

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

ANALISE DA SOLDA DO TUBO DE AÇO SAE 4130 DE UM VEICULO TIPO BAJA
SAE REALIZADA PELOS PROCESSOS MAG E TIG

Aluno: Lucas Faccioli Bodoni

Orientadora: Prof. M^a Émillyn Ferreira
Trevisani Olivio

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018

LUCAS FACCIOLI BODONI

**ANALISE DA SOLDA DO TUBO DE AÇO SAE 4130 DE UM VEICULO TIPO BAJA
SAE REALIZADA PELOS PROCESSOS MAG E TIG**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina TCC 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof. M^a Émillyn Ferreira Trevisani Olivio

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUCAS FACCIOLI BODONI

ANALISE DA SOLDA DO TUBO DE AÇO SAE 4130 DE UM VEICULO TIPO BAJA SAE REALIZADA PELOS PROCESSOS MAG E TIG

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00 hrs do dia 20/11/2018, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M^a Émillyn Ferreira Trevisani Olivio - Presidente (Orientador)

Prof. PhD. João Roberto Sartori Moreno - (Membro)

Prof. Dr. Celso Alves Correa - (Membro)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais e irmãos que me criaram, que hoje e sempre me apoiaram e auxiliaram, buscando sempre meu bem. Agradeço a eles pelos investimentos em mim, pois um filho requer muitos sacrifícios.

Agradeço a toda minha família e amigos próximos, que sempre se alegram com minhas conquistas e que também foram fundamentais para minha formação.

Agradeço de forma especial a Prof. M^a Émillyn Ferreira Trevisani Olivio, por me auxiliar durante todo o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso, e a todos os integrantes da equipe Procobaja.

Reverencio os Prof. Dr. Celso Alves Correa e Prof. PhD. João Roberto Sartori Moreno, por aceitarem fazer parte da minha banca do trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

BODONI, Lucas Faccioli. **ANALISE DA SOLDADA DO TUBO DE AÇO SAE 4130 DE UM VEICULO TIPO BAJA SAE REALIZADA PELOS PROCESSOS MAG E TIG.** 2018. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

O intuito deste trabalho é estudar a solda no aço SAE4130, realizada pelos processos de soldagem MAG (Gás Metal Arc Welding), com o metal de adição sendo o arame de aço carbono de baixa liga AWS A5.18 ER 70 S – 6 com diâmetro de 1,2mm e o processo TIG (Tungsten Inert Gas), com o metal de adição sendo uma vareta de aço inox AWS ER 316L com diâmetro de 1,6 mm, através da realização dos ensaios mecânicos de microdureza Vickers e ensaio de macrografia, comparando e analisando os resultados obtidos, de modo a escolher o processo de melhor resultado para a soldagem da estrutura “chassi” de um veículo do tipo mini baja SAE da equipe Procobaja.

Para a realização do ensaio de microdureza Vickers foi seguida a norma ASTM E92, através do ensaio, a TIG obteve uma média de microdureza de 525,86 HV^{0,3}, e um desvio padrão de 30,30, enquanto que o processo MAG obteve uma média de 305,28 HV^{0,3}, e um desvio padrão de 65,19.

Pela imagem obtida na macrografia e a utilização de um software CAD, foram calculadas as medidas geométricas, obtendo uma diluição de 66,95% na amostra TIG e 60,87% na amostra MAG, quanto a penetração, ela ocorreu totalmente na TIG e parcialmente na MAG. Depois das análises concluiu-se qual o melhor processo para ser utilizado no carro.

Palavras-chave: Aço SAE4130. TIG. MAG. Microdureza Vickers. Macrografia

ABSTRACT

BODONI, Lucas Faccioli. WELDING ANALYSIS OF SAE 4130 STEEL PIPE OF A LOW SAE VEHICLE PERFORMED OF THE MAG AND TIG PROCESSES. 2018. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

The purpose of this work is to study the welding in the steel SAE4130, performed of the MAG (Gas Metal Arc Welding) welding process, with the addition metal being AWS A5.18 ER 70 S - 6 low - carbon steel wire with a diameter of 1,2mm and the TIG (TunGsten Inert Gas) process, with the addition metal being an AWS ER 316L stainless steel dipstick with a diameter of 1.6 mm, performing the Vickers microhardness tests and macrography test, comparing and analyzing the results obtained in order to choose the best result process for welding the chassis structure of a mini-SAE type vehicle of the Procobaja team.

For realization the Vickers microhardness test, the standard ASTM E92 was followed, the TIG obtained a microhardness average of 525.86 HV^{0,3} and a standard deviation of 30.30, while the MAG obtained a mean of 305.28 HV^{0,3}, and a standard deviation of 65.19.

From the image obtained in the macrography and the use of a CAD software, the geometric measurements were calculated, obtaining a dilution of 66.95% in the TIG sample and 60.87% in the MAG sample, as for the penetration, it occurred totally in the TIG and in part in MAG. After the analysis, the best process was choose to used in the car.

Keywords: Steel SAE4130. TIG. MAG. Vickers Microhardness. Macrography

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Slogan da Equipe Procobaja.....	11
Figura 2: Processo MIG/MAG	15
Figura 3: Componentes da máquina de solda MIG/MAG	16
Figura 4: Processo de soldagem TIG	18
Figura 5: Esquema representativo das diversas estruturas alotrópicas do ferro	19
Figura 6: Metal de base Aço 4130.....	22
Figura 7: Arame de solda MAG	24
Figura 8: Vareta de solda TIG	25
Figura 9: Máquina de solda MIG	26
Figura 10: Máquina de solda TIG	27
Figura 11: Ensaio de Microdureza Vickers	28
Figura 12: Microdurometro	29
Figura 13: Macrografia e principais medidas geométricas	32
Figura 14: Gráfico de Microdureza HV0,3.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Gases e Misturas.....	15
Tabela 2: Composição química aço SAE 4130	23
Tabela 3: Análise química do arame de solda.....	24
Tabela 4: Propriedades mecânicas do arame de solda	24
Tabela 5: Análise química da vareta de solda.....	25
Tabela 6: Propriedades mecânicas da vareta de solda.....	25
Tabela 7: Parâmetros da Soldagem MAG.....	26
Tabela 8: Parâmetros da Soldagem MAG.....	27
Tabela 9: Medidas Geométricas do cordão de solda TIG e MAG	31
Tabela 10: Média e Desvio Padrão	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral.....	11
1.1.2 Objetivos Especificos.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	13
2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM.....	13
2.1.1 Processo de Soldagem MIG/MAG (Gás Metal Arc Welding)	14
2.1.2 Processo de Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas).....	17
2.2 AÇOS: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES	18
2.2.1 Aços para fins estruturais	19
2.2.1.1 Aços ao Carbono	20
2.2.1.2 Aços Liga.....	20
2.2.1.3 Ligas de aço de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL) ou HSLA (high strength low alloy)	21
3 MATERIAIS E METODOS	22
3.1 METAL DE BASE	22
3.2 METAL DE ADIÇÃO.....	23
3.2.1 Metal de adição MAG	23
3.2.2 Metal de adição TIG	25
3.3 SOLDAGEM MAG (GÁS METAL ARC WELDING)	26
3.4 SOLDAGEM TIG (TUNSTEN INERT GAS).....	26
3.5 METODOS	28
3.5.1 Ensaio de Microdureza Vickers	28
3.5.2 Ensaio de Macrografia	29
3.5.3 Normas Utilizadas.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1 ENSAIO DE MACROGRAFIA	31
4.2 ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS.....	32
5 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A SAE (Society of Automotive Engineers) é uma associação voltada para a inovação e tendências da mobilidade e também administra projetos estudantis como o Baja SAE. O baja consiste no desafio de projetar e construir um veículo off road, lançado a estudantes de engenharia. Conforme estabelecido pela SAE, o veículo deve ser atrativo ao mercado consumidor pelo seu visual, desempenho, confiabilidade e facilidade de operação e manutenção. O projeto e construção devem permitir ao veículo atuar de forma segura em terrenos acidentados, tendo tração suficiente para vencer obstáculos, e atuar em qualquer condição climática (SAE, 2016).

Os estudantes que participam do projeto Baja SAE Brasil devem realizar um projeto detalhado do veículo, construir e testar o mesmo, sendo que a SAE regulamenta e define as características mínimas do projeto, além de, organizar competições anuais entre as Universidades de todo Brasil. As competições contribuem como forma de incentivo aos estudantes, e também os estimula a inovar e desenvolver veículos de melhor performance. Participando deste desafio o estudante se depara com condições reais de projeto e construção de um veículo, incrementando assim sua preparação para o mercado de trabalho.

Durante todas as competições, cada equipe deve fazer um teste de segurança do veículo até um prazo para verificar se o veículo esta em condições satisfatórias para realizar as diversas provas. Para isso, existe uma regulamentação fornecida pela SAE que deve ser seguida para atender todos os quesitos de segurança.

A equipe de baja Procobaja (Figura 1) foi fundada em 2013 por alunos da Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Cornélio Procópio, e já participou de sete competições, sendo elas o inter Baja em 2016, 2017, a etapa regional Sul em 2015, 2017 e 2018, e a etapa Nacional em 2016 e 2017.

Figura 1: Slogan da Equipe Procobaja



Fonte: Procobaja (2014)

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a solda da estrutura do veículo da equipe procobaja, através dos processos MAG e TIG, a partir da realização dos ensaios de microdureza e macrografia, escolhendo assim o melhor processo a ser utilizado no carro.

1.1.2 Objetivos Especificos

A análise ocorrerá a partir dos resultados obtidos nos ensaios de microdureza e macrografia, para a realização dos ensaios serão necessários corpos de prova soldados pela MAG e pela TIG.

Sabendo da possibilidade de coletar esses resultados, os objetivos desse trabalho são descritos como:

- a) Contribuir com o estudo das soldas MAG e TIG no aço SAE4130;
- b) Contribuir com o estudo das soldas para equipe procobaja e todas as outras equipes de baja.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM

Um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas se encaixa no termo SOLDAGEM. Classicamente, a soldagem é considerada um método de união, porém, muitos desses processos ou variações desses são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais. Diferentes processos diretamente relacionados com os processos de soldagem são utilizados para o corte de peças metálicas. Os aspectos térmicos dessas operações de recobrimento e corte são bastante semelhantes aos de soldagem e, por isso, muitos pontos abordados na Metalurgia da Soldagem são válidos para essas operações (SCHIO, 2013).

Segundo Felizardo (2016) apresentam-se, abaixo, diferentes definições propostas para a soldagem:

- "Processo de junção de metais por fusão". (Deve-se ressaltar que não só metais são soldáveis e que é possível soldar metais sem fusão).
- "Operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas". (Aqui, o termo "continuidade" tem um significado similar ao da continuidade das funções matemáticas).
- "Operação que visa obter a coalescência localizada, produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de pressão e de metal de adição." (Esta definição é meramente operacional e é a adotada pela AWS - American Welding Society).
- Processo de junção de materiais no qual as forças de união estabelecidas entre as partes sendo unidas são de natureza similar àquelas existentes no interior das partes e responsáveis pela própria existência destas, como materiais sólidos (isto é, as forças de ligação química). (Esta definição coloca a soldagem e a brasagem juntas diferenciam estes dois processos da

colagem, pois esta é baseada em forças de ligação de diferente tipo para a formação da junta).

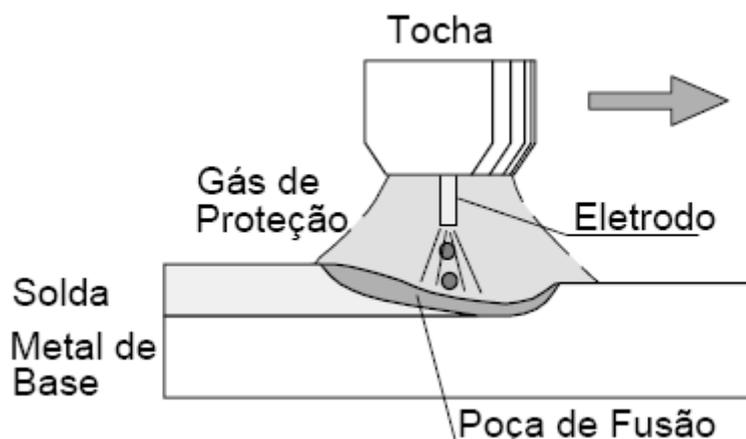
Os métodos de união dos metais podem ser divididos em duas categorias principais, isto é, aqueles baseados no aparecimento de forças mecânicas macroscópicas entre as partes a serem unidas e aqueles baseados em forças microscópicas (Inter atômicas ou intermoleculares). No primeiro caso, do qual são exemplos a parafusagem e a rebiteagem, a resistência da junta é dada pela resistência ao cisalhamento do parafuso ou rebite, mais as forças de atrito entre as superfícies em contato. No segundo caso, a união é conseguida pela aproximação dos átomos e moléculas das partes a serem unidas, ou destas e um material intermediário, até distâncias suficientemente pequenas para a formação de ligações químicas primárias (metálica, covalente ou iônica) ou secundárias (ligação de Van der Waals). Como exemplos desta última categoria citam-se a soldagem, a brasagem e a colagem (Modenesi, Marques, Santos, 2012).

2.1.1 Processo de Soldagem MIG/MAG (Gás Metal Arc Welding)

A soldagem MIG/MAG (Figura 2) consiste em um processo de arco elétrico estabelecido entre o metal base e o arame sólido ou tubular alimentado por uma fonte de corrente contínua. O arame, o arco elétrico e a poça de fusão são protegidos da contaminação da atmosfera por uma proteção gasosa, um gás inerte ou um gás ativo (Tabela 1) (Felizardo, 2016).

Trata-se de um processo muito flexível que proporciona soldagens de qualidade com grande produtividade, principalmente quando comparado com processos manuais como eletrodos revestidos (Felizardo, 2016).

Figura 2: Processo MIG/MAG



Fonte: SCHIO (2013)

Tabela 1: Gases e Misturas

Gás ou mistura	Comportamento químico	Aplicações
Argônio	Inerte	Quase todos os metais (aço)
Hélio	Inerte	Alumínio, Manganês, e Cobre e suas ligas
Ar + 20 a 50% de Hélio	Inerte	Idem Hélio (melhor que 100% Hélio)
Nitrogênio	Inerte	Cobre e suas ligas
Argônio + 20 a 30% de Nitrogênio	Inerte	Idem Nitrogênio (melhor que 100% Nitrogênio)
Argônio + 1 a 2% de Oxigênio	Ligeiramente oxidante	Aços inox e algumas ligas de cobre
Argônio + 1 a 2% de Oxigênio	Oxidante	Aços carbono e algumas baixa liga
Gás carbônico	Oxidante	Aços carbono e algumas baixa liga

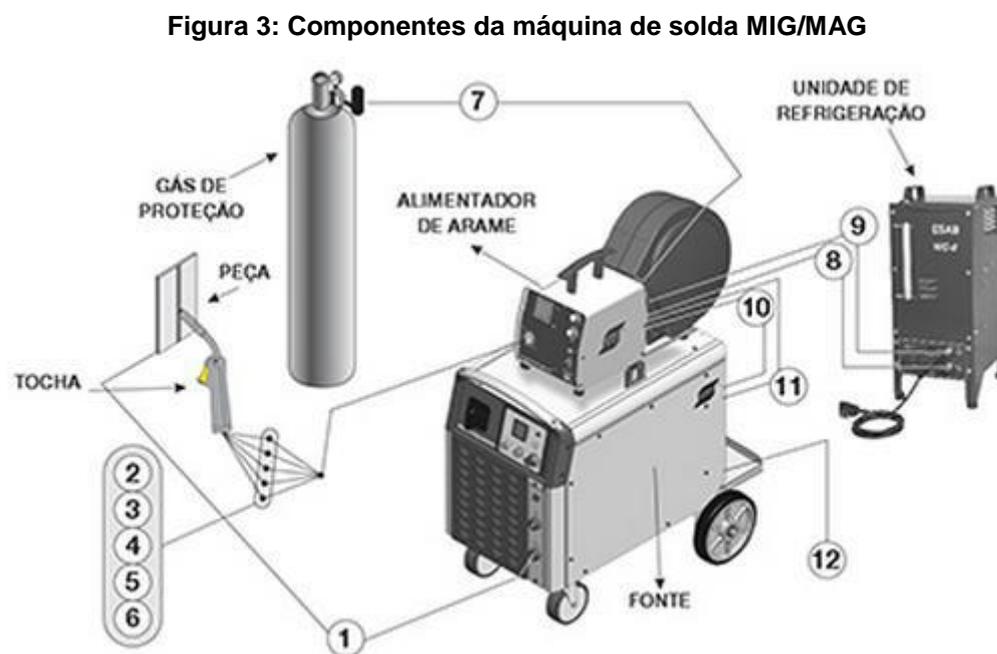
Fonte: ESAB (2004)

Uma das vantagens do processo MIG/MAG é a facilidade de escolha dos equipamentos (Figura 3), sendo que um conjunto de soldagem pode ser facilmente configurado, sendo composto por:

Fonte de energia: Tem como função principal fornecer uma corrente de soldagem para o processo MIG/MAG. Geralmente possuindo uma curva característica de saída de tensão constante, sendo fabricada com diversos tipos de tecnologia para controle da tensão, como chaves comutadoras, controle tiristorizado ou através de inversores. Este possui melhor desempenho principalmente por suas características, possibilitando um baixo consumo de energia, redução de peso e dimensões e capacidade de alterar a forma de onda de saída através da interpretação de sinais digitais (ESAB, 2004).

Alimentador de Arame: Tem como função alimentar o arame consumível através dos guias e conduítes, fornecendo uma velocidade de alimentação sempre constante, a fim de evitar oscilações no processo (ESAB, 2004).

Tocha “pistola” de soldagem: A tocha de soldagem direciona a alimentação de arame, os fluxos de corrente elétrica e o gás de proteção para a poça de fusão. É composta de um cabo de cobre para a passagem da corrente elétrica, um conduíte e uma mangueira direcionando o arame e o fluxo do gás (ESAB, 2004).



Fonte: ESAB (2004)

Legenda:

- 1 - cabo de solda (negativo)
- 2 - refrigeração da tocha (entrada água)
- 3 - gás de proteção
- 4 - gatilho da tocha
- 5 - refrigeração da tocha (retorno água)
- 6 - conduíte do arame
- 7 - gás de proteção vindo do cilindro
- 8 - saída de água de refrigeração
- 9 - entrada de água de refrigeração
- 10 - cabo de comando (alimentador/fonte)
- 11 - cabo de solda (positivo)
- 12 - conexão para a fonte primária (220/380/440 vca)

2.1.2 Processo de Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas)

A soldagem TIG (Figura 4) é o processo no qual a coalescência dos metais é obtida pelo aquecimento dos mesmos por um arco estabelecido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça (Felizardo, 2016).

A proteção do eletrodo e da zona da solda é feita por um gás inerte, normalmente o argônio, ou mistura de gases inertes (Ar e He). Pode se utilizar ou não o metal de adição (ESAB, 2004).

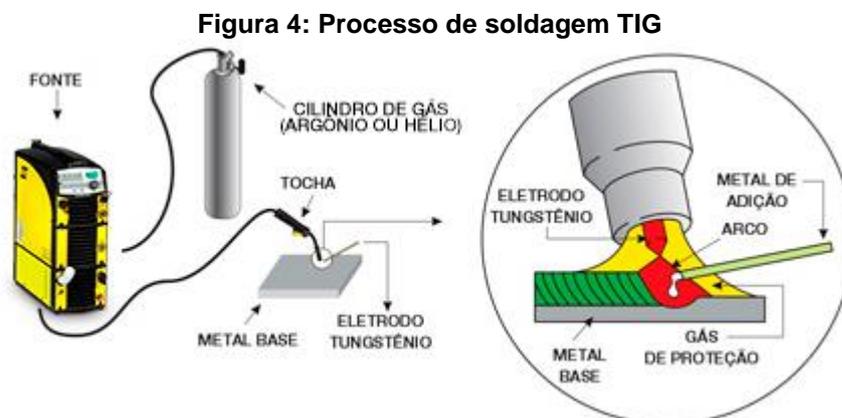
A soldagem TIG pode ser manual ou mecanizada e é considerado o processo mais controlável no que se refere à soldagem a arco (Modenesi, 2013).

As suas principais variáveis são: corrente de soldagem, composição, diâmetro e forma do eletrodo, composição do gás de proteção e metal de adição (ESAB, 2004).

O equipamento básico do processo consiste em fonte de energia (de CC para a maioria das ligas metálicas), tocha com eletrodo de tungstênio, fonte de gás de proteção (Ar ou He) e um sistema para a abertura do arco (geralmente um ignitor de alta frequência) (ESAB, 2004).

A soldagem TIG apresenta elevados níveis de estabilidade e permite um controle mais apurado do que a maioria dos demais processos de soldagem a arco. É bem conhecido, contudo, pequenas variações de composição química do metal

base ou da região de operação do arco podem ter um efeito no formato do cordão de solda, o que reduz a capacidade de controlar o processo (Modenesi, 2013).



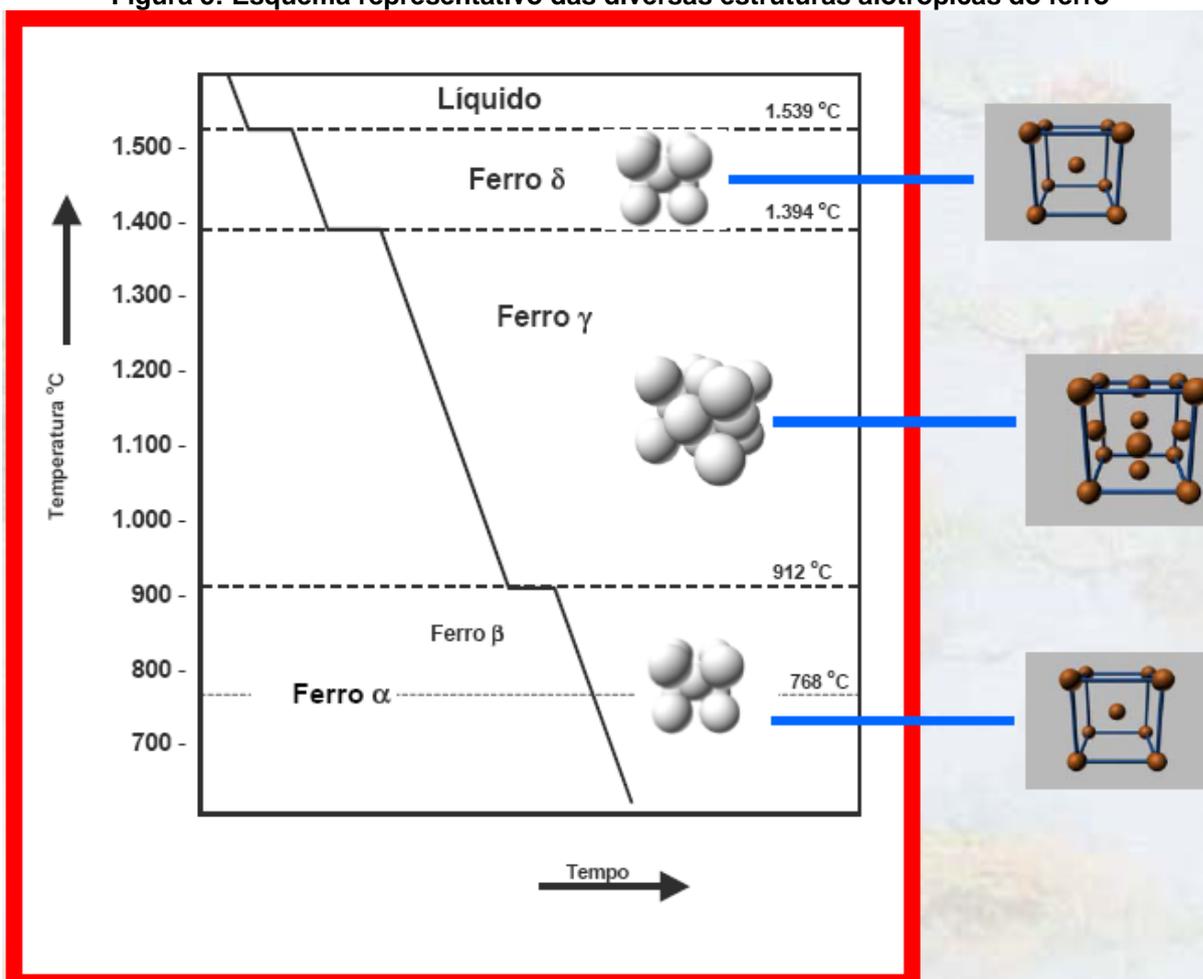
Fonte: ESAB (2004)

2.2 AÇOS: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES

Para as diversas aplicações ou empregos que são designadas as ligas de ferro, observam-se muitas características diferentes, desde ligas de alta plasticidade, para estampagens profundas, até ligas de extrema dureza como aços rápidos, usados em ferramentas de corte, o que depende, também, de sua composição química. Como o ferro apresenta alotropia, uma infinidade de ligas, com características e comportamentos completamente diferenciados, pode ser obtida em função dos tratamentos térmicos e dos efeitos provocados pela adição de quantidades diferenciadas e por novos elementos de liga (Nogueira, 2013).

Observa-se que na Figura 5 o ferro sólido, ao ser aquecido à temperatura ambiente, a sua estrutura muda de CCC (Cúbica de Corpo Centrado) para CFC (Cúbica de Face Centrada) a 912 °C, e continua o aquecimento até 1394 °C, quando o ferro muda novamente sua estrutura, passando de CFC para CCC (SILVA, MEI, 2006).

Figura 5: Esquema representativo das diversas estruturas alotrópicas do ferro



Fonte: CARAM (2013).

2.2.1 Aços para fins estruturais

No desenvolvimento de aços para fins estruturais, além dos aços ao carbono ferrítico-perlíticos e aços ao carbono normalizados ou temperados e revenidos, surgiram os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) ou (HSLA – High strength Low Alloy), aços microligados, aços bifásicos, ferríticos-bainíticos e multifásicos (HONEYCOMBE 1981).

Os aços estruturais são usados na forma de componentes, submetidos principalmente a esforços mecânicos, e são industrializados ou confeccionados através de processos com especificações das mais diversas (SILVA, 2006).

Desta forma, os aços estruturais devem ter as seguintes características: ductilidade e homogeneidade; valor elevado de relação entre limite de resistência e

limite de escoamento; soldabilidade; suscetibilidade de corte por chama, sem endurecimento; resistência razoável à corrosão (CHIAVERINI, 1998).

2.2.1.1 Aços ao Carbono

Os aços carbono de uso comum têm de 0,008% a 2,06% de carbono. O carbono é o elemento mais importante na liga ferro-carbono e determina o tipo de aço obtido. Quanto maior o teor de carbono maior será a dureza do aço e maiores serão os limites de resistência à tração e de escoamento (CHIAVERINI, 1990).

2.2.1.2 Aços Liga

São aqueles que contêm na liga ferro-carbono outros elementos como níquel, cromo, manganês, molibdênio, tungstênio, vanádio, silício, cobalto, alumínio, titânio, cobre, nióbio, zircônio, boro, chumbo. Além desses elementos citados, estão presentes também os elementos que entram na liga devido ao processo de fabricação. A influência destes elementos dá-se pela alteração da microestrutura por diversos fatores, inclusive nos tratamentos térmicos ou termomecânicos, de forma mais ampla e variada do que aquela que ocorre com os aços ao carbono. Alguns destes elementos, como vanádio, cromo e molibdênio, formam compostos intermetálicos e soluções sólidas, proporcionando alterações nas temperaturas de transformação de fase, na solubilidade do carbono na ferrita e austenita, nas velocidades de transformação da austenita em ferrita e cementita ou martensita, e aumento da temperatura de decomposição da martensita (HONEYCOMBE, 1981).

2.2.1.3 Ligas de aço de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL) ou HSLA (high strength low alloy)

Os aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL) ou high strength low alloy (HSLA), foram desenvolvidos para uso em grandes estruturas, não apresentando, entretanto, aumento de peso, contendo micro-adições de nióbio, titânio e vanádio, cuja microestrutura ferrítica-perlítica, mais refinada e com capacidade de endurecimento por precipitação, apresentam como principais características alta resistência mecânica em relação aos aços carbono, resistência à corrosão, ao choque e à fadiga, além de apresentarem maior relação entre limite de escoamento e limite de resistência à tração sem perda apreciável da ductilidade (GORNÍ, 2008).

São utilizados para operações de: embutimento, tubulações, vasos de pressão, em estruturas como carros, caminhões, ônibus, aviões, pontes, guindastes, devido às condições próprias do serviço, caracterizar-se pela boa relação peso-resistência, diminuindo os custos operacionais (HONEYCOMBE, 1981).

Os principais tipos de aços ARBL são: aços estruturais perlíticos, aços ao carbono normalizados ou temperados e revenidos, aços de baixa liga temperados e revenidos e os aços microligados, conhecidos como aços ARBL – microligados. (RANIERI, 2010).

Os aços ARBL podem ser produzidos na condição de laminados com resistência ao escoamento na faixa de 290 a 550 MPa e resistência à tração na faixa de 415 a 700 MPa, devido ao seu baixo teor de carbono apresentam uma excelente soldabilidade (RANIERI, 2010).

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 METAL DE BASE

O metal de base utilizado para o trabalho foi o tubo de aço SAE4130 (Figura 6), de 1" 1/4" de diâmetro externo e de espessura de 1,6 mm, as especificações químicas se encontram na Tabela 2.

Figura 6: Metal de base Aço 4130



Fonte: Aatoria própria (2018)

Tabela 2: Composição química aço SAE 4130

Material	%C	%Cr	%Mo	%Mn	%Si	%P	%S
SAE 4130	0,30	0,80- 1,10	0,2	0,5	0,25	0,03	0,04

Fonte: Elias, Paranhos (2014)

3.2 METAL DE ADIÇÃO

3.2.1 Metal de adição MAG

Para as amostras soldadas pelo processo MAG, empregou-se o metal de adição tipo arame de aço carbono de baixa liga (Figura 7), com a seguinte designação A (AWS A5.18 ER 70 S – 6) com diâmetro de 1,2 mm. Na Tabela 3 e Tabela 4 encontram-se a composição química e as propriedades mecânicas do metal de solda, disponibilizado pelo fornecedor.

Figura 7: Arame de solda MAG



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Tabela 3: Análise química do arame de solda

	% C	%Mn	% Si	%S	%P
A	0,07 – 0,15	1,40 – 1,80	0,80 – 1,15	≤0,035	≤0,025

Fonte: adaptado ESAB (2004)

Tabela 4: Propriedades mecânicas do arame de solda

	Tensão de Escoamento (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
A	450	500	30

Fonte: adaptado ESAB (2004)

3.2.2 Metal de adição TIG

Para as amostras soldadas pelo processo TIG, empregou-se o metal de adição vareta de aço inox (Figura 8), com a seguinte designação B (AWS ER 316L) com diâmetro de 1,6 mm. Na Tabela 5 e Tabela 6 encontram-se a composição química e as propriedades mecânicas do metal de solda, disponibilizado pelo fornecedor.

Figura 8: Vareta de solda TIG



Fonte: MJV Soldas (2010)

Tabela 5: Análise química da vareta de solda

	% C	%Mn	% Si	%Cr	%Ni
B	0,02	1,80	0,45	18,3	11,7

Fonte: adaptado Sumig (2012)

Tabela 6: Propriedades mecânicas da vareta de solda

	Tensão de Escoamento (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
B	320	620	40

Fonte: adaptado Sumig (2012)

3.3 SOLDAGEM MAG (GÁS METAL ARC WELDING)

O equipamento utilizado para a soldagem MAG foi a máquina Bambozi TMC 250 (Figura 9), e os parâmetros de soldagem se encontram na tabela abaixo:

Tabela 7: Parâmetros da Soldagem MAG

Tipo de corrente	Gás	Corrente
Contínua inversa (CC+)	Ativo 75% Argônio + 25%CO ₂	100A

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Figura 9: Máquina de solda MIG



Fonte: Aatoria própria (2018)

3.4 SOLDAGEM TIG (TUNSTEN INERT GAS)

O equipamento utilizado para a soldagem TIG foi a máquina MITEC IMC (Figura 10), e os parâmetros de soldagem se encontram na tabela abaixo:

Tabela 8: Parâmetros da Soldagem MAG

Tipo de corrente	Gás	Corrente
Contínua direta (CC-)	Inerte Argonio	120A

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Figura 10: Máquina de solda TIG

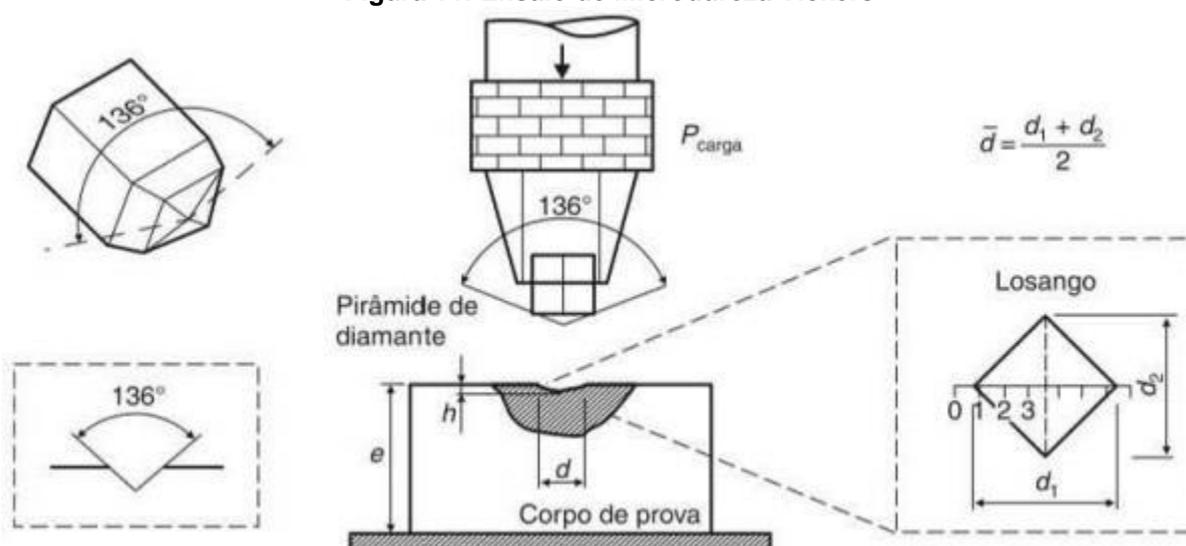
Fonte: Aatoria Propria (2018)

3.5 METODOS

3.5.1 Ensaio de Microdureza Vickers

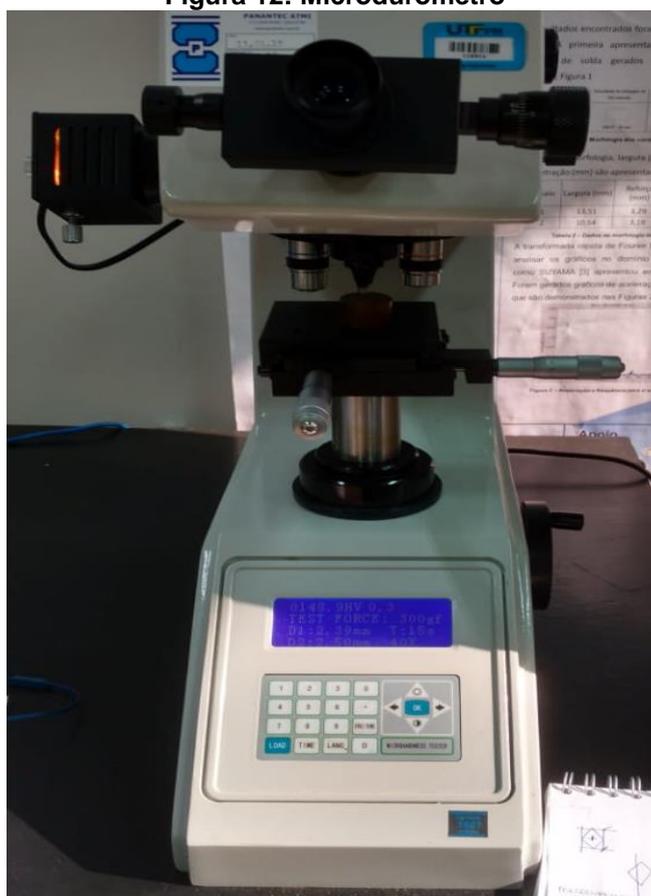
O ensaio (Figura 11) recebe o nome de “Vickers” graças a Companhia Vickers-Armstrong Ltda. que fez as máquinas as quais realiza este ensaio. O ensaio consiste na aplicação de uma carga na superfície do corpo de prova. O penetrador é padronizado na forma de pirâmide de diamante com base quadrada com angulação de 136° entre faces opostas. Ele é aplicado em matérias metálicos com qualquer dureza, em especial em materiais muito duros, ou corpos de prova muito finos, pequenos e irregulares, sendo por isso conhecido como ensaio universal (GARCIA 2012).

Figura 11: Ensaio de Microdureza Vickers



Fonte: Garcia (2012)

O ensaio de Microdureza Vickers foi realizado no laboratório de ensaios dos materiais na UTFPR, no campus de Cornélio Procópio, por meio de um microdurometro (Figura 12).

Figura 12: Microdurometro

Fonte: Autoria Propria (2018)

3.5.2 Ensaio de Macrografia

A macrografia consiste na preparação de uma superfície plana, através do lixamento sucessivo da amostra e do ataque dessa superfície por um reativo adequado. O exame da superfície atacada é feito com o auxílio de uma lupa, com aumento de até cerca de 50 vezes, a interpretação dos resultados é através de análises realizadas por meio do auxílio de um software CAD.

A técnica macrográfica pode ser dividida nas seguintes etapas:

- Corte;
- Lixamento;
- Ataque da superfície;
- Análise e interpretação.

3.5.3 Normas Utilizadas

Para o presente trabalho foi seguida a norma AWS D1. 1-Structural Welding Code-Steel American Welding Society, norma ASTM E92 e todo o regulamento Baja SAE Brasil, para a realização dos ensaios.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENSAIO DE MACROGRAFIA

Para a macrografia foram usadas lixas de diferentes tamanhos de grão: 120, 220, 320, 400, 600, 800. Após, o corpo de prova foi submetido a um ataque químico com nital 5%. Para a limpeza do ataque foi usado álcool, algodão e um secador, e para a análise do corpo de prova atacado foi usado um microscópio.

Para análise da geometria e diluição foi utilizado um software CAD. Através desse programa foi possível realizar a medida da largura, reforço e penetração, a partir da macrografia (Figura 13) da amostra com uma escala em milímetros servindo como referência. A diluição foi medida através da relação entre as áreas adicionada e diluída, de acordo com a Equação 1. A Figura 13 e a Tabela 9 mostram as características geométrica medidas.

$$D(\%) = \frac{A_{MB}}{A_{MB} + A_{MA}} \times 100 \quad (1)$$

Tabela 9: Medidas Geométricas do cordão de solda TIG e MAG

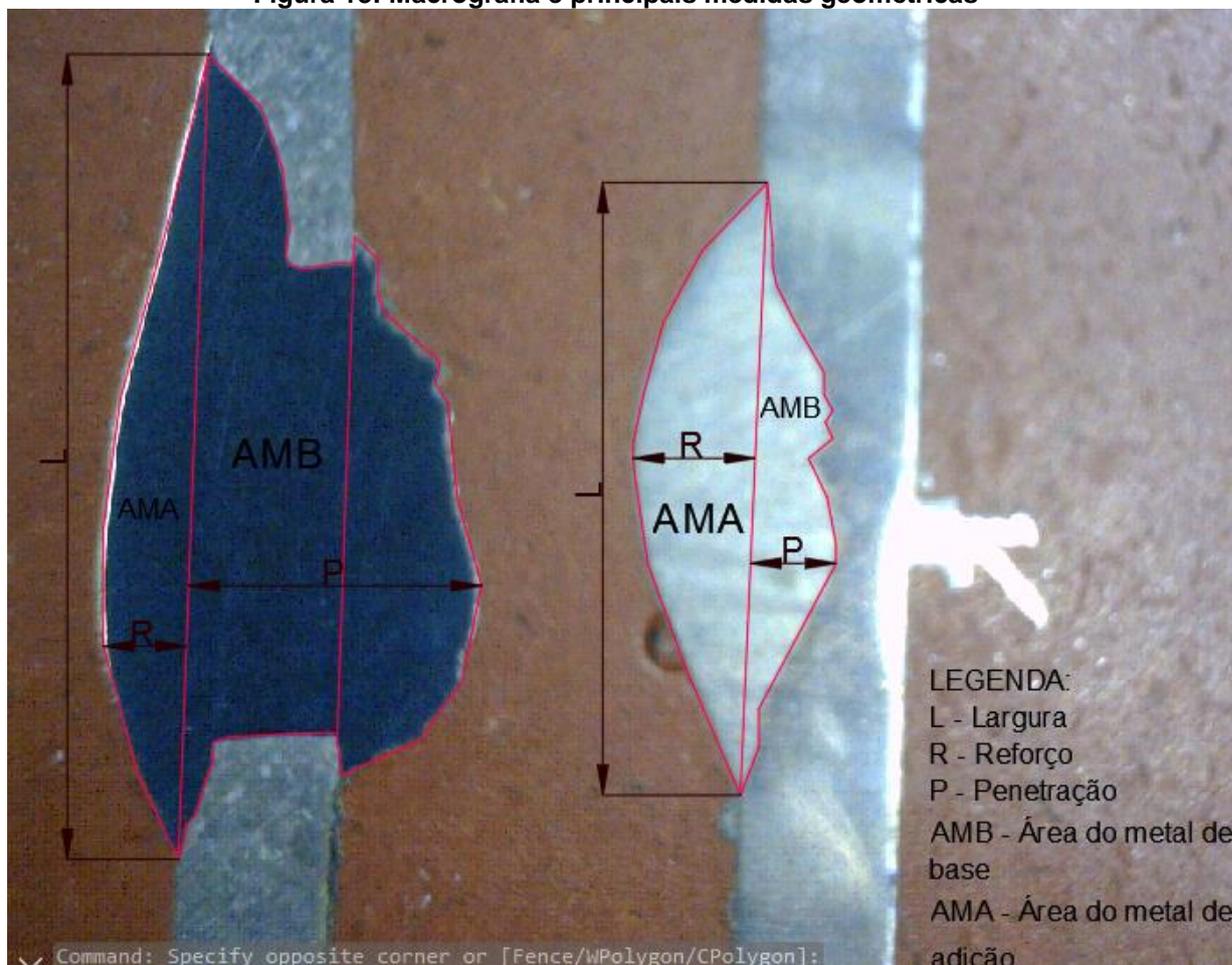
	Largura (mm)	Reforço (mm)	Penetração (mm)	Amb (mm ²)	Ama (mm ²)	Diluição (%)
TIG	8,80	0,90	3,17	10,32	5,09	66,95
MAG	6,70	1,32	0,93	5,60	3,60	60,87

Fonte: Autoria Própria (2018)

De acordo com a tabela acima, nota-se que a razão reforço/largura (R/L) da amostra TIG é menor do que a da amostra MAG, proporcionando uma melhor distribuição de material sobre a peça, parâmetro este que indica o grau de convexidade do cordão de solda. Na diluição, a TIG apresentou maior valor se comparada a solda MAG.

Quanto a penetração a TIG obteve penetração total, estando de acordo com o regulamento Baja SAE Brasil, enquanto que na MAG ocorreu apenas uma penetração parcial.

Figura 13: Macrografia e principais medidas geométricas



Fonte: Autoria Propria (2018)

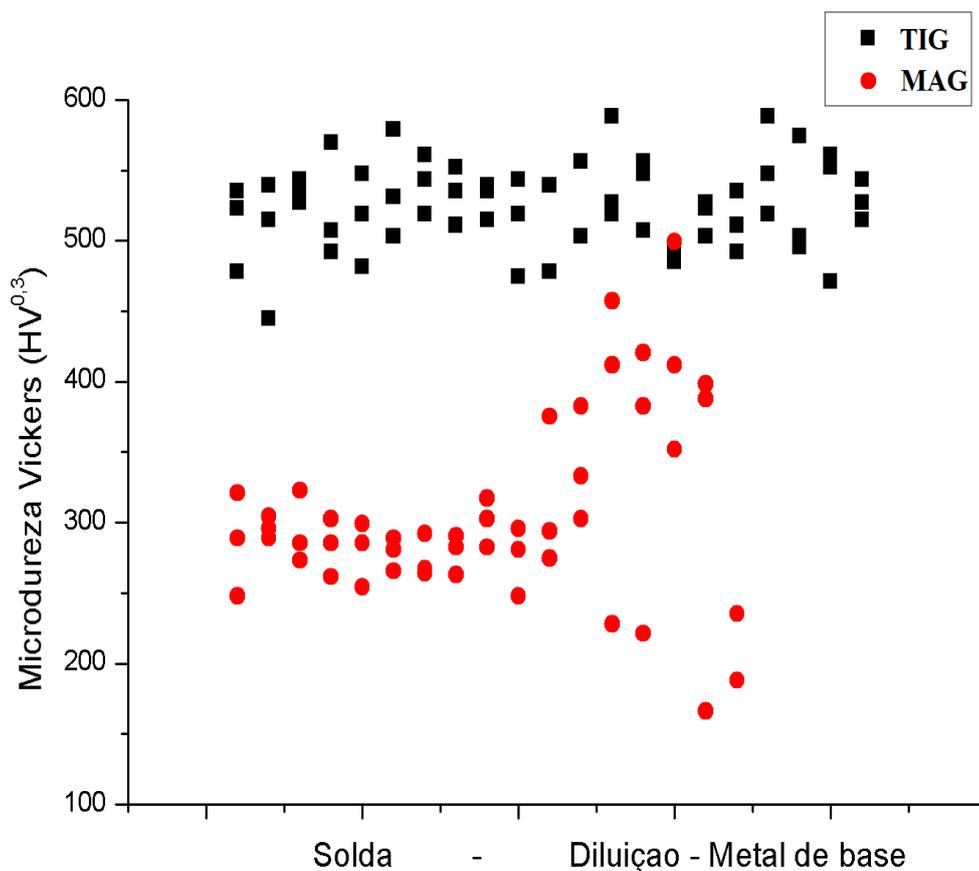
A partir da análise dos dados obtidos, a solda TIG apresentou melhor resultado se comparado a MAG, para o estudo proposto neste trabalho.

4.2 ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS

Para o ensaio usou-se uma força de 300 gf aplicada durante o tempo de 15 segundos. A unidade de medida da Microdureza Vickers é dada em HV.

Foram feitas três linhas de medidas de microdurezas no sentido vertical, sendo que elas foram feitas na solda, na diluição e no metal de base.

Figura 14: Gráfico de Microdureza HV^{0,3}



Fonte: Autoria Própria (2018)

A partir do ensaio de microdureza da amostra de solda TIG, de acordo com o gráfico (Figura 14), observou-se que os valores de HV se mantiveram constante no cordão de solda, na ZTA (zona térmica afetada), na diluição e no metal de base.

Enquanto que na amostra MAG ocorreu diluição entre metal de base e metal de adição, mas não houve tanta penetração como na TIG, o que causou um empobrecimento, como se pode observar nos últimos pontos do gráfico (Figura 14).

A partir do gráfico também foi calculado a média e o desvio padrão de cada amostra (Tabela 10), apresentando um melhor resultado na amostra TIG.

Tabela 10: Média e Desvio Padrão

	Média ($HV^{0,3}$)	Desvio Padrão
TIG	525,86	30,30
MAG	305,28	65,19

Fonte: Autoria Própria (2018)

5 CONCLUSÃO

A motivação principal desta monografia foi a de realizar um estudo dos melhores processos de soldagem para veículos Baja SAE, em específico da equipe Procobaja, a fim de iniciar uma evolução da equipe que ainda é iniciante em competições Baja SAE, com o intuito de elevar a credibilidade, tanto da equipe, quanto da Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio.

Para isso, foi necessário fazer uma revisão bibliográfica sobre os tipos de processos de soldagens, a fim de escolher os melhores, de acordo com os recursos disponíveis no laboratório da Universidade, para uma análise neste trabalho, no caso, os processos MAG e TIG, escolhendo assim o melhor processo para a equipe.

Para a realização do ensaio de microdureza Vickers foi seguida a norma ASTM E92, através do ensaio, a TIG obteve uma média de microdureza de 525,86 HV^{0,3}, e um desvio padrão de 30,30, enquanto que o processo MAG obteve uma média de 305,28 HV^{0,3}, e um desvio padrão de 65,19.

Pela imagem obtida na macrografia e a utilização de um software CAD, foram calculadas as medidas geométricas, obtendo uma diluição de 66,95% na amostra TIG e 60,87% na amostra MAG, quanto a penetração, ela ocorreu totalmente na TIG e parcialmente na MAG.

A partir da análise dos resultados, conclui-se que a amostra TIG teve um melhor resultado se comparado a amostra MAG, sendo assim o processo de soldagem escolhido para se utilizar no chassi do veículo da equipe foi o processo TIG.

Para trabalhos futuros, poderá ser realizado os ensaios de tração e dobramento e o estudo de outros processos de soldagem e metais de adição.

REFERÊNCIAS

ABNT, N., 6152. **Materiais metálicos–Ensaio de tração à temperatura ambiente**. Rio de Janeiro, 2002.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos** – 7. ed. ampliada e revisada. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 599p, 2012.

DE SOUZA ELIAS, Márcio; PARANHOS, Ronaldo. **Avaliação metalúrgica da soldagem de revestimento inox austenítico sobre aço SAE 4130**. Soldagem & Inspeção, v. 19, n. 4, p. 343-352, 2014.

DOMENEGHETTI, G. **A expressão da incerteza de medição em ensaios mecânicos: iso gum e monte carlo aplicados no ensaio de tração**. Dissertação de mestrado submetida ao Instituto Superior Tupy como requisito final para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Joinville, 2011.

ESAB, **CENTRO DE CONHECIMENTO ESAB**. Disponível em: <<https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/index.cfm>> Acesso em: 10 out. 2018.

Garcia, R.P. and A. Scott, **A methodology for comparative analyses of the productive capacity between solid (GMAW) and tubular wires (FCAW)**. Soldagem & Inspeção. 16(2): p. 146-155, 2011

MUÑOZ RIOFANO, Rosamel Melita. **Efeito dos teores de Si em aços ultra-resistentes e do V em aços ferramenta sinterizados nitretados ionicamente, sobre a resistência à abrasão**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NOGUEIRA, Rosiane de Castro. **Caracterização mecânica e análise microestrutural com a utilização da técnica de tríplice ataque do aço multifásico AISI 4350**. 2013.

Paulo, J.M., **A química da formação do cordão na soldagem TIG**. Soldagem & Inspeção 2013. 18(3): p. 287-300.

Procobaja, **Slogan Procobaja**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

RANIERI, Arus. **Caracterização mecânica e microestrutural de um aço 4340 com estrutura multifásicas e tratamento de nitrocarbonetação a plasma**. 2010.

SAE, **Regulamento Baja SAE Brasil**. Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/PE/BAJA-2018/RATBSB_emenda_01.pdf> Acesso em: 15 out. 2018.

SCHIO, Fernando. **Análise comparativa entre soldagem MIG/MAG manual e robotizada**. 2013.

SCHWANKE, Rui Gustavo Lippert. **Influência do metal de adição e da energia de soldagem na microestrutura e resistência à fadiga de juntas soldadas de aço de alta resistência e baixa liga DIN S700MC.** 2017.

SILVA, Aluísio Pinto da. **Estudo da transformação da austenita retida induzida por deformação, de um aço AISI4340 com estrutura multifásica.** 2006.

Testing, A.S.f. and Materials. **Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.** in ASTM. 2003.

Tseng, K.-H. and Y.-J. Shiu, **Effect of thermal stability of powdered oxide on joint penetration and metallurgical feature of AISI 4130 steel TIG weldment.** Powder Technology, 286: p. 31-38, 2015