citados, considerando-se a utilização de materiais de baixo custo, fácil acesso e de suas quantidades envolvidas.

4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

As imagens de MEV em ampliações de 100X apresentam a diferença microestrutural entre as zonas do material (ZTA, MB e MA), onde pode ser observado que não houve alterações na microestrutura característica encontrada na análise de MO para amostras retiradas do mesmo ensaio. Assim no revestimento se confirmou a matriz eutética com a presença de Perlita, enquanto na ZTA identificam-se os grãos com a ferrita se formando em seus contornos. Já o MB se manteve com sua estrutura característica de ferrita com grãos equiaxiais (Figura 22).

Será apresentada nesse texto, apenas a amostra AM082 (Figura 22). Com a relação as demais amostras ensaiadas o comportamento obteve um padrão (semelhante à amostra do ensaio 8), no que diz respeito a esta ampliação, ou seja, em todos os ensaios de MEV para ampliação de 100X, foi encontrada no metal de adição a matriz eutética, na zona termicamente afetada a mesma estrutura mostrada na Figura 22 e no MB a presença predominante de ferrita. Vale ressaltar que as considerações abordadas e suas consequências com relação à espessura e proporção das dendritas de Perlita no ensaio de Microscopia Óptica se aplicam também ao ensaio de microscopia eletrônica de varredura.

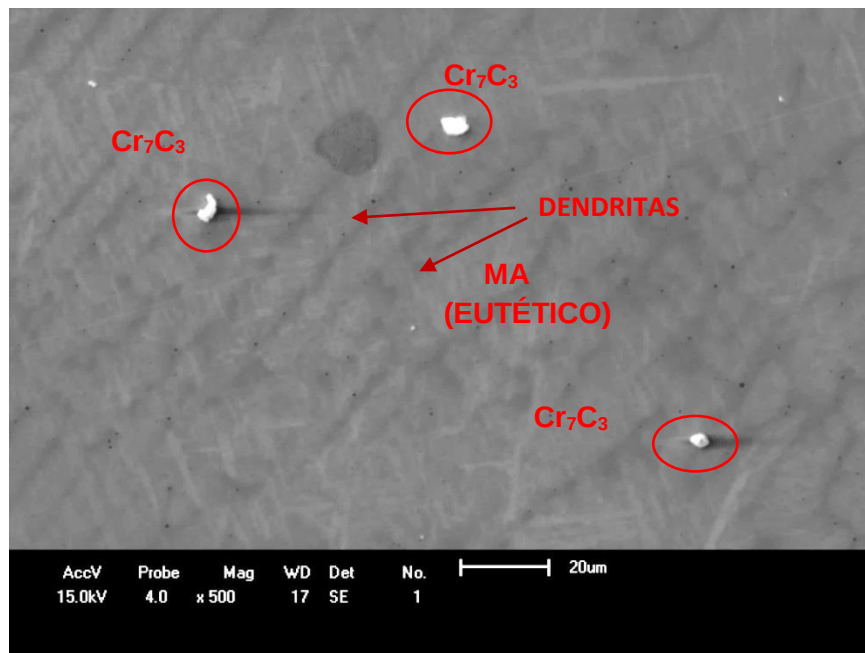
Figura 22 – MEV da zona de transição entre as fases (AM082 100X).



Fonte: Dados da Pesquisa

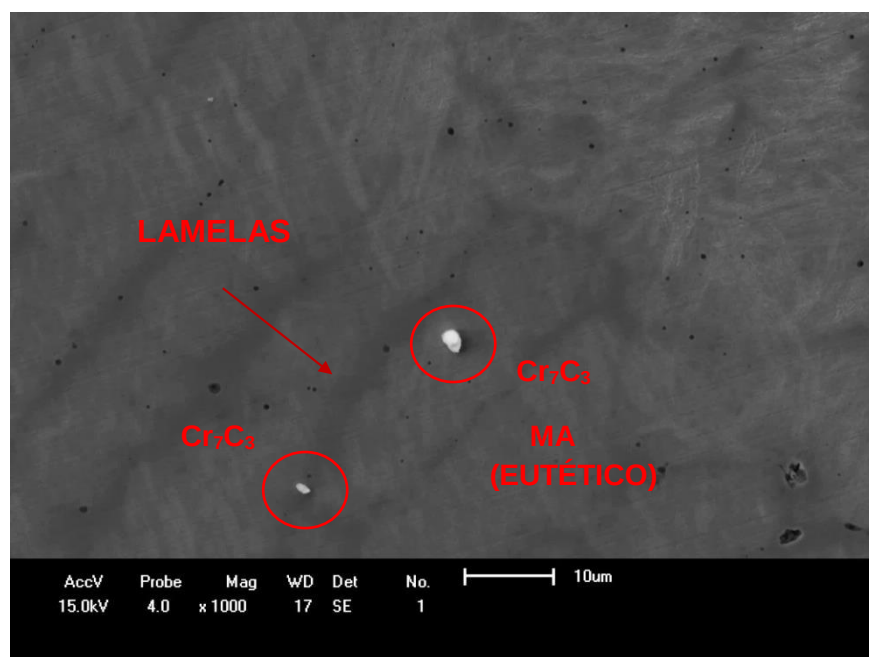
Com aumentos superiores, a partir de 500X, foi possível notar a presença de carbeto do tipo Cr_7C_3 (confirmados pelas análises de DRX) (Figuras 23 e 24) que situaram-se nas extremidades das dendritas de Perlita sobre matriz eutética do revestimento, possuindo formatos alongados e tamanhos pequenos, assim como uma dispersão alta.

Figura 23 – Análise de MEV – Amostra AM082 ampliação 500x



Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 24 - Análise de MEV – Amostra AM082 ampliação 1000x



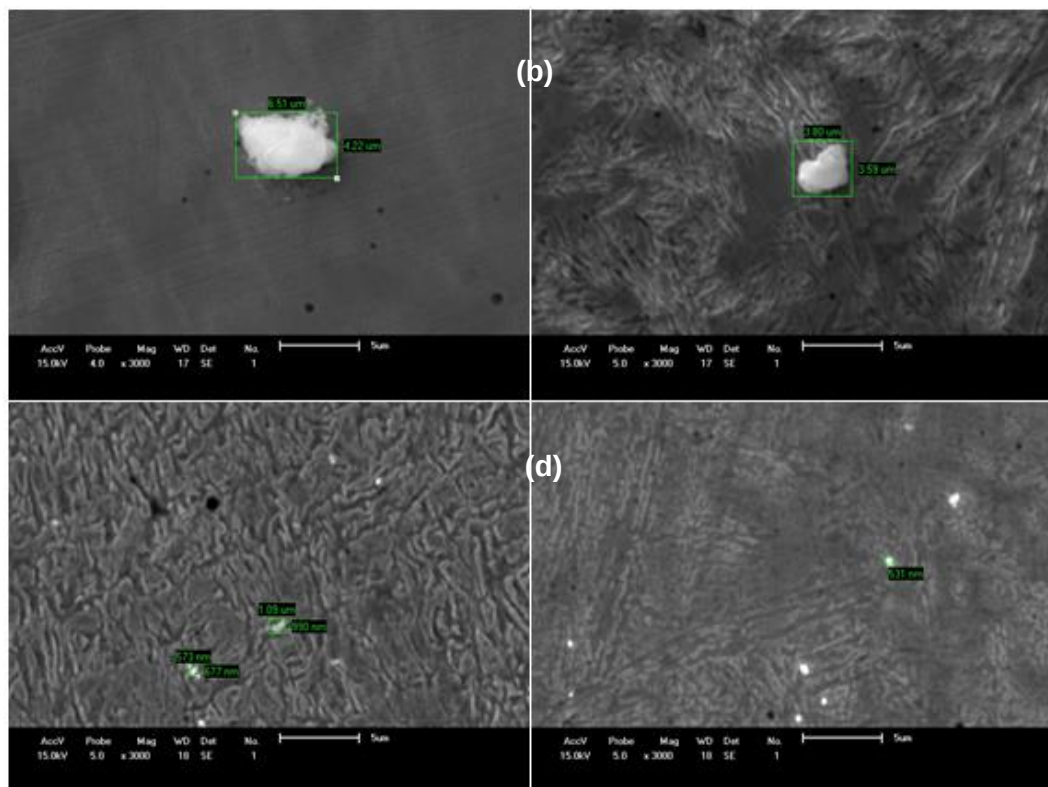
Fonte: Dados da Pesquisa

Nas Figuras 23 e 24 está apresentada apenas a amostra AM082, porém notou-se que o formato e localização dos carbeto mostraram-se semelhante nos outros ensaios realizados.

A principal diferença nos carbeto presentes nas amostras se deu por conta do tamanho, onde se destacaram as amostras AM082 e AM062 apresentando os maiores resultados, enquanto os menores apareceram nas amostras AM042 e AM032. Destacam-se também as amostras AM092 e AM052 com valores intermediários. Todas as medidas foram feitas na ampliação de 3000x.

Assim dentre os ensaios com melhores resultados encontra-se novamente a combinação de $V_s = 6,14$ mm/s e tensões mais elevadas (ensaios 8 e 9), conforme ocorreu na análise de MO. Essa combinação de parâmetros proporcionou boa fusão do pó na poça de soldagem bem como deposição de material adequada, atrelados a um valor de diluição abaixo de 35%. Os menores carbeto foram encontrados nos ensaios 3 e 4, onde foram utilizados $V_s = 4,67$ mm/s; $V_{SOLD} = 30$ V (ensaio 3) e $V_s = 8,36$ mm/s; $V_{SOLD} = 22,2$ V (ensaio 4), levando à diluições mais elevadas (acima de 40%) e um incremento menor do pó na poça de fusão.

Figura 25 - Comparação tamanhos de Cr_7C_3



(a) AM082; (b) AM062; (c) AM042; (d) AM032

Fonte: Dados da Pesquisa

Na Figura 25 ficou evidente a diferença de tamanho dos carbeto, onde é importante notar para a amostra AM062 que apresentou valores entre as maiores dimensões, também alcançou um bom valor de diluição, bem como atingiu o maior valor de microdureza. Bons resultados referentes à diluição e HV e resistência ao desgaste também foram alcançados na amostra AM082 e AM092. Já as amostras AM032 e AM042 apresentaram menores valores de microdureza e maiores diluição bem como baixa resistência ao desgaste, assim conclui-se que o tamanho dos carbeto influenciou nas medições do ensaio Vickers e consequentemente nas propriedades mecânicas dos ensaios como esperado.

Com relação à análise de EDS, tanto os espectros como a proporção de peso em massa mostraram a presença de carbono e cromo em todas as amostras. Foi considerado o aumento de 3000X, onde novamente se destacaram as amostras com carbeto maiores e melhores resultados de microdureza atrelados (Tabela 5).

Tabela 5 Resultados EDS – Ampliação 3000X

AMOSTRA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)					
	C	Cr	Fe	Si	Na	Mn
AM022	3,9	2,5	90,1	1	0,63	1,2
AM042	2,8	1,13	94,2	0,88	-	-
AM062	10,6	2,72	82,7	1,1	0,66	0,95

Fonte: Dados da Pesquisa. C – Carbono; Cr – Cromo; Fe – Ferro; Si – Silício; Na – Sódio; Mn – Manganês.

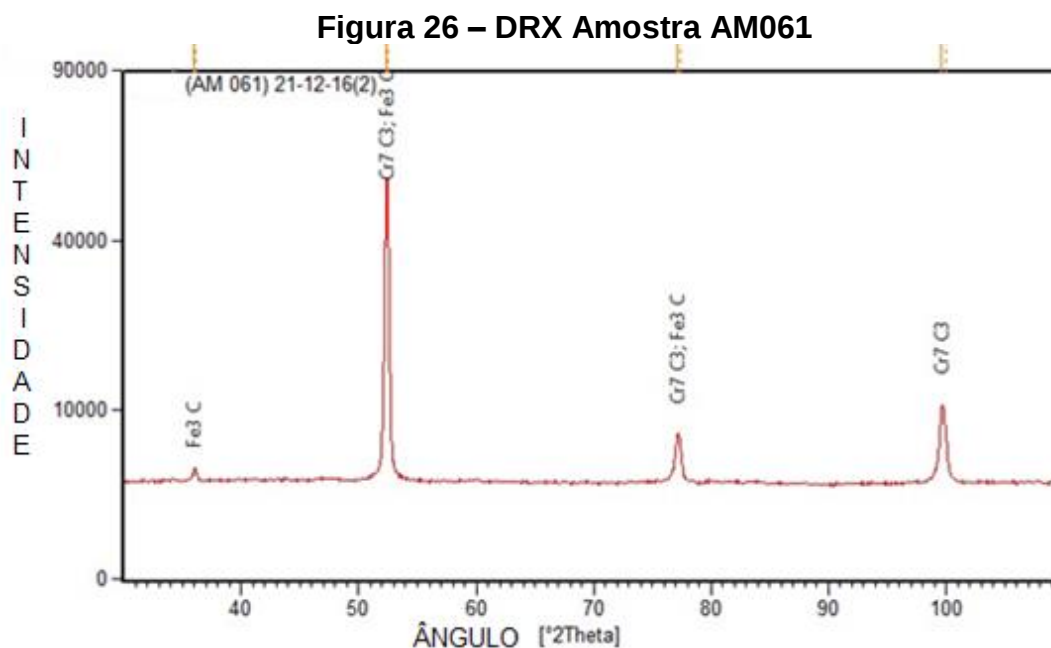
De acordo com a Tabela 5, notam-se maiores quantidades tanto de Cr como de C nas amostras AM022 e AM062, quando comparadas a amostra AM042. Percebe-se também que as quantidades de cromo são semelhantes para as amostras dos ensaios 2 e 6 que apresentaram carbeto maiores e consequentemente melhores propriedades mecânicas.

De forma geral os autores referenciados nessa pesquisa, encontraram carbeto formados por associação de diversos elementos diferentes ao carbono, com tamanhos maiores e menores dispersão que os resultantes do processo de soldagem utilizado nesse estudo, porém os resultados do presente trabalho foram satisfatórios.

4.5 Difração de raios - X

A análise de DRX foi direcionada ao cordão de solda, a fim de se confirmar a microestrutura apresentada nas análises de MEV e MO. De maneira geral, todas as amostras apresentaram resultados semelhantes, exemplificados através da amostra AM061 (Figura 26). Como todos gráficos gerados para cada ensaio realizado com parâmetros de soldagem diferentes apresentaram os mesmo picos nas mesmas posições será apresentado apenas o gráfico da referida amostra.

Conforme apresentado na Figura 26 o resultado apresentou 4 picos nas seguintes angulações: com 2θ igual 32° , 52° , 77° e 100° . Esse comportamento se repetiu ao longo dos ensaios, onde o primeiro pico foi característico da cementita, já o último mostrou o carbeto Cr_7C_3 , enquanto os intermediários foram característicos tanto da Fe_3C como dos carbetos.



Fonte: Dados da Pesquisa

Assim a microestrutura característica (matriz eutética e carbetos de Cr) observada no revestimento de todos os ensaios através das análises de microscopia óptica e de MEV, foi confirmada a partir dos gráficos oriundos dos ensaios de DRX.

Yüksel e Sahin (2014) encontraram um pico de Cr_7C_3 próximo as 50° que se assemelha ao pico encontrado nesse estudo, enquanto Fagundes Júnior (2015) encontrou picos mais característicos de carbeto de titânio (TiC) em virtude do aglomerado (pó) utilizado no processo ser rico em Ti.

De forma geral os outros trabalhos usados como referencia na pesquisa utilizaram gráficos para identificação de elementos químicos, ao contrário desse

estudo que buscou identificar as fases presentes a fim de se confirmar a presença de Cr_7C_3 na matriz eutética.

4.6 Dureza Metal de Adição

No que diz respeito à dureza superficial dos revestimentos (Tabela 6), desatacam-se as amostras AM011, AM041, e AM081 que apresentaram valores acima de 50 HRC. Nessas amostras os níveis de tensão utilizados foram mais baixos, sendo o maior valor o da amostra AM081 que ficou em 25,6 V enquanto nas outras duas ficou em torno de 22 V. Isso causa uma maior estabilidade do arco e consequentemente uma melhor incorporação do pó na solda.

Tabela 6 – Dureza das Amostras.

	DUREZA HRC								
	AM011	AM021	AM031	AM041	AM051	AM061	AM071	AM081	AM091
HRC MÉDIA	56,9	46,96	45,96	56,72	49,64	45,44	46,88	58,66	53,02
DESVIO PADRÃO	6,50	6,42	8,83	7,81	9,48	9,83	9,89	8,90	7,58

Fonte: Dados da Pesquisa

De acordo com a Tabela 6, os menores valores foram observados nas amostras com maior valor de tensão (30 V), com exceção da amostra AM091. No ensaio 9 apesar do valor de tensão mais elevado a combinação desse com uma velocidade de soldagem intermediária levou tanto a uma boa diluição do pó como um bom valor de energia de soldagem, o que faz com que atingisse boas propriedades mecânicas incluindo a dureza. Com relação ao ensaio 3 a energia de soldagem alcançou o maior valor, levando a uma diluição maior e menores valores de dureza, já no ensaio 6 a combinação V_s e V_{SOLD} máximos gerou valores menores de dureza. De maneira geral, as amostras com o processo mais estável conseguiram diluir melhor o pó e consequentemente atingiram melhores valores de dureza, levando em consideração ainda o desvio padrão todas as amostras ficaram próximo as 50HRC.

Nos estudos de Buchely et al (2005) que utilizou o processo de eletrodo revestido, quando considera-se apenas um passe (1 camada de solda depositada sobre o metal de base) visto que no seu experimento ele utilizou também sobreposição de camadas, verificou-se como melhor valor de dureza média no

cordão 58 HRC, sendo que o eletrodo utilizado como consumível além de Cr possuía W em sua composição, o que acarreta além de uma maior formação de carbeto, no surgimento de precipitados à base de W que elevam ainda mais dureza. Quando foi utilizado apenas Cr, o valor ficou um pouco abaixo (55,6 HRC), que são valores bem próximos aos encontrados nesse estudo. Os resultados de Buchely et al (2005) se devem à presença de uma matriz eutética e dos carbeto secundários formados pela presença de Cr e W no metal de adição, que também foram observados no presente estudo com exceção do W.

Yüksel e Sahin (2014) utilizaram como consumível uma combinação de arame e pó de Fe-Cr-C, sendo variada a proporção dos mesmos em cada ensaio. Eles alcançaram valores próximos a 50 HRC para a proporção 50% arame/50%pó e 52HRC para 30%arama/70%pó. Esses valores atingiram patamares mais altos, chegando ao maior valor encontrado no estudo que foi próximo a 67HRC na proporção 30%arama/70%pó sendo ao pó acrescido FeB. Observou-se que os valores apresentados para as amostras do presente trabalho (Tabela 6) estão acima dos encontrados por Yüksel e Sahin (2014) quando a comparação leva em consideração apenas as amostras que foram acrescidas somente o pó com Fe-Cr-C, notando-se um aumento significativo nos ensaios acrescido de FeB.

Tahaei et al (2016), utilizaram o processo PTA com a presença de Cr, Ni e W na composição do pó utilizado como consumível. O metal de base utilizado também possui uma quantidade de Cr considerável, que influenciou tanto na microestrutura quanto nas propriedades mecânicas. Como resultado chegou a um valor de dureza de 48 HRC. O valor encontrado está principalmente relacionado à presença de carbeto de Cr e W, sendo próximo aos menores valores apresentados no presente estudo. Lima, Ferraresi e Gonçalves (2007), conseguiram 60,8 HRC utilizando o processo de arame tubular autoprotetido, com um arame a base de Cr, atingindo valores um pouco mais alto comparado a esse estudo, devido principalmente à presença de carbeto maiores em maior proporção.

Assim os resultados de dureza apresentados nessa pesquisa (maior valor 58,66 HRC) estão dentro dos patamares encontrados na literatura, bem como dentro de uma faixa esperada, considerando a quantidade de Cr presente no pó atrelado à variação dos parâmetros aplicados que proporcionou a formação de uma matriz dura com a presença de carbeto.

4.7 Perfil de Microdureza

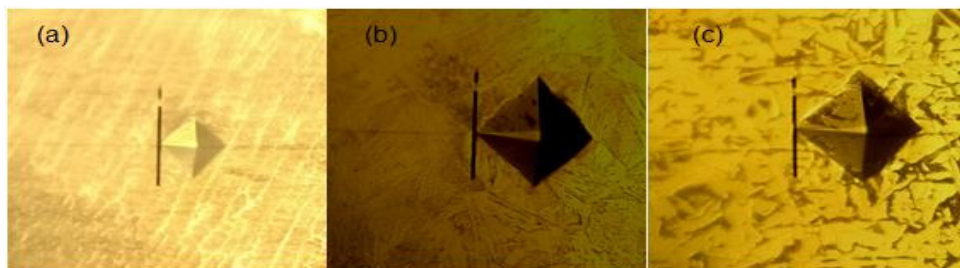
Os resultados das Figuras 28, 29 e 30 mostram o perfil de microdureza traçado para cada uma das amostras da matriz de planejamento, sendo divididos de acordo com a velocidade de soldagem aplicada, onde foi destacado o gráfico com o melhor resultado.

De maneira geral os resultados mostraram que os valores começaram mais altos (topo do cordão – posição 0 do eixo X do gráfico) e caíram de acordo com a aproximação da ZTA até chegarem às menores medidas no metal de base. Presume-se que esse comportamento é um indicativo de um perfil adequado de microdureza que deve proporcionar uma boa resistência ao desgaste.

Os resultados de HV mais altos no metal de solda se devem à presença de dendritas de Perlita sobre uma matriz eutética que possui regiões mais duras (Fe_3C) e regiões mais moles (Ferro – α) quando comparadas entre si. Vale ressaltar aqui a influência dos carbeto de cromo no aumento da microdureza, porém não foi possível medi-la separadamente da matriz por conta de suas pequenas dimensões e sua localização.

Os baixos valores encontrados na ZTA e no metal de base, podem ser explicados por conta da presença maior de ferrita, que é uma fase característica do MB e que se torna mais influente na ZTA quando a medição se distancia mais do metal adicionado. Por se tratar de uma fase mais mole, os valores de HV são mais baixos para essas regiões. As três regiões com as indentações do ensaio estão representadas na Figura 27.

Figura 27 – Indentações: Ensaio de Microdureza.



(a) MS; (b) ZTA; (c) MB.

Fonte: Dados da Pesquisa

Notou-se na Figura 27 a diferença microestrutural entre as regiões, o que conseqüentemente determina valores maiores ou menores de HV que ficam

evidenciados pela marcação da pirâmide em uma relação inversa com o resultado de microdureza, ou seja, onde o indentador penetra menos e deixa uma marca menor o material ofereceu mais resistência e consequentemente possui maior HV (Figura 27 (a); (c)).

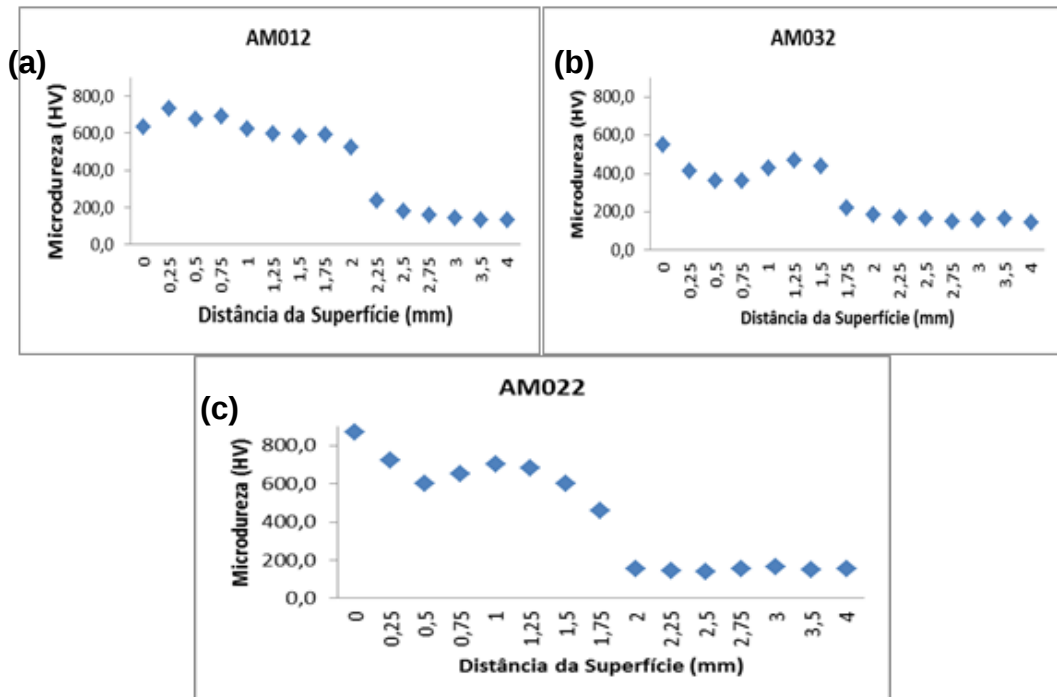
Verificou-se que os melhores resultados (Tabela 7 e Figura 28, 29 e 30) ocorreram nas amostras AM012, AM022 e AM062 que mostraram boa fusão do pó (AM012 e AM022 não apresentaram respingos), bem como alcançaram os melhores valores de diluição (próximo a 32% para AM012 e AM022, 37,64% AM062). Indicando que não houve muita interferência do metal de base no cordão de solda e a quantidade de Cr no mesmo ficou bem diluída, proporcionando valores de microdureza mais altos.

Tabela 7 – Microdureza Média na Solda e no Metal de Base

	MICRODUREZA VICKERS HV								
	AM012	AM022	AM032	AM042	AM052	AM062	AM072	AM082	AM092
HV MÉDIA NA SOLDA	627,6	660,1	432,3	421,3	449,1	662,8	292,4	550,7	479,7
HV MÉDIA NO MB	148	150,2	154	150,4	153,4	146,6	147	149,9	150

Fonte: Dados da Pesquisa

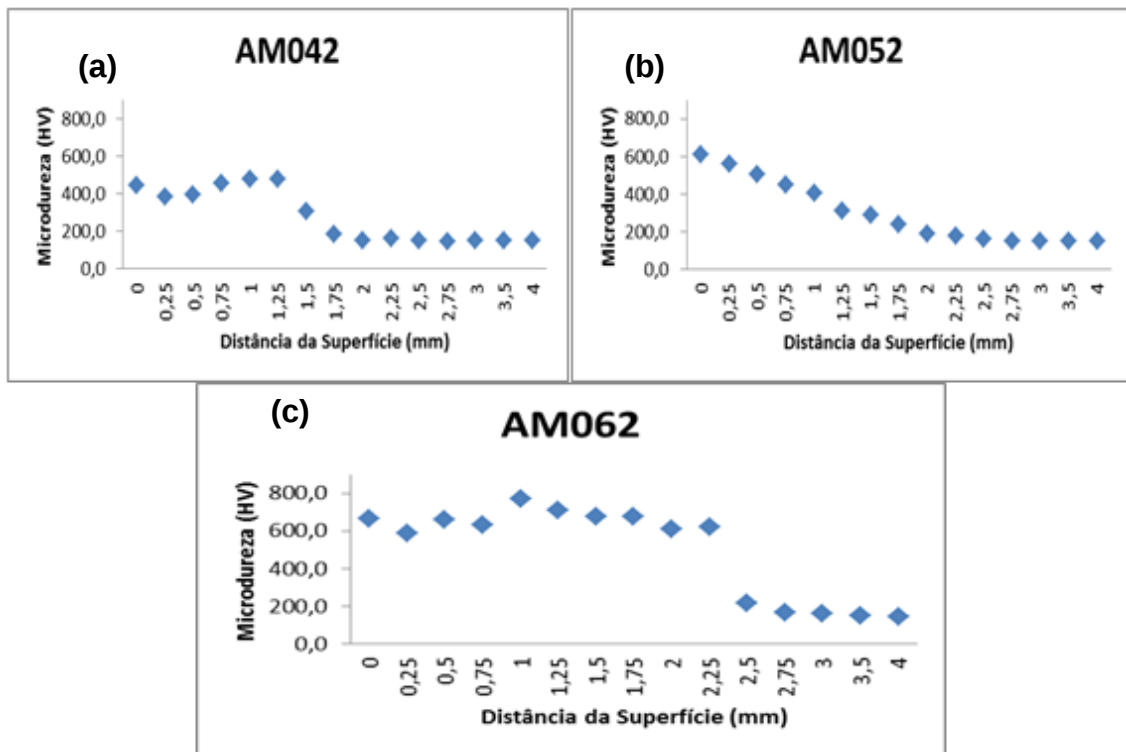
Figura 28 – Microdureza Amostras com Vs = 4,67 mm/s



(a) Amostra AM012; (b) Amostra AM032; (c) Amostra AM022.

Fonte: Dados da Pesquisa

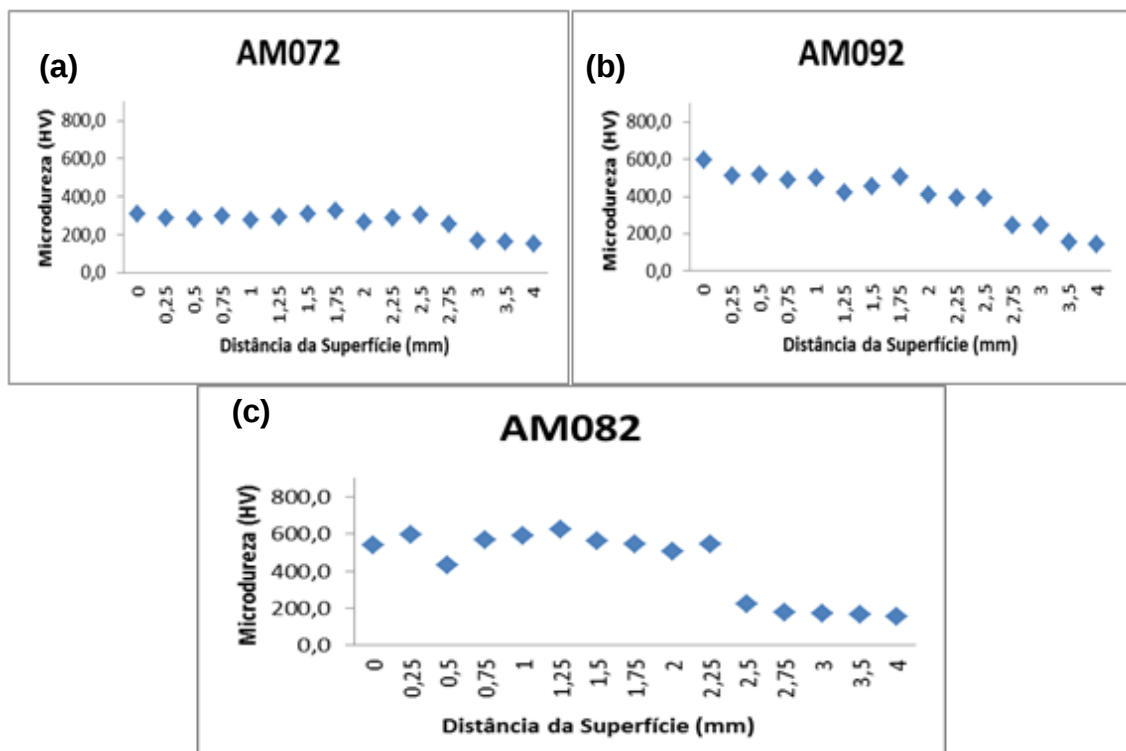
Figura 29 - Microdureza Amostras com Vs = 8,36 mm/s



(a) Amostra AM042; (b) Amostra AM052; (c) Amostra AM062.

Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 30 - Microdureza Amostras com Vs = 6,14 mm/s



(a) Amostra AM072; (b) Amostra AM092; (c) Amostra AM082.

Fonte: Dados da Pesquisa

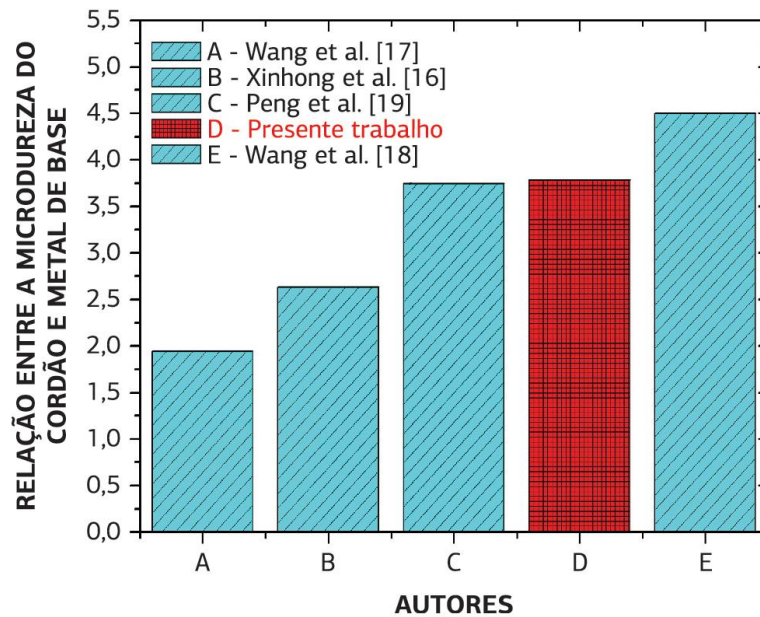
As amostras AM032 (Figura 28b), AM042 (Figura 29a) e AM072 (Figura 30a) apresentaram os resultados mais baixos, relacionados às taxas de diluição que ficaram em torno de 40%, levando a uma maior interferência do metal de base no cordão. O ensaio 3 apresentou também alta energia de soldagem enquanto no ensaio 4 tem-se alta velocidade de soldagem que influenciam de forma negativa na incorporação do pó.

Outro fator que influenciou no resultado de microdureza pode ser observado nas análises de MEV, que mostraram carbeto menores e em menor proporção para as amostras de menor resultado.

As amostras AM082 (Figura 30c) e AM092 (Figura 30b) também apresentaram bons resultados, fato esse justificado pelos valores de diluição que ficaram abaixo de 40% em virtude dos parâmetros aplicados que proporcionaram boa fusão do pó na solda, bem como a presença de carbeto com tamanho entre os maiores encontrados (ensaio 8 maior tamanho) e uma dispersão mais próxima das amostras com melhores resultados.

Na comparação com a literatura, Fagundes Júnior (2015) compilou dados de alguns estudos (Figura 31). Nesse gráfico tem-se a relação entre o valor medido no metal adicionado e no metal de base, fornecendo assim uma noção de quanto à microdureza aumentou por conta da presença do revestimento. Realizando o mesmo cálculo para o presente trabalho a amostra AM062, que apresentou HV média mais alta, apresenta 4,4 vezes o valor do MB, portanto ficando abaixo apenas do trabalho de Wang et al (2008). Mesmo considerando o menor valor de HV (ensaio 7) a relação entre a microdureza do MB e do metal adicionado dobra o valor. Vale ressaltar ainda que os materiais utilizados na produção da camada dura nos trabalhos citados no gráfico são todos formados a base de Ti.

Com relação a valores absolutos, Fagundes Júnior (2015) em seu trabalho atingiu 500HV como melhor média entre todos os ensaios realizados. Enquanto Tahaei Ali et al (2016) obtiveram valor máximo acima de 900 HV para a melhor amostra. O presente estudo alcançou 660 HV, que é um valor intermediário e consideravelmente bom, principalmente levando-se em consideração que o valor aumentou em mais de 4 vezes a microdureza do metal de base. De maneira geral, obteve-se um bom resultado de HV utilizando-se materiais de fácil acesso e baixo custo de mercado.

Figura 31 – Relação da Microdureza entre MS e MB

Fonte: Fagundes Júnior (2015)

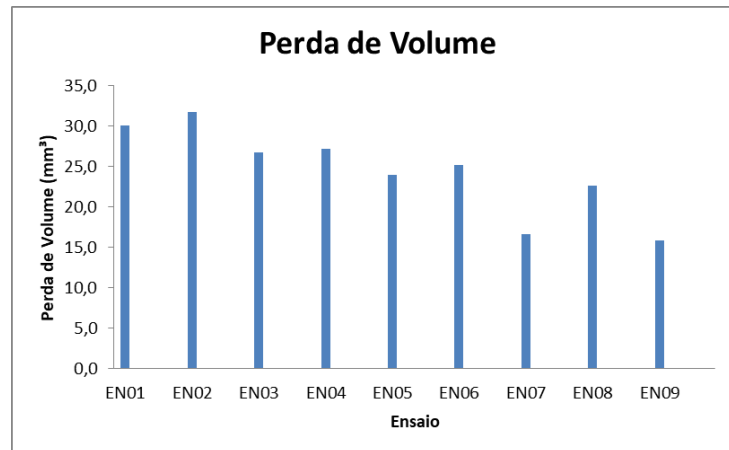
4.8 Resistência ao Desgaste Abrasivo

A tabela 8 mostra os resultados em perda de massa (mg) e perda de volume (mm^3), já no gráfico da Figura 32 está representado apenas a perda de volume (a norma ASTM G65-16 sugere que os resultados sejam apresentados em forma de volume) oriundos da análise de resistência ao desgaste abrasivo, na qual nota-se que os melhores resultados (menores perdas) ocorreram nas amostras dos ensaios 7, 8 e 9, onde foi utilizada velocidade de soldagem de 6,14 mm/s.

Tabela 8 – Desgaste Abrasivo: Perda de Massa e Volume

	PERDA DE MASSA E VOLUME								
	EN01	EN02	EN03	EN04	EN05	EN06	EN07	EN08	EN09
PERDA DE VOLUME (mm^3)	30,1	31,8	26,8	27,1	24,0	25,1	16,7	22,6	15,8
DESVIO PADRÃO	4,01	3,55	4,87	7,39	2,69	3,82	2,16	1,61	3,80
PERDA DE MASSA (mg)	236,3	249,3	210,0	213,0	188,0	197,3	131,0	177,7	124,3
DESVIO PADRÃO	31,5	27,9	38,2	57,9	21,0	29,9	17,0	12,4	29,8

Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 32- Desgaste Abrasivo: Perda de Volume

Fonte: Dados da Pesquisa

O ensaio 9 já havia mostrado bons valores de dureza, microdureza, bem como a presença de carbeto (com tamanho entre os maiores encontrados nesse estudo) precipitados sobre uma matriz eutética com uma boa proporção de Perlita. Isso se deve ao fato da boa fusão do pó devido a V_s e V_{SOLD} aplicados gerando uma diluição abaixo de 35%.

Pode-se destacar também o ensaio 7 que mesmo com valores mais baixos de microdureza e dureza, alcançou o segundo melhor resultado de perda de massa/volume, que apesar de inesperado pode ser explicado pelo tamanho dos carbeto encontrados que atingiu um valor intermediário. Já os ensaios de 1 a 4 obtiveram as maiores perda de massa (todas acima de 200mg) e consequentemente de volume, neles foram encontrados também os menores carbeto de cromo.

Assim os melhores resultados de resistência ao desgaste estão atrelados ao tamanho dos carbeto e a presença maior de Perlita na matriz (conforme apresentado nos ensaios de MO e MEV), pois os mesmos são fases mais duras e, portanto resistem mais a ação dos agentes causadores da abrasão.

Silveira (2016) realizou o ensaio de desgaste abrasivo no CCDM da UFSCar para o aço ASTM A36 sem revestimento e obteve perda de massa de 301mg enquanto a perda de volume foi 38,29 mm³. Comparando esse valor com a melhor amostra do presente estudo (ensaio 9) percebe-se que a resistência ao desgaste aumentou 2,4 vezes por conta do revestimento a base de Cr aplicado. Isso sugere que se a solda desenvolvida nessa pesquisa for utilizada em alguma aplicação a mesma levará mais que o dobro do tempo para sofrer o mesmo desgaste do

material (ASTM A36) aplicado sem revestimento, fornecendo assim um ganho significativo.

No estudo de Yüksel e Sahin (2014), o melhor resultado foi um perda de massa de 183 mg, quando eles utilizaram a proporção 30/70 com a presença de Cr e B no pó incluído. Os autores atrelam esses resultados à presença de carbeto primários (semelhantes aos encontrados nesse estudo), bem como ao refinamento da matriz causado por carbeto secundários oriundos do B. Esse resultado está abaixo das melhores perdas de massa encontradas nesse estudo, o que mostra que a matriz dura formada com a presença de carbeto primário do mesmo foi mais eficaz.

Buchely et al (2005) obteve uma perda de volume de 37,5 mm³ utilizando como consumível um eletrodo revestido, com composição semelhante ao do presente estudo, quando aplicou apenas uma camada. O valor diminuiu para 19,5 mm³ quando foi sobreposta mais uma camada a anterior. Os autores atrelam os resultados a proteção dada a matriz pelos carbeto primários de Cr gerados durante o processo de soldagem.

Esses valores alcançados por Buchely et al (2005) são superior ao maior valor desse trabalho, o que mostra que a utilização de elementos de processos diferentes para incrementar as técnicas pode ser um bom caminho para melhorar os resultados de resistência ao desgaste.

Lima, Ferraresi e Gonçalves (2007), comparam ligas com composições diferentes sendo o melhor resultado de perda de massa 53,2 mg, encontrado na liga composto por FeCrC. Esse valor subiu para 164,84 mg devido ao acréscimo de Nb e 129,52 por conta da presença de Ti nas ligas. Segundo os autores o fator principal para o melhor resultado da liga sem Nb e Ti, é a maior dificuldade de desprender os carbeto primários da matriz quando se tem apenas o Cr como elemento formador dos mesmos.

De maneira geral, o melhor resultado do presente estudo ficou abaixo apenas de uma das variações do trabalho de Lima, Ferraresi e Gonçalves (2007), que utilizaram o processo de arame tubular. Assim os resultados de desgaste alcançados foram excelentes com destaque para as amostras do ensaio 9, sendo que de maneira geral a matriz eutética protegida pelo Cr₇C₃ dificultou ação dos agentes abrasivos semelhante ao que ocorreu no estudo de Lima, Ferraresi e Gonçalves (2007).

CONCLUSÕES

A partir dos resultados e das discussões dos capítulos anteriores, chegamos as seguintes conclusões sobre o presente trabalho:

- Houve a formação de uma matriz eutética com a presença de Cr_7C_3 na microestrutura do cordão de revestimento;
- Obteve-se um ganho considerável nas propriedades mecânicas relacionadas à dureza e à microdureza, com essa última aumentando em mais de 4 vezes o valor de HV no metal de base;
- A diluição atingiu valores acima de 30% em todos os casos, influenciando nas propriedades mecânicas de forma inversa;
- De maneira geral, os melhores resultados nos ensaios ficaram atrelados aos menores valores de diluição, bem como a melhores fusões do pó, com exceção do ensaio 7;
- Os parâmetros do ensaio 9 ($V_s = 6,14 \text{ mm/s}$ e $V_{\text{SOLD}} = 30\text{V}$) são os mais adequados para essas condições de soldagem, fornecendo tanto boas propriedades mecânicas como morfológicas em todas as análises, seguido pelos parâmetros do ensaio 8 que apresentou apenas resistência ao desgaste mais baixa.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ficam como sugestões para possíveis trabalhos futuros:

- Acrescentar uma quantidade de grafita ao pó, a fim de facilitar a formação dos carbetos;
- Inserir outros elementos (Vanádio, Titânio, Tungstênio, entre outros) formadores de carbetos na mistura do pó;
- Variar a vazão e o tipo de mistura do gás de proteção;
- Alterar parâmetros de soldagem como corrente, velocidade de alimentação do arame;
- Utilizar fluxos (pós) advindos de materiais reciclados de outros processos industriais utilizando a mesma técnica desse estudo;

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E18-15: **Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials**. West Conshohocken, 2015. 38 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G65-16: **“Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus**. 2016. 14 p.

BARRA, R. S. **Influência do processo MIG/MAG térmico sobre a microestrutura e a geometria da zona fundida**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BARRA, Sérgio R.. Editorial. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v. 15, n. 4, p.253-253, dez. 2010. BARRA, Sérgio R.. Editorial. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v. 15, p.253-253, dez. 2010.

BUCHELY, M.F. et al. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. **Wear**, [s.l.], v. 259, n. 1-6, p.52-61. 2005.

ESAB. **Catálogo de Consumíveis**. Disponível em <http://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/catalogoconsumiveis-esab>>. Acessado em março de 2017.

FAGUNDES JÚNIOR, J. G.; VENTRELLA, V. A.; GALLEGO, J. Reciclagem de Cavacos de Titânio para a Deposição de Revestimentos Duros por Soldagem. **Soldagem e Inspeção**, v. 20, p. 117-127, 2015.

GUARANHI, FERNANDO. **Análise de Revestimento Duro de Solda no Aço SAE 1045 com e sem Amanteigamento**. 2014. TCC (Graduação em Engenharia de Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2014.

INSPEÇÃO SOLDAGEM. **Conceito de Soldagem e Solda**. Disponível em: <<https://inspecaosoldagem.wordpress.com>>. Acessado em dezembro de 2016.

LIMA, A. C.; FERRARESI, V. A.; GONÇALVES, R. A. **Avaliação de Resistência ao Desgaste de Revestimentos Duros Aplicados com Arames Tubulares de liga ferro-cromo-carbono**. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA, 8., 2007, Cusco. 2007. Disponível em: <<http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/15/15-15.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

LIMA, A. C; FERRARESI, V. A. Análise da resistência ao desgaste de revestimento duro aplicado por soldagem em facas picadoras de cana-de-açúcar. **Soldagem e Inspeção**, v. 15, p. 94-102, 2010.

MACHADO, I. G. **Soldagem e técnicas conexas: Processos**. Editado pelo autor, 1996.

MARQUES, P. V; LEITE, R.V.M. Estudo Comparativo da Resistência ao Desgaste Abrasivo do Revestimento de Três Ligas Metálicas Utilizadas na Indústria, Aplicadas por Soldagem com Arames Tubulares. **Soldagem e Inspeção**, v. 14, p. 329-335, 2009.

MARQUES, P. V; MODENESI, P. J. Algumas Equações Úteis em Soldagem. **Soldagem e Inspeção**, São Paulo, v. 19, p.91-102, mar. 2014.

MOTA et al. Revestimento de Níquel Depositado pela Soldagem MIG e MIG com Arame Frio. **Soldagem e Inspeção**, São Paulo, v. 21, p.483-496, 2016.

OKAMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e aplicações**. Tóquio ,LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 1982.

RIBEIRO, R. **Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados do tipo Fe-C-Cr utilizados na indústria sucroalcooleira**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004. SITE DA SOLDAGEM. **Glossário de Conceitos Básicos**.

Disponível em: <<http://www.sitedasoldagem.com.br/conceito%20basico/>>.
Acessado em janeiro de 2017.

SILVEIRA, MAICON. **Análise comparativa de materiais resistentes à abrasão para canalizações agrícolas**. 2016. TCC (Graduação em Engenharia de Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2016.

STANDARDIZATION, I. -I. S. F. ISO 14577-1. **Instrumentation indetation test for hardness and materials parameters - Part 1: Test method**. ISO 14577 Standards, n. 1, p.1-25, 2002.

TAHAEI A., ET AL. Metallurgical Characterization of a Weld Bead Coating Applied by the PTA Process on the D2 Tool Steel. **Soldagem e Inspeção**, v. 21, p. 209-219, 2016.

YÜKSEL, N.; ŞAHİN, S. Wear behavior–hardness–microstructure relation of Fe–Cr–C and Fe–Cr–C–B based hardfacing alloys. **Materials & Design**, [s.l.], v. 58, p.491-498. 2014.