

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Qualificação em Soldagem

Monografia

**"DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO COMO FACILITADOR NA UTILIZAÇÃO
DO DIAGRAMA DE SCHAEFFLER A FIM DE PREVER A MICROESTRUTURA DO
METAL DE SOLDA DE AÇOS INOXIDÁVEIS"**

Autores: Alexandre Vasconcelos Aguiar

Marcos Vinícius De Paula

Orientador: Prof. Alexandre Queiroz Bracarense

Belo Horizonte

Março/2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Curso de Pós- Graduação em Tecnologia e Qualificação em Soldagem

Alexandre Vasconcelos Aguiar

Marcos Vinícius De Paula

**"DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO COMO FACILITADOR NA UTILIZAÇÃO
DO DIAGRAMA DE SCHAEFFLER A FIM DE PREVER A MICROESTRUTURA DO
METAL DE SOLDA DE AÇOS INOXIDÁVEIS "**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Qualificação em
Soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais

Área de concentração: Soldagem

Orientador: Prof. Alexandre Queiroz Bracarense

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2020

A282d	<p>Aguiar, Alexandre Vasconcelos. Desenvolvimento de aplicativo como facilitador na utilização do diagrama de Schaeffler a fim de prever a microestrutura do metal de solda de aços inoxidáveis [recurso eletrônico] / Alexandre Vasconcelos Aguiar, Marcos Vinícius de Paula. - 2020. 1 recurso online (42 f.: il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Alexandre Queiroz Bracarense.</p> <p>Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Especialista em Soldagem.</p> <p>Bibliografia: f. 40-42.</p> <p>1. Soldagem. 2. Aplicativos móveis. 3. Microestrutura. 4. Software. I. Bracarense, Alexandre Queiroz, 1959-. II. Paula, Marcos Vinícius de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p>
	CDU: 621.791



Universidade Federal de Minas Gerais
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Curso de Especialização em Soldagem

Ata 04ª/2019 da Defesa de Monografia de Especialização

No dia 06 de março de 2020, às 14:00 hs, a Comissão Examinadora se reuniu para avaliar o trabalho:

Título: *“Desenvolvimento de Aplicativo como Facilitador na Utilização do Diagrama de Schaeffler a fim de Prever a Microestrutura do Metal de Solda de Aços Inoxidáveis”.*

Aluno: Alexandre Vasconcelos Aguiar – Matrícula: **2018708710**

Marcos Vinicius de Paula – Matrícula: **2018708508**

Local: Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação – LRSS, Depto. Eng^a Mecânica – Prédio da EEUFMG Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus da UFMG, Pampulha – Belo Horizonte.

Parecer:

A Comissão Examinadora, após a apresentação pelo (a) candidato (a) durante 35 minutos e após ter argüido os(a) candidatos(a) por 60 minutos, é de parecer **FAVORÁVEL** à aprovação do trabalho de monografia com a nota final de 85 e com (com ou sem) sugestões de modificação.

Sugere-se o prazo de 30 dias para efetuar-se as modificações sugeridas com revisão final acompanhada e homologada pelo orientador Prof. Dr. Alexandre Queiroz Bracarense.

Assinaturas:

Prof. Dr Alexandre Q. Bracarense
DEMEC/UFMG – Orientador

Prof. Dr. Ariel Rodríguez Arias
DEMEC/UFMG – Avaliador

Prof. MS Francisco Oliveira Filho
Consultor – Avaliador Externo

Alexandre Vasconcelos Aguiar
ALUNO

Marcos Vinicius de Paula
ALUNO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram na preparação deste trabalho e, em particular:

Ao professor Alexandre Queiroz Bracarense pela orientação deste trabalho.

Aos nossos pais pelo incentivo e apoio.

Aos colegas do curso de especialização pelas conversas, trocas de ideias e apoio durante o trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de fase Fe-Cr	13
Figura 2: Diagrama de fase: (a) Fe-C; (b) Fe-Cr; (c) Fe-Ni-Cr a 70% Fe	14
Figura 3: Formação da microestrutura da solda de um aço inoxidável ferrítico	16
Figura 4: Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis martensíticos	18
Figura 5: Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis austeníticos.....	19
Figura 6: Formação da microestrutura da solda de um aço inoxidável duplex	20
Figura 7: Corrosão intergranular em uma chapa de aço inoxidável ferrítico	21
Figura 8: Corrosão Intergranular na ZTA do aço inoxidável austenítico 304 contendo 0,05%C .	22
Figura 9: Diagrama de Schaeffler.....	24
Figura 10: Captura da tela do Android Studio Ambiente de Desenvolvimento	28
Figura 11: Captura da tela do Android Studio Ambiente de Layout.....	29
Figura 12: Tela do Android Studio Ambiente de Simulação do aplicativo Diagrama de Schaeffler	30
Figura 13: Janela com informações	31
Figura 14: Visualização das microestruturas	33
Figura 15: Biblioteca de dados	34
Figura 16: Simulação de cálculo	35
Figura 17: Plotagem dos pontos do metal de base, metal de adição e diluição.....	36

RESUMO

O presente trabalho tem como tema o desenvolvimento de um aplicativo cuja função é simular um Diagrama de Schaeffler, com a finalidade de orientar de modo rápido, acessível e simples os profissionais da soldagem. Nesse compasso, tem-se por objetivo geral desenvolver um aplicativo para smartphone, como facilitador na previsão de problemas na microestrutura do metal soldado de aços inoxidáveis e por objetivo específico identificar a microestrutura obtida na solda de aços inoxidáveis de forma mais rápida que a usual. A metodologia aplicada neste trabalho é a pesquisa descritiva, de abordagem quantitativa. Por meio da abordagem das características dos aços inoxidáveis, do processo de soldagem desses aços e do Diagrama de Schaeffler foi possível compreender quais microestruturas podem ser esperadas na solda. Para auxiliar na previsão da microestrutura da solda de aços inoxidáveis, foi desenvolvido um aplicativo capaz de calcular o cromo e níquel equivalentes, com base na composição química do metal de base e metal de adição informado pelo usuário e também capaz de prever a microestrutura formada na solda através do Diagrama de Schaeffler. O aplicativo possibilita ao usuário a realização de consultas de diferentes tipos de metais, devido ao grande banco de dados de metais de base e metais de adição. O aplicativo também possibilita maior rapidez nas simulações de soldagem, otimizando a tomada de decisão. Em suma, o aplicativo visa aumentar a confiabilidade e agilidade na tomada de decisões otimizando a produtividade e a qualidade de determinado projeto.

Palavras chave: Soldagem. Software. Microestrutura. Aplicativo. Diagrama de Schaeffler.

ABSTRACT

The present academic paper has as its theme the development of an application which function is to simulate a Schaeffler Diagram, in order to guide welding professionals easily and quickly, as a facilitator in predicting problems in the microstructure of stainless steel welded metal and with the specific objective to identify the microstructure obtained in the welding of stainless steels faster than usual. The methodology applied in this work is the descriptive research, with quantitative approach. By approaching the characteristics of stainless steels, the welding process of these steels and the Schaeffler Diagram it was possible to understand which microstructures can be expected in welding. To help to predict the microstructure of welding stainless steels, an application has been developed to calculate chromium and nickel equivalents based on the chemical composition of the base metal and filler metal informed by the user and able to predict the microstructure formed in the weld. Solder through the Schaeffler Diagram. The application allows the user to perform a vast amount of different types of metals, due to the database of base metals and addition metals. The application also enables faster welding simulations, optimizing decision-making. In sum, the application aims to increase reliability and agility in decision making by optimizing the productivity and quality of a project.

Keywords: Welding. Software Microstructure. App. Schaeffler Diagram.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1 Problemática	10
1.1 Hipótese	10
1.2 Objetivos.....	10
1.2.1 Objetivo Geral.....	10
1.2.2 Objetivo Específico	10
1.3 Justificativa	10
1.4 Estrutura da Monografia	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Aços Inoxidáveis.....	12
2.1.1 Características gerais de soldagem dos aços inoxidáveis.....	15
2.1.1.1 Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis ferríticos	16
2.1.1.2 Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis martensíticos	17
2.1.1.3 Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis austeníticos.....	18
2.1.1.4 Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis duplex.....	19
2.1.2 Possíveis problemas de soldagem dos aços inoxidáveis	21
2.2 Diagrama de Schaeffler.....	23
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 Seleção de variáveis.....	27
3.2 Desenvolvimento	27
3.2.1 Software	27
3.2.2 Plataforma de desenvolvimento do aplicativo	28
3.2.3 Características do Aplicativo	30
3.3 Resultados.....	31
4 CONCLUSÃO.....	37
5 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o uso crescente em tecnologias e aplicativos móveis que colaboram para a formação e educação do profissional tem se tornado cada vez mais difundido. De acordo com Lima (2018), uma pesquisa sistemática realizada pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), sobre o uso das novas tecnologias de informação, revelou que, no Brasil, existe mais de um smartphone por habitante. A facilidade de acessar um smartphone, visto que é o aparelho mais utilizado nos tempos atuais, o torna um recurso capaz de ampliar o acesso à informação.

Esses dispositivos digitais podem atuar como ferramentas tecnológicas para a aquisição do conhecimento, tornando a aprendizagem mais atraente e participativa. Tais dispositivos também são capazes de simplificar problemas e facilitar a solução de forma atrativa e dinâmica. Podem gerar potenciais mudanças no modo de conduzir um trabalho, reduzindo a probabilidade de erro, pois o usuário entra apenas com os dados solicitados e o programa executa o código fechado e fornece o resultado, além de aumentar a qualidade do trabalho devido a repetitividade que é obtida e de estimular o desenvolvimento de novas tecnologias e pesquisas que profissionais da área possam promover.

Falhas na soldagem dos aços inoxidáveis são, muitas vezes, consequência direta da falta de conhecimentos específicos sobre os mesmos. As consequências dessas falhas podem gerar um dano incalculável. O uso de tecnologias para diminuir as falhas humanas tem se tornado cada vez mais comum, como a criação de um aplicativo que visa minimizar falhas causadas pela falta de avaliação do metal de base e do metal de adição a ser usado, assim como a microestrutura formada na soldagem. Deste modo, tal aplicativo contribui para o aumento da qualidade e produtividade da solda de um modo prático, interativo e de fácil acesso.

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um aplicativo que simula o Diagrama de Schaeffler com o intuito de orientar de forma rápida, acessível e simples os profissionais da soldagem. O aplicativo será capaz de calcular o cromo e níquel equivalentes, com base na composição química do metal de base e metal de adição. Além disso será capaz de prever a microestrutura formada na solda através do diagrama de Schaeffler. Cada região desse diagrama poderá representar uma possível falha, dependendo do tipo de microestrutura formada.

1 Problemática

Como utilizar um aplicativo para auxiliar na previsão dos problemas nos aços inoxidáveis soldados?

1.1 Hipótese

Utilizar uma plataforma para criação de aplicativo, na qual seja possível simular o Diagrama de Schaeffler, e inserir as variáveis solicitadas pelo diagrama.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um aplicativo para smartphone, como facilitador na previsão de problemas na microestrutura do metal soldado de aços inoxidáveis.

1.2.2 Objetivo Específico

Identificar a microestrutura obtida na solda de aços inoxidáveis de forma mais rápida que a usual.

1.3 Justificativa

Os inúmeros tipos de aços inoxidáveis fabricados atualmente dificultam o conhecimento da microestrutura obtida na união destes no cotidiano da indústria, sendo necessário utilizar-se de mecanismos que facilitem o trabalho daqueles que atuam diretamente com estes materiais. O desenvolvimento do aplicativo visa, portanto, utilizar o conhecimento já existente na literatura e colocá-lo de forma mais simples e acessível a todos os interessados.

1.4 Estrutura da Monografia

A presente monografia possui a seguinte estrutura:

- **Revisão Bibliográfica:** é realizada uma abordagem sobre os aços inoxidáveis, destacando suas características gerais de soldagem e possíveis problemas de soldagem; em seguida é feita uma análise do Diagrama de Schaeffler, como foco na sua utilização na soldagem dos aços inoxidáveis.

- Metodologia: são apresentados os tipos de pesquisa e de abordagem utilizados neste trabalho e a seleção de variáveis; em seguida trata-se da plataforma de desenvolvimento, das características e dos resultados do aplicativo Diagrama de Schaeffler.
- Propostas para trabalhos futuros: propõe-se o desenvolvimento de aplicativos para outros tipos de diagrama.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aços Inoxidáveis

De acordo com Modenesi (2016), o termo “aço inoxidável” é aplicado a um grupo de ligas ferrosas que têm por principais características: resistência à corrosão em meio aquoso que contenha agentes orgânicos ou minerais agressivos e resistência à corrosão a altas temperaturas. Os aços inoxidáveis contêm cromo, geralmente níquel e, em muitos casos, outros elementos de liga. O cromo é o principal responsável pela resistência à corrosão desses aços.

Segundo Callister (2008), o teor de cromo nos aços inoxidáveis é maior que 11%. Este teor de cromo garante, conforme Metals Handbook (1993), que haja a formação contínua de uma camada rica de óxido de cromo na superfície do metal, protegendo-o.

Os aços inoxidáveis são geralmente classificados, de acordo com Welding Handbook (2011) segundo suas estruturas cristalinas a temperatura ambiente. Há inúmeras categorias de aços inoxidáveis existentes, incluindo as seguintes:

1. Ferrítico - Tipo Cúbica de Corpo Centrado (CCC);
2. Martensítico - Tipo Tetragonal de Corpo Centrado (TCC);
3. Austenítico - Tipo Cúbica de Face Centrada (CFC);
4. Duplex - Ligas Contendo Duas Estruturas Cristalinas.

Os aços inoxidáveis ferríticos possuem, segundo Chiaverini (2005), propriedades magnéticas. Modenesi (2016) afirma que esses tipos de aço consistem em ligas compostas por ferro e cromo, com estrutura predominantemente ferrítica em qualquer temperatura até a fusão¹.

¹ É importante ressaltar que o ferro apresenta mudanças alotrópicas desde a temperatura ambiente até a temperatura de fusão (1539°C). Na temperatura ambiente esse elemento possui estrutura cristalina CCC e recebe a denominação de ferro α (alfa); ao atingir a temperatura de 912°C, o ferro modifica a sua estrutura tornando-se CFC, e passa a ser denominado de ferro γ (gama); se continuar sendo aquecido, ao atingir 1394°C esse metal volta a ter a estrutura CCC e é chamado de ferro δ (delta), permanecendo com esta estrutura até a fusão. LOPES, Jorge Teófilo de Barros. **Estrutura e propriedade dos materiais**, 2011, p.44.

Apresentam boa resistência à corrosão e à oxidação e, geralmente, são utilizados na fabricação de eletrodomésticos, cubas, utensílios de cozinha e laboratórios, balcões frigoríficos, em sistemas de expulsão dos gases tóxicos de automóveis, etc.

Ainda de acordo com Modenesi (2016), à temperatura ambiente, os aços inoxidáveis ferríticos são formados por uma matriz de ferrita (ferro α), ou seja, uma solução sólida de cromo e outros elementos de liga em ferro, apresentando uma estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC), denominada por Sindo Kou (2003) de fase cúbica de corpo centrado. O cromo tende a estabilizar a fase ferrita, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1: Diagrama de fase Fe-Cr

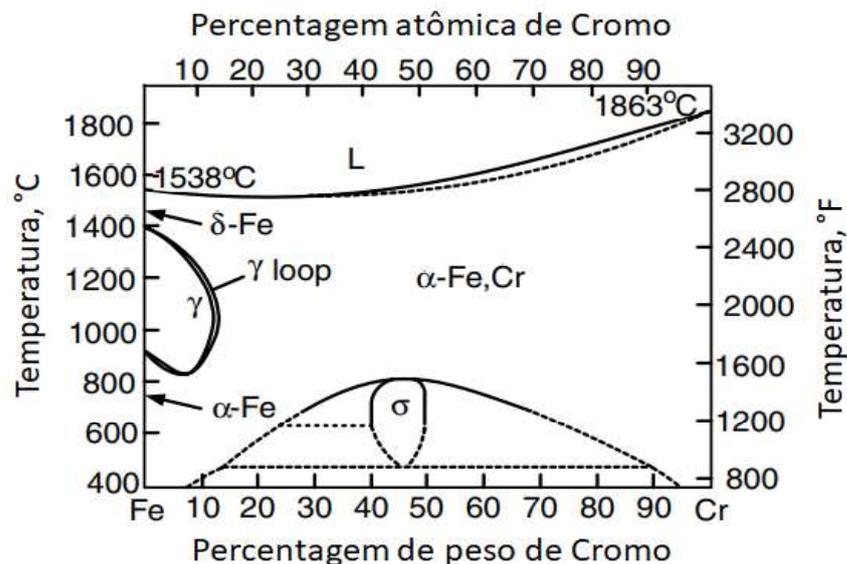


Figura 1: Diagrama de fase Fe-Cr. Fonte: Adaptado de Sindo Kou (2003)

De acordo com Duarte (2017), ao passo que o teor de cromo aumenta, ocorre a expansão dos campos de alta e baixa temperatura respectivamente correspondentes à ferrita delta e à ferrita alfa. Aproximadamente com 12% de cromo, a ferrita é completamente estável em temperatura ambiente até o ponto de fusão. Mas, à medida que o campo ferrita se expande, o campo do ferro gama (austenita) contrai, gerando a γ (gama) loop.

Para compreender a γ loop, é necessário destacar que, segundo Smith (1993), o cromo possui a mesma estrutura cristalina que a ferrita CCC e atua como um elemento alfacênio, ou seja, estabiliza a fase alfa e suprime a fase γ . Como resultado, γ loop é formada, dividindo o diagrama Fe-Cr em regiões CCC e CFC. As ligas deste diagrama com cerca de menos de 13% de

Cr sofrem a transformação da austenita em ferrita no resfriamento a partir de temperaturas dentro do campo γ loop. Ligas Fe-Cr com teor superior a 13% não sofrem a transformação de estrutura CFC em CCC no resfriamento a elevadas temperaturas e permanecem como soluções sólidas de cromo no ferro alfa

Os aços inoxidáveis martensíticos, segundo Sindo Kou (2003), possuem teor de cromo entre 11,5% e 18,0% e carbono até 1,2%, têm características ferro-magnéticas e podem ser trabalhados com facilidade, tanto a quente quanto a frio. Conforme Modenesi (2016), os aços inoxidáveis martensíticos são particularmente utilizados em aplicações que requer resistência mecânica, dureza e resistência à abrasão ou erosão elevadas em ambiente seco ou úmido como, por exemplo, em componentes de turbinas a gás ou vapor, mancais e peças de cutelaria.

Ainda segundo Modenesi (2016), os aços inoxidáveis austenísticos incluem principalmente ligas Fe-Cr-Ni. Esses tipos de aços são aplicados na indústria química, alimentícia, de refino de petróleo, entre outras aplicações em que são exigidas: boa resistência a corrosão, facilidade de limpeza e ótimas características de fabricação.

Entre os aços inoxidáveis, os austenísticos apresentam melhor soldabilidade e resistência à corrosão. Tal resistência é elevada em virtude da presença do níquel. Conforme Sindo Kou (2003), a adição do Ni nas ligas de Fe-Cr, tende a ampliar o alcance da austenita (γ), como mostrado na Figura.2 (c), e aumentar a estabilidade a baixas temperaturas.

Figura 2: Diagrama de fase: (a) Fe-C; (b) Fe-Cr; (c) Fe-Ni-Cr a 70% Fe

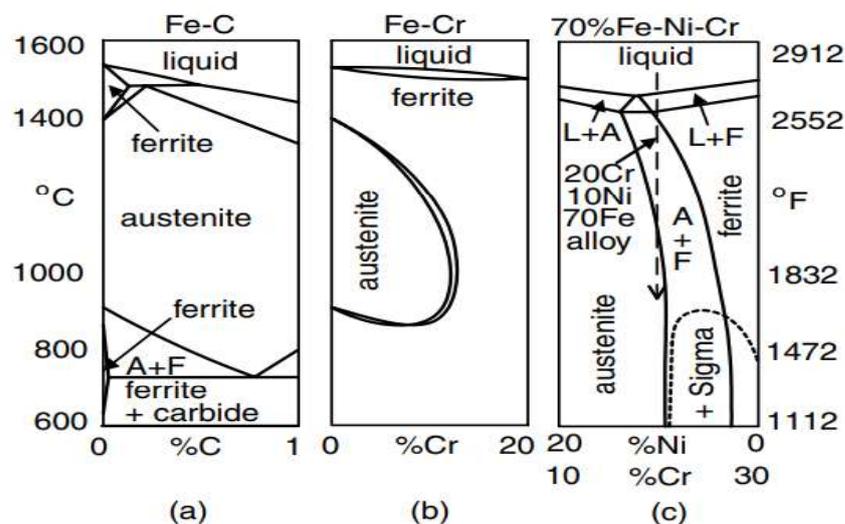


Figura 2: Diagrama de fase: (a) Fe-C; (b) Fe-Cr; (c) Fe-Ni-Cr a 70% Fe. Fonte: Adaptado de Sindo Kou (2003)

Os aços inoxidáveis duplex, como afirmam Lippold; Kotecki (2005), derivam o seu nome a partir da microestrutura que possuem a temperatura ambiente, que é aproximadamente metade ferrita e metade austenita. Segundo Modenesi (2016), esses tipos de aços têm por principais características: elevada resistência à corrosão (inclusive em ambientes em que os aços austeníticos são deficientes); alta resistência mecânica e boa solubilidade. Os aços inoxidáveis duplex são frequentemente utilizados em componentes de equipamentos expostos à água do mar, bombas e tubos nas indústrias química, petroquímica e de papel e celulose.

Pode-se verificar que os aços inoxidáveis, em seus mais variados tipos, possuem várias aplicações nas áreas da indústria, principalmente em virtude da resistência à corrosão. No entanto, como destaca Modenesi (2016), nas diversas aplicações do aço, são necessárias as operações de soldagem.

2.1.1 Características gerais de soldagem dos aços inoxidáveis

De acordo com Modenesi (2011), os três processos mais utilizados para a soldagem de aços inoxidáveis são: Soldagem a Arco com Eletrodos Revestidos (*Shielded Metal Arc Welding - SMAW*); Soldagem a Arco Gás-Tungstênio (*Gas Tungsten Arc Welding – GTAW*) e Soldagem a Arco Gás Metal (*Gas Metal Arc Welding – GMAW*).

No processo SMAW, a união dos metais é obtida por meio do aquecimento destes com um arco fixado entre um eletrodo revestido e a peça. Já no processo GTAW, tal união se obtém através de um arco estabelecido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça. Por fim, no processo GMAW a união entre os metais é feita “[...] pelo seu aquecimento com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico contínuo (e consumível) e a peça.” (MODENESI; MARQUES, 2000, p.19)

O processo SMAW é utilizado em serviços em geral. E, enquanto o processo GTAW é empregado de forma ampla na soldagem de peças de aço inoxidável de menor espessura, o processo GTAW é usado para juntas mais espessas, sendo considerado, de acordo com Modenesi (2011), um processo caracterizado por menor produtividade.

Segundo Welding Handbook (2011), as propriedades metalúrgicas de cada categoria de aço inoxidável geralmente determinam as características de soldabilidade² desses aços. Para

² Capacidade de um material ser soldado nas condições impostas por uma estrutura específica projetada de modo adequado e de comportar adequadamente em serviço. MODENESI, Paulo. **Soldabilidade de algumas ligas metálicas**, 2011, p.2.

maior entendimento dessas características, passa-se a partir de agora, a abordar a microestrutura da solda dos aços inoxidáveis ferríticos, martensíticos, austeníticos e duplex.

2.1.1.1 Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis ferríticos

Conforme Ferraresi (2013), a microestrutura da solda dos aços inoxidáveis ferríticos pode ser caracterizada, separando-se esses materiais em dois grupos: aços parcialmente transformáveis e aços não transformáveis.

Como afirma Modenesi (2016), os aços parcialmente transformáveis constituem os aços não estabilizados e cujo teor de elementos intersticiais é suficiente para provocar a formação de austenita a alta temperatura. Nesses materiais, a solda apresentará as seguintes regiões: região bifásica, correspondente à porção da Zona Termicamente Afetada (ZTA) aquecida até o campo onde coexistem a ferrita e a austenita, formada preferencialmente nos contornos de grão da ferrita e que, após resfriamento se transforma em martensita; região de crescimento de grão, correspondente à ZTA aquecida acima do campo de coexistência da austenita e da ferrita e que se caracteriza por um intenso crescimento de grãos, dissolução e reprecipitação dos carbonetos e nitretos presentes e zona fundida, a qual apresentará uma estrutura semelhante à da região de crescimento de grãos, se sua composição química for semelhante a do metal de base.

A formação da microestrutura da solda de um aço inoxidável ferrítico é mostrada na Figura 3:

Figura 3: Formação da microestrutura da solda de um aço inoxidável ferrítico

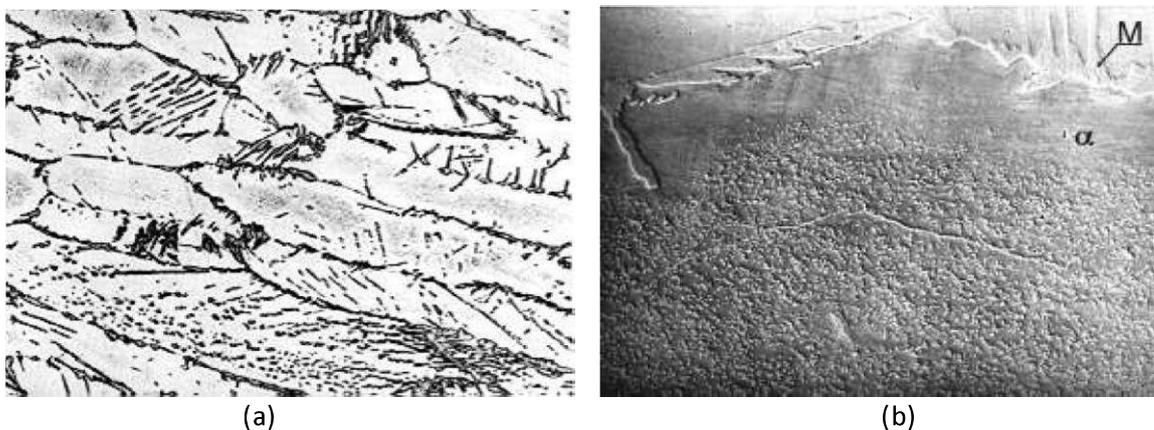


Figura 3: Formação da microestrutura da solda de um aço inoxidável ferrítico. Fonte: Modenesi (2016).

A parte (a) mostra a região bifásica (ZTA) e a parte (b) mostra a região de crescimento de grão (ZTA) e Zona Fundida (ZF).

O grupo denominado de aços não transformáveis, se refere segundo Ferraresi (2013), aos aços ferríticos com maior teor de cromo e menor teor de elementos intersticiais e/ou adições de elementos estabilizadores. Esses aços podem ter balanço entre elementos alfa-gênicos e gama-gênicos a um ponto que não possibilita a formação da austenita em qualquer temperatura. Desta maneira; “[...] a ZF apresentará uma estrutura grosseira e colunar, com precipitados finos intra e intergranulares e a sua ZTA será formada essencialmente por uma região de crescimento de grão [...]” (MODENESI, 2016, p.27)

2.1.1.2 Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis martensíticos

Em virtude do elevado teor de cromo, os aços inoxidáveis martensíticos apresentam, de acordo com Modenesi (2016), grande temperabilidade, podendo ser endurecidos com um resfriamento ao ar a partir de temperaturas superiores a 820 °C.

Ferraresi (2013) destaca que os aços martensíticos normalmente são usados na condição temperada e revenida (na qual a têmpera induz uma estrutura dura e frágil, amaciada pelo revenimento) e recozida, na qual o aço apresenta uma estrutura de ferrita e carbonetos mais macia, porém, com menor resistência à corrosão.

Para compor um aço inoxidável martensítico, a poça de fusão se solidifica como ferrita delta (δ -Fe), que, segundo Sindo Kou (2003), possui menor dureza e transforma-se em austenita durante o resfriamento. Na soldagem, onde a taxa de resfriamento é elevada, a austenita transforma-se em martensita, nessa linha de raciocínio, Modenesi (2016) afirma que, em decorrência da temperabilidade, tanto a ZF quanto a região da ZTA austenitizada durante a soldagem apresentam uma microestrutura de martensita após o resfriamento.

A microestrutura da solda da martensita é mostrada na Figura 4:

Figura 4: Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis martensíticos

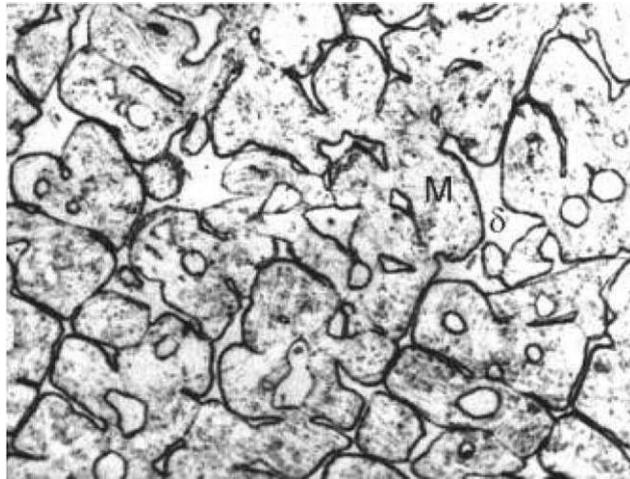


Figura 4: Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis martensíticos. Fonte: Modenesi (2016).

A figura acima mostra a ZF de um aço inoxidável martensítico no qual se observa determinada quantidade de ferrita delta.

2.1.1.3 Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos, conforme Modenesi (2016), são utilizados após um tratamento térmico de estabilização, isto é, ao aquecimento a temperaturas entre 1000 e 1100 °C. Esse tratamento busca conferir ao material uma estrutura essencialmente austenítica com menor quantidade possível de outros elementos constituintes. Tal estrutura apresenta maior resistência à corrosão.

De acordo com Welding Handbook (2011), na condição soldada, o aço inoxidável austenítico pode variar significativamente do metal base tanto em relação à microestrutura quanto às propriedades mecânicas. Ligas que são completamente austeníticas na condição forjada frequentemente exibem as microestruturas ferrita/ austenita no metal de solda após o resfriamento a temperatura ambiente. Com a adição de alguns metais de adição, pequenas quantidades de martensita também podem ser formadas, embora este comportamento não seja típico na maioria dos aços inoxidáveis. Carbetos, nitretos e carbonitretos também podem ser observados nos aços inoxidáveis soldados, particularmente quando titânio ou nióbio está presente no metal base ou no metal de adição

A microestrutura da solda de um aço inoxidável austenítico é mostrada na Figura 5

Figura 5: Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis austeníticos

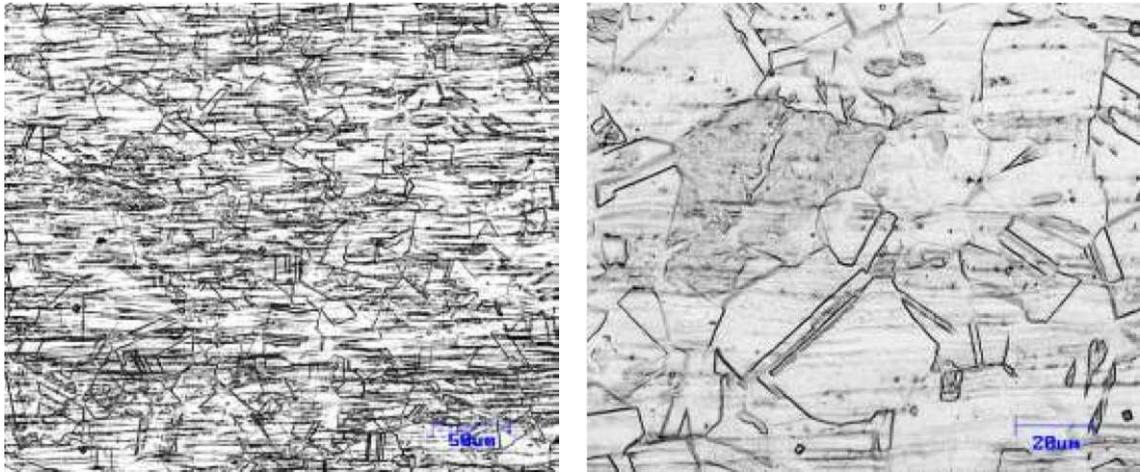


Figura 5: Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis austeníticos. Fonte: Modenesi (2016).

Modenesi (2016) destaca que a microestrutura final da ZF de um aço inoxidável austenítico encontra na dependência da forma de solidificação do aço e das transformações subsequentes no estado sólido.

2.1.1.4 Microestrutura da solda dos aços inoxidáveis duplex

De acordo com Lippold; Kotecki (2005), no decorrer do processo de resfriamento, a fase ferrita delta é estável em uma faixa elevada de temperatura antes de cair abaixo da temperatura solvus³ e iniciar a transformação em austenita. Quando a transformação da austenita começa abaixo da temperatura solvus da ferrita, a austenita forma-se primeiro ao longo dos contornos de grãos ferríticos. Isto ocorre por um processo de nucleação e crescimento e geralmente resulta num cobrimento completo do contorno de grão ferrítico. Austenita adicional pode ser formada como placas de Widmanstätten ao lado dos grãos de austenita, ou intragranularmente dentro dos grãos de ferrita

Conforme Modenesi (2016) afirma que, a região da ZTA da solda apresenta um aumento do tamanho de grão ferrítico, diminuição da quantidade de austenita e mudança de sua forma e precipitação de carbonetos e nitretos. Na ZF, caso o metal de solda tiver composição semelhante ao metal de base, a microestrutura será semelhante e caracterizada por grãos colunares de ferrita.

A microestrutura da solda de um aço inoxidável duplex é mostrada na Figura 6.

³ Separa uma região de solução sólida de outra contendo várias fases. Também conhecida como linha solvus. RUCHERT, Cassius O.F.T. **Diagramas de fases**, s.d., p.18,

Figura 6: Microestrutura da solda de um aço inoxidável duplex

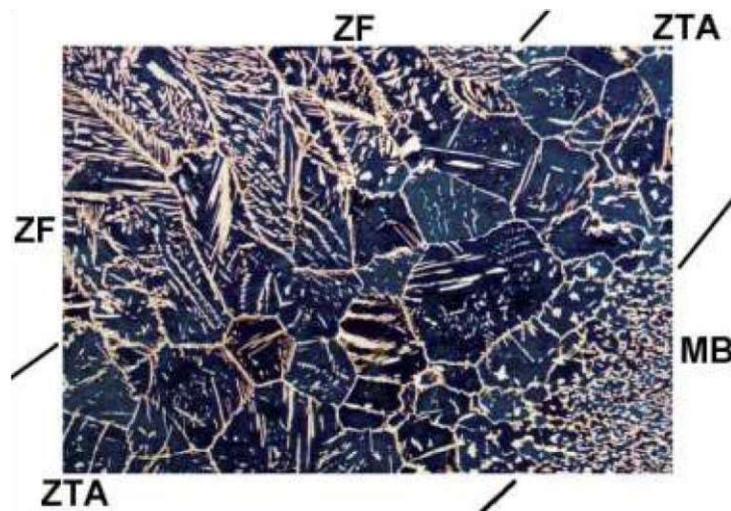


Figura 6: Formação da microestrutura da solda de um aço inoxidável duplex. Fonte: Modenesi, 2016.

De acordo com Modenesi (2016), essa microestrutura é decorrente do processo GTAW de soldagem. As regiões mais escuras representam a ferrita, enquanto as cores mais claras, correspondem à austenita.

Segundo o autor em questão, é recomendável a busca de condições de resfriamento adequadas para a soldagem dos aços duplex, pois, condições que resultam em uma baixa velocidade de resfriamento, proporcionam maior tamanho de grão ferrítico na ZTA e a precipitação e fases fragilizantes. Já uma soldagem que conduz a altas velocidades de resfriamento, favorecem uma maior quantidade de ferrita na ZTA e, conseqüentemente uma perda de resistência.

Os aços inoxidáveis, de modo geral, são considerados, de acordo com Modenesi (2011) mais difíceis de soldar do que aços de baixo carbono. Porém os problemas de soldagem variam conforme o tipo de aço.

2.1.2 Possíveis problemas de soldagem dos aços inoxidáveis

De modo geral, os aços inoxidáveis ferríticos possuem baixa soldabilidade, uma vez que a sua solda tende a apresentar perda de flexibilidade e tenacidade, além de sensibilidade a problemas de corrosão, particularmente aquela do tipo intergranular. “[...] Estes problemas de soldabilidade têm limitado a aplicabilidade destes aços em estruturas e peças soldadas, exceto

quando a espessura é relativamente pequena e aços mais modernos são usados.” (MODENESI, 2016, p.28)

E, em aços que contém maior teor de cromo e de elementos intersticiais, a fragilização é mais intensa e, em aços que possuem maiores teores desses elementos e menor teor de cromo, a sensibilização à corrosão intergranular é maior.

Esse tipo de corrosão é mostrado na Figura 7.

Figura 7: Corrosão intergranular em uma chapa de aço inoxidável ferrítico

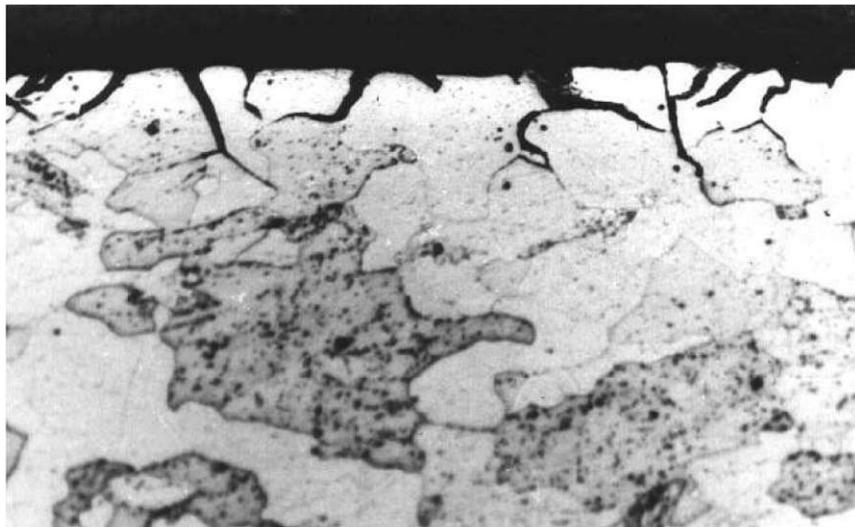


Figura 7: Corrosão intergranular em uma chapa de aço inoxidável ferrítico. Fonte: Modenesi (2016).

Lippold; Kotecki (2005) destaca que as limitações encontradas na soldagem desses aços geralmente estão associadas às trincas induzidas pelo hidrogênio ou trincas de solidificação. As trincas de solidificação ocorrem nos estágios finais de resfriamento devido aos efeitos combinados de impurezas e segregação de elementos de liga, formação de filme líquido nos contornos de grãos, e restrição termomecânica. A trinca é mais frequente associada com a solidificação nos contornos de grãos, onde a segregação dos elementos de liga de menor temperatura é a maior.

Os aços inoxidáveis martensíticos, podem sofrer fissuração durante a soldagem devido principalmente ao aumento de sua dureza, em decorrência do aumento da temperatura de têmpera. Tal fissuração pode ocorrer, de acordo com Modenesi (2016) tanto na ZF quanto na ZTA. No primeiro caso, ela é mais comum quando a temperabilidade da ZF for semelhante à da ZTA. Já no segundo caso, quando a ZF é menos temperável

Conforme Metals Handbook (1993), após a soldagem, deve ser realizado um tratamento térmico, com o objetivo de diminuir a dureza e aumentar a tenacidade da região da solda.

No que diz respeito aos aços austeníticos, Modenesi (2011) destaca que eles são relativamente simples de soldar, exceto os aços com adição de enxofre para usinagem fácil. Esses tipos de aço apresentam coeficiente de expansão térmica maior do que os aços doces, ou seja, aqueles que possuem elevado índice de pureza. Tal coeficiente tende a aumentar o risco de distorção na soldagem desses aços.

Além, disso, os aços austeníticos com mais de 0,05% de carbono são, conforme Sindo Kou (2003), suscetíveis a formação de corrosão intergranular durante a soldagem.

A Figura 8 mostra a microestrutura da ZTA de um aço inoxidável austenítico 304⁴ contendo 0,05% C inoxidável austenítico 304 submetido a um teste de corrosão acelerada.

Figura 8: Corrosão Intergranular na ZTA do aço inoxidável austenítico 304

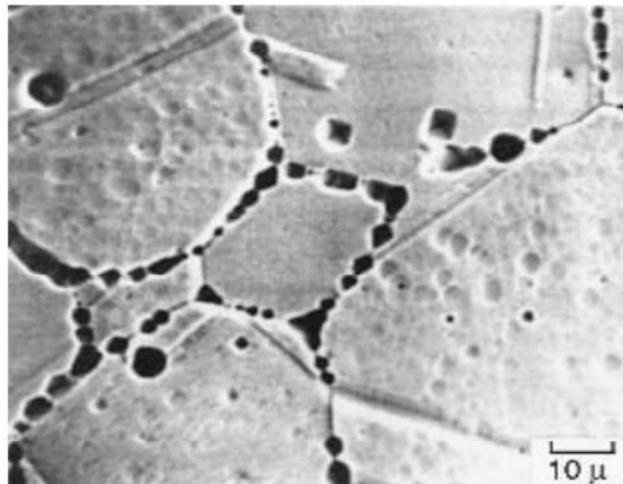


Figura 8: Corrosão Intergranular na ZTA do aço inoxidável austenítico 304 contendo 0,05%. Fonte: Fukakura et al (1979).

Ainda de acordo com Sindo Kou, (2003), essa corrosão ocorre devido a precipitação de carboneto de Cr nos limites dos grãos, que é chamado de sensibilização. Normalmente, o carboneto de Cr é $M_{23}C_6$ enriquecido com Cr, em que M representa Cr e algumas pequenas quantidades de Fe. Dentro da faixa de temperatura de sensibilização, átomos de carbono

⁴ Tipo 304 –UNS S30400 Composição 0,08C%, 2,00Mn%, 1,00%Si, 18-20,00%Cr, 8-10,5%Ni, 0,45%P, 0,03%S. CALLISTER, William. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

difundem-se rapidamente para os limites de grão, onde combinam com Cr para formar Cr carboneto.

Conforme Uhlig (1971), a corrosão intergranular pode ser evitada com o tratamento térmico de pós aquecimento 1000-1100°C seguida de têmpera. A alta temperatura dissolve os carbonetos de cromo formados durante a soldagem, e a têmpera previne a re-formação. Porém, esse tratamento nem sempre é possível devido ao tamanho ou à distorção induzida pela têmpera.

Outra solução, segundo Sindo Kou (2003), seria a redução do teor de carbono, podendo ser usados graus de baixo carbono, como os aços inoxidáveis 304L e 316L. Esses aços inoxidáveis são projetados para ter menos de 0,035% C para reduzir a suscetibilidade à deterioração da solda.

Os aços inoxidáveis duplex, de acordo com Modenesi (2011), tendem a ser facilmente soldados, mas, são necessários alguns cuidados, principalmente no tocante ao resfriamento. Por um lado, um resfriamento muito rápido potencializa um teor muito elevado de ferrita e a precipitação de nitretos de cromo, tanto na ZF quanto na ZTA, prejudicando a tenacidade e a resistência à corrosão da solda. Por outro lado, um resfriamento muito lento pode provocar a precipitação de compostos intermetálicos nocivos às propriedades mecânicas e químicas da solda.

Segundo Modenesi (2016), faz-se necessário procurar as condições de resfriamento adequadas para a soldagem dos aços inoxidáveis duplex. Daí geralmente são recomendados aportes térmicos entre aproximadamente 0,5 e 2,5 quilojoules (kj).

Pelo exposto, foi possível verificar a microestrutura da solda dos aços inoxidáveis ferríticos, martensíticos, austeníticos e duplex e também a possibilidade de problemas na soldagem desses aços. De acordo com Modenesi (2011), tanto a microestrutura quanto tal possibilidade podem ser previstas por meio da utilização de diagramas constitucionais empíricos, como o Diagrama de Schaeffler.

2.2 Diagrama de Schaeffler

O Diagrama de Schaeffler é útil na tecnologia da soldagem, uma vez que possibilita “[...] prever as microestruturas que serão obtidas em uma junta em função da composição do metal de base e do metal de adição.” (USP, s.d, p,1)

De acordo com Liberato (2017), o Diagrama de Schaeffler foi desenvolvido a partir de pesquisas referentes ao processo de soldagem SMAW. Sua última versão foi feita por Anton

Schaeffler, em 1949, sendo utilizada nessa forma até os dias atuais. Esse diagrama revelou ser razoavelmente preciso para o estudo das ligas de aço inoxidável da série 300⁵ (dos aços austeníticos). Porém, como afirma Modenesi (2016), o Diagrama de Schaeffler não é restrito aos aços austeníticos, podendo ser utilizado também para aços ferríticos e martensíticos.

O Diagrama de Schaeffler é mostrado na Figura 9.

Figura 9: Diagrama de Schaeffler

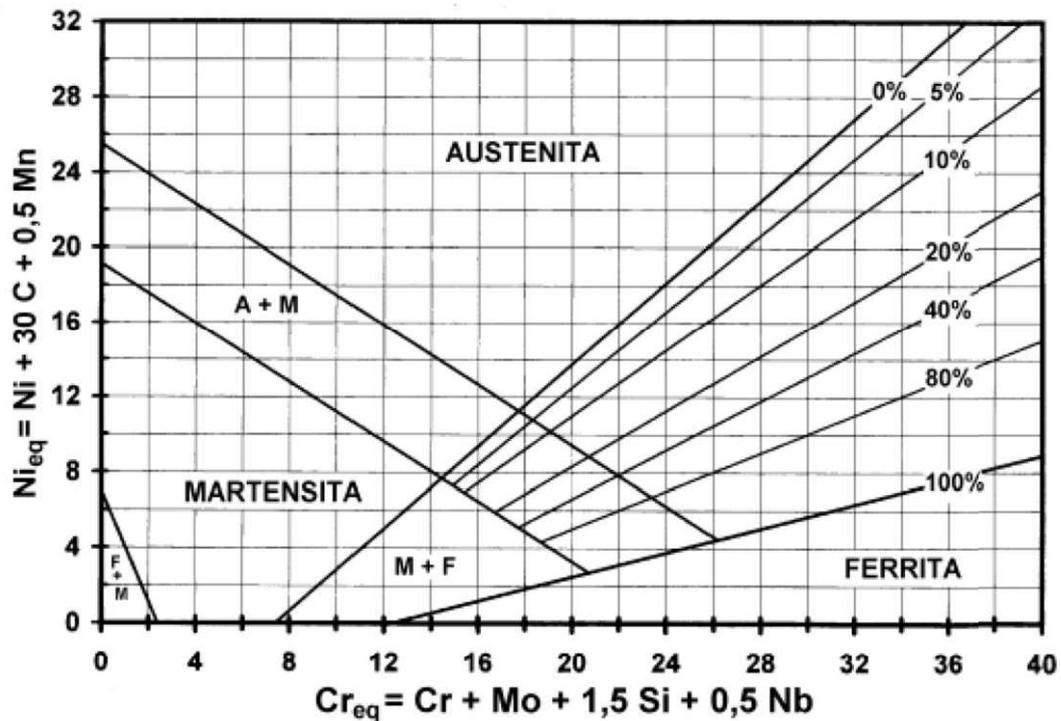


Figura 9: Diagrama de Schaeffler. Fonte: Modenesi (2016).

Para utilizar esse diagrama, as variáveis⁶ conhecidas como cromo equivalente e níquel equivalente devem ser calculados pela composição química do metal de base e do metal de adição. A microestrutura é determinada por meio da leitura direta no diagrama do campo onde se localiza o ponto (Cr_{eq} , Ni_{eq}). Em aplicações nas quais as composições dos metais base e de adição sejam diferentes, o ponto que representa a solda no diagrama se encontrará sobre o segmento de reta entre o metal base e o metal de adição. “[...] A posição desse ponto no

⁵ Composição: Fe-Cr-Ni. CARBÓ, Hector Mario. **Aços inoxidáveis: aplicações e especificações**, 2008, p.13.

⁶ Essas variáveis são definidas por: $Cr_{eq} = Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb(1)$ e $Ni_{eq} = Ni + 30C + 0,5Mn$. USP. **Tecnologia dos Aços Inoxidáveis - Diagrama de Schaeffler**, s.d., p.1.

segmento dependerá da diluição da solda, ficando mais próximo do metal de adição para soldas de pequena diluição.” (MODENESI, 2016, p.43)

Não obstante sua importância e ampla utilização na soldagem dos aços inoxidáveis, o Diagrama de Schaeffler, segundo Modenesi (2016), não considera o efeito do nitrogênio (elemento fortemente formador de austenita na microestrutura). Além disso, Guimarães (2011) destaca que, na região que apresenta uma predição do percentual de ferrita delta presente em metais de solda, existe um erro de 4% o percentual de ferrita delta indicado pelo Diagrama de Schaeffler.

Esse Diagrama constitui base para o desenvolvimento de um aplicativo para smartphone, com a finalidade de auxiliar na previsão de problemas na microestrutura do metal soldado de aços inoxidáveis.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho consiste em uma pesquisa descritiva, de abordagem quantitativa. Segundo Gil (2008), a pesquisa, constitui o processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. A pesquisa tem como objetivo principal descobrir soluções para problemas por meio da aplicação de procedimentos científicos. De modo geral, a pesquisa busca o progresso da ciência e o desenvolvimento dos conhecimentos científicos sem a preocupação direta com suas aplicações e consequências práticas. “[...] Seu desenvolvimento tende a ser bastante formalizado e objetiva a generalização, com vistas na construção de teorias e leis.” (GIL, 2008, p. 26)

De acordo com Lakatos; Marconi (2003), a pesquisa é um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que exige um tratamento científico e se constitui no caminho para o conhecimento da realidade ou para a descoberta de verdades parciais.

A pesquisa descritiva, como afirma Khotari (2008), abrange pesquisas e investigações de vários tipos e tem por objetivo a descrição do estado de assuntos como existem atualmente. A principal característica desse tipo de pesquisa é que o pesquisador não tem controle sobre as variáveis. Nesse sentido, ele só pode reportar o que ocorreu ou o que está ocorrendo.

Ainda no tocante à pesquisa descritiva, Gil (2008) afirma que ela vai além da simples identificação da existência de relações entre variáveis, buscando determinar a natureza dessa relação. Também existem pesquisas descritivas que proporcionam uma nova visão do problema.

Por sua vez, a abordagem quantitativa, como destaca Kothari (2008), tem por base a medição da quantidade, sendo aplicável a fenômenos que podem ser expressos em termos de quantidade.

Conforme Prodanov; Freitas (2013), a abordagem quantitativa considera tudo aquilo que pode ser submetido à quantificação, o que significa expressar em números opiniões e informações, tendo por objetivos classifica-las e analisa-las. Deste modo, tal abordagem exige a utilização de recursos de técnicas estatísticas, como percentagem, média e coeficiente de correlação.

Esse tipo de abordagem pode ser empregada em diversos tipos de pesquisa, inclusive na descritiva, principalmente pela facilidade de poder descrever um problema complexo e analisar a interação de determinadas variáveis.

3.1 Seleção de variáveis

As variáveis foram selecionadas de acordo com as entradas solicitadas no Diagrama de Schaeffler, ou seja, teores químicos dos elementos constituintes do metal de base e metal de adição, a fim de calcular a quantidade de cromo e níquel equivalente e também a diluição esperada durante o processo de soldagem.

Com o objetivo de facilitar o uso do aplicativo, foram inseridas tabelas auxiliares que informam as faixas de teores normativos aceitos dos respectivos materiais de acordo com a AWS 5.9⁷

De acordo com AWS (2012) essa especificação prescreve os requisitos para a classificação de eletrodos de aço inoxidável sólido e compósito (ambos como fios e tiras) para soldagem a arco de metal a gás, soldagem a arco submerso e outros processos de soldagem por fusão. Inclui também arames e hastes para uso em soldagem a arco de gás de tungstênio. A classificação é baseada na composição química do metal de adição. Requisitos adicionais estão incluídos para fabricação, tamanhos, comprimentos e embalagens. Esta especificação faz uso das unidades habituais dos EUA e do Sistema Internacional de Unidades (SI). Uma vez que estes não são equivalente, cada sistema deve ser usado independentemente do outro.

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Software

O Software utilizado para a criação do aplicativo foi o Android Studio. De acordo com (Esmael 2015), o Android Studio é um novo IDE (*Integrated Development Environment* - Ambiente de Desenvolvimento Integrado), disponibilizado gratuitamente para o Google. O Android Studio inclui muitas ferramentas para o desenvolvimento de aplicativos.

De acordo com Thamizharasi (2016), o Android é um sistema operacional móvel baseado em uma versão modificada do Linux. Foi originalmente desenvolvido por uma *startup*⁸ com o mesmo nome, Android, Inc. Em 2005, como parte de sua estratégia para entrar no espaço móvel, o Google comprou o Android e assumiu o trabalho de desenvolvimento. O Google queria que o Android fosse aberto e livre; portanto, a maior parte do código do Android foi liberada sob a

⁷ AWS (*American Welding Society*) e SAE (*Society of Automotive Engineers*) - AISI (*American Iron and Steel Institute*) Sistema de classificação que representam padrões de composição química para especificações de aço.

⁸ Designação dada para determinadas organizações empresariais inovadoras, cujos modelos de negócios podem ser replicados. DICIONÁRIO FINANCEIRO. *Startup* [verbete], 2019, n.p.

licença Apache de código aberto. Além disso, fornecedores (normalmente fabricantes de *hardware*) podem adicionar suas próprias extensões proprietárias ao Android e personalizar o Android para diferenciar seus produtos de terceiros. Este modelo de desenvolvimento simples torna o Android muito atraente, despertando o interesse de muitos

3.2.2 Plataforma de desenvolvimento do aplicativo

O aplicativo Diagrama de Schaeffler foi desenvolvido na plataforma Android, através do *software* Android Studio, desenvolvido pela Google e disponível gratuitamente pela licença Apache 2.0. As linguagens disponíveis para desenvolvimento são as seguintes: Java, Kotlin e C++.

Para o aplicativo Diagrama de Schaeffler foi utilizada a linguagem Java⁹, devido à popularidade e facilidade de encontrar tutoriais, cursos e vídeo aulas.

A Figura 10 mostra o ambiente de desenvolvimento do aplicativo.

Figura 10: Captura da tela do Android Studio Ambiente de Desenvolvimento

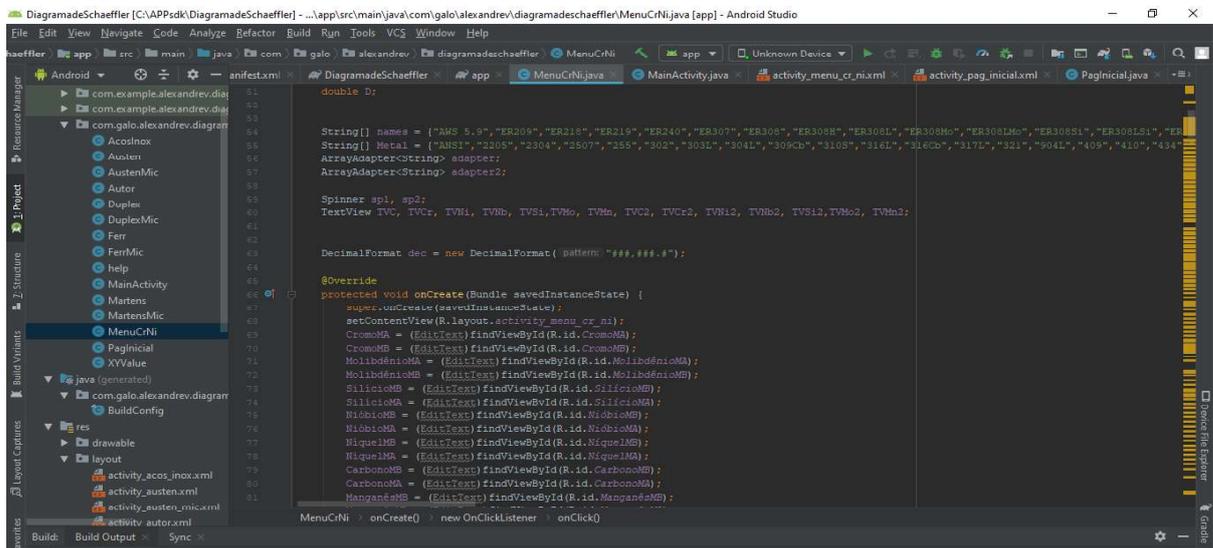


Figura 10: Captura da tela do Android Studio Ambiente de Desenvolvimento. Fonte: Próprios autores.

⁹ Desenvolvida na década de 1990, pela *Sun Microsystems*, a linguagem Java é orientada a objetos (a qual tem por objetivo modelar o mundo real). Tal linguagem é, capaz de criar tanto aplicativos para desktop, aplicações comerciais, softwares robustos, completos e independentes e aplicativos para a Web. CLARO, Daniela Barreiro; SOBRAL, João Bosco Manguieira. **Programação em Java**, 2008, p.12.

Além do ambiente de desenvolvimento, o *software* possui o ambiente de *layout*. Neste ambiente do Android Studio, o programador cria o layout que será visualizado pelo usuário do aplicativo, podendo fazer alterações e visualizando o resultado em tempo real, conforme mostra Figura 11.

Figura 11: Captura da tela do Android Studio Ambiente de Layout

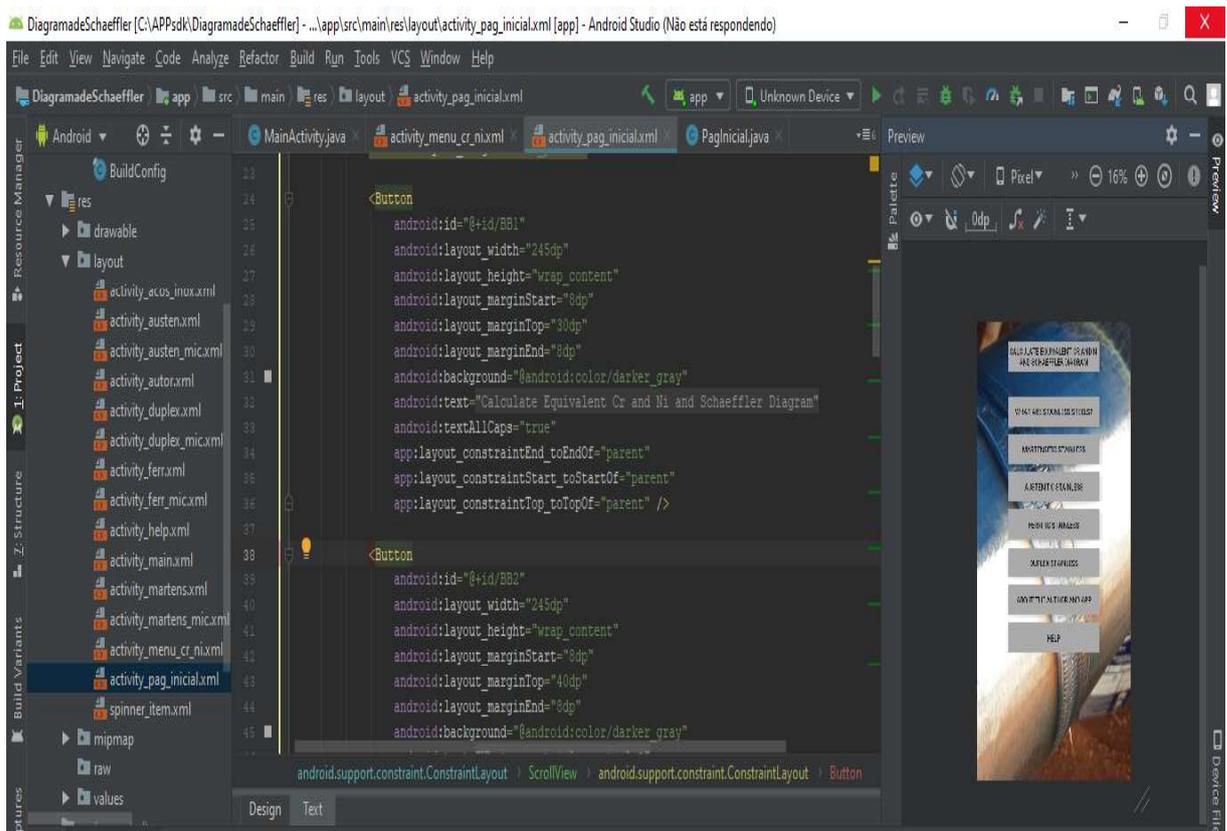


Figura 11: Captura da tela do Android Studio Ambiente de Layout. Fonte: Próprios autores.

O *software* Android Studio possui o simulador, usado para testar o aplicativo. O Dispositivo Virtual Android ou AVD (Android Virtual Device) é uma configuração de emulador, que permite simular um dispositivo Android. Isso faz com que a execução e os testes de aplicativos, em uma ampla gama de dispositivos, ilustrado na Figura 12.

Figura 12: Tela do Android Studio Ambiente de Simulação do aplicativo Diagrama de Schaeffler

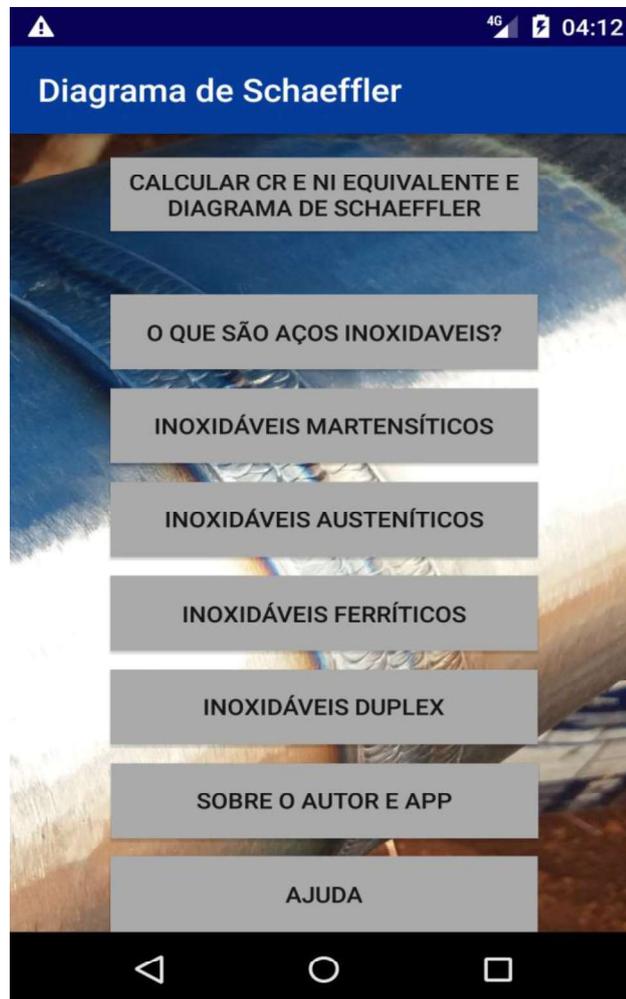


Figura 12: Tela do Android Studio Ambiente de Simulação do aplicativo Diagrama de Schaeffler. Fonte: Próprios autores.

3.2.3 Características do Aplicativo

O Aplicativo deve ser fácil e prático, conter informações básicas quanto às características dos aços inoxidáveis e os principais tipos, assim como a microestrutura característica. Para facilitar o acesso no campo, onde não há disponibilidade de internet, o aplicativo deve possuir banco de dados próprio, guardados na memória do código contendo as informações de acesso e demais ferramentas para o seu bom uso.

O Aplicativo deve ter uma tela onde o usuário possa informar a composição química do metal de base e metal de adição, e assim de forma rápida, através de um botão calcular com base na fórmula do níquel e cromo equivalentes, e informá-los visualmente. Deve também ter um

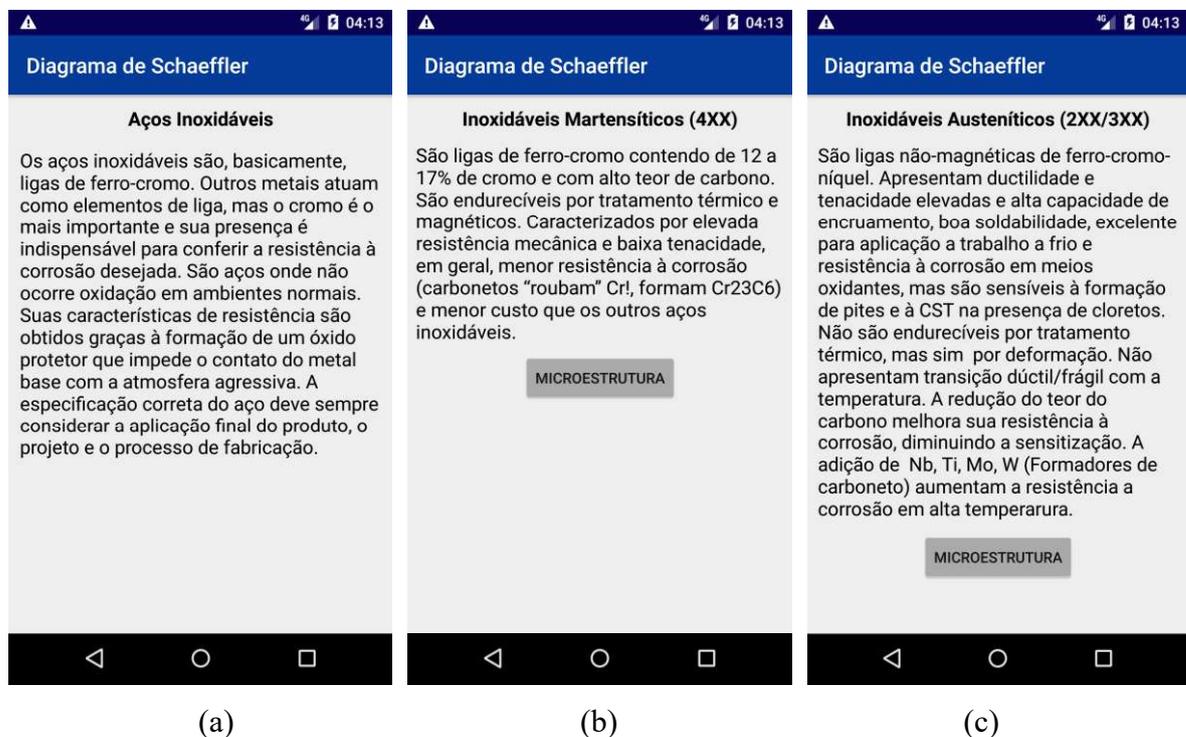
campo para que o usuário informe a diluição em porcentagem, para que saiba visualmente a composição da diluição formada.

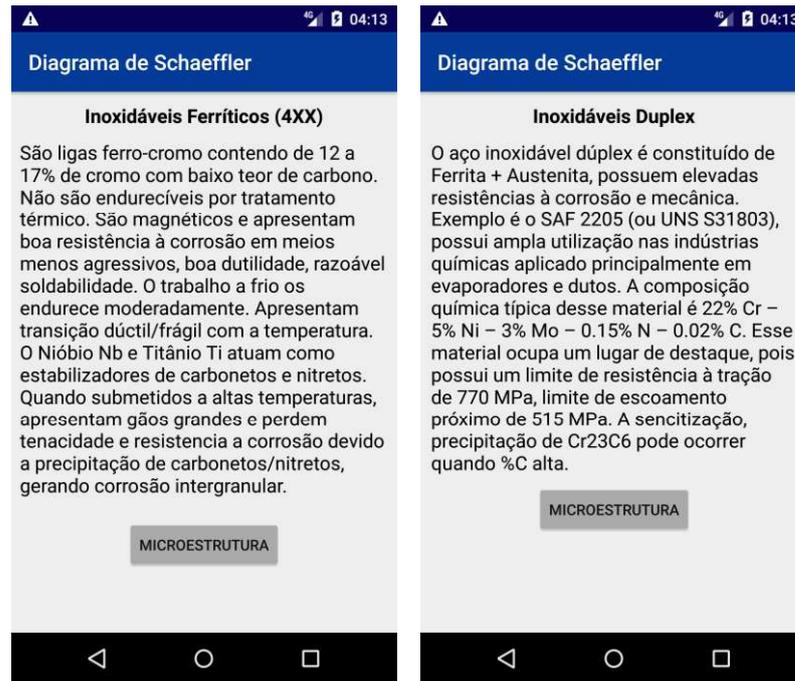
Outra função que o Aplicativo deve ter é o Diagrama de Schaeffler habilitado como um gráfico, para que de forma prática o usuário possa informar a composição equivalente do seu metal de base e de adição e plotar no diagrama. O usuário deve também ser capaz de plotar no diagrama a diluição para assim, conseguir prever a microestrutura da solda formada.

3.3 Resultados

O Aplicativo Diagrama de Schaeffler foi desenvolvido com o intuito de orientar de forma rápida e acessível aos profissionais da soldagem sobre o aço inoxidável e a soldagem do mesmo. O aplicativo possui 01 (uma) janela com informações introdutórias sobre o aço inoxidável conforme mostrado na Figura 13 (a), e 04 (quatro) janelas com os tipos e principais características conforme mostrado nas figuras 13 (b) a (e).

Figura 13: Janela com informações





(d)

(e)

Figura 13: Janela com informações. Fonte: Próprios autores.

Caso o usuário tenha alguma dúvida quanto a microestrutura do metal inoxidável ou queira consultar a microestrutura, ele pode visualizá-la e comparar com outras microestruturas, conforme ilustrado na Figura 14 (a-d), onde apresenta respectivamente microestrutura martensita, austenita, ferrita e duplex.

Figura 14: Visualização das microestruturas

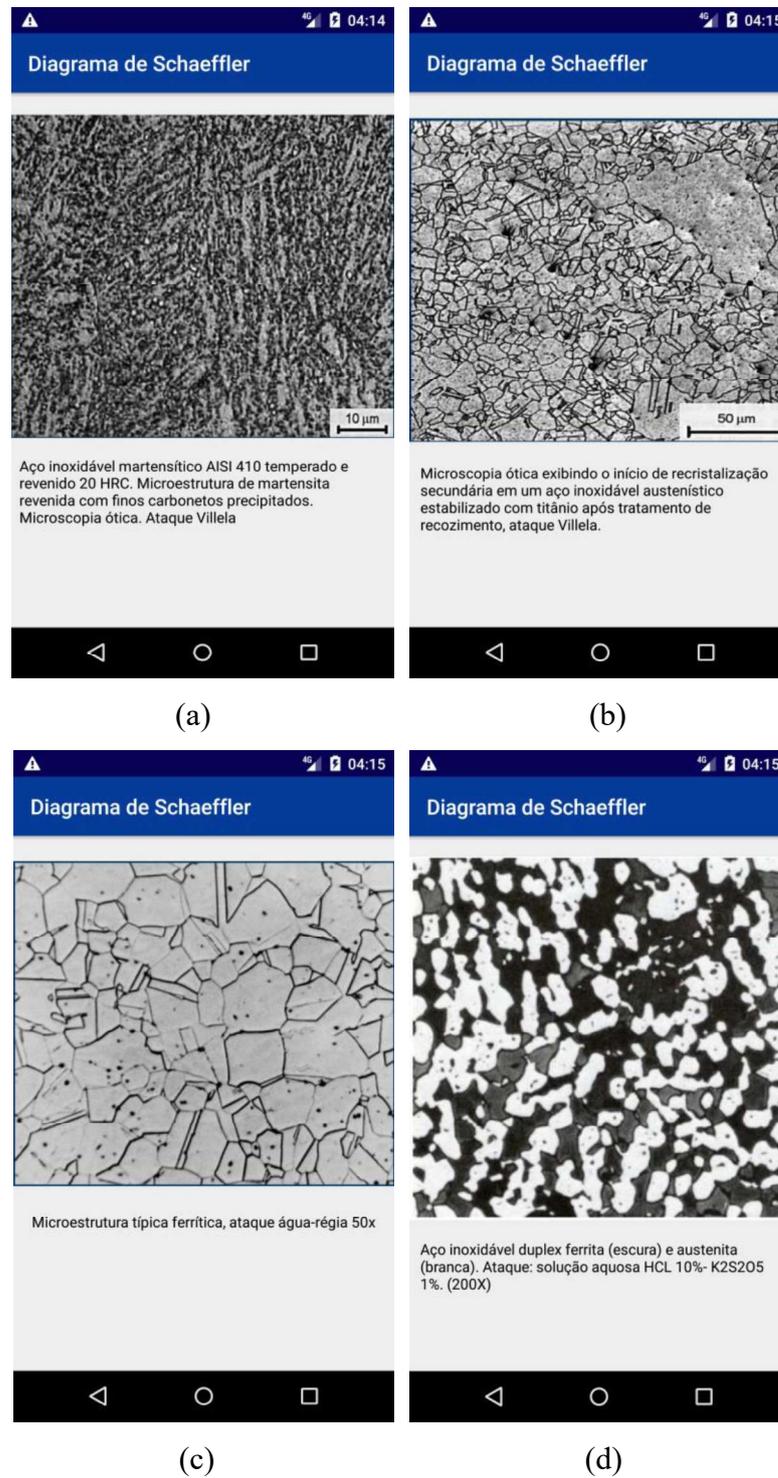
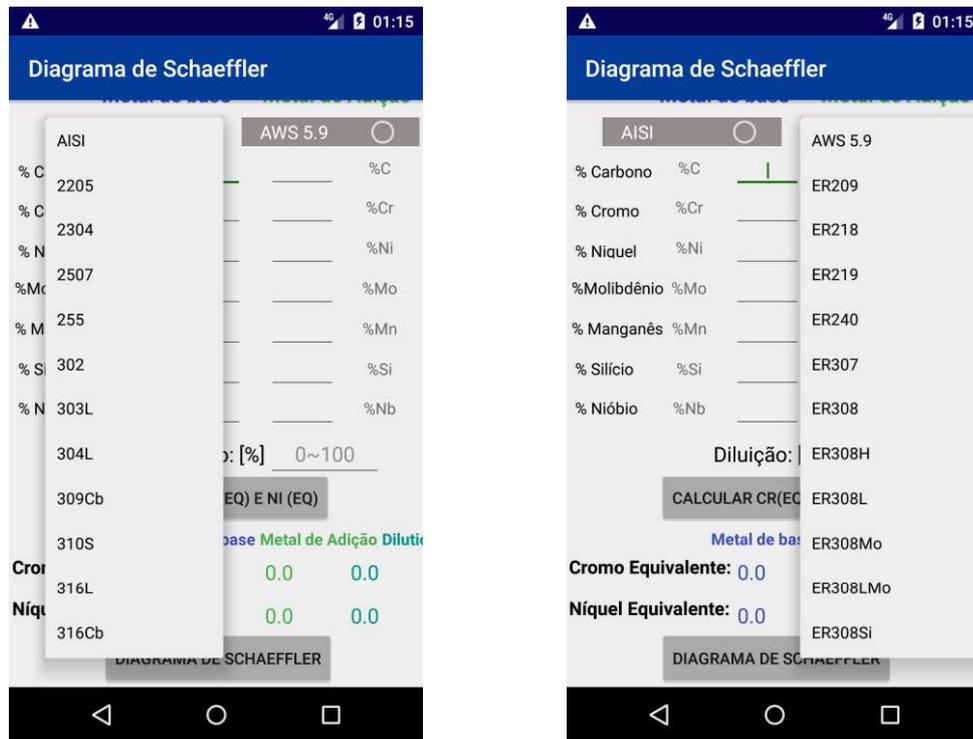


Figura 14: Visualização das microestruturas. Fonte: Próprios autores.

Além disso, o aplicativo conta com uma biblioteca de dados normativos sobre a composição química dos principais metais de base retirada da *AISI American Iron and Steel*

Institute e de todos os eletrodos retirada da AWS 5.9 2012 *Especification for Bare Stainless Steel Welding and Electrode Rods* conforme mostrado na Figura 15 (a-b).

Figura 15: Biblioteca de dados



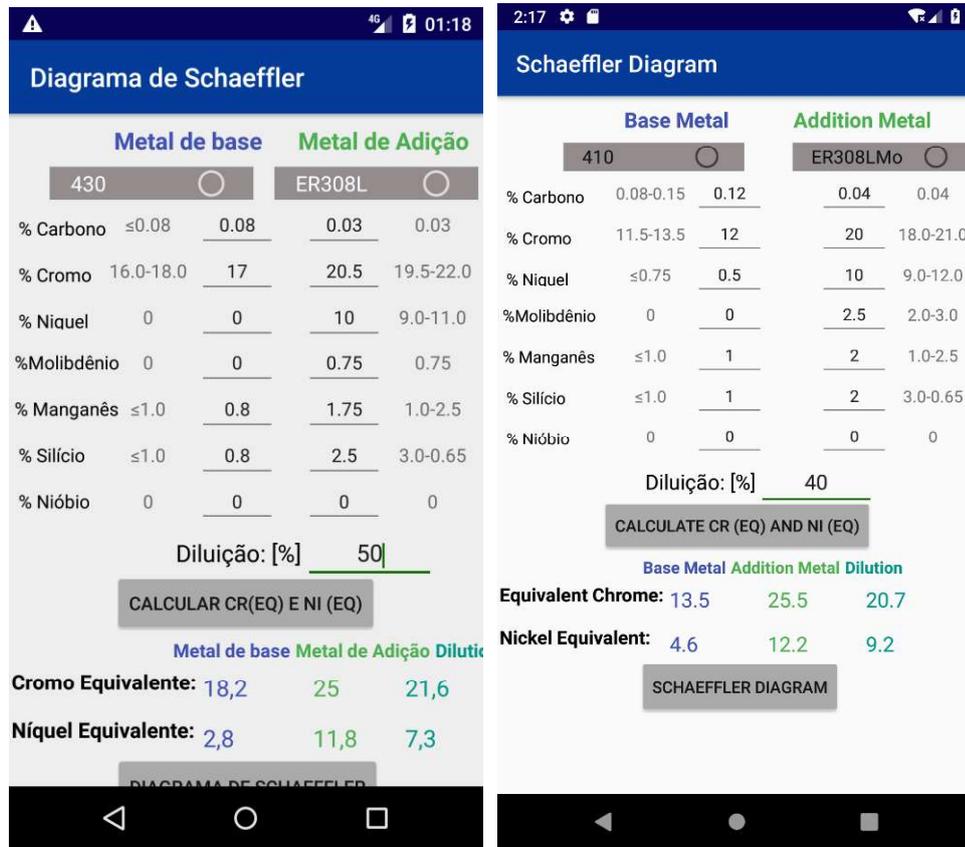
(a)

(b)

Figura 15: Biblioteca de dados. Fonte: Próprios autores.

O aplicativo foi programado para calcular o cromo e níquel equivalentes, com base na composição química do metal de base e metal de adição e também para o cálculo da composição da mistura, conforme percentagem da diluição, preenchido pelo usuário, ilustrado pela Figura 16 (a-b).

Figura 16: Simulação de cálculo



(a)

(b)

Figura 16: Simulação de cálculo. Fonte: Próprios autores.

Através do Diagrama de Schaeffler o usuário é capaz de plotar no gráfico os pontos do metal de base, metal de adição e mistura proveniente da diluição, podendo ter a previsibilidade da microestrutura formada de acordo com a localização do metal de base, metal de adição e diluição.

A plotagem dos pontos conta com auxílio de cores e formas geométricas, facilitando para o usuário a localização dos pontos adicionados conforme mostrado na Figura 17, onde o quadrado azul, o triângulo verde e a circunferência cinza simbolizam respectivamente o metal de base, o metal de adição e a diluição.

Figura 17: Plotagem dos pontos do metal de base, metal de adição e diluição

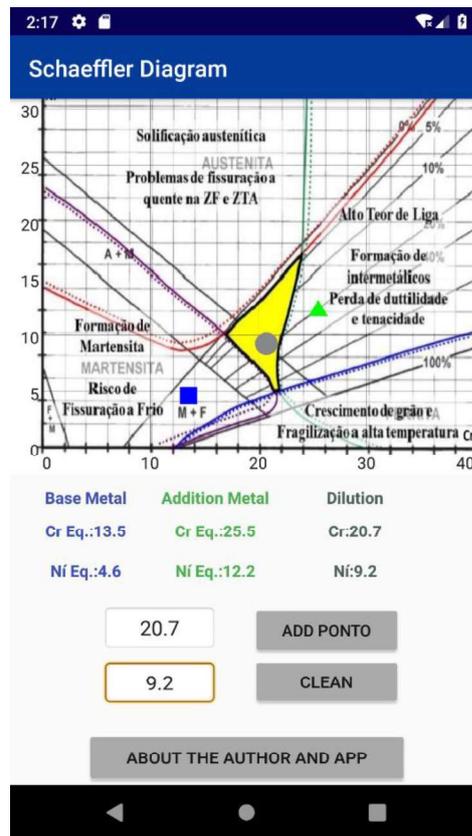


Figura 17: Plotagem dos pontos do metal de base, metal de adição e diluição. Fonte: Próprios autores.

4 CONCLUSÃO

Na revisão bibliográfica foram abordadas as características dos aços inoxidáveis, desde a sua composição química até a sua união através do processo de soldagem e suas respectivas implicações. Essa abordagem, juntamente com a análise do Diagrama de Schaeffler, foram fundamentais para entender quais microestruturas podem ser esperadas na solda.

Considerando-se o objetivo geral de desenvolver um aplicativo para auxiliar na previsão da microestrutura na solda de aços inoxidáveis, foi obtido êxito por meio da utilização da plataforma de software Android Apache, a partir da qual construiu-se o aplicativo utilizando a linguagem Java. Após a inserção dos dados da composição dos materiais, de forma automática, obteve-se como resultado a microestrutura esperada de acordo com o Diagrama de Schaeffler.

O aplicativo Diagrama de Schaeffler tem o intuito de simular de forma rápida, acessível e simples um Diagrama de Schaeffler. Além de possuir informações sobre os aços inoxidáveis e seus tipos mais comuns, contém imagens característica da microestrutura dos mesmos. O aplicativo é capaz de calcular o cromo e níquel equivalentes, com base na composição química do metal de base e metal de adição informado pelo usuário. Também é capaz de prever a microestrutura formada na solda através do Diagrama de Schaeffler. Deste modo, confirma-se a hipótese formulada na parte da introdução deste trabalho.

O aplicativo permite que o usuário faça consultas de diferentes tipos de metais devido ao grande banco de dados de metais de base e metais de adição. O aplicativo também possibilita maior rapidez nas simulações de soldagem, otimizando a tomada de decisão.

O fator limitante do uso do aplicativo, explorado e visto no trabalho, são os outros diagramas que mostram uma certa falha do uso do Diagrama de Schaeffler. Esta falha está evidenciada em estudos publicados posteriormente ao diagrama como o fato de não considerar o efeito do nitrogênio. Além disso, na região que apresenta uma predição do percentual de ferrita delta presente em metais de solda, existe um erro de 4% o percentual de ferrita delta indicado pelo Diagrama de Schaeffler. Apesar destas falhas, o Diagrama de Schaeffler é muito utilizado na predição da microestrutura até os dias atuais.

Em suma, o aplicativo visa aumentar a confiabilidade e agilidade na tomada de decisões otimizando a produtividade e a qualidade de determinado projeto. Em contrapartida, muitas empresas ainda são extremamente engessadas, os projetos demoram muito para acabar ou estão

atrasados, gerando gastos extras. As formas de execução e gerenciamento de atividades são lentas e burocráticas. Isso não funciona nos dias de hoje.

5 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Desenvolver um aplicativo para os Diagramas de DeLong, Espy, e WRC-1992, para prever a microestrutura de aços inoxidáveis e comparar rapidamente os resultados obtidos com os demais diagramas
2. Inserir sugestões no aplicativo de como soldar com êxito em regiões consideradas críticas devida a microestrutura prevista.
3. Calcular a microestrutura obtida quando for multipasses.
4. Inserir como variáveis o tipo de junta, parametrização da máquina de solda, a fim de observar qual a diluição prevista

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). *Specification For Bare Stainless Steel Welding Electrodes And Rods (Historical)*, 2012. Disponível em:<<https://pubs.aws.org/p/1066/a59a59m2012-specification-for-bare-stainless-steel-welding-electrodes-and-rods>>. Acesso em: 16 dez.2019.

CALLISTER, William. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CARBÓ, Hector Mario. **Aços inoxidáveis: aplicações e especificações**, 2008. Disponível em:<<http://guides.com.br/home/wp-content/uploads/2011/12/inonx-apost-tec.pdf>>. Acesso em: 29 nov.2019.

CHIAVERINI, Vicente. Aços inoxidáveis – constituição, propriedades e tratamentos térmicos. In: **Boletim Geologia e Metalurgia**, n°5, 2005.

CLARO, Daniela Barreiro; SOBRAL, João Bosco Mangueira. **Programação em Java**, 2008. Disponível em:< <https://www.facterj-rio.edu.br/downloads/bbv/0031.pdf>>. Acesso em: 17 dez.2019.

DICIONÁRIO FINANCEIRO. **Startup** [verbetes], 2019. Disponível em:<<https://www.dicionariofinanceiro.com/startup/>>. Acesso em: 16 dez.2019.

DUARTE, Dayanna Moreira. **Avaliação da formação da austenita no revenimento do aço inoxidável supermartensítico e seu efeito nas propriedades mecânicas e resistência à corrosão localizada**. Dissertação de Mestrado (Engenharia Metalúrgica). Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2017. Disponível em:<<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AYDLJU>>. Acesso em: 20 nov.2019.

ESMAEEL, Hana R. Apply Android Studio (SDK) Tools. **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**. Al-Nahrain. v. 5, Issue 5, Maio 2015, pp. 88-93 ISSN: 2277 128X Disponível em:<http://ijarcsse.com/Before_August_2017/docs/papers/Volume_5/5_May2015/V5I4-0764.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2019.

FERRARESI, Valtair Antônio. **Aços inoxidáveis**, 2013. Disponível em:<<ftp://ftp.mecanica.ufu.br/LIVRE/Valtair%20-%20Metalurgia/Pasta%20de%20inox/Apresenta%E7%E3o%20inox%20-%20p%F3s%20-%20parte%201.pdf>>. Acesso em: 27 nov.2019.

FUKAKURA, J. et al. **Weldments: Physical Metallurgy and Failure Phenomena**. New York: R. J. Christoffel, E. F. Nippes, and H. D. Solomon, General Electric Co., Schenectady, NY, 1979.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GUIMARÃES, Rodrigo Freitas. **Efeito do teor de molibdênio na microestrutura de juntas soldadas em ligas Fe-Cr-Mo**. Tese de Doutorado. Fortaleza: Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará (UFC), 2011. Disponível em:<<https://www.google.com/search?q=universidade+federal+do+ceara+ufc&oq=universidade+federal+do+ceara+ufc&aqs=chrome..69i57j0l7.7441j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>>. Acesso em: 30 nov.2019.

KOTHARI, C.R. *Research Methodology Methods and Techniques*, 2^a ed, New Delhi, New Age International, 2008.

LIBERATO, Frank de Mello. **Soldagem Subaquática de Aço Baixo Carbono com Eletrodo Inoxidável Austenítico**. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2017. Disponível em:<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOSB3DGAA/1/tese_doutorado_2017_abril_2018_final.pdf>. Acesso em: 29 nov.2019.

LIMA, Mariana. Brasil já tem mais de um smartphone ativo por habitante, diz estudo da FGV. In: **Estadão** (online), 19/04/2018. Disponível em:<<https://link.estadao.com.br/noticias/geral,brasil-ja-tem-mais-de-um-smartphone-ativo-por-habitante-diz-estudo-da-fgv,70002275238>>. Acesso em: 20 nov.2019.

LIPPOLD, J. C.; KOTECKI, D. J.: *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, USA. 2005.

LOPES, Jorge Teófilo de B. **Estrutura e propriedade dos materiais**, 2011. Disponível em:<<https://jorgeteofilos.files.wordpress.com/2011/08/epm-apostila-capitulo031.pdf>>. Acesso em: 20 nov.2019.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

METALS HANDBOOK. *Welding brazing and soldering*. ASM International, 1993, v.6.

MODENESI, Paulo. **Soldabilidade de algumas ligas metálicas**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

MODENESI, Paulo J. **Soldabilidade dos aços inoxidáveis**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

MODENESI, Paulo J; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem I**. Introdução aos processos de soldagem. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

OLSON, D. L. *Prediction of austenitic weld metal microstructure and properties*. In: *Welding journal*, n.64, v.10, 1984.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo-RS: Universidade Feevale, 2013. Disponível em:< <http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>>. Acesso em: 30 nov.2019.

RUCHERT, Cassius O.F.T. **Diagramas de fases**, s.d. São Carlos-SP: Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo (USP). Disponível em:< <http://www.eesc.usp.br/smm/materiais/>>. Acesso em: 27 nov.2019.

SINDO KOU. **Welding Metallurgy**, 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc., 2003.

SMITH, Willian F. **Structure and Properties of Engineering Alloys**. 2ª. ed. Singapore: McGraw - Hill, 1993.

THAMIZHARASI, R. *Android Mobile Application Build on Android studio*. **International Journal of Modern Computer Science (IJMCS)**. Sular. (Online) v. 4, Issue 1, Fevereiro 2016 ISSN: 2320-7868. Disponível em:< http://www.ijmcs.info/current_issue/IJMCS160205.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2019.

UHLIG, H. H. **Corrosion and Corrosion Control**, 2ª ed. Wiley: New York, 1971.

USP. **Tecnologia dos Aços Inoxidáveis - Diagrama de Schaeffler**, s.d. Disponível em:< https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2685159/mod_resource/content/2/PMT2512e3.pdf>. Acesso em: 30 nov.2019.

WELDING HANDBOOK. **Materials and applications**, 9ª ed. Miami: American Welding 2001, v.4.