

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

FABIO HENRIQUE SGARBI POLTRONIERI

**ANÁLISE DE TENSÕES RESIDUAIS EM ZONAS TERMICAMENTE AFETADAS
PELA SOLDA**

**CASCADEL - PR
2020**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

FABIO HENRIQUE SGARBI POLTRONIERI

**ANÁLISE DE TENSÕES RESIDUAIS EM ZONAS TERMICAMENTE AFETADAS
PELA SOLDA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Carlos Alberto Breda

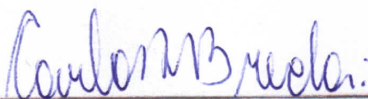
**CASCADEL - PR
2020**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
FABIO HENRIQUE SGARBI POLTRONIERI

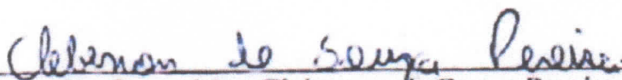
**ANÁLISE DAS TENSÕES RESIDUAIS EM ZONAS TERMICAMENTE AFETADAS
PELA SOLDA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor (a) Carlos Alberto Breda.

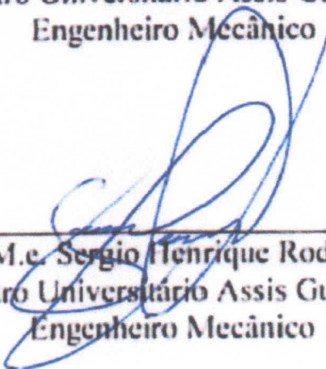
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. M.e. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor M.e. Cleberson de Souza Pereira
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor M.e. Sergio Henrique Rodrigues Mota
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 25 de novembro de 2020.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que contribuíram de alguma forma para a sua elaboração, e a minha família, que foi a fonte da minha inspiração.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por não me deixar desistir em momento nenhum, por me dar forças de buscar em todos os momentos a conclusão do curso.

A minha família, por estar sempre presente, incentivando e dando conselhos para que eu pudesse seguir da melhor forma.

Aos professores, pelos conhecimentos e ensinamentos transmitidos no decorrer do curso, pois são estes que serão levados para a vida.

RESUMO

Este trabalho acadêmico para conclusão de curso remete-se à avaliação de resultados em uma junta unida por solda do tipo TIG. Sabendo disso, indaga-se: como evidenciar o motivo da quebra em locais próximos à região soldada tipo TIG? Assim, o objetivo da pesquisa é avaliar o rompimento da solda em peças ferrosas nas áreas unidas pelo método da soldagem. Serão utilizadas bibliografias e literaturas de autores com segmentos no ramo, que remetem a conteúdos envolvendo, por exemplo, propriedades dos materiais, resistência dos materiais, materiais de construção mecânica, assim como o auxílio de pesquisas por meio da internet e locais que disponham de conteúdo acadêmico, na intenção de uma maior abrangência de informações e conhecimento. Tudo isso para, posteriormente, com o uso de uma máquina de ensaios mecânicos universal, disposta no próprio Centro Universitário, extrair os resultados obtidos após o experimento, a fim de analisar os pontos enfraquecidos e o comportamento da união quando submetida a esforços de tração próximos ao local unido por tal método. Ao final desta pesquisa, espera-se que seja possível analisar o comportamento da junta soldada, averiguando as tensões residuais originadas nessa junta após a realização do teste anteriormente mencionado. Devido ao excesso ou até mesmo à escassez de informações, o trabalho pode ter empecilhos em sua elaboração, trazendo convergência ou a falta de conteúdo para a averiguação dos resultados.

Palavras-chave: Soldagem. Tensões Residuais. Deformação. Ensaio de Tração.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Componentes da Solda TIG.	16
FIGURA 2: Parâmetros para confecção dos corpos de prova.....	24
FIGURA 3: Dimensões dos corpos de prova.....	25
FIGURA 4: Amostras prontas.	25
FIGURA 5: Composição química do material.....	26
FIGURA 6: Torno utilizado para a confecção.	27
FIGURA 7: Usinagem do material.	27
FIGURA 8: Parâmetros da soldagem.....	28
FIGURA 9: Temperatura das Amostras antes da aplicação da soldagem.	29
FIGURA 10: Temperatura das amostras após a aplicação da soldagem.....	30
FIGURA 11: Características da Máquina de ensaios mecânicos.	31
FIGURA 12: Local de quebra para Amostra 01.....	33
FIGURA 13: Local de quebra para Amostra 02.....	35
FIGURA 14: Local de quebra para Amostra 03.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Comportamento Amostra 01.	32
GRÁFICO 2: Comportamento Amostra 02	34
GRÁFICO 3: Comportamento Amostra 03.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CPA – Carregamento Progressivo Automático

Cu – Cobre

FAG – Faculdade Assis Gurgacz

MAG – Metal Active Gas

MB – Metal Base

MIG – Metal Inert Gas

Mn – Manganês

MPa – Megapascal

NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras

P – Fósforo

S – Enxofre

SAE – Society of Automotive Engineers

Si – Silício

TIG – Tungsten Inert Gas

ZAC – Zona Afetada pelo Calor

ZF – Zona Fundida

ZTA – Zona Termicamente Afetada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1.OBJETIVOS	12
1.1.1. Objetivo geral.....	12
1.1.2. Objetivos específicos	12
1.2.JUSTIFICATIVA.....	12
1.3.CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.4.DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1.SOLDAGEM.....	14
2.1.1. Contexto histórico	14
2.1.2. Vantagens e desvantagens	14
2.1.3. Processos de soldagem.....	15
2.1.3.1 Soldagem TIG	15
2.1.4. Metalurgia da soldagem.....	17
2.2.TENSÕES.....	18
2.2.1. Causas e efeitos	18
2.3. SOLDABILIDADE DOS AÇOS.....	20
2.4.CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS CARBONO	20
2.4.1. Características de um aço SAE 1045	21
2.5.DEFORMAÇÃO	22
2.6.ENSAIO DE TRAÇÃO.....	22
2.6.1. Equipamento para realização do ensaio.....	23
3. METODOLOGIA	24
3.1.CORPOS DE PROVA	24
3.1.1. Material utilizado.....	26
3.1.2. Preparação	27
3.2.MÁQUINA UNIVERSAL	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1.AMOSTRA 01	32
4.2.AMOSTRA 02	34
4.3.AMOSTRA 03	36

5. CONCLUSÃO	39
5.1.CONTRIBUIÇÕES	39
5.2.SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO	44

1. INTRODUÇÃO

O grande uso da soldagem atualmente trouxe à tona indagações sobre a sua eficiência e o que ela traz consigo, no que se refere a falhas que não são visíveis apenas superficialmente.

A ideia deste trabalho é avaliar a ruptura devido às tensões residuais originadas em peças unidas pelo método da soldagem, tendo como referência o problema gerado pelo calor do processo, uma vez que tal procedimento é empregado gradativamente no dia a dia das indústrias em geral, para a construção e elaboração de projetos que envolvam o referido método de união de peças metálicas.

Para a obtenção de resultados, será utilizada uma bancada de testes mecânicos em um corpo de prova que não sofreu nenhum processo de construção mecânica que tenha afetado suas características originais e em corpos de prova em que foi utilizado o método da soldagem, para que se possa obter um comparativo entre ambos.

O objetivo deste experimento é poder mostrar o comportamento das peças, quanto a suas características, que foram alteradas após a utilização da solda, analisando a fragilidade da quebra na região de aplicação, local onde são originadas tensões residuais, uma vez que essas condições são relacionadas à premissa de que a qualidade da solda não deve ser averiguada somente pela aparência do cordão de solda.

A estimativa dessas falhas e problemas é um tema com grande interesse tecnológico e científico, tratando-se de um assunto com uma relevância grande por estar presente em diversas áreas da engenharia e afins. A falta de conversação remete a uma não avaliação e conscientização sobre o quanto é importante o conhecimento sobre a utilização deste método, levando em conta o dimensionamento de projetos.

Com a utilização do equipamento para averiguação dos resultados, a pesquisa de campo destaca-se com um caráter experimental e quantitativo, trazendo informações e respostas por meio de gráficos gerados no desenvolvimento da pesquisa, juntamente com os conhecimentos adquiridos nas bibliografias e outros meios consultados.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Ensaiair e analisar a fragilidade da quebra em locais próximos à região soldada do tipo TIG.

1.1.2. Objetivos específicos

Analisar as tensões térmicas produzidas devido à soldagem.

Analisar as tensões residuais nas peças unidas por solda após a quebra.

Apontar o resultado das tensões residuais após o ensaio de resistência mecânica da peça.

1.2. JUSTIFICATIVA

Este conteúdo acadêmico incentivou o projeto, devido a certo pioneirismo sobre o assunto e sendo importante pelo vínculo que o autor tem com o tema, devido a estar atuando no mercado de trabalho em setor que envolve trabalhos e demais tarefas em que se utiliza o processo de soldagem.

A soldagem é um processo amplamente utilizado nos dias atuais em inúmeras áreas da indústria para a união de peças e equipamentos. Uma vez realizado o projeto de pesquisa, a análise de tal problema permitirá obter informações relativas às tensões residuais deixadas em uma junta unida por solda, quando submetida a esforços de tração, haja vista que o calor gerado na peça a torna suscetível a quebras nessa região. A não discussão do tema deixa certa lacuna sobre o quanto é motivadora a análise desse meio de construção ao projetar e dimensionar tudo o que envolve o processo de soldagem.

Acreditando ser um trabalho de pesquisa um tanto inovador, tal projeto pode ser um ponto de partida no que se refere ao incentivo a futuros acadêmicos a se

interessarem pelo tema, apresentando, caso seja possível, mais informações e melhorias na utilização desse método de unir duas peças para que se tornem apenas uma.

1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como evidenciar o motivo da quebra em locais próximos à região soldada tipo TIG?

1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O tema selecionado para desenvolvimento desta pesquisa é a análise das tensões residuais originadas nas peças quando submetidas a um esforço de tração. Trata-se de um projeto de pesquisa de campo, que objetiva lidar com o problema gerado pela aplicação da soldagem.

Para a obtenção de resultados e conhecimentos, será utilizada uma máquina de ensaios mecânicos em um corpo de prova que não tem nenhum processo de construção mecânica que tenha afetado suas características originais e em corpos de prova que, originalmente, estavam dispostos em duas partes e, por meio do processo de soldagem, tornaram-se apenas um. Para a realização do experimento, será realizado um ensaio de tração pelo equipamento que se encontra disponibilizado na própria instituição de ensino em que o acadêmico busca a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

A referência para o desenvolvimento do projeto é uma empresa do setor privado do comércio de Cascavel-PR, onde o autor da pesquisa desenvolve atividades laborais no setor de Ferramentaria e Projetos, executando tarefas que envolvem o mencionado meio de construção e confecção mecânica de peças e equipamentos. A pesquisa no contexto prático para extração de resultados e conclusões é compreendida no segundo semestre do ano de 2020. O primeiro semestre, aproximadamente entre as datas de 01/03/2020 e 20/05/2020, foi destinado à exposição da proposta e dos objetivos de tal projeto de pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SOLDAGEM

A soldagem é o processo de junção de materiais e peças por meio da sua fusão ou não, podendo eles serem metais ou não metais. Esse método é utilizado em diversas ocasiões e compreende desde um simples reparo até um projeto ambicioso, como grandes navios e construção de pontes. É muito importante a distinção entre solda e soldagem, tendo em vista que a soldagem é o método de união e a solda corresponde à área em que ocorreu tal processo (MACHADO, 1996).

2.1.1. Contexto histórico

Com o surgimento do ferro por volta de 1500 a.C., esse material era conformado por martelamento em forma de blocos com um peso reduzido. Quando necessitavam da confecção de peças maiores, o ferro era soldado por forjamento, colocando-se areia entre as peças na intenção de diminuir as impurezas para, em seguida, martelá-las. Porém, a soldagem permaneceu em segundo plano até o século XIX, quando a evolução dos processos tecnológicos com as experiências com arco elétrico, a descoberta do acetileno e o desenvolvimento de fontes de energia elétrica possibilitaram o método de soldagem por fusão. Nessa fase dos primórdios, a soldagem foi de pouca utilidade, tendo o seu grande aumento na época da Primeira Guerra Mundial. Atualmente, é utilizada em inúmeras áreas da indústria, sendo o processo mais importante para a união permanente de peças (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

2.1.2. Vantagens e desvantagens

De acordo com Peixoto (2012), a soldagem apresenta vantagens, como uma maior economia de tempo e de material, peso reduzido, resistência elevada na

união, assim como uniões possíveis de serem usinadas. Contudo, também pode apresentar algumas desvantagens, sendo elas: problema para desfazer, podem surgir tensões e deformações, podem necessitar de acabamento posterior, entre outros fatores.

2.1.3. Processos de soldagem

Se divididos em grupos os seus processos, é possível citar o processo de soldagem por forjamento, explosão, fricção, difusão etc. Em um segundo grupo, destacam-se os processos de soldagem por fusão, que pode ser subdividido novamente de acordo com o tipo de energia empregada na fundição das peças. Os processos de soldagem utilizando arco elétrico são os de maior importância no âmbito industrial, tratando-se dos dias atuais. Devido ao fato de esse processo apresentar uma tendência de reação entre os gases da atmosfera e o material fundido, a maioria dos processos necessitam de algum tipo de proteção para diminuir esse problema, sendo ele uma escória ou algum tipo de gás (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

2.1.3.1. Soldagem TIG

O processo TIG (*Tungstem Inert Gas*) é a soldagem de arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa. Consiste no aquecimento e fusão das peças por meio do arco elétrico gerado entre o eletrodo de tungstênio não consumível e as peças que se deseja unir. Para que isso ocorra de forma correta, a poça de fusão deve ser protegida por um gás inerte, ou a sua mistura, visando evitar o contato com os gases da atmosfera. Ressalta-se que a soldagem pode ser realizada com a adição de metal ou não, e que, quando usada, é feita diretamente na poça de fusão. O eletrodo não consumível não é fundido pelo arco elétrico, ele apenas promove a condução da corrente que passará pelo arco elétrico e o fato de ser não consumível possibilita a soldagem sem a adição de outros metais (PEIXOTO, 2012).

O processo TIG é muito estável, produzindo soldas com bom acabamento, e,

em muitos casos, não há necessidade de limpeza após a operação. Em geral, essa operação é manual, podendo ser mecanizada com a implementação de dispositivos terceiros. É aplicada na maioria das ligas e metais, porém, devido ao seu elevado custo, tem uma utilização maior em aço inox e metais não ferrosos, tendo como principal característica a utilização do próprio metal de base como adição (PEIXOTO, 2012).

Conforme Ribeiro (2000), o processo de solda TIG funciona por meio do eletrodo de tungstênio preso a uma tocha. O gás que protegerá a solda da contaminação dos gases da atmosfera durante o processo é alimentado por essa mesma tocha, em que o arco elétrico se origina pela transmissão da corrente elétrica pelo gás de proteção ionizado, originando-se o arco entre o ponto do eletrodo e a peça. Basicamente, os itens que compõem o processo de solda TIG são a tocha, o eletrodo, a fonte de potência, o gás de proteção e o material de adição (nos casos da necessidade de aplicação do processo). Na Figura 1, a seguir, são representados tais componentes:

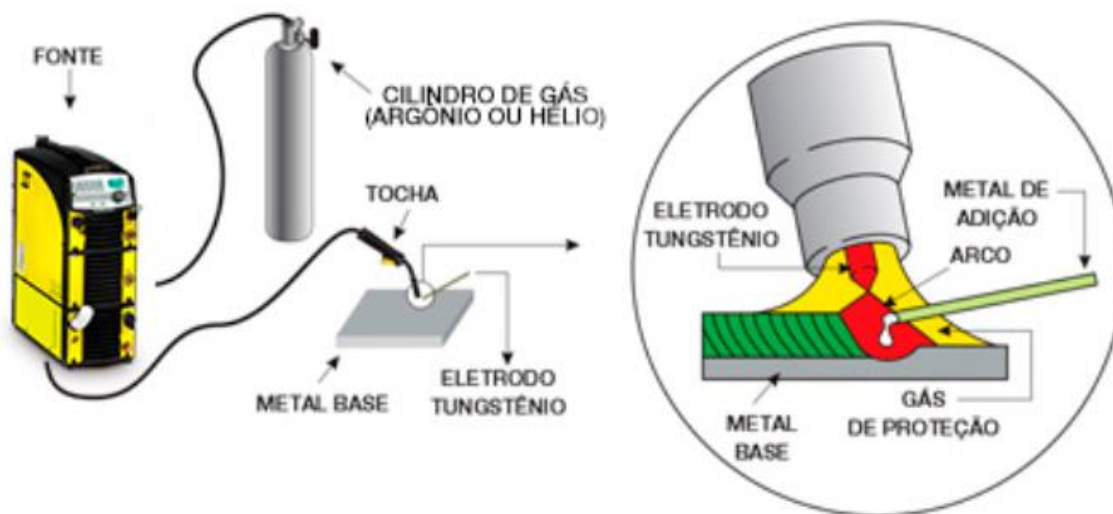


Figura 1: Componentes da Solda TIG
(Fonte: ESAB, s.d.)

Os metais de adição podem ser encontrados com enormes variedades de materiais e ligas; sua composição química tem limites de tolerância inferiores ao de metal de base, com um custo superior. O metal de adição escolhido é selecionado de acordo com as propriedades mecânicas e composição química desejada na

solda. Geralmente, o metal de adição tem a sua composição parecida com o metal de base (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

2.1.4. Metalurgia da soldagem

A soldagem geralmente é feita com o aquecimento localizado das peças, aplicando calor e/ou deformação plástica e, devido a isso, podem originar, na região soldada, alteração em sua estrutura, nem sempre desejáveis e aceitáveis. A maioria delas depende das reações ocorridas no resfriamento e solidificação do cordão de solda e da resultante de sua microestrutura. Por isso, a compreensão desses fenômenos é importante nas aplicações de soldagem (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

A solda por fusão apresenta três regiões básicas: o Metal de Base (MB), que nada mais é do que a região mais afastada, que não teve nenhuma alteração durante o processo de soldagem; a Zona fundida (ZF), que é o local onde o material se fundiu e solidificou; e, por fim, a Zona Termicamente Afetada (ZTA) ou Zona Afetada pelo Calor (ZAC), que é definida pela região que não foi fundida do metal base, em que suas propriedades foram alteradas devido ao calor originado pelo processo. Ao sofrerem essa alteração na sua estrutura, é muito comum que se criem tensões residuais próximas à região soldada (MODENESI, 2008).

A microestrutura resultante de um aço soldado depende da velocidade de resfriamento. No momento da execução dos processos de soldagem, o fluxo de calor injetado é muito elevado e localizado, originando um gradiente de temperatura muito alto e, com isso, são determinadas as dimensões das regiões originadas na peça. O resfriamento da junta é o que determina as fases e a morfologia de cada uma das regiões. Grandes taxas de resfriamento incentivam a formação de martensita, já taxas menores incentivam a origem de martensita com bainita, ferrita e perlita combinadas. Com isso, o entendimento dessas microestruturas e a sua manipulação tem um papel expressivo quanto à resistência à fratura de tais estruturas soldadas em geral (TOTTEN; HOWES; INOUE, 2003).

Várias dessas alterações podem afetar a efetividade de trabalho do material, devendo assim serem minimizadas e controladas pela adequação do processo de

soldagem ao material a ser soldado, ou pela escolha de algum outro que seja menos suscetível a alterações de sua estrutura. Quando se fala em estrutura, pode-se entender desde detalhes, compreendendo a macroestrutura, ou até mesmo detalhes de organização de átomos, ou seja, a estrutura atômica. A metalurgia física é atraída pela organização dos átomos que formam as diversas fases de um metal, em outras palavras, pela estrutura cristalina e pelo arranjo dessas fases, ou seja, a microestrutura (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

Em diversos processos de soldagem, a junta necessita ser aquecida até a temperatura adequada. Em especial, no processo de soldagem por fusão, são utilizadas fontes de calor com altas temperaturas, de 2000 a 20000°C, que, ao serem aplicadas ao longo da junta, originam a formação da solda pela fusão e solidificação localizada. A concentração dessa energia aplicada resulta, em pequenas áreas, temperaturas altíssimas, grandes gradientes térmicos de cerca de 102 a 103°C/mm, variações de temperatura de até 103°C/s e, devido a esses fatores, resultam em alterações de microestrutura e propriedades em pequenas porções de material (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

2.2. TENSÕES

As tensões residuais são as tensões que ficam no interior da peça, originadas de um processo térmico. Basicamente, as tensões residuais são as que ficam no interior da peça, originadas de um processo térmico ou mecânico, que ficam em equilíbrio no componente, sem que ele sofra algum carregamento ou quaisquer tipos de gradiente de temperatura (NORCINO, 2013).

2.2.1. Causas e efeitos

O conhecimento do surgimento das tensões, sejam elas compressiva ou trativa, permite a determinação do comportamento da estrutura do material em relação à fadiga. Tensões de tração são prejudiciais a materiais que sofrem trabalhos cíclicos, já que propiciam trincas. As tensões compressivas são um tanto

benéficas, pois atrapalham a propagação das trincas, diminuindo a tensão total na superfície da peça (MELO, 2014).

Após o rompimento do corpo, é possível a análise das influências das tensões residuais, as quais permanecem na peça quando as forças externas ou outro tipo de ação, como o calor, é removido da peça (LU, 1996).

Uma das possíveis causas é a aparição de deformação plástica não uniforme ao longo de uma seção do corpo avaliado, ou seja, para que permaneçam essas tensões, pode-se ter por entendimento que alguma região do componente, independentemente de sua área e tamanho, foi solicitada além do limite de elasticidade e assim também se conclui que não há deformação plástica, se não houver tensões residuais (CARMO, 2006).

O efeito térmico da soldagem influencia a geração dessas tensões, pelo aquecimento em uma região específica com mudança de fase na Zona Fundida e na Zona Termicamente afetada, somando com um resfriamento não uniforme da peça. Esse efeito de calor colocado sobre a peça faz com que ela se dilate, sofrendo deformações plástica e elástica, as quais podem causar deformações permanentes em suas dimensões e forma. Para um bom projeto, é aconselhável o controle dessas tensões, para não criar pontos negativos quanto às resistências, mas sim positivos, como a resistência à fadiga (CHUVAS, 2012).

As tensões residuais podem ser classificadas de acordo com a sua abrangência, sendo elas:

1) Macroscópicas:

Pode-se dizer que são tensões que se espalham por vários grãos e se autoequilibram, caso ocorra alguma perturbação no equilíbrio das forças. Ocorrem em processos de têmpera, laminação etc. (KULAZI, 2007).

2) Microscópicas:

São quase uniformes e ficam em um ou vários grãos, em torno de um precipitado ou uma fase (CHUVAS, 2012).

3) Submicroscópicas:

Tensões do tipo heterogêneas, que se espalham nas partes do tamanho aproximado de um átomo nos grãos (WHITERS; BHADESHIA, 2001).

De acordo com Norcino (2013), as tensões residuais podem ser originadas devido a três efeitos, como o efeito mecânico, que, após uma ação mecânica na

qual é extrapolado o limite de elasticidade, causa em muitos casos uma tensão residual compressiva sobre a superfície do material. O efeito térmico sem transformação de fase ocorre quando as tensões dependem da temperatura e do quanto o material pode se expandir; sua superfície é deformada por compressão durante seu aquecimento, não conseguindo voltar ao estado inicial após o resfriamento, originando tensões de caráter trativo. Por fim, no efeito térmico com transformação de fase, suas tensões provêm da mudança de volume heterógena da formação da nova fase e, devido ao calor sobreposto ao material, promove uma alteração em sua microestrutura, levando a parte externa a uma contração com tensões trativas, e nas partes internas as tensões são do tipo compressivas.

2.3. SOLDABILIDADE DOS AÇOS

De acordo com Almendra *et al.* (1997), os aços carbonos têm a sua soldabilidade relacionada à presença de trincas a frio, originadas por hidrogênio, as quais são determinadas pela composição química do material. Melhor dizendo, a sua capacidade de soldagem é associada à temperabilidade do aço: quanto maior esta, maior a probabilidade do aparecimento das trincas. A temperabilidade é consequência do teor de carbono e pelos elementos de liga: quanto menor esses teores, menor serão os cuidados para soldagem do aço.

O pré-aquecimento, tratamento térmico e a deposição do cordão com aquecimento balanceado são alguns fatores que podem reduzir o aparecimento das tensões residuais, onde a deposição diminuirá as tensões durante a soldagem e o tratamento térmico, após a soldagem, aliviará as referidas tensões. Outro fator que origina uma fragilização do material é a fragilização por hidrogênio, a qual ocorre geralmente abaixo de 150°C, por isso, é necessário manter a peça em temperaturas superiores a esta, em que o pós-aquecimento é muito útil (ALMENDRA *et al.*, 1997).

2.4. CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS CARBONO

De acordo com a SAE (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, 2011), a

nomenclatura dos aços segue um padrão: os dois primeiros números são a indicação dos elementos de liga principais e os dois últimos números, o valor médio da faixa de carbono presente.

Ribeiro (2000) destaca que os aços carbono são uma liga de ferro e carbono, e contêm, ainda, pequenas porções de Si, Mn, P, S e Cu. Suas propriedades dependerão do teor de carbono presente, os quais são classificados de acordo com o teor deste elemento, por exemplo, aços de baixo teor de carbono (aços doces) são aqueles que possuem um teor de carbono de até 0,3%; aços de médio teor de carbono apresentam teor compreendido de 0,3% até 0,45%; e os aços de alto teor de carbono são aqueles que possuem teores de 0,45% até 1,7%.

2.4.1. Características de um aço SAE 1045

É um aço composto por 0,45% de carbono, classificado como um material de construção mecânica. Na maioria dos casos, é trabalhado em sua composição original de fornecimento, sem alterações de tratamentos térmicos, entretanto, no intuito de melhorar sua eficiência, recorre-se muitas vezes a tratamentos térmicos, como o de têmpera e recozimento. Devido ao fato de o carbono estar presente em grande parte do material, as tensões originadas na região da solda devem ser levadas em consideração, pois o elemento carbono é um grande influenciador da soldabilidade do material (AZEVEDO, 2002).

A escolha inadequada de consumíveis, manejo e execução errada na hora da solda podem ocasionar defeitos, como mordeduras, corrosão, porosidade e falta de fusão, porém, o maior problema da soldabilidade de tais aços é o aparecimento de trincas oriundas do hidrogênio, em especial na Zona Termicamente Afetada (ZTA), além da perda de tenacidade nessas áreas, ou na Zona Fundida (ZF). Em corpos contaminados ou em soldas com elevadas temperaturas, pode ocorrer a formação de trincas de solidificação (MODENESI, 2001).

2.5. DEFORMAÇÃO

Segundo Callister (2002), as tensões trabalham em dois regimes: elástico e plástico. Cada material possui um regime de trabalho, tanto elástico como também plástico. A capacidade de elasticidade de um material refere-se ao nível de deformação que o material pode sofrer quando aplicada uma força externa, a ponto de retornar a sua forma inicial, ou seja, a deformação e a tensão trabalham na mesma proporcionalidade.

O limite em que o material é submetido além do regime elástico, a tensão nesse ponto já não é mais proporcional ao valor de sua deformação, entrando agora no regime plástico, sofrendo uma deformação permanente, não recuperável. Tensões muito elevadas podem levar à ruptura do material, lembrando que isso varia de um material a outro, devido à ductilidade que cada um tem, sendo ela representada pelo grau de deformação que é suportado até o momento de sua fratura (CALLISTER, 2002).

O comportamento mecânico de uma carga estática, ou se ela se altera lentamente ao longo do tempo e é aplicada de forma uniforme sobre uma região de um membro, pode ser analisado por meio de um ensaio tensão x deformação. Essa carga aplicada pode ser avaliada de três maneiras: tração, compressão e cisalhamento (CALLISTER, 2002).

2.6. ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração consiste basicamente na aplicação de uma força axial externa a um corpo de prova, originando a deformação do material no sentido da força, a qual irá alongá-lo ou esticá-lo até o momento de sua fratura e geralmente em um corpo de prova de geometria padronizado, para que os resultados obtidos possam ser comparados. Esse ensaio é amplamente utilizado e, juntamente com a análise do alongamento em vários instantes do ensaio, é possibilitada a criação de um gráfico tensão x deformação para avaliar os resultados após o ensaio, e a interpretação desse ensaio possibilita obter conhecimentos importantes sobre as propriedades mecânicas do material estudado (CALLISTER, 2002)

2.6.1. Equipamento para realização do ensaio

O ensaio de tração é realizado por meio de um equipamento, que possibilita a realização de diferentes tipos de ensaio. As máquinas podem ser eletromecânicas ou hidráulicas; as peças são presas pelas garras que fixam e alinham os corpos de prova. Para obtenção da curva de tensão x deformação, a força que está sendo aplicada é medida instantaneamente, utilizando um dinamômetro, enquanto o alongamento é avaliado por meio de extensômetros e os resultados do ensaio são executados por um computador alocado à máquina. As dimensões e formato do corpo de prova também afetam os resultados obtidos (SOUZA, 2012).

De acordo com Callister (2002), muitas propriedades podem ser derivadas do ensaio de tração, como resistência à tração, compressão e cisalhamento, resistência à fadiga, módulo de elasticidade, ductilidade, fragilidade, tenacidade, resiliência, plasticidade e dureza. Os ensaios podem ser realizados em produtos acabados, que procuram simular as condições de funcionamento desses produtos e em corpos de prova, em que são avaliadas as propriedades dos materiais, e suas propriedades são afetadas pelas dimensões dos materiais e pela velocidade de aplicação da carga. Com o ensaio de tração realizado, o equipamento fornecerá o gráfico de tensão x deformação, no qual será possível a análise do comportamento do material até a sua ruptura, passando geralmente por algumas etapas conhecidas, como tensão máxima de tração, tensão de escoamento, tensão de ruptura, região de encruamento, região de estricção, respectivamente nessa ordem.

3. METODOLOGIA

Para a realização da então proposta do projeto, em consonância com os objetivos estipulados, foram buscados conteúdos, não apenas teóricos, mas também materiais e ideias práticas para a realização dos experimentos, no intuito de demonstrar o que se pode obter com componentes soldados, ou seja, suas características de resistência à tração.

3.1. CORPOS DE PROVA

Inicialmente, é necessário determinar os 03 corpos de prova que passarão pelo mencionado teste, sendo um deles, confeccionado sem a aplicação da soldagem, ou seja, um único corpo inteiro, um segundo corpo de prova foi confeccionado em duas partes para posterior aplicação da soldagem e num ultimo corpo de prova, este também foi produzido em duas partes para em seguida ser aplicado a soldagem, onde a diferença entre as duas últimas amostras, é a presença do chanfro aplicado a extremidade de umas delas. Tais corpos foram feitos baseados em alguns preceitos constados na norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 6892 de 2002. As peças possuem um formato padronizado de suas dimensões, no intuito de facilitar a análise dos resultados, conforme mostrado na Figura 2, retirada da mencionada norma regulamentadora.

k	Diâmetro D mm	Área da seção transversal original S_0 mm ²	Comprimento original $L_0 = k \sqrt{S_0}$ mm	Comprimento paralelo mínimo L_c mm	Comprimento total L_t mm
	$20 \pm 0,15$	314	$100 \pm 1,0$	110	Depende do método de fixação do corpo-de-prova na máquina. Em princípio: $L_T > L_C + 2d$ ou $4d$
5,65	$10 \pm 0,075$	78,5	$50 \pm 0,5$	55	
	$5 \pm 0,040$	19,6	$25 \pm 0,25$	28	

Figura 2: Parâmetros para confecção dos corpos de prova
(Fonte: NBR 6892, 2002)

Para a padronização das peças, elas passaram pelo processo de

torneamento, ou seja, a retirada de material de acordo com o necessário e estipulado para o projeto. Assim, será possível ter certeza de que não haverá distinção de uma para a outra, originando uma avaliação mais precisa possível quando postas em prova. A seguir, nas Figuras 3 e 4, é possível ver os corpos de prova e as respectivas dimensões em que foram produzidos por meio do desenho técnico.

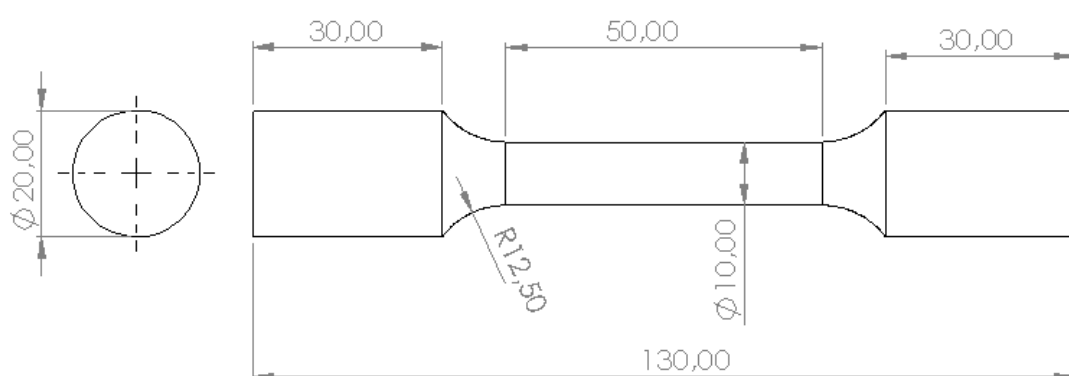


Figura 3: Dimensões dos corpos de prova
(Fonte: Próprio autor)



Figura 4: Amostras prontas
(Fonte: Próprio autor)

3.1.1. Material utilizado

Para a confecção das peças, foi utilizado um material do tipo SAE 1045, de acordo com a disponibilidade de compra atual no mercado.

O material veio do fornecedor GGD Metals, em uma barra de seção circular com um diâmetro de 25,4 milímetros ou 1 polegada, e comprimento de 1000 milímetros.

De acordo com o próprio catálogo do fornecedor, uma característica desse aço é que se trata de um aço para beneficiamento. Possui uma boa relação entre resistência mecânica e resistência à fratura.

Devido a sua resistência mecânica superior aos aços de baixo carbono convencionais, é bastante utilizado na confecção de componentes de uso geral, como implementos agrícolas e rodoviários. A seguir, na Figura 5, podemos analisar a sua composição química.

C	Mn	Si	Cr	Al	P	S
0,43 — 0,50	0,60 — 0,90	0,40 máx.	----- ---	----- ---	0,04 máx.	0,05 máx.
0,43 — 0,48	0,60 — 0,90	0,15 — 0,35	0,30 — 0,40	0,02 — 0,05	0,025 máx.	0,02 — 0,04

Figura 5: Composição química do material
(Fonte: GGD Metals, 2015)

Conforme exposto na imagem, o aço SAE 1045, é um aço de médio teor de carbono, com aproximados 0,45% e que possui uma resistência mecânica entre 570 e 700 Mpa.

3.1.2. Preparação

Para os corpos de prova ficarem no formato desejado, foi necessário que passassem por algumas etapas, dentre elas o torneamento.

O material “bruto” foi usinado utilizando um torno convencional da marca Nardini, modelo Nodus ND325 ano 2007, conforme mostrado nas Figuras 6 e 7, em que o material é representado e, juntamente, também é usinado.



Figura 6: Torno utilizado para a confecção
(Fonte: Próprio autor)



Figura 7: Usinagem do material
(Fonte: Próprio autor)

O material foi desbastado para a confecção do primeiro corpo de prova, que consistia num corpo inteiriço, ou seja, um corpo em que não foi necessária a união por solda. Para comparativo, foram confeccionados mais dois corpos de prova nas mesmas dimensões do primeiro, mas agora com uma diferença. Este segundo corpo foi feito em duas partes para posteriormente poder ser aplicado o método de união mencionado. Em sua extremidade, existia um chanfro em duplo “V” a 45° com uma medida de 2,00 milímetros (região em que foi aplicada a solda), parâmetro que o diferencia do terceiro corpo, que não possui um chanfro na sua extremidade, apenas uma junta de topo reto, para efeito de comparativo de testes também.

Posteriormente, as peças foram soldadas em uma máquina do fabricante Castolin Eutectic, modelo DPT 350 HD, que, segundo o manual do fabricante, foi desenvolvida especialmente para o processo TIG para utilização em produção industrial, manutenção e reparos, porém pode ser utilizada para soldagem convencional a arco elétrico com eletrodo revestido. Nesse processo, a máquina permite a soldagem de metais como aço inoxidável, aço carbono, níquel, cobre, ferro fundido, entre outros.

A soldagem foi realizada em posição plana. A Figura 8, a seguir, mostra o referido equipamento e os parâmetros utilizados para a realização da soldagem.



Figura 8: Parâmetros da soldagem
(Fonte: Próprio autor)

Tais parâmetros seguem uma recomendação do fabricante do material de

adição. No Anexo B, é possível analisar esses parâmetros; e a imagem retirada do catálogo Castolin refere-se à vareta CastoWIG 45507 W, com 1,6 mm de espessura e a sua composição tem como materiais base o Cromo e o Níquel.

No processo de solda TIG, além da mencionada vareta como material da adição, na tocha, ou mais especificamente, no bocal, encontra-se o eletro não consumível, feito de tungstênio, devido ao seu alto ponto de fusão de 3410°C, o que o torna quase inconsumível.

O gás de proteção utilizado no processo é o Argônio, seguindo também orientações do fabricante do equipamento, possuindo um menor custo e por se enquadrar em quase todos os tipos de soldagem. Devido ao fato de possuir maior densidade, o Argônio permanece por mais tempo na área soldada, diferentemente do gás Hélio, que, por ser leve, tende a se elevar rapidamente da junta soldada, exigindo, assim, elevadas vazões para corrigir o problema.

Antes da aplicação da solda, as peças estavam a uma temperatura ambiente, marcando 26.5°C, temperatura que foi retirada de um termômetro digital. Ao término da soldagem, foi registrada uma temperatura de 683°C, devido ao elevado calor gerado durante o processo. Tudo isso pode ser visto a seguir, nas Figuras 9 e 10.



Figura 9: Temperatura das Amostras antes da aplicação da soldagem
(Fonte: Próprio autor)



Figura 10: Temperatura das amostras após a aplicação da soldagem
(Fonte: Próprio autor)

3.2. MÁQUINA UNIVERSAL

Para a realização dos testes, foi utilizada uma máquina de ensaios mecânicos universal disposta no Centro Universitário FAG. O equipamento foi adquirido do fornecedor Contenco, uma empresa que desenvolve máquinas e equipamentos para ensaios de materiais.

A máquina em questão é o modelo I – 3058, com capacidade de 100 toneladas. A seguir, a Figura 11 mostra suas características principais, segundo o fabricante.

VOLTAGEM Trifásico	WATTS	HZ	Carga Taxa(Kgf/seg)	Deslocamento máximo do Curso (mm)	Altura útil de acionamento sem dispositivos (mm)	Largura entre colunas (mm)
220 ou 380	2500	50/60	50 – 1500	200	700	400

Figura 11: Características da Máquina de ensaios mecânicos
(Fonte: Contenco, 2019)

Vários testes podem ser realizados com esse equipamento, dentre eles: tração axial, tração na flexão, compressão axial ou diametral, cisalhamento e dobramento. Os corpos de prova mencionados anteriormente, foram submetidos ao teste de tração axial pela referida máquina.

Em seu sistema de aplicação de força, há um pistão e um cilindro, que faz a movimentação da sua base inferior, guiadas pelas colunas lisas, formando um conjunto com a mesa superior. Possui, também, um só motor, que comanda o redutor encarregado de realizar o giro das colunas rosqueadas. Para a movimentação vertical da mesa intermediária, tanto para cima como para baixo, a única ação a ser realizada é alternar o sentido de rotação do motor, a mesa em si possui porcas travadas sob o giro das colunas, fazendo o mencionado movimento.

Nas mesas, superior e intermediária, os alojamentos são cônicos e planos, deslizando os carros das garras verticalmente que unem as mesas e possibilitam o autotravamento do corpo de prova nos ensaios de tração axial.

Para a manipulação dos resultados de testes, a máquina possui um sistema CPA (Carregamento Progressivo Automático) por meio de um servo motor, com um sensor de fim de curso, ou seja, limitando o deslocamento superior e inferior.

O software que faz tal manipulação é o Visual Basic adaptado para o fabricante Contenco, denominado assim de Pavitest Aço, realizando a consonância entre os dispositivos que compõem o conjunto, permitindo o comando, controle e monitoração dos ensaios, com o cadastramento das amostras, traçando gráficos, armazenando dados e, por fim, podendo fazer a emissão dos relatórios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos ensaios nos três corpos de prova, por meio do relatório gerado, foi possível chegar aos seguintes entendimentos.

4.1. AMOSTRA 01

A Amostra de número 01 ensaiada remete-se ao corpo de prova que foi unido pelo processo da soldagem, possuindo na sua extremidade um chanfro em duplo “V” de 2,00 milímetros.

De acordo com o Gráfico 1, a seguir, é possível analisar o comportamento da Amostra, quanto à força aplicada no decorrer de tempo e a deformação sofrida nesse período.

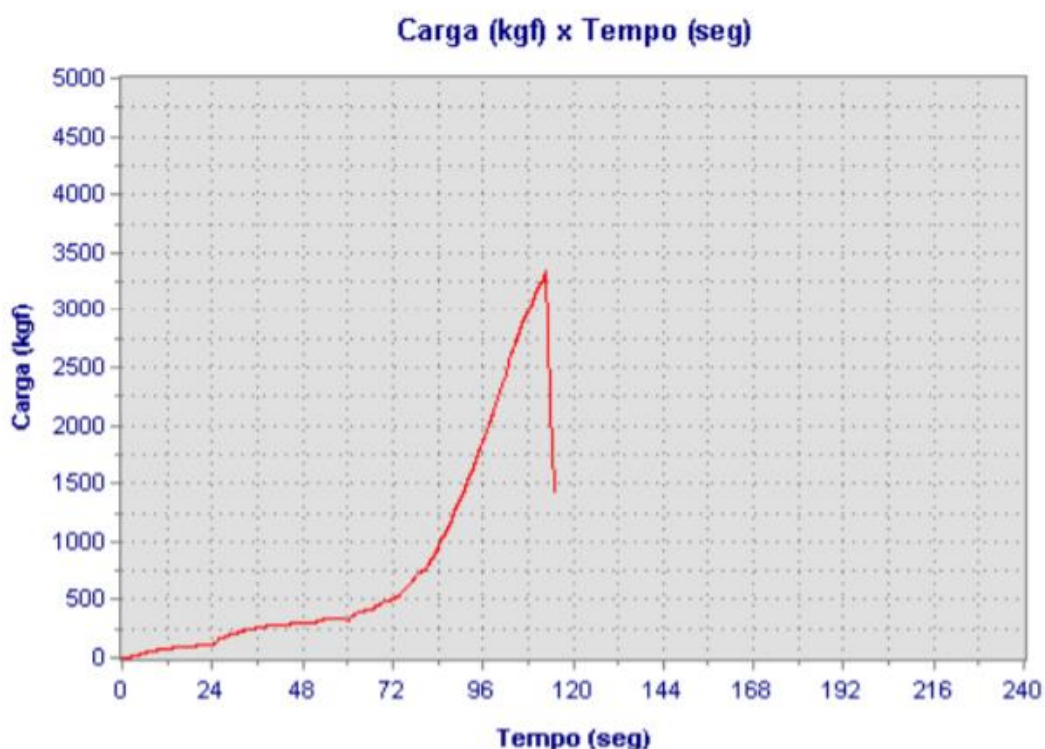


Gráfico 1: Comportamento Amostra 01
(Fonte: Software Pavitest Aço)

A linha esboçada revela o comportamento do corpo, mostrando que, como

não ocorreu grande deformação, sua principal característica é a fragilidade.

Com um início pouco uniforme, entrou para o regime elástico, em que sua deformação é proporcional ao seu deslocamento. O rompimento ocorreu antes que o corpo de prova entrasse no regime plástico, em que sofreria deformação não proporcional para posteriormente romper.

A carga em que ocorreu a quebra foi de 3270 Kgf, com um tempo de aproximadamente 114 segundos de teste. Essas e outras informações detalhadas podem ser vistas no Anexo C, referente ao relatório gerado pelo Software do equipamento.

A partir da Figura 12, apresentada a seguir, é possível compreender tais características da ruptura do corpo.



Figura 12: Local de quebra para Amostra 01
(Fonte: Próprio autor)

A Figura 12 mostra que a ruptura ocorreu sob a junta soldada e não na área mais afetada pelo calor. Isso se deve ao fato de ser um aço de médio teor de carbono, com aproximadamente 0,45%. Sua soldabilidade é baixa e a região em que ocorreu a maior formação de tensões residuais devido à soldagem foi na própria junta. Observou-se também que o chanfro deveria ser feito com um ângulo maior para que a penetração da solda fosse até o centro da peça, melhorando a

resistência da solda, além do fato que o material depositado foi um arame de solda de aço de baixo teor de carbono de menor resistência do material base, rompendo a junta soldada com uma tensão inferior do material base, e uma tensão ainda inferior a tensão prevista do rompimento se o cordão de solda fosse de material de qualidade compatível com o material base.

4.2. AMOSTRA 02

A Amostra de número 02 consistia então do corpo de prova que foi unido pelo método da soldagem, porém, com uma diferença com relação à primeira amostra: na Amostra 02, não existia nenhum tipo de chanfro em sua extremidade; a união foi feita em uma junta de topo reto.

O Gráfico 2, a seguir, mostra o comportamento do corpo ao passar pelo teste de tração, permitindo alguns entendimentos a respeito de seu comportamento.

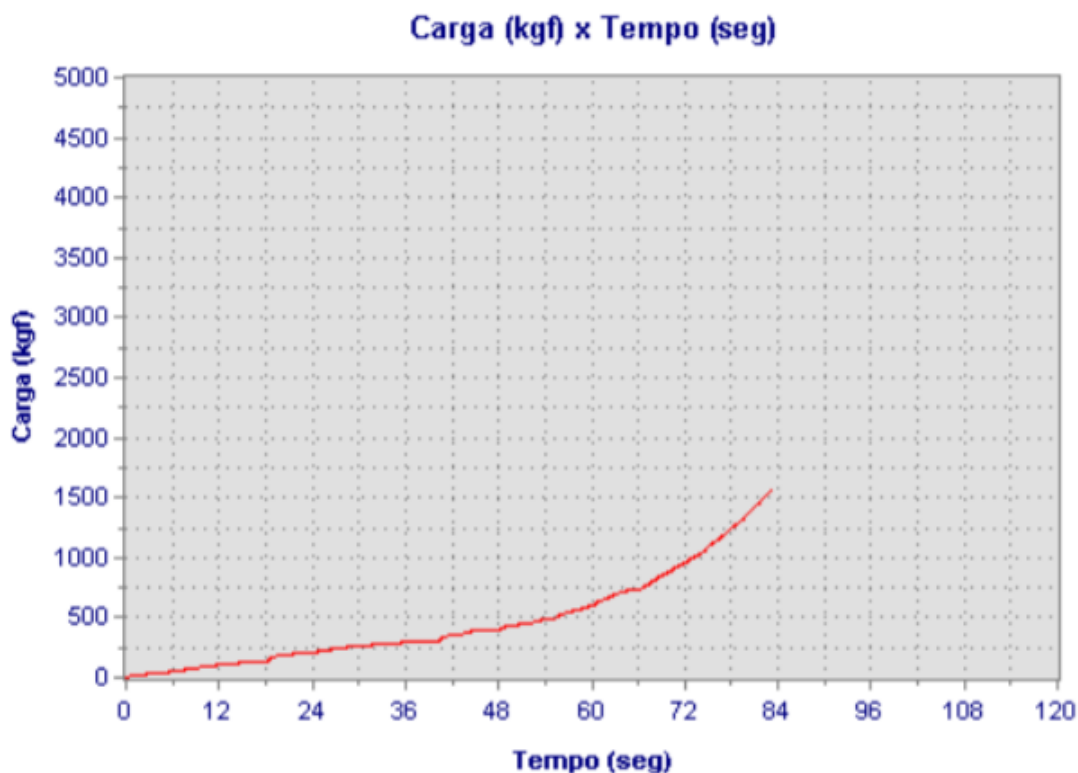


Gráfico 2: Comportamento Amostra 02
(Fonte: Software Pavitest Aço)

A linha traçada pelo gráfico exibe um comportamento em que houve pouquíssima deformação uniforme no corpo com um tempo bem reduzido, de aproximadamente 82 segundos, ou seja, antes mesmo que tivesse um limite elástico bem definido, ocorreu a ruptura.

Essa baixa capacidade de se deformar evidencia mais uma vez a fragilidade encontrada nos corpos de prova que tiveram a aplicação da soldagem. Nessa segunda Amostra, foi aplicada uma carga de 1560 Kgf, pouco menos da metade aplicada na Amostra 01. Além dessa informação de carga de ruptura, mais detalhes podem ser vistos no Anexo D, referente ao segundo experimento.

Para esse caso, então, evidenciou-se a influência do tipo da junta em que é aplicada a solda. No caso de uma junta com duplo “V”, a quantidade de material depositado foi maior, fazendo com que a união fosse mais resistente à aplicação de forças externas.

Na Figura 13, a seguir, é possível visualizar as características da Amostra na região em que ocorreu a quebra.



Figura 13: Local de quebra para Amostra 02
(Fonte: Próprio autor)

Pelo mesmo fato da primeira Amostra, nesse segundo experimento, a ruptura

do material ocorreu no mesmo local, ou seja, na área em que foi aplicada a soldagem, devido à baixa soldabilidade do material, com uma resistência baixíssima à tração.

Devido à baixa penetração de solda entre o cordão soldado e o material base, a deformação do corpo foi mínima e, conseqüentemente, a quebra ocorreu justo na região da junta.

4.3. AMOSTRA 03

Neste terceiro experimento, a Amostra ensaiada se refere a um corpo de prova que não teve nenhum método de união envolvido, ou seja, não passou pela aplicação da soldagem, sendo um corpo único e inteiriço.

A seguir, no Gráfico 3, pode ser visto o comportamento da terceira amostra, com sua deformação ao longo do tempo de aplicação da carga.

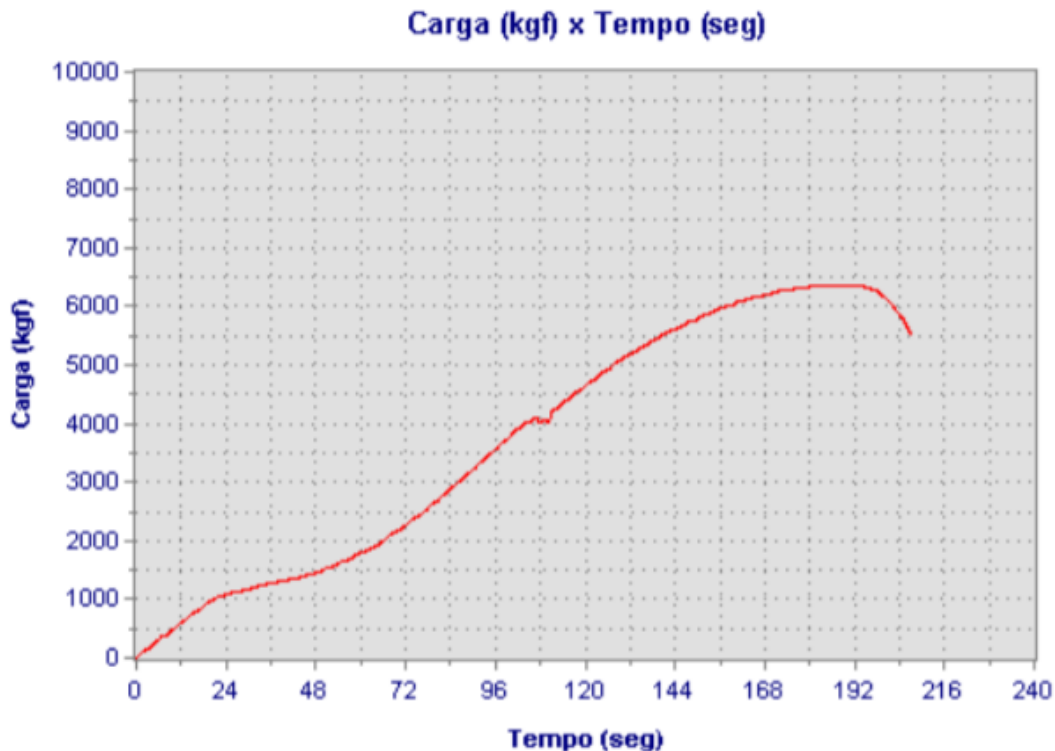


Gráfico 3: Comportamento Amostra 03
(Fonte: Software Pavitest Aço)

Conforme pode ser observado, as regiões dos regimes elástico e plástico do material são bem definidas, tendo o seu limite de proporcionalidade respeitado até o instante de pouco mais de 96 segundos do início do experimento.

Após isso, o material entra em transição para o regime plástico e não mais elástico, numa área denominada limite de escoamento, compreendida aproximadamente de 100 a 110 segundos de teste. A partir daí, já no regime plástico, o corpo se deforma, mas não mais proporcional à carga aplicada sobre o corpo, em que, no instante de 192 segundos, há o limite de resistência à tração do corpo de prova.

A quebra ocorreu, aproximadamente, em 198 segundos, sendo esse o seu limite de ruptura. A máxima carga que o corpo resistiu foi de 6370 Kgf, que pode ser vista juntamente com outras informações no Anexo E.

Na Figura 14, a seguir, é exibido o local em que ocorreu a quebra da terceira Amostra.



Figura 14: Local de quebra para Amostra 03
(Fonte: Próprio autor)

A imagem do último corpo de prova ensaiado evidencia a grande deformação que houve antes que ocorresse a quebra, ou seja, possui consideravelmente uma

menor fragilidade, se comparado às amostras anteriores.

Por se tratar de um aço de médio teor de carbono, é um material que possui maior resistência à tração e dureza.

5. CONCLUSÃO

Portanto, para tais fatos e informações obtidas com os experimentos, infelizmente, a averiguação da influência das tensões térmicas produzidas durante a soldagem não pode ser bem avaliada, já que os corpos de prova, que possuíam o referido método de construção mecânica, tiveram a sua ruptura na região da junta e não na Zona Termicamente Afetada (ZTA).

Isso ocorreu pelo fato de que não houve uma boa penetração da solda sob o material de base, sendo ele um aço com 0,45% de carbono, influenciando significativamente em sua temperabilidade e, conseqüentemente, no surgimento de trincas, considerando que não foi realizado um pré-aquecimento do material e nem um tratamento térmico pós-solda para que se aliviassem as tensões residuais na peça, evidenciando assim a baixa soldabilidade do material.

Outra opção seria a tentativa de obtenção de uma penetração total da solda, tendo assim um melhor comportamento mecânico, alterando-se os parâmetros utilizados no processo, haja vista que, para penetrações parciais, as características são de desempenho reduzido.

Para a formação das tensões residuais, ficou evidente a influência no material que passou pelo já mencionado processo de soldagem, em que ocorreu a formação em maior escala diretamente na área que foi unida.

Devido ao elevado aporte de tensões, os corpos de prova tiveram a sua ruptura exatamente na junta soldada, com uma deformação baixíssima, mostrando o quanto se tornaram frágeis os corpos ao se aplicar uma carga de tração neles, que pode ser provado com o comparativo da terceira Amostra, a qual não apresenta nenhum processo de construção mecânica envolvido, resistindo consideravelmente mais que as amostras anteriores, expressando grande deformação antes de sua quebra.

5.1. CONTRIBUIÇÕES

Com as informações levantadas, pode-se observar a influência das tensões que se formam nas peças submetidas ao processo de soldagem, levando em

consideração o grande uso da soldagem atualmente em diversas áreas da indústria para a união de componentes. Decorrente dessa ampla utilização, no dimensionamento de projetos que envolvem esse método, deve haver uma análise mais profunda e averiguação quanto a sua capacidade de resistência quando submetidas a certos esforços.

O Centro Universitário, com tais informações, poderia transmitir estas a seus acadêmicos durante a graduação, mostrando a importância de estudar essas tensões originadas durante o método da soldagem, pois muitos deles poderão seguir sua carreira profissional na área de projetos e construções.

5.2. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa possibilita alguns desdobramentos dentro do mesmo assunto, podendo assim ficar para futuros trabalhos relacionados à temática um melhor desenvolvimento do método empregado nos corpos de prova, alterando alguns parâmetros utilizados, como o material de adição, corrente, voltagem, amperagem e a velocidade da solda, bem como um pré-aquecimento das partes antes de serem soldadas, em consonância com um tratamento térmico pós-solda dessas partes.

Um trabalho envolvendo outro processo de soldagem aplicado ao material, como o MIG/MAG, também seria de grande relevância, podendo assim ter um comparativo com o processo de soldagem TIG, utilizado nesta pesquisa.

A utilização de outro material de base, como um aço de baixo teor de carbono, ou até mesmo ferros fundidos, evidenciaria a influência da soldabilidade entre estes materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMENDRA, A. C. *et al.* **Soldagem**: Coleção Tecnológica SENAI. 1. ed. São Paulo: SENAI, 1997. (Apostila).

AZEVEDO, A. G. L. **Aplicação da técnica de dupla camada na soldagem do aço ABNT 1045**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

BEER, F. P. *et al.* **Mecânica dos Materiais**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.

CALLISTER, W. D. JR. **Ciência e Engenharia de Materiais**: Uma Introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CARMO, D. C. **Análise de tensões por ultra-som em barra de aço sob flexão**. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CASTOWIG 45507. **Eutectic**: Folhetos Técnicos. [s.d.]. Disponível em: <http://eutectic.com.br/folhetos-tecnicos/castowig-45507-w.pdf>. Acesso em: 27 set. 2020.

CHUVAS, T. C. **Estudo da influência dos parâmetros de tratamento de alívio das tensões residuais por vibração mecânica em juntas soldadas a plasma**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

DPT 350 HD. **Eutectic**. Manuais Equipamentos Descontinuados. 2006. Disponível em: http://www.eutectic.com.br/manuais/equipamentos_descontinuados/manual-dpt-350-hd-acdc.pdf. Acesso em: 27 set. 2020.

ESAB. **Processo de soldagem - TIG (GTAW)**. s.d. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm. Acesso em: 24 out. 2020.

KULAZI, A. J. **Comportamento à fadiga do aço DP600 processado por jacto de água**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

LAKATOS, E, M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 1996.

LU, J. **Manual de medições de tensões residuais**. SEM – Sociedade de Mecânica

Experimental, Lilburn, GA, EUA, 1996.

MACHADO, I. G. **Soldagem & técnicas conexas**: processos. Porto Alegre: UFRGS, 1996.

MÁQUINA UNIVERSAL ELETRÔNICA DIGITAL CAPACIDADE 100T, HIDRÁULICA I-3058. **Contenco**: Ensaios especiais. 2019. Disponível em: <https://contenco.com.br/produto/maquina-universal-eletronica-digital-capacidade-100t-hidraulica-i-3058/>. Acesso em: 03 out. 2020.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem**: Fundamentos e Tecnologia. 3. ed. Minas Gerais: UFMG, 2011.

MELO, A. P. B. **Avaliação de Tensões Residuais na Operação de Cunhagem em um Componente Automotivo Estampado**. 2014. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2014.

MODENESI, P. J. **Introdução à Física do Arco Elétrico e sua Aplicação na Soldagem dos Metais**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Belo Horizonte, 2008.

MODENESI, P. J. **Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis**. Centro Nacional de Tecnologia em Metalurgia. Osasco, 2001.

NODUS ND – 325X2200. **Nardini**: Torno Universal. 2020. Disponível em: <http://www.nardinisa.com.br/site/produto/nodus-nd-325x2200/>. Acesso em: 17 out. 2020.

NORCINO, A. B. **Uma Contribuição ao Estudo de Tensões Residuais no Fresamento**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.

PEIXOTO, A. L. **Soldagem**. 1. ed. Belém: UFSM, 2012.

RIBEIRO, D. M. **Tecnologia da solda**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, última revisão em: 27 de abril de 2000. (Apostila).

SAE 1045. **GGD Metals**: Aço Construção Mecânica. 2015. Disponível em: <https://ggdmetals.com.br/produto/SAE-1045/>. Acesso em: 26 set. 2020.

SIMON, F. C. *et al.* **Análise prática de penetração de solda em aço 1045**. 2º semana internacional das engenharias da FAHOR. Horizontina, 2012.

SOUZA, D. A. **Determinação de Tensões Residuais em Materiais Metálicos por meio de Ensaio de Dureza**. 2012. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2012.

TOTTEN, G.; HOWES, M.; INOUE, T. **Manual de tensão residual e deformação do aço**. Ohio: ASM International, 2003.

WITHERS, P. J. A. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**. v. 17, abril, 2001.

ANEXO

ANEXO A – Especificações técnicas torno Nardini, Nodus ND325.



ESPECIFICAÇÕES
TÉCNICAS

ND 325

CAPACIDADE

Diâmetro admissível sobre o barramento	650 mm
Distância entre pontas	2200 mm
Diâmetro admissível sobre as asas da mesa	600 mm
Diâmetro admissível sobre o carro transversal	475 mm
Diâmetro admissível na cava	830 mm
Comprimento útil da cava frente a placa	180 mm
Curso do carro transversal	380 mm
Curso do carro porta-ferramentas	125 mm
Secção do cabo da ferramenta	20 x 20 mm

BARRAMENTO

Largura	270 mm
Altura	320 mm

CABEÇOTE FIXO

Nariz do Eixo Árvore	L0 ASA
Diâmetro do furo do Árvore	46 mm
Sede interna da bucha de redução	CM 4
Cone interno do Eixo Árvore	01:20
Número de velocidades	18
Gama de velocidades	20 - 1600 RPM

CABEÇOTE MÓVEL

Diâmetro da manga	60 mm
Curso da manga	220 mm
Sede cônica da manga	CM 4
Deslocamento lateral	15 mm

CAIXA DE ROSCAS

Número de roscas	192
Roscas Métricas (mm)	0,4 - 7,0 (48)
Roscas Fios por polegada (fpp)	3,5 - 42 (48)
Roscas Módulo (mod)	0,1 - 1,75 (48)
Roscas Diametral pitch (dp)	14 - 168 (48)
Passo do fuso principal	6 mm (4tpi)

AVANÇO

Avanços longitudinais (mm/rot)	0,042 - 1,013 (48)
Avanços transversais (mm/rot)	0,021 - 0,5 (48)

MOTORES

Motor Principal	8/5 CV (6/3,7 Kw)
Moto-bomba de refrigeração de corte	0,12 CV (0,09 Kw)

PESO E DIMENSÕES

Área ocupada	3700 x 1200 mm
Peso Líquido aproximado	1900 kgs

ANEXO B – Parametros para soldagem segundo fabricante Castolin Eutectic.

Folheto Técnico do Produto

Castolin Eutectic
Eutectic Castolin

 DESDE 1906
 COM INOVAÇÃO E SOLUÇÕES

CastoWIG 45507 W



Aplicações: Para soldagem de trincas em moldes, em ferramentas de corte e/ou conformação, molas, recuperação de dentes de engrenagens, almofadas em soldagem de aços ferramenta e uniões em aços dissimilares.

Descrição: Vareta de aço alta liga contendo Cr e Ni projetada para soldagem de aços de difícil soldabilidade como reparos em aços ferramenta e aços mola, uniões em aços dissimilares e revestimentos (placagem) em aços resistentes ao calor. Atende a norma DIN 8556 SG x 10 CrNi30-9 (AWS A5.9 ER 312).

Características Técnicas (Valores Típicos):

- Resistência à tração: 780 MPa
- Limite elástico: 650 MPa
- Alongamento: 25%
- Dureza como soldado: 24 HRc

Procedimento de Aplicação: Remover todo o material previamente soldado e/ou material fatigado da superfície da ferramenta. Arredondar os ângulos retos.

Pré-aquecimento: Pré e pós-aquecimento depende do tipo de aço de ferramenta. Consulte o Especialista em Aplicações para as temperaturas adequadas.

Soldagem: Para soldagem de ferramen-tas, recomenda-se a técnica de passes intercalados para evitar tensões na peça. Recomenda-se também os seguintes parâmetros:

- Corrente contínua, polaridade direta (CC-);
- Gás Argônio;
- Eletrodo de Tungstênio 2% de Tório.

Parâmetros de Soldagem:

VARETA (Ø mm)	Eletrodo (Ø mm)	Vazão de Gás (l/min)	Corrente de Solda (A)
1,0(3/64")	1,0	8 – 12	5 – 30
1,6(1/16")	1,6	8 – 12	12 – 70

Bitolas: 1,0 mm (3/64") e 1,6 mm (1/16")

Posição de soldagem:


Estas instruções são baseadas no nosso conhecimento atual da matéria e substituem informações anteriores sobre o produto. Os dados técnicos listados neste folheto são baseados nos Procedimentos de uso e Padrões do Sistema de Garantia da Qualidade da Eutectic do Brasil Ltda. Procedimentos e aplicações diferentes podem alterar estes valores.

ANEXO C – Dados do ensaio para a Amostra 01.



RELATÓRIO DO ENSAIO REALIZADO

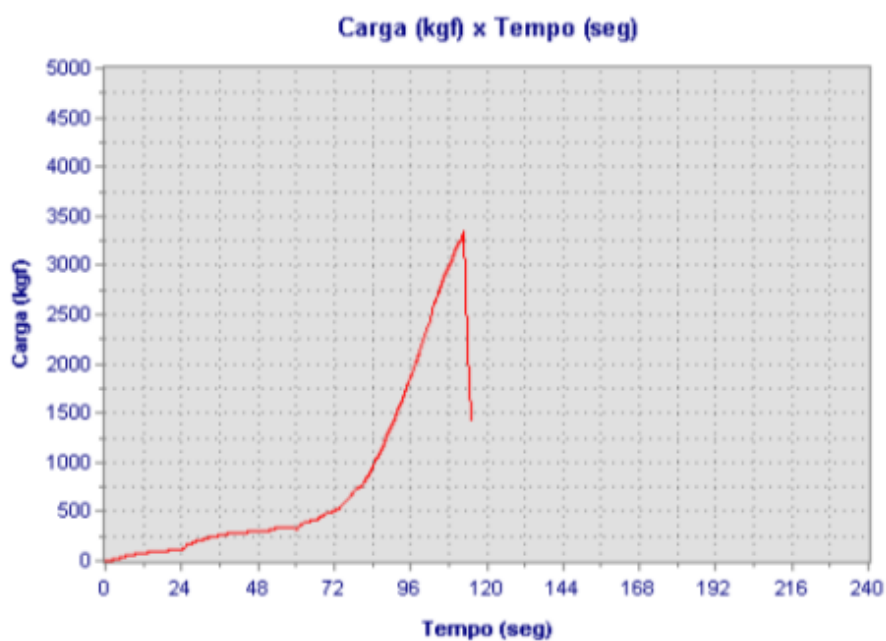
Dados Cadastrais

Nome da amostra: Amostra 1
 Tipo Ensaio: Tração
 Data do Ensaio: 28/09/2020
 Qualidade1:
 Responsável: Fabio
 Operador: Danilo

Resultado do ensaio

Carga Máxima:	3.270 (kgf)	Tensão Máxima:	102,07 (MPa)
Carga Esc. Conv.:	(kgf)	Tensão Esc. Conv.:	(MPa)
Carga Esc. Inferior:	650 (kgf)	Tensão Esc. Inferior:	20,29 (MPa)
Carga Esc. Superior:	660 (kgf)	Tensão Esc. Superior:	20,60 (MPa)
Massa Linear:	0,00 (mm ²)		
Seção Média:	0,00 (g/mm)		
Alongamento Calc.:	(%)		

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO D – Dados do ensaio para a Amostra 02.



RELATÓRIO DO ENSAIO REALIZADO

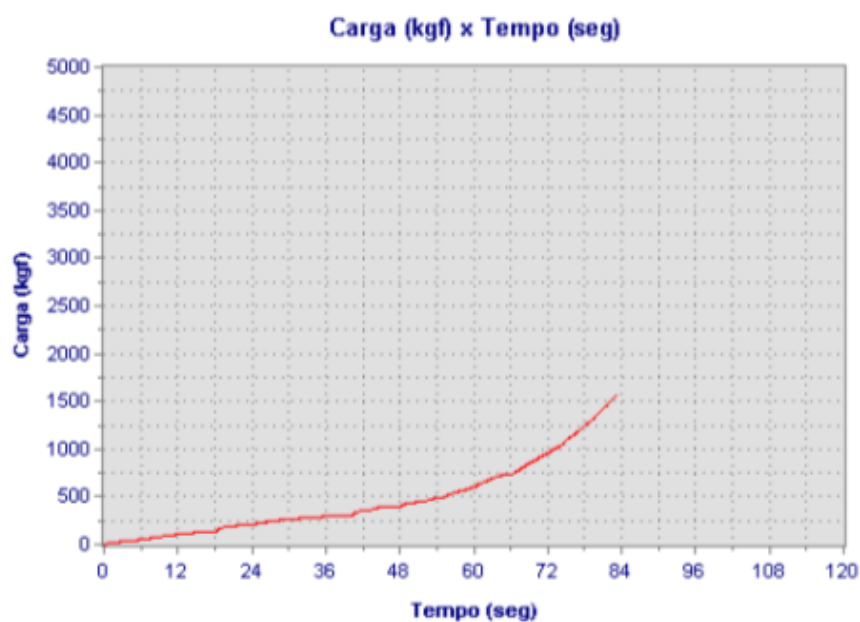
Dados Cadastrais

Nome da amostra: Amostra 2
 Tipo Ensaio: Tração
 Data do Ensaio: 28/09/2020
 Qualidade1:
 Responsável: Fabio
 Operador: Danilo

Resultado do ensaio

Carga Máxima:	1.560 (kgf)	Tensão Máxima:	48,70 (MPa)
Carga Esc. Conv.:	(kgf)	Tensão Esc. Conv.:	(MPa)
Carga Esc. Inferior:	120 (kgf)	Tensão Esc. Inferior:	3,75 (MPa)
Carga Esc. Superior:	150 (kgf)	Tensão Esc. Superior:	4,68 (MPa)
Massa Linear:	0,00 (mm ³)		
Seção Média:	0,00 (g/mm)		
Alongamento Calc.:	(%)		

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO E – Dados do ensaio para a Amostra 03.



RELATÓRIO DO ENSAIO REALIZADO

Dados Cadastrais

Nome da amostra: AMOSTRA 3
 Tipo Ensaio: Tração
 Data do Ensaio: 03/10/2020
 Qualidade1:
 Responsável:
 Operador:

Resultado do ensaio

Carga Máxima:	6.370 (kgf)	Tensão Máxima:	198,84 (MPa)
Carga Esc. Conv.:	(kgf)	Tensão Esc. Conv.:	(MPa)
Carga Esc. Inferior:	4.030 (kgf)	Tensão Esc. Inferior:	125,80 (MPa)
Carga Esc. Superior:	4.090 (kgf)	Tensão Esc. Superior:	127,67 (MPa)
Massa Linear:	0,00 (mm³)		
Seção Média:	0,00 (g/mm)		
Alongamento Calc.:	(%)		

Gráfico do ensaio realizado

