



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

CAIO CESAR FERREIRA DE FREITAS

**EFEITO DO RECOBRIMENTO DE TINTA DE ALUMÍNIO SOBRE ELETRODO
REVESTIDO E7018**

CARAÚBAS-RN
2019

CAIO CESAR FERREIRA DE FREITAS

**EFEITO DO RECOBRIMENTO DE TINTA DE ALUMÍNIO SOBRE ELETRODO
REVESTIDO E7018**

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dra. Adiana Nascimento Silva

Co-orientador: Prof. Me. Rafael Bezerra de Azevedo Mendes

CARAUBAS-RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F862e Freitas, Caio Cesar Ferreira de .

Efeito do Recobrimento de Tinta de Alumínio
Sobre Eletrodo Revestido E7018 / Caio Cesar
Ferreira de Freitas. - 2019.

40 f. : il.

Orientadora: Adiana Nascimento Silva.
Coorientador: Rafael Bezerra de Azevedo Mendes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal

Rural do Semi-árido, Curso de , 2019.

1. Umidade Absorvida. 2. Eletrodos Revestidos.

3. Trincas a Frio. 4. Fissuração por Hidrogênio .
I. Silva, Adiana Nascimento, orient. II. Mendes,

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas

da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**EFEITO DO RECOBRIMENTO DE TINTA DE ALUMÍNIO SOBRE ELETRODO
REVESTIDO E7018**

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 12 / 08 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Nome do Orientador, Prof. Dra. Adiana Nascimento Silva (UFERSA)
Presidente

Nome do Examinador Interno, Prof. Me. Rafael Bezerra de Azevedo Mendes
(UFERSA)
Membro Examinador

Nome do Examinador Externo, Prof. Me. Carlos Cassio de Alcantara
Membro Examinador

Dedico com bastante orgulho e satisfação aos meus pais, José Claudio e Maria da Conceição, por sempre me apoiar a conquistar meus objetivos e por possibilitar a conquistar mais um nível educacional, assim como os docentes e discentes que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, José Claudio e Maria da Conceição que em nenhum momento deixaram de me proporcionar apoio e motivação para encarar um caminho difícil até chegar a mais um nível educacional. Agradeço a cada vitória da minha vida a vocês.

A Deus, por me dá fé que sempre ajuda a superar as barreiras da vida e também por mostrar os caminhos certos para ser uma pessoa cada vez melhor na vida.

A todos da minha família, meus irmãos Claudio Filho e Manoel que sempre me apoiaram e tiveram ao meu lado.

A professora, Adiana Nascimento Silva, pela orientação formal e contribuições dada ao presente texto.

Ao meu co-orientador, Rafael Mendes, que colaborou de forma direta nas aplicações dos experimentos do trabalho e acompanhando os detalhes da monografia.

Ao membro da banca, Cassio Alcântara, que se posicionou de forma clara a respeito do que pode melhorar.

Aos amigos que a universidade proporcionou, Ailton Júnior, Yuri Fernandes, Diego Gonçalves, Felipe Araújo, Italo, Estevão Henrique e Pedro Rafael, sempre parceiros durante o tempo na UFERSA.

RESUMO

A umidade absorvida pelos eletrodos revestidos requer cuidados especiais durante o processo de soldagem por ocasionar fragilidades na estrutura da solda a exemplo de trincas a frio. Portanto é preciso que seja feito de maneira eficiente métodos capazes de inibir ao máximo a absorção do hidrogênio nos eletrodos revestidos. O vigente trabalho tem com o objetivo de aplicar ao eletrodo revestido um spray de tinta que funcionará como uma espécie de inibidor da umidade no hidrogênio, para evitar o surgimento de falhas do tipo fissuração por hidrogênio na soldagem entre duas chapas. A partir dos experimentos que foram realizados, faremos a análise comparativa entre as soldas realizadas com eletrodo sem revestimento e as obtidas com eletrodos modificado com revestimento de alumínio, verificou-se uma significativa melhora microestrutural no eletrodo contendo o revestimento de spray de tinta de alumínio em relação ao exposto ao ambiente.

Palavras-chave: Umidade absorvida. Eletrodos Revestidos. Trincas a Frio. Fissuração por Hidrogênio.

ABSTRACT

The moisture absorbed by the coated electrodes requires special care during the welding process as it causes weaknesses in the weld structure such as cold cracking. Therefore, methods must be made that can effectively inhibit the absorption of hydrogen in the coated electrodes. The current work aims to apply to the coated electrode a paint spray that will act as a kind of hydrogen moisture inhibitor, to avoid containing hydrogen cracking failures in welding between two plates. From the experiments that we will do in the works can obtain some results when the modified electrode, it was verified a significant microstructural improvement in the electrode containing the spray coating of aluminum paint in relation to the exposed to the environment.

Keywords: Moisture absorbed. Coated electrodes. Cold Cracks. Hydrogen cracking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de difusão do hidrogênio durante a soldagem.	18
Figura 2: Experimento do ensaio de dobramento.....	23
Figura 3: Fluxograma para elaboração dos corpos de prova	25
Figura 4: Eletrodos E7018 na estufa	27
Figura 5: Eletrodo E7018 revestido com tinta de alumínio	27
Figura 6: Corpos de prova fabricado após soldagem.....	28
Figura 7: Microdurômetro para testes de dureza.....	29
Figura 8: Lixadeira metalográfica	29
Figura 9: Microscópio usado para análise metalográfica.....	30
Figura 10: Prensa mecânica para ensaio de dobramento	30
Figura 11: Usinagem para a preparação do ensaio de dobramento (a) exposta ao ambiente, (b) modificado com tinta	31
Figura 12: Metalografia em 200x para eletrodos exposto ao ambiente, metal de base, ZTA e zona fundida	32
Figura 13: microestrutura no (a) metal de base, (b) zona termicamente afetada, (c) zona fundida.....	33
Figura 14: Valores e gráfico das amostras com eletrodo exposto ao ambiente	34
Figura 15: Valores e gráficos das amostras com eletrodo revestido com tinta de alumínio.....	34
Figura 16: Gráfico dos resultados de dureza eletrodo pintado e exposto ao ambiente	35
Figura 17: Amostra dureza vickers para eletrodo exposto ao ambiente.....	37
Figura 18: Amostra dureza vickers para eletrodo pintado	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Materiais utilizados no experimento.....	26
Tabela 2: Retificador para soldagem com eletrodo revestido.....	26
Tabela 3: Valores de dureza em cada ponto nas amostras.....	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Eletrodos revestidos	15
3.1.1 Classificação e normalização	15
3.1.2 Particularidades do eletrodo E7018.....	17
3.2 Trincas a frio.....	17
3.2.1 Presença de hidrogênio na soldagem.....	18
3.2.2 Microestrutura favorável	18
3.2.3 Temperatura	19
3.2.4 Tensões residuais.....	19
3.3 Microestrutura	19
3.3.1 Formação da microestrutura da zona fundida.....	20
3.4 Efeito do alumínio por soldagem na microestrutura do aço	21
3.5 Ensaio de dureza vickers	21
3.6 Ensaio de Dobramento.....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1 Materiais utilizados.....	24
4.2 Procedimentos para a soldagem dos eletrodos	25
4.3 Confeção dos corpos de prova	26
4.4 Ensaio de microdureza vickers de 1kgf (HV-1).....	28
4.5 Caracterização microestrutural por análise metalográfica	29
4.6 Ensaio de dobramento	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1 Análise da microscopia das soldas com eletrodos revestido exposto ao ambiente.....	32
5.2 Análise da microscopia da solda com eletrodo revestido com pintura de alumínio	32
5.3 Efeito do revestimento de alumínio nas propriedades mecânicas no metal de solda e ZTA.....	33
5.3.1 Efeito da resistência através de ensaio de dobramento	33
5.3.2 Efeito da microdureza vickers através dos ensaios de microdureza.....	35
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
7. REFERÊNCIAS	39
8. ANEXOS	40
ANEXO A.....	40
ANEXO B.....	40

LISTA DE SIGLAS

ABNTA	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
CE	Carbono Equivalente
ISO	International Organization for Standardization
MB	Metal de Base
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Ni	Níquel
NBR	Norma Brasileira
P	Fosforo
Si	Silício
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
ZF	Zona Fundida
ZTA	Zona Termicamente Afetada
Ø	Diâmetro

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem foi desenvolvido com a finalidade de realizar a união de uma variedade imensa de estruturas metálicas, bem como à recuperação de peças de aços desgastadas ou danificadas com o passar do tempo. A soldagem está presente na fabricação de produtos de origem metálica sendo eles idênticos ou não, a fim de proporcionar os requisitos fundamentais para se obter soldas de alta qualidade para conceder as propriedades físicas, químicas ou mecânicas desejadas durante a soldagem (RAMOS, 2015).

A soldagem com arco elétrico eletrodo revestido é um processo manual realizado com uma fonte de calor proveniente da descarga elétrica através de um gás ionizado a alta temperatura, produzindo energia térmica considerável com finalidade de se realizar o processo da soldagem. Por ser um processo altamente conveniente, prático e econômico, tanto em equipamentos quanto em operações, o processo de soldagem com eletrodo revestido é um dos mais comuns. Ele é largamente utilizado na construção de estruturas de aço e na fabricação industrial. O processo é principalmente empregado para soldar ferro e aço (incluindo o aço inoxidável), como também podem ser soldadas com esse método ligas de níquel, alumínio e cobre (RAMOS, 2015).

Consequentemente a isso, a sua utilização requer cuidados especiais, principalmente no controle da absorção da umidade do ar por afetar diretamente na qualidade da solda formada até o aparecimento de trincas a frio. Devido a esses fatores é necessário que desde a retirada dos eletrodos da embalagem, eles passam por um processo de secagem, ressecagem e inibindo ao máximo o contato com o ar atmosférico. Como para realizar todos esses processos tem-se um custo relativamente alto, um tempo maior e a necessidade de equipamentos, geralmente não é utilizado esses métodos para conter o avanço da umidade nos eletrodos (RAMOS, 2015).

Portanto, será exposto no presente trabalho, a soldagem feita por eletrodos revestidos modificados com spray de tinta de alumínio e quais as consequências que podem ser ocasionadas no cordão de solda caso o dispositivo de solda não for preparado de forma correta. A presença de umidade no eletrodo pode acarretar em falhas graves no objeto soldado, como a modificação das propriedades mecânicas do material, deixando-o menos resistente e em alguns casos, falhas de projeto.

2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Determinar o desempenho das soldas com eletrodo E7018 exposto ao ambiente e modificado com tinta de alumínio, por meio de propriedades mecânicas dos corpos de provados eletrodos modificados, por meio de ensaios de dobramento e dureza.

- Elaboração de corpos de prova com os dois tipos de eletrodos através da soldagem;
- Determinar o desempenho das soldas por meio do comportamento mecânico dos corpos de prova através de ensaios de dobramento e dureza;
- Análise da metalografia das duas amostras e comparar com os ensaios mecânicos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico do trabalho serão apresentados os conceitos teóricos principais apresentados para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Eletrodos revestidos

Usualmente utilizado nas indústrias metalmeccânica, os eletrodos revestidos são responsáveis pela soldagem adequada em cada tipo específico de material metálico. São eles os responsáveis por apresentar diferentes particularidades quanto ao cordão de solda (FORTES, CLEBER, 2005).

Eletrodos revestidos apresentam dois elementos importantes, a “alma metálica” que é um fio laminado a quente que em seguida é trefilado a frio até atingir o diâmetro compatível, alinhado e cortado até que fique de acordo com os padrões de medidas desejados para cada tipo de eletrodo. É importante salientar que a alma metálica é necessária para conduzir a corrente elétrica do retificado conectado a uma extremidade do eletrodo até a outra ponta para a abertura do arco. Temos também os revestimentos contido nos eletrodos que são fabricados com diversos tipos de materiais, inclusive feitos de diversos tipos de materiais da natureza (FORTES, CLEBER, 2005).

Os eletrodos revestidos podem ser utilizados em várias posições (plana, vertical, horizontal, sobre cabeça), dependendo das características que cada um possui. Dentre os processos de soldagem a arco, o processo de soldagem com eletrodo revestido é o mais simples em termos de necessidades de equipamentos com custo do investimento relativamente baixo (FORTES, CLEBER, 2005).

3.1.1 Classificação e normalização

A classificação dos eletrodos no sistema brasileiro é regida pela norma ABNT-EB-79. O critério de classificação, no caso de eletrodos para soldagem de aços de baixa liga, que inicia com a letra E, e, na sequência, tem-se quatro algarismos que denomina resistência mecânica, posições da soldagem, tipo e os polos da corrente

elétrica e o grau de penetração. Por fim, tem-se as letras que designam o tipo de revestimento (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

No sistema internacional, o esquema de classificação, adotado pela International Standard Organization, tem se tornado bastante aceito e a norma ISO 2560 na qual engloba os tipos de revestimento, as propriedades mecânicas de soldagem, teor de hidrogênio no depósito, eficiência e particularidades operacionais (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

A seguir serão apresentadas as principais características dos revestimentos usuais, como por exemplo, celulósico, rutilico, básico e ácido. O revestimento de celulose expõe algumas particularidades, como por exemplo, alta formação de gases resultante da combustão dos materiais orgânicos, essencialmente, a celulose. Tem uma produção de gases gerados: CO₂, CO, H₂, H₂O (vapor). O alto índice de hidrogênio no metal de solda depositado prejudica a utilização em estruturas bastantes restritas ou em materiais sujeitos a trincas por hidrogênio; alta penetração; desenvolvimento de pequena escória e é bastante utilizada em tubulações. Ainda com relação as características desse tipo de revestimento destacam-se alta penetração, desenvolvimento de pequenas escórias e sua utilização na união de tubulações. Em termos de corrente, esse tipo de revestimento opera em corrente contínua (CLEBER; FORTES, 2005).

A camada de rutilico no revestimento expressa como principal característica o fator do consumível ser de unidade completa. Esse tipo de revestimento evidencia até 50% de rutilo (TiO₂). Em termos de penetração permite média profundidade, com solidificação rápida da escória, onde o metal de solda é capaz de expor um elevado nível de hidrogênio de até 30 ml/100g, secagem a temperaturas baixas com a intenção de que o metal de solda não apresente porosidades (CLEBER; FORTES, 2005).

O revestimento básico está presente no eletrodo que será usado nesse trabalho, o E7018 sendo um revestimento que contém na formação desse revestimento carboneto de cálcio e fluorita, que é apto a originar uma escória básica que juntamente com dióxido de carbono gerado, que protege a solda dentre todos os eletrodos, entre elas a tenacidade, possui um tipo de escória fluida e facilmente destacável, cordão de média penetração e perfil plano ou convexo e basicamente ressecagem a temperaturas relativamente altas (MARQUES; MONDESI; BRACARENSE, 2009).

Constituído principalmente de óxido de ferro, manganês e sílica, o revestimento ácido gera uma escória bastante densa. O manuseio desses eletrodos são bastantes fáceis e que podem ser usados tanto em corrente contínua quanto em corrente alternada em qualquer posição e produzem um cordão de solda com baixa e média penetração e são de uso geral (MARQUES; MONDESI; BRACARENSE, 2009).

3.1.2 Particularidades do eletrodo E7018

É importante ressaltar que os eletrodos de baixo hidrogênio foram fabricados essencialmente para evitar trincas a frio ao longo do cordão de solda. O eletrodo E7018 é a versão mais moderna do eletrodo de baixo hidrogênio e por ter essa finalidade de repassar o mínimo de umidade possível foi utilizado justamente com essa função. Isso porque diversos gases presentes na natureza, a exemplo do hidrogênio são capazes de interagir com o metal líquido durante o processo de soldagem e acaba causado efeitos indesejáveis na soldagem. A adição de quantidades consideráveis de pó de ferro ao revestimento resulta num arco mais suave e com menos respingos. Esse moderno balanço de ingredientes do revestimento resulta numa grande melhoria na estabilidade do arco, na direção do arco e na facilidade de manuseio em todas as posições (FORTES, CLEBER, 2005).

O hidrogênio que é originado no eletrodo de diversas fontes é dissolvido na poça de fusão e causando diversas falhas na solda, como respingos e porosidade devido ao avanço na parte posterior da poça e quando o metal sofre a solidificação pode causar prejuízos de fragilização e fissuração a frio, uma vez que inúmeros processos de soldagem dissolvem diferentes de hidrogênio difusível no metal depositado (RAMOS, 2015).

3.2 Trincas a frio

As trincas a frio são irregularidades formadas nos cordões de solda em algumas horas ou dias após o processo de soldagem provocada basicamente pelo transporte e difusão do hidrogênio dentro das soldas, tensões residuais e geralmente ocorrem-se em temperaturas inferiores a 200°C. Essas trincas vão se formando a partir de concentradores de tensões, na raiz de solda em zona fundida (ZF), em aços com

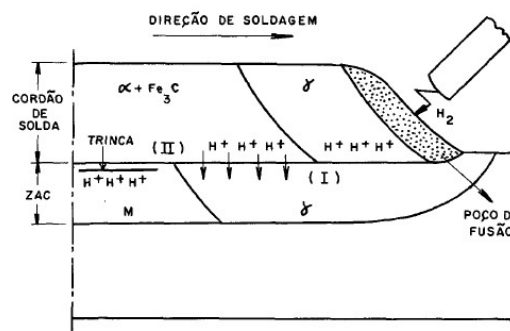
maior resistência mecânica, ou na zona termicamente afetada (ZTA) principalmente pela quantidade de hidrogênio contido no revestimento da solda ou pela microestrutura afetada por essa difusão do hidrogênio na solda (RAMOS, 2015).

Essas trincas a frio provocadas por hidrogênio acontecem nas ocasiões em que se tem um dos fatores a seguir: presença de hidrogênio, tensões residuais, microestrutura suscetível e baixa temperatura (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

3.2.1 Presença de hidrogênio na soldagem

Como pode-se observar na figura 1, o hidrogênio é difundido pela atmosfera e o arco para dentro da poça de fusão, que ao solidificar após o processo de soldagem, transforma-se em austenita perdendo uma parcela de hidrogênio para a atmosfera. No metal de base que também possui fases com austenita. A partir do momento que se ocorre a decomposição da austenita em ferrita + cementita (I), a solubilidade do hidrogênio que se difundiu para a região do metal de base (MB). Quando acontece o resfriamento, essa região que contém um teor maior de hidrogênio pode temperar formando a região de martensita no ponto II (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Figura 1: Esquema de difusão do hidrogênio durante a soldagem.



Fonte: (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004)

3.2.2 Microestrutura favorável

A fragilidade à trinca induzida por hidrogênio expande com o crescimento da resistência do aço. De modo geral, na microestrutura formada após a têmpera é mais sensível a fragilização por hidrogênio com a caracterização do aumento de dureza devido ao aumento do teor de carbono no aço. Essa ocorrência de dureza está ligada

diretamente a temperabilidade do aço que é a dependência química do tamanho do grão do aço. A ação do carbono equivalente (CE) é utilizada com a finalidade correlacionar a temperabilidade do aço e a sua soldabilidade e quanto maior se aumenta esse valor, mais temperável será o aço e pior a soldabilidade (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

3.2.3 Temperatura

A temperatura na chapa tem um papel importante na produção e prevenção das trincas induzidas por hidrogênio. Quando a chapa é preaquecida, a velocidade do resfriamento diminui, reduzindo-se a quantidade de martensita na ZTA. Com isso, também o tempo de resfriamento também aumenta no que favorece no que proporciona uma fuga do hidrogênio que sai do metal de base para a atmosfera (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004)

Com o preaquecimento dos aços temperáveis ao ar, consegue-se evitar a presença da martensita e com um tratamento térmico após a soldagem é possível que haja uma diminuição do teor de hidrogênio na região da junta da solda, com a modificação da microestrutura e diminuição de tensões residuais (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004)

3.2.4 Tensões residuais

A tensão residual na zona termicamente afetada depende da resistência mecânica ao deformar e distorcer de maneira na qual alivie as tensões geradas durante o processo de soldagem. Outro ponto importante destacar é a concentração de tensão, onde a falta de penetração na soldagem são defeitos que concentram muita tensão nas extremidades e podem favorecer a trinca induzida por hidrogênio favorecendo o aparecimento de trincas (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

3.3 Microestrutura

As avaliações técnicas disponíveis para o ensaio micrografia apresenta resultados das seções bidimensionais diante das estruturas que possuem características tridimensionais. Diante do fator custo benefício, o melhor para se trabalhar são pela observação das seções em regime bidimensional, pois a técnicas tridimensional requer ainda mais recursos. Essa microestrutura nos aços, são produtos formados a partir de transformações de fases do aço que ocorrem em seu processamento, como a solidificação até o ponto de tratamentos térmicos, que são as transformações já em estado sólido. Estas transformações formam fases cristalinas, formados por arranjos repetitivos dos átomos, formando uma orientação cristalográfica conhecido como grão e diversos materiais do mesmo modelo é chamado policristalino (COLPAERT, 2008).

É importante destacar uma das características fundamentais dos sólidos, e em especial, as dos metais é que a estrutura metalográfica exerci bastante influência nas propriedades mecânicas. No que diz respeito a sua estrutura é determinada pelo processamento sofrido pelo aço durante a fabricação (MARQUES; MONDESI; BRACARENSE, 2009).

Durante o processo de soldagem a influência da temperatura nos metais que estão sendo unidos causa deformações plásticas e resulta nas modificações da estrutura dos materiais da junta soldada. Assim, o processo de soldagem é um bastante complexo no que se refere ao tratamento termomecânico (MARQUES; MONDESI; BRACARENSE, 2009).

A amostra é preparada sob um material polimérico para análise metalográfica em um processo de embutimento, onde, após isso, o metal e o polímero serão preparados para serem lixados e polidos com certo cuidado para não provocar alterações térmicas (têmpera e revenimento) em uma região localizada do material após ter sido feito o ataque químico com a substância de nital, que é uma solução de ácido nítrico com um álcool (COLPAERT, 2008).

3.3.1 Formação da microestrutura da zona fundida

A zona fundida (ZF) é caracterizada pela região onde o material fundiu-se e se solidificou durante a operação de soldagem. A Zona Termicamente Afetada (ZTA) é a faixa da soldagem não fundida do metal de base onde sua microestrutura sofreu variação devido ao ciclo térmico da soldagem. Já o Metal de Base (MB) é a região que

não foi afetada pelo cordão de solda, ou seja, não sofreu influência da temperatura (MARQUES; MONDESI; BRACARENSE, 2009).

Na soldagem por fusão, a zona fundida, pode ser formada sob as mais condições diversas. Nos processos mais comuns, na soldagem a arco com eletrodo revestido, o metal de adição fundido é transferido para a poça de fusão, aquecidas em temperaturas acima de 2000°C (MARQUES; MONDESI; BRACARENSE, 2009).

3.3.2 Características da Zona Termicamente Afetada

As particularidades da ZTA consistem do tipo de metal de base e do procedimento de soldagem. Os efeitos dos ciclos térmicos poderão ser os mais variados de acordo com o tipo de metal. Os metais não transformáveis, a exemplo de alumínio e cobre, no estado recozido, a estrutura mais importante será o aumento do grão. Com a hipótese que o material seja encruado, a ZTA externará uma região de crescimento de grãos próximos à zona fundida em uma região recristalizada (MARQUES; MONDESI; BRACARENSE, 2009).

3.4 Efeito do alumínio por soldagem na microestrutura do aço

O alumínio é um dos elementos de liga que mostra uma alta taxa de evaporação no decorrer da soldagem além de que ser um aumento direto da temperatura (RAMOS, 2015).

Com a reação do Al com o N contido no aço, formando o nitreto de alumínio, agente causador do refino e o melhoramento das propriedades mecânicas do grão, como ductilidade e resistência, como também influencia a posição dos arranjos dos grãos, sendo que todas essas características podem ser mudadas de acordo com a quantidade de Al adicionado ao eletrodo, bem como pela presença de outros elementos de liga tais como N, Ni, P, Si e Mn, sendo capaz de que em algumas formulações do aço promover o afastamento de Al nos contornos de grão da austenita, o que modifica o desenvolvimento e a ordenação dos grãos da ferrita em aços com baixo teor de carbono (RAMOS, 2015).

3.5 Ensaio de dureza vickers

O nível de dureza dos materiais é medido por meio de teste na máquina de microdureza, o nível de dureza dos materiais. Esse modelo de ensaio usa um penetrador normatizado com geometrias com pirâmide de diamante e base quadrada. Uma carga é aplicada sobre a área do material metálico a ser feito a dureza e os corpos de prova para ser feito o teste podem variar em diversos tamanhos (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2013).

Como o penetrador é um fragmento de diamante, torna-se indeformável e com todas amostras semelhantes e que é independente de seu tamanho e independente da carga aplicada, ou seja, o valor de dureza obtido é o mesmo por qualquer que seja a carga aplicada que pode variar de 1 a 120 kgf. Conforme a expressão a seguir, é possível medir a dureza vickers (ASTM e92-17).

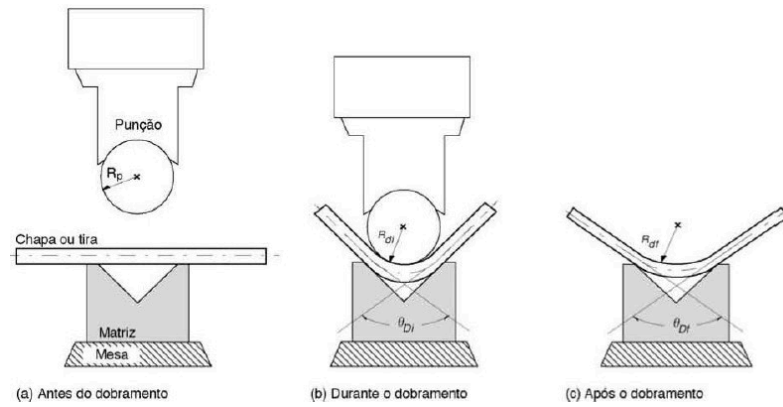
$$HV = \frac{\text{carga}}{\text{área da superfície piramidal}} = \frac{2Q \operatorname{sen} \frac{136}{2}}{L^2}$$

$$HV = \frac{1,8544Q}{L^2}$$

3.6 Ensaio de Dobramento

O ensaio de dobramento é aplicado para a análise da configuração de parcelas retas de seções circulares, quadrada, retangular, tubular. Esse tipo de método de ensaio é altamente utilizado na indústria de fabricação de calhas, tubos, chapas e diversos outros materiais metálicos conformados plasticamente. A exemplo disso, no dobramento de chapas de aço, devem-se analisar parâmetros como o encruamento do material e o raio mínimo em que seja dobrado sem que ocorra ruptura (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2013).

O objetivo do ensaio de dobramento é a delimitação da capacidade do material metálico de suportar deformação plástica quando dobrado. O ensaio de dobramento deverá ser realizado em máquinas de ensaios ou prensas equipadas com seguintes dispositivos (NBR; 7438).

Figura 2: Experimento do ensaio de dobramento

Fonte: GARCIA, 2013

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico será abordado os materiais e métodos que foram utilizados para alcançar os objetivos deste estudo, bem como os processos e procedimentos nos quais o processo de soldagem por eletrodo revestido ocorreu, destacando-se a realização da soldagem com eletrodos modificados e com eletrodos exposto ao ambiente, com o propósito de comparar os resultados.

4.1 Materiais utilizados

Tabela 1: Materiais utilizados no experimento

Materiais	Descrição	Norma
Chapas de aço	Aço 1020 estrutural 1/4" de espessura, composição de 0,18-0,23 de C, 0,3-0,6 de Mn, $\leq 0,03$ de P e $\leq 0,05$ de S.	ABNT NBR 11889
Eletrodos	AWS E7018, $\varnothing=2,5$ mm Denver de baixo hidrogênio, corrente 70 a 110 ampere. C-0,15%, Si-0,75%, Mn-1,5%, P-0,032%, S-0,007%.	AWS A5.1/2012
Tinta	Tinta Spray de Alumínio ColorGin contendo resina alquídica e acrílica, pigmentos, aditivos, solvente orgânico, cetona, butano, propano e até 0,2% de benzeno como contaminante.	ABNT NBR 14721

Fonte: Autoria Própria, 2019

Tabela 2: Retificador para soldagem com eletrodo revestido

Especificações	Valores		
Faixa de corrente (A) / Tensão (V)	70A / 22V – 400A / 36V		
Tensão em vazio máximo (V)	80		
Cargas autorizadas			
-Fator de Trabalho (%)	20	40	100
-Corrente (A)	380	280	180
-Tensão carga convencional (V)	35	31	27
-Alimentação elétrica (V-Hz)	220 / 380 / 400 – 60Hz		
Potência aparente nominal (KVA)	33		
Frequência de rede	60Hz		

Fonte: Manual ESAB, 2013

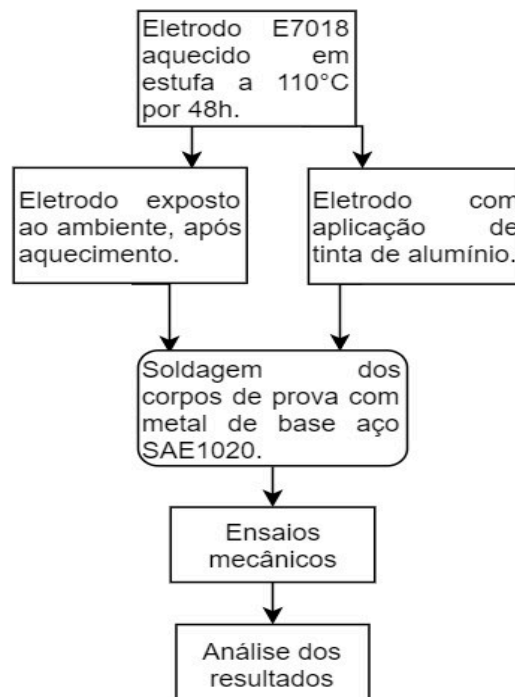
4.2 Procedimentos para a soldagem dos eletrodos

Após serem retirados da embalagem, os eletrodos foram dispostos em estufa a 110°C durante 48 horas os eletrodos AWS E7018 e após isso, uma parte deles foram retirados da estufa e revestido com a tinta spray de alumínio e o restante permaneceu exposto ao ambiente até o momento da soldagem (figuras 4 e 5).

Após serem produzidas as soldas com os eletrodos modificados com tinta em spray com os que foram expostos ao ambiente faz-se a análise comparativa das amostras em condições padronizadas pela AWS/ASME e BS EN ISO.

Sendo esta avaliação a realização por meio de ensaios mecânicos e microestruturais para chapas de aço após a soldagem com os dois tipos de eletrodo, exposto ao ambiente e com spray de tinta de alumínio, e com os resultados obtidos, analisar quais deles sofreram maior influência do hidrogênio.

Figura 3: Fluxograma para elaboração dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

4.3 Confeção dos corpos de prova

Foi feito nesse trabalho a soldagem de chapas de aço com eletrodo revestido AWS E7018, $\varnothing=2,5\text{mm}$, modificados pela aplicação de tinta spray a base de alumínio para rodas de carro, como também soldas nas chapas com o uso de eletrodos sem modificação, do mesmo diâmetro fabricado pela Denver, sendo essa soldagem utilizada como referência para compara-las com o eletrodo modificado.

A soldagem foi realizada em 16 chapas de aço com dimensões 100 x 250 x 6,35, produzindo juntas entre os dois modelos com essas dimensões anteriores de onde foram retirados os corpos de prova para ensaios mecânicos de dobramento, dureza e metalográfico.

O procedimento de fabricação dos corpos de prova, o processo de soldagem foi SMAW, sendo que os eletrodos E7018 sem modificação foi retirado da estufa a 110 °C por 48 horas e em seguida posicionado ao ambiente durante 30 dias. Como a tinta de alumínio não varia a espessura do eletrodo, foi utilizado o mesmo método de soldagem, e após os mesmos passarem 48 horas a 110 °C em temperaturas elevadas, ocorreu a pintura imediatamente após de retirados da estufa, com os eletrodos ainda quentes, e a secagem ocorreu ao ar livre.

Foi feito o acompanhamento para os níveis de controle de corrente, tensão, tempo e comprimento dos cordões de solda depositado.

A seguir são fotografias mostrando a preparação dos eletrodos até o momento da soldagem nas chapas, com a execução do revestimento da tinta de alumínio.

Figura 4: Eletrodos E7018 na estufa



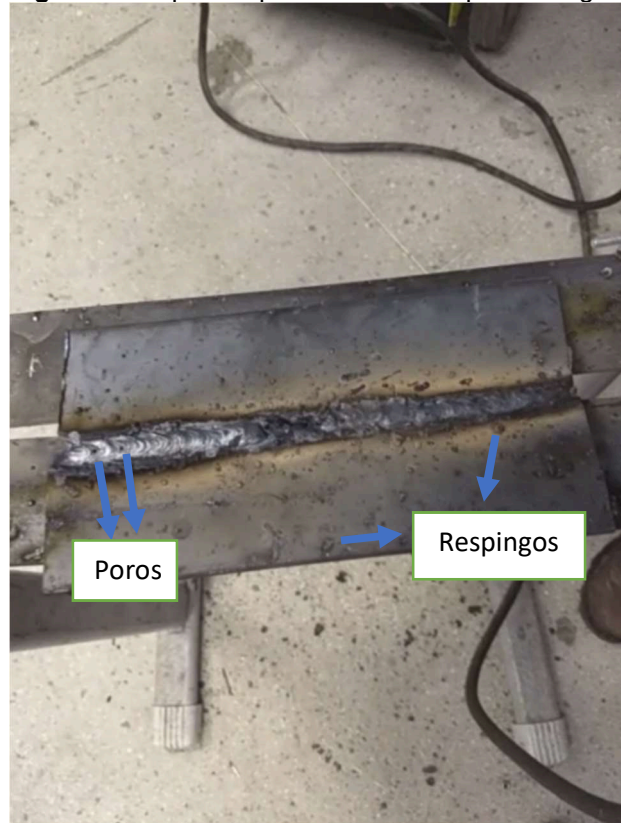
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Figura 5: Eletrodo E7018 revestido com tinta de alumínio



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Figura 6: Corpos de prova fabricado após soldagem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

4.4 Ensaio de microdureza vickers de 1kgf (HV-1)

As amostras, após lixadas e polidas foram utilizadas para a medição de dureza nos corpos de provas exposto ao ambiente e modificado com tinta. Para serem feitas a mensuração da dureza foi empregue um durômetro Insize com carga de 1kgf, no laboratório de metalografia da UFERSA Campus Caraúbas.

O ensaio de dureza visa medir principalmente o nível de dureza partindo do metal de base (MS), passando pela zona termicamente afetada (ZTA) e chegando até na zona fundida (ZF). Assim, realizou-se indentações na seção transversal da junta soldada sendo empregado uma distância de 0,5mm entre os centros de duas indentações consecutivas, assim foi possível mensurar os valores de dureza nos corpos de prova analisado.

As dimensões dos corpos de prova, a quantidade de força aplicada foi utilizada de acordo com a norma ASTM E92 – 17.

Figura 7: Microdurômetro para testes de dureza



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

4.5 Caracterização microestrutural por análise metalográfica

Após serem feitos os ensaios de dureza nos corpos de prova, elas foram utilizadas para serem empregadas na análise microestrutural. As amostras foram utilizadas para a realização dos ensaios de metalografia no perfil cortados dos corpos de prova com a finalidade de mostrar a microestrutura no depósito de solda da ZTA.

Os corpos de provas para a análise metalográfica foram espelhados com lixas d'água com granulação de 200, 400, 800 e 1200 e polidos em lixadeira metalográfica, Figura 8 e, em seguida atacado com nital a 2% para ser verificado os grãos no microscópio trinocular com lente de 200x.

Figura 8: Lixadeira metalográfica



Fonte: Google Imagens

Figura 9: Microscópio usado para análise metalográfica



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

4.6 Ensaio de dobramento

Os corpos de prova para os ensaios de dobramento foram confeccionados com dimensões de 10 x 250 x 6,35mm, sendo os ensaios realizados no laboratório de mecânica do SENAI Mossoró, na Figura 10 tem-se a imagem da máquina EMIC de 300Kn, na qual executou-se os ensaios de dobramento.

Figura 10: Prensa mecânica para ensaio de dobramento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Figura 11: Usinagem para a preparação do ensaio de dobramento (a) exposta ao ambiente, (b) modificado com tinta



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

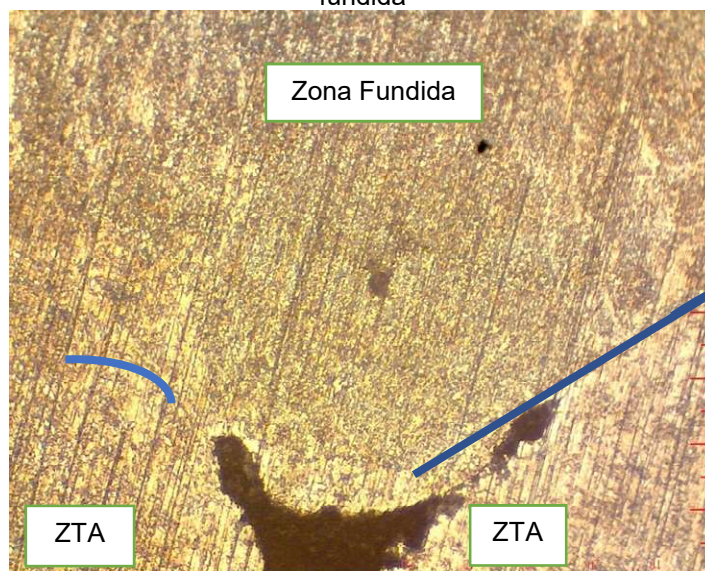
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico buscamos analisar os resultados obtidos dos ensaios mecânicos e metalográficos para as juntas soldadas que foram produzidas no presente trabalho. Após isso iremos comparar os resultados das amostras do corpo de prova relativo ao eletrodo modificado com relação ao eletrodo exposto ao ambiente.

5.1 Análise da microscopia das soldas com eletrodos revestido exposto ao ambiente

As micrografias foram feitas na superfície de perfil do corpo de prova da amostra e tem como objetivo expor a microestrutura formada no metal de base, na ZTA e no metal de solda e compará-las com a amostra com revestimento de tinta de alumínio. Pode-se observar na figura 12 que o a solda não ficou completamente fundida, assim o metal de base ficou no canto superior esquerdo a ZTA na parte inferior e o metal de solda na parte superior direita.

Figura 12: Metalografia em 200x para eletrodos exposto ao ambiente, metal de base, ZTA e zona fundida

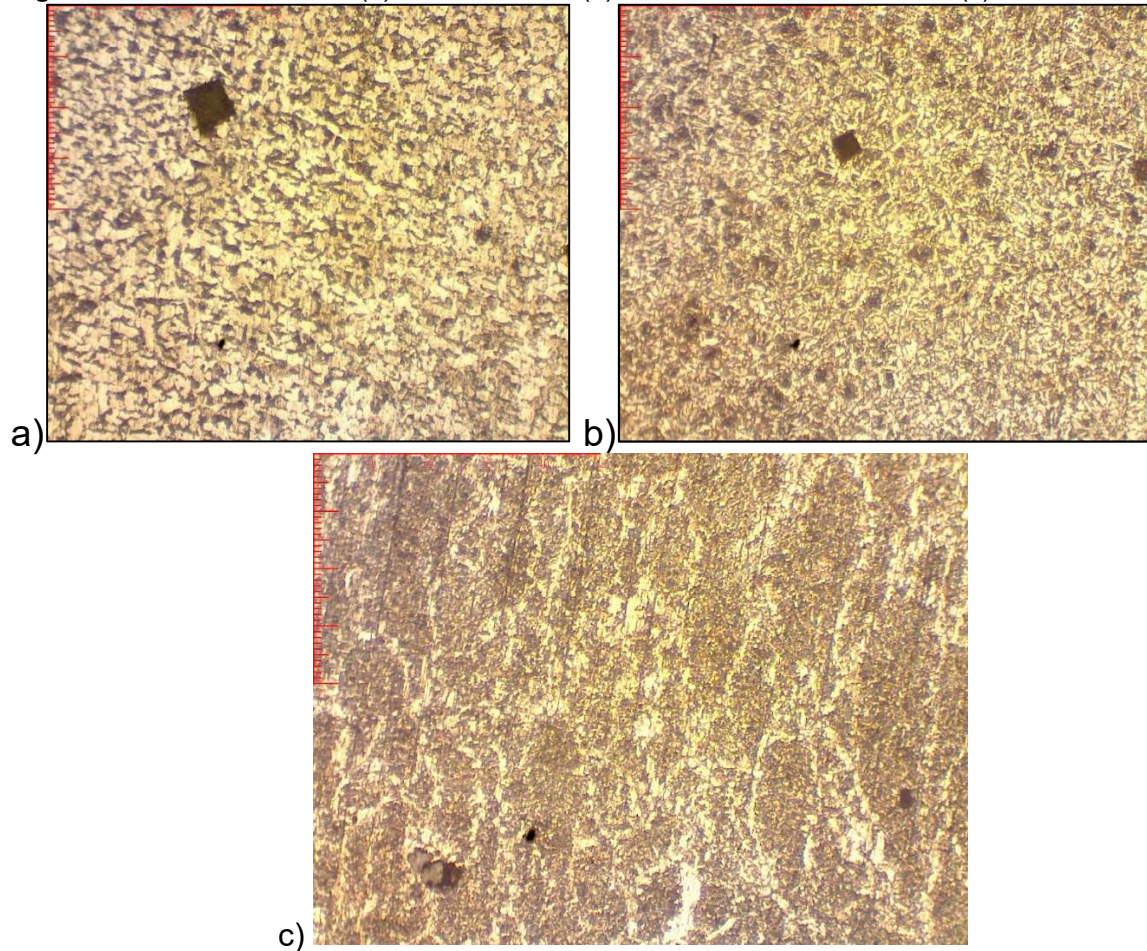


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

5.2 Análise da microscopia da solda com eletrodo revestido com pintura de alumínio

AEm seguida será comparada a microestrutura formada na zona termicamente afetada e no metal de solda com a amostra exposta ao ambiente.

Figura 13: microestrutura no (a) metal de base, (b) zona termicamente afetada, (c) zona fundida



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3 Efeito do revestimento de alumínio nas propriedades mecânicas no metal de solda e ZTA

Neste tópico, será observado e comparado o efeito causado pela modificação da tinta de alumínio no eletrodo em relação ao exposto ao ambiente, relativo as respostas dos ensaios de dureza vickers e dobramento.

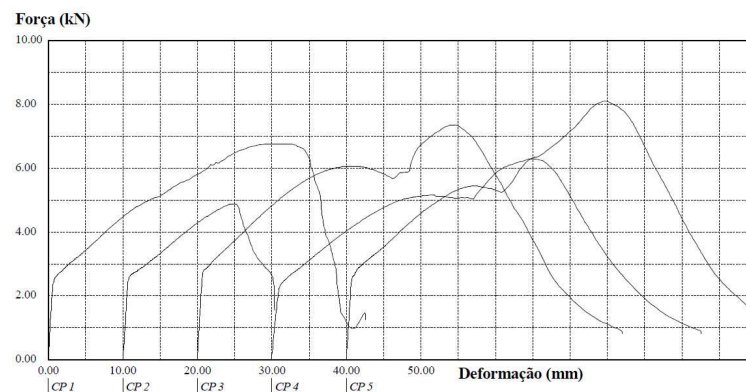
5.3.1 Efeito da resistência através de ensaio de dobramento

O ensaio mecânico de dobramento de face e raiz foi realizado em corpos de prova de juntas soldadas conforme as normas ASTM E190-92 na máquina de ensaio de dobramento Emic DL30000N.

Os resultados estão dispostos nos gráficos a seguir, através dos quais foi possível verificar que os corpos de prova com eletrodo revestido com tinta de alumínio tiveram uma tensão máxima média (MPa) maior que as amostras com o eletrodo exposto ao ambiente.

Figura 14: Valores e gráfico das amostras com eletrodo exposto ao ambiente

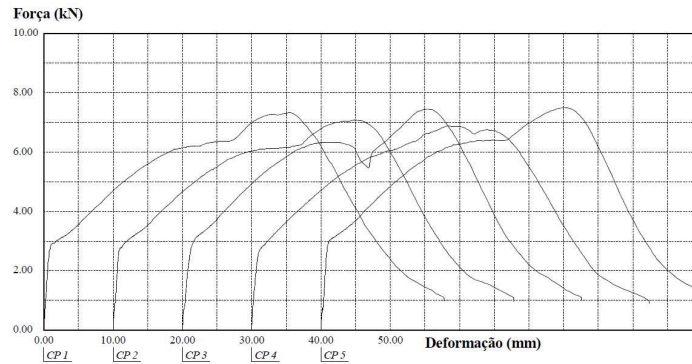
Corpo de Prova	Comprimento Base (mm)	Área (mm ²)	Força Máxima (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo (MPa)
CP 1	28.44	11.25	690.66	602.05	9738.82
CP 2	28.44	11.25	498.64	434.66	10025.03
CP 3	28.44	11.25	751.57	655.14	10251.50
CP 4	28.44	11.25	642.14	559.75	6937.07
CP 5	28.44	11.25	826.93	720.84	9863.79
Número CPs	5	5	5	5	5
Média	28.44	11.25	682.0	594.5	9363
Desv. Padrão	0.0000	0.0000	123.6	107.8	1370
Coef. Var. (%)	0.0000	0.0000	18.13	18.13	14.63
Mínimo	28.44	11.25	498.6	434.7	6937
Máximo	28.44	11.25	826.9	720.8	10250



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Figura 15: Valores e gráficos das amostras com eletrodo revestido com tinta de alumínio

Corpo de Prova	Comprimento Base (mm)	Área (mm ²)	Força Máxima (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo (MPa)
CP 1	28.44	11.25	748.47	652.44	9272.17
CP 2	28.44	11.25	722.66	629.95	9065.11
CP 3	28.44	11.25	760.86	663.24	213.11
CP 4	28.44	11.25	703.05	612.85	9072.82
CP 5	28.44	11.25	766.02	667.74	10201.49
Número CPs	5	5	5	5	5
Média	28.44	11.25	740.2	645.2	7565
Desv. Padrão	0.0000	0.0000	26.69	23.27	4136
Coef. Var. (%)	0.0000	0.0000	3.606	3.606	54.68
Mínimo	28.44	11.25	703.0	612.8	213.1
Máximo	28.44	11.25	766.0	667.7	10200



Fonte: Elaborado pelo autor

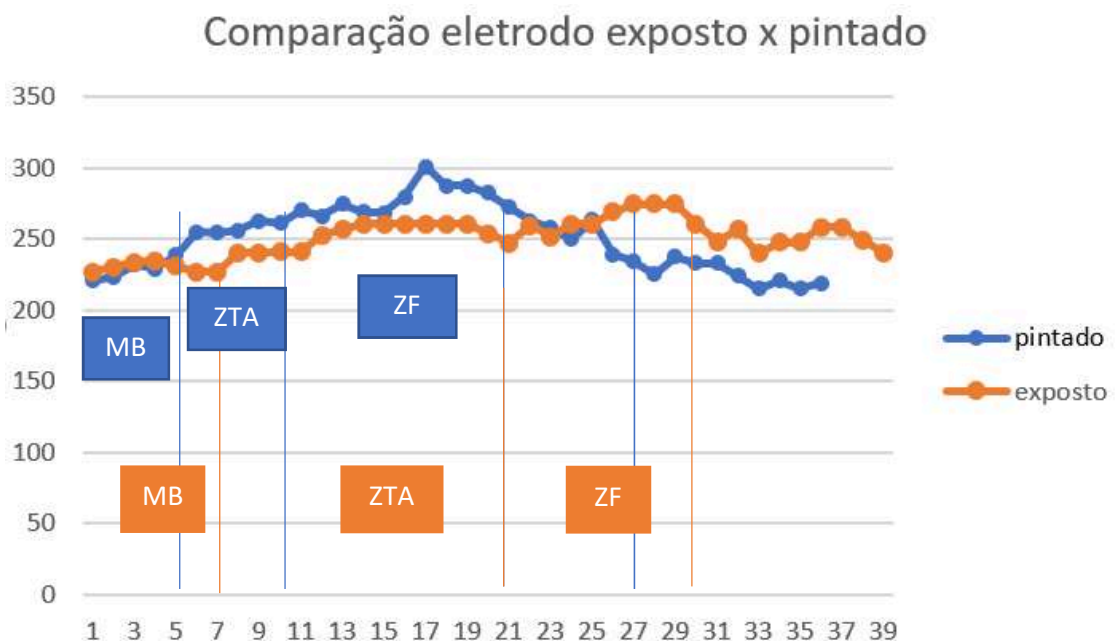
De modo geral, verificou-se que a média dos cinco corpos de provas dos eletrodos modificados com a pintura de alumínio apresentou valor de tensão máxima média superior à média dos cinco valores de corpos com eletrodo exposto ao ambiente.

Provavelmente esses valores maiores de tensão máxima com eletrodo revestido de pintura de alumínio foram maiores devido a modificação microestrutural no refino de grão.

5.3.2 Efeito da microdureza vickers através dos ensaios de microdureza

O gráfico da Figura 16 apresenta os valores de dureza obtidos no ensaio de microdureza vickers e as respectivas regiões nos dois tipos de amostras.

Figura 16: Gráfico dos resultados de dureza eletrodo pintado e exposto ao ambiente



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Tabela 3: Valores de dureza em cada ponto nas amostras

pontos	tinta	exposto
H1	220,8	226,7
H2	223,5	230
H3	231,9	233,7
H4	229,1	234,7
H5	238,8	230,8
H6	254,7	227,1
H7	254,3	227,1
H8	256,1	240,6
H9	262,6	240,6
H10	260,9	240,8
H11	270,3	241
H12	266	252,7
H13	274,4	256,7
H14	269	260,7
H15	268,4	260,7
H16	279,7	260,7
H17	300,9	260,7
H18	287,5	260,7
H19	287,8	260,7
H20	282,7	254,1
H21	272,6	246,9
H22	263,1	259,4
H23	257,9	251,5
H24	249,9	260,4
H25	263,6	260,4
H26	239,3	269,1
H27	234,2	274,8
H28	225,2	274,8
H29	237,4	274,8
H30	233,1	260,7
H31	233,1	248,1
H32	223,9	256,8
H33	215,2	239,6
H34	220,5	247,6
H35	214,8	247,6
H36	219,1	258,4
H37	-	258,4
H38	-	249,1
H39	-	240,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Os resultados de microdureza obtidos demonstram pouca influência para as juntas soldadas com eletrodos nas condições de com ou sem pintura. A obtenção dos valores de dureza nas amostras permitiu-se avaliar a dureza produzida no metal de base no eletrodo com tinta de alumínio conforme a Figura 16, do ponto 1 ao 5, na ZTA pontos 6 ao 10 e do 11 ao 21 a ZF e após retornando para a ZTA e MB da outra região. Os valores conforme a tabela 3, dos pontos 1 ao 7 são do metal de base, 8 ao 21 da ZTA e 22 ao 30 da ZF. E de acordo com o trabalho realizado por BISPO.R. os valores ficaram satisfatórios tendo em vista que o eletrodo revestido com uma camada de tinta de certa forma melhora as propriedades mecânicas do material.

Nas Figuras 17 e 18 são as amostras dos corpos de prova para os ensaios de microdureza exposto ao ambiente e com eletrodo revestido com tinta de alumínio.

Figura 17: Amostra dureza vickers para eletrodo exposto ao ambiente



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Figura 18: Amostra dureza vickers para eletrodo pintado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os procedimentos realizados nos corpos de prova, foi possível obter os testes de ensaios mecânicos de dureza vickers, dobramento e metalográfico nos quais verificou-se a viabilidade técnica de se modificar eletrodo E7018 com tinta de alumínio e, diante das discussões pode-se obter as seguintes conclusões.

De acordo com os valores de resistência e dureza, pode-se observar que as amostras com eletrodo pintado de alumínio melhoram as propriedades mecânicas executadas nos corpos de prova atingiram os valores esperados.

A adição da pintura de tinta de alumínio para altas temperaturas adicionados ao eletrodo AWS E7018 obteve um efeito positivo nas propriedades mecânicas.

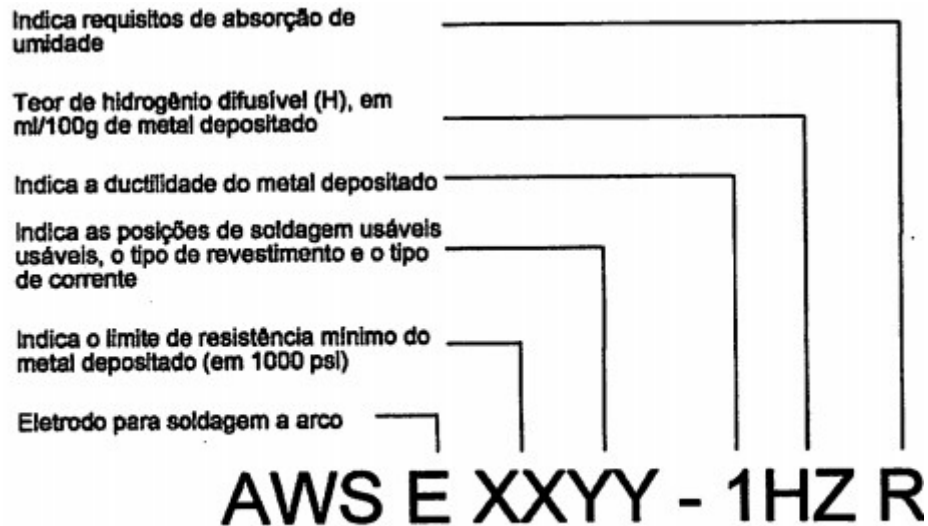
A microestrutura dos eletrodos pintados é diferente com relação a amostra dos expostos ao ambiente pois verificou-se maiores valores de dureza com o eletrodo revestido com tinta spray.

7. REFERÊNCIAS

1. RAMOS, Moacir Bispo. **Modificação do AWS E7018 com adição de filmes finos externos de PVC e Al, para soldagem de aço C-Mn.** 2015. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
2. GARCIA, Amauri. **Ensaio dos Materiais.** Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 365 p.
3. MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia.** Belo Horizonte: Ufmg, 2009. 363 p.
6. FORTES, Cleber. **Apostila de eletrodos revestidos.** Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf>. Acesso em: 6 de junho 2019.
7. MERICAN WELDING SOCIETY. **AWS: Structural Welding Code - Steel.** Miami, 2010.
8. COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderurgicos comuns.** São Paulo: Edgard Blucher, 1974.
9. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **92: Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials.** Nova Iorque, 2017. 27 p.
10. COE, F. R. – Welding Steels Without Hydrogen Cracking; The Welding Institute, London, 1973.
11. WAINER, Emilio; BRANDI, Sergio Duarte; MELLO, Fabio Decourt Homem de. **Soldagem processos e metalurgia.** São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
12. NORMA BRASILEIRA. **NBR 7438: Materiais metálicos - ensaio de dobramento.** Rio de Janeiro, 2016. 8 p.
13. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 92: Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials.** Nova Iorque, 2017. 27 p.

8. ANEXOS

ANEXO A: Esquema do sistema de classificação de eletrodos revestidos adotados pelas especificações ASW A 5.1



ANEXO B: Descrição dos consumíveis para soldagem de aço-carbono

Tabela IV – Significado do último dígito da classificação AWS de alguns tipos de eletrodos revestidos de aço carbono e aço baixa liga

Eletrodo	Tipo de revestimento	Posição de soldagem ou tipo (#)	Tipo de corrente (*)
E 6010	Celulósico, sódio	P, H, V, SC	CC+
E 6011	Celulósico, potássio	P, H, V, SC	CC+, CA
E 6012	Rutilico, sódio	P, H, V, SC	CC-, CA
E 6013	Rutilico, potássio	P, H, V, SC	CC+, CC-, CA
E 6019	Ácido/Rutilico, potássio	P, H, V, SC	CC+, CC-, CA
E 6020	Ácido	P, Filete H	CC+, CC-, CA
E 7014	Rutilico com pó de ferro	P, H, V, SC	CC+, CC-, CA
E 7015	Básico, sódio	P, H, V, SC	CC+
E 7016	Básico, potássio	P, H, V, SC	CC+, CA
E 7018	Básico, potássio, pó de ferro	P, H, V, SC	CC+, CA
E 7024	Rutilico, pó de ferro	P, Filete H	CC+, CC-, CA
E 7027	Ácido, pó de ferro	P, Filete H	CC+, CC-, CA
E 7048	Básico, potássio, pó de ferro	P, H, V, SC, Vd	CC-, CA